

JFM319 Mühendislik Jeolojisi

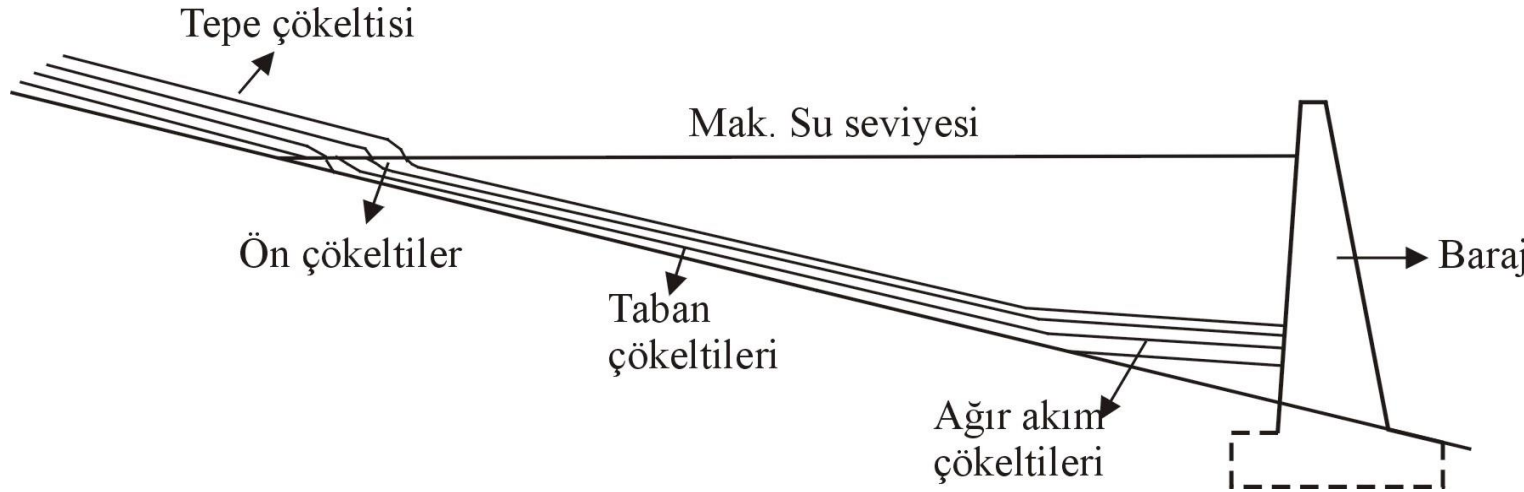
**Baraj Yeri ve Rezervuarda
Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları-2**

Barajlarda siltlenme

Barajların yapımından sonra, suların taşıdığı malzeme (blok, çakıl, kum, silt, kil) baraj gölüne dolmaya başlar ve baraj ömrü gitgide kısalır. Özellikle sağanak yağışları izleyen sellenme ile çok malzeme gelir. Bitki örtüsü azsa erozyon daha da fazla olur.

Siltlenme mekanizması

Taşınan malzeme baraj gölüne gelirken, irden ufağa doğru çökmeye başlar. Silt ve kil baraj gövdesi dolayında çöker ve özgül ağırlığı 1,3 - 1,6 olan bir çamur oluşur. Akış yukarıda maksimum su düzeyinin üstünde kalan çökeltilere tepe çökeltisi denir. Ön çökeltiler, suların baraj gölüne girdiği kısımda biriken tortulardır. Burada suyun hızı azalır; iri blok ve çakıllar toplanır. Bunlar akışa engel olur, akış yukarıda çökeltme artar. Biriken parçaların yığılmasıyla dik bir yamaç oluşur. Bunlar göle doğru kayar. Olayın tekrarlanmasıyla gölde iri ve ince malzeme ardışıklı bir şekilde birikir. Baraja yaklaştıkça daha ince malzeme çöker, bunlara taban çökeltileri denir. Baraj gövdesine yakın çökelen en ince tortulara ağır akım çökeltileri adı verilir. Bunlar zamanla kompaksiyona uğrar, yoğunlukları artar ve baraj eksenine basınçları çoğalır.



