

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASFALT ÇEKİRDEKLİ BİR BARAJDA ENJEKSİYON**  
**UYGULAMALARI: KONSKO BARAJI**

**GAMZE PITRAKLI**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASFALT ÇEKİRDEKLİ BİR BARAJDA ENJEKSİYON**  
**UYGULAMALARI: KONSKO BARAJI**

**GAMZE PITRAKLI**

**Doç.Dr. Utkan MUTMAN**

**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Prof.Dr. Safa Bozkurt COŞKUN**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Dr.Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER**

**Jüri Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Enjeksiyon, barajlarda su kaçaklarının kontrolü için dünyada yaygın olarak kullanılan en popüler yöntemlerdendir. Bu çalışmada asfalt diyaframlı su geçirmez gövdeli bir barajda enjeksiyon uygulamaları araştırılmış, kademelere göre enjeksiyon alış miktarları ve enjeksiyon perdelerinin imalat aşamaları incelenmiştir.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Utkan MUTMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezime katkılarından dolayı Konsko Barajı inşaatında görev alan, başta değerli eşim şantiye şefi Özgün PITRAKLI olmak üzere çalışan herkese teşekkür ederim.

Beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme ve moral kaynağım yeğenim Defne Zeynep TOMBUL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak – 2020

Gamze PITRAKLI

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ .....	1
1. BARAJLAR .....	3
1.1. Baraj Nedir? .....	3
1.2. Barajların Tarihçesi .....	3
1.3. Baraj Çeşitler .....	3
1.4. Baraj Yıkılmaları .....	4
2. ENJEKSİYON UYGULAMALARI .....	7
2.1. Başlıca Geçirimsizlik Önlemleri .....	7
2.1.1. Katof hendekleri .....	8
2.1.2. Palplanş katoflar .....	8
2.1.3. Yerinde dökülen beton kazık perdeler .....	8
2.1.4. Bulamaç hendeği .....	8
2.1.5. Diyafram duvarlar .....	9
2.1.6. Enjeksiyon perdesi .....	9
2.2. Enjeksiyonlar .....	9
2.2.1. Enjeksiyon çeşitleri .....	10
2.2.1.1. Amaçlarına göre enjeksiyonlar .....	11
2.2.1.2. Kullanılan karışım maddelerine göre enjeksiyonlar .....	11
2.2.2. Enjeksiyon şerbeti çeşitleri .....	12
2.2.2.1. Duraysız şerbetler .....	12
2.2.2.2. Duraylı şerbetler .....	13
2.2.3. Enjeksiyon uygulama yöntemleri .....	14
2.2.3.1. Karstik kayaların enjeksiyonu .....	14
2.2.3.2. Kırıklı ve çatlaklı kayaların enjeksiyonu .....	14
2.2.3.3. Çok açık çatlakların enjeksiyonu .....	14
2.2.3.4. Çatlakların yıkanması .....	15
2.2.3.5. Kil dolguların blokajı .....	15
2.2.3.6. İnce çatlakların enjeksiyonu .....	15
2.2.3.7. Alçalan kademe yöntemi .....	16
2.2.3.8. Yükselen kademe yöntemi .....	17
2.2.4. Barajlarda geçirimsizlik perdesi .....	17
2.2.4.1. Perde delgileri .....	19
2.2.4.2. Enjeksiyon delgi aralıklarının ve dizgilerinin belirlenmesi .....	19
2.2.4.3. Galerilerden perde enjeksiyonu uygulaması .....	20

2.2.4.4. Zeminlerde geçirimsizlik ve sağlamlaştırma delgileri .....	21
2.2.4.5. Perde enjeksiyonlarında başarı ölçütleri .....	22
3. KONSKO BARAJI .....	23
3.1. Baraj Yerinin Jeolojisi .....	23
3.2. Projenin Yeri .....	25
3.3. Projenin Karakteristikleri .....	26
3.4. Konsko barajı enjeksiyon işleri .....	26
3.4.1. Enjeksiyon deliklerinin açılması .....	26
3.4.1.1. Perde kuyuları .....	29
3.4.1.2. Kontak kuyuları .....	30
3.4.1.3. Piyezometre kuyuları .....	31
3.4.2. Enjeksiyon metodu .....	31
3.4.2.1. Enjeksiyon deliklerinin yıkanması .....	31
3.4.2.2. Ano sistemi .....	32
3.4.2.3. Yukarıdan aşağıya doğru inen kademeler metodu ile enjeksiyon .....	32
3.4.2.4. Aşağıdan yukarıya doğru çıkan kademeler metodu ile enjeksiyon .....	32
3.4.3. Enjeksiyonlarda kullanılacak malzemeler .....	35
3.4.3.1. Çimento .....	35
3.4.3.2. Bentonit .....	35
3.4.3.3. Su .....	36
3.4.3.4. Kum .....	36
3.4.3.5. Enjeksiyon kimyasal katkı malzemeleri .....	36
3.4.3.6. Kalafat malzemesi .....	37
3.4.3.7. Enjeksiyon malzemelerinin sürekli temini .....	37
3.4.3.8. Enjeksiyon malzemelerinin depolanması .....	37
3.4.3.9. Enjeksiyon şerbetleri .....	37
3.4.3.9.1. Enjeksiyon karışım deneyleri .....	38
3.4.4. Enjeksiyon şerbetleri karışım oranları .....	39
3.4.5. Konsko barajında uygulanacak enjeksiyon basınçları .....	41
3.4.5.1. Kontak kuyuları .....	41
3.4.5.2. Perde kuyuları .....	41
3.4.5.3. Perde enjeksiyonları .....	42
3.4.5.4. Kontak enjeksiyonları .....	43
3.4.5.5. Basıncılı su tecrübeleri .....	43
3.4.5.6. Refü şartı .....	45
3.4.5.7. Enjeksiyon kontrol sistemi .....	45
3.4.6. Kayıt ve raporlar .....	48
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	49
KAYNAKLAR .....	51
EKLER .....	53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Saint Francis baraj yeri jeolojik kesiti .....	5
Şekil 1.2. Teton barajı yıkılışı .....	5
Şekil 1.3. May barajı'nda terra-rosa ile örtülü düdenlerden suların kaçması .....	6
Şekil 2.1. Sızma kontrol önlemleri için önerilen permeabilite katsayısı aralıkları .....	7
Şekil 2.2. Daneler arası boşluğun girişinde kemer oluşumu .....	13
Şekil 2.3. Alçalan kademe yöntemi .....	16
Şekil 2.4. Yükselen kademe yöntemi .....	17
Şekil 2.5. Baraj tipine göre delgi konumları .....	18
Şekil 2.6. Barajlarda açıktan ve galeriden yapılan perde enjeksiyonları .....	21
Şekil 2.7. Zeminlerde su sızdırmazlığı ve sağlamlaştırma delgileri dizgisi .....	21
Şekil 3.1. Yer bulduru haritası .....	26
Şekil 3.2. Diesel D-500 .....	27
Şekil 3.3. Levent 2002 .....	28
Şekil 3.4. Enjeksiyon Kuyuları (Perde ve Kontak) Yerleşim Planı .....	29
Şekil 3.5. 24 m'lik Anolarda Azalan Aralık Metodu .....	33
Şekil 3.6. 12 m'lik Anolarda Azalan Aralık Metodu .....	34
Şekil 3.7. Enjeksiyon şerbeti karışım tankeri .....	39
Şekil 3.8. Kuyu başı recorder .....	45
Şekil 3.9. Recorder .....	46
Şekil A.1. Sol sahil, derivasyon kondüvisi, sol şevde, akış aşağı eğimli süreksizliklerin duruşu .....	54
Şekil A.2. Sol sahil, derivasyon kondüvisi, sol şevde, akış aşağı eğimli süreksizliklerin duruşu .....	54
Şekil A.3. Sol sahili, Konsko-Gevgeli yol yarmasında süreksizliklerin akış aşağı eğimli duruşu .....	55
Şekil A.4. Sağ sahilinde, menba batardosu hizasında, 550 m kotuna ulaşımı sağlayan yol yarmasında süreksizliklerin akış aşağı eğimli duruşu .....	55
Şekil A.5. Sağ sahilinde enjeksiyon santral yeri ile enjeksiyon ano yerlerini gösterir fotoğraf .....	56
Şekil A.6. D-500 Dizel sondaj makinesi .....	56
Şekil A.7. Elektrikli sondaj makineleri .....	57
Şekil A.8. Kuyubaşı (mobil) enjeksiyon seti .....	58
Şekil A.9. Yarı otomatik enjeksiyon santrali .....	59
Şekil A.10. Sol sahil ve derivasyon tüneli .....	59
Şekil A.11. Sol sahil ve sağ sahil uzaktan görünümü .....	60

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Perde enjeksiyon şerbeti laboratuvar değerleri .....	39
Tablo 3.2. Derin kuyularda enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları .....	40
Tablo 3.3. Kontak kuyularında enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları .....	40
Tablo 3.4. Perde Enjeksiyonlarında Kullanılan Karışım Oranları .....	42
Tablo 3.5. Kontak kuyuları için enjeksiyon basınç değerleri .....	43
Tablo 3.6. Anobaşı araştırma kuyuları için BST basınç değerleri ve kontrol kuyuları BST basınç değerleri .....	44

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

L	: Tecrübe yapılan kademe boyu, (m)
$P_t$	: Kademeye uygulanan toplam basınç, (kg/m)
Q	: Kaçan su miktarı, (litre)
T	: Test süresi, (dakika)

### **Kısaltmalar**

BST	: Basınçlı Su Testi
Lu	: Lugeon
PÇ	: Portland Çimentosu



## **ASFALT ÇEKİRDEKLİ BİR BARAJDA ENJEKSİYON UYGULAMALARI: KONSKO BARAJI**

### **ÖZET**

Enjeksiyon, barajlarda su kaçaklarının kontrolü için dünyada yaygın olarak kullanılan en popüler yöntemlerdendir. Baraj gövdelerinde geçirimsizliği sağlamak amacıyla kullanılan enjeksiyon türü ise perde enjeksiyonlarıdır. Konsko barajı, Gevgelija iline 20 km uzaklıkta olup baraj, Konsko Nehri üzerine inşa edilmektedir. Bu çalışmada asfalt diyaframlı su geçirmez gövdeli bir barajda enjeksiyon uygulamaları araştırılmış, kademelere göre enjeksiyon alışı miktarları ve enjeksiyon perdelerinin imalat aşamaları incelenmiştir. Bunların dışında zeminde yapılan basınçlı su testleriyle ve yapılan karotlu sondajlardan elde edilen veriler ışığında zeminin karakteristik özellikleri (zemin sınıfı, geçirimsizliği, RQD değerleri, YASS durumu, Fay ve ayrışma zonları vs.) hakkında veriler elde edilmiştir. Bu verilerden yararlanarak, uygulanması gereken enjeksiyon ve sondaj metodları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu metodolojide Konsko Barajı'ndaki derivasyon kondüvisi, gövde ve dolusavak yapılarındaki enjeksiyon işleri için teknik çözümler sağlanmıştır. Proje kapsamında yapılması planlanan enjeksiyon perdesinin ana amacı, temelden ve her iki yamaçtan, gövde dolgusu altından olabilecek muhtemel su kaçaklarını engellemek; temelde, kazı sırasında örselenen kayacı sağlamlaştırmak ve inşa edilen mühendislik yapılarıyla kaya arasındaki kontaktaki boşlukları doldurarak stabiliteyi artırmaktır. Konsko Barajı, asfalt diyaframlı su geçirmez gövdeli kaya dolgu tipinde bir barajdır. Enjeksiyon işleri tamamıyla gabro kayası içinde yapılmıştır. Saha jeolojisi çalışmalarıyla birimlerin jeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla ofis, arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, temel kayacın geçirimsizliğinin baraj aksında, yatay ve düşey doğrultuda, değişimleri izlemek amacıyla karotlu ve karotsuz kuyular açılmıştır. Bu kuyularda kaya kalite özellikleri basınçlı su testleri (BST) ve test enjeksiyonları incelenmiştir. Açılan araştırma kuyuları ve yapılan testler sonrasında enjeksiyon yapılmıştır. Kuyuya giden enjeksiyon debisi, litresi ve basıncı recorder cihazından okunarak kayıt altına alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj, Enjeksiyon, Geçirimsizlik Perdesi, Karot, Kontrol Kuyusu.

## **GROUTING APPLICATIONS IN AN ASPHALT CORE DAM:KONSKO DAM**

### **ABSTRACT**

Grouting is one of the most popular method to control the water leakage in fill dam constructions. The type of injection used to provide impermeability to the dam bodies is the curtain injections. The Konsko dam is 20 km away from Gevgelija and the dam is built on the Konsko River. In this study, injection applications were investigated in an asphalt core dam and grout take quantities and the production stages of the injection walls were examined. In addition, according to the datas which are coming from the core samples and the pressure water tests performed, (soil class, impermeability, RQD values, YASS status, fault and weathering zones, etc.) were obtained datas about the soil characteristic. By using these data, information about injection and drilling methods should be applied. In this methodology, technical solutions are provided for the injection works in the diversion conduit, trunk and spillway structures in Konsko Dam. The main objective of the injection curtain planned to be constructed within the scope of the project is to prevent possible water leaks from the foundation and from both slopes under the body fill; basically it is to consolidate the rock slaughtered during the excavation and to increase stability by filling the gaps in the contact between the constructed engineering structures and the rock. Konsko Dam is a rockfill type dam with asphalt diaphragm waterproof body. Injection works were made entirely in gabbro rock. The geological features of the units were determined by the field geology studies. For this purpose, technical office, site and laboratory studies were conducted. In addition, core and non-core wells were drilled for the monitoring the changes of the permeability of the main rock in the horizontal and vertical directions of the dam axis. In these wells, rock quality characteristics, pressure water tests and test injections were examined. Injection was made after the research wells and tests performed. The injection flow rate, liters and pressure were recorded from the recorder.

**Keywords:** Dam, Grouting, Impermeability Curtain, Core, Test Hole.

## **GİRİŞ**

Su, yaşamımızın temellerinden biridir. İnsanoğlu sudan maksimum derecede faydalanmak veya suyun neden olabileceği zararları ortadan kaldırmak için farklı su yapıları inşa etmektedirler. Baraj da bu su yapılarının en önemlilerindedir. (Öziş, 1983). Baraj, akarsu yatağının geçtiği vadinin önüne set kurulup, setin arkasında su biriktiren, biriken suyun enerji üretimi, içme suyu, tarım alanlarını sulama gibi alanlarda kullanması amacıyla yapılmış bir tesistir.

Barajlar bir ülkenin sadece enerji ihtiyacını karşılamakla kalmamakta; ülkenin ekonomik, sanayi, tarımsal, sosyal ve kültürel açıdan kalkınmasında büyük rol oynayan muhteşem yapılardır. Bunun yanında barajlar büyük tehlike arz edebilirler. Geçmişten günümüze örnekleri yaşanmış ve yaşanması olası baraj kazaları, can ve mal emniyeti açısından önemli tehdit unsurları oluştururlar.

Barajlarda olası gerçekleşebilecek kazaları engelleyebilmek veya mümkün değil ise, kazaların oluşturabileceği zararları minimuma indirebilmek için önlemler almak gerekir. Önlemler için oluşabilecek tehlikeleri önceden tahmin edebilmek gerekir. Bu yüzden barajlar inşa edilirken ve işletme süresince emniyet bakımından devamlı olarak denetlemek ve oluşabilecek kazaları tahmin edebilmek, imkanımız var ise engelleyebilmek ve kazalardan etki görmemek için hazırlıklı olmak gerekir.

Baraj yıkılmalarının nedenleri genellikle tek sebebe değil birkaç sebebin bileşimine bağlı olarak gerçekleşir. Geçmiş yıllardaki baraj yıkılmalarının nedenlerinin incelenmesi günümüzde ve gelecekte yapılacak olan baraj çalışmalarına referans oluşturması bakımından önem taşımaktadır. Barajların yıkılma sebeplerinin başlıcaları şunlardır; üstten su aşması, kayma dayanımı yetersizliği, inşaat aşaması ve artı boşluk suyu basıncı, işletme aşaması, anlık boşalma, düşük kayma dayanımı ve çatlak oluşması vb.

Baraj inşaatlarında, baraj gövdelerinde geçirimsizliği ve stabilitesini sağlamak için bazı önlemler alınması gerekmektedir. Barajlarda su kaçaklarının önlenmesi için,

temel kayaya kadar kazı yapılarak, ana kayaya enjeksiyon yapılma işlemi, bu önlemler arasında dünyada yaygın olarak kullanılan en popüler yöntemlerdendir.

Enjeksiyon perdesinin ana amacı, temelden ve her iki yamaçtan, gövde dolgusu altından olabilecek muhtemel su kaçaklarını engellemek; temelde, kazı sırasında örselenen kayacı sağlamlaştırmak ve inşa edilen mühendislik yapılarıyla kaya arasındaki kontaktaki boşlukları doldurarak stabiliteyi artırmaktır.

