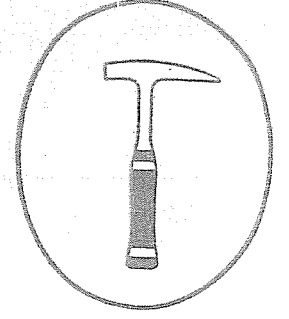


# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ



**EKİM  
1977**



sahibi ve sorumlu yönetmeni

Ruhi Yetig

yayın kurulu

Selçuk Bayraktar  
Kaler Sümerman  
Erhan Sakallıoğlu  
Haydar İlker  
Ersin Önsel

yönetim yeri

Konur Sokak 4/3  
Kızılay - Ankara

yazışma adresi

PK: 507, Kızılay - Ankara

Jeoloji Mühendisliği, TMMOB  
Jeoloji Mühendisleri Odası ya-  
yınıdır. Yılda üç kez yayımla-  
nır. Dergi Oda'nın amaç, ilke  
ve yayım koşullarına uyan her  
yazıya açıktır.

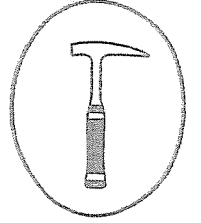
abone koşulları

Dergi fiyatı 50 TL.  
Öğrencilere 25 TL.  
Yıllık abone 150 TL.  
Üyelere ücretsiz dağıtılır.

ilân tarifesi

Arka dış kapak 3000 TL.  
Ön iç kapak 2500 TL.  
Arka iç kapak 2000 TL.  
İç tam sayfa 1500 TL.  
İç yarım sayfa 1000 TL.

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ



tmmob jeoloji mühendisleri odası yayın organı

SAYI: 3

EKİM 1977

Okurlarımıza

3

Türkiye'de tuz sorunu

5

ALİ UYGUN

Lüjyon basınçlı su deneylerinin yorumlanmasına özgü bir örnek:  
Fırat - Gököy bentyeri deneme enjeksiyonu

8

YILMAZ GÜNAY

Balya madeni civarının jeolojisi

19

ZEKİ AKYOL

Alüvyonda bulamaç hendeği (slurry trench) yöntemiyle sızdırmazlık  
perdesi yapımı ve Aslantaş barajındaki uygulaması

23

TALİP KARAOĞULLARINDAN

NURİ ÖZGÜZEL

NAMIK AKCANBAŞ

Vektör diyagramı

36

ÜKKAŞ AĞAR

**TMMOB**  
**Jeoloji Mühendisleri Odası**  
**Yönetim Kurulu**

**Başkan** Ruhi Yetiş  
**2. Başkan** Bülent Kiper  
**Sekreter Üye** Hasan Özasan  
**Sayman Üye** Kadir Dirik  
**Üye** Talia Yaşar  
**Üye** Yavuz Hakyemez  
**Üye** Zikrullah Kırmızı

**TMMOB**  
**Jeoloji Mühendisleri Odası**  
**(JMO)**

6235 (7303) sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Yasasına göre 18 Mayıs 1974 yılında kurulan TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, mühendislik ünvanına sahip ve Jeoloji mesleği ile ilgili bütün uygulamaları yapmaya yasal olarak yetkili bulunan tüm Jeoloji Mühendislerinin tek yasal meslek örgütü olup T.C. Anayasası'nın 122. maddesinde belirtildiği üzere kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur. Yeraltı ve yerüstü doğal kaynaklarımızın ülkemiz ve halkımızın çıkarları doğrultusunda değerlendirilmesine katkıda bulunmak, Maden Jeolojisi, Petrol Jeolojisi, Mühendislik Jeolojisi, Denizaltı Jeolojisi, Hidrojeoloji, Kentleşme ve çeşitli mühendislik hizmetlerinde mesleğin etkinleştirilmesine ve üyelerinin yetki ve sorumluluklarının saptanması ve geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapmak, Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin gelişmesine katkıda bulunmak, birlikteliğin sağlanması görevini üstlenmek, Mesleğin gelişmesi ve tanıtılması ile ilgili teknik kongre, seminer, simpozyum, konferans ve sergiler düzenlemek, Jeoloji Mühendislerinin ekonomik - demokratik haklarını savunmak amacıyla çalışmalar yapmaktadır.

Kaya kütlelerinin davranışını önceden saptamak için geliştirilen jeomekanik sınıflama sistemi

45

Z. T. BIENIAWSKI  
Çeviren: GÜNGÖR UNAY

Bent temellerinde etkin (active) faylar

50

J. L. SHURARD  
L. S. CLUFF  
C. R. ALLEN  
Çeviren: MUSTAFA AKINCI

# Okurlarımıza

Ekim 1977 ayının en sürpriz haberlerinden biri kuşkusuz Mısır'dan ithal edilen 150,000 ton tuz ile ilgili olanıydı. Yüzeysel olarak bu durum şaşırtıcı gibi görünse de, sorunun özüne inildiğinde yanlış tuz politikasının doğal bir ürünü olduğu gözlenir.

Geniş bir kullanım alanı olan tuz, deniz, göl, kaya ve kaynak tuzlalarında üretilmektedir. Kullanım alanları başta kimya sanayiini olmak üzere, insan gıdası, hayvan gıdası, dericilik, zeytinlik, konservecilik, demir-çelik, tekstil, karayolları vb. içermektedir. Ülkemiz çok zengin tuz rezervlerine sahip olmasına karşın, yıllık gereksiniminin %20 si ithal edilmektedir.

Dışa bağımlı çarpık sanayileşmenin sonucu olarak, kazancı az, riski bol, yatırımı fazla olan sektörlerle el atan kamu kuruluşları özel sektöre ucuz ara malı ve girdi üretmektedir. Bunun örnekleri, Bakır, Alüminyum ve Demir-Çelik sanayilerinde açıkça görülmektedir. Tuz üretiminde de farklı bir durum yoktur. Ham tuzun tümüne yakın bir bölümünü üreten Tekel; 15 kr/kg gibi düşük bir fiyatla tuzu özel kuruluşlara ve tüccarlara devretmekte, bir-iki basit işlemden geçirilen tuz 30-40 kat fazla bir fiyatla tüketiciye ulaştırılmaktadır. İyi artılmamış bu tuzların bir kısmı halkımızın sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Tuz rezervlerimiz tam ve kesin olarak saptanmış değildir ancak gereksinmemizi rahatlıkla karşılayacak düzeyde olduğu da bir gerçektir. Tuz üretimindeki açığa neden olan bir etken çarpık sanayileşmenin düzensiz tuz istemidir. Bu nedenle üretim-tüketim dengesi kurulamamaktadır. Ayrıca tuzlardaki üretim çok ilkeldir, Osmanlı İmparatorluğu döneminde uygulanan yöntemler kullanılmaktadır. Çağdaş teknolojinin uygulanmasıyla hem bol, hem de ucuz tuz elde edilebilir. Bu gerçekler ortarda iken sorunu salt meteorolojik koşullara bağlamamız olanaksızdır.

Sorunun çözümü için, 3078 sayılı Yasa günün koşullarına göre değiştirilerek, tuzun yalnız üretimi değil dağıtımını ve denetimini de Tekel'e bırakılmalıdır. Ayrıca ülkemizdeki tuz kaynaklarının dağılımına göre yurt içi dağıtımını gerçekçi olarak düzenlenmeli, her ilin en yakın tuzladan tuz alması sağlanmalıdır. Bu tedbir sayesinde hem ulaşım giderleri asgariye indirilmiş hem de tüketicinin tuz ihtiyacının karşılanmasıdaki pürüzler ortadan kaldırılmış olacaktır.

Tuzun, Tekel tarafından doğrudan tüketiciye ulaştırılması bir amaç vurguncu, aracı ve karaborsacının haksız kazançlarını ortadan kaldırmaya yönelik bir tedbir olacaktır. Bu önlemlere temel olması bakımından tuz üretiminde çağdaş teknolojinin uygulanması, tuz yan ürünleri sanayiinin kurulması ve tuz politikasının halkımızın yararına ve ülke gerçeklerine göre düzenlenmesi gerekmektedir.

Saygılarımızla.

JEOLoJİ MÜHENDİSLİĞİ



# TÜRKİYE'DE TUZ SORUNU

ALİ UYGUN *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara*

## GİRİŞ

Şubat ayından bu yana gazete sütunlarında bu yıl tuz ithal edileceği konusunda gelişen haberler Mısır'dan 150 bin ton tuz ithal edilmesiyle gerçeklik kazanmıştır. Öte yandan tuz aramalarına önem verileceği ilk kez 1977 yılında hükümet programlarına kadar girmiştir. Mart ayında dünya tuz fiyatlarında görülen yükselme sonucu ton başına İngiltere'de kaya tuzu 10, Almanya'da vakum tuzu 36,50 Sterlin'e ulaşmıştır (Industrial Minerals, Nisan 1977). Bu durumda Türkiye'nin döviz yönünden darboğazlar çektiği şu dönemlerde taşıma ücreti de göz önüne alındığında 100 milyon TL. nin üzerinde bir ithal yapılacağı ortadadır. Zengin tuz yataklarına sahip bir ülke olan Türkiye'nin yıllar sonra tuz ithal etme durumuna gelmesinin nedenleri ile buna karşı kısa ve uzun vadede alınabilecek önlemler bu yazıda açıklamaya çalışılacaktır.

## TÜRKİYE'DE TUZ ÜRETİMİ

23.12.1936 tarih ve 3078 nolu yasa ile Türkiye'de tuz üretimi TEKEL'e verilmiştir. 1975 yılında ise 5881 ve 1318 sayılı yasalarla değişik 1. maddeye dayanılarak gerçek ve tüzel kişilere ihraç etmek ve kimyasal maddelerin üretiminde kullanmak koşuluyla tuzla işletme hakkı sağlanmıştır. TEKEL hâlen 4 ayrı kaynaktan tuz üretmektedir. DİE'nin geçici verilerine göre 1975 yılında üretimin kaynaklara dağılışı şöyledir:

Deniz tuzlası (Çamaltı - İzmir) . . . .	421,638 t
Göl tuzlaları (Tuz Gölü - Yavşan - Kaldırım - Kayacık) . . . . . , ,	168,007 t
Kaya tuzları (Çankırı - Gülşehir - Tepesidelik - Kağızman - Tuzluca)	44,813 t
Kaynak tuzlaları (39 muhtelif tuzla)	44,409 t
<b>Toplam</b>	<b>678,948 t</b>

Buna karşılık 1976 yılı üretimi toplam 575.717 ton olmuştur.

Öte yandan Mersin'de kurulan bir özel şirket soda üretiminde kullanılmak üzere yeraltından yılda 280,000 ton dolayında tuz üretmektedir. 1975 yılında dünya tuz üretimi 150 - 160 milyon ton dolayındadır ve Türkiye'nin payı %1'in dahi altındadır.

Türkiye'de tuz üretimi oldukça basit teknoloji ile gerçekleştirilmektedir. Çamaltı'nda üretilen tuz denizden çekilen suyun havuzlarda buharlaştırılması ile kazanılmaktadır. Bu tuzlada yapılan yeni yatırımlarla üretimin 1980 de 1 milyon ton/yıl'ın üzerine çıkarılması plânlanmıştır. Tuz gölü'nden yapılan üretim yazın buharlaşan göl suyunun oluşturduğu kabuğun kazanmasıyla gerçekleştirilir. Gölün batısında kıyıda yapılmış toplam 1.200.000 m<sup>2</sup> alanındaki havuzda ise 1977 yılında üretime geçilmiştir. Bunlardan yılda 200.000 ton dolayında bir tuz üretimi yapılabilecektir. Bununla birlikte gölden yapılan üretim iklim koşullarından fazlasıyla etkilenmektedir.

Kaynak tuzları tuzlu kaynak sularının yaz aylarında havuzlarda buharlaştırılması yöntemiyle çalışan küçük ve verimsiz işletmelerdir. Kaya tuzları ise hâlen çok demode yöntemlerle yeraltı maden işletmesi olarak çalışmaktadırlar. Bunlar personel ve malzeme yönünden çok yetersiz durumdadırlar.

TEKEL ayrıca İzmir'de sofrta ve mutfak tuzu üretmektedir. Şereflikoçhisar'da yılda 30.000 ton rafine tuz üretecek bir tesis ihaleye çıkarılmıştır. Biri İzmir diğeri Aksaray (Niğde) de kurulu iki özel firma ise yılda 80.000 ton dolayında rafine ve iyotlu tuz elde etmektedirler. Ayrıca Cihanbeyli, Kulu ve Şereflikoçhisar'da göl tuzunu yıkayıp öğütürerek satan küçük işletmeler mevcuttur.

M.T.A. Enstitüsü TEKEL'in başvurusu üzerine 1976 yılında Tuz Gölü ve havzasının tuz potansiyeli ve yeni üretim yöntemleri yönünden araştırılmasına başlamıştır. Ayrıca 1977 yılında Gülşehir, Çankırı ve Sekili (Yozgat) kaya tuzlarının rezerv etüdlerine geçilmiştir.

Bilindiği gibi tuz artık klâsik besin maddesi niteliğini yitirmektedir. Dünyada tuz kimya sa-

nağinin vazgeçilmez temel ürünüdür. A.B.D. de yaklaşık 14.000 kimyevî maddede tuz türevlerinin kullanıldığı saptanmıştır. Kullanım yerleri açısından tuz %67 ile kimya sanayii, %5 ile besin sanayii ve hayvancılık, %15 ile karayolları tuz denetimi, %3 ile sofrta tuzu ve %10 ile diğeri endüstri kollarına dağılmaktadır.

Türkiye'deki başlıca kullanım alanları ise insan ve hayvan gıdası, dericilik zeytincilik, konservecilik, kara yolları, kimya ve petrokimya sanayii gibi kesimlerde dir. Özellikle kimya sanayii'nde tuz gereksinimi artış göstermekle birlikte talebin önümüzdeki yıllarda hangi boyutlara ulaşacağı konusunda sağlıklı veriler yoktur. Ayrıca Türkiye'de tuzdan türeyen kimyasal bileşiklere üreten bir sanayii olmadığından bu ürünlerin ithalatı yüksek boyutlara erişmiş, 1975 yılında 500 milyon Türk lirasını aşmıştır.

Dünya tuz ticaretinde Türkiye'nin pek etkin olduğu söylenemez, 1964 de 167 bin ton ile doruğuna ulaşan ihracat 1967 yılında Süveyş kanalının kapanması ile son bulmuştur. İhracat Japonya'ya yapılmakta idi. Dünyada başlıca ithalatçı ülkeler Japonya'nın yanısıra A.B.D., Belçika, İsveç ve Kanada'dır. Orta Doğu'daki ülkelerin pekçoğu da gereksinimlerini öz kaynaklarından sağladıklarından Türkiye'nin pek fazla ihracat potansiyeline sahip olduğu söylenemez.

## TÜRKİYE'NİN TUZ POTANSİYETİ

Dünyada tuzun en önemli kaynağı deniz suyudur. Özellikle Akdeniz gibi yüksek oranda tuzlu bir denize kıyısı olan Türkiye'nin bu alanda geniş bir potansiyeli mevcuttur. Ancak yeni kıyı tuzlarının yapımı oldukça pahalıdır. Buna karşılık Tuz Gölü %30-35 oranında tuz içeren suyu ile çok büyük bir kaynaktır. Gölde teorik olarak yılda 8 cm kalınlığında bir kabuğun oluştuğu 1200 m<sup>2</sup> lik tuz bölgesinde 200 milyon ton dolayında bir rezerv mevcuttur. (M.T.A., Tuz Gölü havzası, Ön Çalışma Raporu, 1976). Ancak D.S.İ. tarafından açılan ve Konya ovasının fazla sularını buraya veren kanal gölde suyun çekilişini ve dolayısı ile üretimi güçleştirmektedir. Bu nedenle 1969 yılından beri göl tümüyle kurumamaktadır.

Kaya tuzları da çok büyük rezervlere sahiptirler. Yılda toplam 45 bin ton tuz üretebi-



len 6 kaya tuzlasının (Çankırı, Gülşehir, Sekili, Tepesidelik, Kağızman, Tuzluca) tahmini rezervleri 270 milyon ton dolayındadır. (M.T.A., Türkiye tuz envanteri 1977). Öte yandan M.T.A. ve T.P.A.O. nun petrol aramalarında Tuz Gölü havzası, Adana havzası, Erzincan, Sivas'da kalın tuz katman veya domlarına rastlanılmıştır. Dipten Frash yöntemiyle (su sirkülasyonu) bu bölgelerde tuz üretimini gerçekleştirmek güç değildir.

### TUZ DAR BOĞAZINI DOĞURAN NEDENLER

Yukarıda belirtildiği gibi yüksek bir tuz potansiyeline sahip olan Türkiye'de tuz dar boğazına girilmesinin çeşitli nedenleri vardır. Başta üretimde plan hedeflerinin gerisinde kalınmış olması gelmektedir. III. Beş Yıllık Plânda 1975 yılında 958 bin ton tuz üretimi planlanmış iken gerçekleşen miktar sadece 679 bin tondur. Çamaltı tuzlasının tevsii gecikmektedir. Tuz Gölü'nde gerek Konya ovasından gelen kanalın etkisi, gerekse meteorolojik faktörlerin olumsuzluğu (fazla yağış) üretimi düşürmüştür. Bu yıl ise gölde su çekilmesi daha da geciktiğinden üretimin 1976 daki gibi düşük olacağı açıktır. Maliyetler üretim azlığı yüzünden artmış, satış fiyatı 15 krs/kg iken maliyet 40-45 hatta 100 krs/kg'a varmıştır.

Basit yöntemlerle çalışan kaya ve kaynak tuzları verimsiz işletmelerdir. Buralarda maliyet çok daha yüksek boyutlara erişmektedir. Ancak Türkiye'de dar boğazı doğuran en önemli neden belkide sanayileşme sürecine giren ülkede endüstrinin tuz talebinin artmasıdır. Bu faktörün önümüzdeki yıllarda gittikçe etkinlik kazanması beklenmelidir.

### TUZ SORUNUNA KARŞI ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Kısa vadede alınabilecek önlemler azdır ve başta belirtildiği gibi 1977 yılı içinde ithalata gidilmektedir. Büyük olasılıkla 1978 yılı için de aynı durumla karşı karşıya gelinecektir. İç kaynaklardan özellikle kaya tuzlarında az da olsa üretimi artırıcı önlemlere gidilebilir. Bu işletmelerin başlıca gereksinimleri modern makinelerdir. Kısa zamanda bunlar sağlanırsa, kaya tuzlarında üretim bir veya iki kat artırılabilir.

Öte yandan bu tuzlaların ürettiği tuzun yine aynı bölgede tüketilmesi iç piyasadaki dengeyi kurmak açısından sağlanmalıdır.

Tuz sorununa en gerçekçi çözüm uzun vadede alınacak önlemlerle getirilebilecektir. Üretimde büyük artış Tuz Gölü ve havzasından sağlanabilir. Burada göl kenarında havuzlamanın yanı sıra, gölün bir bölümünün doğal havuz haline getirilmesi, başta düşünülmesi gereken yöntemlerdir.

Kaya tuzlarından Çankırı ve Tuzluca'da yüksek düzeyde üretime geçilmesi TEKEL'ce planlanmıştır. Diğer tuzalarda da gerekirse açık işletmeye de geçilerek üretim artırılabilir. Buna karşılık hem az tuz üreten, hemde yüksek maliyete ulaşan kaynak tuzlarının verimsizleri kapatılmalıdır. Çeşitli sanayii kuruluşlarının gereksinimine göre belirli yörelerde dipten tuz üretimi gerçekleştirilebilir.

Burada üzerinde durulması gerekli bir konuda tuz yan ürünleridir. Özellikle Çamaltı tuzlasında denize dökülen artıklarla, yaz sonunda Tuz Gölü'nde buharlaşıp yoğunlaşan göl suyu zengin miktarlarda Mg, K, Br, Li gibi elementlerin tuzlarını içermektedirler. Bu türden kimyasal maddelerin çoğu ülkeye ithalat yoluyla sağlanmaktadır. Ayrıca Türkiye'de doğal olarak soda, sodyum sülfat gibi tuzlara sahip göller de mevcuttur. Bu doğal kaynaklardan yararlanılması mutlaka gereklidir.

Uzun vadede üzerinde durulabilecek bir konuda TEKEL'in yerine kimya sanayiinin temel gereksinimlerini karşılayacak yeni bir üretici kuruluşudur. İleride çıkabilecek sorunları çözmek için ilgili devlet kuruluşları ve endüstri kollarının kısa zamanda tuz konusuna eğilmeleri yararlı olacaktır. Ayrıca alınacak önlemlerin, yeni bir üretici kuruluşun gerekliliği ve bu konularla ilgili yasal sorunlar şimdiden tartışmaya açılmalıdır.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Industrial Minerals, April 1977, European salt-2. Consumption and Trade, s. 33-37.
- M.T.A. Enstitüsü, 1976, Tuz Gölü Havzası etüd ve aramaları fizibilite araştırması, Cilt I: Ön Çalışma Raporu, yayınlanmamış.
- M.T.A. Enstitüsü, 1977, Türkiye Tuz Envanteri, No. 164, 78 s., ANKARA.

# LÜJYON BASINÇLI SU DENEYLERİNİN YORUMLANMASINA ÖZGÜ BİR ÖRNEK:

## Fırat-Gölköy

## Bent Yeri Deneme Enjeksiyonu

YILMAZ GÜNAY

*E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara*

**ÖZ:** A. C. Housby'nin önerdiği yöntem bent yerlerindeki deneme enjeksiyonu çalışmalarını değerlendirmek için kullanılmakta olup artan ve eksilen basınçlarda yapılan beş deneyin herbiri için lüjyon değerinin hesaplanması, yorumlanmasını ve temsili lüjyon değerinin seçimini kapsamaktadır. Bu yazıda, Fırat-Gölköy bent yerindeki deneme enjeksiyonu için yapılan basınçlı su deneyleri Housby'nin önerdiği biçimde değerlendirilerek lüjyon değerleri hesaplanmış ve sonuçlar örneğine göre yorumlanarak uygun geçirimsizlik değerlerinin seçilmesine çalışılmıştır. Ayrıca bu geçirimsizlik değerlerini veren etkenler araştırılmıştır.

**ZUSAMMENFASSUNG:** Die von A. C. Housby vorgeschlagene Methode verwendet man bei den Staudämmen für die Auswertung von Probe-Injektionen diese Methode umfasst die Errechnung der Lugeon Werte, ihre Auswertung, Berechnung und Auswählung der für alle fünf Versuche, die unter steigenden und sinkenden drück durchgeführt sind. In diesem Vortrag wird versucht die beim Fırat - Gölköy Staudamm für Probe Injektion unter Druck durchgeführten Wasser - Versuche nach der von Housby vorgeschlagenen Methode auszuwerten, die Lugeon Werte zu bestimmen und nach der Ergebnissen die passenden Permeabilität zahlen zu wählen, dazu werden noch die Faktoren von Permeabilität werte untersucht.

## GİRİŞ

Bent yerinde yapılan deneme enjeksiyonu ve basınçlı su deneylerinin lüjyon (Lugeon) klasik değerlendirmesi daha önce yapılmış ve sonuçlar yayınlanmıştı. Bu amaçla enjeksiyon ve kontrol kuyularında yapılan toplam 758 adet basınçlı su deneyinin lüjyon eğrileri çizilerek her kademe için temsili lüjyon değerleri bulunmuştu. Bir de Houlby'nin önerisine uyularak değerlendirme yapılmasının hem elde edilen sonuçları karşılaştırmak, hem de sağlanacak yeni verileri pratikte uygulama olanağı bulmak yönünden yararlı olacağı düşünülerek böyle bir çalışmaya gidilmiştir.

## BENT YERİ JEOLojİSİ

Burada Fırat-Gölköy bent aksı ve dolayında bulunan jeolojik birimler kısaca anlatılacaktır. Bent yeri yakınında bulunmayan ve enjeksiyonla ilgili olmayan diğer formasyonların anlatılmasına gerek duyulmamıştır.

Aşağıdaki jeolojik bilgiler, Y. Ural'ın bent yeri jeolojisi ile ilgili raporundan (1977) derlenmiştir.

Paleozoyik, Gündoğdu Formasyonu (Sg) olarak adlanan, genellikle kara, gürümüş yüzeyleri boz, kurşuni, taze yüzeyleri siyahımsı, zeytin yeşili, çok gevrek, şistoziteye paralel yarılmalı, az mikalı ve yer yer karbonat arakatlı camurtaşı, seyiden oluşmuştur. Seyiller bol Graptolitli olup paleontolojik tayinlerden yaşının Gotlandiyen olduğu saptanmıştır. Gündoğdu Formasyonu geçirimsiz tabanı oluşturur ve bent yerinin hemen güneyinde enjeksiyon perdesinin bağlanabileceği bir konumda bulunur.

Mesozoyik, bent yerinde Kuru Formasyonu (Kk) olarak adlanan ve kireçtaşı ile dolotaşından oluşan birimle başlar. Enjeksiyon kuyularının tamamı bu formasyonda açılmıştır. Açık boz renkli, ince taneli, oldukça sert, orta, kalın katmanlıdır. Arada ince katmanlı killi şeyl ve marn düzeyleri bulunur. Kireçtaşı ile dolotaşının ayırdığı sağlıklı değildir. Aradaki şeyller yumuşaklığı ve uğradığı baskı ile ezik haldedir. Kalınlığı 340 m. olarak verilmiştir. Yaşı Alt Kretasedir.

Kuru Formasyonu üzerine dolotaşından oluşan Hanek Dolotaşı (Kh) gelir. Fakat bent yerinde dokanaklar faylı ve bindirmeli olduğundan bu birim görülmez. Dolotaşının üzerinde Aktaş Formasyonu (Ka) bulunur. Bu formasyon kireçtaşından oluşmuştur. Alt kısımlar açık boz, kalın katmanlı, sert, dayanımlı, erimeli, yüzeyde daha aşırı erimelidir. Bunun üzerinde ise Beski Kireçtaşı (Kb) bulunur. Laminalı, gürümeye yüzeyleri saz rengi, taze yüzeyleri koyu boz, ince dokulu, sık eklemli, killi kireçtaşı, siliksitli kireçtaşı, kiltası, miltasından oluşmuştur. Tatlı topoğrafya sunuşu arazide kolay tanınmasını sağlar.

Siluriyen yaşlı Gündoğdu Formasyonu ile Kretase gökelleri arasında açılal diskordans vardır. Senomaniyen yaşlı Hanek Dolotaşı ile Albiyen yaşlı Kuru Formasyonu arasında ve Hanek Dolotaşı ile Santoniyen yaşlı Aktaş Formasyonu arasında paralel diskordans vardır. Beski Kireçtaşının altındaki Aktaş Formasyonu ile dokanağı konkordanslıdır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Kenar Kıvrım Kuşağında yer alan bent yeri ve dolayı, Kretase ve Tersiyer sonunda olmak üzere iki tektonik olaydan etkinmiştir. Kretase sonunda oluşan şiddetli kompresyonel kuvvetlerin etkisiyle bindirmeler teşekkül etmiş, Tersiyer sonundaki tektonik hareketler de karışık kenar kıvrımlarını oluşturmuştur.

## FIRAT-GÖLKÖY BENT YERİNDE UYGULANAN DENEME ENJEKSİYONU YÖNTEMİ

Fırat-Gölköy bent aksında ve Fırat nehri kıyısında, sağ sahilde E-1 deneme üçgeni, sol sahilde E-2 deneme üçgeninde uygulanan enjeksiyon yöntemine göre, önce bir kenarın uzunluğu 6 m. olan eşkenar üçgenlerin merkezlerindeki (kenarorta dikmelerinin kesim noktası) E.K-1-I ve E.K-2-1 no-lu kontrol kuyuları devamlı karot alınarak delinmiş, 2 m. de bir basınçlı su deneyi yapılarak 100 m. ye tamamlanmıştır. Kontrol kuyularının delinmesi tamamlanınca ağızına kadar ince kumla doldurulmuş ve ardından eşkenar üçgenin köşelerindeki deliklerin açılmasına geçilmiştir. Bu deliklerde de de-

vamlı karot alınmış, 2 m. de bir basınçlı su deneyi ve ardından enjeksiyon yapılarak 100 m. ye kadar açılan bu kuyularda yukarıdan aşağı kademe yöntemi uygulanmıştır. Üçgenin köşelerindeki kuyuların enjeksiyonu tamamlandıca ortadaki kontrol kuyularındaki kum ve çimento tesir eden yerler karot alınarak temizlenmiş, bütün kuyuda çift lastik takımla 2 m. de bir basınçlı su deneyleri tekrarlanmıştır.

Bu deneyler değerlendirilerek lüjyon birimleri hesaplanmış, su kaçağının fazla olduğu görüldükçe eşkenar üçgenlerin kenarortalarındaki ara deliklerin enjeksiyonuna geçilmiştir. Bu arada kontrol kuyuları tekrar ağzına kadar temiz kumla doldurulmuştur. Kenarorta kuyularının tamamlanmasından sonra kontrol kuyularında yapılan basınçlı su deneyleriyle enjeksiyonun başarı derecesi denetlenmeye çalışılmıştır.

Bir kademeden enjeksiyonuna 4/1 su/çimento oranlı ince karışımla başlanmış, basınçta bir yükselme olmazsa sırasıyla 2/1 ve 1/1 oranındaki karışımlara geçilmiştir. Bütün su/çimento enjeksiyonlarında çimento ağırlığının %3-5'i oranında bentonit kullanılmıştır.

#### Enjeksiyon basıncı

$P$  (atmosfer) = Kademe ortasının kuyu ağzına olan uzaklığı (m.)  $\times$  0.33 formülüne göre uygulanmıştır. Kademedeki istenen basınç tutuktan sonra kuyuya giden karışımın giderek azalması beklenmiş, bir metreye bir dakikada 2 lt. veya daha az karışım gitmesi halinde 20 dakika beklenerek o kademeden refü olduğu kabul edilmiştir.

### LÜJYON BASINÇLI SU DENEYLERİNİN YORUMLAMASINDA GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Houlsby, geliştirdiği yöntemi makalesinde kısaca şöyle açıklamaktadır:

1 — Herbiri on dakika devam etmek üzere birbirini izleyen beş adet basınçlı su deneyi yapılır;

Birinci on dakikada düşük basınç uygulanır. (a basıncı)

İkinci on dakikada orta basınç uygulanır. (b basıncı)

Üçüncü on dakikada yüksek basınç uygulanır. (c basıncı)

Dördüncü on dakikada orta basınç uygulanır. (d=b basıncı)

Beşinci on dakikada düşük basınç uygulanır. (e=a basıncı)

2 — Aşağıdaki formül kullanılarak bes deneyin herbiri için bir lüjyon değeri hesaplanır:

Lüjyon birimi =

$$\frac{\text{deneyde kuyuya giden su (litre)} \times 10 \text{ (atmosfer)}}{\text{deney zam. (10 dak.)} \times \text{Kademe uzunl. (m)} \times \text{Deney basıncı}}$$

3 — Sonuçlar incelenir, karşılaştırılır ve bes lüjyon değerinden hangisinin temsili geçirimsizlik olarak alınacağı kararlaştırılır.

Fırat-Gölköy bent yerindeki basınçlı su deneylerinde a basıncı 3 atm., b basıncı 6 atm., c basıncı 10 atm., d basıncı 6 atm., e basıncı 3 atm. olarak uygulanmıştır. Tablo: 1'de beş değer çeşitli örneklere dayanılarak yorumları gösterilmektedir. Her örneğin dikkatlice incelenmesi sonucu seçilen lüjyon değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bu yöntemden anlaşılacağı üzere sonuçlar 10 atmosfer basınç kullanıldığında elde edilecek değerlere çevirmektedir. Basınçlarla ilişki kurulurken doğru orantılı olarak düşünülür. Bu, akım laminer olduğunda geçerlidir. Beş deney için oldukça değişik lüjyon değerleri elde edildiğinde akımın laminer olmadığı, diğer bazı etmenlerin bulunduğu anlaşılır. Bu etmenler Tablo: 1'de görüldüğü gibi şu şekilde yorumlanır:

#### A — Grubu: Laminer Akım

Beş deneyden elde edilen lüjyon değerleri hemen hemen aynı miktarda ise bu laminer akımdır.

Deney kademesi için beş değerlerin ortalaması (en yakın tam sayı) temsili geçirimsizlik olarak alınır.

