

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJ  
ÖRNEĞİ İHSANİYE BARAJI VE ENJEKSİYON  
UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İskender GÜMAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat SERT**

**Haziran 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJ  
ÖRNEĞİ İHSANİYE BARAJI VE ENJEKSİYON  
UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İskender GÜMAN**

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 10/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr.  
Sedat SERT  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr.  
Ertan BOL  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
İsa VURAL  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İskender GÜMAN

10.06.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimin süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın her aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkür ederim.

Silindir ile sıkıştırılmış beton barajlar konusunda araştırmalarımın destek olan, beni yönlendiren ARQ firmasından Quentin SHAW'a ve ayrıca çalışmalarımın yanımda olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmamı destekleyen, DSİ Kocaeli 15. Şube Müdürü Cahit AŐKAN'a, Baş Mühendis Serdar Y. ERDEM'e, DSİ Bursa 1. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik ve YASS Şube Müdürü Kemal OLGUN'a, Baş Mühendis Kamil KESKİN'e ve İhsaniye Barajı Yüklenici Firması Ceysu İnşaat ve Ticaret A.Ő.'ye de ayrıca teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dolgu Barajlar .....	2
1.1.1. Homojen dolgu barajlar .....	2
1.1.2. Geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar.....	2
1.1.3. Asfalt çekirdekli dolgu barajlar .....	2
1.2. Ön yüzü geçirimsiz barajlar .....	3
1.2.1. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar .....	3
1.2.2. Ön yüzü beton kaplı kum-çakıl dolgu barajlar .....	3
1.2.3. Ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu barajlar .....	3
1.3. Beton barajlar .....	3
1.3.1. Beton ağırlık barajları .....	4
1.3.2. Beton kemer barajlar.....	4
1.3.3. Çift eğrili kemer barajlar.....	4
1.3.4. Silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar.....	4
1.3.5. Silindir ile sıkıştırılmış katı dolgu barajlar (Hardfill).....	4
1.4. Karışık Kesitli Barajlar.....	5
BÖLÜM 2.	
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) NEDİR? .....	6

### BÖLÜM 3.

TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA SSB BARAJLAR .....	7
3.1. Türkiye’deki SSB Baraj Uygulamaları .....	7
3.1.1. İzmir Beydağ Barajı.....	11
3.1.2. Denizli Cindere Barajı .....	12
3.1.3. Aydın Çine Barajı .....	13
3.1.4. Adana Köprü Barajı .....	14
3.1.5. Adana Menge Barajı .....	14
3.1.6. Kahramanmaraş Suçati Barajı .....	15
3.1.7. Sakarya Melen Barajı.....	16
3.1.8. Sakarya Ballıkaya Barajı .....	16
3.2. Dünyada yapılan SSB Barajlar.....	17
3.2.1. ABD Willow Creek Barajı.....	20
3.2.2. Çin - Lington Barajı.....	20
3.2.3. İtalya - Alpe Gera Barajı.....	21
3.2.4. Etopya - Gibe III Barajı .....	22
3.2.5. Miel I Barajı.....	23
3.2.6. Malezya-Murum Barajı.....	24

### BÖLÜM 4.

TÜRKİYEDEKİ BARAJLARDA ENJEKSİYON UYGULAMALARI .....	25
4.1. Dalaman Akköprü Barajı Enjeksiyon Uygulamaları .....	25
4.2. Boyabat Barajı Enjeksiyon Uygulamaları.....	26
4.3. Cindere Barajı Enjeksiyon Uygulamaları .....	27

### BÖLÜM 5.

İHSANİYE BARAJI YERİ VE GENEL JEOLJİSİ .....	28
5.1. Barajın Yeri .....	28
5.2. Proje Karakteristikleri .....	31
5.3. Çalışma Yöntemi.....	32
5.4. Genel Jeoloji.....	33
5.4.1. Fıstıklı graniti (Tef) .....	33
5.4.2. Yamaç molozları (Qym) .....	36