Baraj yapılacak yerdeki kayaçların geçirimsiz olması gerekir. Magmatik kayaçlar çatlaksız ve ayrışmamış oldukları zaman iyi bir baraj yeri olabilirler. Fakat Konsko Barajı enjeksiyon işleri tamamıyla gabro kayası içinde yapılmıştır ve kayaç, ilksel olarak “iyi-çok iyi kaya” kalitesini, yoğun tektonik hareketler, alterasyon ve atmosferik ayrışma nedeniyle yitirmiş olup “çok zayıf-zayıf kaya” kalitesindedir. Bölgede yapılan fizibilite araştırmaları bölgenin coğrafi koşulları ve maliyetler göz önünde bulundurularak problemleri çözmeye yönelik uygulanabilecek en elverişli yöntemin enjeksiyon olduğuna karar verilmiştir.

Bu tezin amacı; barajlarda karşılaşılan problemlerden biri olan geçirimsizlik probleminin çözümünde uygulanan enjeksiyon yöntemlerini anlatmak ve Konsko Barajı İnşaatı kapsamında yapılan enjeksiyon çalışmaları hakkında detaylı bilgi vermektir.

## **1. BARAJLAR**

### **1.1. Baraj Nedir?**

Baraj, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen yapılardır. Enerji üretimi, içme ve\veya sulama suyu temini ve akarsuların düzenlenmesi gibi pek çok gayeye hizmet eden ekonomik faydası büyük olan tesislerdir.

Baraj tipi ve baraj yeri seçimine etki eden faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Topografya
- Jeoloji, litoloji ve yapısal özellikler
- Hidroloji ve hidrojeoloji
- Kullanılacak malzemeyi sağlama imkânları
- Ekonomik durum ve işçilik
- İklim ve inşaat mevsimi süresi
- Baraj yüksekliği
- Proje yapanın yetişmesi ve alışkanlık

### **1.2. Barajların Tarihçesi**

Dünyada ilk barajın M.Ö. 4000 yıllarında Nil nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Uzunluğu 110 m ve yüksekliği 12 m olan bu baraj sulama ve içme su ihtiyacı için kullanılmıştır. Gene Nil nehri üzerinde Sadd-el-Kafara barajının M.Ö. 2950-2750 yılları arasında yapıldığı bilinmektedir. Çin’de ise M.Ö. 200 yıllarında yapılan Tu-Kiang barajı, 200 bin ha’lık pirinç tarlalarını sulamak için günümüzde hala kullanılmaktadır. Hindistan ve Seylan’da 2000 yıl önce yapılmış barajlar vardır. İlk önemli kargir baraj 10 m yüksekliğinde ve Türkiye’de yapılan Keşiş Gölü barajıdır.

### **1.3. Baraj Çeşitleri**

Barajlar inşa edilirken yapıldığı yere veya kullanım amacına göre çeşitlilik gösterirler. Barajlar bir veya birden fazla amacı yerine getirmek için inşaa edilebilirler ve bunlar;

içme suyu, atık toplama, cevher tutma, enerji, sulama, taşkın önleme, turistik alan oluşturma ve balıkçılıktır.

Barajlar, baraj gövdelerinin imalatında kullanılan malzemeye ve gövde tipine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Toprak baraj, kaya baraj, beton baraj, ahşap baraj, çelik baraj vb.
- Dolgu baraj, ağırlık baraj, kemer baraj, payandalı baraj vb.
- Silindirle sıkıştırılmış beton baraj, memba yüzeyi kaplamalı baraj vb.

#### **1.4. Baraj Yıkılmaları**

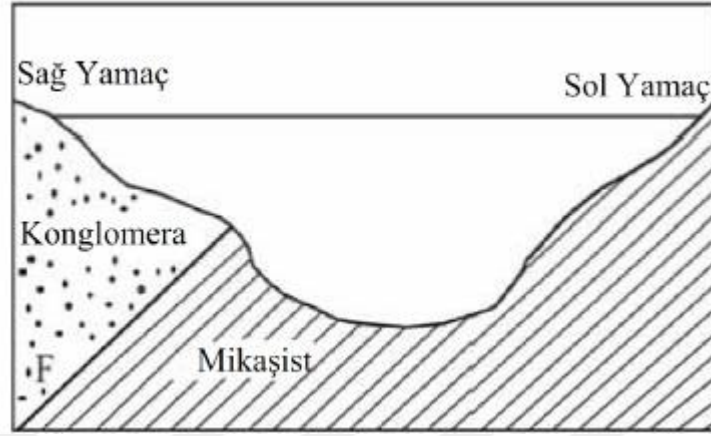
Dünyanın çeşitli bölgelerinde nadiren de olsa farklı tiplerdeki barajların yıkıldığı ya da rezervuarlarında su toplanmadığı için ekser ve göl sahasındaki kayaçların suları sızdırdığı görülmektedir. Bu sebeple yaşanan baraj yıkılmaları büyük mal ve can kayıplarına neden olmaktadır. Bugüne kadar dünyada büyüklü küçüklü 300'den fazla baraj yıkılmıştır. Yıkılan barajlara neden olan olaylar özetle şöyle sıralanabilir (Canik, 1997):

- Baraj ekseni alt ve yanlarından sızıntıların oluşması
- Baraj gövdesinin şevlerine uygun eğimin verilmemiş olması
- Memba tarafında oyulmaların meydana gelmesi
- Baraj gövdesinin farklı oturmalara maruz kalması
- Çekirdek ve filtre malzemesinin iyi seçilmemiş olması
- Aktif faylı bölgelerde depremin etkisi
- Dolu savak ve derivasyon tünelinin şekil ve kapasitesinin iyi tanzim edilmemiş olması
- Çekirdekten su sızması
- Özellikle toprak barajlarda temel zeminindeki veya gövde malzemesindeki kohezyon azlığı

Baraj yeri ve gölalanı seçiminde jeolojik incelemelerin yeterli yapılmamış olmasından kaynaklı, dünyada 1928 yılına kadar 250 baraj yıkılmıştır.

1928 yılında ABD'de yıkılmış olan St. Francis barajı, 436 kişinin ölümüne sebep olmuştur. Saint Francis barajı 150 m yarıçapında bir kemer ağırlık barajıdır. Gövde

kalınlığı tabanda 55 m, krette 5 m, yükseklik 62 m'dir. Baraj 1 Mart 1926'da su toplanmaya başlanmıştır. Fakat temelden büyük ölçüde su kaçakları olduğu tespit edildikten sonra, baraj 12 Mart 1928'de yıkılmıştır (Ertunç, 2003).



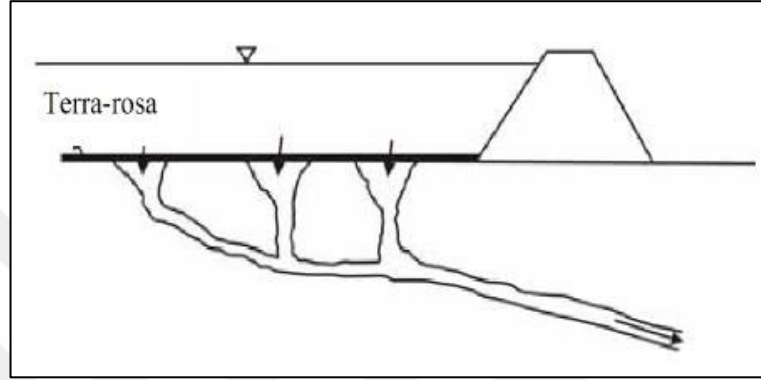
Şekil 1.1. Saint Francis baraj yeri jeolojik kesiti

ABD'de bulunan 100 m yüksekliğindeki gövde tipi toprak dolgulu olan Teton Barajı, 5 Haziran 1976'da kil çekirdeğinin yeterli sıkıştırılmamış olması sebebi ile sağ yamaca yakın gövdede borulanma oluşmasından ve sızıntılar sebebiyle birkaç saat içinde yıkılmıştır. Akış yönündeki yerleşim alanları zamanında boşaltıldığı için ölüm sayısı 11'i geçmemiştir (Ertunç, 2003).



Şekil 1.2. Teton Barajı'nın yıkılışı

Konya'daki May Barajı 27,84 m yükseklikte olup homojen gövdeli toprak barajdır ve 1959 yılında yapımı tamamlanmıştır. Baraj gövdesi ve rezervuar alanı kireçtaşı üzerindedir. 1960 yılı şubat ayında barajda su tutulmaya başlanmıştır, fakat nehir yatağındaki terra-rosa altında gizli kalan düdenler nedeni ile sular kaçmaya başlamış, önce rezervuarda alçalma olmuş ve sonra hiç su kalmamıştır. Barajda iyileştirme çalışmaları yapılmış fakat başarılı olunamamıştır (Ertunç, 2003).



Şekil 1.3. May Barajı'nda terra-rosa ile örtülü düdenlerden suların kaçması (Ertunç, 2003)

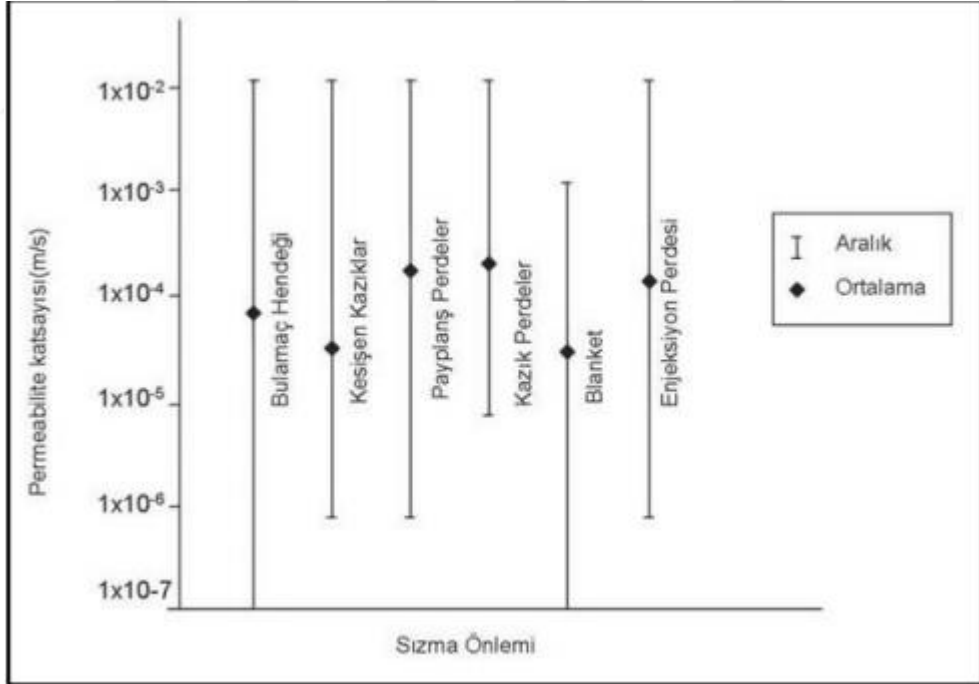


## 2. ENJEKSİYON UYGULAMALARI

### 2.1. Başlıca Geçirimsizlik Önlemleri

Bir dolgu baraj altından oluşacak sızmanın kontrol altına alınması gerekir. Kontrolü sağlamak için uygulanacak yöntemler; katof hendekleri, palplanş perdeler, yerinde dökülen beton kazık perdeler, bulamaç hendekleri, enjeksiyon perdeleri ve geçirimsiz malzeme blanketidir. Bu yöntemler, farklı zeminler için farklı etkinlik derecesinde, tek başına veya birkaçı bir arada kullanılabilir. Bu önlemlerin etkinlik dereceleri; permeabiliteye ve derinliğe göre değişmektedir.

Sızma kontrol önlemleri için önerilen permeabilite katsayısı aralıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sızma kontrol önlemleri için önerilen permeabilite katsayısı aralıkları (Powell and Morgenstern, 1985)

### **2.1.1. Katof hendekleri**

Barajın altında bulunan geçirimli zeminin derinliği az olması halinde sağlam bir katof oluşturulması için, geçirimli tabaka içinde bir hendek kazılır. Ardından geçirimsiz zon malzemesi ile geri doldurulur (Tosun, 2004).

### **2.1.2. Palplanş katoflar**

Barajın altında bulunan geçirimli zemin içinde geçirimsizlik perdesi oluşturulması için ince elik elemanlar kullanılabilir. Palplanş katofu olarak bilinen bu uygulama; diğer yöntemlere göre daha yüksek maliyettedir. Ayrıca bağımsız panelleri arasından kaçak oluşması gibi bir dezavantajı da vardır. Bu dezavantajlara rağmen, katof derinliğinin artması için kısmi katof hendekleri ile birlikte kullanılmaktadır (Tosun, 2004).

### **2.1.3. Yerinde dökülen beton kazık perdeler**

Geçirimli zeminlerde katof oluşturmanın başka yolu da imento enjeksiyonlu yapılan kazık perde uygulamasıdır. Beton kazık perdeler, birbiri üstüne bindirilmif yerinde dökülen kazık perdeler şeklinde inşa edilir. Her kazık, zemin-imento karışımı harcından oluşur ve kazıklar bir düşeyde dönen şaft içinden harcın basılması ile uygulanarak gerçekleştirilir (USB, 1987).

### **2.1.4. Bulamaç hendeği**

Bulamaç hendeğinin oluşturulması, alüvyon zeminli vadilerde, suyun altında veya derin katofun kazılacağı baraj temellerindeki en başarılı yöntemlerdendir. Bu yöntem, petro-kimya sanayinde kullanılan sondaj çalışmalarından dönüştürülmüştür. Bu teknik, kazı işlemi esnasında hendek duvarlarını tutmak ve desteklemek için su-bentonit karışımını kullanır. Öncelikle balık hendeği kazılır, bulamaçla hendek duvarlarının stabilitesi sağlanır. Gereken temizleme işlemleri yapılır. Sonrasında hendeğin esas fonksiyonunu sağlamak için geri dolgu uygulaması yapılır. Bulamaç hendeği geri dolgusu için iki ayrı karışım kullanılabilir. Bunlar zemin-bentonit ve imento-bentonittir. Hendek kazısı için bentonit-su karışımı birkaç görevi gerçekleştirmek için projelendirilir. Bu teknikle, filtre pastası oluşturularak temeldeki sızma nlenmiş olur (ICOLD, 1985).

### **2.1.5. Diyafram duvarlar**

Diyafram duvarlar, çimento-bentonit karışımı desteği ile sürekli paneller halinde inşa edilirler. Kullanılan çimento-bentonit karışımı, hendeğin içinde bırakılır. Sonrasında düşük dayanımlı olacak şekilde kürü sağlanır. Bu teknikle oluşturulan yapılar, düşük permeabiliteli ve sıkışabilir niteliklere sahip olurlar. Panellerin kazımı belli bir sıra ile gerçekleştirilir. Birinci panellerdeki çimento-bentonit karışımı sertleşmeden önce ve yeterince kendini tutabilecek konuma ulaştıktan sonra ikinci paneller kazılmalıdır. Diyafram duvarlar yönteminde hendek genişliği 0,5-1,5 m arasında değişir. Dar hendek genişliklerinin tercih edilme nedeni ekonomik çözüm oluşturmalarıdır (Turfan ve Tatlıdil, 1991).

### **2.1.6. Enjeksiyon perdesi**

Stabiliteyi artırmak ve geçirimsiz bir temel elde etmek için farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler, boşlukların doldurulması ve daneler arasındaki bağlayıcılığın sağlanması için derinlere kadar enjekte edilir. Enjeksiyonda kullanılan malzemeler arasında; çimento, bentonit, kil ve değişik kimyasal maddeler yer almaktadır. Çimento enjeksiyonu, çimento danesinden daha büyük dane çapındaki malzemede başarılı olarak kullanılmaktadır. Ancak çimento veya çimento-kil enjeksiyonu, iri alüvyonlu malzemede birden fazla uygulandıktan sonra istenilen sonucu verebilecektir. Asfalt enjeksiyonu dane çapı ile sınırlıdır. Kil enjeksiyonunun başarısına şüphe ile bakılmaktadır. Bunun en önemli nedeni de kil daneleri sızım kuvvetleri tarafından kolayca uzaklara taşınabilmesidir. Kimyasal enjeksiyon geçirimli zeminlere enjekte edilebilir. Fakat kimyasal enjeksiyon yönteminin kullanımı, oldukça yüksek maliyet arz etmektedir. (Tosun, 2000)

## **2.2. Enjeksiyonlar**

Zemin enjeksiyonu, basınç ile zemin ya da çatlaklı kaya içerisine zamanla sertleşen bir harcın enjekte edilmesi şeklinde uygulanan bir yöntemdir. Çatlaklı kaya ve granüler zeminlerde yaygın olarak kullanılan enjeksiyon uygulamaları zemin özelliklerinin iyileştirilmesi, temel takviyesi, oturma ve deformasyonların azaltılması için kullanılır. Buna ek olarak zemin enjeksiyonu, barajlarda sızdırmazlığın sağlanması, tünellerde yapı ile doğal zeminin birleşmesi için uygulanmaktadır. Bu uygulama ile zemin

danelerinin birbirleriyle kenetlenmesi sağlanarak ortamın geçirimsizliği azaltılıp kayma mukavemeti artırılır.