TABLO:1-Deney sırasında cesitli durumlardaki lüjyon örneklerinin yorumları ve yüzdeleri

örnek kademe	deney zamanı	deney basıncı (atm.)		deneyde kuyuya giden su (litre)	lüjyon dağeri		lüjyon örneği yaklaşık ölçekte genelleştirilmiş örnek	örneğin özelliği ve yorumu	gerçek geçirimsizlik olarak kullanılması gereken lüjyon değeri	her gruptaki gerçek durum yüzdesi	
		Okunan	İstenen		Ölçülen	Kademe				1,2,3 veya 4 lüjyon	4 ve daha fazla lüjyon
E. K-1-1 80.00-82.00	10'	3	3	0	0	0		kuyuya hiç su gitmemiştir veya çok az kaçak vardır.	lüjyon değeri 0 veya 1 lüjyondan küçüktür.		% 34
	10'	6	6	0	0	0					
	10'	10	10	2	0	0					
	10'	6	6	1	0	0					
	10'	3	3	0	0	0		geçirimsiz			
E. K-1-1 90.00-92.00	10'	3	2	1070	267	267?		basınc istenen değere yükselmiyor geçirimsizlik fazla pompa kapasitesi dışında	kademe için temsili bir lüjyon değeri genelleştirilemez.		% 7
	-	-	-	-	-	-					
	-	-	-	-	-	-					
E. K-1-1 76.00-78.00	10'	3	3	26	4,3	4		beş lüjyon değerinin hepsi eşittir	beş lüjyon değerinin ortalaması kullanılır.	% 4	% 5
	10'	6	6	50	4,2	4					
	10'	10	10	78	4	6					
	10'	6	6	56	4,7	6					
	10'	3	3	22	3,7	3					
E. 1-2 36.00-38.00	10'	3	3	75	12,5	6		en yüksek basınçta düşük lüjyon değeri vermiştir.	en yüksek basınçtaki lüjyon değeri kullanılır.	% 2	% 21
	10'	6	6	100	83	6					
	10'	10	10	115	5,8	6					
	10'	6	6	95	8	6					
	10'	3	3	70	11,6	2		çalkantılı akım	en düşük (veya orta) basınçtaki lüjyon değeri kullanılır.	% 8	% 4
E. K-1-1 30.00-32.00	10'	3	3	10	17	2		yüksek basınçta yüksek lüjyon değeri vermiştir.	en yüksek (veya orta) basınçtaki lüjyon değeri kullanılır.	% 1	% 7
	10'	6	6	75	6,2	2					
	10'	10	10	100	9	2		basıncıla açma deney ilerledikçe lüjyon değerleri artmıştır.	en yüksek lüjyon değeri kullanılır.		
	10'	6	6	70	5,8	17					
	10'	3	3	16	2,5	17		yalnızca açma	genellikle son lüjyon değeri kullanılır.	% 3	% 4
E. K-1-1 18.00-20.00	10'	3	3	20	3,3	18		deney ilerledikçe lüjyon değerleri artmıştır.	genellikle son lüjyon değeri kullanılır.		
	10'	6	6	65	5,4	18					
	10'	10	10	215	10,8	18		yalnızca açma deney ilerledikçe lüjyon değerleri düşmüştür.	genellikle son lüjyon değeri kullanılır.		
	10'	6	6	150	12,5	18					
	10'	3	3	100	16,7	18		yalnızca açma deney ilerledikçe lüjyon değerleri düşmüştür.	genellikle son lüjyon değeri kullanılır.		
E. K-1-1 98.00-100.00	10'	3	3	270	4,5	18		deney ilerledikçe lüjyon değerleri düşmüştür.	genellikle son lüjyon değeri kullanılır.	% 3	% 4
	10'	6	6	445	37,1	18					
	10'	10	10	420	21	18					
	10'	6	6	230	19,1	18					
	10'	3	3	110	18,3	18		boşluk doldurma			

#### B — Grubu: Çalkantılı Akım

“c” yüksek basıncı için hesaplanan lüjyon değeri iki orta basınç deneyi için hesaplanandan daha azsa ve düşük basınç değerleri eşitse akım çalkantılı olarak sınıflandırılır.

Çalkantılı akım niteliğindeki deney kademesinde temsili lüjyon değeri, yüksek basınç için hesaplanan değerdir.

#### C — Grubu: Basınçla Açma

“c” yüksek basıncı için bulunan lüjyon değeri iki düşük basınç deneyi için bulunan değerlerden daha büyük ve iki düşük basınçta eşit değerler verdiği zaman kaya kütesinin geçici bir genişmesi (açılması) söz konusudur. Yüksek basınçta yüksek değer, kırıkların açılması ve deney suyuyla kırıklardaki malzemenin sıkıştırılması sonucu olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

Kademe için temsili lüjyon değeri en düşük basınçlardan veya düşük basınçlardan az olduğu taktirde orta basınçlardan elde edilen değerdir.

#### D — Grubu: Yıkama

Yüksek basınç uygulandıktan sonra yüksek basınç öncesi değerlere bir dönüş olmazsa beş lüjyon değerindeki artışlar eklem dolgu gerecinin sürekli yıkanıp götürüldüğünü veya deney nedeniyle sürekli kaya hareketlerinin oluşmakta olduğu biçiminde yorumlanır. Bu durumun fazlaca olması, deney basınçlarının çok yüksek tutulduğunu gösteren bir belirteçtir.

Kademe için seçilen değer genellikle son kademede ölçülen lüjyon değeridir.

#### E — Grubu: Boşlukların Doldurulması

Beş basınç kademesindeki değerlerde giderek düşme, suyun yarı duyarsız olan boşlukları, eklemleri yavaş yavaş doldurmakta olduğunu gösteren bir kanıt olarak yorumlanır.

Temsili değer, son kademede elde edilen değerdir. Bununla beraber mümkünse genişletilmiş bir deney tavsiye edilir. Bu deneyde bütün boşluklar doluncaya kadar okumaya başlanmaz.

Beş deney grubunun kapsamı dışında kalan basınçlı su deneyleri iki ana grupta toplanmıştır. Birincisi, hiç su alışı olmayan veya önemsenmeyecek kadar az alışı yapan geçirimsiz kademeler, ikincisi ise pompanın su yetiştirememesi nedeniyle fazla su kaçağı olan geçirimli kademelerdir. Geçirimsiz kademeler için lüjyon birimi 1 lüjyondan küçük olup “o” lüjyon alınmıştır. Pompa kapasitesi dışındaki kademeler için bir lüjyon değeri vermek genellikle olanaksızdır. Formüle göre hesaplanan tek lüjyon değeri kademe için geçirimsizlik ölçüsü olarak yazılırsa da bunun gerçek geçirimsizliği temsil etmeyeceği ortadadır.

### FIRAT-GÖLKÖY BENT YERİNDE YAPILAN BASINÇLI SU DENEYLERİ VE SONUÇLARININ YORUMU

Bent yerinde yapılan basınçlı su deneyleri ve elde edilen sonuçlar değerlendirilirken göz-önüne alınması gereken birkaç noktayı vurgulamak yerinde olacaktır. Burada önemli bir etmen basınçlı su deneylerinin enjeksiyonla birlikte yürütülmesidir. Bu nedenle, değerlerin bakir bir sahada yapılan deneylere kıyasla bazı farklılıklar göstermesi olağandır. Tablo: 2 ve Tablo: 3'te bu durum açıkça görülmektedir. E.K-1-1 ve E. K-2-1 kuyularındaki lüjyon değerleri, hiç enjeksiyon yapılmadan elde edilen sonuçlar olması yönüyle buldukları yeri en iyi belirten güvenilir değerlerdir.

Üçgenlerin köşelerindeki kuyulardan alınan sonuçlar ikinci derecede duyarlıdır. Bu kuyularda su deneyleri ile enjeksiyon birlikte yürütülmüştür. Üçgenlerin kenarortalarındaki kuyulardan alınan sonuçlar bir çeşit enjeksiyonu kontrol deneyi niteliğindedir. Çünkü bu kuyular açılmadan her iki üçgende de birinci aşama enjeksiyonlar tamamlanmış, diğer bir deyimle kırıklar ve su kaçak yerleri kısmen çimento ile doldurulmuş bulunmaktaydı. Zaten kontrol kuyusundan alınan sonuçlara göre fazla kaçak görülmüş ve kenarorta kuyularının açılmasına gerek duyulmuştur. Durum özetlenirse; E-1 ve E-2 üçgenlerindeki lüjyon değerlerinin giderek azalması enjeksiyon yönteminin bir sonucudur.

TABLO: 2 - Fırat-Gölköy Bentleri E-1 deneme enjeksiyonu üçgenindeki kuyularda deney sayısı ve deney yüzdeleri

Kuyu no	Kontrol kuyusu		E-1 üçgeninin köse kuyuları						E-12 E-13 E-14 Toplamı			E-1 üçgeninin kenarorta kuyuları						E-1 Deneme üçgeni TOPLAMI					
	E. K-1-1		E. 1-2		E. 1-3		E. 1-4		E. 1-3 Toplamı		E. 1-4		E. 1-5		E. 1-6		E. 1-7		E. 1-5 E. 1-6 E. 1-7 Toplamı		E-1 Deneme üçgeni TOPLAMI		
	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	Deney sayısı	Toplam%	
Geçirimsiz <1 lüjyon	4	9	2	4	8	17	3	6	13	9	1	3	2	7	20	10	11	27	10				
Pompa kapasitesi dışında	4	9	8	17	9	19	17	36	34	24	2	4	4	14	13	10	11	48	17				
<u>1 2 ve 3 lüjyon</u>		%		%		%		%		%		%		%		%							
A Grubu-laminer akım	1	25	-	-	-	-	-	-	-	-	2	29	1	50	-	3	25	4	11				
B Grubu-çalkantılı akım	1	25	-	-	5	62	3	43	8	42	-	-	-	-	-	-	-	9	26				
C Grubu-basınçla açma	1	25	2	50	1	13	4	57	7	37	2	29	1	50	2	66	5	42	6	13	37	5	
D Grubu-yıkama	1	25	-	-	-	-	-	-	-	-	1	13	-	-	-	-	-	1	8	1	2	6	
E Grubu-boşluk doldurma	-	-	2	50	2	25	4	100	4	21	2	25	7	100	3	33	3	23	3	7	20	3	
Toplamlar	4	100	4	100	8	100	7	100	19	100	7	100	2	100	3	100	12	100	35	100			
<u>4 veya daha fazla lüjyon</u>		%		%		%		%		%		%		%		%							
A Grubu-laminer akım	3	10	6	18	1	5	2	14	10	13	7	10	4	24	1	5	7	12	8	20	12	7	
B Grubu-çalkantılı akım	16	51	24	73	15	65	11	53	50	65	34	13	65	9	48	5	28	17	27	47	31	93	56
C Grubu-basınçla açma	-	-	2	6	4	-	2	9	4	52	3	15	10	-	-	5	33	17	8	16	9	12	7
D Grubu-yıkama	7	22	1	3	2	5	22	10	7	9	5	3	5	26	3	17	10	9	17	10	23	14	9
E Grubu-boşluk doldurma	5	17	-	-	2	8	4	13	6	8	4	5	3	4	3	17	10	5	8	6	16	9	6
Toplamlar	31	100	33	100	23	100	21	100	77	100	20	100	19	100	17	100	56	100	164	100			
GENEL TOPLAM	43	100	47	100	48	100	48	100	143	100	30	100	27	100	31	100	88	100	274	100			

TABLO:3 - Fırat Gölköy Bentleri E-2 deneme enjeksiyonu üçgenindeki kuyularda deney sayısı ve deney yüzdeleri:

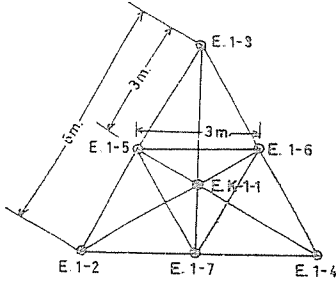
Kuyu no:	Kontrol kuyusu		E-2 üçgeninin köşe kuyuları				E-2-3 Toplamı				E-2 üçgeninin kenarorta kuyuları				E-2-5 Toplamı		E-2 Deneme üçgeni TOPLAMI		
	E. K-2-1		E. 2-2		E. 2-3		E. 2-4		E. 2-3 Toplamı		E. 2-4		E. 2-5		E. 2-6		E. 2-7		
	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	Deney Sayısı	Toplam%	
Geçirimsiz <1 lüjyon	18	37	27	55	23	50	23	48	73	52	30	76	25	80	24	75	77	170	58
Pompa kapasitesi dışında	-		1	2	1	2	1	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	3	1
1 2 ve 3 lüjyon		%		%		%		%		%		%		%		%			%
A Grubu-laminer akım	6	60	4	40	8	43	4	31	14	38	-	-	-	-	1	16	1	21	36
B Grubu-çalkantılı akım	-	-	-	-	2	14	1	8	3	8	2	40	-	-	-	-	2	5	9
C Grubu-basınçla açma	2	20	5	50	10	36	6	46	16	43	3	60	1	100	3	50	7	25	42
D Grubu-yıkama	1	10	1	10	2	-	-	-	1	3	-	-	-	-	1	17	3	3	5
E Grubu-boşluk doldurma	1	10	-	-	2	7	2	15	3	8	-	-	-	-	1	17	3	5	8
Toplamlar	10	100	10	100	14	100	13	100	37	100	5	100	6	100	6	100	12	59	100
4 veya daha fazla lüjyon		%		%		%		%		%		%		%		%			%
A Grubu-laminer akım	1	5	3	27	6	25	1	9	6	20	-	-	-	-	-	-	-	7	11
B Grubu-çalkantılı akım	8	40	7	64	15	25	5	46	14	47	2	50	2	40	1	50	5	27	44
C Grubu-basınçla açma	3	15	1	9	2	25	1	9	4	13	1	25	2	40	-	-	3	10	17
D Grubu-yıkama	6	30	-	-	2	25	4	36	6	20	-	-	-	-	-	-	-	12	19
E Grubu-boşluk doldurma	2	10	-	-	5	25	5	36	6	20	1	25	3	20	1	50	3	5	9
Toplamlar	20	100	11	100	8	100	11	100	30	100	4	100	5	100	2	100	11	61	100
GENEL TOPLAM	48	100	49	100	46	100	48	100	143	100	39	100	31	100	32	100	102	293	100



Sağ ve sol sahil jeolojik yönden bazı farklılıklar göstermektedir. E-1 ve E-2 deneme üçgenlerindeki kuyular aynı formasyonda açıldıkları halde farklı fizik özellikler göstermelerinin nedeni yerel yapı özelliklerine bağlanmalıdır. Bent yerinde sağ sahil, tektonik etkilerden sol sahile nazaran daha fazla etkinmiştir. Sağ ve sol sahilde her iki deneme üçgeni, mansabında bulunan bindirme (şaryaj) düzlemine yakın olmasına rağmen açılan kuyular bu düzlemi kesmemiştir. Derinlere inildikçe hiç olmazsa şaryajın paralanma zonuna girilebileceği ve şerbet alışlarının artabileceği aklı gelmişse de böyle bir durumla karşılaşmamıştır. Bu durumlar gözönüne alınarak heriki üçgenin değerlendirilmesi ayrı ayrı yapılmıştır (Şekil 1, 2).

#### FIRAT GÖLKÖY BENTYERİ

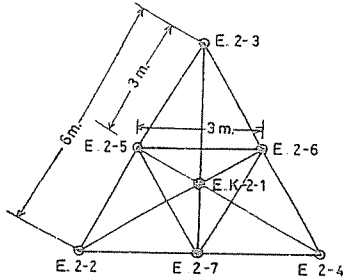
##### SAĞ SAHİL E-1 DENEME ENJEKSİYONU ÜÇGENİ



E-1 deneme üçgeninde  
harcanan katı madde

a) Çimento :	42 632 kg
b) Bentonit :	1 271 kg.
<b>Toplam :</b>	<b>43 903 kg</b>

##### SOL SAHİL E-2 DENEME ENJEKSİYONU ÜÇGENİ



E 2 deneme üçgeninde  
harcanan katı madde

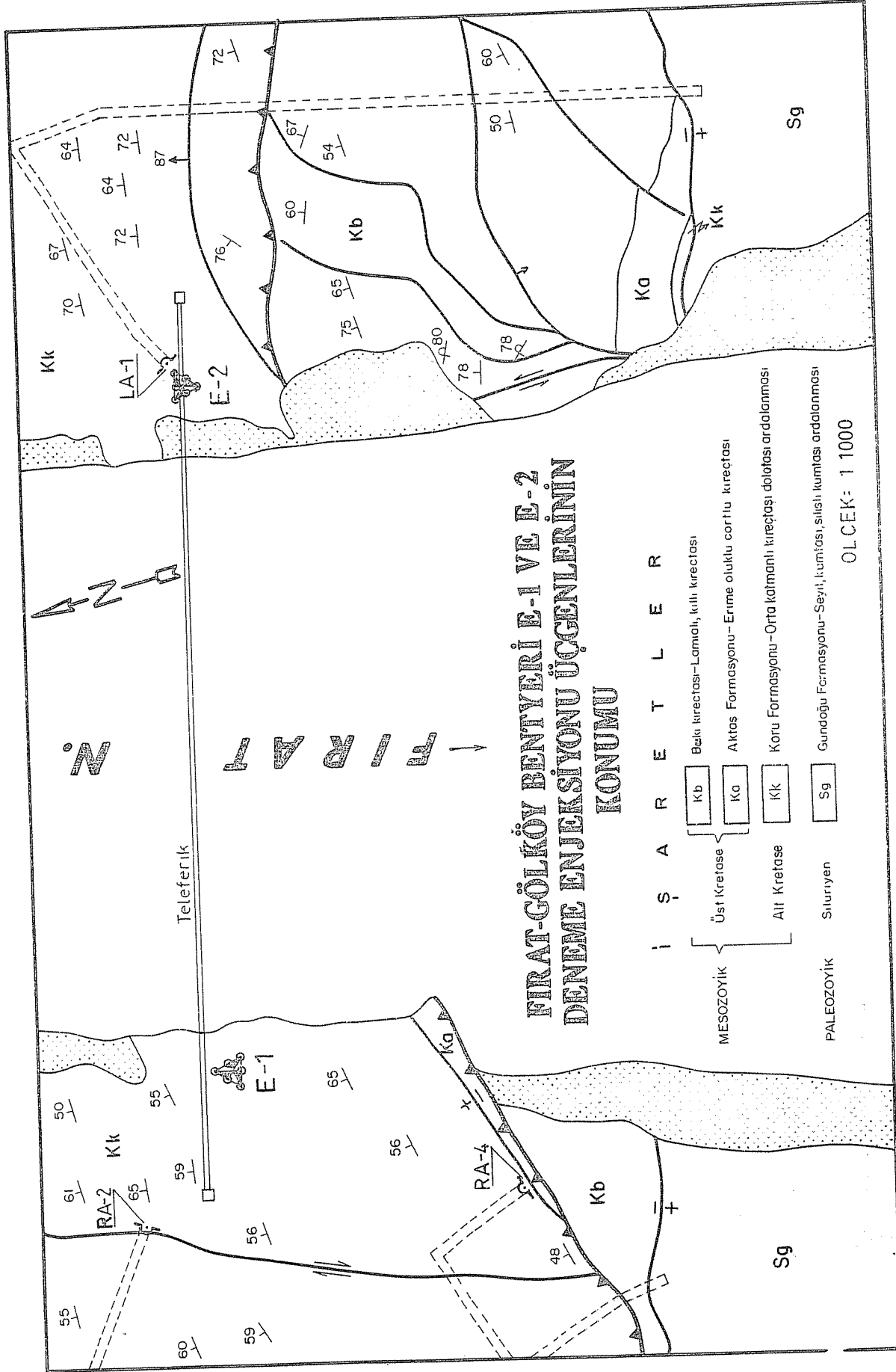
a) Çimento :	24 947 kg
b) Bentonit :	919 kg.
<b>Toplam :</b>	<b>25 866 kg.</b>

Şekil 1: Fırat - Gököy bentyeri E-1 ve E-2 deneme enjeksiyonu üçgenleri.

E-1 üçgenindeki (Tablo: 2) E.K-1-1 kuyusundan alınan sonuçlara göre; 4 lüjyondan fazla geçirimli kademe sayısı %92'dir. Bu, oldukça fazla kaçağı ve enjeksiyonun gerekliliğini gösterir. Burada en fazla çalkantılı akım, yıkama ve boşluk doldurma niteliğindeki kaçaqlar vardır. Üçgenin köşe kuyularındaki durum kontrol kuyusunun benzeridir. Bir değişiklik, yıkama ve boşluk doldurma azalırken pompa kapasitesi dışında su kaçağının fazlalaşmasıdır. Enjeksiyon yapılırken küçük kırıkların çimento ile dolması, yıkanabilen ve boşlukların doldurulması şeklinde görülen kademelerin azalması sonucunu doğurmuştur. Üçgenin kenarorta kuyularından elde edilen sonuçlar da köşe kuyularınıninkine yakındır.

Houlsby'ye göre bir deney kademesinde genellikle çeşitli boyutta birçok kırık bulunur. Küçük kırıklar laminer akımı, geniş çatlaklar çalkantılı akımı oluşturur. Toplam etkinin bu iki tip akımın karışımından oluşması doğaldır. Bu nedendir ki E-1 üçgeninde laminer akım sayısı çok azalmıştır. 4 ve daha fazla lüjyon değerlerinde çalkantılı akımın egemen olduğu görülmüştür.

E-2 üçgeninde alınan sonuçlar (Tablo: 3), E-1 üçgenine göre bazı farklılıklar göstermektedir. Bu üçgende ilk göze çarpan özellik geçirimsiz kademelerin fazlalığıdır. O kadar ki, ilk açılan E.K-2-1 kuyusunda bile kademelerin %32 sinde su kaçağı yoktur. Bu durum giderek artmakta, üçgenin köşelerindeki kuyularda %52 yi, kenarorta kuyularında %75 i bulmaktadır. E.K-2-1 kuyusundaki alışların 1, 2 ve 3 lüjyon olduğu yerlerde laminer akımın, 4 ve daha fazla olduğu yerlerde çalkantılı akımın egemen olduğu dikkati çeker. Fakat üçgenin köşe noktalarında ve kenarortalarındaki kuyularda alışların 1, 2 ve 3 lüjyon olduğu yerlerde enjeksiyon nedeniyle laminer akım azalmakta, enjeksiyonla kapanan kırıkların basınçla açılarak bir miktar su aldığı anlaşılmaktadır. Bu üçgende kayda değer bir nokta da pompa kapasitesi dışında, fazla geçirimli olan kademelerin azlığıdır. Bunlar üçgenin köşe kuyularında ve her kuyuda birer adet olmak üzere üç tanedir. E.2-4 kuyusunda 66.00-68.00 m. arasındaki kademede pompa kapasitesi dışında su kaçağı saptanmış ve burada



Şekil 2: Fırat - Gölköy bentyeri E-1 ve E-2 deneme enjektasyonu üçgenlerinin konumu.

yapılan enjeksiyonda kademeye toplam 14.5 ton katı madde verilmiştir. En çok çimento harcanan kademe budur. Şaryaj hattına yakın 87° ile kuzeye eğimli fayın olasılıkla bu seviyelerde E-2 üçgenini keseceği düşünülünüşse de karotlarda fay breşi ve ezilme zonlarına rastlanmamıştır. Ancak bu seviyelerde kil dolgulu, parçalı ve kalsitli zonlar tesbit edilmiştir. Bunlara bakarak yakın olan şaryaj ve fay düzlemlerinin geliştirdiği ufak karstik boşluklarla bağlantılı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Lüjyon eğrileri çizilerek yapılan değerlendirmede su kaçakları genellikle laminer akım niteliğinde yorumlanmıştır. Çalkantılı akım eğrisine çok az rastlanmıştır. Bu yeni yöntemle çoğunlukta olan laminer akım içindeki (laminer akım olarak yorumlanan) çalkantılı akım ayırtlanarak tersine bir durum ortaya çıkmış ve çalkantılı akımın egemen olduğu görülmüştür. Küçük kırıkların laminer akım, geniş kırıkların çalkantılı akım oluşturması nedeniyle toplam etki bu iki akımın karışımından oluşmuş ve çalkantılı akım 4 veya daha fazla lüjyon değeri elde edilen kademelerde yoğunluk kazanmıştır. Kanımızca bu yazıda yapılan değerlendirme, lüjyon eğrileri çizilerek yapılan değerlendirmeye göre daha ayrıntılı sonuçlar vermiştir. Lüjyon değerleri birkaç lüjyon birimi farklılık gösteriyorsa da farklı gruplandırmaya giren değerler toplam değerlerin %5 i oranındadır. Bu durum, uygulanan yöntemin lüjyon eğrileri çizilerek alınan değerler kadar hassas sonuç verdiğini belirler.

İki yöntemin değerleri arasındaki %5 farkın nedeni, lüjyon eğrileri çizilirken yeraltısuyu tablasının ve borulardaki yük kayıplarının göz önüne alınmasıdır. Houlby, bu etkenleri kendi yönteminde kullanmamakta, yük kayıplarının bir düzeltme gerektirmediği ve su tablasının sathta düşünülebileceği kanısındadır. Sondaj suyuyla beraber basınçlı su deneyleri yeraltısuyu besler ve deneyden önce sathta olmayan su tablası kısa zamanda sathta yükselir. E-1 ve E-2 üçgenlerinin bulunduğu düzey Fırat nehrinden ancak 4-5 m. kadar yüksektir.

## BASINÇLI SU DENEYİ SONUÇLARININ ENJEKSİYON SONUÇLARIYLA DENEŞTİRİLMESİ

Fırat-Gölköy bent yerinde yapılan deneme enjeksiyonu için önceden hazırlanmış bir yönergeyle enjeksiyonda uygulanacak yöntem, basınç ve karışım oranları verilmiş, bu veriler basınçlı su deneylerinden alınan sonuçlar ne olursa olsun olduğu gibi uygulanmıştır. Belirli su kayıplarına göre karışım oranlarında, enjeksiyon basıncında veya kullanılan dolgu malzemesinde bir değişiklik yapılmamıştır. Burada, karşılaşılan durumlar değerlendirilerek ileride uygulanacak geçirimsizlik perdesi için nelerin gözetilmesi gerektiği üzerinde durulacaktır.

Genellikle 1, 2 ve 3 lüjyon değerlerinde laminer akım egemendi. Bazı yazarlar laminer akımın kayadaki eklemlerde taneli malzemenin varlığını gösterdiğini, bu nedenle bir miktar kimyasal enjeksiyon gerekeceğini belirtmektedirler. Houlby ise taneli malzemenin bulunamadığı ince kırıklarda da laminer akıma rastlandığını ve ince karışımlara dönülmeden çimento enjeksiyonu ve kırıklarda açılma yapmayan orta basınçta enjekte edilebileceğini söylemektedir. 1, 2 ve 3 lüjyon değeri veren temellerin enjeksiyonu gereksiz görülmektedir. Fakat düşük lüjyon değeri veren kademelerin duraylı karışımla orta basınçta enjekte edilmesinde yarar vardır. Bent yerinde lüjyon değeri düşük birkaç kademede 4/1 oranlı karışım yerine daha ince olan 10/1 oranlı karışım denenmiş, hacim olarak bir miktar fazla alış olmasına karşılık katı madde alısında azalma görülmüştür.

Basınçla açmaya (c grubu) çok az rastlanmıştır. Yıkama (D grubu), Houlby'nin örneğinde olduğu gibi geçirimsizlik 4 lüjyonu geçtiğinde önemli ölçüde çoğalmıştır. Boşluk doldurma (E grubu) niteliğindeki kademeler de çok azdır.

Deneme enjeksiyonu sırasında basınç yükselmeyen kademelerde katı madde alışları sanılan aksine az olmuştur. Her ne kadar diğer gruplarla kıyaslanınca doğal olarak bir fazlalık göze çarparsa da su kaçağına göre oldukça azdır. Bunun nedeni olarak çimento içindeki iri taneler gösterilmiştir. Mardin Çimento Fabrika-

si'ndan alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucu incelik yönünden standartlara uygun olduğu, fakat iş yerinden alınan örnekler üzerinde yapılan elek analizlerinde tanelerin iri olduğu saptanmıştır.

E.K-1-1 kuyusunda enjeksiyondan önce 4 lüjyondan fazla değer veren kademe oranı %81 iken enjeksiyondan sonra bu %44 e düşürülmüştür. Bu durumda sağ sahil E-1 üçgeninde yapılan enjeksiyon başarı sağlayamamıştır. Perde enjeksiyonu sırasında bu sahilde daha etkin önlemlerin alınması gerekir. Houlby, enjeksiyona rağmen 7-10 lüjyon su kaçağı görülen temellere iki veya üç sıralı enjeksiyon perdesi önermektedir. Fırat-Gölköy bent yeri sağ sahili için iki sıralı ve ardalanmalı enjeksiyon perdesi yapılması yerinde olacaktır.

E.K-2-1 kuyusunda 4 lüjyondan fazla değer veren kademe oranı %41 den %17 ye düşürül-

müştür ki; zaten daha az geçirimli olan sol sahilde enjeksiyonun başarı derecesi aynıdır. Kaçak durumuna bakarak tek sıralı enjeksiyon perdesi yeterli görülebilirse de bindirme ve diğer formasyonları keseceği gözönüne alınarak perde iki sıralı planlanabilir. Ayrıca bent yerinde enjeksiyon perdesinin özel bir konumu vardır. Bent Kuru Formasyonu üzerinde yapılırsa perdenin geçirimsiz Siluriyen şistlerine bağlanabilmesi için enjeksiyon deliklerinin güneye eğimli açılması gerekir. Bu durumda deneme enjeksiyonunda karşılaşılmayan yeni jeolojik etmenler olarak sol sahilde Aktaş Fm. ile Beski Kireçtaşı ve her iki sahilde bindirme ile fay düzlemleri enjeksiyon programında gözetilmelidir. Beski Kireçtaşının kırıklı olmasına karşın geçirimsizliği daha azdır. Aktaş Formasyonu daha masif ve erimeli olduğu yönle daha geçirimlidir. Fay ve bindirme etkisiyle oldukça paralanmış bu zonalarda enjeksiyonun özenle yapılması gerekir.

#### KAYNAKLAR

- Altuğ, Saydun (1971) Lüjyon Basıncı Su Deneyi - Teori ve Pratik - E.İ.E. yayını, no: 71-31.
- Ertunç, Aziz (1971) Yerinde permeabilite ölçümünde başlıca metodlar. E.İ.E. yayını, no: 71-35.
- Ertunç, Aziz (1976) Fırat-Gölköy bendi gölalanı geçirimsizliğinin ve yer kaymalarının jeoloji incelenmesi. Doktora tezi. E.İ.E. yayını, no: 76-24.

- Cünay, Yılmaz (1977) Fırat-Gölköy bent yeri deneme enjeksiyonu sonuç raporu E.İ.E. yayını, no: 77-42
- Houlby, A. C. (1976) Routine interpretation of the lugeon water test. The Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol 9, no: 4 (Lujyon basınçlı su deneylerinin yorumlanmasında geliştirilen bir yöntem. Çeviren: Güngör Unay)

# BALYA MADENİ CİVARININ JEOLJİSİ

ZEKİ AKYOL Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

**ÖZ:** İnceleme alanında yabancı bloklar halinde Paleozoyik, Mezozoyik ve Tersiyer yaşlı formasyonlar vardır.

Magmatik faaliyet yaygın olup, Tersiyer volkanitleri ile temsil edilmiştir.

Balya cevher yatakları, kireçtaşı blokları ile dasitin dokanak zonunda yerleşmiş olup, ayrıca kireçtaşı eklemlerinde de izlenebilir.

Tektonik ile doğrudan ilişkili olan cevher yataklarının araştırılmasında, sondajlı çalışmalarda, 40-60 m. aralıklı sondajlar yapılması zorunludur.

Saha ve tektonik incelemeler, Balya maden potansiyelinin oldukça fazla olduğu kanısını uyandırmıştır.

**ABSTRACT:** In the area of study, Paleozoic, Mesozoic, and Tertiary formations are present in the form of exotic blocks.

Magmatic activity is widespread throughout the area and represented by volcanic rocks of tertiary age.

Balya ore deposits are placed in the contact zone of dacite and limestone blocks and they can also be observed in the joints of the limestone formation.

In the research of the ore deposits which are closely related to tectonic activity, 40 to 60 m spaced drill holes are necessary in works associated with drilling.

Tectonic and field studies give the impression that ore potential of Balya area is quite high.

## GİRİŞ

Çok eski çağlardan beri bilinen Balya madeni, modern işletmeye 1880 - 1935 yılları arasında bir Fransız şirketinin çalışmasıyla geçilmiş, şirket 1935 yılında sahayı terketmiştir. Daha sonra birtakım çalışmalar yapan, çeşitli kuruluşların soruna kesin çözüm bulamadan ayrılmaları, çevre halkının ümidini madene bağlamasından dolayı, halkı psikolojik açıdan etkilemiştir.

Bu nedenle, M.T.A. olarak, Balya maden problemi kesin sonuca ulaştırılmak üzere tekrar ele alınmıştır.

Bu gaye için çalışmalar sırasıyla;

1/25.000, 1/10.000, 1/5.000 ve 1/2.000 ölçekli detay jeoloji, hava fotoğraflarından da yararlanılarak yapılmıştır.

Yeni jeolojik görüşlerin ışığında yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir.

## STRATİGRAFİ

Bölgenin en yaşlı litoloji topluluğu, Paleozoyik'i temsil eden Permiyen yaşlı kireçtaşlarıdır. Bu kireçtaşları havzada yabancı bloklar şeklinde bulunmaktadır (Şekil: 1-3).

Mezozoyik, Üst Triyas yaşlı kiltası, miltası, kumtaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanması ile; Tersiyer genellikle volkanitlerle simgelenmiştir.

### P a l e o z o y i k

#### Permiyen kireçtaşları

İvrindi, Balya, Manyas gölü hattı içinde ve doğusunda bulunan Permiyen ve Permo-Karbonifer yaş veren kireçtaşları bloklar şeklindedir (E. Arpat, E. Bingöl, N. Özgül 1972 karşılıklı konuşma).

Ancak, çalışma alanımız içinde bulunan kireçtaşı blokları Permiyen (Neumayr 1887, Bukowski 1892, Aygen 1956, Akyol 1973) yaş veren fosilleri içermektedir.