5.4.3. Alüvyon (Qal) .....	37
<b>BÖLÜM 6. İHSANİYE BARAJI GÖVDE ZEMİNİ SONDAJ ÇALIŞMALARI.</b>	<b>38</b>
6.1. Planlama Aşaması ve Kesin Proje Aşaması Sondaj Kuyuları.....	38
6.2. Karot Yüzdesi (Toplam Karot Verimi) (TKV) .....	44
6.3. Lugeon Deneyi (Geçirimsizlik Deneyi) .....	45
6.4. YASS (Yeraltı Su Seviyesi Ölçümü).....	49
<b>BÖLÜM 7.</b>	
<b>ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>50</b>
7.1. Baraj Gövde Aksı Geçirimsizlik ve Ana Kaya Dayanım Deneyleri .....	50
7.1.1. Laboratuvar deneyleri .....	50
<b>BÖLÜM 8.</b>	
<b>BARAJ AKS YERİ GEÇİRİMLİLİĞİNİ ÖNLEMEK İÇİN PERDE</b>	
<b>ENJEKSİYONU YAPILMASI.....</b>	<b>53</b>
8.1. Enjeksiyon Metodolojisi .....	54
8.1.2. Enjeksiyon ano imalat planı.....	54
8.1.3. Yukarıdan aşağıya inen kademeler metodu ile enjeksiyon.....	55
8.1.4. Aşağıdan yukarı doğru çıkan kademeler metodu ile enjeksiyon .....	55
8.1.5. Çok safhalı enjeksiyon.....	56
8.2. Karışıma Giren Malzemeler .....	56
8.2.1. Çimento.....	56
8.2.2. Sülfata Karşı Dayanıklı Çimento .....	56
8.2.3. Bentonit.....	56
8.2.4. Kum .....	57
8.2.5. Su .....	57
8.2.6. Kimyasal katkı malzemeleri .....	57
8.2.7. Kalafat malzemesi.....	57
8.3. Enjeksiyon Şerbetleri .....	57
8.4. Enjeksiyon Şerbetleri Deneyleri.....	60
8.4.1. Çimento deneyleri.....	60

8.4.2. Bentonit deneyleri.....	60
8.4.3. Kum deneyleri.....	60
8.4.4. Su deneyleri .....	61
8.4.5. Priz başlangıç ve bitiş süreleri tespiti .....	61
8.4.6. Basınç dayanım değerleri.....	61
8.4.7. Viskosite deneyi.....	61
8.4.8. Çökelme ve özgül ağırlık deneyi .....	61
8.5. İhsaniye Barajı Perde Enjeksiyonu .....	62
8.5.1. Kati proje aşaması enjeksiyon ve geçirimsizlik .....	62
8.5.2. Uygulama aşaması enjeksiyon ve geçirimsizlik .....	65
BÖLÜM 9.	
SONUÇ .....	68
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	72



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASK	: Kesin proje aşaması sondaj kuyuları
BST	: Basınçlı su testi (Lugeon)
DSİ	: Devlet Su İşleri
DSK	: Kesin proje aşaması sondaj kuyuları
FF	: Çatlak sıklığı
GSİ	: Jeolojik dayanım indisi
HES	: Hidroelektrik santral
KSK	: Kesin proje aşaması sondaj kuyuları
M <sub>i</sub>	: Sağlam kaya parametresi
PVC	: Polivinil klorür plastik
Qal	: Alüvyon
Qym	: Yamaç molozları
RQD	: Kaya kalite göstergesi
SK	: Planlama aşaması sondaj kuyuları
SKV	: Sağlam karot verimi
SSB	: Silindir ile sıkıştırılmış beton
Tef	: Fıstıklı graniti
TKV	: Toplam karot verimi
YASS	: Yeraltı su seviyesi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) baraj tip kesiti .....	7
Şekil 3.2. İzmir Beydağ barajı genel görünüm .....	11
Şekil 3.3. Denizli Cindere barajı genel görünüm.....	12
Şekil 3.4. Aydın Çine barajı genel görünüm.....	13
Şekil 3.5. Adana Köprü barajı genel görünüm.....	14
Şekil 3.6. Adana Menge barajı genel görünüm.....	15
Şekil 3.7. Kahramanmaraş Suçati barajı .....	15
Şekil 3.8. Sakarya Melen barajı genel görünüm .....	16
Şekil 3.9. Sakarya Ballıkaya barajı genel görünüm .....	17
Şekil 3.10. ABD Willow Creek barajı genel görünüm .....	20
Şekil 3.11. Çin Lington barajı genel görünüm.....	21
Şekil 3.12. İtalya-Alpe Gera barajı genel görünüm .....	22
Şekil 3.13. Etopya-Gibe III barajı genel görünüm.....	22
Şekil 3.14. Miel I barajı genel görünüm .....	23
Şekil 3.15. Malezya-Murum barajı genel görünüm .....	24
Şekil 5.1. İhsaniye Barajı haritadaki yeri .....	28
Şekil 5.2. İhsaniye Barajı proje alanı uydu görüntüsü .....	29
Şekil 5.3. İhsaniye barajı inşa görüntüsü .....	30
Şekil 5.4. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti .....	34
Şekil 5.5. Baraj aks yerindeki granodiyonitlerin genel görünümü.....	34
Şekil 5.6. Baraj göl alanı genel görünüm.....	35
Şekil 6.1. Baraj gövdesi altında açılan sondaj kuyuları .....	39
Şekil 6.2. TKV, SKV, RQD, FF değerlerinin hesaplanması .....	44
Şekil 6.3. Sondaj makinaları .....	45
Şekil 6.4. Tij ve karotiyer.....	45
Şekil 6.5. Farklı uzunlukta pabuçlar (packer) .....	46