Zemin enjeksiyonunun inşaat mühendisliğinde geniş uygulama alanları vardır. Zemin enjeksiyonunun amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir. (Nonveiller, 1989; Warner, 2004).

- Baraj gibi su yapılarının temel altlarında zeminin geçirimsizliğini azaltarak sızmaları ve baraj gölündeki su kayıplarını kontrol etmek,
- Şev duraylılığını artırmak,
- Zeminin kayma mukavemetini artırmak ve bu şekilde zeminin deformasyonunu azaltmak,
- Farklı oturma yapan eğik yapıları düzeltmek,
- Tünel yüzey betonu ile kaya arasındaki boşlukları doldurmak,
- Ankrajları sabitlemek,
- Derin kazılarda kazı çukuruna suyun girmesini engellemek,
- Derin kazılarda yanal gerilmeleri azaltmak,
- Çevreye zararlı sıvıların akışını önlemek,
- Kazıkların taşıma gücünü arttırmak,
- Sıvılaşma riskini azaltmak.

Baraj mühendisliği uygulamalarındaki temel tasarımı, standart uygulamadan farklılık göstermektedir. Özellikle dolgu baraj uygulamalarında, rijit yapılarda olması gereken temel birimler bulunmamaktadır. Bunun gibi yapılarda temel olarak, akarsu tabanı ve yamaçlar ele alınır, iyileştirilerek dolgu stabilitesi için uygun duruma getirilir. Baraj sadece temel zemininin taşıma gücü ile birlikte oluşacak oturmalar yönünden değil, sızma akımı açısından da derinlemesine incelenmelidir (Tosun, 2004).

### **2.2.1. Enjeksiyon çeşitleri**

Enjeksiyon çeşitleri amaçlarına ve kullanılan enjeksiyon malzemelerine göre ikiye ayrılır.

### **2.2.1.1. Amaçlarına göre enjeksiyonlar**

Amaçlarına göre enjeksiyonlar şunlardır:

**Perde Enjeksiyonu:** Baraj gövdesinin altından ve ekseninden baraj, göl suyunun sızmasını engellemek ve başka yapılardan da suyun gelmesini engellemek veya sızma boyunu uzatmak amacıyla yapılan enjeksiyonlardır (Şekercioğlu, 1993).

**Konsolidasyon Enjeksiyonu:** Tünel, galeri, denge bacası veya herhangi bir yapının oturacağı temel kayanın sağlamlaştırılması ve çatlaklar ile boşlukların doldurulması amacıyla yapılan enjeksiyondur. Konsolidasyon kayanın pekiştirilmesi ve  $cm^2$ 'ye düşecek yükün artırılması demektir. Perde enjeksiyonuna konsolidasyon enjeksiyonundan sonra geçilir. Delikler genel olarak kontak enjeksiyonundaki deliklerden daha uzun, perde enjeksiyonundan ise daha kısadır. Kuyu derinlikleri yapının büyüklük, ağırlık ve formasyona göre saptanır. Bu tür enjeksiyonlarda mukavemet önemlidir. Bu sebeple kullanılacak karışım oranı dikkatli bir şekilde seçilmeli ve denemeler yapıldıktan sonra karar verilmelidir (Şekercioğlu, 1993).

**Kontak Enjeksiyonu:** Tünel, galeri, denge bacası, şaft gibi yapılarda göçük boşluklarını, kaplama betonu ile temel kaya veya beton ile çelik kaplama arasındaki boşlukları doldurmak amacıyla yapılan enjeksiyonlardır (Şekercioğlu, 1993).

### **2.2.1.2. Kullanılan karışım maddelerine göre enjeksiyonlar**

Kullanılan karışım maddelerine göre enjeksiyonları; çimento enjeksiyonu ve kimyasal enjeksiyon olarak sıralayabiliriz.

Çimento (Portland çimentosu) enjeksiyonda kullanılan maddelerin başında gelmektedir. Geniş bir kullanım alanına sahiptir. Enjeksiyonun türüne, amacına ve kayacın özelliklerine bağlı olarak çeşitli maddelerle karıştırılabilir. Bununla birlikte sadece su ile karıştırılarak da kullanılabilir. Çimento-su, çimento-kil-su, çimento-kil-kaya tuzu, çimento-baca külü-su başlıca karışım şekilleridir. Çimento enjeksiyonunda ayrıca, enjeksiyonun gidişine göre priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve diğer kimyasal maddeler kullanılabilir.

Kimyasal enjeksiyon; çeşitli kimyasalların birbirine karıştırılmasıyla ya da çimento şerbetine kimyasal şerbet ilave edilmesiyle elde edilir ve şerbetin yüksek mukavemet göstermesi ve formasyonun en ince süreksizliklerine kadar enjekte edilebilmesini sağlaması için kullanılır (Şahinoğlu, 1987).

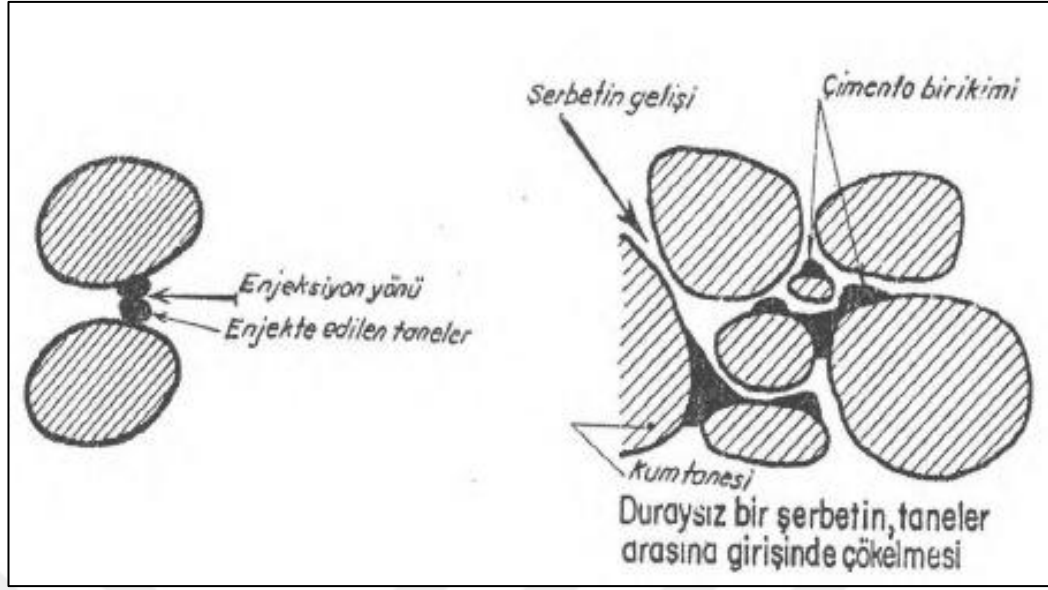
### **2.2.2. Enjeksiyon şerbeti çeşitleri**

Enjeksiyonlar, tanecikli (çimento) ve taneciksiz (kimyasal) olarak karışımına giren maddeler bakımından ikiye ayrılır. Çimento ve kil enjeksiyonları, tanecikli enjeksiyonlar. silikat ve organik polimerlerin enjeksiyonunu taneciksiz enjeksiyonlar içerir. Viskozite, stabilite, katılma süresi ve tanecikli enjeksiyonlarda, çimento tane boyutu enjeksiyonu önemli faktördür.

#### **2.2.2.1. Duraysız şerbetler**

Bunların kalite ve olumsuzluklarını anlamak için tam anlamıyla duraysız normal bir çimento şerbetiyle alüvyonların enjekte edilmek istendiğini varsayalım. Çimento danelerinin en büyüğünün çapı 1/10 mm ve kumlar ve çakıllar farklı boyuttadır. Az rastlanan bir durum olarak çimentonun bütün danelerinin birbirinden ayrı oldukları kabul edilse bile bunların kum daneleri arasındaki boşluklardan geçebilmesi gereklidir. Alüvyondaki boşlukların belirli boyutları yoktur. Yapılan deneyler göstermiştir ki; çimento şerbetinin en iri danesi mm ölçüsünde ve boşluk boyutları mm'nin 1/10' u kadar olan kumdan geçememektedir. Kum içine girebilme yeteneğini şerbeti iyi eriterek ve havalandırarak artırabiliriz. Çimento daneleri bir araya gelerek topaklar oluşturur ve kum daneleri arasında çimento daneleri bir kemer oluşturursa enjeksiyon durur (Şekil 2.2).

Küçük bir boşluktan büyük bir boşluğa geçen şerbetin hızı azalır ve çimento çöker. Böylelikle boşluklar kısmen dolar ve bunlar akımın etkisiyle daha ileriye sürüklenerek küçük boşlukları tıkarlar. Çimento şerbeti en az 5-10 mm dane boyundaki çakılların enjeksiyonunda kullanılır. Çimento daneleri, karıştırma ve enjeksiyon durduğunda çöker. Kaya çatlaklarının enjeksiyonu da bu sayede olur (Canik, 1997).



Şekil 2.2. Daneler arası boşluğun girişinde kemer oluşumu (Canik, 1997)

#### 2.2.2.2. Duraylı şerbetler

Yukarıda anlatılan olaylardan ancak enjeksiyon süresinde çökelmeyen bir şerbetle ve küçük boşluklarda kemer olmasıyla sakınılmış olacaktır. Yalnız kil çözeltileri danelerin inceliği ve şerbetin duraylılığını sağlayan koloidal özelliği dolayısıyla başarı ile kullanılmışlardır. Alüvyon çok ince olmadığı zaman direnci arttırmak için kil çözeltilisine az miktarda çimento da katılabilir. Bazen bu çözeltiler sadece enjeksiyondan sonra akım kesildiğinde donan Tiksotrop kil içerirler. Bu duraylı şerbetler az akışkan ve hatta hafif katıya yakın görünüştedir. Duraylı şerbetlerin enjeksiyonu zeminin bütün boşluklarını doygun hale getiremezler. Şerbet çoğu zaman çok küçük elemanlar arasında çekirdek durumundaki iri danelerin kontağını takip eder ki; burada boşluklar ince elemanlarınkine göre daha büyüktür. Bu tarz şerbetler çimento içermelerine rağmen çok geç donarlar ,24-48 saatte gibi. Böylelikle donma enjeksiyonu durduramaz. Ölçüler sistemli bir şekilde sınırlandırılmazsa işlem sonsuza kadarda sürebilir. Su-çimento-kil veya bentonit şerbetinde çökme sırasında bazen çimento daneleri ve kil daneleri ayrılarak farklı yerde toplanır. Geçirimsizlik amacıyla yapılan enjeksiyonlarda bu durum önemli değildirken, sağlamlaştırmak amacıyla yapılan enjeksiyonda bu konu tehlike arz eder (Canik, 1997).

### **2.2.3. Enjeksiyon uygulama yöntemleri**

#### **2.2.3.1. Karstik kayaların enjeksiyonu**

Büyük boşluklar ve mağaralar kireçtaşlarının erimesiyle meydana gelir. Boşlukların çok düzensiz olması, genelde yüzeyden fark edilmemesi ve çoğu zamanda içinde su akımının olmaması karstik kayaların iyileştirilmesindeki zorluklardandır. Bu zorluklar sebebiyle buralarda normal kırıklı kayalardaki gibi enjeksiyon yapmak yetmez ve boşluğa rastlayan kuyularda gereğinden çok uzak yerlere enjekte etmek mümkündür. Bu gibi alanlarda yeraltı sularının enjeksiyon malzemesini sürükleyip götürmesine engellemek için değişik şerbetler zemine hızlı ve seri bir şekilde enjekte edilir (Canik, 1997).

#### **2.2.3.2. Kırıklı ve çatlaklı kayaların enjeksiyonu**

Kırıklı ve çatlaklı kayaların enjeksiyonunda sağlamlaştırma yapılırken daha dayanıklı enjeksiyon şerbeti kullanmak gerekir. Bunun dışında geçirimsizlik ve sağlamlaştırma amaçlarıyla yapılan çalışmalar arasında fark yoktur. Kaya kırıklarının durumuna göre bir enjeksiyon şeması gerekir ve problemlere göre enjeksiyon şekli belirlenir. Kırık ve çatlaklar çok fazla ve açık ise şerbeti gereksiz yere çok uzak yerlere enjekte etmekten sakınmak gereklidir. Enjeksiyon şeklinin karşılaşılan durumlara göre ayarlanması gerekir (Canik, 1997).

#### **2.2.3.3. Çok açık çatlakların enjeksiyonu**

Açıklık birkaç dm'den birkaç cm'ye hatta çatlakların sayısı çok fazla ise birkaç mm'ye kadar değişebilir. Bunların tıkanması son derece kalın ve tiksotrop bir şerbetin en çok 1-2 kg/cm<sup>2</sup> basınçla enjeksiyonu ile sağlanabilir. Kuyu aralıkları 1-3 m olmalıdır ve kayanın durumuna ve şerbetin kalitesine bağlı olarak değişir. Böyle bir şerbet, örneğin çimento-kil sodyum silikat ve kum ile yapılabilir. Böylelikle dayanıklılık 20-50 kg/cm<sup>2</sup> olabilir. Bu özellikteki şerbetlerle ince çatlaklar çok az enjekte edilebilir veya edilemez. Ardından çimento süspansiyonu ile enjeksiyon yapılır (Canik, 1997).



#### **2.2.3.4. Çatlakların yıkanması**

Çatlaklar çoğu zaman kil ile ince kumla ve ayrışma gerci ile doldurulurlar ve enjeksiyon bu dolguyu sıkıştırır fakat yerinden kaldıramaz. Bazı zamanlar dolgu çatlaklar yıkanarak temizlenmek istenir. Bu yıkama çatlakları kesen kuyularda yapılır. 1-2 m aralıklarla kuyular açılarak, basınç altında kademeli veya aynı zamanlı olarak su ve hava enjeksiyonu yapılır. Bu esnada suya kimyasal madde katılabilir. Kuyular arasında döngünün sağlanması için büyük ölçüde basınç gerekir. Temizlenmek istenen boşluklar çok derinde değilse bu basınçlar zeminin alttan kaldırılmasına yol açabilir. Yan yana duran kuyularda akım yönü değiştiğinden temizlenme işlemi sırasında malzeme istenilmeyen bir yere gidebilir. İşlemden sonra kuyu ve galerilerle kontrol edilmelidir (Canik, 1997).

#### **2.2.3.5. Kil dolguların blokajı**

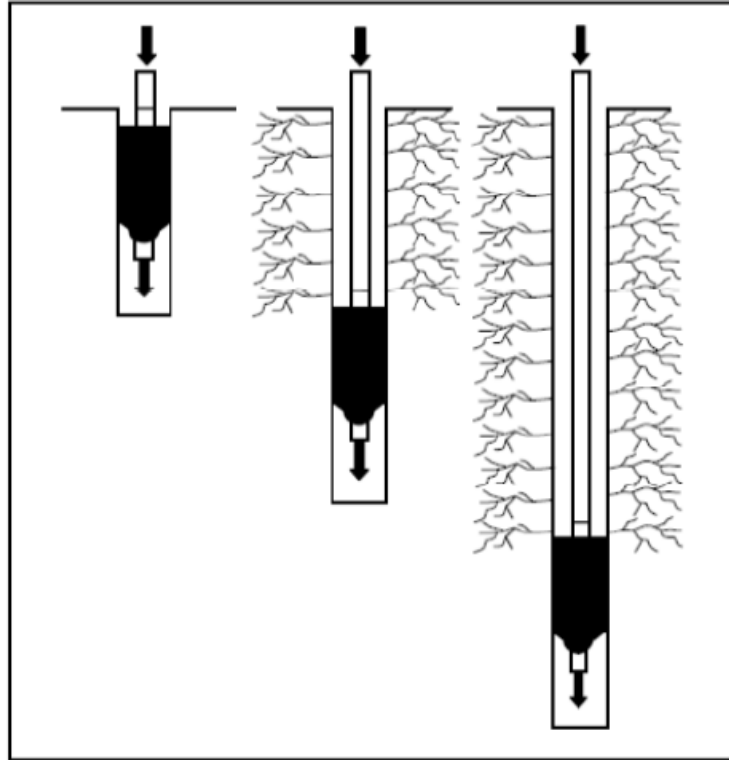
Geçirimsiz perdede bulunan çatlakların doğal dolgusu büyük problem oluşturmazken, bunların su basıncı altında yıkanmaması şarttır. Eğer ki geniş çatlaklar ve karstik boşluklar likit limit kıvamındaki kil (yumuşak kil) ile dolgululu değilse problem oluşturmaz. Bu gibi durumlarda enjeksiyon kili gitgide kurutmalı ve ona iyi bir direnç vermiş olmalıdır. Uygun şartlardaki malzeme kuyulara yüksek basınç altında 20-30 kez enjekte edilmelidir. Yapılacak iki enjeksiyon arasında birkaç günlük ara verilmelidir. İşlemin ardından kuyu ve galeri ile sonucun istenildiği gibi olup olmadığı kontrol edilmelidir (Canik, 1997).