Kireçtaşı bloklarının havzaya gelişi iki fazlı düşünülmektedir:

a) Üst Triyas yaşlı kiltası - miltası - kumtaşı - kumlukireçtaşı ardalanması içinde bulunan kireçtaşı blokları,

b) Üst Triyas yaşlı tavan (regresif) çakıltaşının oluşumundan sonra Üst Triyas çökeltileri üzerine allokton örtü (şaryaj örtüsü) şeklinde gelen kireçtaşları.

Kireçtaşı blokları ile allokton örtü kireçtaşları arasında Üst Triyas tavan çakıltaşı bulunmaktadır.

Üst Triyas yaşlı formasyonlar içinde bulunan kireçtaşı blokları, gerek sondajlı ve gerekse saha çalışmalarıyla saptanmıştır.

Permiyen kireçtaşı bloklu, fosilli, Balya civarında Üst Triyas yaşlı olduğu saptanan formasyon; (Bingöl, Korkmazer, Akyürek 1973) tarafından "Karakaya formasyonu" olarak isimlendirilmiş ve Alt Triyas yaşlı olarak düşünülmüştür.

Kireçtaşı blokları üzerinde yapılan incelemelerde: masif, yer yer yeniden kristallenmiş (rekristalize), kireçtaşı bloklarının Üst Triyas formasyonlarına yakın dokanaklarında, olasılıkla dinamo metamorfizma sonucu kalsit billurlarının oluşturduğu mermer ve yarı mermer çakılları, breşik kireçtaşı parçaları saptanmıştır.

Sahada geniş yayılımı olan allokton örtü kireçtaşlarının hemen altı çoğunlukla tavan çakıltaşlarının üstünde; breşik, sonradan çimentolanmış durumdadır. Bol fosilli olan bu kireçtaşları, kriptolojiler halinde kalsit ayrıca içinde, gelişmiş kalsit damarları içermektedir.

Gerek kireçtaşı bloklarından ve gerekse allokton örtü kireçtaşlarından alınan örneklerin paleontolojik incelemesi sonucu:

Schwagerina sp., Pseudovermiporelia sp., Paraschwagerina sp., Codonofusiella sp., Schu- bertella sp. saptanmıştır.

Balya'nın güneyinde yapılan bir sondajla, Üst Triyas formasyonu içinde 208 metre derinlikte karşılaşılan bir kireçtaşı bloğundan alınan örnek şu Permiyen fosillerini içermektedir: Tubertina sp., Pacopsilina sp., Clomospira sp., Pachyphloia sp., Bradyna sp.

## MEZozoyİK

### Üst Triyas yaşlı formasyonlar

Balya'nın doğusunda ve güneyinde göstermelik (mostra) vermektedir. Alttan itibaren iki seviyeye ayrılmıştır (Şekil: 1-3).

- a) Kıltaşı - miltası - kumlukireçtaşı ardalanması
- b) Çakıltaşı
- a) Kıltaşı - miltası - kumtaşı - kumlukireçtaşı ardalanması:

Balya'nın civarında yayılımı oldukça geniştir. Bu ardalanma içinde ve üstünde Permien kireçtaşları bulunmaktadır. Bu seviyenin altı inceleme alanı içinde saptanamamıştır. Bu formasyonun, genel rengi: koyugri, yeşil, yer yer siyahımsı. Kıltaşı çoğunlukla siyaha yakın gri-mor renklidir. Kumtaşları gri renkli. Ardalanma ufak kıvrımlı, kıltaşları laminalı, gerilim çatlakları gelişmiş, hafif dinamo metamorfizma izleri görülmüştür. Sıkı çimento, çimento yer yer kireçli, kumlu, milli seviyelerde makrofosil izlenmiştir.

Bahçecik köyünün hemen güneyinden alınan kumtaşının mikroskop ile tetkiki: numune içindeki iri taneler taşın %45 ini, çimento ise %55 i bulmaktadır. İri taneler, (tane boyu, uzun eksen boyu 0.1 mm den büyük) monokristalin kuvars, şeyl, çört, magmatik kayac parçaları, miltası, ortoklas kırıntılarında oluşmaktadır. Taneler az yuvarlak, taş kötü boylanmıştır. Çimento ise (uzun eksen boyu 0.1 den küçük olan kırıntılar toplamı) yukarıda belirtilen iri tanelerin bileşimindeki ince zerrelerden oluşmaktadır. Karbonat çimentonun, taş içine sonradan (segonder) yerleşmesi hacim olarak %12 yi bulmaktadır. Çimentonun kapladığı hacim, kısmen çimento içinde kısmen de kuvvetli diyajenez ile meydana gelen yerine geçme (replasman) aralıklarında bulunmaktadır. Taş nisbeten derin bir denizde çökelmiştir.

Bahçecik köyünün hemen kuzeyinden aldığımız milli-killi numunenin mikroskop altındaki tetkiki şöyledir:

Milli-killi kireçtaşı: Taş içinde %15 oranında mil boyunda kuvars taneleri, mikritik karbonat kil ve çok ince serizit pullarından oluşan çimento (matriks) içinde serpilmiş halde görülmektedir. Ayrıca, taş içinde, yer yer yoğunlaşmış ve bazen çimentoya (matriks) dahil olup, %15 ini teşkil edecek miktarda diyajenetik büyümeyle bağlı olarak gelişmiş demir minerali kristalleri bulunur. Taş sakin bir ortamda çökelmiştir.

Balya'nın güneyinden aldığımız bir kumlu kireçtaşı numunesinin mikroskop altında incelemesi şöyledir:

Taş içindeki iri taneler (tane boyu 0.1 mm. den büyük olanlar) taşın %35 ini teşkil eder. Bunlar monokristalen kuvars, şist ve çörtten ibarettir. Çimento ise %65 i teşkil eder. Çimentonun (matriksin) içinde, taşın hacmine oranla %5 oranında iri taneler bileşimindeki küçük kırıntılar bulunur, (uzun eksen 0.1 mm. den küçük olan kırıntılar) çimentonun (matriksin) geri kalan kısmı, yani taşın hacim olarak %45 i mikrit, ve intraklastik karbonattan oluşur. İntraklastlar da mikritten oluşmaktadır. Ayrıca, taş içinde, taşın hacmine oranla %15 miktarda sparit çimento bulunur. İri tanelerin küreselliği ve yuvarlaklığı çok zayıftır. Taş kötü boylanmış ve duruma göre derin bir denizde meydana gelmiştir.

Fosillerin çoğu tayin edilememiştir. Bir sondajdan alınan fosil Halobia olarak saptanmıştır.

Balya'nın hemen doğusundan Aygen (1956) tarafından toplanan numunelerde

Halobia neumayri BİTTNER

Halobia rugosa BİTTNER

Halobia subcomula BİTTNER

Üst Triyas yaşlı olarak saptanmıştır.

### b) Çakıltaşı:

Bölgemizde Üst Triyas formasyonlarının üst seviyesi olarak düşünülen ve kalınlığı değişik olan bu çakıltaşları genellikle Permien kireçtaşlarının hemen altında mostra vermektedir. Çakıl taşları Triyas'ın çekilme (regresyon) artığı olarak düşünülmektedir. Bahçeler köyünün güneyinde, dere içinde çakıltaşlarında yapılan incelemede, Triyas'a ait miltası, kıltaşı, parçaları izlenmiştir. Çakıltaşları, Bahçeler köyünün doğu ve güneyinde, Kızıltepenin yamacında göstermelikleri (mostraları) izlenebilmektedir (Şekil: 1).

Çakıllarının, hava ile temas yüzlerinin rengi: alterasyondan dolayı sarı-kahverengi, yer yer gri, içerisinde bulunan çakıllar 0.8 mm. ile 1.5 cm. arasında değişmektedir. Çakılların petrografisi: mikrolin, pertitik büyüme gösteren ortoklos, albit, kuvars, boynuztaşı, yazıgraniti, kuvarsit, mikaşist, gnays parçalarıdır. Permiyen olarak düşündüğümüz kireçtaşı çakılları ortalama 4 cm. civarında büyüklüğe sahip, çok seyrek olarak görülmektedir. Bu kireçtaşı çakılları yer yer köşeli ve kakılmış hissini vermektedir. Hakim çakıl kuvars çakılıdır.

Çakılları ile Permiyen kireçtaşı dokanıkları, genellikle tektonik ezilmeli olup, arazinin değişik yerlerinden alınan örneklerin incelenmesinde; içinde buluna kireçtaşı çakıllarında, Fusillinidae fosil kırıkları izlenmiştir.

#### Senozoyik

Çalışma alanında, Senozoyik volkanitlerle temsil edilmiştir. (Bakınız Magmatizma bahsine) Sahanın yakın civarında Senozoyik yaşlı çökel kayaları boldur.

Kuvarterner çökelleri olarak: alüvyon çökelleri dar alanlarda, vadi içlerinde çakıl ve toprak örtüsü şeklindedir.

#### MAGMATİZMA

Magmatik faaliyet oldukça yoğundur. Sokulum (intürüzif) kayaları izlenememiştir. Volkanik kayalar vardır. Sahanın büyük bir kısmını kapsayan volkanik taşları: dasit, riyodasit, riyolit, andezittir. Volkanitler: dasit, andezit olarak jeoloji haritasında ayrılmış olup, dasitlerle riyolitleri (her iki taş türünde aşırı derecede altere olduklarından) sahada ayırma olanığı elde edilememiştir (Şekil: 1-3).

Balya ilçesinin oturduğu alanda, Darıdere si'nin güneyinde, volkanitler göstermelik (mostra) vermektedir. Sahanın dışında da yayılımı çok geniştir.

Volkanitler, Permiyen, Triyas ve çalışma alanı dışında kuzeyde, Jura-Alt Kretase formasyonlarını kestiği saptanmış olup, kesin olarak yaşlarını belirtir bir bulgu izlenememiştir. An-

cak bunların yaşının Tersiyer olduğu düşünül-  
mektedir. (Kaaden 1957, Aygen 1956, "Neojen  
yaşlı" olduğunu söyler. Mohr 1959 "volkanik faa-  
liyetin başlangıcı Orta Eosen ile Üst Miyosen  
yaşlıdır der"; Gjelsvik, 1962) Özellikle Bahçe-  
ler köyü ile Maden deresi arasında Üst Triyas  
formasyonlarını delerek çıkıp mostra verdiği  
saptanmıştır. Andezitler ise dasitlerden daha  
gençtir. Andezitler dasitleri kesmektedir. (Ay-  
gen 1956, Akyol 1973).

Volkanik faaliyetin KD-GB doğrultulu fay-  
lar ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

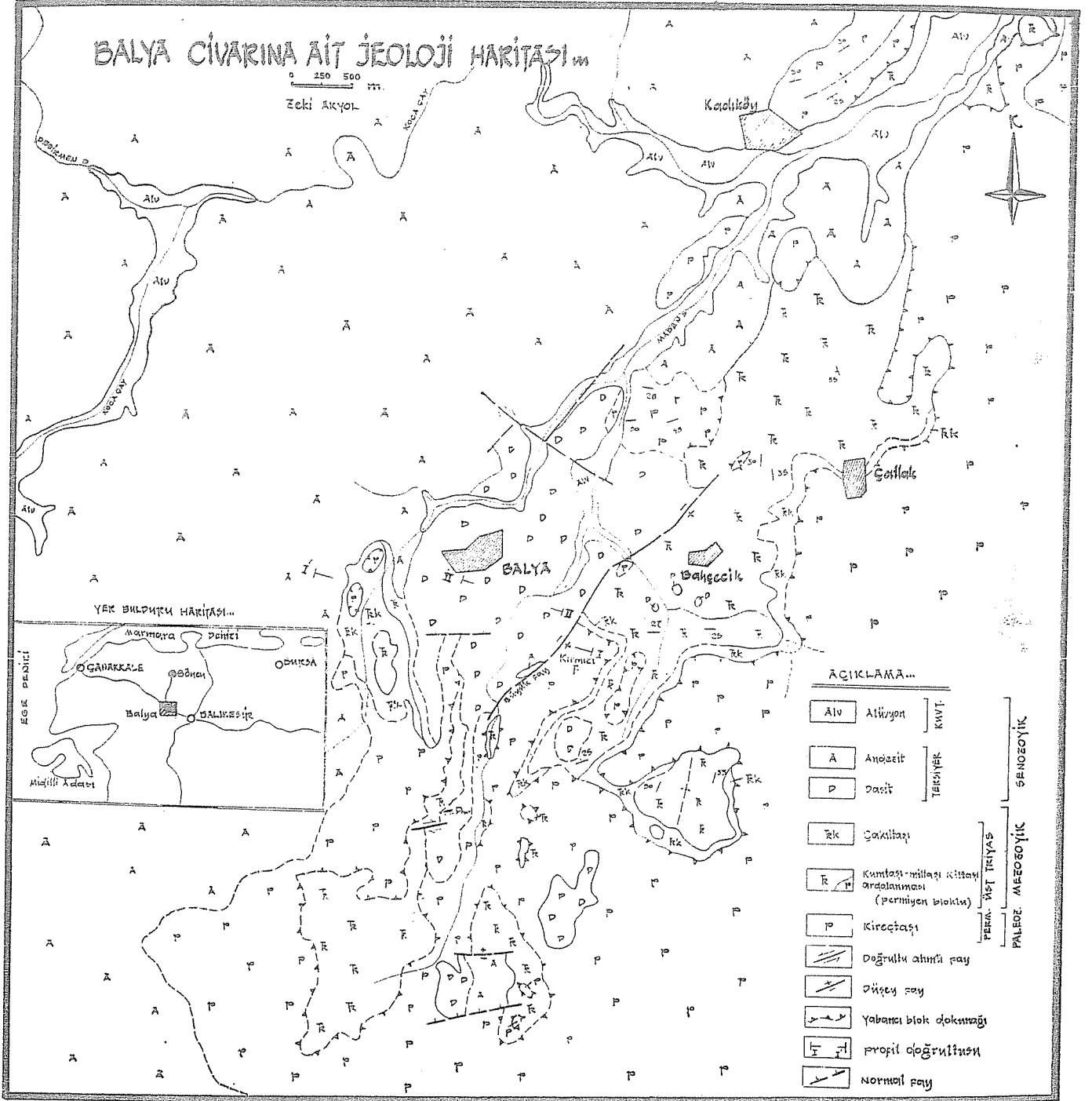
Dasitler: fazla alterasyona uğramış ve  
renkleri genellikle: alterasyondan dolayı, kahve-  
rengi ve kızılımsı kahverengidir. Yer yer silisleş-  
me, piritleşme ve kaolenleşme belirgindir. Ki-  
reçtaşlarını kestiği yerlerde ve dasitkireçtaşı  
dokanağında 1-3 m. arası değişen mermerleşme  
saptanmıştır. Kırmızı tepe civarında dasitleri  
kesen andezit daykları izlenmiştir.

Dasitlerden alınan örneklerin petrografik  
inceleme sonucu: feno ve mikrofeno-kristaller  
halinde kuvars, karbonatlaşma ve kil mineral-  
leşmesi gösteren oligoklas, tamamen opaklaşmış,  
kalsitleşmiş, hornblend kapsamakta olup, hamur  
(matriks): mikro oluşumlar halinde kuvars (kis-  
men hidrotermal oluşum) ve tamamen kil mine-  
rallerine dönüşmüş feldspat, camsı materyalden  
ibarettir. Gözle bakıldığında beyazımtrak, ay-  
rışmış dasitler gayet belirgindir. Otomorf ku-  
vars görülmektedir.

Balya ilçesinin kuzeyinde ve batısında geniş  
yayılımlı olan andezitler: gri ve koyu renkli, ha-  
va ile temas yüzü gri, porfirik, feldspat feno-  
kristallerini kompakt bir hamurun çevrelediği  
görülür (Şekil: 1).

Balya, batısından alınan andezit örneğinin  
petrografik incelemesi sonucu: feno ve mikrofeno-  
kristaller halinde hornblend ojit, zonlu büyü-  
me gösteren oligoklas kapsamakta olup, hamur  
(matriks): mikroçubuklar halinde plajioklas,  
hornblend, az biyotit, magnetit ve kristallenme  
gösteren camsı materyalden oluşur. Ayrıca ör-  
nek içinde çok az miktarda hidrotermal kuvars  
ve kalsitleşme saptanmıştır. Andezitler de ge-  
nellikle alterasyona uğramışlardır.





Şekil 1: Balya civarına ait jeoloji haritası.



Ayrışma gösteren riyolitten aldığımız petrografik inceleme sonucu: kil mineralleşmesi ve serizitleşme göstermekte ve mikrofeno kristaller halinde sanidin, kuvars, hematitleşme ve limonitleşmiş mafit kapsamakta olup hamur (matriks): mikro oluşumlar halinde kuvars (kısmen sekonder oluşumlu) serizitleşmiş ve kil minerallerine dönüşmüş feldspat ve camı malzemenen ibarettir.

## TEKTONİK

Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları Üst Triyas sedimantasyon havzası içinde gelişigüzel konumludur. Bunlar havza içine, havzada gelişen düşey blok hareketler sonucu çekim kaymaları ile geldiği ve bu işlemin tavan çakıltasının gelişme başlangıcına kadar devam ettiği düşünülmektedir. Diğer bir deyimle Tetisi etkilemiş olan gerilme kuvvetlerin (Bingöl 1973) meydana getirdiği çöküntü havzalarına gelen blokların, gerilim işlevinin son bulması ile Üst Triyasın sonlarına doğru yavaşladığı tavan çakıltasının çökme başlangıcı ile durduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu evrim içinde tektonik sınır belirgin değildir (Şekil: 1-3).

Üst Triyas denizinin çekilmesinden sonra, yabancı örtü (allokton örtü) kireçtaşları havzaya itilmişlerdir. Yabancı örtü kireçtaşlarının doğrultusu kuzeydoğu-güneybatı, itilmenin de doğu-güneydoğudan geldiği düşünülmektedir. Aygen 1956: "şaryaj", Mohr, 1958: "devrik kıvrım", Gjelsvik, 1958: "ters çevrilmiş kıvrım" der.

Yabancı örtü kireçtaşları genellikle Üst Triyasın tavan çakıltası üzerinde bulunmaktadır. Yabancı örtü kireçtaşlarının görüldüğü yer, Balya'nın bir kilometre kadar güneydoğu yönünde bulunan Kızıltepe'nin doğu yamacıdır. Burada yapılan incelemede, dokanakta tektonik ezilme, bresleşme belirgindir.

Diğer taraftan, Triyas çakıltaları içinde bulunan çakıllar incelendiğinde, bu çakılların iyi yuvarlanmış olduğunu, fakat Permiyen kireçtaşı çakıllarının ise, seyrek ve kireçtaşı-çakıltası dokanağından uzaklaştıkça azaldığını ve çakılların biresik görünümlü olduğunu saptadık. Bu da, Permiyen kireçtaşı çakıllarının sonradan tekto-

nik olarak konglomera içine kakılabileceği izlenimini vermektedir. Permiyen ve Üst Triyas dokanağı daima tektonik bir dokanaktır.

Üst Triyas formasyonlarında, ufarak kıvrımlar olağandır. Bilhassa Bahçeler köyü civarında yapılan incelemede bu durum izlenebilmektedir. Üst Triyas'ın çökmesinden sonra meydana gelen hareketlerle, Triyas öncesi hareketlerin çalışma alanında fazlasıyla karmaşıklık gösterdiği ve bu kıvrımlanmaları belirtir gerekli ölçülerin alınmadığı, ancak Üst Triyas formasyonlarının fazla kıvrımlı olduğu düşünülmektedir.

Tersiyerde gelişen magmatik faaliyet, volkanitlerin kırık zonlara yerleşmesi şeklinde düşünülmektedir.

## Faylar

Çeşitli kuvvetler etkisi altında kalan çalışma alanımızda çeşitli karakterde faylar saptanmıştır. Genel kırık hatları KD-GB doğrultuludur. Bu doğrultuya dik gelen ufak faylar izlenmiştir.

"Büyük fay" ismi verilen ve Kırmızı tepeden geçen fay, çalışma alanımız içindeki en büyük kırık zonedir. Bu fay, Permiyen kireçtaşı ve Üst Triyas çökelleri ile dasit ve andezitlerin dokanağında bulunmaktadır. Fay mostrasının üzerinde yapılan incelemelerde, yaşının dasitlerin yaşından eski olduğu düşünülmektedir. Zira dokanakta dasitlerde tektonik izler saptanmamıştır. Fakat kireçtaşlarında bresleşme görülmüştür. Bu fay mostrası üzerinde yapılan incelemede, fay düzleminin düşeye yakın olduğu saptanmıştır. Ancak derinlere doğru kuzeybatıya eğimli olduğu ve eğim derecesinin elli civarında bulunduğu düşünülmektedir (Şekil: 1).

Balya madeninin yerleşmesinde, bu fay ve bölgenin yapısal konumu ile doğrudan ilişkili olduğu ve sokulum kayacı şeklinde olan dasitlerin derinlerde daha asit olabilecek kayaçlarla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Diğer bir düşey fay da, Balya'nın hemen kuzeyinde ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanmaktadır. Bu fay, genç bir doğrultu atımlı fayla kesilmiştir.

## EKONOMİK JEOLJİSİ (1)

### Cevher yatakları

Balya madeninin cevherli göstermeliği (mostrası) yüzeyde izlenememiştir. Sahada geniş yayılımı olan dasitlerin ayrışmasıdır.

Eski işletmelere girip inceleme yapma olanağı yoktur. Sarısu isimli galerinin küçük bir bölümüne girip, kireçtaşı bloklarının çatlaklarında ve dokanakta az cevherleşme izlenebilmiştir. Ekonomik değeri yoktur.

Sahanın yapısal özellikleri, kireçtaşı bloklarının konumu ve dasitlerin sokulum şekli irdele-nerek bir bileşime gidildiğinde, bölge ekonomik cevher yatakları içeren bir potansiyele sahip olduğu yargısına varılmıştır.

Bu koşullar altında yapılan gözlem sondajları Balya'da şu tip cevher yataklarının varlığı düşünülmektedir:

- 1 — Damar tipi cevher yatakları
- 2 — Saçılmış (dissemine - emprenye) tip cevher yatakları
- 3 — Dokanak (kontakt) tipi cevher yatakları

#### 1 — Damar tipi cevher yatakları:

Bu tip cevherler, çoğunlukla Permiyen kireçtaşı bloklarının düzensiz eklem ve fay sistemleri ile dasitlerin eklemlerinde izlenebilmektedir. Bu tip cevherlerin uzanımları hakkında şimdilik bir bilgimiz yok. Ancak kalınlıkları mikroskop ölçüden birkaç metreye kadar çıktığı düşünülmektedir. Bu tip cevherleri, başlı başına ekonomik yatak olmayacağı düşünülmele birlikte, işletme sırasında ekonomik katkıda bulunabilirler (Şekil: 2).

Hidrotermal sıvılar, cevher çökelimi (kon-santrasyonu) için uygun olan zayıf zonlara yerleşmişlerdir. Dasit çatlaklarında görülen cevherleşme: realger, orpiment, galenit, sfalerit, pirit şeklindedir.

Kireçtaşı eklem ve faylarına yerleşen cevher ise: galenit, sfalerit, antimonit, pirit, realger ve orpimenttir.

Damarlar, içerdikleri minerallere görede kabaca üç kısma ayrılabilir. a) pirit damarları, b) piritli sfaleritli, galenitli, c) orpimentli, realgarlı damarlar; bir yerde de sfaleritli antimonit damarı izlenmiştir.

#### 2 — Saçılmış (dissemine - emprenye) tip cevher:

Bu tip cevherler altere dasit içinde çok az bulunmaktadır. Hiçbir ekonomik değeri olmadığı düşünülmektedir. Saçılmış olarak: pirit, galenit ve sfalerit izlenmiştir. Kovenko (1940) "porfirik cevher" olarak isimlendirmiştir.

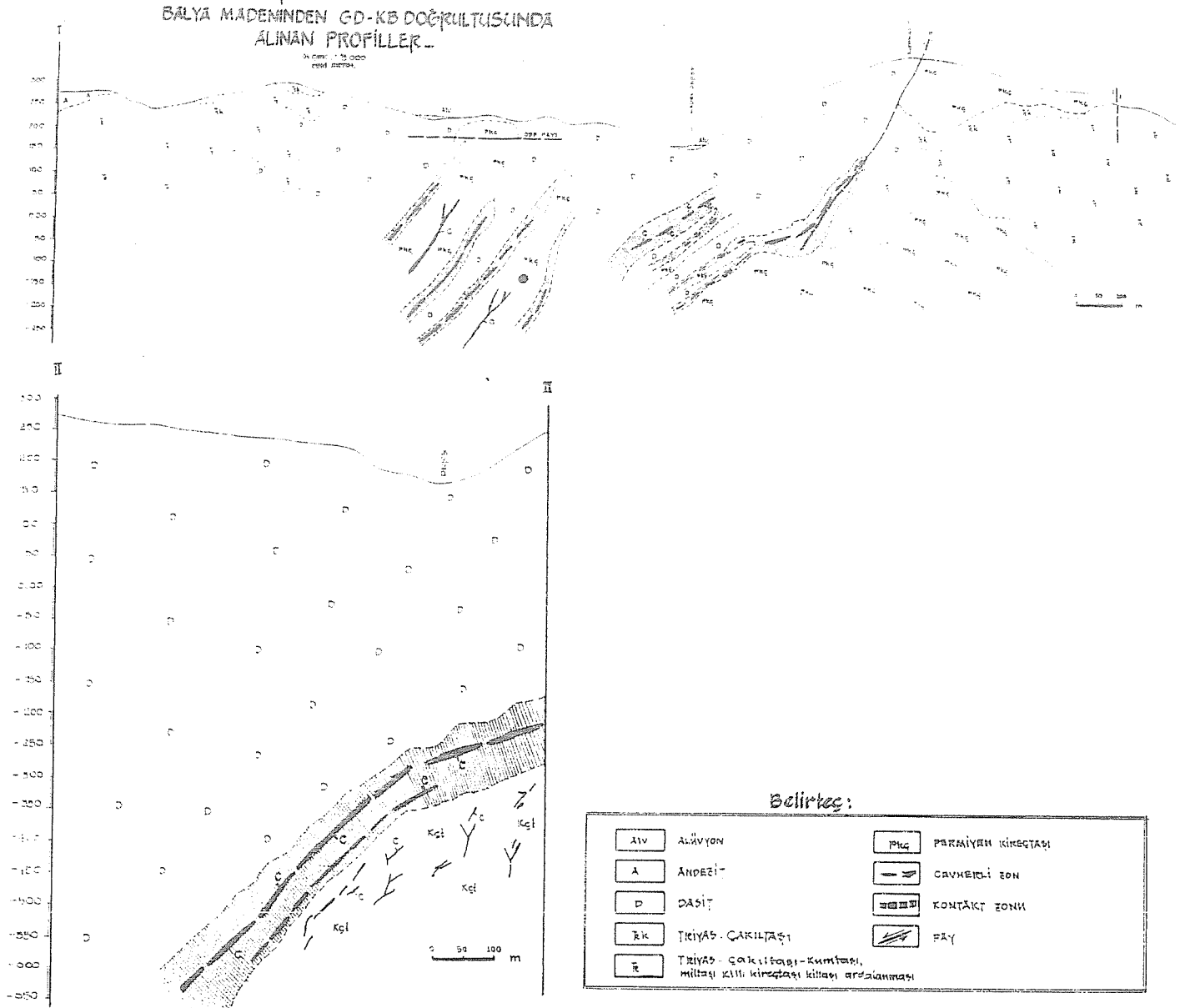
#### 3 — Dokanak (kontakt) tipi cevher:

Gerek eski işletmelerde yapılan çalışmalar ve gerekse bizim yaptığımız incelemeler sonucu, dokanak tipi Weiss (1901); Berg (1901); Kaaden (1957); Mohr (1959); Gjelsvik (1962); Coronini (1965); cevher yatakları Balya'nın ekonomik yatakları olabileceği kanısını uyandırmıştır. Bu tip cevherleşme görünürde dasit ile kireçtaşı blokları dokanaklarında bulunmaktadır. Ancak derinlere doğru asitik kayac sokulumu düşünülmektedir. Geniş anlamda asitik sokulum (intürüzif-girme) kayaları ile karbonatlı kayac dokanaklarında demek daha doğru olur kanısındayız. Zira geniş anlamda karbonatlı kayalar, silisli bir kayaya veya demiroksitlerinin ilavesiyle "skarn"a veya granatlı dokanak kayacına değiştiği düşünülmektedir. Cevherli dokanak zonlarında skarn mineralleri gelişmiştir (Şekil: 2).

Dokanak zonunda izlenebilen başlıca cevher mineralleri: Magnetit, pirit, pirotin, arsenopirit, kalkopirit, markazit, tetradrit, galenit ve sfalerittir.

Kontakt metazomatik (pirometazomatik - dokanak ornatma-değme ornatma) yataklar çoğunlukla sokulum kayacının, çevre kayaları ornatmaları yoluyla meydana gelmektedirler, (Singwald 1959). Yukarıda sayılan minerallerin bazı-

(1) Balya madeni ile ilgili ayrıntılı çalışmalar M.T.A. tarafından sürdürülmektedir. İlerde "Balya Madeni" isimli ayrıntılı bir yayın düşünülmektedir.



Şekil 2: Balya Madeninden GD—KB doğrultusunda alınan profiller.

ları yüksek sıcaklık mineralleridir. Bu varsayım-  
dan giderek, sahamız yakınında ve dışında gö-  
rülen genç granit veya granodiyoritleri de göz-  
önüne alarak dasitlerin altına asitik sokulum  
(intürüzyon) düşünülmektedir.

#### Dokanak zonuunun başlıca kayaçları

Granat-sillimonit hornfels, kuvars-albit-al-  
kali-feldspat-andaluzit hornfels, kuvars-albit-  
grossular-kalk-epidot-klorit-skarn, segonder  
olarak kalsitleşmiş-silisleşmiş kalk silikat skarn,

silisli dolomit skarn, kalk-andradit-diopsit psö-  
dozoisit-epidot skarn saptanmıştır.

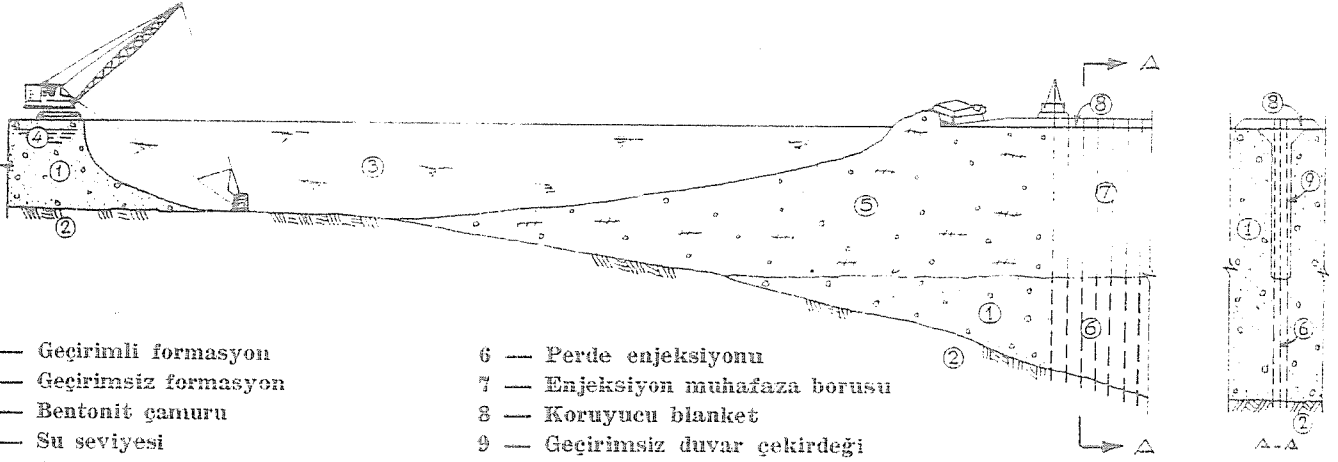
#### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucu saha ve yapısal  
verilere dayanarak, yeraltı maden potansiyelinin  
yüksek olduğu kanısına varılmıştır. Çağın tek-  
nolojik koşulları da göz önüne alınarak bin met-  
reye kadar olan potansiyelin ortaya konması ül-  
ke ekonomisi açısından yararlıdır.

# BALYA CIVARINA AIT LİTOLOJİ SÜTÜN KESİTİ

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m.)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Senozoyik	Tersiyer	Neojen		250	120	ALÜVYON
		?		1010	300	ANDEZİT
Mezozoyik	Triyas	Üst Triyas	Karakaya (?)	950	?	DASİT
				860	150	ÇAKILTAŞI PERMIYEN KİREÇTAŞI BLOKLU Sarı kahverenkli çakıllar 08cm ile 15cm arasında değişmektedir.
				720	300	PERMIYEN KİREÇTAŞI BLOKLU KUMTAŞI MİLTAKI, KILLI KÇT. ARDALANMASI Genel rengi gri-siyah-yeşil, kıvrımlı, kilitaşları, yer yer laminalı, çok zayıf şifli sıralanmalı kumtaşlarında kuvarsit gnays kuvaris mevcuttur.
				600		
500						
Paleozoyik	Permiyen			360	500	KİREÇTAŞI (ALLOKTON) Üst triyas içinde ve üstünde bloklar halinde bulunan bu kireçtaşları Beyaz-gri-siyah renkli çatlaklı kalsit damarlı rekristalize yer yer bol fosilli tabakalanma belirgin değil.
				240		
				120		

Şekil 3: Balya civarına ait litoloji sütun kesiti.