Göl alanlarının silt tutma niteliği (TE)

$$TE = \frac{S_i - S_0}{S_0}$$

S_i : Bir yılda baraj gölüne gelen silt hacmi
 S_0 : Bir yılda baraj gölünden geçip giden silt hacmi

Proje safhasında silt tutma özelliği, rezervuar kapasitesi (C), yıllık su akımına (I) bölünerek bulunur. Bu bilgilere göre rezervuarın hizmet süresi (RL)

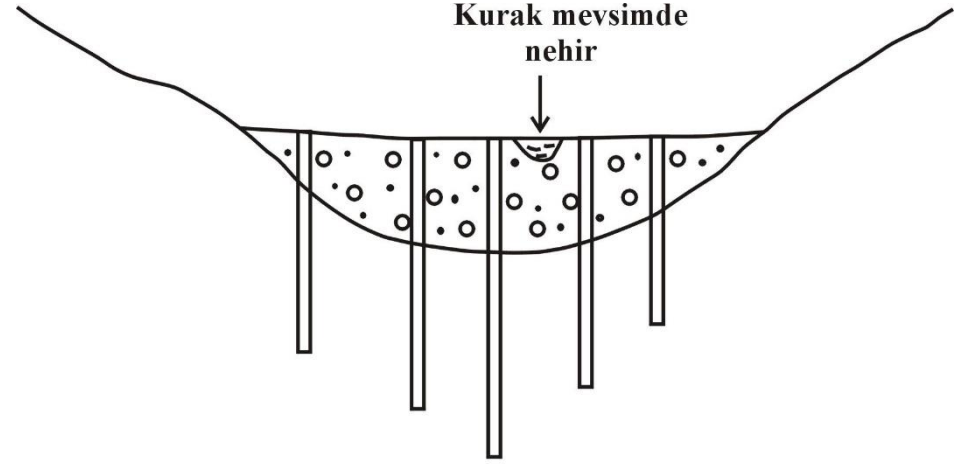
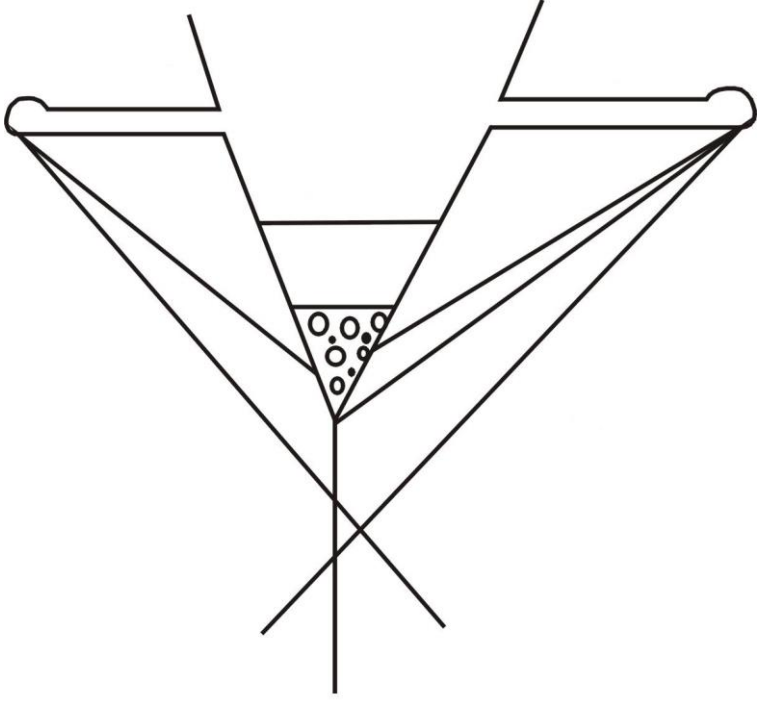
$$RL = \frac{C}{S_i - TE}$$

Baraj yeri araştırmaları

Baraj yerlerinde çalışmalara 1/5000 ve 1/1000 ölçekli jeolojik haritaların yapımıyla başlanır. Jeoloji haritalarının hazırlanmasıyla, bent yerinin litolojisi, yapısı, stabilitesi öğrenilmiş olur. Alınan taş, malzeme ve su numuneleri laboratuvarlara gönderilir. Sondajlar ve galerilerle ayrıntılı araştırmalara geçilir. Araştırmalar, bent yerlerinin jeolojik şartlarına göre değişir. Her bent yerinde aynı program uygulanmaz. Ancak her bent yerinde bilinmesi gereken ortak konular vardır.