#### **2.2.3.6. İnce çatlakların enjeksiyonu**

İnce çatlakların enjeksiyonu az veya çok aralıklı kuyularla yapılır ve her kuyuda kademeli olarak genellikle 5 m aralıklarla basınçlı su deneyleri yapılması gereklidir. Su kaybının yüksek olması ile şerbetin dozajı da kuvvetli olmalıdır. Böylelikle gereksiz olarak zayıf dozajlı şerbet enjekte edip uzaklara göndermenin ve zaman kaybının önüne geçilir. Lugeon deneyinin olumsuz tarafı çatlak aralıkları ile ilgili tek tek değil de, toplam çatlak açıklıkları hakkında bilgi veriyor olmasıdır. Eğer ince çatlaklar çok fazla ise bunların yalnızca toplam açıklıkları bilinebildiğinden, gereğinden fazla kuvvetli dozajla işe başlama riski vardır. Bu durum, karot alınması ile önlenebilir (Canik, 1997).

### 2.2.3.7. Alçalan kademe yöntemi

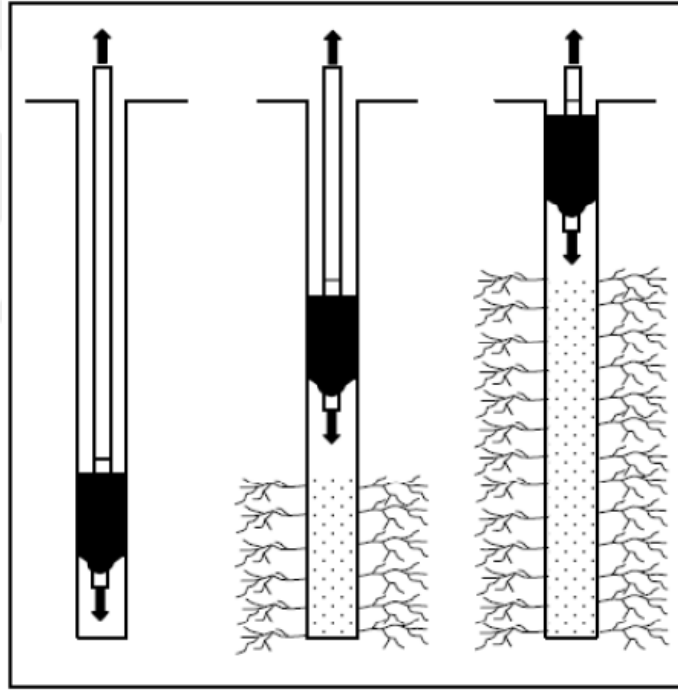
Kuyu önceden belirlenen derinliğe kadar birinci kademe için delinir, delik enjeksiyon öncesinde yıkanır ve su testi yapılır. Bu enjeksiyon işlemi basınç altında yapılır. Bunun devamında çimento henüz katılaşmaya başlarken delikteki çimento şerbeti yıkanır. kaya içindeki çimento şerbeti tamamen prizini aldıktan sonra ikinci kademe için yukarıda yapılan işlemler tekrarlanır. Her kademede kuyu derinleştikçe basınç artırılır. Bu yöntem kademe enjeksiyonundan daha pahalı olmasına rağmen, yüzeyden olabilecek sızmaları en aza indirgeyen sistem olduğu için tercih edilir. Bununla birlikte her kademede uygulanan işlemin fazla olması ve priz süresince bekleme olduğundan yöntem uzun sürmektedir (Şekil 2.3). Bu yöntem kuyuda yıkıntı olabilecek çok çatlaklı ve daneli zeminlerde ve karstik boşlukların doldurulmasında da kullanılır. Fakat yöntemde, kademe enjeksiyonu bitirildiğinde kuyudaki çimento şerbetinin yıkanması yerine, priz yaptıktan sonra yeniden delinmesi ve diğer kademeye geçilmesi şeklinde değişiklik yapılmaktadır. Kademeli enjeksiyonda belirlenen derinliğe ulaşılmadan önce, delgi esnasında, sondaj suyunun tamamı veya % 70'ten fazlasının kaçması halinde, sondaja ara verilir ve bu bölümün enjeksiyonu yapılır. Ardından tekrar sondaja devam edilir (Özkan, 2006)



Şekil 2.3. Alçalan kademe yöntemi (Özkan, 2006)

### 2.2.3.8. Yükselen kademe yöntemi

Yükselen kademe yöntemi istenilen derinlikte enjeksiyon yapmaya fırsat sağlayan bir yöntemdir. Kuyu taban derinliğine kadar delinir ve packer diye adlandırdığımız tıkaç deliğin istenilen derinliğine tutturulur. Kuyu tıkaç tutturulmadan önce yıkanır. Etkili bir enjeksiyon için temel kayadaki çatlak ve eklemlerin kuyudaki üst sınırına tıkaç tutturularak yapılabilir (Şekil 2.4). Bu yöntemle aşağıdan yukarıya doğru belirli aralıklı olarak tıkaç tutturularak enjeksiyon yapılır. Tüm delgi işlemleri bittikten sonra enjeksiyon uygulamasına geçildiği için yükselen kademe yönteminde zaman oldukça kısalmaktadır. Daha çok geçirimsizlik sağlamak için yapılan bir uygulamadır (Özkan, 2006).

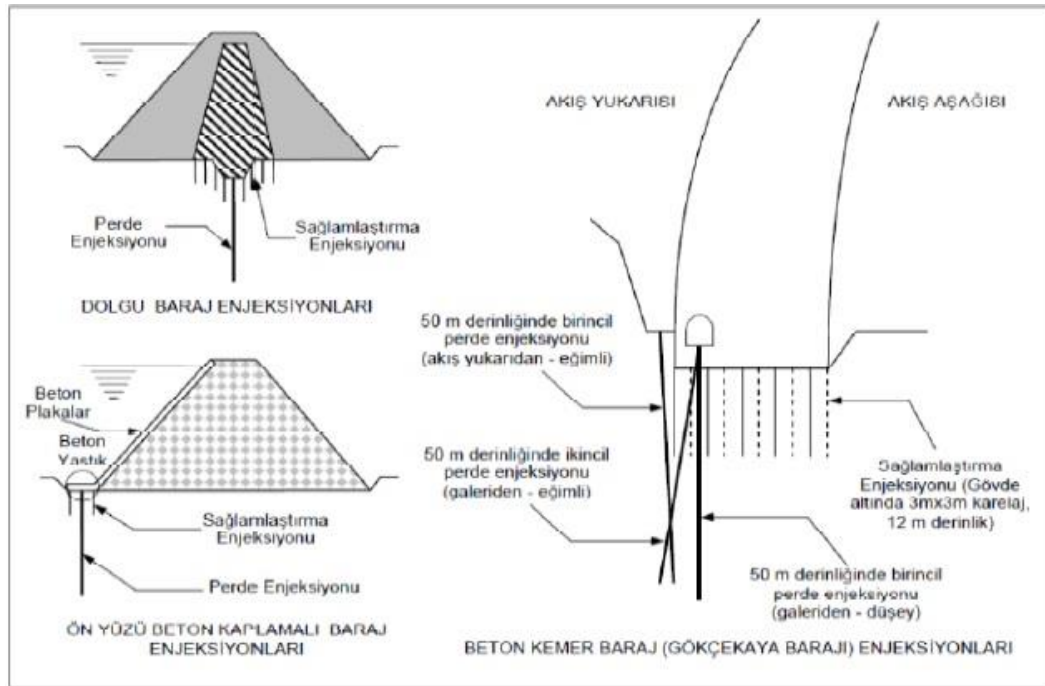


Şekil 2.4. Yükselen kademe yöntemi (Özkan, 2006)

### 2.2.4. Barajlarda geçirimsizlik perdesi

Baraj temelindeki deformasyonların en aza indirginmesi, gövdenin kaymaya karşı direncinin artırılması, gövde ile temel düzlemi etrafındaki geçirimsizliğin sağlanması, temel altındaki bölgede zemin gercinin sızmalar nedeniyle yıkanmasının önlenmesi ve yamaçların duraylılığının artırılması amacıyla yapılan enjeksiyonlarının konumları baraj tipine göre farklılık gösterir (Şekil 2.5). Dolgu tipi barajlarda, baraj gövde dolgusunun alüvyon veya benzeri zeminlere oturduğu durumlarda enjeksiyon

öncesinde, zemin düzeltilerek titreşimli silindirlerle ile sıkıştırılır. Daha sonrasında enjeksiyon çalışmasına geçilir. Eğer dolgu baraj kaya temele oturacaksa, gevşek ve ayrılmış gereçler kaldırılır, gerekli görülmesi durumunda bu kaldırılan gereçlerin yerine beton doldurulur ve alan temizlenerek enjeksiyon çalışmasına geçirilir. Sağlama enjeksiyonları, geçirimsiz çekirdek altında gerekli görülen aralıklardaki delgilerden uygun basınçlar altında yapılır. Genellikle dolgu barajlarda enjeksiyon perdesi eksenine ile baraj eksenine aynıdır. Yani perde enjeksiyon delgilerinin eksenine, barajın tam ortasından geçer. Beton ağırlık, beton kemer, silindirle sıkıştırılmış katı dolgu, silindirle sıkıştırılmış beton tipi barajlarda, akış yukarıya yakın gövde içindeki galerilerden perde enjeksiyonu yapılır. Ön yüzü geçirimli olmayan örtü kaplamalı (beton, membran vb. kaplamalı) barajlarda ise enjeksiyon perdesi, akış yukarı şev eteğindeki “plinth” diye adlandırılan yastık betonu altında oluşturulur. Beton tipi baraj temellerinde kazı için patlatma sınırı temelini 0,5 m üstüne kadardır. Geriye kalan kazı çalışmaları diğer yöntemlerle tamamlanması gerekmesine rağmen, ana kaya patlatmalardan dolayı zarara uğrar. Bu sebeplerden ötürü ana kayanın patlatmalardan gördüğü zarara göre kurallara uyularak, delikler açılır ve sağlama için enjeksiyonlar yapılır (Şekil 2.5). Bunlarla birlikte beton barajlarda betonun yaslandığı kaya şevlerinde de yukarıda bahsettiğimiz sebepler nedeniyle sağlama için enjeksiyonlar yapılır (Tolun, 1995).



Şekil 2.5. Baraj tipine göre delgi konumları (Tolun,1995)

#### **2.2.4.1. Perde delgileri**

Perde enjeksiyonlarının amacı, temelin geçirimsizliğini artırmak ve buna bağlı olarak aynı zamanda temelin sağlamlaştırılmasını sağlamaktır. Basınçlı su basma ve basınçsız su basma (sızma-permeabilite) deneylerinden sonra elde edilen veriler ile kayaların geçirimsizlik sınıflaması yapılır. Bu sınıflamalar sonucunda sınır değerleri bize enjeksiyon delgilerinin boylarının ne kadar uzunlukta olacağı konusunda bilgi verir. Amacımız enjeksiyon yapılacak yerde, geçirimli özellikteki birimleri, bu birimlerin altındaki geçirimsiz birimlere perde enjeksiyonu ile bağlamaktır. Ancak geçirimsiz birim çok derinlerde olup bu bağlantıyı sağlama olanağı bulunmaz ise, bu durumda enjeksiyon perdesi askıda kalacak şekilde oluşturulur. Böylelikle perde enjeksiyonu tabanı ile geçirimsiz birimlerin üzerinde kalan geçirimli ve yarı geçirimli birimlerden olabilecek su kaçaklarının etkisinin azaltılması için sızma boyu uzatılmış olur.

#### **2.2.4.2. Enjeksiyon delgi aralıklarının ve dizgilerinin belirlenmesi**

Perde enjeksiyon delgileri ve sonrasında enjeksiyonlarının yapılma sistemi “ano” diye adlandırılan belirli aralıklarda yapılır. Bir anonun delgi ve enjeksiyon uygulamaları bitirildikten sonra diğer anoda işlemlere geçilir. Ano uzunluğu yatayda 6, 12 veya 24 m uzunluğunda olabilir, kuyu aralıkları ise 1,5 veya 3 metre alınabilir. Ano uzunluğunun ve buna bağlı olarak delik aralıklarının belirlenmesi için enjeksiyon yapılacak bölgelerin genel özelliklerini (kırık, çatlak ve boşluk durumlarını v.b) küçük ölçekte yansıtan bir yer seçilerek deneme enjeksiyonları yapılır. Deneme enjeksiyonlarının değerlendirilmesinden sonra uygun ano sistemi ve delik aralıkları belirlenir. Ayrıca bu aralıkları belirlemek için enjeksiyon türünün yayılım yeteneğini, çimento enjeksiyondaki danecik boyutları ile kırık, çatlak ve boşluk durumlarını v.b. dikkate almak gerekir (Özkan, 2006).

Deneme enjeksiyonlarında sonra uygulanması düşünülen enjeksiyon basınçlarının, delgi aralıklarının, karışım tiplerinin, kullanılacak malzemelerin başarılı bir enjeksiyon işlemi için yeterli olup olmadığı değerlendirilir. Birincil ve ikincil kuyulardan sonra enjeksiyon alışları düşük olmuş ise üçüncül kuyulara gerek olmadığı, kuyuların seyrek aralıklı olarak dizgilerinin yapılması ve başka bir dizgiye gerek olmadığı anlaşılır. Bu durumların tersi gerçekleşmiş olup yani birincil ve ikincil

kuyulardan sonra enjeksiyon alışları fazla olmuş ise kuyu aralıkları sıklaştırılır ve birden fazla dizgiye gerek olduğuna karar verilebilir. atlaklı ve karstik kayalarda kuyu aralıklarının önceden belirlenmesi için yapılan bazı teorik araştırmalar ve ekonomik yaklaşımlar aşağıdaki gibi değişik düşünceleri ortaya çıkarmıştır (zbek, 1987).

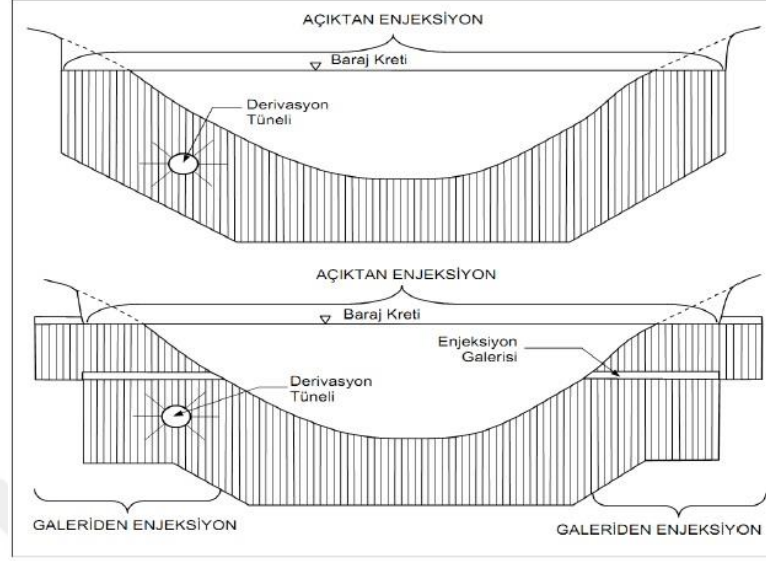
- Büyük açıklıklı, çok çatlaklı alanlarda enjeksiyonun yayılım etkisi gerektiğinden geniş olur. Bu durumda enjeksiyon delgilerinin aralıkları seyrekler. Böylece toplam delgi miktarı az, fakat kuyu başına basılan enjeksiyon miktarı fazla olur.
- Diğer yönde ise, az açıklıklı, seyrek çatlak sistemlerinde etki çapı dar olacağından enjeksiyon kuyu aralıkları sık olur. Daha fazla delgi yapılmasının yanı sıra kuyu başına basılan enjeksiyon miktarı düşük olur.
- Bir diğer konu da enjeksiyon basınçlarının yüksek olması durumunda enjeksiyon etki çapına bağlı olarak kuyu aralıkları seyrek, düşük basınçlarda ise kuyu aralıkları sıktır.

#### **2.2.4.3. Galerilerden perde enjeksiyonu uygulaması**

Baraj gövdesi altında yapılan perde ve sağlamlaştırma enjeksiyonlarının delgileri hem açıktan hem de enjeksiyon galerilerinden yapılabilir (şekil 2.6). Açıktan yapılan enjeksiyon uygulamaları daha çok küçük baraj ve göletlerde yapılır. Ve açıktan yapılan enjeksiyon uygulamalarında, gövde altı enjeksiyonların bitirilmesinden sonra gövde dolgu çalışmalarına geilebildiğinden dolayı baraj yapım süresi uzamaktadır. Ancak aşağıda amaçları ve avantajları verilen enjeksiyon galerilerinin düzenlenmesi ile bu gibi olumsuzlukların önüne geçilebilir (Tolun, 1995).