Şekil 1: Perde enjeksiyonu ile geçirimsizlik duvarı çekirdeği yapımı.

Aslantaş Barajındaki uygulamada bentonit çamuru ile geri dolgu denen malzeme aynı anda kullanılmaktadır.

Yazıda anlatılan ilk bölüm A.B.D. sistemi olup Aslantaş'daki uygulama ise Fransız Soletanche firmasının kendine özgü yöntemdir. Burada mümkün olduğu kadar somut gözlemler sonucu elde edilen bilgiler yazıya aktarılmıştır.

#### BULAMAÇ HENDEĞİ SIZDIRMAZLIK FERDESİ YÖNTEMİNİN ÖZÜ

Bu yöntemle çekirdek hendeği yapımı, dik kenarlı hendek kazıp bunu bentonit çamuru ile destekledikten sonra, hendeğin seçme toprak gereciyle (kum, silt ve çimento olabilir) harmanlanması ve yeniden doldurulmasından oluşur. Kazılan malzeme hendekten dışarı atıldıkça bentonit çamuru verilir. (Kazılan hendek sürekli bentonit çamuru ile dolu duracak şekilde olmalıdır.) Sudan azıcık daha ağır olan bu çamur hendek duvarlarına yeterli basınç vererek dik durmalarını sağlar. Yeterli uzunlukta hendek kazıldıktan sonra geri dolgu (tekrar dolgu) işlemi başlar. Geri dolgu malzemesi ile birleştirilen bentonit çamuru geçirimsizliği azaltır. Aynı zamanda ince ve iri geri dolgu malzemesinin harmanlanmasına yardım eder ve geri dolgunun çökelme koşullarını geliştirir.

#### BULAMAÇ HENDEĞİ YÖNTEMIYLE YAPILAN ÇEKİRDEK HENDEĞİNİN PROJELENDİRİLMESİ

Dolgu barajlarında bulamaç hendeği perdesi çekirdek hendeğinin normal olarak altına yer-

leştirilir, veya memba seddesi boyunca bir palye yada örtü altındaki bir lokasyonla sınırlandırılabilir.

En ekonomik lokasyon, baraj kesitine, temel koşullarına yapım sırasına ve yapım tekniğine bağlıdır.

Merkezi lokasyonun avantajlarından bir tanesi teknik yönden olup sızdırmazlık perde duvarının üst kısmı ile çekirdek arasındaki dokanakta daha yüksek basınçlar oluşacak dolayısıyla olası su kaçaqlarına karşı dokanak boyunca koruyuculuk görevi yapacaktır.

Bir memba lokasyonun teknik avantajları şunlardır:

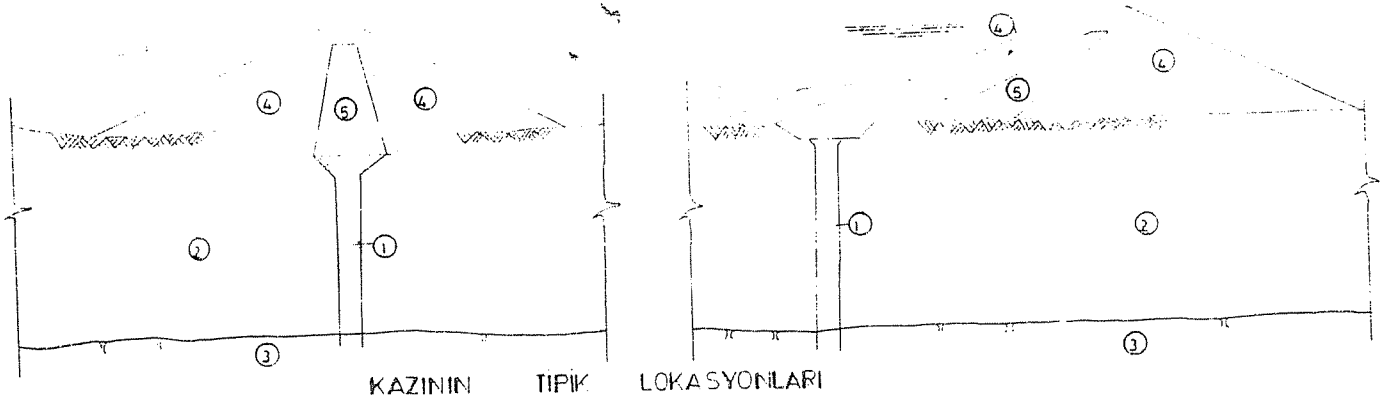
— Eğer rezervuar düzeyi indirilebilirse göl alanı ileriki işlemler için hazır duruma gelir.

— Memba kil çekirdek hendeği aşamalı inşaatı kolaylaştırır.

— Ana zemin çalışmaları ile eş zamanda enjeksiyon yapılmasını sağlar. Sızdırmazlık perdesi, tipik kazı lokasyonu şekil 2 de gösterilmiştir.

a) Çekirdek hendeğinin (out-off) genişliği: Çekirdek hendeğlerinin çoğunun amacı su sızıntısını önlemektir; ya toplam sızıntı miktarını azaltmak veya yeterli ısı kaybına neden olarak burulanma olayına karşı temeli korumaktır. Çekirdek hendeğinin projedeki genişliği, çekirdek hendeği, geri dolgu gerecinin seviyeleri ve bitişik temel gereçleri üzerindeki yükün bir fonksiyonudur.

Kolombiya Nehri üzerindeki Wanapum Barajının çekirdek hendeği için geri dolgu malzemesinin seviyeleri ve bitişik temel malzemesi üzerinde Laboratuvar deneyleri yapılmış ve so-



- 1) SLURRY - TRENCH KAZISI ( bulamaç hendeki )  
 2) GEÇİRLİ FORMASYONLAR  
 3) GEÇİRİMSİZ FORMASYONLAR  
 4) KABUK  
 5) ÇEKİRDEK

Şekil 2: Kazının tipik lokasyonları.

nuçta bulamaç ile inşa edilen çekirdek hendeklerinin geçirimsizlik kat sayısı  $10^{-6}$  ile  $10^{-5}$  cm/sn arasında değişmiştir.

b) Çekirdek hendeğinin kesinliği: Geçirimsiz zon ana kayaya kadar uzandığında, çekirdek hendeği normal olarak ana kayaya kadar ulaşmalıdır. Lokal olarak derin zonlarda, enjeksi-

yon yapılmış bir çekirdek hendeği sızdırmazlık perdesi ile birleştirilerek limit derinliklerden daha derine ekonomik bir çekirdek hendeği yapılabilir.

Çeşitli projelerdeki maksimum yük ile çekirdek hendeği genişliği ve derinliği ile ilgili örnekler tablo 1'de verilmiştir.

Proje Adı	Temel Malzemesi	Hendek Genişliği	Maksimum Su Yükü	Düşünceler
Kennewick Seddesi Mc. Nary Baraj Projesi, Kolombiya Nehri Washington ABD Wanapum Barajı	Açık çakıl zonlu kumlu veya siltli çakıllar $k = 0,4$ cm/sn.	1,89 m. ana çekirdek	4,92 m.	1952 de inşa edildi. Maksimum derinlik 7 m.
Kolombiya Nehri Washington ABD	Çakıllı ve çakıl kum karışımı $k=1$ cm/sn.	3,28 m. ana çekirdek	27,8 m.	İnşaat öncesi deney hendeği. Pompalanan lab. borulanma deneyi hendeğinin altının enjeksiyonu. İnşaat 1959-62 arası maksimum derinlik 58 1964 de yapılmıştır. Maksimum derinlik 7 m.
Mangla kapatma Barajı B. PAKİSTAN Duncan Gölü Barajı Duncan Nehri KANADA	İri çakıllı, kumlu çakıl İnce çakıl, iri kum	3,28 m. ana çekirdek	72,4 m.	1965-66'da yapılmıştır. Maksimum derinlik 18 m.
Wells Barajı Kolombiya Nehri Washington ABD	Silt-ince siltli kum zonu üzerindeki kum ve çakıl $k =$ (yüzey zonu) $= 1$ cm/sn. Geçirimsiz çakıllar	2,52 m. ana çekirdek	21,3 m.	1964'de yapıldı. Maksimum derinlik 24 m.

(Jack C. Jones 1967)

Tablo: 1 — Bulamaç hendeği yöntemi ile inşa edilen sızdırmazlık perdelerinin karşılaştırılması.



## HENDEĞİN TABANINDA YAPILAN İŞLEMLER

a) Ana kaya: Çekirdek hendeğinin ana kayaya ulaşması halinde, tekrar dolgu yapılmadan önce hendek ile ana kaya arasındaki dokanakta sızıntıyı önlemek için ana kaya yüzeyindeki çep-lerin, doğal çatlakların ve sonradan meydana gelen çatlakların içindeki geçirimli malzeme temizlenmelidir. Geri dolgu ile ana kaya arasındaki dokanağın yeterliliğini denetlemek için geri dolgu muhafazalı kuyu açılmalı ve basınç deneyleri yapılmalıdır. Su kaybı fazla olduğunda, dokanak boyunca enjeksiyon yapılabilir.

b) Geçirimsiz tortu: Sızdırmazlık perdesi geçirimsiz malzemelerin ana tortusunda çalıştığı zaman dokanaktan tam emin olabilecek derinlikte kazı yapılacaktır.

## HENDEK TAVANINDA YAPILAN İŞLEMLER

Açılacak bulamaç hendeğinin üst genişliği (Flare) yapılan barajın temel koşullarına, baraj eksenine göre, hendeğin lokasyonuna ve geri dolgu malzemelerinin sıkıştırılma miktarına bağlıdır.

a) Eğer kil çekirdek memba topuğu yakınına yerleştirilmişse ve geri dolgu malzemesinin sıkıştırılabilme oranı temeldekine benzer yada ondan az ise sadece küçük bir genişleme veya bu genişleme çekirdeğin mansap kısmıyla sınırlanır.

b) Sızdırmazlık perdesi hendeği baraj eksenine yakın bir yere yerleştirilirse veya tekrar dolgu malzemesi temel malzemesinden daha sıkıştırılmış bir durumda ise daha geniş bir genişleme yapılır.

Büyük genişlemelerde sızdırmazlık perdesi ile barajın geçirimsiz dolgusu arasındaki geçiş, bulamaç ile karıştırılmış geçirimsiz dolgusundan oluşan pekişmiş bir malzeme ile sağlanabilir. Geçiş sızdırmazlık perdesi geri dolgusu yüzeyi ile Y.A.S. üzerinden genişlemenin en üst kısmına dek uzanır.

## BULAMAÇ VE ÖZELLİKLERİ

a) Bentonit çamuru: Çekirdeği inşa etmede kullanılan bentonit çamuru 1/14 oranında doğal sodyum bentonit ve suyun karıştırılması ile elde edilir. (71.8 gr. bentonit /1 lt su)

Bu bentonit parçacıklarının tam erimesini gerçekleştirene dek su ile birlikte karıştırılır.

Çamur özelliği petrol sondajlarında kullanılan sondaj çamurunun özelliklerine benzemektedir.

b) Kullanılan malzemenin denetimi:

1) Yoğunluk; Bentonit çamurunun yoğunluğu, düşük olursa hendek duvarları göçebilir.

İstenilenden yüksek olursa kazı yapan dragline kovası çamurda yüzebilir ve kazı yapmaz. Aynı zamanda yüksek yoğunluk geri dolgu malzemesinin ayrışmasına neden olur.

Yoğunluk 1.44 - 140 gr/cm<sup>3</sup> arasında olmalıdır.

2 — Viskozite ve jel mukavemeti,

3 — İnce malzemenin kazı sonucu dışarı atıldığından emin olmak için kum muhtevasını denetlemek gerekir.

4— Bentonit çamuru üst düzeyi iş durduğunda Y.A.S. düzeyinin, üstünde olacak şekilde ayarlanması gerekir.

5 — Sert suyun bulunduğu bölgelerde:

— Kalsiyum iyonu: 1000 ppm'i geçtiği zaman katkı malzemesine bentonit (=1222 gr/lt şerbet) veya soda külü eklemek gerekir.

— Kalsiyum iyonu 500-1000 ppm arasında ise normal işlemler uygulanır.

— Suyun içindeki klorit iyonları 3000 ppm'i geçene dek bentonit çamuru etkilenmez.

6 — Sızdırmazlık perdesi yapımı tuzlu suda yapılırsa bentonit yerine Zeogel ticarî ismi altında satılan lifli kil minerali olan Attapulgit kullanılır.

## GERİ DOLGUNUN BİLEŞİMİ VE ÖZELLİKLERİ

Geri dolgu genellikle kazı sonucu artırılabilen malzemedir oluşur. Uygun bir geçirimsizliği sağlamak için geri dolgu karışımında iri malzemelerin boşluklarını doldurmak üzere yeterli ince malzeme kullanılmalıdır.

Bentonit ile beraber %10-25 arasında ince malzeme yeterlidir.

Geri dolgu için tavsiye edilen derecelenme limitleri:

Elek Çapı (A.B.D. Standartı)	Ağırlık Olarak geçen %
3"	80—100
3/4"	40—100
No 4	30—70
No 30	20—50
No 200	10—25

Pratik olarak derecelenme ve filtre üçgeğin- de olması istenir.

Kohezyon olmadığı için silt, kazılan geçirim- li malzemeye ince malzeme olarak katılması ter- cih edilir.

Büyük çakıl % sini içeren malzemelerde konsolidasyon az olmaktadır, ince kum ve siltli kum kullanılırsa konsolidasyon daha büyük olur.

## SIZDIRMAZLIK PERDE YAPIMININ ASLANTAŞ BARAJINDAKİ UYGULANMASI

Aslantaş Barajı ve HES. İnşaat süresi içe- rinde kazının kuruda yapılabilmesi veya YAS et- kisinin minimum düzeye indirilmesi amacıyla memba ve mansap batardoları çevirme tünelleri çıkış yapıları önü, santral binası çevresinde ve dolusavak düşüm havuzunda sızdırmazlık perde- si yapılacaktır.

Memba ve mansap batardo dolgularında kil çekirdeğinin ana kayaya bağlanması ve barajın oturacağı ana çekirdek kazısının kuruda yapıla- bilmesi ilkesinden gidilerek alüvyon enjeksiyonu yerine sızdırmazlık perdesi yapımı daha uygun görülmüştür. Batardo altlarında perdenin yapı- lacağı alüvyonun derinliği 20-25 m. arasında de- ğişmektedir. Genellikle kötü tabakalaşmış yü- zeyde 3-4 m. kalınlığında silt ve ince kum düzeyi içerir. Derinlere gidildikçe iri taşlı siltli kum-ça- kıl vardır. Pompa deneyi sonuçlarına göre geçi- rimlilik katsayısı  $K=2.10^{-2}$  cm/sn dir.

Aslantaş barajında uygulanmakta olan bu- lamaç hendeği yöntemiyle sızdırmazlık perde yapımı Fransız Soletanche Firması tarafından yapılmaktadır.

### Yöntemin özü

Düşey ve 90 cm. genişliğinde hendek kazıp sürekli bulamaç ile dolu kalacak şekilde kazı ya- pılır. Bu yöntemle geri dolgu yerine çimento, bentonit çamuru ile beraber aynı anda kullanıl- maktadır. Karışıma 1 kg da toz şeker katılma- lıdır. Hendek her zaman bulamaç ile dolu du- racak şekilde ayarlanır. Kazı bitiminde bulama- cın prizlenme süresi 5-7 gün arasında değişmek- tedir. Bu yöntemle (Kelly-Grab makinası ile) in- şaatı bitmiş ve daha sonraları bazı nedenlerden etkilenmiş su kaçağı olan barajlarda sızdırmaz- lık perdesi yapılarak su kaçakları minimum dü- zeye indirilmiştir. Örneğin - İngiltere'de Balder-

head Barajındaki 50 lt/sn lik su kaçağı işlem sonucu 6 lt/sn. ye düşürülmüştür. Yine aynı şe- kilde Meksika'da Nexapa Barajındaki 24 lt/sn lik su kaçağı 10.5 lt/sn. gibi bir değere indiril- miştir.

Aslantaş Barajında bulamaç hendeği yönte- miyle sızdırmazlık perdesinin uygulandığı alan- lar:

Memba batardosu ekseni	: 4500 m <sup>2</sup>
Mansap batardosu ekseni	: 2750 "
Çevirme tünelleri çıkış yapısı önü	: 2050 "
Santral binası çevresinde	: 2275 "
Dolusavak düşüm havuzunda	: 9000 "

Toplam alan: 20575 m<sup>2</sup>

Perde yapımı projelendirmesi baraj inşaatı- na uygun olarak ayarlanmış olup uygulanış sı- rası:

- 1 — Çevirme tünelleri çıkışı
- 2 — Santral binası çevresi
- 3 — Memba batardosu ekseni sol yakası
- 4 — Dolusavak düşüm havuzu
- 5 — Memba batardosu ekseni sağ yakası
- 6 — Mansap batardosu ekseni

şeklindedir.

Aslantaş Barajında bulamaç hendeği yönte- miyle yapılan sızdırmazlık perdesi yapımı için kullanılan araç ve gereçler: (Şekil 3)

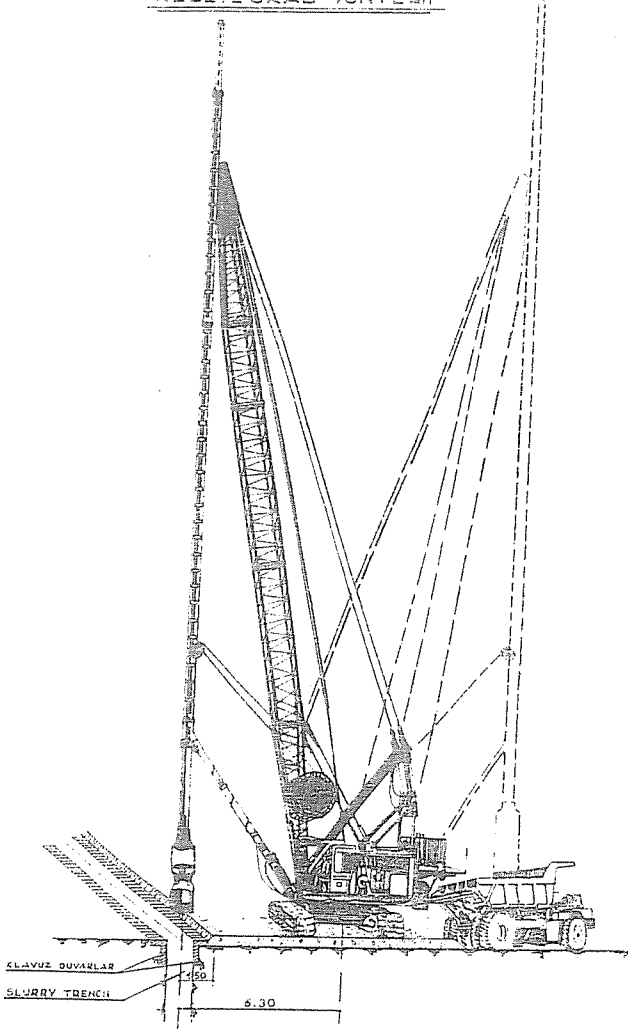
### Araçlar:

Çimento silosu	: 125 ton kapasiteli
Karıştırıcı kazan / mikser	: 15-18 m <sup>3</sup> /saat
Dinlendirme havuzu	: 100 ton
Basınç pompası	: 35-40 m <sup>3</sup> /saat
Kazıcı makina ve başlığı	: 32 m. derine kazı yapıla- bilir.
(Pinguelly ve Kelly) Kazıcı uç	: 0.90x2.20 m, kazı yapıla- bilir.

### Bulamacın özelliği:

a) Karışım oranları	Ağırlık esasına göre
Bentonit çamuru	: %95 su %5 bentonit
Bulamaç (Slurry)	: %64 bentonit çamuru %20 çimento %16 su 1 kg toz şeker
b) Özellikleri:	
Viskozite	: Bentonit çamuru : 32"-36" Bulamaç : 53"-55"
Yoğunluğu	: 1.25 gr/cm <sup>3</sup>
Çökelme süresi	: 7 saat sonunda %2
Basınç dayanımı	: 28 gün sonunda 3.4-4 kg/cm <sup>2</sup>

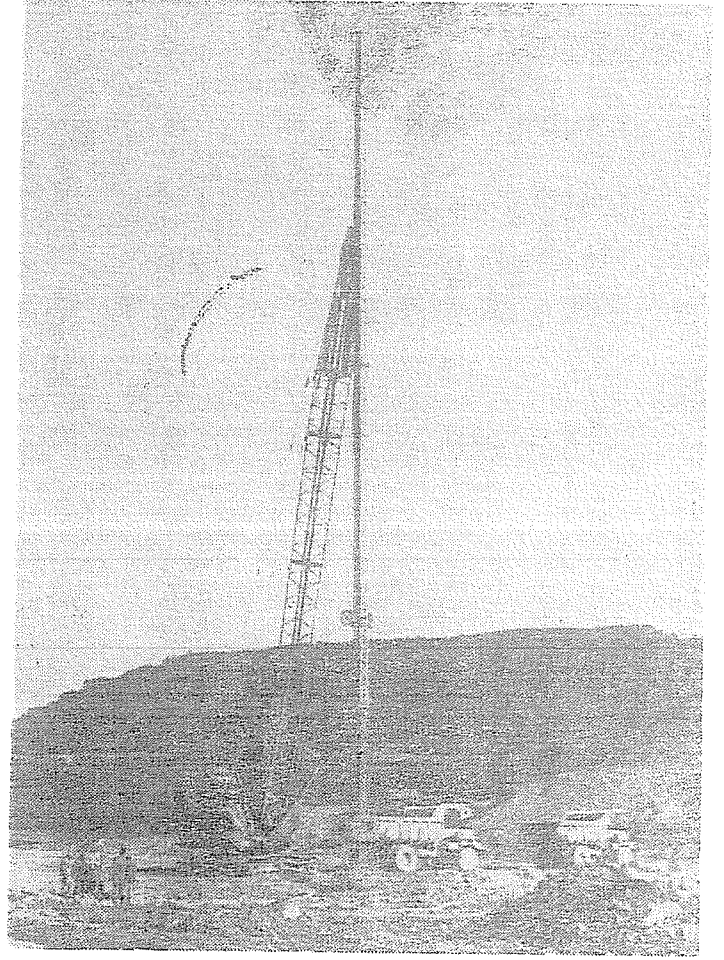
SLURRY TRENCH İÇİN  
KELLY GRAB YÖNTEMİ



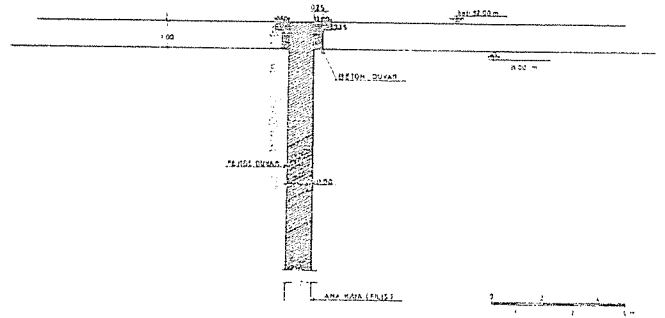
Şekil 3: Slurry - Trench için Kelly-Grab yöntemi.

Bulamaç hendeği sızdırmazlık perdesinin yapımı

Sızdırmazlık perdesinin yapılacağı bölümde kolay çalışmayı sağlamak için 1 m. yüксеğe kadar gelişigüzel dolgu ile makinanın üzerinde gidilebileceği bir platform yapılır. Ayrıca kazıda makinanın güzergah üzerinden kaymaması ve kulesinin düşey durması için yönlendirici beton duvarlar inşaa edilir (Şekil: 4). Makinanın kazıcı ucu (90x220 cm) güzergah boyunca ilk panoyu yukarıdan aşağı doğru kazar. Kazı işlemi sırasında devamlı olarak bulamaç kazılan çukura pompalanır ve kazı sürekli bulamaç içerisinde yapılır. Alüvyondaki kazının derinliği, ana kayaya 1-2 m. girinceye kadar devam eder. 1. pano kazıldıktan sonra 90 cm bırakılarak 3. pa-

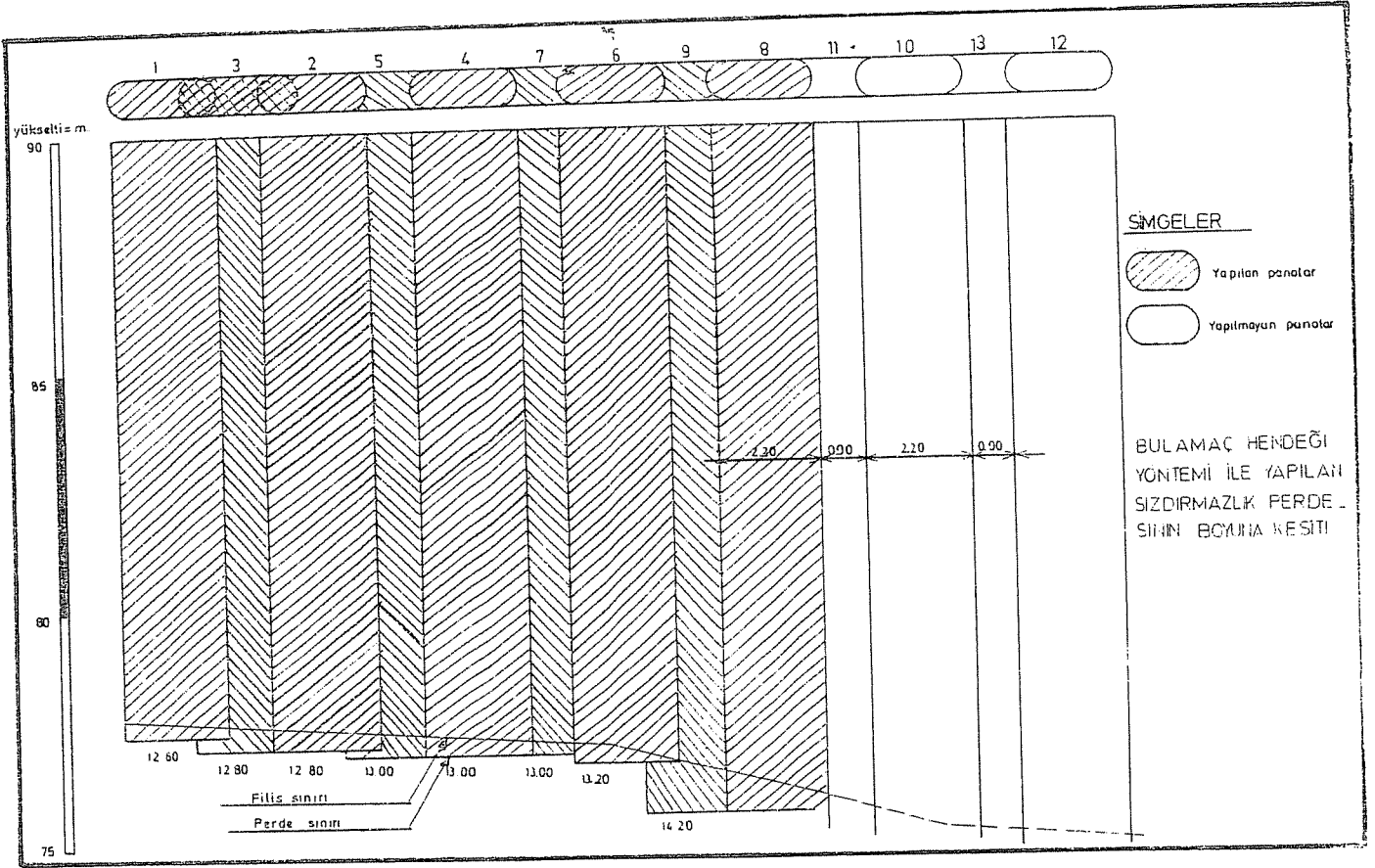


Resim: Aslantaş barajı memba batardosunda sızdırmazlık perdesinin yapılışı.



Şekil 4: Bulamaç hendeği yöntemi ile yapılan sızdırmazlık perdesinin enine kesiti.

nonun kazılmasına geçilir (Şekil: 5). 3. pano kazıldıktan sonra 2. panonun kazılmasına geçilir ve işlem sırasıyla tamamlanır (Ara panonun 0.90 m. oluşu nedeni, alüvyonun içerisindeki iri



Şekil 5: Bulamaç hendeği yöntemi ile yapılan sızdırmazlık perdesinin boyuna kesiti.

parçalarıdır. En fazla 1.10 m. olması gerekirken, 2. pano arasında oluşmasını).

İşlemdeki öncelik kazının bulamaç içerisinde yapılması ve dolayısıyla sızdırmazlık perdesinin yapımının birlikte yürütülmesidir. Kazıcı makina alüvyon kazısı yaparken bulamaç da kazı yapılan yere pompalanmaktadır. Bulamacın yoğunluğu ve viskozitesi kazı sırasında perde duvarından olabilecek yıkıntıyı ve yer altı suyundan basıncı önleyecek şekildedir.

Ana kayaya 1-2 m. kadar girilmesi, alüvyonda sızacak suyun ana kayaya (filişe) etkisini önleyecektir. Bulamacın katılaşma (piriz yapısı süresi toz şeker konarak geciktirilmektedir. İşlem sırasında çeşitli nedenlerle bir gecikme veya kazıcı makina arıza yaptığında bulamacın hemen katılaşması önlenmiş olacaktır.

#### Sızdırmazlık perdesinin denetimi

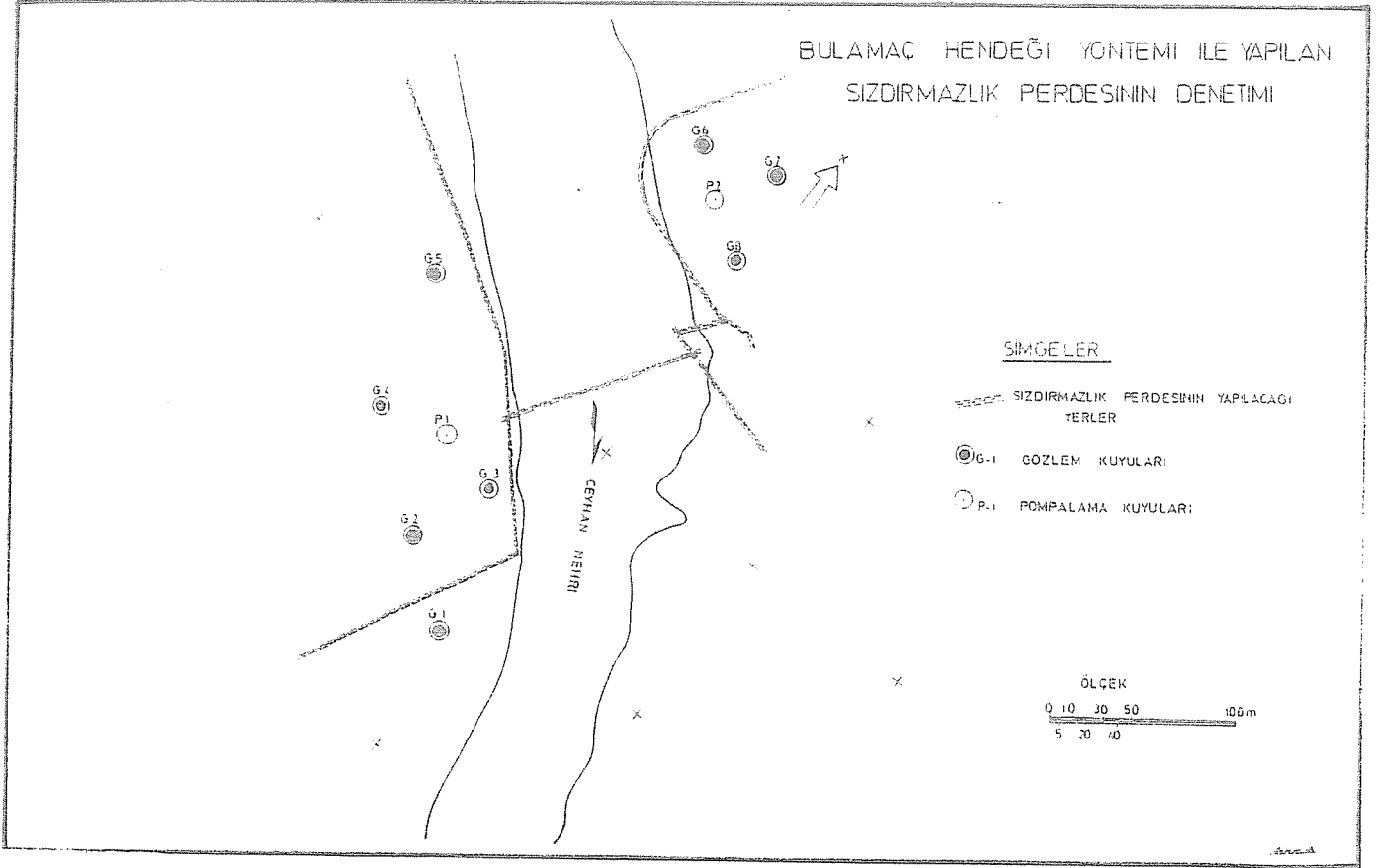
Bulamaç hendeği ile oluşturulan perdenin sızdırmazlığını öğrenmek için şu yöntem uygulanır: Perdenin arkasına gözlem ve pompaj kuyuları açılır (Şekil: 6). Kuyuların derinlikleri

alüvyonun sonuna kadardır. Pompaj kuyusundan yeraltı suyu pompalanır. ve gözlem kuyularından yeraltı su düzeyinin yükselişi de aynı şekilde kayıt edilir. Bu değerlerden perdenin sızan suyun debisini hesaplamak mümkündür. Bu şekilde perdenin geçirimli olup olmadığı denetlenmiş olur. Sızdırmazlık perdesini yapan yetkililer başarının %100 olduğunu söylemektedirler.