Şekil 6.6. Su basma ünitesi .....	46
Şekil 6.7. Kaya birimleri içine sızan suyun miktarını ölçmede kullanılan su sayacı ve su basıncını gösteren manometre .....	46
Şekil 6.8. Lugeon pakelerinin kuyuya yerleştirilmesi.....	47
Şekil 6.9. Lugeon deneyi yapılması .....	47
Şekil 6.10. Efektik basınç-emilme katsayısı eğrisi .....	48
Şekil 6.11. YASS seviye ölçüm cihazı.....	49
Şekil 8.1. Düz galeride enjeksiyon yapılması .....	53
Şekil 8.2. Eğimli galeride enjeksiyon yapılması .....	54
Şekil 8.3. Daralan aralıklar ile 24,00 m'lik ano'nun enjeksiyonun yapılması .....	55
Şekil 8.4. Baraj aksı jeolojisi ve enjeksiyon planı .....	62
Şekil 8.6. Enjeksiyon perde derinliği formüller yöntemi .....	63
Şekil 8.5. Baraj gövde aksı Lugeon, RQD, karot yüzdesi değerleri .....	64
Şekil 8.7. İhsaniye barajı enjeksiyon uygulama planı.....	67

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Türkiye'deki silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar .....	8
Tablo 3.2. Dünya'daki silindirle sıkıştırılmış beton barajlar .....	18
Tablo 4.1. Akköprü Dalaman Barajı enjeksiyon şerbeti karışım oranları.....	25
Tablo 4.2. Enjeksiyon şerbeti karışımı.....	26
Tablo 4.3. Enjeksiyon şerbeti karışım malzemeleri .....	27
Tablo 4.4. Cindere barajı perde enjeksiyon karışım oranları .....	27
Tablo 5.1. İhsaniye barajı proje karakteristikleri .....	31
Tablo 6.1. Planlama aşamasında dsi tarafından açılan sondaj kuyuları kot koordinat ve derinlikleri .....	40
Tablo 6.2. Kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyuları kot koordinat ve derinlikleri .....	40
Tablo 6.3. Planlama ve kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyularına ait deney tablosu .....	41
Tablo 6.4. Lugeon ölçüm değerleri tablosu .....	48
Tablo 7.1. Temel sondaj kuyularından alınan karot numuneleri ve derinlikleri.....	50
Tablo 7.2. Kesin proje sondaj numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri.....	51
Tablo 8.1. Enjeksiyon işlerinde kullanılacak şerbet karışım oranları .....	58
Tablo 8.2. Kademelerin efektif ve monometre basınç değerleri.....	59
Tablo 8.3. İhsaniye barajı enjeksiyon deliğinin 1 metresine giden katı madde miktarı.....	66

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, İhsaniye barajı, Sondaj, Enjeksiyon.

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) klasik beton santrallerinde üretilmekle birlikte geleneksel betondan farklı olarak, sıfır slump değerine sahip olup düşük dozajda çimento ve bunun yanında uçucu kül, tras ve cürüf gibi katkı maddeleri içermektedir. SSB tanımı, toprak işlerinde kullanılan kamyonlar ile taşınmayı, dozer ile 30 cm tabakalar halinde serilip silindir ile sıkıştırılarak imalatın tamamlanmasını da kapsamaktadır.