- Enjeksiyon perdesinin oluşturulmasından sonra, tekrar enjeksiyonla desteklenme gereği ortaya çıkarsa, enjeksiyon yerlerine ulaşılabilmesi,
- Topografyanın enjeksiyon çalışmasına olanak sağlamadığı kr bölgelere erişilebilmesi,
- Enjeksiyon çalışmalarının, diğer yapım çalışmaları ile girişiminin nlenmesi,
- Gövde ağırlığı altında enjeksiyon basıncının alttan kaldırma etkisinin azaltılması,
- Enjeksiyon perdesinin yamaçların ötesine uzatıldığı durumlarda, açıktan yapılan ve araziden gl alanı su düzeyine kadar delinecek gereksiz delgi boylarından kazanç sağlanması,
- Temelin sızdırma durumunun her zaman kontrol edilebilmesi olanağı,

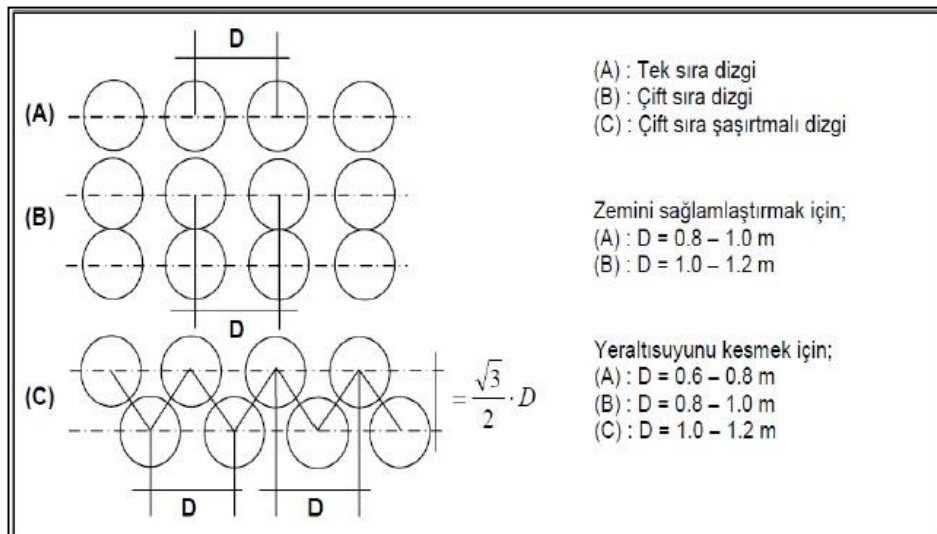
- Galerilerin diğer amaçlara yönelik kullanılması için ulaşım olanakları sağlaması vb.



Şekil 2.6. Barajlarda açıktan ve galeriden yapılan perde enjeksiyonları (Özkan, 2006)

#### 2.2.4.4. Zeminlerde geçirimsizlik ve sağlamlaştırma delgileri

Zeminlerde su sızdırmazlığının sağlanması ve sağlamlaştırma için yapılan enjeksiyon delgileri, zeminin fiziksel özelliklerine ve enjeksiyon tipinin seçimine bağlıdır. Buna rağmen delik aralıkları yaklaşık olarak 0.5 – 1.0 m arasında değişebilmektedir (Şekil 2.7). Yer altı suyunun durdurulması veya zeminin sağlamlaştırılması için düşey yönde açılan delgilerde dizgiler farklılıklar göstermektedir (Parchem, 2009).



Şekil 2.7. Zeminlerde su sızdırmazlığı ve sağlamlaştırma delgileri dizgisi (Parchem, 2009)

#### 2.2.4.5. Perde enjeksiyonlarında başarı ölçütleri

Enjeksiyonu tamamlanmış anolardan her birinde en az bir adet olacak şekilde, o anoda en fazla enjeksiyon alışı yapan iki kuyu arasında veya o anodaki kuyuların en fazla alış yapan kademelerini kesecek şekilde eğimli olarak açılan kontrol kuyularında yapılan su testlerindeki su kaçakları, aşağıdaki eşitlik ile kontrol edilir. Lugeon tanımlamasından geliştirilen bu denklemde (2.1) istenilen değer elde edilmiş ise, kontrolü yapılan yerde enjeksiyon başarılı kabul edilir ve enjeksiyon işlemlerine son verilir (DSİ, 1993).

$$\frac{Q}{P_t * L * t} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

Q = Su testi yapılan kademeye basılan toplam su miktarı (litre)

$P_t$  = Test yapılan kademedeki uygulanmış olan enjeksiyon basıncı ( $\text{kg/cm}^2$ )

L = Su testi yapılan kademenin uzunluğu (metre)

t = Toplam su testi zamanı (dakika)'dır.



### 3. KONSKO BARAJI

#### 3.1. Baraj Yerinin Jeolojisi

Konsko Barajı, asfalt diyaframlı su geçirmez gövdeli kaya dolgu tipinde bir barajdır.

Enjeksiyon işleri tamamıyla gabro kayası içinde yapılmıştır. Kayaç, ilksel olarak “iyi-çok iyi kaya” kalitesini, yoğun tektonik hareketler, alterasyon ve atmosferik ayrışma nedeniyle yitirmiş olup “çok zayıf-zayıf kaya” kalitesindedir.

Gabro; kaya kütle olarak, yeni açılan çeşitli amaçlı jeolojik-jeoteknik sondaj kuyularından alınan karotlardan elde edilen mühendislik jeolojisi ve indeks verileri ile saha gözlemlerine göre 0-40 m’ler arasında çok parçalı kırıklı; süreksizlikler hakim takım oluşturamayacak kadar yoğundur. Vadi tabanı ve yakın dolayı hariç tutulursa yamaçlarda bu seviyelerin jeoteknik davranışları neredeyse kohezyonsuz iri taneli zemin gibidir.

Süreksizlikler, genelde, üst seviyelerde pürüzlü, dalgalı, açık, kil dolgulu ve demir oksit boyalıdır. Derinlere doğru, tüm magmatik kayalarda izlendiği gibi, kapalı konumda ve az pürüzlüdür. Süreksizliklerin büyük çoğunluğu, sık görülen fay zonlarından da anlaşılacağı üzere, hareket geçirmişlerdir. Neredeyse 3-4 m aralıklarla gözlenebilen 1-150 cm kalınlığındaki zonlara sahip faylar, kil-çakıl ve blok boyundaki breşlerle doludur. Devamlı, birbirini kesen ve üç boyutlu izole odalar oluşturan bu faylar; yer altı suyunu içlerinde uzun süre boyunca tutmakta, yoğun çatlaklara karşın, yamaçlarda yıl boyunca deşarj olan kaynaklar üretmektedir.

Konsko deresi boyunca yamaçlardan irili ufaklı kaynakların nedeni budur. Yeraltı suyunun da akarsuyu beslediği kolayca anlaşılmaktadır. İlave açılan sondaj kuyularında yapılan yeraltı suyu ölçümlerinde de bu teyit edilmiştir. Özellikle, derivasyon tüneli güzergahını araştırmak amacıyla açılan jeolojik-jeoteknik amaçlı ve 60 m uzunluğundaki yatay sondajın 32. metresinde kesilen 1,5-2 m’lik zona sahip ve yer altı barajı oluşturan fay arkasında biriken suların yıl boyunca deşarj olduğu gözlenmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, hakim süreksizlik takımları vermeyecek şekilde yoğun kırıklı yapıda dikkati çeken husus; Konsko-Gevgelija arasında, yaklaşık Kuzey-Güney eksen doğrultulu ve bölgesel olarak haritalanabilen bir antiklinin doğu kanadında yer alan Konsko baraj projesi kapsamında yapılan tüm kazılarda ve yol yarmalarında izlenebilen, doğuya 45-75 derece eğimli bir tek süreksizliğin her kesimde dikkatleri çektiği gözlenmiştir.

Detayları ileride verilecek olan sondaj işlemi sırasında; gerek Basınçlı Su Testleri (BST) yapılırken gerekse enjeksiyon işlemi sırasında, yukarıda yazı konusu olan N-S doğrultulu E eğim yönlü hakim süreksizliğin çalışmalarda oynayacağı olumlu-olumsuz rol hatırdta tutulacaktır.

Kabaca yüzeyden derinlere doğru ilk 40 m'lerde, sondaj işlemi sırasında, kuyu göçmelerine yol açacak olan "zayıf-çok zayıf kaya" kütlelerinde enjeksiyon işleminin aşağıdan yukarıya yapımını güçleştireceği aşıkardır. İlerleme sırasında kuyu duvarlarını güçlendirmek için çok safhalı enjeksiyon işlemine başvurulabilir.

Hidrojeolojik açıdan, göl alanından yan havzalara bu tür magmatik kayalarda, kaya kütleleri kalitesinde tüm bozulmalara karşın, geçirimsizlik açısından sorun oluşturmazlar. Ancak, gövde dolgusu altında ilk 50 metrelerde sızıntı şeklinde kaçaklara yol açacaklarından enjeksiyon perdesinin kret dışında, yamaçlara doğru, uzatılması uygun bulunmuştur.

Enjeksiyon perdesi boyutlandırılırken derinlere doğru öngörülen sınırın değişken olacağını belirtmesi de uygundur. Program uygulanırken bu hususlar dikkate alınmıştır. Ayrıca, iki sıra, şaşırtmalı ve 1,5 m aralıklı ranklar üzerindeki kuyular da öngörülen perde kalınlığını oluşturabilmek açısından uygundur. Ranklar arasındaki 1,75 m açıklık da uygundur. Ancak, enjeksiyon şerbetinin her zaman beklenen yayılımı göstermeyeceği hatırdta tutularak bazı kuyularda ve ara kuyulara ihtiyaç duyulacağı da bilinmelidir.

İlerleyen bölümlerde, açılış metotları detaylı verilecek olan jeoteknik araştırma kuyularında taban çapı 66 mm, enjeksiyon kuyularında 56 mm olacak şekilde ve derinliklerin 60-80 m dolayında olacağı hatırdta tutularak makine ve teçhizat seçimi buna göre ayarlanmıştır.

Kuyu sapmalarına yol açacak olan jeolojik formasyon değişikliğinden ziyade kaya kütlesi içindeki anizotropiden kaynaklanan dayanım farklılıklarıdır. Elde edilecek karotlardan ve ilerleme hızının düşmesinden bu durum fark edilerek hidrolik baskı sondörce ayarlanmıştır.

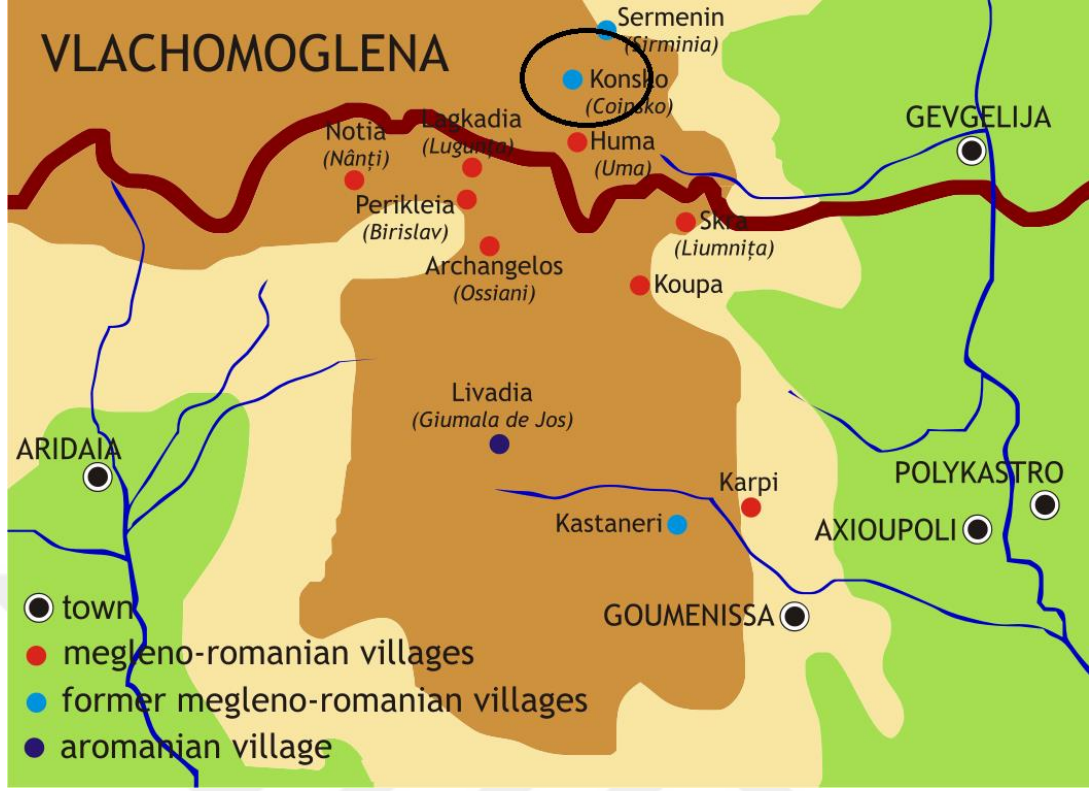
Yine, ilerleyen bölümlerde kalite kontrol amaçlı açılacak sondaj kuyuları; perde inşaatının başarısız ve sapmaların teknik şartnamede öngörülenden fazla olan yerlerde yapılacak ve bu kuyular gerektiğinde ilave enjeksiyon kuyusu olarak tamamlanacaktır.

Enjeksiyon anoları, idarenin de onayıyla belirlendikten sonra galeri inverti içine yerleştirilen kılavuz PVC boruları; perde planındaki numaralara uygun olarak numaralandırılarak seçilen anoda, belirtilen sıraya göre açılmıştır.

Enjeksiyon işi metodolojisine geçmeden önce “GENEL BİLGİLER” başlığı altında, genel olarak, projenin tanıtımı ve enjeksiyon işine maruz kalacak gabro kaya kütlesi temeline ilişkin jeolojik-jeoteknik koşulların bir özeti verilmiştir. Ayrıca, enjeksiyon işine genel olarak değinilmiştir. Aşağıda, Konsko Barajı gövde dolgusu altında kalacak kesim ile kret kotuna paralel yükseklikte ve yamaçlara doğru, ilk metrelerdeki geçirimli karakterinden dolayı, göl sularının mansaba aktarılabilceği kesimlerin enjeksiyonu için genel metodoloji sunulmuştur.

### **3.2. Projenin Yeri**

Konsko Barajı, Makedonya'nın güneydoğusundaki Gevgelija iline bağlı Konsko köyünün 4 km güneybatısında Konsko nehri üzerine inşa edilmektedir. Temiz içme suyu ve sulama amaçlıdır. Proje geçen 50 yıl içinde bölgede yapılan en büyük altyapı çalışmasıdır.



Şekil 3.1. Yer bulduru haritası

### 3.3. Projenin Karakteristikleri

Tipi	: Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu
Temelden Yüksekliği	: 78,00 m
Talvegden Yüksekliği	: 75,00 m
Kret Kotu	: 550,00 m
Göl Hacmi	: 21 milyon m <sup>3</sup>
Göl Alanı	: 92,00 hektar
Kret Uzunluğu	: 332,00 m
Derivasyon Tüneli	: 275 m
Toplam Dolgu	: 1.320 milyon m <sup>3</sup>

### 3.4. Konsko Barajı Enjeksiyon İşleri

#### 3.4.1. Enjeksiyon deliklerinin açılması

Projede yer alan ve ayrıca İdarenin isteyebileceği yerlerdeki bütün perde ve kontak enjeksiyon delikleri, kuyu taban çapı minimum 56 mm olacak şekilde, her türlü eğimde, su sirkülasyonlu rotari tipli sondaj makineleriyle delinmiştir. (İdarenin onayı

ile uygulama esnasında yer yer 46 mm delimler de yapılmıştır.) Ano başı enjeksiyon kuyularında BST yapılmıştır.

Delgi işlemi 2 farklı tip sondaj makinesiyle yapılmıştır. 1. tipteki sondaj makinesi olan D-500 ler eğimli yüzeylerde (sağ-sol sahil) bir sehpa üzerine oturtularak, eğimli yüzeyde düz delgi yapabilecek hale getirilmiştir. Eğimli yüzeyde hareket ettirme işlemini, galeri içerisine montelenmiş olan yer vinci sağlanmıştır. Yer vinci sayesinde sehpa üzerindeki sondaj makinesini istenilen kuyu başına kadar çekip, sabitlemesi yapılır. Düz delgilerde sondaj makinesi istenilen açıda teraziye alınır. Eğimli delgi yapılacaksa, morset istenilen açıda elle çevrilip uygun açı verildikten sonra başlık sabitlenir. Sonrasında 1,5 veya 3 m lik sondaj boruları, tambur halatı kullanılarak kule yardımıyla çekilip monte edilir ve delgi borularının ucuna istenilen delici uç takılarak delgi işlemi yapılır. Delgi işlemi boyunca tijlerin eklenmesi aynı şekilde yapılır.