#### Süre ve Parasal yön

Bulamaç hendeği sızdırmazlık perdesi yapımında normal ilerleme hızı 5 m<sup>2</sup>/saat'tir. Aslantaş Barajındaki uygulamada:

- Memba batardosu sol yakada 1 aylık çalışmanın ortalaması 5 m<sup>2</sup>/saat.
- Dolusavak dinlendirme havuzunda 20 günlük ortalama hız 3 m<sup>2</sup>/saat olmuştur.
- Memba batardosu sol yakada toplam 1520 m<sup>2</sup> yapılmış ve 141.60 ton bentonit ile 620,45 ton çimento kullanılmıştır.
- Dolusavak düşüm havuzunda 20 günde (2 vardiya) makina 336 saat çalışmış 144 saat çeşitli arızalar nedeniyle çalışmamıştır.



Şekil 6: Bulamaç hendegi yöntemi ile yapılan sızdırmazlık perdesinin denetimi.

Toplam 1327 m<sup>2</sup> lik alan içinde 2118 m<sup>3</sup> karışım (bunun içinde 500 ton çimento, 89 ton bentonit, 1560 kg şeker) kullanılmıştır. Ortalama olarak 3 m<sup>2</sup>/saat ilerleme yapılmıştır.

Personel olarak: 2 vardiya içinde 30 kişi çalışmaktadır.

1 m<sup>2</sup> alanın yapımı için 1.5 - 2 m<sup>3</sup> bulamaç harcanmaktadır. Parasal değeri malzeme ve işlemin yapılması dahil 1800-2000 TL./m<sup>2</sup> dir (Bizim somut gözlemlerimize dayanarak elde edilen sonuç)

### SONUÇ

Ülkemizde ve diğer ülkelerde zaman yönünden büyük avantajlı olan bulamaç hendegi yön-

temi ile sızdırmazlık perdesi yapım çalışmaları devam etmektedir.

Bu yöntem ilk kez 1952 yılında uygulanmış ülkemizde ise ilk kez Aslantaş Barajında uygulanmaktadır.

Kesin sonuçları kazıya geçilince denetlenebilecektir. Süre ve parasal yönden diğer yöntemlere (düşey kazıklar, kesişen kazıklar, alüvyon enjeksiyonu v.b.) göre daha kısa sürede yapılabilmekte ve daha ucuz mal olmakta ve emniyetli görülmektedir.

### KATKI BELİRTME

Çevirilerde Jeoloji Mühendisi Hasan Özasan yardımcı olmuştur.

### YARARLANILAN KAYNAKLAR

Aşçıoğlu, E. ve Karaoğullarımdan, T. 1977 Aslantaş Barajının Mühendislik jeolojisi ve alüvyonda bulamaç hendegi yöntemiyle sızdırmazlık perdesi yapımı. Yeryuvarı ve İnsan T.J.K. Yayını Cilt: 2 sayı: 1, Ankara.

Jones, J. C., 1967, Deep Cut-offs in pervious, Alluvium, Combining Slurry Trenches and Grouting. IX. Büyük Barajlar Kongresi - İstanbul.

Earth Dams - Remedial Works, 1973, International Congress on large Dams-Madrid. Soletanche.

# VEKTÖR DİYAGRAMI

ÜKKAŞ AĞAR

KTÜ Yerbilimleri Fakültesi, Trabzon

**ÖZ:** Bu yeni tip diyagram, vektörel büyüklükler temeline oturtulduğu için vektör diyagramı olarak isimlendirilmiştir.

Bayburt'un güneybatısında, Demirözü ve Köse arasındaki bölgede dokuz formasyon ayrırt edilmiştir. Bunlardan yalnız iki tanesi Sırataşlar ve Kızılyar formasyonları Gül (Şek. 3 ve 4), kontur (Şek. 5) ve vektör (Şek. 6) diyagramlarının yapılmasında kullanılmıştır.

Bir vektör diyagramı çizmek için ilk önce  $r/9$ ,  $2r/9...nr/n$  ve  $r/4$ ,  $2r/4... nr/n$  yarıçaplı konsantrik daireler çizilir. Ayrıca Doğu-Batı ve Kuzey-Güney eksenleri işaretlenir ve Doğu-Batı eksenine üzerine uygun eğim dereceleri ile yüzde değerler yazılır Çizimdeki detaylar Şek. 6 da verilmiştir. Bundan sonra ortalama eğim ve yüzde değer vektörleri hesaplanır ve yerlerine yerleştirilir. ( $a_1'$   $a_5'$  ve  $c_1'...c_5'$  de olduğu gibi). Ortalama eğim vektörleri normal ve yüzde değer vektörleri ise kesikli çizgilerle şekillendirilmiştir.

Seçkin doğrultular aynı doğrultuda ve zıt yöndeki iki yüzde değer vektörü birbirine eklenerek bulunabilir. Bilindiği gibi seçkin doğrultuların yönleri ortalama eğim vektörlerine diktirler ( $a_1c_1...a_5c_5$ ).

Vektör diyagramları diğer diyagramlardan daha kullanışlı ve bilimseldir. Bu diyagramın başlıca avantajı ortalama eğim ve seçkin doğrultuların doğrudan doğruya tek bir diyagramdan okunmasına olanak sağlamıştır. Netice olarak bu diyagram jeoloji tez ve raporlarında formasyonların tektonik durumlarını anlatabilmek için uzun uzun açıklamalara gereksinme göstermez.

**ABSTRACT:** This new type of diagram is called a vector diagram because it is based on vectorial dimensions.

In the beds of the Demirözü and Köse area south west of Bayburt nine formations have been discriminated. Only two formations. Sırataşlar and Kızılyar have been used in drawing the rose (Fig. 3 and 4), contour (Fig. 5) and vector (Fig. 6) diagrams.

In order to draw a vector diagram, first concentric circles that have the radii  $r/9$ ,  $2r/9...nr/n$  and  $r/4$ ,  $2r/4...nr/n$  are drawn. Then the East-West and North-South axes are added, and the adequate dip degrees and percentage are written on the East-West axis. The details of this drawing are illustrated in Fig. 6. Afterwards the vectors of the average dip and percentage are calculated and are put into their places (Like in  $a_1',...a_5'$  and  $c_1',...c_5'$ ). The vector of the average dip and percentage are shown by solid and broken lines on the effect lines

Predominant strikes can be found by adding the two percentage vectors that are on the same line but in converse direction. As is known, predominant strikes are perpendicular to the dip vectors ( $a_1c_1 - a_5c_5$ ).

Vector diagrams are more accurate and easier to use than others. The main advantage of vector diagram is that it is possible to read both the average dips and their strikes directly from only one diagram. Finally, with vector diagram it is not necessary to make extensive explanations of the tectonic positions of formations in geological theses and reports.

## GİRİŞ

Bu yeni tip diyagram, vektörel büyüklükler temeline oturtulduğu için vektör diyagramı olarak isimlendirilmiştir.

Bayburt'un güneybatısında, Demirözü ve Köse arasındaki bölgede dokuz formasyon ayırt edilmiştir. Bunlardan yalnız iki tanesi, Sıraşlar ve Kızılyar formasyonları gül (Şek. 3 ve 4), kontur (Şek. 5) ve vektör (Şek. 6) diyagramlarının yapılmasında kullanılmıştır.

Eğim gül diyagramında (Şek. 4) ortalama eğimlerin yüzde değerlerinin gösterilmemesi ve yorumlarında yüzde değerlerden konu edilmeden geçilmesi, kontur diyagramlarında (Şek. 5) ise ortalama yönleri ile seçkin doğrultuların ve ortalama eğimlerin derecelerinin tam olarak okunabilmesi için ağların kullanılmasına gereksinme duyulması bize daha pratik bir diyagram tipi düşündürmüştür.

## VEKTÖR DİYAGRAMI

Gül diyagramlarında gösterilen seçkin doğrultuların yüzdeleri arasındaki dalgalanma yani artma ve eksilme yalnız yüzdelerdeki sayısal değişikliklere değil, daha da önemlisi seçkin doğrultuya tesir edecek ve seçkin doğrultu derecesini değiştirecektir. Seçkin doğrultuların derece dilimleri değişince ortalama eğimlerin yüzdeleri de değişiklik gösterecektir. Bunun aksi de doğrudur. Ortalama eğim derecelerinin yüzde değerleri değişince seçkin doğrultuların yönleri de değişecektir.

Bir çalışma bölgesinde ne kadar çok ölçü alınırsa o kadar mutlak duruma yaklaşmış olur. Çünkü verilen sonuçlar ölçülerin yüzde değerleri ile sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle ortaya konulan sonuç ölçü yüzde değerlerinin karşılığıdır. Hata sınırı artı sonsuza yaklaştıkça küçülecektir. Bundan dolayı yüzde değerleri ile bu kadar sıkı sıkıya bağlı seçkin doğrultuların ortalama eğimlerdeki yüzde değerlerinin verilmesi zorunludur. Bu hem anlatımda bir eşitleme ve hem de doğrultu ve eğim yüzde değerlerinin karşılıklı kontrol temelini oluşturacaktır. Acaba ortalama eğimlerin yüzde değerleri başka bir diyagram tipinde gösterilemez mi?

Diyagramın yapılmasını açıklamaya geçmeden önce kısaca ölçü çeşitlerini tanımlıyalım ve

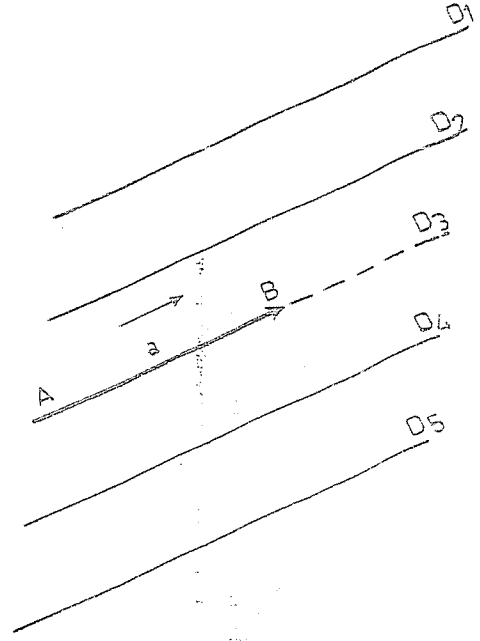
tabaka ölçülerinin ortalama büyüklüklerinin vektörlerle gösterilmesini inceliyalım.

Ölçü Çeşitleri: Ölçüler skaler, tansörel ve vektörel büyüklükler olmak üzere üçe ayrılır.

Skaler büyüklük: Bunları tayin etmek için pozitif veya negatif bir sayının verilmesi yeterlidir. Bu cins büyüklüklere skaler büyüklükler denir ve latincece ölçek anlamına gelen skala kelimesinden alınmıştır.

Tansörel büyüklükler: Bazı büyüklükler ne skaler ne de vektörel büyüklüklerle ölçülür. Bunları temsil etmek için tansörel büyüklüklere gereksinme vardır. Örneğin esnekliği olan bir cisimde bir noktadaki gerilmeler sistemi tansörel büyüklüğü temsil eder.

Vektörel büyüklük: Bir kısım büyüklükler vardır ki bunları tayin etmek için bir sayının verilmesi yetmez. Bir sayı ve bir doğrultu ile yönünün verilmesi gerekir. Bunlara da vektörel büyüklükler denir. Vektör kelimesi latincece nakletmek anlamına gelen "vhere" kelimesinden alınmıştır. Örneğin; hız, ivme, kuvvet, magnetik veya elektrik alan vektörel büyüklüklerdir.



Şekil 1: Bir vektör ve elemanları.  
Figure 1: A vector and elements.

Vektörün tanımı doğrultusu, yönü ve genliği (büyüklüğü) verilmiş bir doğru parçasıdır.

Vektörün Öğeleri:

Başlangıç noktası (A)

Doğrultusu  $D_1$ , doğrultusuna paralel  $D_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  doğrultularıdır.

Yönü ( $A \rightarrow B$ )

Genliği:  $|AB| = |a|$

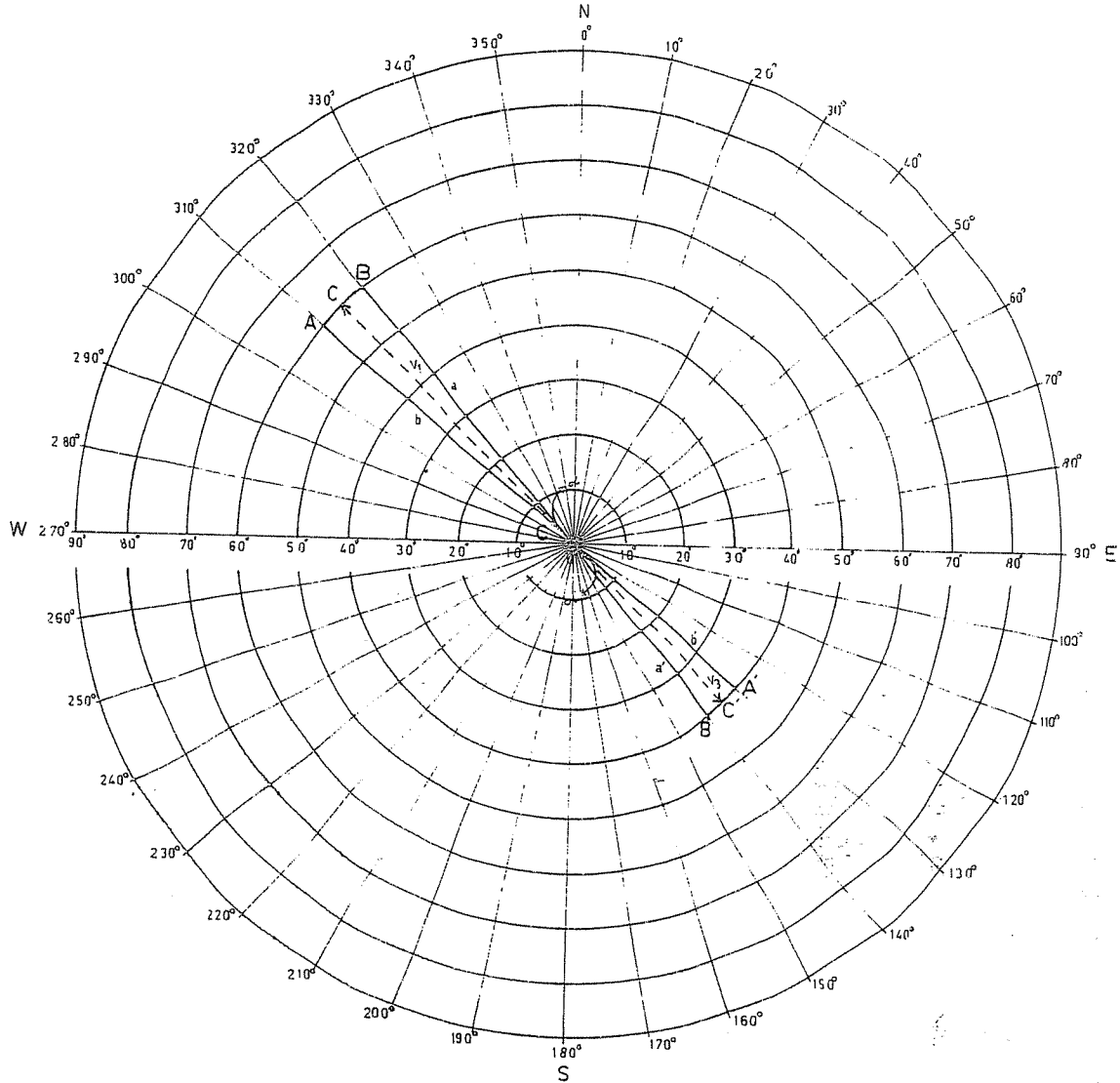
Etki çizgisi:  $D_3$  doğrusudur (Şek. 1)

Ölçülerin ortalama büyüklüklerinin vektörlerle gösterilmesi:

Şekil: 2 de NW kadrantı  $310^\circ - 320^\circ$  diliminde ve SE kadrantında ise  $130^\circ - 140^\circ$  dilimindeki eğim açıları sırasıyla ABC ve A'B'C üçgenleri ile temsil edilsin. Bu üçgenlerin birer ikizkenar olmalarından dolayı

$$\begin{aligned} a &= b \\ a' &= b' \end{aligned} \quad (1)$$

dür.



Şekil 2.  
Figure 2.



Geometriden bilinen kosinüs teoremini bu üçgenlere uygularsak;

$$\begin{aligned} c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha \\ c'^2 &= a'^2 + b'^2 - 2a'b' \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

bağıntılarını yazabiliriz.

$c^2$  ve  $c'^2$  büyüklükleri arasında üç olasılık vardır:

1.  $c^2 > c'^2$
2.  $c^2 = c'^2$
3.  $c^2 < c'^2$

Bunlardan şeklimize uyan 1. olasılığı ele alalım.

$$\begin{aligned} c^2 &> c'^2 \\ a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha &> a'^2 + b'^2 - 2a'b' \cos \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

olur. (1) deki eşitlikler gözönünde tutularak

$$\begin{aligned} a &= b & a^2 &= b^2 \\ a' &= b' & a'^2 &= b'^2 \end{aligned} \quad (1)$$

değerleri 4 eşitliğinde yerine konulursa

$$\begin{aligned} a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha &> a'^2 + b'^2 - 2a'b' \cos \alpha \\ a^2 + a^2 - 2a \cdot a \cos \alpha &> a'^2 + a'^2 - 2a' \cdot a' \cos \alpha \\ 2a^2 (1 - \cos \alpha) &> 2a'^2 (1 - \cos \alpha) \\ 2a^2 &> 2a'^2 \\ a &> a' \end{aligned}$$

$a > a'$  ve benzer şekilde  $b > b'$  (5) dir.  $a, a', b$  ve  $b'$  devamlı pozitif büyüklükler olup, bunların genlikleri  $a$  ve  $a'$  olan birer vektörle gösterebiliriz.

Şekil 2'de  $\alpha = 10^\circ$  olduğundan;

$$\begin{aligned} a &= b \cong V_1 \\ a' &= b' \cong V_3 \end{aligned} \quad (6)$$

A ve C kadrantlarında birer ortalama eğim olduğu kabul edilerek alınabilir. Ayrıca;

$$\left. \begin{aligned} a &> a' \\ a &= V_1 \\ a' &= V_3 \end{aligned} \right\} V_1 > V_3 \quad (7)$$

olur. ABC ve A'B'C üçgenlerinin alanlarını  $V_1$  ve  $V_3$  vektörleri ile temsil edelim.

$$\left| V_1 \right| \leftrightarrow \Delta ABC, \quad \left| V_3 \right| \leftrightarrow \Delta A'B'C \quad (8)$$

Bu arazideki kıvrımı oluşturan  $F_1$  ve  $F_3$  itme kuvvetleri arasında da daha önce  $c^2$  ile  $c'^2$  için belirtmiş olduğumuz şu üç olasılık vardır.

1.  $F_1 > F_3$
2.  $F_1 = F_3$
3.  $F_1 < F_3$

Eğer litoloji birimine sadece  $F_1$  kuvveti etki etmiş ise  $F_3$  bir direnç kuvveti olarak doğar. Bilindiği gibi itme kuvvetlerinin şiddetleri ile bu kuvvetlerin oluşturduğu kıvrımların kanatlarındaki eğimler ters orantılıdır. Bu gerçekten (8) bağıntıları da gözönünde tutularak

$$V_1 > V_3 \text{ için } \Delta ABC > \Delta A'B'C \text{ ve } F_1 < F_3$$

$$V_1 = V_3 \text{ için } \Delta ABC = \Delta A'B'C \text{ ve } F_1 = F_3$$

$V_1 < V_3$  için  $\Delta ABC < \Delta A'B'C$  ve  $F_1 > F_3$  olacağını söyleyebiliriz.

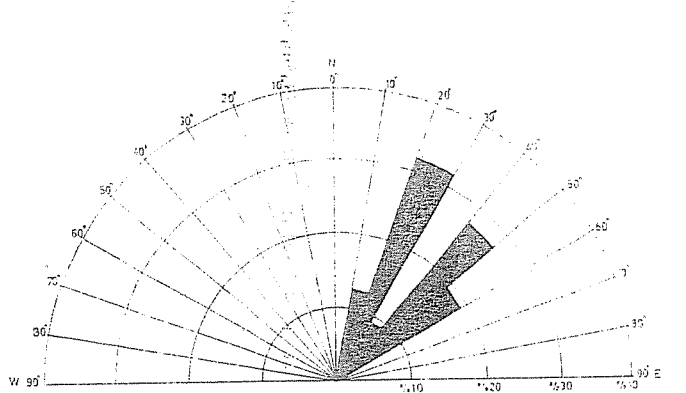
$F_1$  ve  $F_3$  itme kuvvetlerinin oluşturduğu kıvrımların eğimleri ile kıvrımların  $V_1$  ve  $V_3$  eğim vektörlerine göre

$$\begin{aligned} V_1 > V_3 & \quad V_1 = V_3 & \quad V_1 < V_3 \\ F_1 < F_3 & \quad F_1 = F_3 & \quad F_1 > F_3 \end{aligned}$$

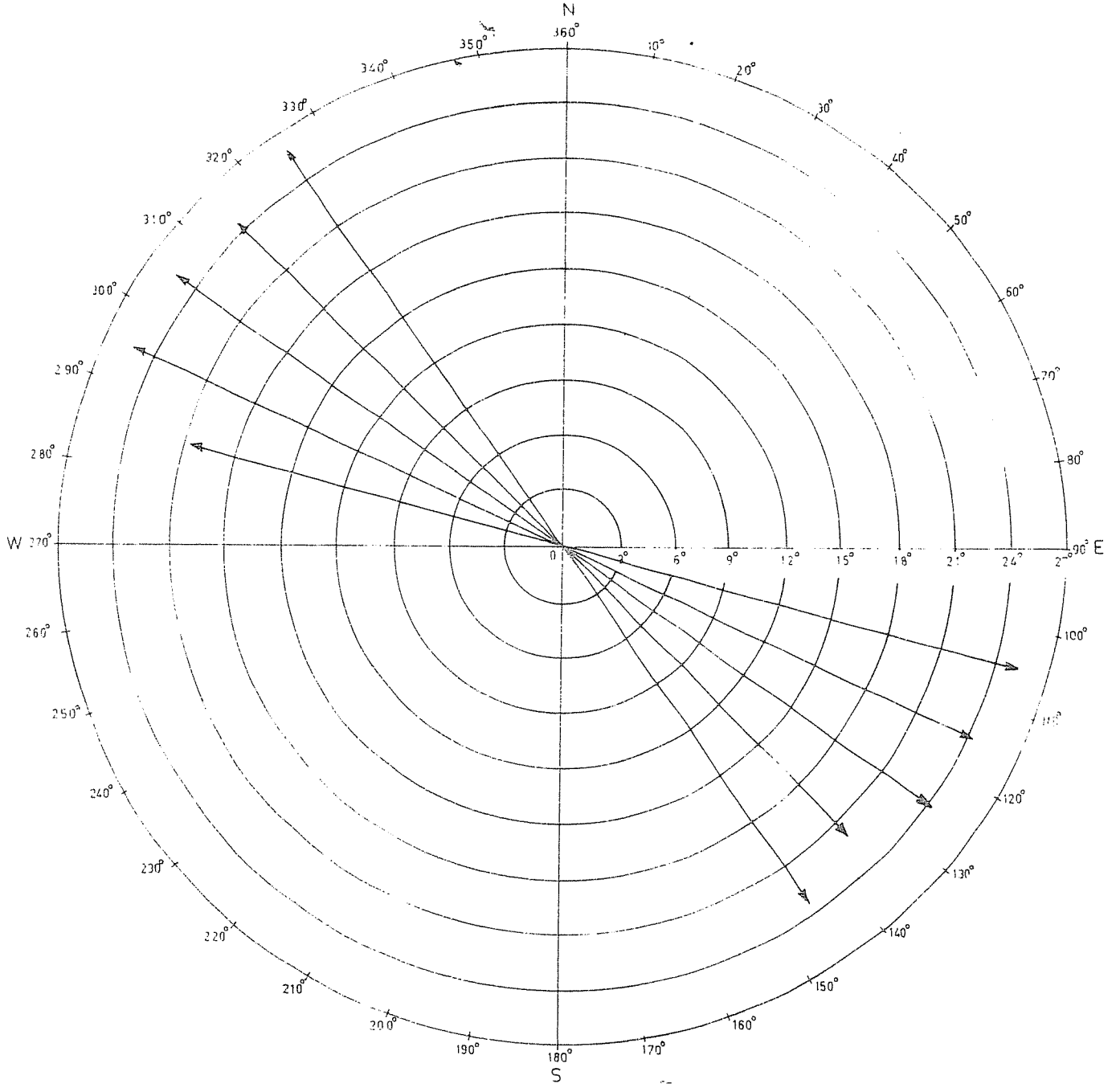


Bu sonuçlar aynı doğrultuda fakat zıt yöndeki iki itme kuvveti ile bunların neden olduğu kıvrımların eğimleri için doğrudur.

Neticede itme kuvvetlerinden ileri gelen eğimleri temsil eden vektörlerin kuvvet vektörlerinde yapıldığı gibi paralelogram yasasına göre bileşmelerini alabileceğimiz apaçiktır. Elimiz-



Şekil 3: Seçkin doğrultuların gül diyagramı.  
Figure 3: The rose diagram of predominant strikes.



Şekil 4: Ortalama eğimlerin gül diyagramı.  
Figure 4: The rose diagram of average dips.

de böyle pratik bir işlem kolaylığı var iken şimdiye kadar yapılageldiği gibi eğim ortalamalarının oklu çizgilerle gösterilip, hesapların skallerle yapılması kanımızca bilimsel kavram yönünden anlamsız olacaktır. Sadece bir kabul niteliğini taşıyan bu gibi durumlar jeoloji bilimini matematik, fizik ve kimya gibi temel bilimlere dayandırma amacına ters düşmüş olmaz mı?

Vektör diyagramının yapılması: Onar dereceye bölünmüş tam bir dairede N noktası kuzeyi temsil eder. Bu noktada 0° ile 360° çakışmıştır. N başlangıç noktası olmak üzere doğudan batıya doğru, doğu 90°, güney 180° ve batı 270° ile işaretlenmiştir. Dairenin yarı çapı 9 ve 4 eşit parçalara bölünür. Doğu yarım dairede r/9 parçasının herbirine merkez sıfır olmak üzere istenilen uygun dereceler, batı yarım dairede

ise r/4 parçasının herbirine merkez sıfır olmak koşulu ile istenilen ve elverişli ölçüde yüzde değerleri yazılır. r/9 ve r/4 parçalarının herbiri yarıçap alınarak içiçe daireler çizilir. r/9 yarıçaplı içiçe daireler kalın ve r/4 yarıçaplı içiçe daireler ise daha ince çizgilerle çizilir. r/9 ve r/4 yarıçaplı dairelerden birbiri ile çakışanlar doğu yarım daire sahasında kalın ve batı yarım daire sahasında ise ince çizgilerle belirlenir.

Vektör diyagramının çizileceği şebeke A (NW), B(NE), C(SE) ve D(SW) olmak üzere dört kadrana ayrılmıştır (Şek. 6). A kadrantındaki ortalama eğim vektörleri  $a_1', a_2' \dots a_n'$ , B de  $b_1', b_2' \dots b_n'$  c de  $c_1, c_2' \dots c_n'$  ve D kadrantında ise  $d_1', d_2' \dots d_n'$  ile simgelenmiştir.

Bu kadrantlardaki ortalama eğim vektörlerinin bileşke toplamları sırasıyla  $V_1, V_2, V_3, V_4$  ve bu ortalama eğimleri oluşturan itme kuvvetleri ise aynı şekilde  $F_1, F_2, F_3, F_4$  ile gösterilmiştir. A ve B kadrantlarındaki doğrultular bir yönde eğimli ise  $a_1, a_2 \dots a_n, b_1, b_2 \dots b_n, c_1, c_2, \dots c_n$  ve  $d_1, d_2 \dots d_n$  ile şayet iki yönde eğimli iseler  $a_1, c_1, a_2, c_2 \dots a_n, c_n, b_1, d_1, b_2, d_2 \dots b_n, d_n$  şeklinde işaretlenir.

Ortalama eğim değerlerini gösteren vektörler dolu çizgilerle şekillendirilmiştir. Yüzde değerleri ise bu vektörlerin etki çizgileri üzerinde kesikli çizgili vektörlerle gösterilmiştir.

Şayet yüzde değer vektörleri ortalama eğim vektörlerinden küçükse, merkez noktasından itibaren kesikli çizgilerle işaretlenmiş ve yöne dik küçük bir çizgi ile sınırları belirlenmiştir. Böyle durumlarda dolu ve kesikli çizgili kısımların toplamından meydana gelen vektör ortalama eğim vektörünü ve kesikli çizgili kısım ise ortalama eğimin yüzde değer vektörünü temsil eder. Eğer kesikli çizginin tabanında dolu çizgili kısım varsa ve kesikli çizgi çevreye doğru daha fazla uzamışsa dolu çizgili kısım ortalama eğim vektörünü ve tüm uzunluk yüzde değer vektörünü oluşturur (Şek. 6). Çok nadir de olsa eğer ortalama eğim vektörü ile ortalama eğim yüzde değer vektörü birbirine eşit uzunlukta olursa, iki vektör birbiri ile tam çakışır ve tek bir dolu çizgili vektörlerle gösterilir.

Vektör diyagramının çizimi böylece açıklandıktan sonra, şunu kaydedebiliriz ki, karşılıklı zıt yöndeki ortalama eğimlerin yüzde değer vektörleri, zıt yönleri gözönüne alınmaksızın toplanarak, ortalama eğime dik yönde olan doğ-

rultuların yönleri dereceleri ve yüzde değerleri ortaya konabilir (Şek. 6 da  $a_1, c_1, a_2, c_2 \dots a_n, c_n$ ).

### Bir uygulama

Sıraşlar ve Kızılyar formasyonlarında yapılmış olan ölçülere göre N 30° - 80° E arasında doğrultular ve bu doğrultuların iki yönde (A ve C kadrantlarında) eğimli oldukları saptanmıştır. Elde olunmuş ölçüleri aşağıdaki gibi tertipleylim.