SSB barajlarda düşük su içeriği ile birim ağırlığı daha yüksek beton kullanılması nedeniyle, baraj gövde hacmi kaya ve toprak dolgu barajlara göre daha düşük hacimde projelendirilmektedir. SSB içinde çimento içeriğinin az olması nedeni ile ekonomik olmakta ve hızlı serme sıkıştırma yöntemi ile de imalat süresi kısalmaktadır.

Bu tip barajlarda dikkat edilecek en önemli konu barajın oturacağı anakayanın tamamında taşıma gücü değerlerinin yeterli olması ve farklı oturmaya neden olabilecek zeminlerin bulunmamasıdır. Düşük taşıma gücü olan zemin formasyonu var ise konsolidasyon enjeksiyonu yapılarak anakayanın güçlendirilmesi gerekir.

Bu tez çalışması, Karamürsel İhsaniye Barajı'nın planlama aşamasında ve kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyularından alınan karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarının ölçülmesini, sondaj kuyularında basınçlı su testi ile anakayanın geçirimsizliklerinin değerlendirilmesini, baraj gövde içerisinde bulunan enjeksiyon galerilerinden yapılacak enjeksiyon alışlarının tespit edilmesini ve baraj yapılarının inşaatı öncesi araştırılması gereken konuları kapsamaktadır.

# **EXAMPLE OF ROLLER COMPACTED CONCRETE DAM IHSANIYE DAM AND INJECTION APPLICATIONS**

## **SUMMARY**

Keywords: Roller compacted concrete dam, Ihsaniye dam, Drill, Injection

Roller compacted concrete (RCC) is produced in conventional concrete batching plants, but unlike conventional concrete, it has zero slump value and contains low dosage cement as well as additives such as fly ash, trass and slag. The definition of RCC covers the transportation by trucks used in earthworks, spreading in 30 cm layers with dozer and compacting with roller.

Due to the low water content and higher unit weight of concrete used in RCC dams, the dam body volume is projected at a lower volume than rock and earth fill dams. Due to the low content of cement in the RCC, it is economical and the production time is shortened by the rapid paving compression method.

The most important issue to be considered in such dams is that the bearing capacity of the dam will be sufficient in all the bedrock and there are no soils that may cause differential settlements. If there is a formation with low bearing capacity, the bedrock should be strengthened by consolidation injection.

In this thesis it is aimed to evaluate the injection work in Ihsaniye Dam. The study covers to measure the uniaxial compressive strength of core samples taken from drillings during the planning stage and final project stage of Karamürsel İhsaniye Dam, to evaluate the impermeability of the bedrock with Lugeon test in drilling wells, to determine the injection amount to be made from the injection galleries in the dam body.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yüzölçümü 780.000 km<sup>2</sup> olan ülkemizde baraj göleti ve doğal göl alanları çıkarıldığında kalan alanın 769.600 km<sup>2</sup> olması Türkiye'nin su zengini bir ülke olmadığını açıkça göstermektedir. Bunun ötesinde gerekli önlemler alınmaz ise gelecekte su sıkıntısı çeken bir ülke haline gelecektir. Bu su sıkıntılarının ortaya çıkacak olmasının sebebi, coğrafi koşullar sebebi ile su kaynaklarının kontrol edilme zorluğunun bulunmasıdır. Bütün bu zorluklar düşünülerek su kaynaklarını kontrol etmek için uzun vadeli genel planlar yapmak yerine kısa vadeli bölgesel planlar yapılarak her bölgenin kendi su ihtiyacını kendi kaynak ve havzalarından temin etmesinin amaçlanması uygun bir alternatif olabilir. Buna örnek olarak verilebilecek Karamürsel İhsaniye Barajı "Silindir ile Sıkıştırılmış Beton (SSB) Baraj" olarak tasarlanmış olup, baraj gövde zemini granadiorit kayaç üzerine oturtulmuştur. Baraj inşaatlarında gövdenin oturacağı anakayanın stabilitesinin ve geçirimsizliğin sağlanması çok önemli olup gerekli durumlarda çeşitli imalatlar yapılması zorunlu olabilmektedir. Bu tip barajlarda zemin ana kayaya kadar kazılarak baraj gövdesi anakaya oturtulmalıdır. Bu tez çalışmasında da değinilen perde enjeksiyonu, anakaya içerisindeki yapısal boşlukların ve baraj gövdesi ile ana kayaç arasındaki boşlukların enjeksiyon karışımı ile doldurularak belirli bir süre sonra akışkan malzemenin sertleşmesi ile yüksek dayanımlı geçirimsiz ortam oluşturur. Bu çalışmada baraj içerisinde bulunan galeri boşluklarından yapılan perde enjeksiyon uygulamaları detaylı olarak anlatılmıştır.