Şekil 3.2. Diesel D-500

2. tipte olan sondaj makinesi Levent 2002 ile delgi işlemi sırasında sondaj makinesi terazi ile düz delgi yapabilecek duruma getirilir. Bu işlem makinenin 4 köşesinde bulunan ayaklar yükseltip alçaltılarak yapılır. Makine uygun şekilde dengelendikten sonra sabitleme işlemi yapılır. Eğer düz delgi yapacaksa sondaj makinesinin kulesi dik duruma getirilir. Açılı kuyu delegecekse kulesi kontrol panelinden istenilen açıya getirilebilir. Uygun sondaj borusu ve delici uç yerleştirildikten sonra delgiye başlanabilir.



Şekil 3.3. Levent 2002

Perde kuyularının enjeksiyon deliklerinin açılmasına en derin kot olan talveg den başlanıp, sağ ve sol sahil yamaçlara doğru ilerleme gerçekleştirilmiştir.

Perde ve kontak enjeksiyon deliklerinde sapma miktarı aynı yönde %2'den fazla olmamıştır. Deliklerin sapma açısı inklinometre ile ölçülür. Kuyunun delgisi sonunda İnklinometre cihazı kuyu içerisine delgi borularının içinden sürülerek, borunun ağzındaki aparata sabitlenip ölçüme başlanmıştır. Ölçüm işlemi 50cm lik bölmelere ayrılmış olan, inklinometre kablosunun 50 cm yukarı çekilerek değerleri okunmuştur. Bu şekilde okuma yaparak kuyunun tamamının eğimi inklinometre cihazında okunup raporlaması yapılmıştır.

İnklinometre cihazının özelliklerine göre aralıklı olarak belirli noktalardan ölçümler yapılmıştır.

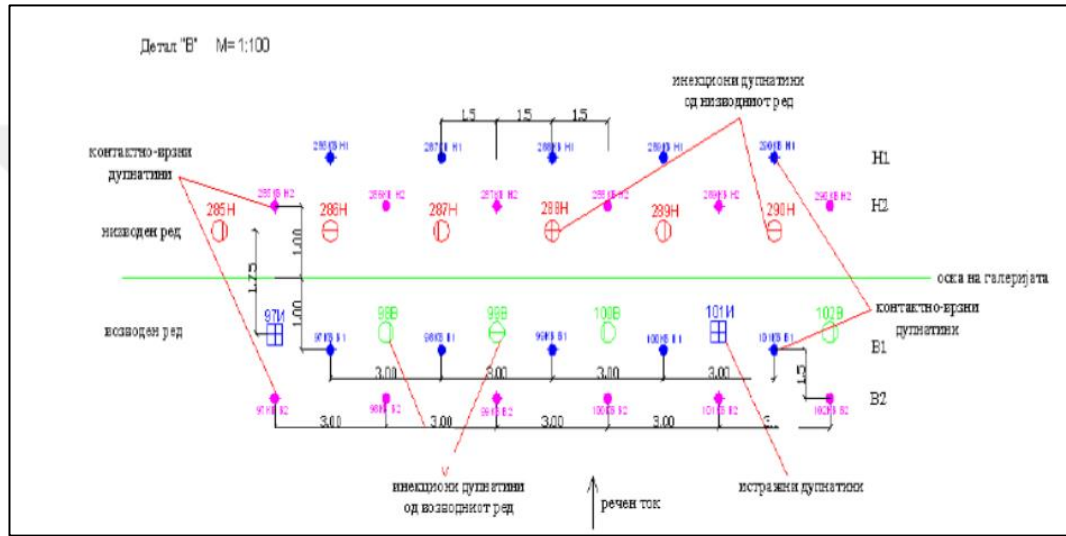
Perde kuyuları dikey yönde delinmiştir. Perde kuyuları eğimli yüzeyde (sağ ve sol sahilde) delinirken, sondaj makineleri bir sehpa üzerine oturtularak eğimli yüzeyde dik şekilde delmesi sağlanmıştır.

Kontak enjeksiyon delikleri projesine uygun olarak 30° ve 60° olacak şekilde şaşırtmalı olarak delinmiştir. Kontak kuyuları eğimli yüzeyde (sağ ve sol sahilde) delinirken, sondaj makineleri bir sehpa üzerine oturtulup, eğimli yüzeyde dik bir delgi yapacak



duruma getirildikten sonra sondaj makinesinin başlığının istenilen açıda döndürülmesiyle 30° ve 60° kuyuların açılması sağlanmıştır.

Delgi sırasında sondaj makinelerinden sızabilecek makine yağlarının teressubut suyuyla karışıp dereye akmaması için sondaj makinelerinin altına yağ tavaları konulmuştur. Bu tavalara, makine yağlarının delgi suyuna karışmasını engellemiştir. Bu tavalarda içindeki yağlar düzenli olarak artık malzemelerin toplandığı atık varillerine aktarılmıştır.



Şekil 3.4. Enjeksiyon kuyuları (perde ve kontak) yerleşim planı

### 3.4.1.1. Perde kuyuları

Perde Kuyuları Baraj eksenini boyunca 0 + 000 km ve 0 + 030 km leri ile 0 + 444 km ve 0 + 455,91 km ve arasında tek sıra olarak yapılmıştır. 0 + 031,5 km ve 0 + 442,5 km leri arasında arasında çift sıra olarak yapılmıştır. Perde kuyuları 3,00 metre aralıklarla olarak yerleştirilmiştir. Perde kuyularının delgileri Ano sistemiyle açılmıştır. Kuyu numaralandırmaları Enjeksiyon Planı ve Enjeksiyon Boy Kesiti Haritasında (Metin sonu Şekil-1) görüldüğü gibi Sol sahilin Km 0 + 000,00 noktasından başlayarak, sağ sahile doğru gölet eksenini boyunca km 0 + 455,91'ye doğru yapılmıştır.

Perde sondaj kuyuları İdare tarafından onaylanmış ekipmanla, bu şartnamede belirtilen bölüme uygun olarak açılmıştır.

Perde sondaj kuyularında memba tarafındaki 1. Sırada bulunan Anobaşı kuyularında İdarenin kararıyla karotlu veya karotsuz ama BST li olarak delinmiştir.

Perde sondaj kuyuları çift sıra açılan bölgede (mansap) 2. Sırada Ano başı kuyularında karotlu kuyu açılmamıştır. Sadece Ano başı kuyularında BST yapılmıştır.

Kuyu çapı, kuyu tabanında minimum 56 mm olarak belirlenmiştir. (İdarenin onayı ile yer yer 46 mm delimler de yapılmıştır.)

Perde kuyularının delgisi sırasında delikte yıkıntı olması veya devir daim suyunun %70 ve daha fazlasının kaçması hallerinde, o seviyenin üzerinden lastik tutturulup enjeksiyon yapılmıştır. Priz süresi sonunda ilerlemeye devam edilmiştir.

Delgi sırasında oluşabilecek sorunlar aşağıdaki gibi çözülebilir;

1-Kuyu içerisinde delgi sırasında tijlerin ve pakerin sıkışması durumunda muhafaza borusu inilerek takım kurtarılmaya çalışılmalıdır. Ya da talisiye ve kurtarıcı yardımıyla kuyu içerisinde kalan delgi ve enjeksiyon boruları kurtarılmalıdır.

2-Kırıklı ve çatlaklı zeminlerde kuyu içerisinde yıkıntılar olabileceği durumlarda kuyu içerisine paker inemeyeceği için kuyu tekrar tarama ile delinerek pakerin indirilmesi sağlanmalıdır. Yine paker indirilemezse, kırıklı zemine kadar muhafaza borusu sürülmelidir.

Perde kuyularından alınan karotlar, karot sandıklarında, kuru yerde, muhafaza için oluşturduğumuz baraka veya konteynırın içinde saklanmıştır. Karot sandıklarına kuyu numarası, kuyu derinliği, kademe boyu, loglama gibi veriler içine ve dışına yazılmıştır.

Perde kuyularının delgi sonuçları günlük olarak raporlanmıştır.

Perde kuyularının yerleşimi temel projeler baz alınarak düzenlenmiş ve ekte sunulmuştur.

#### **3.4.1.2. Kontak kuyuları**

Enjeksiyon Planı ve Enjeksiyon Boy Kesiti Haritasında (Metin sonu Şekil-1) görüldüğü gibi Sol sahilin Km 0 + 072,00 noktasından başlayarak, sağ sahile doğru aks boyunca 385,50 metrelik kısımda yapılmıştır.



Kontak delgileri perde kuyularının 1 sıra membasında ve 1 sıra mansabında olmak üzere iki sıra halinde şaşırtmalı olarak ve 3 metre ara ile yapılmıştır.

Kontak kuyuları 60° ve 30° açılı olarak delinmiştir. 60° açılı olan kuyular galerinin memba ve mansap duvarları üzerinden, 30° açılı olan kuyular ise invert betonunun üzerinden delinmiştir.

Kontak kuyularının derinlikleri 60° açılı kuyularda 3.00 m; 30° açılı kuyuların derinlikleri 5,00 m'dir.

Kuyu çapı, kuyu tabanında minimum 56mm olacaktır.

Kontak kuyularının delgi sonuçları günlük olarak raporlanmıştır.

#### **3.4.1.3. Piyezometre kuyuları**

Piyezometre kuyuları, biriktirme yapılarında enjeksiyon perdesinin efektifliğini kontrol etmek amacıyla yüzeyde ve/veya galeri içinde projelerinde belirtilen çap, derinlik ve her türlü eğimde karotsuz olarak su sirkülasyonlu rotari tip sondaj makinesi ile açılmıştır.

#### **3.4.2. Enjeksiyon metodu**

##### **3.4.2.1. Enjeksiyon deliklerinin yıkanması**

Enjeksiyon yapılacak bütün delikler enjeksiyondan önce basınçlı su ile yıkanmıştır. Eğer enjeksiyon işlemi sondaj ilerlemesine müteakip bütün delik boyunca yapılıyor ve enjeksiyon delgi bitiminden sonra kademe kademe yapılıyorsa (aşağıdan yukarıya doğru çıkan fazlar metodu), enjeksiyona başlamadan önce delik tabanından başlanılarak yukarıya doğru tij içerisinden devir daim suyu ile yıkanacaktır. Yıkama işlemi, her enjeksiyon kademesinin her metresi için en az 1 dakika süre hesabıyla yapılmıştır.

Yıkama işleminde deşarj suyunun (delikten geri gelen suyun) delik içinde en az 60 cm/sn'lik bir geri dönüş hızına sahip olması gereklidir. Yıkama işlemine, tijin delik dibine tutturularak dönüş suyu berrak gelinceye kadar devam edilir. Bu son yıkama işlemi 20 dakikadan fazla sürer ve dönüş yıkama suyu tam berraklaşmazsa, yıkamaya son verilir.

Delgi sırasında kuyudan çıkan teressubat, enjeksiyon galerisi boyunca akarak talvegde birikir. Biriken teressubatl  su dinlendirme çukuruna ve buradan kirlenmiş suyun dereye karışmaması için önlemler alınır.

#### **3.4.2.2. Ano sistemi**

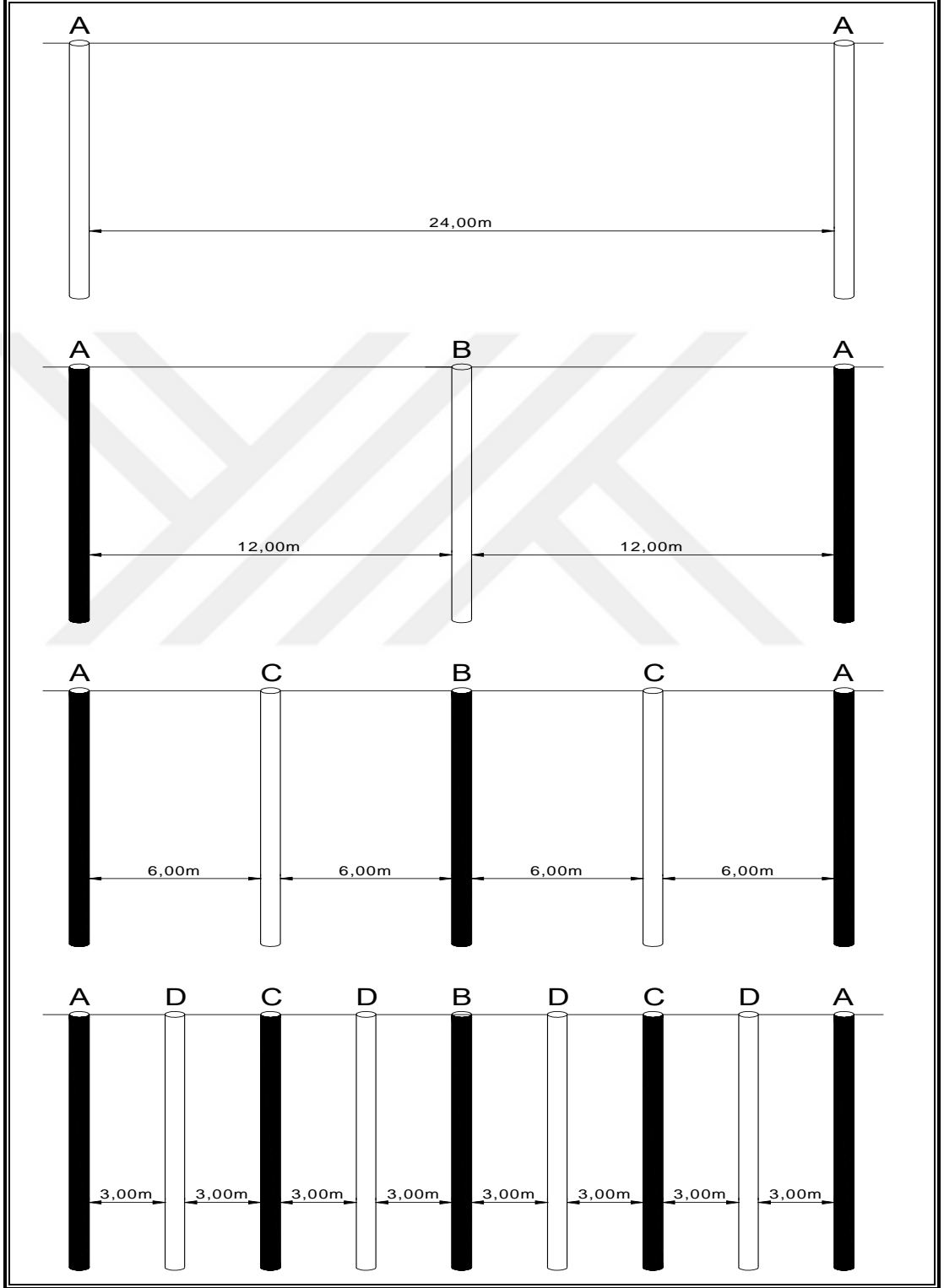
Enjeksiyonlar 24 metrelik daralan aralıklı anolar şeklinde yapılmıştır (şekil 3.3). Çalışma koşullarına uygun birbirine yakın en az 3 ano ele alınarak enjeksiyonlara başlanılır. Ele alınan anoların ano başı delikleri (A delikleri) açılır ve enjeksiyonları yapılır, sonra her anonun ortasına denk gelen B delikleri açılır ve enjeksiyonları yapılır. Daha sonra A ve B delikleri ortasına denk gelen C kuyuları açılır ve enjeksiyonları yapılır. En son A-C, C-B, B-C ve C-A deliklerinin ortasındaki D delikleri açılır ve enjeksiyonları yapılır. Böylece bu bölümün enjeksiyonları daralan aralıklar şeklinde işlemleri bitirilmif olur ve enjeksiyonları yapılacak diğer anolara geçilir. İdarenin isteği ve onayı ile Ano başlarındaki kuyular karotlu veya karotsuz ama mutlaka basınçlı su tecrübeli olmalıdır. Alışların etki yarıçapı az olduğunda İdarenin isteği ile bir Ano 12 m alınabilir (şekil 3.6).