30°-40°	40°-50°	50°-60°	60°-70°	70°-80°
28	16	37	19	15
26	47	18	29	22
40	29	20	22	26
35	17	+22	36	31
		97		
+11	19		30	25
158				
	18		21	
	20		24	10
	20		23	+11
				170
	24		21	
	16		20	
	37		28	
	11		23	
	+29		27	
	361		30	
			+ 22	
			375	

$$158^\circ/158 \cong 26^\circ \quad 361^\circ/158 \cong 24^\circ \quad 97^\circ/4 \cong 25^\circ \quad 371^\circ/158 \cong 25^\circ \quad 170/8 \cong 21^\circ$$

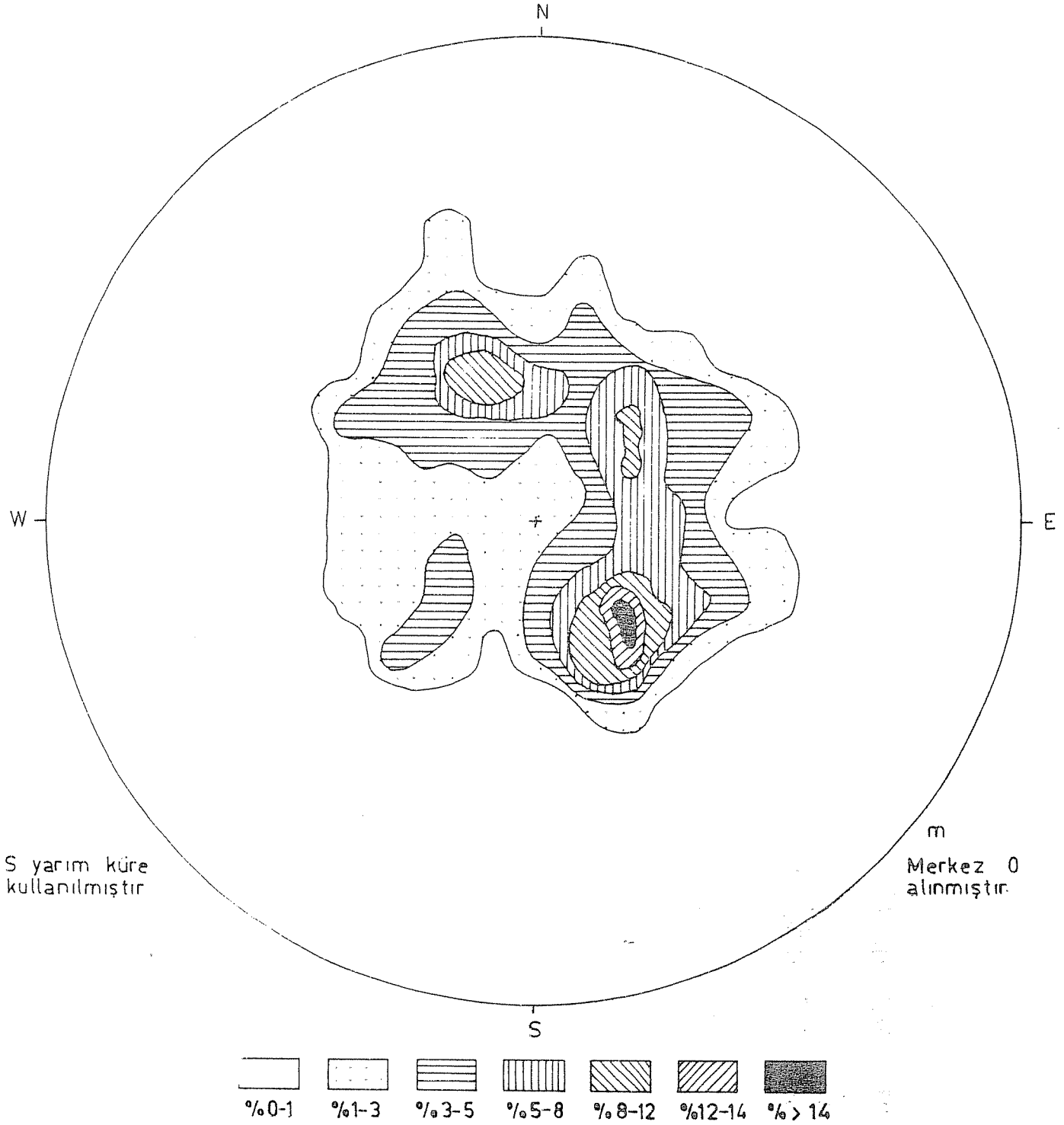
$$\%9 \quad \%22 \quad \%6 \quad \%22 \quad \%12$$

### C kadrantı eğimleri

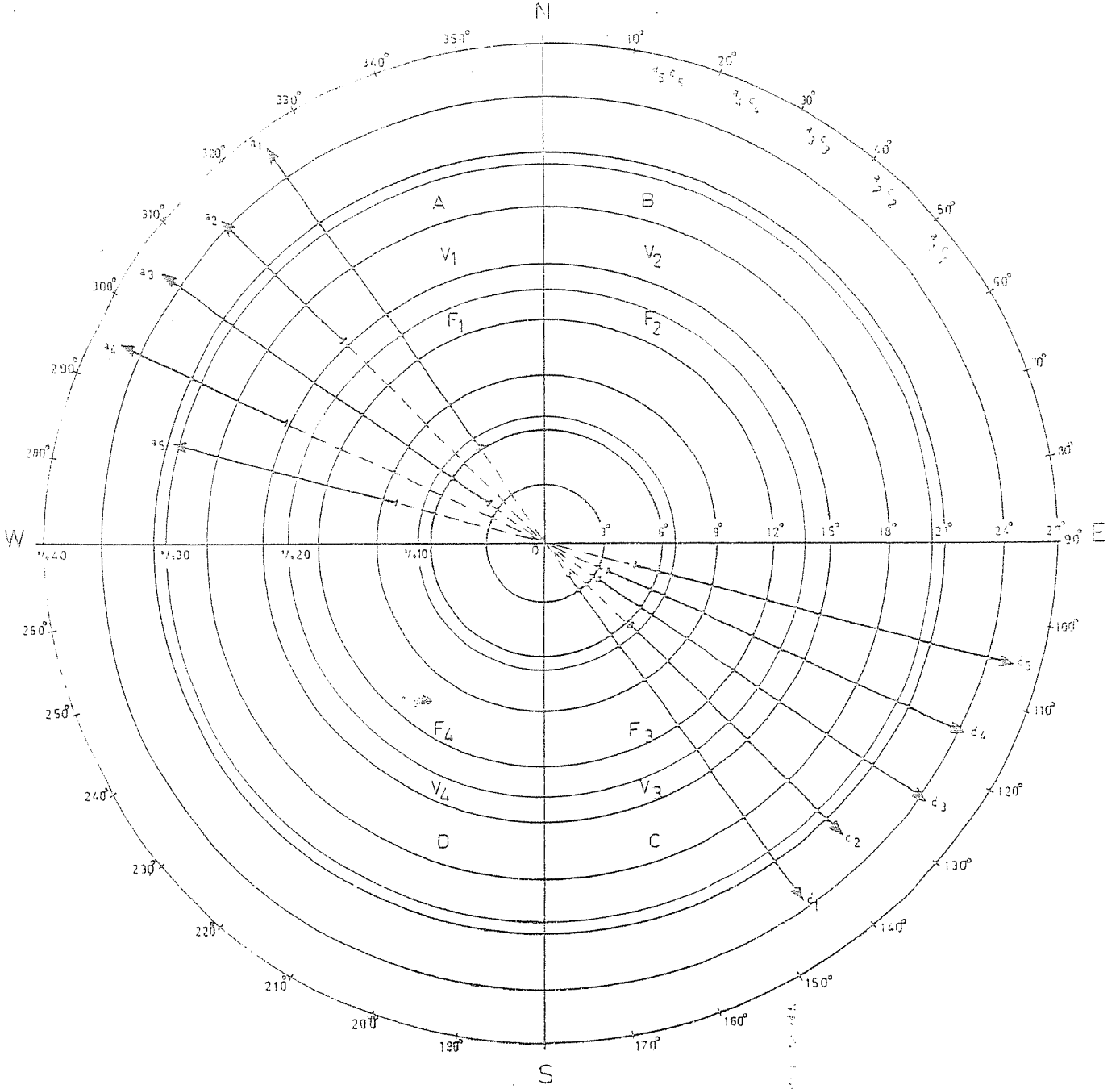
30°-40°	40°-50°	50°-60°	60°-70°	70°-80°
25	30	29	15	31
+21	20	20	25	31
46	23	24	27	32
	25	+21	+28	21
		94	95	
	+15			+16
	135			131

$$46^\circ/2 \cong 23^\circ \quad 135^\circ/6 \cong 23^\circ \quad 94^\circ/4 \cong 24^\circ \quad 95^\circ/4 \cong 24^\circ \quad 131^\circ/5 \cong 26^\circ$$

$$\%3 \quad \%9 \quad \%5 \quad \%5 \quad \%7$$



Sekil 5: Doğrultu ve eğimlerin kontur diyagramı.  
 Figure 5: The contour diagram of strikes and dips.



Şekil 6: Seçkin doğrultu ve ortalama eğimlerin vektör diyagramını.

Figure 6: The vector diagram of the predominant strikes and average dips.

Elde edilen ortalama eğimler üstte ve yüzde değerleri altta olmak üzere kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre artık vektör diyagramını çizebiliriz.

#### SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Vektör diyagramları seçkin doğrultu ve ortalama eğimlerin tek bir diyagramdan okunma-

sına olanak sağlamakta ve seçkin doğrultu ile ortalama eğim yüzdeleri eksiksiz olarak içermektedir. Aynı zamanda çizilmesi ve okunması yönünden vektör diyagramları gül (Şek. 3 ve 4) ile kontur (Şek. 5) diyagramlarından çok daha pratiktir. Örneğin; ortalama eğim gül diyagramından (Şek. 4) seçkin doğrultuları yüzdeleri ile ortaya koymak olanaksızdır. Bu diyagramlarda

ortalama eğimlerin vektörel gösterildiği ve değerlendirilmesinin ise skaler yapıldığına daha önce değinilmişti. Bu tarz vektörel hesaplamalara uygun düşmemektedir.

Kontur diyagramlarında eğimler eşit alanlardaki yüzde ölçülere göre ortaya konmaktadır. Bunlarda eğimlerin ölçü yoğunluklarından sadece seçkin doğrultuların yönleri söylenebilir.

Eşit alanlardaki ölçü yüzdeleri için ayrıca ek lejanda verilmesini zorunlu kılmaktadır. Kontur diyagramlarının şimdilik vektör diyagramlarından üstünlüğü kıvrım eksenlerinin doğrultu ve dalımının da saptanmasına olanak sağlamasıdır. Sadece eğimlerle anlatım yönünden

vektör diyagramları kontur diyagramlarına benzemektedir. Fakat kontur diyagramlarından seçkin doğrultuları, yüzde değerleri, yönleri ve dereceleri ile okumak olanaksızdır. Bu hususta ise vektör diyagramları kontur diyagramlarından üstün durumdadır:

Tez ve raporlarda anlatıma gelince daha önceki diyagramlardan ,tektonik yorum yapılmasında olduğu gibi, vektör diyagramları uzun uzun yazımlara gereksinme göstermez.

Not: Yukarıda açıklanmış olan şekliyle vektör diyagramları, 2 Mayıs 1977 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yer Bilimler Fakültesi, Jeoloji Bölümünde öğretim elemanları ve öğrencilerine konferans olarak verilmiştir.

#### FAYDALANILAN KAYNAKLAR

Ağar, Ü., (1977): Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, KTÜ., sayfa 41-49, Trabzon.

Akartuna, M., (1953): Çatalca-Karacabey bölgesinin jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi monografileri (Tabii ilimler kısmı), sayı 13, sayfa 70-77 İstanbul.

Akartuna, M., (1975): Tektonik notları, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, İstanbul.

Akkus, M., (1971): Darende-Balaban havzasının jeolojik ve stratigrafik incelenmesi, MTA. Enstitüsü dergisi No. 76, Ankara.

Alp, D., (1972): Amasya yöresinin jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi monografileri (Tabii ilimler kısmı), sayı 22, İstanbul.

Atan, O. R., (1969): Eğribucak-Karacaören (Hassa)-Ceylanlı-Dazevleri (Kırkhan) arasındaki Amanos dağlarının jeolojisi, MTA. Enstitüsü dergisi, sayı 139, Ankara.

Baykal, A. F., (1952): Recherches geologique dans la region de Kelkit-Şiran (NE de l'Anatolie) İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi mecmuası, seri B, sayfa 289-304, İstanbul.

Berker, R., (1959): Mekanik dersleri İTÜ. sayı 96, sayfa 1-14, İstanbul.

Billings, M. P., (1954): Structural Geology, Englewood Cliffs N J., Prentice-Hall, Inc. pp. 107-115, USA.

Blumenthal, M., (1954): Kelkit dislokation südlich Niksar und ihre tektonisch rolle MTA. Enstitüsü, no. 2/23, Ankara.

Ketin, İ., Bayburt bölgesi jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi mecmuası, seri B, cilt XVI, sayı 2, sayfa 113-127, İstanbul.

Ketin, İ., (1959): Türkiye orojenik gelişmesi, MTA. Enstitüsü dergisi, no. 53, sayfa 78-84, Ankara.

Lahn, E., (1940): Le structure geologique de la region d'Erzurum, MTA. Enstitüsü mecmuası, No. 19, Ankara.

Kurtman, F., (1973): Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı, MTA. Enstitüsü dergisi sayı 80, sayfa 21-31, Ankara.

Nebert, K., (1958): İç Anadolu'nun en genç jeolojik-tektonik olayı hakkında bir etüd, MTA. Enstitüsü dergisi sayı 50, sayfa 22-29, Ankara.

# Kaya Kütlesinin Davranışlarını Önceden Saptamak İçin Geliştirilen Jeomekanik Sınıflama Sistemi\*

Z. T. BIENIAWSKI\*\*

*Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Merkezi, G. Afrika*

ÇEVİREN: GÜNGÖR UNAY *E.İ.İ. İdaresi Genel Direktörlüğü, Ankara*

Jeomekanik sınıflama sistemi kaya kütlelerinin mühendislik verilerini saptamaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntem tüneller, temeller, şev yamaçları ve diğer yeraltı inşaatlarında uygun kaya payanda ve takviye önlemlerinin seçiminde kullanılmaktadır.

Kayayı mühendislik yönünden sınıflamada çeşitli yöntemler bulunmakta ise de, Jeomekanik sınıflama yöntemi bunların en yararlısı olup, kaya davranışında aşağıda belirtilen son derece önemli altı parametreyi içermektedir :

- Kayanın tek eksenli basınç mukavemeti
- Sondaj karotlarından elde edilen RQD (Kaya Niteliğinin tanımlanması) değerleri.
- Yeraltısuyu gözlemleri
- Eklem sıklığı
- Eklem durumları
- Eklem yönlenimi

Bu parametrelerin tümü sahada ölçülebilir, bunlardan tek eksenli basınç mukavemeti sondaj karotları üzerinde kutursal uç yükleme deneyleri (point load tests) yapmak suretiyle saptanabilir.

Jeomekanik sınıflama Tablo 1 de görülmektedir. Tablo kendiliğinden kolaylıkla anlaşılabilir ayrıntıdadır. Özellikle uygulama alanında kullanılan Jeomekanik sınıflamada dikkat edilecek husus, düşünülen mühendislik projesine bakılmaksızın önce kaya kütlelerinin niteliği hakkında genel bir değerlendirmeye ulaştırılmasıdır. Bu da sınıflama parametrelerinin ilk beşini kullanmak suretiyle elde edilir. Daha sonra değerlendirmeler tünel, yamaç veya bir temel durumuyla ilgili olup olmamasına bağlı olarak eklemelerin doğrultu ve eğim yönlerine göre düzeltilir (Tablo 2).

\* Bu çeviri, World Construction, Mayıs 1976 tarihli derginin "Classification system is used to predict rock mass behavior" adlı makaleden yapılmıştır.

\*\* Jeomekanik bölümü başkanı.

## A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE DERECELERİ

1	Sağlam kayanın mukavemeti	Uç-yük mukavemeti andeksi	> 8 MPa	4 - 8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Yeğlenen tek eksenli basınç deneyini kullan		
		Tek eksenli basınç mukavemeti	>200 MPa	100 - 200 MPa	50-100 MPa	25-50MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
Deracelendirme			15	12	7	4	2	1	0
2	Sondaj Karot Kalitesi RQD		% 90- % 100	% 75 -% 90	% 50 -% 75	% 25 -% 50	< % 25		
	Deracelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklemlerin sıklığı		> 3m	1 - 3 m	0,3-1m	50-300m	< 50 mm		
	Deracelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklemlerin durumu		Çok kaba yüzler Sürekli değil Ayrılma yok Eklemler sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayrım <1mm Eklemler sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayrım <1mm Eklemler yumuşak duvar kayası	Sürtünme izli yüzler veya fay kili <5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler	Yumuşak fay kili >5mm kalınlık veya açık eklemler >5mm sürekli eklemler		
	Deracelendirme		25	20	12	6	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10 m. lik kısmından gelen su	Yok		< 25 litre/dak.	25-125 litre /dak.	>125 litre/dak.		
		Oran	0		0,0-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Genel Koşullar	Tamamen kuru		Yalnızca nemli ( kırıklardaki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri		
	Deracelendirme		10		7	4	0		

## B. EKLEM YÖNLENİMİNE GÖRE DÜZELTME

Eklem yönlenimi		Çok iyi	İyi	Orta	Kötü	Çok kötü
Deracelenme	Tünel	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Yamaçlar	0	-5	-25	-50	-60

## C. KAYA SINIFLAMALARI ve DERECELERİ

Sınıflama No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Deracelendirme.	100—90	90—70	70—50	50—25	<25

## D. KAYA SINIFLAMA YORUMLARI

Sınıflama No.	I	II	III	IV	V
Ortalama dayanma süresi	5m. açıklıkta 10 yıl	4m. açıklıkta 6 ay	2m. açıklıkta 1 hafta	1,5m. açıklıkta 5 saat	0,5m. açıklıkta 10 dakika
Kaya kütlelerinin kohezyonu	>300 kPa	200-300 kPa	150 - kPa	100 -150 kPa	<100 kPa
Kaya kütlelerinin sürtünme açısı	> 45°	40°-45°	35°-40°	30°-35°	< 30°
Cevherin kazılabilirliği	Çok zayıf	Kolaylıkla büyük parçalar çıkar	Orta	Kolaylıkla kazılır iyi parçalanma	Çok iyi

Tablo 1: Eklemlerli kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması.



Tünel eksenine dik doğrultu				Tünel eksenine paralel doğrultu		Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20°
Eğim yönünde açım		Eğime dik açım				
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Çok uygun	Orta	Uygun değil

Tablo 3: Tünelde ekleme doğrultu ve eğim yöneliminin etkisi.

Jeomekanik sınıflamayı uygulamak için, mühendis önce kaya kütlelerini bir seri yapısal bölgelere ayırır, her bölgenin yalnız tek tip iksa (support) gerektirecek belirli bitevil özellik ve benzer niteliklere sahiptir. Sahada ölçümlerden herbir yapısal bölge için sınıflama parametreleri saptanır. Bu amaçla özel bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Daha sonra sınıflama parametrelerine ilişkin önemli derecelendirmeler seçilir.

Sınıflama parametrelerinin önemli derecelendirmeleri oluşturulunca beş parametre (Tablo 1'in A bölümü) toplanır önce kaya kütleleri için yerindeki değerler saptanır (yani düşünülen yapısal bölgesi), yüksek değerler en iyi kaya koşullarını vermektedir. Bu basit değerlendirme bilâhare son değerlendirme için Tablo 1 in B bölümüne göre düzeltilir. Tablonun C bölümü son derecelendirmeleri beş kaya grubu halinde toplamaktadır. Tablonun D bölümü ise kayanın her gruptaki pratik anlamını vermekte olup, bunların gerektiğinde mühendislik problemleriyle bağlantısı sağlanır.

Kayaların Jeomekanik sınıflama sistemini deneyiminin en iyi yöntemi gerçek durumlarda güvenilirliğini sınamaktır.

#### Tüneller ve Yeraltı Boşlukları

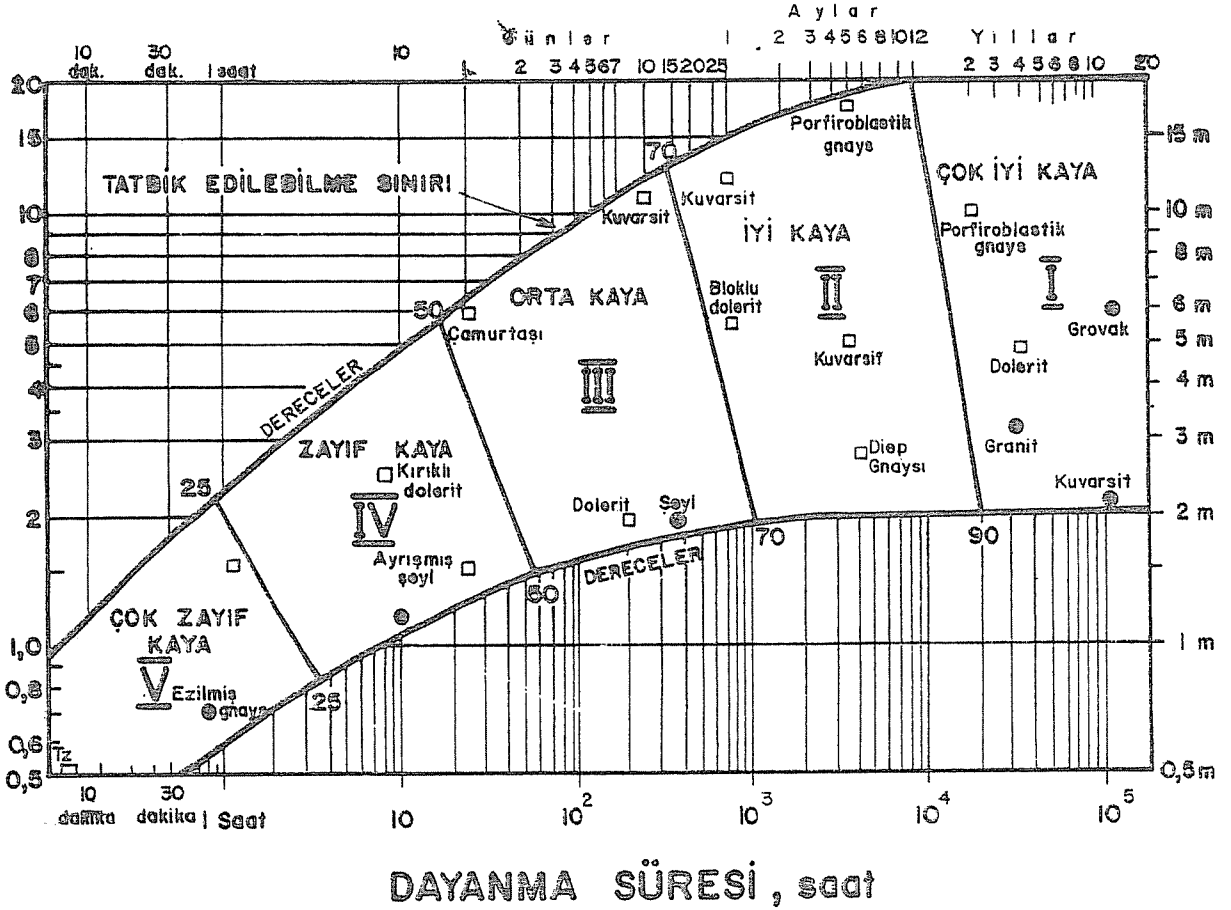
Atnalı biçiminde, 5 m genişlikte ve 6 m yüksekliğindeki bir tünel kırıklı dolerit içinde sondaj ve patlatma yöntemiyle açılmıştır. Tavana iksa konmamış, ancak 2.4 m genişliğinde ve 6 m uzunluğundaki bir kısım patlatmadan sekiz

saat sonra çökmüş ve 3 m yüksekliğinde büyük bir boşluk oluşmuştur. Tüneldeki değerlendirme Tablo 3 deki gibi değerlendirilmiştir.

Parametre	Değer	Derece
Gereç mukavemeti	50 - 100 MPa	7
RQD	% 25 - 50	4
Eklemlerin aralıkları (takımlar halinde)	(1) 0.3 - 1 m. (2) 50 - 300 m. (3) 0.3 - 1 m.	15
Eklemlerin durumu	Sıkı süreklili az kaba yüzlü eklemler, sert eklemler duvarı, fay kili < 5 mm.	6
Yeraltı suyu akımı	< 25 litre / dak.	7
YERİNDEKİ İLK KAYA DEĞERİ		39
Eklemlerin yönelimi için düzeltme	Çok kötü	-12
TÜNEL İÇİN SON KAYA DEĞERİ		27

Tablo 3: Sınıflama sistemi gökten tünelin derecelenmesinin yalnızca 27 olduğunu göstermektedir.

Sınıflama sistemini kullanmak suretiyle 27 değeri (Şekil 1 e bakınız) iki saatlik bir dayanma süresine (stand up time) eşgelmektedir. Derecelendirme patlatma öncesi yapılmış olaydı, müteahhit uygun bir iksanın gerekliliği konusunda uyarılabilirdi.



Şekil 1: Tünelcilik için kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması tipik Alp dağlarına ait örnekler içi dolu yuvarlak noktalarla, oysa tipik Güney Afrika örnekleri küçük karelerle gösterilmiştir.

### Temeller

Jeomekanik sınıflama sistemi her ikisinde büyük köprülerle ilgili olmak üzere kayadaki temel problemlerine uygulanmıştır. Sistem baraj temellerine uygulanmamıştır, ancak bu yönde çaba göstermenin bir gereği yoktur. Köprü ile ilgili temel problemlerinden birisi özellikle ilginç olup, bu amaçla büyük ölçekli yerinde deney (çift krikolu yükleme deneyi) yapılmıştır.

Köprü ayakları 22 ilâ 11 m boyutlu bir alanı kaplamış ve ayrılmış migmatitik kaya içine yaklaşık 5 metre girmiştir. Ana sorun temel deplasmanlarının kemer köprü projelendirme değerleri içinde kalıp kalmıyacağı konusunda gelişmiştir. Aşırı yükleme sonucu oluşabilecek yıkılmada gözönüne alınmıştır. Proje Jeolojik haritalamayı, laboratuvar deneylerini ve sondaj karot analizlerine ek olarak büyük ölçekli yerinde deneylerin yapılmasını gerektirmiştir.

Hidrolik kriko ile yapılan yükleme sonucunda kayanın deformasyon modülü 500 MPa (5000 kg/cm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Beklenilmeyen bir olay hidrolik kriko yükleme deneyi sırasında son yük verildiğinde kayanın toplam bir yenilmeye (total failure) uğramış olmasıdır. Bu kaya jeomekanik sınıflama sisteminde 36 derecelenme ile IV ncü sınıfa (zayıf kaya) sokulmuştur.

### Madencilik ve Diğer Yeraltı Yapıları

Jeomekanik sınıflama Tablo 4 de verilen klavuza göre maden galerilerinin açımında ve madenin galeriden taşınmasında ilk iksa seçiminde başarıyla kullanılmıştır. Büyük maden boşluklarının (chambers) düzeltilmiş sınıf III veya daha iyisiyle yalnızca kaya kütlelerinde kazılması önerilmektedir.

KAYA KÜTLESİ SINIFLAMASI	KAZI	BİRİNCİL İKSA		
		Kaya bulonları * (10 m. genişlikteki tünel için uzunluk)	Şatkrit	Çelik takımlar
I	Tam kesit 3 m. ilerleme	Bazı bulonların haricinde genellikle iksa gerektirmez.		
II	Tam kesit 1,0-1,5 m. ilerleme	Kemerin 2-3 m. sinde yer yer bulonlar, tel kafeslerle 2-2,5 m. aralıklı, aynaya 20 m. ye kadar gereklidir.	Su geçirmezlik için tavan kemerinde 50 mm.	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme Tavandan 1,5-3 m. ilerleme	3-4 m. uzunlukta sistematik bulonlar, kederde tel kafesli duvarlar ve kederde 1,5-2 m. aralıklı, aynaya 10 m. ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 50-100 mm. yan duvarlarda 30 mm.	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme Tavandan 1,0-1,5 m. ilerleme	Tel kafesli duvarlarda ve kederde 1-1,5 m. aralıklı, 4-5 m. uzunluklu sistematik bulonlar. Aynaya 10 m. ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 100-150 m. ve yan duvarlarda 100 mm Kazı ilerledikçe iksa yerleştirilmelidir.	Gereken yerde 1,5 m. aralıklı yer yer hafif traversler (ribs)
V	Tavan ve taban müşterek ilerleme Tavandan 0,5-1 m. ilerleme	Tel kafesli duvarlarda ve kederde 1-1,5 m. aralıklı, 5 m uzunluklu sistematik bulonlar. Aynaya 5 m. ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 150-200 mm. yan duvarlarda 150 mm. Aynada 50 mm. Patlamadan hemen sonra şatkrit uygulanmalı.	Çelik iksalı 0,75 m. aralıklı ağır traversler.
* 20 mm. çaplı tamamen reçine bağlantılı, uzunluk tünel genişliğinin yarısı				

Tablo 4: Atnalı şekilli tünellerde ilk iksanın seçiminde gösterilen kılavuz (genişlik 5 ila 12 m; düşey gerilme 30 MPa; inşaat sondaj ve patlama ile)

### Gelecekteki Uygulamalar

Geçmişteki incelemeler jeomekanik Sınıflamanın inşaat mühendisliğinde ve maden işlerinde yararlığı açıkça görülmektedir. Bununla beraber, bu sınıflamanın yalnızca amaca giden bir yol olduğu hatırdan çıkarılmamalıdır, en son mühendislik hesabının yerini alamaz. Esas olarak

ampirik bir yaklaşımı temsil etmekte olup, inşaat sırasında uygun saha ölçüleriyle kontrol edilmelidir. Bir kere bu yapılnca, Jeomekanik Sınıflama kaya kütle koşullarının saptanmasında, kaya takviye önlemleri ve iksanın seçiminde ve mühendislik projelerinde iletişimin sağlanmasında çok etkin bir yoldur.

# Bent Temellerinde Etkin (Active) Faylar<sup>(\*)</sup>

J. L. SHERARD

L. S. CLUFF

C. R. ALLEN

ÇEVİREN: MUSTAFA AKINCI

*Berkeley, California*

*Woodward Lungren and Associates, Oakland, California*

*California Institute of Technology, Pasadena, California*

*D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara*

**ÖZ:** Bu yazı etkin faylar üzerinde kurulmuş bentlerin, fay mekanizması ve kırıkları ile ilintisini, araştırmalardan edinilen deney ve bilgilerin yorumunu, etkin faylar üzerinde kurulması zorunlu bendler için alınması gereken önlemleri içermektedir. Bendin etkin faylar üzerinde kurulması kaçınılmaz ise dolgu bend türleri tasarımlanmalıdır. Etkin fay kuşaklarında beton bend önerilmemelidir.

Fay etkinliğini saptamak için yapılan jeolojik çalışmalar bent yerinin koşullarını açınlayacak uzaklığa kadar yapılmalı ve fayın geçmişine özgü verileri içermelidir. Son yıllarda gelişen teknoloji, deney ve bilgi birikimi fayların etkinliğini-edilgenliğini (inactivity) saptayabilecek boyutlara ulaşmıştır.

(\*) "Potentially active faults in dam foundations, 1974, Géotechnique 24, No: 3, 367-428" den kısaltılarak türkçeleştirilmiştir ve DSİ Genel Müdürlüğünde, Jeoteknik I adlı yayın organının Haziran 1977 sayısında yayınlanmıştır.

## GİRİŞ

Deprem bölgelerindeki bent yerlerinde sık sık faylarla karşılaşılır. Bentlerin ekonomik ömrü süresince olası fay atımlarını saptamak ve tasarımları buna göre yönlendirmek çok güçtür. Sunulan yazıda etkin fayların incelenmesi özellikle mühendislik açısından irdelenecek, sonuçların tasarımlara etkisi vurgulanacaktır.

"Fay kırılması", "fay devinimi (hareketi)", "fay atımı" ve "faylanma" deyimleri yüzeyin faya göre konumunu belirlemek için özdeş anlamda kullanılmaktadır.

Fay ve depremin karşılıklı etki bütünlüğü vardır. Başka bir deyişle kimi depremler fayları, oluştururken faylanma sırasındaki enerji özgürleşmesi de depremlere neden olur.

Akarsular vadilerini daha kolay aşınabilen ezilmiş, paralanmış kuşaklarda açtıklarından, genellikle vadiler fayları izlerler. Bu nedenle bent temellerinde faylarla sık sık karşılaşılması bir raslantı değil, jeolojik ve dinamik olayların en olağan sonucudur. Şiddetli deprem bölgelerinde inşa edilen yüzlerce bentden ancak birkaçının temelinde fay gözlenmemiştir.

Fayın niteliğini (etkin-edilgen) saptamak bu konuda uzmanlaşmayı gerektirir. Çoğun, yer bilimcilerin özdeş fay konusunda değişik yargılara vardığı gerçektir. Nükleer Enerji Santral alanlarında yapılan çalışmalara göre US Atom Enerjisi Komisyonunca onanan etkin fay tanımını aşağıdaki özgül niteliklerden bir veya birkaçını içermelidir:

1) Yüzeyle veya örtü altında son 35.000 yılda en az bir kez atımlandığını veya geçmiş 500.000 yılda devinimin yinelenmesini kanıtlayan olayların gözlenmesi,

2) Ayraksal ölçümle yeterli doğrulukta saptanan makrosizmisite ölçümlerinin fay ile direkt ilişkisinin gösterilmesi,

3) (1) ve (2) de anılan özgül niteliklerini içeren fayların birinin atımının diğerinin atımına neden olacağını yapısal olarak doğrulanması.

Bentlere de uygulanan bu tanımlama genel anlamda yeterlidir, ancak birçok fayların yakın

jeolojik geçmişteki devinimlerini saptamak oldukça güçtür. Böyle durumlarda devinim ve atımın doğası ile yineleme koşullarını yorumlamak jeoloji mühendisinin görevidir.

Bent tasarımları bütünüyle deneysel ve kuramsal olarak gerçekleşmektedir. Tasarım yöntemleri gün ve gün geçiyorsa da, özünde daha önce kurulan bentlerin üretimlerini başarı ile sürdürmeleri tasarımcıların deneylenmelerini sağlamaktadır. Bent temellerinde gözlenen fayların etkinliği konusunda geçmişte özgü güvenilir belgeler yoktur, bu nedenle çoğu kez yorumlarla yetinmek zorunluluğu vardır. Etkin fay kuşaklarında tasarımılanan bentler, tasarımcının, yerey jeolojisi, sismoloji ve öteki mühendislik bilgileriyle iyi donatılmasını gerektirir, ancak bu koşullarda yorumlar doğru sonuçlar verir.

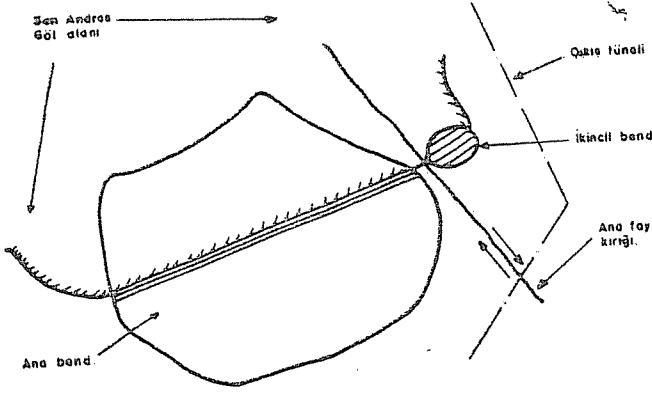
Bu yazı, birçok bent tasarımlarında çalışmış, olayları gözlemiş olan uzmanların, sorunları eleştirmesini, yeni gelişmelerin tartışmasını içermektedir.