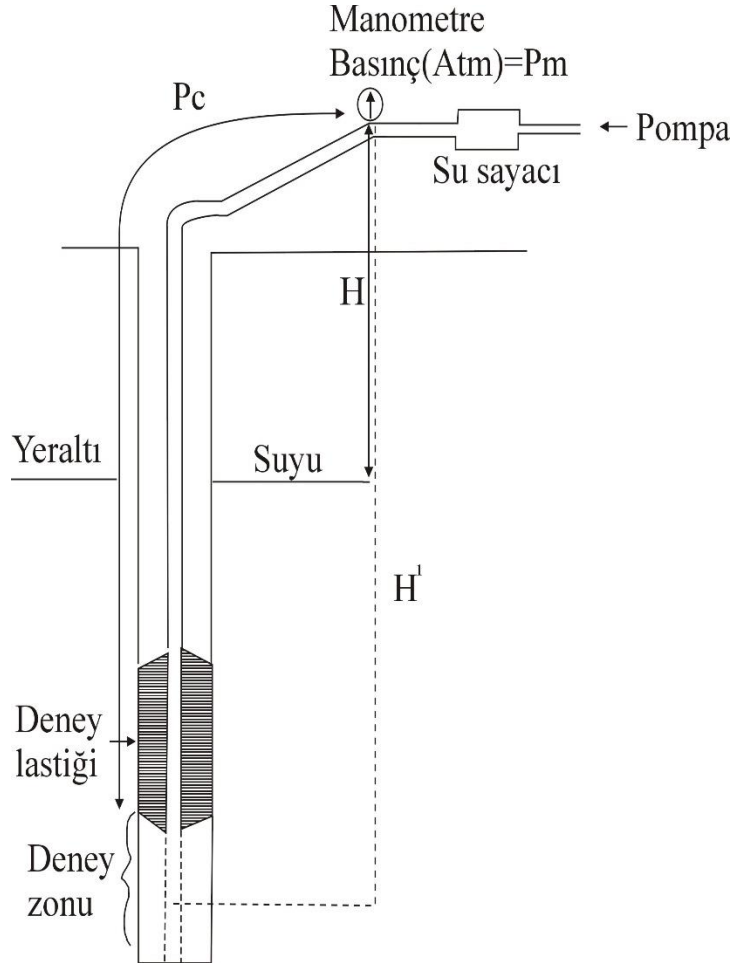
- ✓ Kayaların ayrışma derecesi, ayrışma derinliği
- ✓ Litoloji sınırları ve litolojik zellikler
- ✓ Fay ve çatlakların gidişleri ve zellikleri
- ✓ Alüvyon kalınlığı, alüvyon altında nehre paralel bir fay olup olmadığı
- ✓ Karot yüzdesi, RQD, basınçlı su deneyleriyle hesaplanmış Lugeon değerleri, delinme süreleri
- ✓ Yeraltısı seviyeleri ve değişimleri.
- ✓ Bazı nehirlerin yatakları fayları izler. Çünkü fay boyu yatak açmak daha kolay olabilir. Bu nedenle, her iki kıyıdan karşı sahile doğru (nehre az-çok dik doğrultuda) eğimli kuyular açılır. Bu kuyuların eğimi, vadi kesiti çıkarıldıktan ve düşey kuyularla alüvyon kalınlığı bulunduktan sonra kararlaştırılır. Eğim gereğinden az olursa, kuyu alüvyona girer ve ilerlemeye devam edilemez. Eğim gereğinden fazla olursa, kuyunun karşı sahile kadar gidebilmesi için derin açılması gerekir.

Galeri ve tünel aımında, yapıya ve süreksizliklere dik veya verrev gidilmeye çalışılır. Bazen önemli fayların araştırılması için yan kollar açılır. Gereğinde galeri içinden de sondaj yapılabilir.



Lugeon Basıncı Su testi (BST)

Araştırma ve enjeksiyon kuyularında basınçlı su deneyleri yapılır ve kayanın geçirimsizliği hakkında bilgi edinilir. Çeşitli basınçlar altında deney zonunda kayaya sızan suyun debileri ölçülür. **Bir Lugeon birimi, 10 atmosfer gerçek basınç altında, 1 dakikada, 1 metre uzunluktaki zonda 1 litre olarak sızan su miktarıdır.** Lugeon Deneyleri 1, 2, 3, 5, 10 metrelik zonlarda yapılabilir. Onar dakika süreyle artan ve azalan basınçlar uygulanır (2-4-6-8-10-8-6-4-2 veya 3-6-10-6-3). Deneye başlamadan önce pompa kapasitesi, yeraltı su seviyesi ölçülür. Her basınç kademesinde 10 dakikadaki kaçak miktarları kaydedilir. Yamaç molozunda ve alüvyonda basınçlı su deneyi yapılmaz. Karotların sağlam olduğu zonlarda kaçak fazlaysa lastik tutmamış olabilir. Bu durumda deney tekrarlanmalıdır.