#### **3.4.2.3. Yukarıdan aşağıya doğru inen kademeler metodu ile enjeksiyon**

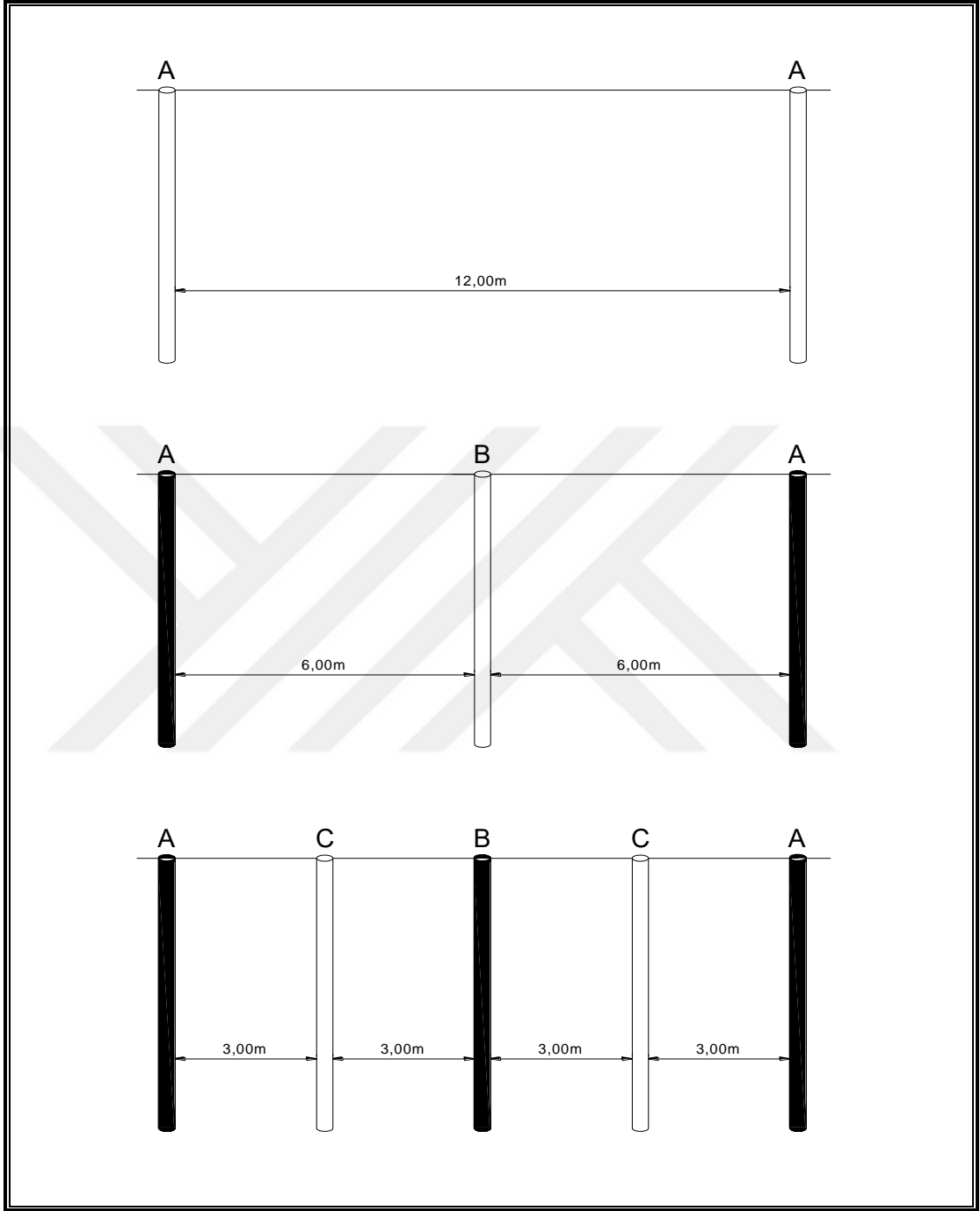
Başlangıçta delik kademe boyu kadar delinir, yıkanır, basınçlı su deneyi ve enjeksiyonu yapılır. Çimento tam priz almadan delik yıkanır ve takım dışarı alınır. Deliği çevreleyen kayadaki şerbet prizini aldıktan sonra, aynı deliğin ikinci kademesi delinir ve bir yukarıdaki kademede yapılan işlemler tekrarlanır. Böylece kuyunun son kademesine kadar işlemler devam eder.

#### **3.4.2.4. Aşağıdan yukarı doğru çıkan kademeler metodu ile enjeksiyon**

Enjeksiyonlar aşağıdan yukarı çıkan fazlar metodu ile en alt kademeden başlanarak yapılmıştır. Kuyu, projede belirtilen derinliğe kadar delinir, yıkanır ve varsa her kademenin basınçlı su deneyleri yapılır. Bundan sonra tıkaç en alttaki kademeyi enjekte etmek üzere yerleştirilir ve en alttaki kademenin enjeksiyonu yapılır. Sonra tıkaç bir üstteki kademeyi enjekte etmek üzere yukarıya alınır ve aşağıdan yukarıya doğru ikinci kademenin enjeksiyonu yapılır. Bu işleme yukarıya kadar 5'er metre ara ile devam edilir.



Şekil 3.5. 24 m'lik anolarda azalan aralık metodu



Şekil 3.6. 12 m'lik anolarda azalan aralık metodu

### **3.4.3. Enjeksiyonlarda kullanılacak malzemeler**

#### **3.4.3.1. Çimento**

Enjeksiyon işlerinde PÇ 42,5 veya 32,5 idarenin uygun gördüğü çimento türü kullanılacaktır.

Kullanılacak olan çimento İdare kontrolünde yapılacak arazi deneyleri sonucunda belirlenmiştir.

Belirlenen çimentonun;

- Priz başlangıç ve bitiş değerleri

- Basınç mukavemeti

Deneyleri yapılmıştır.

Çimentonun tedarik edildiği firmanın laboratuvarında yapılmış olan bu testler idarenin talep etmesi durumunda idareye teslim edilir.

#### **3.4.3.2. Bentonit**

Bütün şerbet ve harçlı karışımlarda çimento miktarının % 5'ine kadar bentonit ilave edilerek kullanılmıştır. Kullanılan bentonit miktarı idare gözetiminde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Kullanılan bentonitin özellikleri, teknik şartnameye uygun olmalıdır.

Bentonitin teslim edildiği her seferde, bu partinin kalite özelliklerini belirleyen deney raporları onay için İdareye sunulmuştur. Temin edilen bentonitlerde hiçbir kimyasal katkı bulunmamalıdır.

Enjeksiyonda kullanılan bentonit daha evvel ayrı bir tankta 1/10 oranlı (bentonit/su) çamur haline getirilip ayrı bir tankta en az 24 saat şişirildikten sonra enjeksiyonlarda kullanılır.

#### **3.4.3.3. Su**

Enjeksiyonda kullanılan su, betonda kullanılan karma suyu niteliğinde temiz ve berrak olmalıdır. Yağ, asit, alkali gibi maddeler ile odun, kömür ve diğer materyallerin parçalarından arındırılmış olmalıdır.

Kalitesinden şüphe edilen sulardan örnekler alınarak İdarenin laboratuvarlarında kimyasal analizleri yapılmalıdır. Suyun kimyasal analizine göre sodyum sülfat iyonu ve diğer iyonlar betona zarar vermeyecek limitlerde olmalıdır.

#### **3.4.3.4. Kum**

Enjeksiyonlarda fazla alış yapan kademelerde, kullanılan çimento miktarı İdarenin kararına göre belirlenmiştir.

Kullanılan kum, sert ve dayanıklı taşların kumu olmalıdır. Tanelerin şekli, genel olarak yuvarlak veya kübik, ince veya orta irilikte olmalıdır. İçinde organik maddeler ile sodyum sülfat ve kil olmamalıdır. Mevcut agrega üretim tesisinde elde edilen 0-4mm kumun kullanılması uygun görülmektedir. Enjeksiyonlarda kesinlikle deniz kumu kullanılmamalıdır.

Kum, beton içine zararlı herhangi bir yabancı madde girmesine engel olmak amacıyla uygun olarak depolanmaktadır.

#### **3.4.3.5. Enjeksiyon kimyasal katkı malzemeleri**

Enjeksiyon işlerinde idarenin gözetiminde yapılan şerbet deneylerinin sonucuna göre uygun kabul edilen akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Enjeksiyon işlerinde kullanılan kimyasal katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar, priz hızlandırıcılar vb), cinsi, miktarı ve ilave etme zamanı ile şerbetlerin kullanım zamanları ile ilgili laboratuvar deneyleri yapıldıktan sonra, İdarenin onayı ile gerek görülürse kullanılmalıdır. Bu deneyler, farklı firmaların ürünleri kullanılarak yapılır. Kullanılacak katkı malzemeleri Cl<sup>-</sup> iyonu içermeyen, çevreyi kirletmeyen ve kimya sanayinin ürettiği en son ürünler olmalıdır.

#### **3.4.3.6. Kalafat malzemesi**

Satıhta, tünelde ve galerilerdeki enjeksiyon esnasında, enjeksiyon şerbetinin yüzeye sızdığı çatlaklar, eklem yerleri kalafat malzemesi ile tıkanmalıdır.

Kalafat malzemesi olarak alçı, üstüğü, ağaç kaması ve çabuk priz alan maddeler kullanılmalıdır.

#### **3.4.3.7. Enjeksiyon malzemelerinin sürekli temini**

Enjeksiyon malzemeleri (su, çimento, kum, bentonit, kimyasal katkı maddeleri), enjeksiyon işlerinin aralıksız devam edebilmesi için her enjeksiyon ünitesi ekibine yetecek miktarda olmalı ve uygun nitelikte malzeme stokları devamlı takviye edilmelidir.

#### **3.4.3.8. Enjeksiyon malzemelerinin depolanması**

Enjeksiyon malzemeleri, özellikle çimento, bentonit ve kimyasal maddelerin hava, kar, yağmur ve suya karşı özelliklerini yitirmemeleri için muhafaza altında tutulmalıdır. Torba halinde gelen bentonit, ne kadar süre olursa olsun hiçbir zaman 10 torbadan fazla üst üste konmamalıdır. Depolama esnasında bozulup topaklaşan veya bu şartnameye uymayan bentonit kullanılmamalıdır. Bentonit kuru yerde saklanmalıdır. Yüklenici çimentoyu ve bentoniti işyerine geliş sırasına göre kullanmalıdır.

#### **3.4.3.9. Enjeksiyon şerbetleri**

Enjeksiyon şerbeti karışım oranları Geohidro firması tarafından yapılan deneyler sonucunda belirlenir. Bu karışım oranları belli olduğunda İdareye ek yazı ile iletilir.

Bentonit, 1/10 oranında su ile karıştırılarak 24 saat dinlendirildikten sonra kullanılmalıdır.

Şerbet alımlarının fazla olduğu kademelerde, akışkanlaştırıcı kullanılıp kullanılmayacağına İdare tarafından karar verilir.

Deneyler sonucunda belirlenen karışım oranlarıyla hazırlanan şerbetler, hazırlanışından itibaren 4 saat içinde kullanılmalıdır. Kullanılmazsa enjeksiyon yapılan kademeye verilmeyip dökülmelidir.

Enjeksiyonun hazırlanması aşamasında otomatik enjeksiyon santralinin bilgisayarına, deneylerle belirtilen enjeksiyondaki karışım oranları elle girilerek hafızasına kaydedilir. Sonrasında sondaj deliğinde uygulanacak olan reçete sistem de belirtilir ve otomatik enjeksiyon santrali sırasıyla su, sulandırılmış bentonit ve çimentoyu karıştırıcıya alır. 2 dakikalık karıştırma işleminden sonra karışımı enjeksiyon pompasının bağlı olduğu dinlendirici kazana alır ve kuyuya basmaya başlar.

Kuyuya enjeksiyon basılmadan önce recorder cihazından geçer ve kuyuya basılır. Kuyuya giden enjeksiyonun debisi, litresi ve basıncı recorder cihazından okunabilir.

#### **3.4.3.9.1. Enjeksiyon karışım deneyleri**

Her proje için enjeksiyona başlamadan önce enjeksiyon karışım deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan deneyler aşağıda verilmiş olup İdare bu deneyleri arttırıp, azaltmaya yetkilidir.

- Özgül ağırlık deneyi: Kullanılacak bütün şerbetlerin özgül ağırlıkları belirlenmiştir.
- Viskozite deneyi: Marsh hunisi ile her karışım oranlı şerbet için viskozite deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları İdarece değerlendirilip, neticesi yükleniciye bildirilmiştir.
- Hazırlanan her yeni karışımında yapılan deney sonuçları, İdarece uygun görülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Uygun olmayan şerbetler kullanılmamıştır.
- Çökelme deneyi: Kullanılacak her cins şerbet içindeki katı maddelerin, zamana göre çökelme miktarının karışım hacmine yüzde olarak oranıdır. 2 saatlik çökelme değeri % 5'i geçmemelidir. Bu deney sonucuna göre uygun olmayan karışımlar kullanılmamıştır.
- Priz başlangıcı ve bitim sürelerinin tespiti: İdarenin standartlarına uygun olarak priz başlangıç ve bitiş süresi tayin edilmiştir.
- Basınç dayanım deneyleri: Çimento ve sülfata dayanıklı çimentodan yapılmış ve su içinde küre tabi tutulan örnekler üzerinde 7 ve 28 günlük dayanım deneyleri yapılmıştır (28 günlük örnekler en az 2 MPa basınç dayanımını sağlamalıdır).



Tablo 3.1. Perde enjeksiyon şerbeti laboratuvar değerleri

Karışım Tipi	Çökeltme			Sıcaklık	Yoğunluk	Basınç Dayanımı	
	30 dk (%)	60 dk (%)	120 dk (%)	Şerbet (C°)	Şerbet (gr/cm <sup>3</sup> )	1 Gün (mPa)	7 Gün (mPa)
1/0.9	2,9	6,2	11	23,5	1,722	2,25	8,82
1/0.8	2,7	3	7,5	24,3	1,729	2,52	9,68
1/0.7	2,2	2,8	6	23,9	1,776	3,57	13,3
1/0.6	1,8	2	5	24,1	1,801	5,01	16,55
1/0.5	0,8	1,2	2	25,2	1,845	9,05	24,35

Karışım Tipi	Viskozite Marsh Hunisi		
	Ø 5 mm	Ø 8 mm	Ø 13 mm
1/0.9	32 s	9 s	3 s
1/0.8	36 s	10 s	4 s
1/0.7	39 s	12 s	5 s
1/0.6	54 s	15 s	6 s
1/0.5	193 s	32 s	7 s

#### 3.4.4. Enjeksiyon şerbetleri karışım oranları

Enjeksiyon şerbeti karışım oranları Geohidro firması tarafından yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Bu karışım oranları belli olduğunda İdareye ek yazı ile iletilmiştir.



Şekil 3.7. Enjeksiyon şerbeti karışım tankeri

Tablo 3.2. Derin kuyularda enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları

Karışım Oranı	Derin kuyularda (Perde memba-mansap, Araştırma ve Kontrol kuyuları) enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları (95:5) (Çimento:Bentonit)			
	Su	Bentonit (95:5 Çimento:Bentonit)		Hacim
Çimento/Su	(lt)	(%)	(kg)	(lt)
1/3	316	5	5,3	351
2/3	211	5	5,3	246
1/1	105	5	5,3	141
1/0.8	84	5	5,3	120

<sup>a</sup>. 100 kg Çimento için karışım oranları.

Tablo 3.3. Kontak kuyularında enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları

Karışım Oranı	Kontak kuyularında (30° ve 60° açılı kontak kuyuları) enjeksiyon işlerinde kullanılmış şerbet karışım oranları (98:2) (Çimento:Bentonit)			
	Su	Bentonit (95:5 Çimento:Bentonit)		Hacim
Çimento/Su	(lt)	(%)	(kg)	(lt)
1/3	306	2	2	340
2/3	204	2	2	238
1/1	102	2	2	136
1/0.75	76,5	2	2	111

<sup>b</sup>. 100 kg Çimento için karışım oranları.

<sup>c</sup>.

### **3.4.5. Konsko barajında uygulanacak enjeksiyon basınçları**

#### **3.4.5.1. Kontak kuyuları**

Konsko Barajı'nda kontak kuyularının derinlikleri 3,00 m ve 5.00 m olacak şekilde belirlenmiştir. Kontak kuyularında uygulanacak toplam basınç;

60° açılı kontak kuyularında,

310,00-3,00 : 0,3 MPa = 3 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

30° açılı kontak kuyularında,

0,00-5,00 : 0,5 MPa = 5 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

Kontak kuyuları derinliği az olduğundan Yeraltı Su Seviyesi dikkate alınmamıştır.

#### **3.4.5.2. Perde kuyuları**

Perde kuyularında uygulanan toplam basınç ;

0,00-5,00 : 0,5 MPa = 5 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

5,00-10,00 : 0,8 MPa = 8 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

10,00-15,00 : 1,0 MPa = 10 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

15,00-20,00 : 1,2 MPa = 12 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

20,00-25,00 : 1,5 MPa = 15 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

25,00-30,00 : 1,8 MPa = 18 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

30,00-35,00 : 2,1 MPa = 21 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

35,00-40,00 : 2,5 MPa = 25 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

40,00-45,00 : 2,8 MPa = 28 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

45,00-50,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

50,00-55,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

55,00-60,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

60,00-65,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

65,00-70,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

70,00-75,00 : 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

75,00-80,00: 3,0 MPa = 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır.