## BENT YERLERİNDE FAY KIRILMALARI İLE İLGİLİ GÖZLEMLER

Yazarların bilgilenmelerine göre depremler sırasında atımlanan fayların neden olduğu bent yenilmesi olmamıştır. Yeryüzünde değişik boyutlarda 25.000 kadar bent vardır. Bunların 500 den fazlası geçitli nedenlerle ya yenilmiş ya da zarar görmüşlerdir, ancak yenilme nedeni faylanma değildir. Depremlerin bentler için büyük olduğu kuşkusuzdur. Ne varki deprem sırasında oluşan faylanmanın bent yerlerine rastlama olasılığı çok azdır. Aşağıda bu tür bentlere örnekler verilmiştir.

### 1906 San Francisco depremi

San Francisco'nun birkaç mil güneyinde 100 yıl önce kurulan San Andres bendi 27 m. yükseklikte ve toprak dolgudur. Bent iki setten oluşmuştur, doğu yakasındaki set, ana setten ince bir sırt ile ayrılmaktadır. 1906 San Francisco depremi sırasında San Andres fayının ana kırığı iki set arasındaki bu sırttan geçmiştir (Çizim 1). Ana set, doğu yakasındaki sete göre kuzeye 2.5 m kütleli olarak devinmiştir. Doğu yakasındaki tünel, doğrultusundan 3 m. sapmış-



Cizim 1: San Andres bendi. Ana fay kırığının konumu.

tır. Göl alanında  $20 \times 10^6$  m<sup>3</sup> su olmasına karşın ne su kaçağı ne de başka olumsuzluklar gözlenmemiştir. San Andres fay vadisinde kurulan bu bendin istatistiksel önemi vardır. Bendin kurulduğu yıllarda deprem faylanma konusunda bilgilenme yetersizdi. Bugünkü bilgilenme ile San Andres gibi ana fayların etkin olduğu kolayca gözlenebilir ve bu tür fay vadilerinin bent yeri için uygun olmadığı kolayca saptanabilir.

İçmesuyu amaçlı Crystal spring bendi de, San Andres bendinin birkaç mil güneyinde ve San Andres fay vadisinde yer almaktadır. Deprem sırasında ana fay kırığı bendin uzun eksenini dik kesmiştir. Bendin batısı doğusuna göre 2 m. kuzeye kaymıştır. Dorukta 1 m. derine kadar enine ve boyuna çatlaklar gözlenmesine karşın su kaçağı olmaması, dolgunun bent olarak işlevini nasıl sürdürdüğü konusunda tartışmalara neden olmuştur. 1888 de beton ağırlık bendi olarak kurulan Lower Spring bendi, fay kırığından 200 m. ötede olmasına karşın depremden etkilenmemiştir.

#### 1959 West Yellowstone depremi

Hebgem bendi 1914 yılında toprak dolgu olarak inşa edilmiştir. Doruk uzunluğu 210 m, yüksekliği 27 m. dir. 25 km. uzunluğundaki göl alanında  $370 \times 10^6$  m<sup>3</sup> su depolanmaktadır. 17 Ağustos 1959 West Yellowstone depremi sırasında göl alanı dolu idi. Devrimler düşey atımlı faylar olarak gelişti. Ana fay kırığının toplam uzunluğu 75 km. den fazla idi. Göl alanının sağ yakasını kesen Hebgem fay kırığı bu noktada 5 m. düşey atımlanmış ve fayın güneyi

kuzeyine göre düşmüştür. Faylanma ile birlikte göl alanı altındaki ana kaya 6.7 m, bent temelindeki ana kaya ise 3 m. bitevil olarak çökmüştür. Göl alanındaki ortalama çökme 3.2 m. olduğundan bent ve su düzeyi görece (relative) özdeş yükseltide kalmıştır. Deprem kütle devrimine neden olmasına karşın bendi fazla etkilememiştir. Az harcamayla onarılmış, işletmeye açılmıştır.

#### BALDWIN HILL GÖL ALANI YENİLMESİ

Baldwin Hill göl alanı yenilmesine fay boyunca gelişen sızmaların aşındırması neden olmuştur. Bendin yapımı sırasında fay birkaç cm. devrimmiş, göl alanındaki sert kili kırmıştır. Göl alanı ve doğal payandalar Alt Pliöstosen ile Üst Pliöstosen yaşlı, bitişimsiz (cohesionless) ince kum, silt ve kil içermektedir.

Sızıntı su fay boyunca gelişen yarıklardan girmiş, doğal payandaların akış aşağı olan eğim yüzeylerine etkimmiştir. Kolayca aşınabilen ince kum ve silt yıkanmıştır. Bendin yakınında petrol üretimi nedeniyle büyük bir çökmede olduğundan fayın etkisinin olup olmadığı tartışma konusudur. Deneyle, sızıntı suyun, ince taneli bitişimsiz zeminin kil katmanları ile ardalanması sonucu, payandalarda ve temelde etkili olduğunu göstermektedir. Bitişimli olan kil aşınma tünellerinde oluşturduğu kemerlenme ile, ince kum ve siltin yıkanmasını sağlamakta, büyük boyutlarda sızma tünellerinin gelişmesine neden olmaktadır. Eğer temelde salt ince taneli bitişimsiz kum bulunsaydı, sızma tünelleri gelişmeyebilirdi ve kum, fayın oluşturduğu yarıkları kapatabilirdi.

Arâştırmacılar tarafından gözlenen, kalın katmanlı killerde gelişen aşınma boşluklarının oluşumunu açıklamak oldukça güçtür. Ayrışan killer olarak bilinen bu tür killerin yenilmede etkin oldukları da gerçektir.

#### ŞİMDİKİ VE GEÇMİŞTEKİ TASARIM UYGULAMALARI

Birkaç örneğin dışında deprem bölgelerinde kurulan bent temellerinde faylanma sorunu ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Çalışmalar genel-

likle yüzey jeolojisi ve araştırma kuyuları aracılığı ile yürütülmekte, bent yerinin çevresini kapsamakta idi. Kimi kez de geçmiş jeolojik çalışmalar ile yetinilmekteydi. Ancak bu çalışmalar fayların olası etkinliği veya edilgenliği konusunda fazla bilgi vermemektedir.

Etkinliği ve edilgenliği saptanamayan faylar üzerinde tasarımılanan bentler varsayımlarla kurulmaktadır. Çok kullanılan varsayım ise; bendin ekonomik ömrü sırasında bu fayların kırılma olasılığının çok az olması, kırılma bile bent üzerinde fazla etkili olmayacağı biçimindedir.

Bugünkü uygulamada, bent temelinde etkin fay gözlenirse daha uygun yerler seçilmektedir. Bendi kurulması zorunlu ise gerekli önlemler alınır, örneğin dolgu türü bentler önerilmektedir.

Etkin fayların olduğu kesinlik kazanan yerlerde bendin kuruluşundan kaçınılmıştır, bu kuralın dışında sadece birkaç örnek vardır.

#### COYOTE BENDİ

38 m. yüksekliğindeki Coyote bendi 1936 yılında Calaveras fayının ana kolu üzerinde kurulmuştur. Yakınındaki Hayward fayı en son 1868 yılında kırılmış ve 6.5 - 7 m. şiddetinde bir deprem oluşturmuştur.

Tasarım çalışmalarını yürüten jeoloji mühendisleri Coyote bendinin ömrü boyunca faylanmanın yineleceğini, düşeyde 1 m. ve yatayda 6 m. atımlanacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca faylanma anında temelde 30 cm. lik çatlakların oluşacağı belirlenmiştir. Uzmanlar, bendin aşağıdaki koşullara özen gösterilerek yapımı durumunda güvenlik içinde işletilebileceği görüşünde birleştiler. Bent toprak dolgu olacak ve:

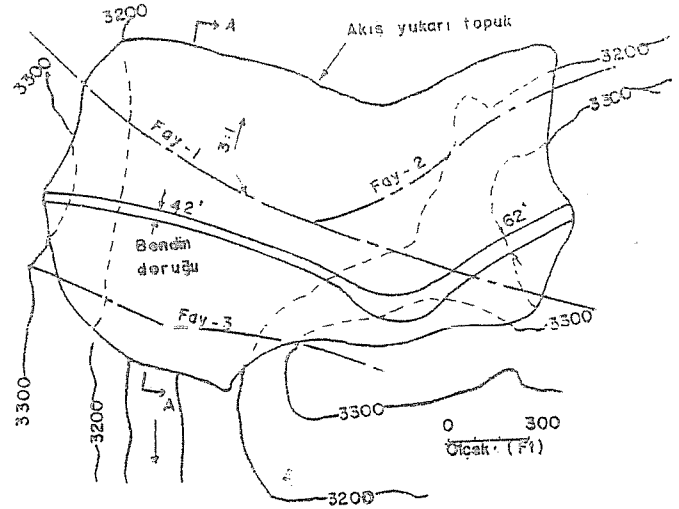
- Geniş, iyi sıkıştırılmış kil çekirdek tasarlanmalı
- Akışyukarı yüz kaplanması
- Kil çekirdek genişliği su düşüşünün en az 5 katı olmalı
- Fazla dolgu payı bırakılmamalı
- Faylanma sırasında oluşacak çatlakların kapatılması için sıkıştırılmış geçirimsiz

çekirdeğin akışacağı ve akış yukarısına kum ve çakıl kuşakları yapılmalı; böylece suyun çekirdeğe etkisi sınırlandırılmalıdır.

Bu önerilere göre tasarımılanan Coyote bendinin doruk genişliği 30.5 m, dalga payı ise 6.7 m. dir. İnşaat bitiminden bu yana faylanma olmamış, bent sorunsuz işletilmektedir.

#### CEDAR SPRING BENDİ

İçme suyu sağlama amaçlı olan bu bent 1971 de tamamlanmıştır. Bent yeri San Andres fayından 8 km uzakta, şiddetli deprem bölgesi içindedir. 1964 yıllarındaki temel araştırmaları sırasında birçok fay gözlenmiştir. Faylar bende koşut (paralel) ve vadi doğrultusundadır. Sol yakada bendi akışyukarısından akışaşağı kesmektedir (Çizim 2).



Çizim 2: Cedar Spring bendi, Kuşbakışı görünüşü ve fayların konumu.

Ana kayanın üstünde açılan araştırma hendeklerinde alüvyonun düşey doğrultuda 0.9 - 1.5 m. atımlandığı gözlenmiş, ancak yatay atımlamanın düşey atımlamaya göre durumu saptanamamıştır.

Akışyukardaki FAY-1 jeolojik formasyonların dokanağı durumundadır. Ana kaya az çimentolu kumtaşıdır, kazı araçları ile kolayca kazılmıştır. Akış aşağıdaki FAY-3 üzerindeki temel, sert granit oturtulmuştur.

Araştırma hendeklerinde yapılan araştırmalar fayların etkin olduğunu kanıtladı. Benden güvenlik sorunlarını çözmek için bir araya gelen uzmanlar gurubu (Deprem araştırma ve bent tasarımları uzmanları) tasarımda büyük değişiklikler yapılması durumunda benden yapımında sakınca olmayacağı sonucuna vardılar. Önerilere göre;

- Benden yüksekliği 92 m. den 66 m. ye düşürülecek
- Göl alanı yetisi (kapasitesi) 160 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> den 60 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> düşürülecek
- Temel ve kil çekirdek bütünüyle sert granitin üzerine gelecek Çizim 3 de benden enine kesiti görülmektedir.

Çekirdek için yöredeki siltli kum yerine aşınmaya karşı dayanımlı göl kili kullanıldı. Geçiş kuşaklarının (transition zone) birleştiği doruk oldukça geniş tutulan fayın akış yukarıdan akış aşağıya geçtiği kesimde doruk genişliği 19 m. ye çıkarıldı.

Etkin faylara karşı savunma 3 nolu (Çizim 3) geçiş kuşağı ile sağlanmış, bu kuşakta özellikle çatlakların kapanmasına olanak verecek teneviz ve bitişimsiz (Cohesionless) gereç kullanılmıştır. Fay kırılmasından sonra kil çekirdekte oluşacak çatlaklara girebilecek su 3 nolu kuşağın geçirimsizliği ile sınırlandırılacak ve akış aşağıdaki geniş kaya dolgu kuşak ile denetlenecektir.

Kazı sırasında birkaç cm. genişliğinde etkin faylar gözlemlenmiştir. Bu faylar tektonik bölgelerde gözlenen olağan faylara benzemektedir.

Kesin tasarımda geçirimsiz çekirdek için kullanılan kilin aşınmaya karşı dayanımlı olmasına özen gösterilmiştir. Çekirdekte çatlak oluşsa bile kil aşınmayı önleyecek nitelikte seçilmiştir.

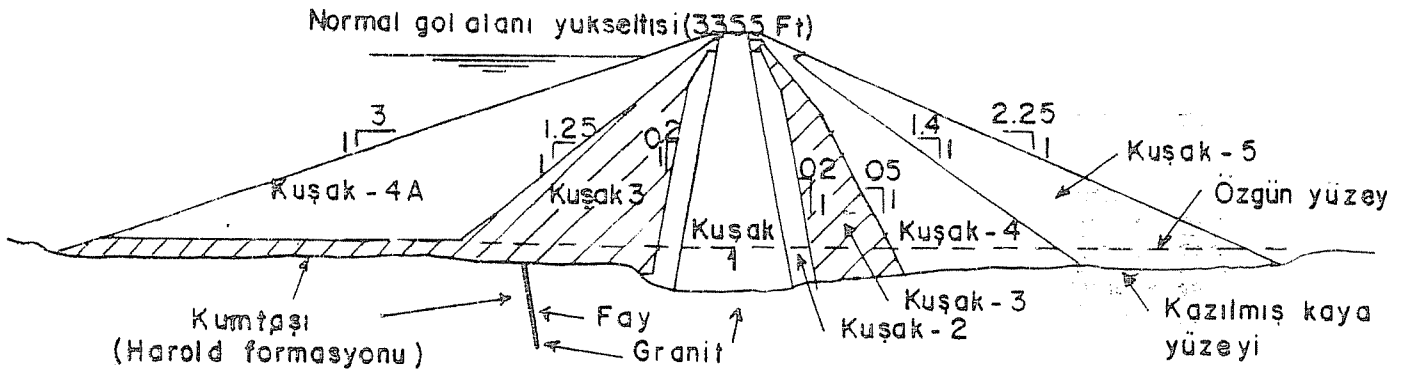
Bent işletmeye açıktır, şu ana kadar hiçbir sorun yaratmamıştır.

#### FAY KIRIKLARININ AYRINTILARI

Aşağıda, yüzeysel fay kırıkları gözlemlerinden edinilen ve mühendis için önemli olan konular özetlenmiştir. Olayların gelecekteki olasılıkları, geçmişteki jeolojik bilgilere ve deneylere dayanmaktadır.

#### GEÇMİŞTEKİ FAY KIRIKLARI

Son 150 yıl içinde jeoloji mühendisleri tarafından gözlenebilen 100 den fazla fay kırılmış, ancak bunların birçoğu yeterince tanımlanıp belgelenememiştir. Fay kırıklarının çoğunun da son yıllarda belgelendiği gerçektir. Bu nedenle son 150 yıl içinde gözden kaçan kırıkların da niceliği (sayısı) bilinmemektedir. Belgelenmiş fay kırıklarının niceliğine dayanarak tüm fay kırıklarının olasılığını saptamak yanlıştır.



#### Kuşakların betimlemesi

- Kuşak 1: Göl çökeli gereçli kil çekirdek
- Kuşak 2: Siltli kum (Harold formasyonundan)
- Kuşak 3: İşlenmiş kum çakıl geçişi.
- Kuşak 4-4A: İşlenmiş, sıkıştırılmış kaya dolgu. (Tane boyu 3-30 inç)
- Kuşak 5: Kaya dolgu (En az 18 inç boyutlu)

Çizim 3: Cedar Spring bendi AA enine keniti.



Birkaç yıl öncesine kadar faylanmanın kimi depremlerle bağımlı olduğu sanılıyordu. Ancak son yıllarda yapılan yoğun çalışmalar fay ve deprem oluşumunun içiçe olduğunu kanıtlamıştır. Yeryüzünün birçok bölgesinde ana fayların atım ve enerji özgürleşmesinden oluşan depremlerin kilometrelerce ötelere ikincil faylara neden olduğu bilinmektedir.

Kimi faylar boyunca gözlenen kırıkların depremlerden önce oluştuğu ve bu fayların etkinliklerinin jeoloji mühendislerince gözlemlendiği de doğrulanmıştır. Faylanmalar çoğunlukla fay şevleri üzerinde gelişmektedir. Fay kırılmasının özdeş faydaki önceki kırılma noktasında olacağı düşünülmüşse de, bu yargıya kesin doğrulukla varılamaz. Temel olan gerilimlerin en yoğun olduğu kesimlere özen göstermektedir.

Tüm faylar jeolojik zaman içinde yeni bir fay olarak belirir. Ancak faylanmanın yinelenme olasılığı mühendislik yapısının ömrü içinde azdır. Çok özel koşullar dışında kalan faylar (Örneğin itki faylarında çıkan blok üzerindeki ikincil faylar) yapıyı çok etkilemez. Kimi faylar ise çimentolanma ve metamorfik işlemlere doğal olarak onarıldıkları için faylanma uzun aralıklı devirlerle olasıdır.

## FAY TÜRLERİ VE KIRIKLARIN DOĞASI

Enerji özgürleşmesi sırasında fay bloklarının bağıl devinimleri yer kabuğundaki gerilimlerin yersel konumlarına göre eğim atımlı (dip-slip) ve doğrultu atımlı (strike-slip) belirir. Mekanik işlemlere ve blokların bağıl devinimlerine göre fayları üç bölümde incelemek gerekir.

1) Doğrultu atımlı (strike-slip) faylar: Bu tür faylarda birincil atım yatay doğrultudadır. Fay düzlemleri kuş bakışında düşeye yakın görünür, ana faylar hava fotoğraflarında çizgisel şevler olarak belirir.

2) İtki (thrust) fayları: Bu faylar yatay baskılama (compression) ile düşey atım içerirler. Fay düzlemleri az eğimlidir ( $20^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ ), bundan ötürü dağlık alanda itki fayların izleri kuş bakışında kıvrımlı görünür. Yeryüzünün birçok ana fayları bu türdendir. Büyük depremlerin çoğu da okyanus hendeklerinin okyanus dibini kı-

ta altlarına itmesiyle oluşmaktadır. 1964 Alaska depremi ile 1960 Çin depremi bu tür fay kırılmalarının örnekleridir.

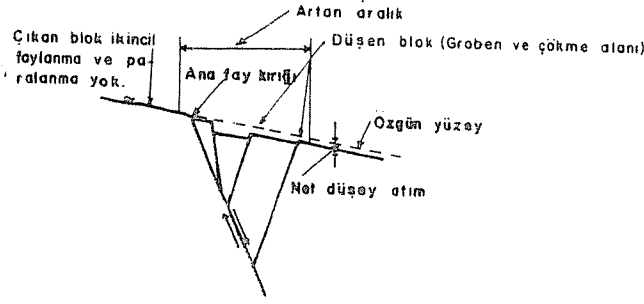
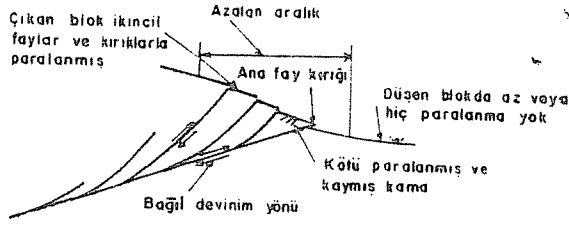
3) Normal faylar: Bu tür faylar yatay çekme (tension) kuvvetlerinin oluşturduğu düşey atımları içerirler. Eğimleri genellikle  $60^{\circ}$  dir, fay düzleminin kuş bakışı izleri oldukça karmaşıktır. Orta Okyanus sirtları boyunca, yer kabuğu çekmelerinin fazla olduğu olanlarda daha sık gözlenirler.

Kırıkların doğası her üç fay türünde de aynıdır ve mühendislik açısından son derece önemlidir. Doğrultu-atımlı faylarda birincil atım yatay yönde olduğundan, yüzeyin bağıl alçalması veya yükselmesi söz konusu değildir. Bundan ötürü akarsular çoğunlukla doğrultu-atımlı fayları izlerler. Normal ve itki faylarında bağıl alçalma ve yükselme (karşıt bloklarda) olduğu için fay dağ yamacının eş yükselti eğrisini izler. Akarsular normal ve itki faylarına ya koşut (paralel) akarlar, ya da bu fayları düşük yükseltilerde keserler. Hebgen bendi yöresindeki normal fay akarsu vadisine 300-600 m. yükseltide koşut uzanmaktadır.

Doğrultu-atımlı faylardaki kırıklar oldukça basit ve iyi tanımlıdır. Diğer iki fay türüne (itki ve normal) göre daha az ikincil ve dallanma (branching) kırıkları içerirler. Bu faylarda, daha önce oluşan kırıkların fizyografik durumlarını inceleyerek gelecekteki kırılmaların nerelerde oluşacağı saptanabilir. Çünkü bu tür faylarda kırılmalar özdeş doğrular üzerinde yinelenir.

İtki fayları çok daha karmaşık mühendislik sorunları sunarlar. Bu fayların gözlenmesi, çoğunlukla toprak kaymaları ile örtülü olmasından ötürü güçtür. Ayrıca, fay şevlerinin jeolojik zaman içinde aşınması, çıkan blok üzerinde oluşan ikincil faylar, etkinlik ve edilgenlik konusunda yargıya varmayı güçleştirir.

Normal faylar, tanımlamaları ve mühendislik sorunları bakımından itki fayları ile doğrultu-atımlı faylar arasında yer alırlar. Fay şevleri itki faylarına göre daha iyi korunmuştur. İtki faylarının tersine, normal faylarda düşen blok kırılma eğilimi gösterir. Faylanma yüzeyi itki faylanmasında olduğu gibi fazla kırılmaz ve kırılma ana faydan uzakta değildir (Çizim 4).



Çizim 4: İtki ve normal fayların özgül nitelikleri.

## ANA FAY SİSTEMLERİ

Yeryüzünde milyonlarca yıldan beri devinen, büyük boyutlu, yüzlerce mil atımlanmış kimi ana faylar vardır. Doğrultu-atımlı olan bu fayların devinimi topoğrafyayı o denli etkilemiştir ki, hava fotoğraflarından bile kolayca ayırtlanabilirler. Genel anlamda, en şiddetli depremleri oluşturan anılan fayların atımlarıdır.

Kaliforniya'daki San Andres fayı bunların en tipik ve üzerinde en yoğun araştırma yapılanıdır. Jeolojik olgular bu fayın en az 100 milyon yıldır yatay doğrultuda devindiğini ve bu süre içinde 300 milden fazla atımlandığını kanıtlamaktadır.

Kuzey Anadolu fayı da doğrultu atımlı faylara ilginç bir örnektir. Yaklaşık 100 km. uzunluğundaki bu fayın konumu batıda çok belirgin değildir, nedenleri de henüz anlaşılmamıştır.

Ana fayların birçoğu da günümüze dek ayırtlanamamıştır. Çünkü jeolojik çalışmalar ya bunların saptanmasına yönelik olmamış, ya göl alanı veya bent yerindeki çalışmalar bu faylara kadar uzanmamıştır. Gerçekte, bilinen belli başlı ana faylara bile son yıllarda özen gösterilmeye başlanmıştır. Yakın geçmişte bu fayların kimileri kırılma geçirmemesine karşın etkin olarak nitelenmektedirler.

Ana faylarda çoğun kırılmalar belirli noktalarda yoğunlaşmaktadır. (Örneğin San Andres fayı). Böyle koşullarda fayı ve niteliğini saptamak kolaydır. Bent yeri seçimlerinde bu kuşaklardan kaçınmak, zorunlu olmadıkça buralarda bent yapmamak gerekir.

## YERKABUĞUNUN BİÇİM DEĞİŞTİRMESİ (DEFORMASYONU), İKİNCİL VE ETKİLEME FAYLARI

Büyük fay kırıklarına ve şiddetli depremlere yerkabuğunun biçim değiştirmesi neden olmaktadır. Biçim değiştiren kuşak çoğun faydan birkaç mil veya yüzlerce mil ötelere uzanmakta, bu uzaklık, ana faylarda daha da artmaktadır. 1964 Büyük Alaska depreminde 200.000 km<sup>2</sup> lik alan-düşen ve çıkan blok olarak-devinmiştir. Çıkan blok 12 m. atımlanmıştır.

İkincil ve etkileme fayları üzerindeki kırılmalar kabuksal biçim değiştirmelerin en yoğun olduğu alanlarda oluşur, normal ve itki faylarının kırıkları ile ilintilidir. Normal ve itki faylarının ana kırıkları ikincil faylar üzerinde de kırıklar oluştururlar, ancak doğrultu-atımlı faylar için özdeş durum söz konusu değildir.

Kuzey Amerika'da bilinen fay kırılmalarının yarısından fazlası ikincil faylar üzerindedir. İtki ve ikincil faylardaki kırıklar çıkan (upthrown) blokta gözlenmekte, düşen (downthrown) blokta fazla kırılma olmamaktadır. 1971 de Fernando itki fayının kırılmasında çıkan blokta 2 m. den fazla yükselim gözlenmiştir.

Normal faylarda kabuksal değişim ve kırılmalar düşen blokta oluşur. Bu olgu Hebgen bendi yakınında oluşan depremde çok iyi kanıtlanmıştır.

Kabuksal biçim değiştirmelerin yoğun olduğu kimi alanlarda fay atımı gözlenmemesine karşın yapıların kabuksal gerinim (strain) ile eğildiği gözlenmiştir. Eylül 1954 depreminde (Orleansville yakınında) kabuksal biçim değiştirme kaya tünellerini 1.5 m yükseltmiştir. Deprem odağından 4 km. uzakta olan Ponteba bendi 20 m. yükseklikte, 80 m. uzunlukta beton bent düşey doğrultuda döndürülmüş, depremde sonra yapılan araştırmalarda bir ucunun diğer

ucuna göre 0,55 m . yükseldiği görülmüştür. Olay sırasında bent temeli sağlam kalmış, sadece temelin oturduğu anakaya meyillenmiştir. İnceleme sonunda ana kayayı kırılmadan döndüren etkenin çok sık aralıklı ikincil faylar olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzer örnek San Fernando fayının kırılması ile (1971) Les Angeles bent yerinde görülmüştür. Tasarım evresindeki bent yerinde faylanma öncesi ve sonrası denestirildiğinde, sol payanda duvarının 0.55 m, sağ payanda duvarının da 0.32 m. meyillendiği saptanmıştır. 400 m. lik yatay aralıkta ortalama 0.23 m. meyillenme gözlenmiştir. İkincil faylar üzerindeki kırıklar, ana fay üzerindeki kırıklardan 25 km. uzakta oluşmuş, ancak uzaklıkla doğru orantılı olarak yeghinlik azalmıştır. Bu tür faylanmalar beton bent mühendisliği yönünden son derece önemlidir. Beton bentlerin duyarlı kesimlerinde kimi kez 1 cm. lik farklı devinim istenilen güvenlik sınırlarını aşabilmektedir.

#### FAY-ZAMAN İLİŞKİSİ: FAYLANMANIN YİNELENMESİ

Geçmişteki faylanmaların belgeleri mühendise çok az yararlı bilgi sağlamaktadır. Oysa tasarım evresi faylanma olayının gözlenmesi için çok kısa bir süredir.

Ana fayların jeolojik zaman içinde binlerce kez yinelendiği yadsınmaz bir gerçektir. Kabuksal gerininim (strain) jeodetik ölçümleri bu olguyu doğrulamaktadır. Örneğin; San Andres fayının batısındaki kütle, doğusundaki kütleyle göre yılda 3 cm. devinmektedir .Bu gerininimin devirli kırılmalarda değişeceği varsayılırsa 100-200 yıl aralıklı ve 3-6 m atımlı kırılmalar olasıdır. Geçmişte fayın yinelenmesi bu aralıklarla olmuştur.

Daha önce devinimi belgelenemiyen ikincil faylarda yinelenme olasılığını belirlemek tüm varsayımlara karşın olanaksızdır. Bu tür fayların jeolojik ve C<sup>14</sup> tekniği ile yapılan araştırmaları, Holosen alüvyonlarını atımladığını kanıtlamış, ancak ayrıntılı bilgi edinilememiştir.

Geçmişteki faylanma olaylarının incelenmesi bir anlamda çok önemlidir. Belgeler etkin fay-

ların uzun süre (50 yıl veya daha fazla) kırılma göstermediğini kanıtlamıştır. Bu olgu duyarlı aygıtlarla yapılan ölçümlerle de doğrulanmıştır.

Mühendisin ilgisini çeken soru 'faylanma ne zaman olacak' tır. Bu soruyu ne aygıtsal ölçümlerle ne de jeolojik verilerle kesin olarak yanıtlamak olanaksızdır. Ancak faylanmanın ani olmadığı, sadece gerilimin yoğun olduğu noktalardaki atımlanmanın ani olması mühendisin özen göstermesi gereken bir konudur. Birçok durumlarda, kalıcı gerilimlerin neden olduğu hızlı yığışım (rapid creep) depremden sonra günlerce sürmektedir.

#### FAYLANMA OLAYININ JEOLÖJİK ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

##### Genel

Faylanma olayının ayrıntılı değerlendirilmesi geniş kapsamlı bir konudur. Burada, yakın geçmişteki deneylerin ışığında faylanmanın ana kavramları vurgulanacaktır.

Bent yerlerindeki faylanma olayı araştırılırken genellikle bölgenin depremliliği çalışmaları ile birlikte yürütülür. Araştırmalar bölgedeki bütün etkin fayları (bent yerinden veya göl alanından geçmese bile) kapsamalıdır. Deprem sırasında etkin faylar boyunca büyük yer kaymaları olağandır. Bu nedenle fay araştırmaları sürdürülürken bendi etkileyecek olası yer kaymalarına da özen gösterilmelidir.

Faylanma olayının en güvenilir kanıtları jeolojik araştırmalarla elde edilir. Kimi kez bölgenin depremliliği konusunda yapılan aygıtsal ölçümler, gerininim (strain) ve yığışım gözlemleri de gereklidir. Ancak geçmişte faylanmanın olup olmadığını kanıtlayacak verilerin yüzey jeolojisi ile derlenmesi birincil amaçtır.

Son yıllarda nükleer enerji santralleri ve büyük bentlerin güvenliği bakımından faylanma konusu önem kazanmış, araştırmalar artmıştır. Geçmişin deney birikimi ve gelişen bilgilenme ile geniş kapsamlı, ayrıntılı çalışmalar faylanma olayını aydınlatacak konularda derişmektedir. Çalışmaların tüm amacı derlenen jeolojik verilerin yardımıyla fayların etkin veya edilgenliği-

ni saptamaktadır. Ayrıntılı ve bütünlenmiş araştırmalar sonucu fayların niteliklerini saptayamamak olasılığı çok azdır. Etkin fayların devinimleri yüzey jeolojisi ve topoğrafyada ayrışma ve aşınma işlemi ile kolay kolay silinemeyecek izler bırakmaktadır.

## FAY ARAŞTIRMALARININ DOĞASI

Fayların jeolojik değerlendirilmesi temel olarak şu varsayıma dayanmaktadır. Fay yakın jeolojik geçmişte kırılmışsa gelecekte kırılma olasılığı var, tersi durumunda kırılma olasılığı yoktur. Son faylanma zamanı jeolojik-jeomorfolojik ilişkilerle saptanmaktadır. Fayın niteliği, deviniminin konumu geçmiş jeolojik olaylardan derlenir.

Jeolojik çalışmada ilk sorun, tasarlanan bent yerinden fay geçip geçmediğini saptamaktır. Bu sorun çalışmaların ilk aşamasında çözülür veya çözülmez Fayların varlığı gözlemlendikten sonra, fayların niteliklerini (etkin-edilgen) belirleme çalışmaları sürdürülür.

Çalışmalar ilk aşamada yapılır. Birinci aşama, jeoloji, bölgesel tektonik ve genel depremlilik konularını içerir, 200-300 km. yarı-çaplı bir alanı kapsar. Bu aşamada bent yerine etkiyecek birincil jeolojik yapıların niteliği, depremliliğe yönelik olarak irdelenir. Diğer bir deyişle ayrıntılı alan çalışması için bilgi derleme ve düzenleme bu aşamada yapılır.

İkinci aşama ayrıntılı jeolojik haritalamayı içerir. Yüzeyde ve yeraltı çalışmalarında gözlenebilen fayların nitelikleri, türleri ve davranışları irdelenir. Özel hava fotoğrafları çalışmalara yardımcı olur. Etik olarak, bütünleyici çalışmalar-örneğin araştırma çukurları ve delikleri, jeofizik bu aşamaya özgüdür.