Barajlar; dolgu barajlar, önyüzü geçirimsiz barajlar, beton barajlar ve karışık kesitli barajlar başlıkları altında sınıflandırılırlar. Baraj tipi belirlenirken inşa edilecek topografya, deprem şartları, iklim şartları, hammadde temini, ekonomik nedenler gibi özellikler değerlendirilir [1].

## **1.1. Dolgu Barajlar**

Ülkemizde bu zamana kadar inşaatı bitmiş ve devam eden barajların çoğunluğunu oluşturan baraj tipidir. Dolgu baraj gövde inşa malzemeleri kil, kum - çakıl, kaya hammaddelerinden oluşmaktadır. Dolgu barajlar tek bir malzeme ile tüm baraj gövdesinde geçirimsizliği sağlayan “Homojen Dolgu Barajlar”, geçirimsizliği çekirdek kısmında sağlayan “Geçirimsiz Çekirdek Tipi Barajlar” ve geçirimsizliği baraj gövdesinin ön yüzünde sağlayan “Önyüzü Geçirimsiz Dolgu Barajlar” olarak ayrılırlar.

### **1.1.1. Homojen dolgu barajlar**

Homojen gövdeli baraj tipi aynı özelliklere sahip olan tek bir malzemedan inşa edilen az geçirimli ya da geçirimsizlik fonksiyonuna tüm gövdenin katıldığı baraj tipidir. Rezervuar alanı uzun süre su dolu olacağı için ani boşalmalarda şevlerin kaymaması için baraj şevlerinin yatık olması gerekir. Ayrıca memba şevinde riprap, mansap şevinde koruyucu örtü olması gerekmektedir. Bu baraj tipi genelde yüksekliği 30 metrenin altında olan barajlarda kullanılmaktadır.

### **1.1.2. Geçirimsiz çekirdekli dolgu barajlar**

Bu baraj tipinde geçirimsizlik, gövde dolgusunun çekirdeğinde bulunan kil ile sağlanır.

### **1.1.3. Asfalt çekirdekli dolgu barajlar**

Kil çekirdekli barajlarda olduğu gibi geçirimsizlik baraj gövdesinin merkezinde (çekirdeğinde) imalatı yapılan asfalt ile sağlanır. Asfalt çekirdekten memba ve mansap yönüne doğru, ince malzemedan kalına doğru giden bir zonlama yer almaktadır.



## **1.2. Ön yüzü geçirimsiz barajlar**

Barajın ön yüzünde kullanılan malzemeye göre sınıflandırılmaktadır. Geçirimsizlik barajın ön yüzünde bulunan beton, asfalt, membran gibi malzemeler ile sağlanmaktadır.

### **1.2.1. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar**

Ön yüzü beton kaplı barajlar su tutucu ön yüz betonun kaya ile desteklenmesi prensibi ile çalışır. Membadan mansaba doğru geçirimsizliği artan dolgu malzemesi zonlaması yapılmaktadır.

### **1.2.2. Ön yüzü beton kaplı kum-çakıl dolgu barajlar**

Geçirimsizlik baraj gövdesi önyüzünde sağlanıp, gövde dolgusu olarak kum - çakıl kullanılmaktadır. Dolgunun yarı geçirimli kum - çakıllardan oluştuğu durumlarda memba ve mansap arasında işlemden geçirilmiş alüvyon ile sürekli drenaj alanı oluşturmak gerekmektedir.

### **1.2.3. Ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu barajlar**

Prensip olarak ön yüzü beton barajlara benzer özelliktedirler. Asfalt kaplamalar esnekliklerinden dolayı kırılmalara karşı daha fazla dayanım göstermektedirler. Bu tip barajların gövde memba eğimi 1/1 - 1/2,5 arasında değişmektedir.