$$P_{eff} = P_m + \frac{H}{10} - P_C$$

P_m = Manometrede okunan basınç (atm)

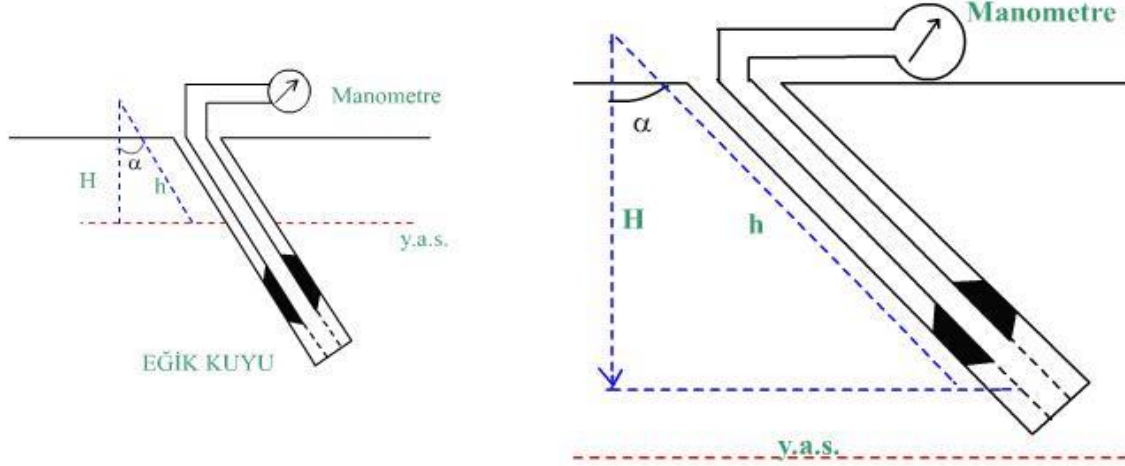
H = Yeraltı suyundan manometreye kadar olan mesafe (metre)

H' = Yeraltı suyu olmadığı takdirde deney zonunun ortasından manometreye kadar olan mesafe (metre)

P_C = Manometre ile deney zonu arasındaki lastikte, tijlerde, bağlantı yerlerinde, vanalarda, manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı.

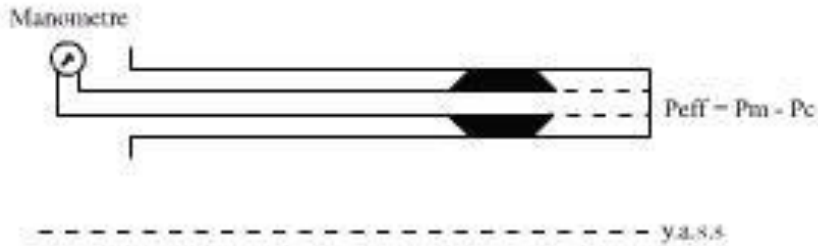
P_{eff} = Deney zonundaki hakiki basınç.

1-Eğimli kuyu



$$P_{eff} = P_m + \frac{h \cos \alpha}{10} - P_c$$

2-Yatay Kuyu



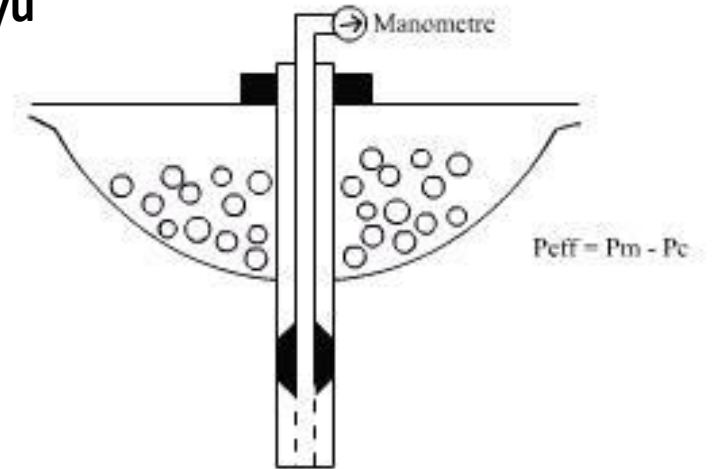
1 Lugeon'dan az
1-5 Lugeon
5-25 Lugeon
25 Lugeon'dan fazla

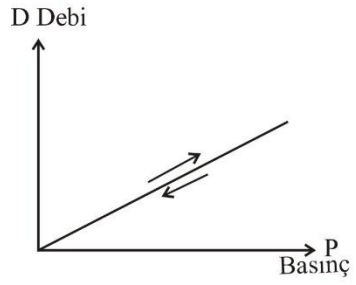
Geçirimsiz
Az geçirimli
Geçirimli
Çok geçirimli

Basıncı su deneyi sırasında suyun tümü kaçmış ve basınç yükselmemişse Lugeon değeri sonsuz kabul edilir.