Fayın varlığını kanıtlayan veriler, fay deviniminden sonra korunmuş yapıların yüzeyden gözlenmesi ile elde edilebilir. Fayların yüzeyden gözlenebilen kimi ayırtman özellikleri şunlardır:

- (a) Önceki faylanmada oluşan, aşınma işlemi ve daha genç çökellerce bozulmamış şevler (scarps)
- (b) Vadi değiştirmiş akarsular

- (c) Yakın aralıklı özdeş formasyonlarda farklı yeraltı düzeyleri
- (d) Farklı bitki örtüsü
- (e) Yer kaymaları
- (f) Terkedilmiş alüvyon taraçaları

Öncelikle hava fotoğraflarından ayırtılan bu özelliklerin kimilerine başka jeolojik olaylarda neden olabilir, örneğin; sert kaya katmanları hava fotoğraflarında fay sevi olarak gözlenebilir. Yanlışlar alan çalışmalarında giderilmelidir.

## GENİŞ ALANDA YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALAR

Fayın en son devinimini kanıtlayan olgular fayın belirli kesitlerinde görülür. Bu nedenle bent yeri çevresinde yapılan araştırmalardan sağlanan veriler kesin yargular için yeterli değildir. Çalışmalar fay boyunca yeterli bir uzaklığa kadar yapılmalıdır. Çalışma sonuçlarının güvenilirliği harcanan emeğe ve çalışma alanının boyutlarına bağlıdır. Söz konusu araştırma bent yerinin 100 km. uzağına kadar sürdürülmelidir.

En önemli sorun, vadi boyunca alüvyon altında bulunan ve bent yerini kesen faylardır. Akarsuların aşındırması ile fay kanıtları silindiğinden, kuşku duyulan bu tür fayların araştırmaları bent yerinin uzağına da kapsamalıdır.

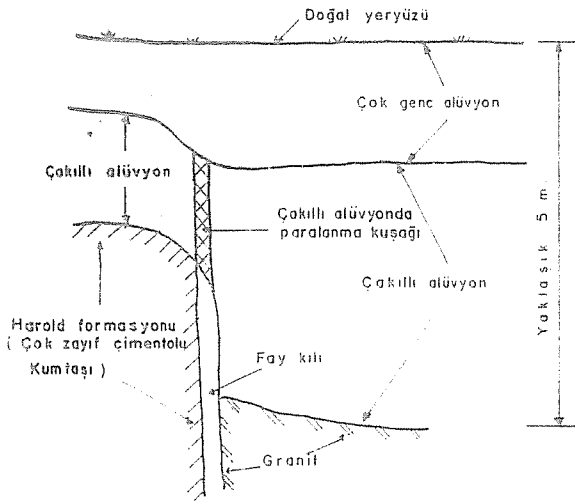
Şu bölüm çizgileri fayın bir akarsu vadisinden diğerine geçiş alanlarıdır. Faylanmanın jeomorfolojik olguları buralarda iyi korunmuştur, ipuçları için en uygun yerlerdir.

Geçmiş dönemlerde deprem bölgelerinde kurulan birçok bendin ayrıntılı jeolojik araştırması sadece bent yerinde yapılmış, güvenlik açısından istenilen sınırlara ulaşmamıştır. Bu tür uygulamalar artık geçerli değildir, araştırmalar jeolojik koşullara göre bent yerinin belirli uzaklığına kadar yapılmalıdır.

## ARAŞTIRMA HENDEĞİ (Test trenches)

Çağdaş araştırmalarda istenilen yöntemlerden biri de kuşku alanlarda araştırma hendeci açarak fay izlerini gözlemektir. Bu yöntem

özellikle son yıllarda önem kazanmıştır. Yüze-  
den gözlenemeyen kimi fayların etkin veya edil-  
genliği araştırma hendeklerinden elde edilen ve-  
rilerle doğrulanabilmektedir, örneğin; Cedar  
Spring bent yerindeki çalışmalar (Çizim 5).



Çizim 5: Cedar bendi; Araştırma hendeklerinde yüzek-  
lenen küçük bir etkin fayın görünüşü.

Araştırma hendeklerinde yapılan çalışma-  
ların ana amacı yüzey çökellerinin fayla atım-  
lanıp atılmadığını saptamaktır. Ayrıca  
hendeklerden alınacak karbonlu gereçler üzerin-  
de radiometrik yaş saptaması yapmak olanağı  
vardır. Hendeklerin çok derin olması zorunlu de-  
ğildir, yüzey jeolojisi ile iyi belirlenen bir yer-  
de 2-4 m. derinlik yeterlidir. Araştırma hendek-  
lerindeki olguların iyi gözlenmesi için duvarlar  
özenle temizlenmeli, en küçük ayrıntıyı görebil-  
ecek nitelikte olmalıdır.

Hendeklerde fayın jeolojik zaman içinde  
birkaç kez yinlendiğini gözlemek olasıdır. De-  
rinlerdeki yaşlı çökellerin genç çökellere göre  
daha fazla atımlanmış olması böyle bir olgunun  
kanıtıdır. Coyote Creek fayı, araştırma çukur-  
larından edinilen bilgilere göre son 3000 yılda  
150-200 yıl aralıkla yinelenmiştir.

Araştırma çukurlarında yüzleklenen fay  
killeri temel altında uzanan fay boyunca olu-  
şan aşınma konusunda yargıya varmayı kolay-  
laştırır. Ancak fay kilinin niteliği fayın etkin-  
liğini kanıtlamak için yeterli değildir. Fay kilin-  
deki cilalı yüzlerin ve kayma çizgilerinin yönü,  
faylanma yönünü saptarken çoğu kez yanlışlara

neden olur. Yüzeğe yakın yerlerde fay kilinin sı-  
kışıp, yukarıya doğru devinme eğilimi vardır.  
Bu devinme fayın atımından bağımsız olmasına  
karşın cilalı yüz ve kayma çizgileri içerebilir.

#### FAY ATIMINI OLASILAMAK (Tahmin etmek)

Jeoloji mühendisi, etkin fayların gele-  
cekteki olası kırılma boyutlarını birkaç yön-  
temle saptamağa çalışır. Bu çalışmasında  
aygıtsal ölçümlerden, geçmişteki kırılmala-  
rın sayısal verilerinden ve araştırma hendek-  
lerinden yararlanır. Fayı izleyerek uzun-  
luğunu saptamak, olası atımların nicelikle-  
rini daha iyi belirler. Atımlamada fay tü-  
rünün de önemli etken olduğu unutulmamalıdır.  
Kilometrelerce uzunluktaki doğrultu atımlı bir  
fayın atımı bir kırılma veya bir deprem süresin-  
ce 1 m. den fazla değildir. Buna karşın 10 km.  
uzunluktaki itki fayının atımı bir kırılmada 2-3  
m. olabilir. Örneğin, Kaliforniya depreminde  
(1971) San Fernando fayında kırılma uzunluğu  
15 km. olmasına karşın atım 2 m. olmuştur.

Olasılama yöntemlerinden biri de; kırılma-  
nın fay uzunluğunun %50 kadarı olacağı, atı-  
mın ise özdeş faylarda geçmişteki atım niceliği-  
ni aşmayacağı biçimindedir.

#### BENT TASARIMLARINDA ETKEN FAYLARIN YORUMU

##### Fay etkinliğinin değerlendirilmesi

Jeolojik çalışmalar tamamlandıktan sonra  
tasarımcı yapının ömrü boyunca fayın kırılıp  
kırılmayacağı konusunda karar vermelidir. Je-  
oloji mühendisinin kuşkulu olduğu kimi faylar  
için tasarımcı "evet" veya "hayır" demek zo-  
rundadır. Ancak jeoloji mühendisinin kesinlikle  
etkinliğini veya edilgenliğini saptadığı faylar ko-  
nusunda tasarımcı jeoloji mühendisine güvenme-  
lidir.

##### Fayların bağlı etkinliği

Alan çalışmalarında jeoloji mühendisi, ben-  
din ömrü boyunca fayların kırılma olasılığı ko-  
nusunda belirli düşünceler geliştirir. Bağlı etkin-  
liğin sınıflandırılması ilk çalışmalarda çok ya-

rarlı veriler sunar. Bent yeri seçenekleri buna bağımlıdır. Ancak bağıl etkinlik sınıflandırması bent türü seçimi ve tasarımına fazla etkimez.

Bu konu bir örnekle açıklanabilir. Bent yeri için birbirinden kilometrelerce aralıkta iki seçenek vardır. Her iki seçenekten de fay geçmektedir. A bent yerindeki fayın son 10.000 yıl içinde birkaç kez kırıldığı kanıtlanmış, bu nedenle fayın etkinliği kesinlik kazanmış, bendin ömrü boyunca yinelenme olasılığı fazla. Öte yanda B bent yerindeki fay genç çökellerle örtülmüş, son 10.000 yıl içinde kırılmadığı, ancak son 35.000 yıl içinde kırıldığı saptanmış, tanımlamalara göre bu fayda etkin olarak nitelenir, fakat A bent yerindeki fay derecesinde değil.

Diğer koşulların özdeş olduğu varsayılırsa; B bent yeri A bent yerine yeğ tutulur. Jeolojik veriler A bent yerindeki fayın kırılma olasılığının B bent yerine göre fazla olduğunu göstermektedir. Ancak bina tasarımı —her iki fayda etkin olduğu için— özdeş olacaktır.

#### Kuşkulu etken faylar

Kimi kez, ya araştırmaların yetersizliğinden, yada sınırlı alan çalışmalarından ötürü fayın niteliği konusunda yargıya varılamaz. Örneğin; araştırmacı Orta Pliosen yaşlı bir çökelin faylandığını gözleyebilir, fakat son 35.000 yıl için faylandığını kanıtlayacak verilerden yoksundur. Bu nedenle fayın etkinliği kuşkuludur. Tüm bunlara karşın jeoloji mühendisi, yine de fayın niteliği konusunda esnek yorumlar getirmek durumundadır. Yerel jeolojik verilerin yetersiz olduğu durumlarda, bölgesel jeoloji, jeomorfoloji ve bölgesel depremliliğin aygıtsal ölçümleri ile yargıya varılabilir. En azından son 35.000 yıl içinde kırılma olasılığı %50 olarak düşünülebilir. Bent tasarımcısı, jeoloji mühendisinin sunduğu tüm verilere özen gösterecek çalışmalarını sürdürür ve bendin kurulup kurulmayacağı konusunda son sözü söyler.

Şiddetli deprem bölgelerindeki tüm faylar karşıtı kanıtlanmadıkça-etkin olarak nitelenir. Bu denli kararlı olmak, bendlerin çok duyarlı yapılar olması ve yenilmeleri durumunda ekonomiyi, insan yaşamını çok fazla etkileyeceğinden ötürüdür.

#### Depremsiz bölgelerdeki faylar

Yakın jeolojik geçmişte faylanmanın kanıtlanmadığı bölgeler depremsiz olarak onanır. Bu bölgelerdeki bent yerinde bulunan fayların kırılma olasılığı deprem bölgelerine göre çok azdır. Bununla beraber tasarımılanan bent yerinde yine de ayrıntılı çalışma yapmak zorunludur.

Sismoloji biliminin gelişmesi ile birlikte, yeryüzünde depremsiz olarak nitelenebilecek ve deprem geçirmeyeceği konusunda güven duyulabilecek çok az alanların bulunduğu ortaya çıkmıştır. Depremsiz alanlarda fayların edilgenliğini kanıtlayacak veriler hemen gözlenebilir, ancak bu gözlemlerin belgelenmesi zorunludur. Özellikle bendin ve göl alanının büyük olması durumunda, bölgesel jeolojisi az bilinen alanlarda, depremsiz olmasına karşın fayların çok iyi araştırılması gerekmektedir.

#### Göl alanının oluşturduğu depremler

Geçmiş yıllarda göl alanının dolmasından oluşan birçok deprem gözlenmiştir. Üstelik bu depremler, depremsiz olarak nitelenen alanlarda oluşmuştur. Olayların irdelenmesi göl alanlarının dolmasının büyük depremlere bile neden olabileceğini göstermiştir. Bu olgular özellikle depremsiz bölgelerde —büyük bent tasarımlarına sismik yönden yeni sorunlar getirmiştir. Bu nedenle depremsiz bölgelerde tasarımılanan bentler için aşağıdaki sorunların yanıtları gereklidir.

1) Edilgenliği saptanan 10-20 km. uzunluğundaki bir fayın göl alanından geçmesi durumunda olası faylanmalara karşın bent yapılmalı mı...?

2) Göl alanının dolması ile etkinlik kazanan faylara karşı alınacak önlemler nelerdir...?

Bu koşullarda oluşan yüzeysel faylanma aşağıdaki nitelikleri içermektedir. Tartışmalara ışık tutacak olan bu niteliklere özen gösterilmelidir:

1) Göl alanının oluşturduğu depremler en fazla  $M = 6.4$  şiddetinde olmuştur. Bu şiddetdeki depremlerin belirli atımlara neden olması olağandır.

2) Göl alanının oluşturduğu depremler faylar üzerindedir.

3) Bu tür depremler sığdır.

4) Birçok alanlarda yapılan odak mekanizması çalışmaları, anılan depremlerin suyun direk etkisinden çok, tektonik gerilim özgürlenmesinden ötürü oluştuğunu kanıtlamıştır. Bu nedenle, depremsiz bölgede bile olsa, göl alanının oluşturduğu depremler normal tektonik devinimlerdir, diğer depremler gibi yüzey faylanmasına neden olabilirler. Ancak bu tür depremlerin çok seyrek olduğu da gerçektir.

## ETKİN FAYLARA KARŞI ÖNLEMLER

### Beton bentlere karşı dolgu bentler

Etkin fayların bent temellerini kestiği alanlarda beton bentlerden kaçınılmalıdır. Bu anlayış endüstride genel bir olgudur. Etkin fayların oluşturduğu biçim değiştirmelere (deformasyon) dolgu bentler genellikle karşı koyabilirler, öte yanda beton bentlerin durumu tartışma konusudur.

Dolgu bentler için en önemli sorun faydalanma sırasında oluşacak çatlaklardan suyun kaçmasıdır. Ancak böyle bir tehlike iyi tasarımlanacak bir çekirdek ile denetlenebilir. Dolgu bentlerde, olası fay atımlarına karşı benden boyutlarına da (doruk uzunluğu ve genişliği, vb...) özen gösterilmelidir.

Beton bentler doğaları gereği katı ve kırılıgandır. Birkaç örneğin dışında (beton ağırlık...) benden güvenliği ana kaya ve çimento arasındaki bağlama (bond) kuvvetlerine bağlıdır. Düşey bileşenli bir fay atımı bu kuvvetleri ortadan kaldırır. Beton ağırlık bentlerdeki faylanma da, bent ile temel arasındaki kuvvetleri kopararak kaldırma (uplift) basıncını artırır. Basıncı temeldeki makaslama (kayma) direncini azaltarak benden yenilmesine neden olur. 1928 de Kaliforniya'daki St. Francis bendeninde bu olaylar gözlenmiştir. Beton kemer bentlerde ise herhangi bir yönde oluşacak 0.25 - 0.50 m.lik bağıl devimin benden bütünüyle yener.

Uzmanlar deprem bölgelerinde bulunan, etkinliği tam olarak santanamamış faylar üzerinde beton bentleri önermemektedirler. Ana neden, azda olsa faylanma olasılığının bulunmasıdır. Bent yenilmesinin sonuçlarının önemi ilk evrede beton bentlerin tasarımlarda yeraltımasını öngörmektedir.

Tasarımlarda dolgu bent seçiminin önemli yararları vardır. Temel kazısı sırasında fayların etkinliğini kanıtlayacak veriler gözlenmesi durumunda, tasarımda kolayca değişiklik yapılabilir. Beton bent için koşullar çok değişiktir, ya benden yapımı sürdürülür, ya da vazgeçilir. Birçok beton bent kazı sırasında gözlenen faylar nedeniyle dolgu bent olarak değiştirilmişlerdir. Buna karşın dolgu olarak tasarlanıp sonradan beton bent olarak değiştirilen örnek yoktur.

İtki faylarında çıkan blokun (upthrowa blok) ve normal faylardaki düşen blokun (downthrown blok) birkaç kilometre ötesinde tasarımlanan beton güvenliği çok kuşkuludur. Böyle bent yerleri ana faylar üzerindeki depremlerden etkilenirler ve en küçük devinimlere karşı bile önlem almak olanaksızdır.

### Faylanmanın şiddeti ve atım türü

Bent tasarımcısı, faylanmanın olası şiddetini ve yönünü bilmek zorundadır. Dolgu bendi ve koruyucu çekirdeğini bu verilere göre tasarımlayacaktır. Olasılıklarda jeoloji mühendisinin alan çalışmaları ve tarihsel deneylerden edinilen bilgiler temel olmaktadır. Kimi kez de genel gözlemlerle koşullar olasılanır.

Fay atımının benden uzun ekmesine göre olan yönü, faydalanmanın şiddeti kadar önemlidir. Özellikle vadiye koşut uzanan normal fayların atımlanması, bent üzerinde diğer faylarda daha geniş çatlaklar ve kırıklar oluşturur.

İtki faylarının ve kimi doğrultu atımlı fayların atımlanması makaslama düzlemlerini basıklar (Compression). Buna karşın bent eksenini ile dar açı yapan düşey eğim-atımlı faylar benden ufalmasına ve büyük çatlakların oluşmasına neden olur.

Faylanmanın olasılanmasında "bağıl etkinlik" temel alınmaz, karşıt durumda yanlış sonuçlara varılır.

## DOLGU BENT TASARIMLARI

### Güvenlik için temel veriler

Coyote, Cedar Spring ve Palmdale bentleri, temel mühendislerine, faylanma olasılığına karşın dolgu bentlerin güvenle faylar üzerinde inşa



edilebileceğini kanıtlamıştır. Güvenilirliğin iki ana temeli vardır; etkin faylar boyunca en fazla atımın 5 - 7 m, ortalama atımın 1 m. veya daha az olacağı geçmiş yıllardaki gözlemlerle saptanmıştır. Sadece belli başlı ana faylar üzerinde 10 m.lik atımlar gelişmiştir. İkincisi, deprem şiddeti ne olursa olsun, dolgu bentler istenilen nitelikte tasarlanabilir.

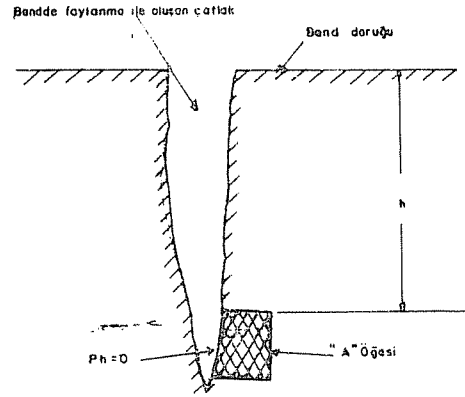
### Bitişimsiz (cohesionless) gereçlerde çatlak oluşmaz

Kum, çakıl, Kum-çakıl karışımı ve sert kaya parçaları çok ince taneli (kil, silt) gereçlerden arınmış durumda bitişimsizdirler, çimentolaşma olmaz. Bundan ötürü anılan türdeki gereçler, belirli bir yükseklikte düşey olarak desteklenmeden duraysızdırlar ve bu kütlelerde çatlak oluşması olanaksızdır. Faylanma ile oluşacak herhangi bir çatlak anında çeperlerin çökmesi ile kapanır. Bu özellik dolgu bentlerde kırılmaya karşı olumlu biçimde kullanılır.

Deneyler, yüksek dolgu bentlerde farklı oturmalarından dolayı çatlak oluştuğunu doğrulamıştır. Bu tür olumsuzluklar bitişimsiz geçiş kuşakları ile önlenmektedir. Faylanma ve farklı oturmalara karşı özdeş önlemler alınır, sadece faylanma durumu için geçiş kuşakları daha kalın olur.

Dolgu bentde kırık oluşabilmesi için, dolgu gerecinde kırıkların kapanmasını önleyecek yeterli baskılama direnci olması gerekir. Olayın mekanizması Çizim.6 da gösterilmiştir. Belirli h derinliğinde bir çatlak varsayılırsa, düşey düzlemdeki "a" ögesindeki Pv düşey gerilimi örtü kalınlığı ile örtünün özgül ağırlığına eşittir. ( $P_v = h \gamma$ ). Çatlak açık olduğu için yatay gerilim ( $P_h$ ) yoktur. Bu nedenle çatlağın açık kalabilmesi için "a" ögesi üzerindeki tutuksuz (unconfined) baskılama (compressive) direncinin (u), düşey gerilimden fazla olması gerekir. Karşın durumda "a" ögesi baskılama ile yenilir ve çatlak kapanır. Kırığın kapanmadan dayanabi-

leceği en fazla derinlik  $h_{max} = \frac{u}{\gamma}$  dir. Bitişimsiz kuşaklarda  $u = 0$  olduğundan çatlak oluşmaz. Dolgu bentlerde geçirimsiz çekirdek gereci olarak kullanılan sıkıştırılmış ince tanelile-



$\gamma$  : Dolgu gerecinin özgül ağırlığı ( $2 \text{ ton/m}^3$ )  
 $u$  : Dolgu gerecinin tutuksuz (unconfined) baskılama direnci ( $\text{Ton/m}^2$ )

Eğer  $u > P_v = \gamma h$  ise çatlak açılır

Çatlağın oluşabileceği max derinlik:  $h_{max} = \frac{u}{\gamma}$

Bitişimsiz zemin için  $u < 5 \text{ ton/m}^2$  ve  $h_{max} < 5/2$

Çekirdek: kil çekirdek için  $20 < u < 40 \text{ ton/m}^2$

Çizim 6: Dolgu bentlerde açık çatlakların kuramsal derinliği.

rin tutuksuz baskılama direnci  $20 - 40 \text{ ton/m}^2$  ve özgül ağırlıkları  $2 \text{ ton/m}^3$  dir. Bu verilerden

$h_{max} = \frac{u}{\gamma}$  formülünden) çatlakların  $10 - 20$

m. derinlikte kapanmadan durabileceği görülür, daha derinlerde ise akışkan basıncının yokluğu varsayılırsa çatlakların kapanacağı sonucu çıkar. Yüksek toprak dolgu bentlerde doruğun 30 m. altında sızma kanallarının oluşması olanaksız görülmektedir.

Doğadaki kum ve çakıl çökelleri kimi zaman yer yer çimentoludur. nehir yataklarında bu olgu gözlenir. Doğal çimentolaşma olayı kimi kez, geçirimli kuşaktaki kum-çakıl gereçlerinin de uzun süre içinde çeşitli nedenlerle çimentolaşacağı kuşkusunu yaratmaktadır. Doğal kil ve çakıllarda çimentolaşma killi gereçlerin veya yeraltı suyunun kimyasal çökelleri aracılığı ile olmaktadır. Bu nedenle temiz doğal kum ve çakılların sıkıştırılmış olsa bile çimentolaşmasından kuşkulanan yersizdir. 100-200 yıl gibi sürede, basınçta olsa, bu gereçler doğal özelliklerini korurlar. Bu olgu ana kayanın en az aşınan ve en sert parçalarından oluşan alüvyon kum ve



çakılları içinde doğrudur. Kimi çok ayrılmış eski alüvyon taraça çökelleri ve ocaktan alınmış yumuşak kayalarda yeniden çimentolaşma beklenabilir. Bu tür gereçlerin bitişimsiz geçiş kuşağı olarak (cohesionless transition zone) kullanmasından kaçınılmalıdır.

#### Büyük kaçaklar güvenlikle denetlenebilir

“Çatlak önleyici” olarak kullanılan bitişimsiz geçiş kuşakları, geçirimsiz çekirdekte kimi nedenlerle çok büyük çatlaklar oluşsa bile, kaçakları istenilen güvenlik sınırları içinde tutacak nitelikte tasarlanabilir. Kaçakların denetimi, akış aşağıda iri taneli ve geçirimli gereçlerden oluşan bir geçiş kuşağı ile olanaklıdır. Böylece kaçak su geçiş kuşağından kaya dolgu kuşağına, buradan da akışaşağı gider.

Geçiş kuşağının (Transition Zone) geçirimsizliği kaya dolgu kuşağın geçirimsizliğinden birkaç kat az olacağından, kaçak suyun niceliği (miktarı) her zaman kaya dolgu kuşağın hidrolik yetisinin (kapasitesinin) altında kalacaktır. Geçiş kuşağının ve kaya dolgu kuşağın bağıl derecelenmesi öyle olmalı ki, geçiş kuşağı gereçleri kaya dolgu kuşaktaki boşluklara girmemeli. Bu tasarım uygulanırsa olası kaçak niceliği, akışaşağı kaya dolgu geçişin topuğundan denetimle akaçlanabilir.

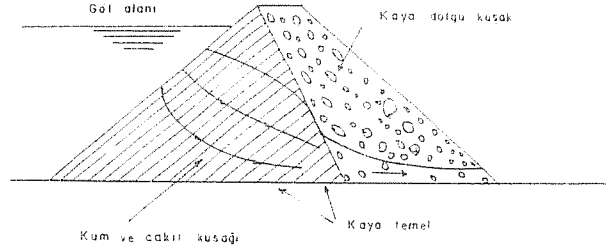
Yukarıda özetlenen kuramsal olguların yanısıra, uygulamada akışaşağı kaya dolgu kuşağın görevini yaptığı birçok örnekler vardır. Bu örneklerde, kaya dolgu kuşaktan geçecek suyun bütünüyle, akış yukarıda bulunan ince taneli kuşağın geçirimsizliği ile iyi denetlenmesi durumunda kaya dolgu kuşağın duraylılığının etkilenmeyeceği doğrulanmıştır.

1964 Hell Kule bendinin yenilmesine sık sık kaya dolgu kuşağın yenilmesi neden olarak gösterilmektedir. Hell Hole bendi, yapım sırasında göl alanının fırtına ile yükselmesi ve tamamlanmamış bendi aşması ile yenilmiştir. Fırtına anında akış yukarı geçiş kuşağı tamamlanmadığı için su doğrudan doğruya kaya dolgu kuşaktan geçmiştir.

#### Basitleştirilmiş bir güvenli bent örneği

Temel fayların atılmasının neden olduğu kırılmalara karşı dolgu bendin iki güvenlik

öğesi vardır; bitişimsiz geçiş kuşağı ve kaya dolgu akışaşağı kuşağı. Çizim 7... de bu öğeleri içeren bir dolgu bent gösterilmiştir. Bu bentde kaçakların bağıl niceliği diğerlerine göre fazladır, ancak bütünüyle güvenli olduğu bir gerçektir.



Çizim 7: Dolgu bentlerde faylanmaya karşı güvenliğini sağlayan iki ana öğesini gösteren basit bir örnek çizim.

Örnek olarak akışyukarı kuşağın iri, iyi bağlanmış kum-çakıl içerdiği varsayalım (Çizim 7). Derecelenmeye bağımlı olarak, bu tür gereçten oluşmuş bir dolgu kuşağın geçirimsizlik katsayısı  $10^{-2}$  —  $10^{-4}$  cm/sn arasında değişir. Akış yukarı kuşakta hidrolik eğim 1.0 ise 100 m yüksekliğindeki dolgu bendin anılan kuşağında su kaçağı :

$$k = 10^{-2} \text{ cm}/10^{-1} \text{ m/sn}$$

$$i = 1.0$$

$$Q = kiA = (10^{-1} \text{ m/sn}) (1) (100 \text{ m})$$

$$Q = 10 \text{ litre/sn/m}$$

Açıktır görüldüğü gibi bu nicelikteki su kaçakları kaya dolgu kuşakla kolaylıkla ve güven içinde akaçlanır. Eğer bent ani faylanma ile kırılırsa akışyukardaki kum-çakıl gerecinin makaslanarak gevşemesi geçirimsizliği artırır. Buna karşın kaya dolgu gerecin kütleli hidrolik yetisi böyle durumlar için yeterli olacak biçimde tasarlanır.

Büyük nicelikteki su kaçaklarının kaya dolgu kuşaktan güvenle geçebileceğini doğrulamak için laboratuvar ve matematiksel deneyler yapılmıştır. Leps (1971) yaptığı deneylerle kaya dolgu kuşaktan yüzlerce  $\text{m}^3/\text{sn}$  suyun akması durumunda bile dolgu bendin yenilmeyeceğini kanıtlamıştır. Bu gerçekten yararlanarak dolusavak sularının akışaşağı kaya dolgu kuşaktan akaçlandığı bentlerde kurulmuştur. Kimi bentlerde de geçirimsiz kuşağın bitirilmemesinden önce gelişen su baskınları zarar vermeden kaya dolgu kuşaktan akaçlanmıştır.

### Başka bir örnek

Dix River bendi 85 m. yükseklikte beton kaplamalı ve kayadolgu olarak kurulmuştur. Kuruluş sırasında (1925) beton kaplamadan önce büyük bir taşkın meydana gelmiş ve göl alanı 18 m. yükselmiştir. Su, bende zarar vermeden 85 m<sup>3</sup>/sn debi ile 6 günde akaçlanmıştır.

### TASARIM YÖNTEMLERİ

Faydalanma olasılığı bulunan herhangi bir bent yerinde, tasarımlar büyük deprem olasılığına da özen göstererek, depreme dayanacak nitelikte yapılmalıdır. Deprem sırasında dolgu bendin çekirdeğinde oluşacak çatlaklara karşı alınacak önlemler faylanmaya karşı da güvenliği arttırmaktadır. Dolgu bentlerin tasarımları oldukça yoğun bir konudur, burada önemli birkaç konu vurgulanacaktır.

Deprem alanlarındaki bentlerin kazısı ve kuruluşu sırasında ikincil faylarla karşılaşılması olağandır. Önemsiz görünmesine karşın bu faylar etkinlikleri yönünden ve yaratabileceği sorunlar açısından irdelenmelidirler. Bu nedenle deprem bölgelerindeki bentler ve göl alanları kazı ve kuruluş sırasında yüzleklenen fayların en küçük olası atımlarına bile özenerek tasarlanmalıdır.

Bendin güvenliğini sağlayan ana öğelerin (doruk genişliği, bitişimsiz geçiş kaynağı...) seçimi, olası faylanmaları gözönüne alarak yapılmalıdır. Kuşkusuz olasılıklarda güvenilir sayısal değerler vermek zordur, ancak deprem bölgelerinde ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda kurulacak bentlerin tasarımları daha

ayrıntılı olmalı, olasılık sınırları daha geniş tutulmalıdır. Bu, özellikle büyük göl alanı bentler için zorunludur.

Bendin doruğu en duyarlı öğedir. İnce olması nedeniyle, oluşacak çatlakları kapatacak içsel basıncı çok azdır. Bütün bentlerde güvenlik sorununun doruklarda yoğunlaştığı düşünülerek, dorukda iyi bir kuşaklama oluşturmak, genişliğini ve dalga payını çok ayrıntılı tasarımılamak gerekir.

Faylanmanın sonuçları temelin aşınma direncine bağlıdır. Sert kayaya oturtulmayan, özellikle aşınma direnci düşük olan temellerde, suyun temelin altından geçerken uzun yol katetmesini sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır.

Bitişimsiz geçiş kuşakları her zaman kullanılmalıdır. Bendin faylanmaya karşı güvenliği geçiş kuşaklarının kalınlığı ile doğru orantılıdır. Geçiş kuşakları için bitevil ve güvenilir nitelikteki gereçler kullanılmadan önce elekten geçirilmeli ve yıkanmalıdır. Gereçlerin bol olduğu yerlerde, yıkama ve elekten geçirme işlemlerinden ekonomik yönden kaçınmak zorunlu ise, geçiş kuşakları daha geniş tutularak gereçlerin bitevilsizliğinin olumsuz sonuçları giderilir. İnce taneli gereç içeren kuşak bitişimsiz olmalıdır. Bu kuşak "çatlak önleyici" görevi ile birlikte doğal filtre gibi davranarak içsel borulanmalara karşı duyarlılığı sağlamaktadır. Anılan kuşakta kullanılacak gereç, öteki kuşaklardaki boşluklara yıkanmayacak boyutlarda olmalıdır.

Geçirimsiz çekirdek gereçlerinin nitelikleri o denli önemli değildir, her tür çekirdek gereci olabilir. Çok uzaklardan getirmek için yapılacak harcamanın, geçiş kuşaklarının geliştirilmesi için harcanması yeğ tutulur.

### "JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ" YAYIN KOŞULLARI

- 1 — Jeoloji Mühendisliği'nde bilimsel, teknik, ekonomik, sosyal ve güncel yazılar yayınlanır.
- 2 — Yazıların daktiloda çift aralıklı satırlarla ikişer nüsha yazılması ve imzalanarak gönderilmesi gerekmektedir.
- 3 — Şekillerin aydınlatma kâğıda çini mürekkebi ile çizilmesi ve fotoğrafların net ve klişe alınmasına elverişli olması lâzımdır.
- 4 — Gönderilen yazıların daha önce yayınlanıp yayınlanmadığı belirtilmelidir.
- 5 — Yazı, şekil ve ilânlardaki görüşlerden yazı sahipleri sorumludur. Bu görüşler Jeoloji Mühendisleri Odası'nı bağlamaz.
- 6 — Çevirilerden doğacak her türlü sorumluluk çevirene aittir.
- 7 — Jeoloji Mühendisliği'ndeki yazılar, kaynak gösterilmeden aktarılamaz.
- 8 — Dergiye gönderilecek yazıların yayınlanıp yayınlanmayacağına Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu veya onun saptayacağı yayın kurulu karar verir.
- 9 — Dergide yayınlanacak ilânların ücretleri Oda tarafından saptanır.