Konsko Barajında Perde Kuyularında uygulanan pratik manometre basınçları, yukarıdaki gibidir.Uygulanan basınç değerleri İdarenin kaynaklarından yararlanılarak tespit edilmiştir.

Uygulanan basınç değerleri sonucunda enjeksiyon deliklerinde yüksek miktarda alışlar gerçekleştiğinde İdare tarafından, uygulanan basınçların beton ve zemin dayanımına zararı olup olmadığı değerlendirilip, uygulama basınçları düşürülebilir.

### 3.4.5.3. Perde enjeksiyonları

Perde kuyularına; bu kuyuların yapılacağı yere ait karşılıklı en az 1 anoluk Kontak kuyularının enjeksiyonu bittikten sonra başlanmıştır.

Perde kuyularının başlangıcı invert (başlık) betonunun talveg seviyesinden başlanarak sağ ve sol sahilde yamaçlara doğru çıkmıştır.

Perde kuyularının son kademesi 100 kg/m ve daha fazla çimento yerse o perde kuyusu bir defaya mahsus bir kademe daha derinleştirilir.

Tablo 3.4. Perde Enjeksiyonlarında Kullanılan Karışım Oranları

Karışım Oranı (Çimento/Su)	Basılacak Mikser Adedi (1 Mikser)(Lt)	Manometre Basıncının Yükselmemesi Durumunda Geçilecek Olan Karışım Oranı (Çimento/Su) (manometre %70 in altında olursa üst karışıma geçilir)
1/3	702 lt/m	200 kg/m
2/3	492 lt/m	200 kg/m
1/1	705 lt/m	500 kg/m
1/0.8	1800 lt/m	500 kg/m

#### 3.4.5.4. Kontak enjeksiyonları

Kontak kuyuları iki sıra olarak, 1 sıra perde kuyularının memba tarafında, 1 sıra da mansapta tarafındadır. Önce memba sırasının enjeksiyonu yapılıp, sonra mansap kısmına geçilmiştir.

Kontak kuyuları tek kademe halinde aşağıdan yukarı doğru enjekte edilmiştir.

3,00 m lik kontak kuyularının kademe boyu 3.00 m, 5.00 m lik kontak kuyularının kademe boyu 5,00 m olarak uygulanmıştır.

Kontak enjeksiyonlarına başlarken önce 1/1 oranlı karışımlardan başlanıp 1 m<sup>3</sup> verilip, manometre basıncında bir artış olmuyorsa 10/9 oranlı karışıma geçilip 1 m<sup>3</sup> verilerek devam edilir, yine manometre basıncında bir artış yoksa 5/4'den 1 m<sup>3</sup> verilir. Yine artış yoksa 7/5 'e geçilip 5 m<sup>3</sup> verilir, yine manometre basıncında artış yoksa sıra ile %25, %50 ve %100 kumlu karışıma geçilir.

Tablo 3.5. Kontak kuyuları için enjeksiyon basınç değerleri

Kademe (m)	Araştırma Kuyuları Basınçlar (kg/cm <sup>2</sup> )
0-3(60° açılı kontak kuyuları)	3
0-5(30° açılı kontak kuyuları)	5

#### 3.4.5.5. Basıncılı su tecrübeleri

Burada bahsedilen su tecrübeleri enjeksiyondan önce yapılan su tecrübeleridir. Kuyu açılırken enjeksiyon kademe boyunda ve enjeksiyon basıncında yapılmıştır. Su tecrübelerinden maksat zeminin permeabilitesi hakkında bilgi sahibi olmak, su kaçaqları ile şerbet alışlarının mukayesesini yapmaktır. Su tecrübelerini tüm kuyularda yapmaya gerek yoktur. Ano başlarında (1 ano 24 m) yapılması yeterlidir. Su tecrübeleri enjeksiyon kademe boylarında enjeksiyon basıncında ve sağlıklı olması nedeni ile yukarıdan aşağıya yapılmalıdır.

Basıncılı Su Testi (BST) yapılırken enjeksiyon deliklerine ilerlemeye paralel olarak paker indirilir ve şişkinliği sağlandıktan sonra enjeksiyonda uygulanan basınç ile su verilir. Verilen su, su sayacından geçerek 5 er dakikalık okumalar halinde 2 adet

okuma yapılarak, elde edilen verilerden lugeon (Lu) değeri hesaplanır. Elde edilen Lu değerine göre zeminin permabilitesi hakkında yorum yapılabilir.

Basıncılı su tecrübelerinde uygulanacak basınç değerleri, uygulanan enjeksiyon basınç değerlerinin %90'ından az olmamalıdır.

Tablo 3.6. Anobaşı araştırma kuyuları için BST basınç değerleri ve kontrol kuyuları BST basınç değerleri

Kademe (m)	Araştırma Kuyuları Basınçları (kg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol Kuyuları Basınçları (kg/cm <sup>2</sup> )
0-5	1-3-5-3-1	1-3-5-3-1
5-10	3-5-8-5-3	3-5-8-5-3
10-15	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
15-20	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
20-25	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
25-30	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
30-35	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
35-40	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
40-45	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
45-50	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
50-55	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
55-60	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
60-65	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
65-70	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
70-75	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
75-80	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2
80-85	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-10-8-6-4-2

### 3.4.5.6. Refü şartı

Genel olarak bir kademenin enjeksiyonu yapılırken istenilen basınç elde edilip, 10 dk içinde kademe artık alış yapmıyorsa, ilk başlanılan karışım oranına geçilip refü basıncında 20 dk süre ile şerbet verilir. 20 dk içinde kademe bu şerbetten 0,6 lt/m/dak veya daha az şerbet yemesi halinde bu kademedeki refü sağlanmış sayılır.

Enjeksiyon sırasında pompadan çıkan enjeksiyon kuyuya basılmadan önce recorder denilen cihazdan geçer. Bu recorderın özelliği, kuyuya basılan enjeksiyonun hangi kuyuda yapıldığını, hangi kademedeki yapıldığını, enjeksiyon sırasında kuyuya ne kadar enjeksiyon basıldığını, kuyuya uygulanan enjeksiyonun basıncını, ve bunları gösteren grafiğin oluşturulmasını sağlar.



Şekil 3.8. Kuyu başı recorder

### 3.4.5.7. Enjeksiyon kontrol sistemi

Enjeksiyonlar devam ederken veya enjeksiyonlar tamamlandıktan sonra İdarenin gerek gördüğü yerlerde karotlu veya karotsuz, dik veya eğimli, BST deneylerinin yapılacağı enjeksiyon kontrol kuyuları açılır.





Şekil 3.9. Recorder

Enjeksiyon kontrol delikleri buradaki perde kuyularının derinliği ile yediği şerbet dikkate alınarak yerleri ve derinlikleri İdare tarafından belirlenir. Bir anoda en az 1 adet olmak üzere (ano 24m) yapılır.

Kontrol kuyuları perde kuyuları gibi enjekte edilir. Kontrol kuyularında enjeksiyon kademe boylarında ve o kademeye uygulanan enjeksiyon basıncının %90 'ı kadar basınçta yapılır. Kontrol kuyularındaki su kaçakları aşağıdaki formül ile tahkik edilir.

$$\frac{Q}{P_t * L * t} \quad (3.1)$$

(1.1) formülünde ;

Q= Kaçan su miktarı (litre)

P<sub>t</sub>= kademeye uygulanan toplam basınç (kg/m)

L= tecrübe yapılan kademe boyu (m)

t= Test süresi (dakika)

Buradaki su kaçakları

$$\frac{Q * 10}{P_t * L * t} \leq 3 \quad (3.2)$$



yani kaçan su miktarı 3 Lugeon veya daha küçük değerde ise araya girmeye gerek yoktur.

Eğer kaçaklar 3 lugeondan fazla ve bu kademe enjeksiyonu bağlandığında alışlarda metre başına alışlar fazla ise ara kuyulara girip girmemeye İdare karar verir.

Bst işlemi yapılırken,

1- Öncelikle kuyu bst yapılacak kademeye kadar delinir ve yıkanır.

2- Sonrasında kuyuya BST yapılacak olan kademenin üst noktasına kadar paker indirilir ve pakerdeki lastik kısım , paker kazanından su pompalanarak şişirilir. Paker in tutup tutmadığını kontrol amaçlı yukarı aşağı çekilir.

3- Hazır hale getirilen pakere, su sayacı ve manometre bağlanır.

4- Sonrasında kuyuya basınçsız şekilde su verilerek kuyunun içi doldurulur.

5- Kuyu dolduktan sonra su sayacındaki değer okunur ve deneye başlanır.

6- Deney 2 şekilde yapılabilir;

- 1. Yöntemde (kısa yöntemde) 5 dk lık süre boyunca kademedeki uygulanacak olan enjeksiyon basıncının %90 ı uygulanır. Bu işlem 2 kere tekrarlanıp su sayacından toplamda 10 dk lık 2 adet veri elde edilir. Lugeon hesaplama formülünde değerler yerine yazılarak Lugeon değeri hesaplanır.

- 2. yöntemde (uzun yöntemde) ise öncelikle 5 dk lık süre boyunca kademedeki uygulanacak olan enjeksiyon basıncının %60 ı uygulanır. Bu şekilde 2 adet okuma yapıp, sayaçtan geçen su miktarı not alınır ve basınç %90 a çıkarılır. Basınç %90 a çıkarıldığında 2 adet okuma yapıp su miktarı not alınır. Sonrasında su tekrar %60 a düşürülüp 2 adet 5 er dakikalık okuma yapıp deney sonlandırılır. Deney de okuma süreleri toplam 30 dk'dır.

7- Deney sonlanınca yapılan kademedeki paker lastiğinin içindeki su tahliye edilip pakerin inmesi sağlanır ve paker kuyudan çıkarılıp delgi işlemine devam edilir.

8- Bu deney her enjeksiyon kademesinde aynı yöntemle tekrarlanarak, kuyunun tamamının bst si yapılır.

### **3.4.6. Kayıt ve raporlar**

Vardiyada delgi enjeksiyonları ve BST'lere ait günlük formlar tutularak, grafikler talebi doğrultusunda aksatılmadan hazırlanmıştır.

Uygulamada değişiklik gösterebilecek özel önem arz eden yerlerin enjeksiyon işleri İdarenin bilgisi dahilinde belirtilen şartlar göz önüne alınmak kaydı ile yapılmıştır.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Barajlarda su kaçaklarının önlenmesi için, temel kayaya kadar kazı yapılarak, ana kayaya enjeksiyon yapılma işlemi, bu önlemler arasında dünyada yaygın olarak kullanılan en popüler yöntemlerdendir.

Bu tez çalışmasında baraj inşaatlarında karşılaşılan problemler arasında bulunan geçirimsizlik probleminin çözümü için uygulanan enjeksiyon yönteminden bahsedilmiş olup Konsko Barajı enjeksiyon uygulamaları araştırılmış, kademelere göre enjeksiyon alış miktarları ve enjeksiyon perdelerinin imalat aşamaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Gerçekleştirilen iyileştirme işlemi ve uygulama yöntemi irdelenerek bilgi birikimi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Baraj gövde eksenine yakın noktalarda enjeksiyon öncesi açılan araştırma kuyularındaki geçirimsizlik değerleri ile enjeksiyon sonrası açılan kontrol kuyularındaki geçirimsizlik değerleri karşılaştırılmış olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Baraj temelinden, sağ ve sol sahildeki galerilerden yapılan perde enjeksiyonlarının yanı sıra kontak, konsolidasyon, bağlantı enjeksiyonlarının da sonuçları elde edilen veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir.
- Talveg bölgesinde açılan araştırma kuyularında belirlenen geçirimsizlik 4,80 lugeon iken enjeksiyondan sonra 2,80 lugeon'a düşmüştür.
- Yapılan enjeksiyon perdesinin sonuçlarını kontrol etmek için; enjeksiyondan önceki ve sonraki lugeon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır ve enjeksiyon perdesi öncesinde tespit edilen yüksek geçirimli bölgeler enjeksiyon perdesi sonrasında yapılan BST sonuçlarına göre %100'e yakın bir şekilde geçirimsiz hale gelmiştir.

Yapılan uygulamanın geçerliliği ve değerlerin Makedon şartnamelerine göre belirlenmiş olup uygulama şartlarının yapılan çalışma kapsamında jeolojik yapıya uygunluğu sonucuna ulaşılmıştır. Baraj eksenine boyunca, barajın temelinden su kaçağı

beklenmemektedir. Yaptığım bu araştırmanın zemin iyileştirme, enjeksiyon ve geçirimsizlik amaçlı yapılacak olan tüm çalışmalara referans olması amaçlanmıştır.



## KAYNAKLAR

Canik B., *Mühendislik Jeolojisi Ders Notları*, No:43, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara, 1997.

Ertunç A., *Mühendislik Jeolojisi*, No:41, S.D.Ü Yayınları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2003.

GIM, *Konsko Barajı Katı Proje Raporları*, Kitap 7 Yayınevi, Üsküp, Makedonya, 2016.

ICOLD, Filling Materials for Watertight Cutoff Walls, *International Commission on Large Dams*, Bulletin 51, Paris, France, 1985.

Jeoteknik Hizmetler Yeraltıları Daire Başkanlığı, *Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi*, DSİ, Ankara, Türkiye, 2016.

Kutzner C., *New Criteria for Rock Grouting in Dam Engineering*, 17rd ed., Vienna, 1991.

Kutzner C., *Grouting of Rock and Soil*, 1rd ed., Vienna, 1996.

Nonveiller, E., *Grouting Theory and Practice*, 57rd ed., Elsevier Science Publishing Company, 1989.

Özbek E., *Deneme Enjeksiyonlarının Yapımı ve Değerlendirilmeleri*, Seminer Kitabı, Ankara, 1987.

Özkan H., *Enjeksiyon Yöntemleri ve Uygulamaları*, Ankara, 2006.

Parchem, Ultra-superfine Cementitious Soil Stabilization Grout, *Alofix MC Technical Data Sheet*, Sydney, 2009.

Şahinoğlu C., *Enjeksiyon Üzerine Teorik ve Pratik Bilgiler*, Seminer Kitabı, No:1, İstanbul, 1987.

Şekercioğlu E., *Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi*, No:28, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 1998.

Tolun M. G., Barajlar ve Hidroelektrik Tesislerin Planlama Düzeyinde Projelendirme Kriterleri, *EİEİ Eğitim Notları*, DOLSAR Mühendislik Limited Şti., Ankara, 1995.

Tosun H., Dolgu Barajlarda Enjeksiyon Perdesi Tasarım Esasları ve Türkiye Pratiği, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2000.

Turfan M. and Tatlıdil A., Low Strength Concrete Curtain Application at Tahtalı, *Dam International 17th Congress on Large Dams*, Vienne, 1991.

USBR, Design of Small Dams Third Edition, *U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation*, Denver, 1987.

Warner J., *Compaction Grouting*, Grouting in Geotechnical Engineering, Reston, 1982.





## EK-A



Şekil A.1. Sol sahil, derivasyon kondüvisi, sol şevde, akışaşağı eğimli süreksizliklerin durumu



Şekil A.2. Sol sahil, derivasyon kondüvisi, sol şevde, akışaşağı eğimli süreksizliklerin durumu





Şekil A.3. Sol sahili, Konsko-Gevgeli yol yarmasında süreksizliklerin akış aşığı eğimli duruşu



Şekil A.4. Sağ sahilde, memba batardosu hizasında, 550 m kotuna ulaşımı sağlayan yol yarmasında süreksizliklerin akış aşığı eğimli duruşu





Şekil A.5. Sağ sahilinde enjeksiyon santral yeri ile enjeksiyon ano yerlerini gösteren fotoğraf



Şekil A.6. D-500 Dizel Sondaj Makinesi





Şekil A.7. Elektrikli Sondaj Makineleri





Şekil A.8. Kuyubaşı (Mobil) Enjeksiyon Seti





Şekil A.9. Yarı Otomatik Enjeksiyon Santrali



Şekil A.10. Sol Sahil ve Derivasyon Tüneli





Şekil A.11. Sol Sahil ve Sağ Sahil Uzaktan Görünümü

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Mutman U., **Pıtraklı G.**, Asfalt Çekirdekli Bir Barajda Enjeksiyon Uygulamaları, *Uluslararası Mühendislik Doğal Bilimler ve Mimarlık Sempozyumu*, Ramada Plaza, Kocaeli, 2-4 Mayıs 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Kocaeli’de doğdu. 2009 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2014-2015 yılları arasında Trabzon Kıyı Yapı Denetim’de kontrol mühendisi olarak 6 ay çalıştı. 2015-2017 yılları arasında Kartepe Yapı Denetim’de kontrol mühendisi olarak 20 ay çalıştı. 2017 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında KT Tasarım proje ofisinde proje mühendisi olarak 10 ay çalıştı. 2019 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesinden mezun oldu. Meslek hayatına Kıbrıs Afik Grup’ta devam etmektedir.