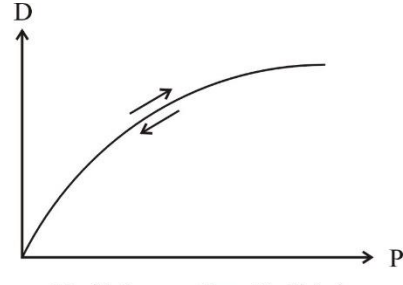
Genel kural olarak 30 m den yüksek barajlar için 1 Lugeon biriminden daha az su emen bir kaya geçirimsiz kabul edilir ve enjekte edilmez. Bu sınır 30 m'den alçak barajlar için 3 Lugeon birimidir.

3-Nehir içi Kuyu

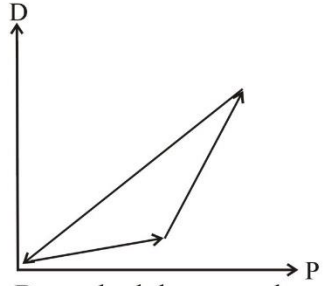




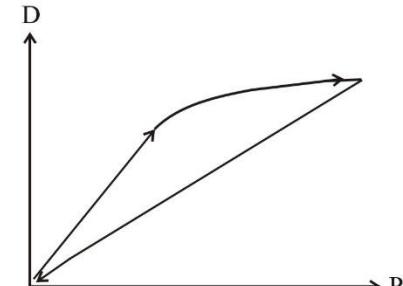
Düzenli akım, çatlaklarda tıkanma ve yıkanma yok



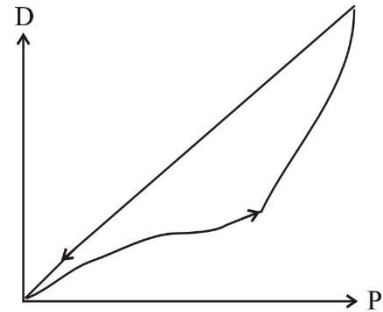
Değişken rejim. Belki de büyük çatlak



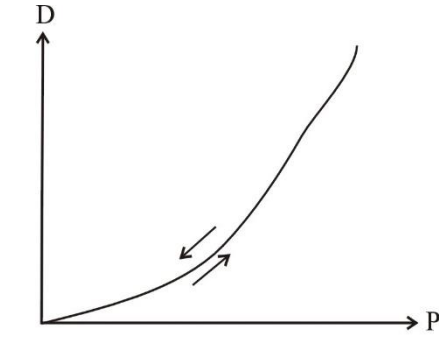
Basınçla dolgunun yıkanması (Deney lastiğinden su kaşması)



Kuvvetli basınçla tıkanma



Zayıf basınçla tıkanma, kuvvetli basınçla yıkanma



Zeminin dönüşümlü tepkisi (Bir çatlak yüksek basınç altında açılır yeni çatlaklar meydana gelebilir ve basınç azaldığında kapanır.)

Lugeon	Açıklama	Geçirimsizlik, cm/s	Süreksizlik açıklığı
<1	Çok düşük	$<1 \times 10^{-5}$	Çok dar
1-5	Düşük	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Dar
5-15	Düşük-Orta	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Birkaçı açık
15-50	Orta	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Bazıları açık
50-100	Yüksek	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Birçoğu açık
>100	Çok yüksek	$<1 \times 10^{-3}$	Açık veya boşluklu



BST için kullanılan tek ve çift packer

Enjeksiyon

Baraj aksı altındaki kaya kütlesinin sağlamlaştırılması ve geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla değişik karışimli şerbetler, enjeksiyonla kayaya gönderilir. Kayalar çeşitli etkilerle faylanmış, eklemelenmiş, erimiş, aşınmış olabilirler. Kayalara, insan eliyle yapılan büyük yapılar da etkiyip, deformasyonlara neden olabilir. Şu amaçlarla enjeksiyon yapılır:

- 1) Yapı temeli ile temelin oturduğu kayanın birbirine bağlanması
- 2) Boşluk ve kırıkların doldurulması
- 3) Temele binecek yükün emniyetle taşınması
- 4) Baraj göl alanı, temeli ve gövdesinden olabilecek su kaçaklarının önlenmesi.