## **1.3. Beton barajlar**

Gövde tipi beton olan barajlar, tasarım yüklerine karşı stabiliteyi ağırlıkları, geometrileri ve malzeme dayanım özellikleri ile sağlamaktadır. Beton barajlar ağırlık ve kemer tipi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

### **1.3.1. Beton ağırlık barajları**

Beton ağırlık baraj tipi, tüm dış yüklerin etkisi sonucu meydana gelebilecek devrilme ve kaymaya karşı kendi kütleli ağırlığı ile mukavemet gösteren genellikle dik üçgene benzer enkesitte projelendirilmektedir. Beton barajlar genellikle akarsu, dere gibi kaynaklar üzerinde dar vadilerde ve sağlam kayalar üzerine inşa edilmektedir. Beton imalatları sırasında beton sıcaklığını etkileyen faktörlere dikkat edilmekte olup çatlakları önleyebilmek için, 10 - 20 metre genişliğinde trapez kesitli blokların yanyana getirilmesi ile projelendirilmektedirler.

### **1.3.2. Beton kemer barajlar**

Gövdenin kemer şeklinde olması ve baraj mansap yüzünün daha dik eğimde olması açısından beton ağırlık barajlardan farklıdır.

### **1.3.3. Çift eğrili kemer barajlar**

Bu tip barajlar hem yatay hem düşey eğriliğe ve iki yöndeki kemer etkisinden dolayı da daha ince beton tasarımına sahiptir. Bu nedenle baraj gövde hacminde ekonomi sağlamaktadır.

### **1.3.4. Silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar**

Silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) baraj düşük hidratasyon ısı, hızlı yapım yöntemi ile baraj inşaatı için ekonomik bir yöntemdir. SSB baraj tipi yapı olarak beton barajlara benzemektedir. Baraj gövdesi içinde enjeksiyon ve ulaşım galeri boşlukları bulunmaktadır.

### **1.3.5. Silindir ile sıkıştırılmış katı dolgu barajlar (Hardfill)**

Bu baraj tipinin geçirimsizliği, memba yüzüne yerleştirilen ön gerilmeli beton elemanlar içine yerleştirilen PVC tabakaları ile sağlanmaktadır. Ön döküm paneller,

katı dolgu yapılırken kalıp görevi görmekte ve PVC membranı korumaktadır. SSB baraj tipinde katı dolgu barajlardan farklı olarak memba ve mansap yüzleri şevli olarak tanzim edildiğinden çekme gerilmeleri oluşmaz ve daha düşük bağlayıcı miktarı ile imalat yapılabilir.

#### **1.4. Karışık Kesitli Barajlar**

Geniş bir nehir yatağına kaya dolgu, katı dolgu, beton dolgu ve silindir ile sıkıştırılmış beton gibi çeşitli beton tiplerinden oluşan karışık kesitli baraj inşa edilebilir.

## **BÖLÜM 2. SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) NEDİR?**

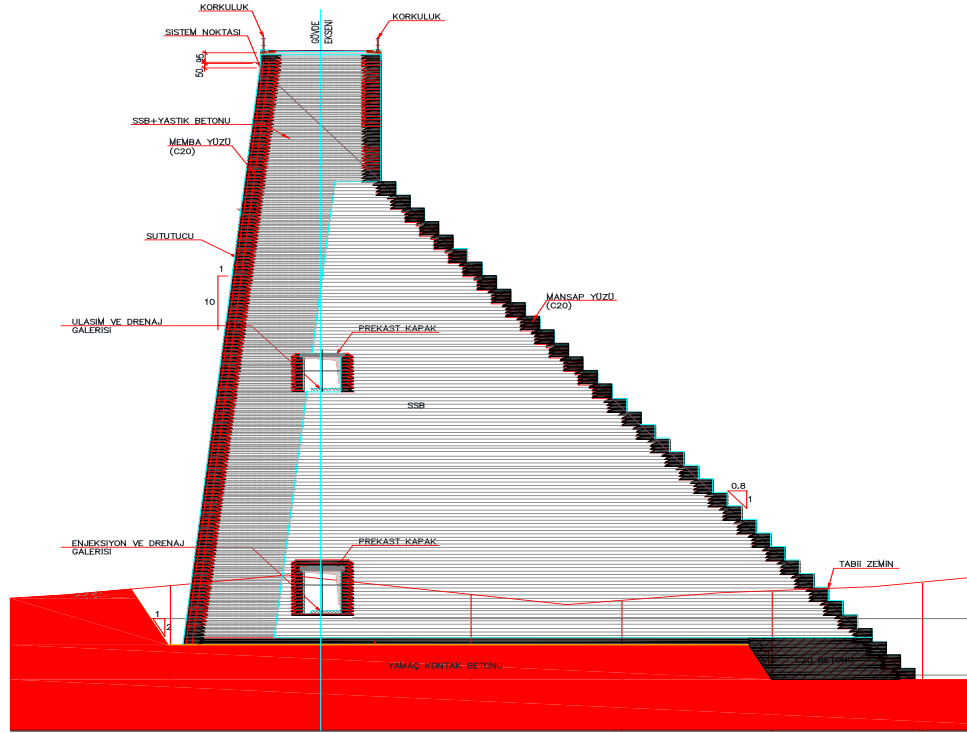
Silindir ile sıkıştırılmış beton uygulaması, düşük oranlı çimento ve puzolan katkıları (uçucu kül, tras, cüruf vb.) ile betonun beton santralinde imal edilmesi, kamyonlarla taşınıp imalat sahasına boşaltılması ve dozer yardımıyla serilip silindir ile sıkıştırılması yöntemidir. SSB barajlar beton barajlar ile karşılaştırıldığında avantajları; bağlayıcı içeriğinin (çimento + uçucu kül veya diğer katkıları) düşük olması, su oranı az olduğu için birim hacim ağırlığının yüksek olması, diğer kil veya toprak gövdeli barajlara göre daha düşük hacimde projelendirilmesi, imalatın sürekliliğinin sağlanması sonucunda inşaat süresinin kısa olması, dolu savağın gövde üzerinde olması sebebi ile ekstra kazı ve beton ihtiyacının olmaması olarak gösterilebilir.