İki tip enjeksiyon yapılır :

Konsolidasyon (sağlamlaştırma, pekiştirme)

Geçirimsizliğin sağlanması (perde enjeksiyonu)

Enjeksiyon Şerbeti Çeşitleri

Sıvılar kimyasal ürünlerden meydana gelmişlerdir. Örneğin, az veya çok reaktif katılmış ve eritilmiş sodyum silikat, sentetik reçine, saf hidrokarbon ürünleri gibi.

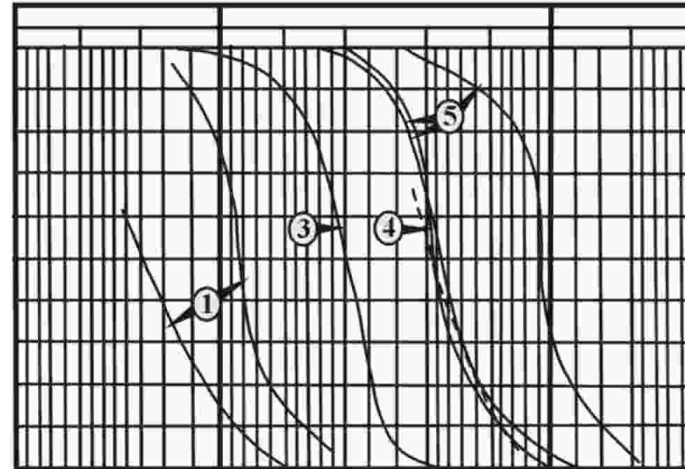
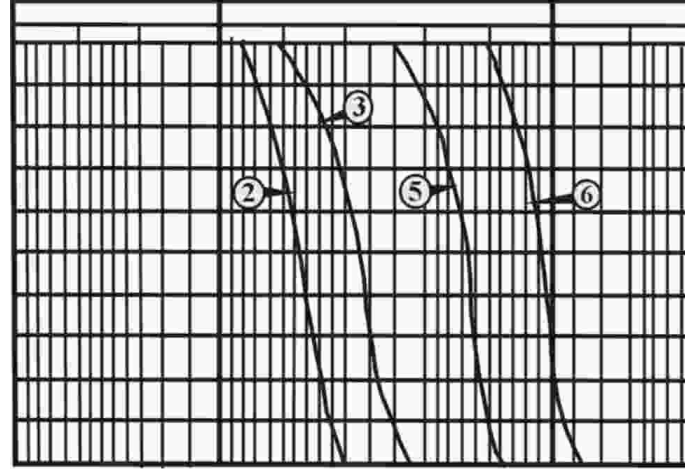
Duraysız çözeltiler, suda çimentonun veya kaya tozunun basit çözeltileridir. Bunlar, karıştırıldıkları sürede homojendirler, karıştırma durur durmaz çökelme başlar .

Duraylı çözeltiler kilin veya kil, çimento ve kumun herhangi bir karışımının suda eritilmesiyle elde edilmişlerdir. Duraylılık, dozaj, karıştırma ve kimyasal bir ürünün az miktarda katılmasıyla elde edilmiştir. Şerbet, enjeksiyon sırasında hiçbir çökelme göstermiyorsa duraylı kabul edilir.Bu süre birkaç saattir.

Enjeksiyon Sınırı

Enjeksiyonun mümkün olabilmesi için, şerbetin ve enjekte edilecek ortamın tane boyutları arasında bir bağıntı olması gerekir. Hemen hemen tüm araştırmacılar kriter olarak, enjekte edilen ortamın ve şerbetin tane boyunu seçmişlerdir. Eğer tane boyuna dayanan çok uygun bir kriter bulmak isteniyorsa, boşluk boyutlarını hesaplamayı ve bunu şerbet tanelerinin boyutlarıyla karşılaştırmayı denemek gerekir. Özgül yüzey “ S ”, boşluk yüzdesi “ n ” olsun. Bu yüzde, aynı zamanda kütleyi kesen herhangi bir düzlemdeki boşlukların yüzdesidir. Böyle bir düzlem için, söz konusu akım kesitinin “**Hidrolik yarıçapı (r)**”

$$r = \frac{3n}{2 \cdot (1-n) \cdot S}$$



Zeminin tane boyuna göre enjeksiyon alabilme yeteneği

1. Çimento
2. Kil-çimento
3. Kil
4. Joosten karışımı
5. Silis jeli
6. Bitüm-reçine emülsiyonu

Karstik Kayaların Enjeksiyonu

Kireçtaşlarının erimesiyle büyük mağaralar meydana gelir. Bunlar birbirleriyle kuyular, tüneller, sifonlar yoluyla bağlantılıdır. Eğer bu boşluklara girilebiliyorsa, görünen bütün karst yollarını betonla tıkamak gerekir. Bu her zaman kolay ve olanaklı değildir. Bu nedenle, en çok uygulanan yöntem enjeksiyondur. Karstik kayaların iyileştirilmesindeki zorluk, boşlukların çok düzensiz olması, genellikle yüzeyden fark edilememesi ve çoğu zaman içinde su akımlarının olmasıdır. Bu bakımdan, bunları geçirimsiz hale getirmek için bir kuyular dizisi düzenlemek ve buralardan normal kırıklı kayalardaki gibi enjeksiyon yapmak yetmez. Boşluğa rastlayan kuyu veya kuyularda, gereğinden çok uzak yerleri enjekte etmemek ve yer altı sularının enjeksiyon malzemesini sürükleyip götürmesine engel olmak için, zemine değişik şerbetleri seri halinde enjekte etmek gerekir. Rastlanan sorunların her biri kendine hastır. Herhangi bir kural formüle edilemez.

Kırıklı Ve Çatlaklı Kayaların Enjeksiyonu

Kırıklı ve çatlaklı kayaların geçirimsizliği ve sağlamlaştırılması enjeksiyonla sağlanır. Bu iki sonuç, kullanılan şerbetin bileşiminde yapılan değişikliklerle elde edilmiştir. Genellikle sağlamlaştırma için, daha dayanıklı şerbet kullanılır. Bunun dışında, her iki amaçla yapılan çalışmalar arasında pek fark yoktur. Kaya kırıklarının durumuna göre bir enjeksiyon şeması gerekir. Kırıklar çok fazla ve açık ise, şerbeti gereksiz yere çok uzaklara göndermekten sakınılmalıdır. Enjeksiyon şeklinin karşılaşılan durumlara uydurulması gerekir.

Çok Açık Çatlakların Enjeksiyonu

Enjeksiyonda çok açık çatlaklar şöyle tarif edilir: bir insanın çatlak aralarını betonla doldurmak için geçebileceği kadar büyük olmayan, fakat normal bir çimento şerbetiyle ekonomik olarak enjekte edilebilecek kadar küçük olmayan çatlaklar. Bu açıklık birkaç desimetreden birkaç santimetreye, hatta çatlaklar çok fazla sayıdaysa birkaç milimetreye kadar değişebilir. Bunların tıkanması son derece kalın ve thixotrope bir şerbetin en çok 1-2 kg/cm² basınçla enjeksiyonuyla sağlanır. Kuyu aralıkları 1-3 m olmalıdır. Bu, kayanın durumuna ve şerbetin kalitesine bağlıdır. Böyle bir şerbet örneğin çimento, kil, sodyum silikat ve ince kumla yapılabilir. Bu şekilde dayanıklılık 20-50 kg/cm² olabilir. Bu tip şerbetlerle ince çatlaklar çok az enjekte edilebilir veya enjekte edilemez. Daha sonra çimento süspansiyonuyla enjeksiyon yapılır.

Çatlakların Yıkınması

Çatlaklar çoğu zaman kille, ince kumla ve ayrışma gereciyle doludur. Enjeksiyon bu dolguyu sıkıştırır, fakat yerinden kaldırmaz. Bazen dolguyu, çatlakları yıkayarak temizlemek istenir. Bu yıkama, çatlakları kesen kuyularla yapılır. 1-2 m aralıkla kuyular açılır ve basınç altında kademeli veya aynı zamanlı olarak su ve hava enjekte edilir. Suya kimyasal madde katılabilir. Kuyular arasında sirkülasyonun sağlanması için önemli ölçüde basınç gerekir. Temizlenecek boşluklar pek derinde değilse, bu basınçlar zeminin alttan kaldırılmasına yol açabilir. Yan yana kuyularda akım yönü değiştiğinde, temizlenmesini istediğimiz malzeme, istenmeyen bir yere gidebilir. İşlem sonunda, kuyu ve galerilerle kontrol gerekir

Kayaların Baraj Yeri Olma Nitelikleri

Mağmatikler

Derinlik kayaları ayrışmamış, çatlaksız ve kırıksız oldukları zaman çok sağlam ve geçirimsizdir. İdeal bir baraj yeridir. Ayrışmış, kırılmış, faylanmış oldukları zaman dirençleri azalır, fazla su emerler, kırık ve fay zonlarından su kaçırlar. Böyle baraj yerlerinde sondaj ve galerilerle ayrıntılı araştırma yapılmalıdır. Derinlik kayaları üzerinde büyük ağırlık ve kemer baraj yapılacaksa, elastisite modülleri tayin edilmelidir, çeşitli noktalardaki değişimleri ve nedenleri araştırılmalıdır.

Volkanikler

Volkanik kayalar çok değişik doku ve bileşimde bulunabilirler. Tüflerde daneler arası boşluklar, bazaltta soğuma çatlakları ve gaz boşlukları çok görülür. Bazı yerlerde lavlar, tüflerle ve çökellerle nöbetleşmeli olarak bulunur. Bu durumda her birinde değişik permeabilite görülür. Andezit, dasit, trakit ayrışmamış olduğu zaman baraj yeri olarak çok elverişlidir. Fakat, bunlar çoğu zaman ayrışmış, çatlaklı ve geçirimlidir.

Sedimanter Kayaçlar

Çeşitli tortul kayaların baraj yeri olabilme nitelikleri çok farklıdır. Alüvyon türü zeminler çok geçirimlidir. Bunların duraylı şerbet veya kimyasal maddelerle enjeksiyonu gereklidir. Bunlar iyi çimentolanmış ise, daha elverişli bir baraj yeri olabilirler. Kumtaşı, arkoz, grovak, kuvarsit baraj yeri olma yönünden iyidir. Özellikleri çimento cinsine ve çatlaklarının sıklık ve açıklığına göre değişebilir. Marn, silt, kil, silttaşı ve kiltası temellerde şişme, kabarma ve şev duraysızlığı sorunları vardır. Tabakalar eğimli olursa kaymalar meydana gelebilir. Şeyl geçirimsizdir, ancak suyla temasta duraylılığı bozulabilir. Kireçtaşı üzerinde baraj yapılması istendiğinde, karstik araştırmaların çok iyi yapılması gereklidir. Araştırmalar çok iyi yapılırsa, karşılaşılabilecek güçlüklerle karşı alınması gerekli önlemler önceden kararlaştırılır, maliyet hesapları buna göre yapılır. Aslında genellikle her baraj yerinin birtakım kusurları bulunur. Anhidrit, jips sorunu daha önce açıklanmıştı.

Metamorfik Kayaçlar

Metamorf kayaların mühendislik özellikleri litoloji, yapı ve ayrışma durumuna göre değişir. Çoğu zaman bunlarda geçirimsizlik sorunu yoktur (mermer hariç). Ayrışmış ve killi metamorf kayalarda duraylılık kolayca bozulabilir. Fay, eklem, şistiyet gibi süreksizlikler olumsuz yönde etkilidir. Malpasset barajı fay nedeniyle yıkılmıştır.

Baraj Yıkılmaları

Dünyanın çeşitli bölgelerinde zaman zaman çeşitli tipteki barajların yıkıldığı ya da göl alanlarında su toplanmadığı görülmektedir. Şimdiye kadar 300'den fazla baraj yıkılmıştır. Baraj yıkılmalarının nedenleri kesin olarak bilinmemekte, sonradan yapılan araştırmalara göre tahminler ortaya atılmaktadır.

Bent yeri ve dolayında meydana gelen olaylar

- Bent yeri ve dolayında sızıntılar olması
- Temel zeminindeki veya gövde malzemesindeki kohezyonun yetersizliğinden (özellikle toprak barajlarda)
- Baraj gövdesinin şevlerine uygun eğimin verilmemiş olmasından
- Akış yukarı tarafta oyulmaların meydana gelmesi
- Gövdede farklı oturma nedeniyle çekirdekten su sızması
- Çekirdek ve filtre malzemesinin iyi seçilmemiş olması
- Dolusavak şekil ve kapasitesinin iyi saptanmaması
- Deprem etkisi.

B- Göl alanında meydana gelen olaylar

- Heyelanlar ve bunların dalga etkisi
- Deprem ve dalga etkisi

Baraj gövdesi içinde ya da temelde sızmanın artması ve borulanmanın meydana gelmesi barajın yıkılmasına neden olmaktadır. Borulanma, doğal halde ya da yerleştirilmiş bir malzeme içinden belli bir basınç altında sızan suyun meydana getirdiği yollardır. Sızan suyun sürükleyeceği malzeme çok olursa, gövdede gitgide büyüyen delikler açılır ve bir süre sonra baraj yıkılır. Savak kapasitesi iyi hesaplanmamışsa, kapasiteden çok taşkın suyu gelebilir ve gövde üzerinden aşarak barajı yıkar.