Silindir ile sıkıştırılmış betonun bağlayıcı içeriği (çimento + puzolan katkı); zemin yapısına, kırılmış agrega ya da dere malzemesi agrega olarak kullanılacak ise içeriğindeki ince malzeme oranına ve barajın stabilite değerlerine göre değişmektedir. Dünyada ve Türkiye’de imalatı tamamlanan veya devam eden barajların maksimum agrega dane çapı 0 mm ile 75 mm arasında değişmekte olup, son zamanlarda agrega dane çapı 38 mm’ye kadar düşürülerek tasarım yapılmaktadır.

## BÖLÜM 3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA SSB BARAJLAR

### 3.1. Türkiye'deki SSB Baraj Uygulamaları

Ülkemizde 2002-2019 tarihleri arasında imalatı tamamlanarak hizmete açılmış ve yapımı devam eden toplam 65 adet SSB baraj bulunmaktadır (Tablo 3.1.). Türkiye'de ilk olarak Karakaya Barajı memba batardosunda SSB metodu uygulanmıştır. Atatürk, Sır, Berke, Kürtün barajlarının bazı yapılarında SSB yöntemi ile dolgu yapılmış olup, tamamı SSB olarak yapımı tamamlanan Cindere, Beydağ ve Çine ilk barajlardandır [3].



Şekil 3.1. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) baraj tip kesiti

Tablo 3.1. Türkiye'deki silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar

SIRA	BARAJ ADI	SSB BAŞLANGIÇ TARİHİ	SSB BİTİŞ TARİHİ	YÜKSEKLİK	UZUNLUK	SSB HACMİ (m <sup>3</sup> )	KONVANSİYONEL HACİM (m <sup>3</sup> )	ÇİMENTO İÇERİĞİ	PUZOLAN İÇERİĞİ	SU	KABA AGREGA İÇERİĞİ	İNCE AGREGA İÇERİĞİ	KULLANILAN AGREGA BOYUTLARI (mm)
1	Akçakoca	15.05.2015	16.10.2016	75,00	148,00	85.000,00	45.000,00						
2	Akköy I	06.10.2006	07.04.2007	53,00	146,00	46.000,00	55.000,00	100,00	100,00				
3	Akköy II	11.05.2011	12.09.2012	60,00	260,00	101.000,00	95.000,00	85,00	85,00				
4	Ardil	14.05.2014	16.12.2016	54,00	246,00	108.000,00	50.000,00	75,00	50,00	110,0	1.360,00	905,00	0-75 mm
5	Asagi	13.03.2015	31.12.2017	103,00	346,00	1.192.000	150.000,00	130,00	0,00				
7	Astandag	11.11.2011	14.02.2014	69,00	210,00	162.000,00	40.000,00	95,00	0,00				
8	Ayvali	13.02.2013	15.02.2015	177,00	405,00	1.650.000	250.000,00	50.100,00	110.120,00	97,00	1.350,00	726,00	0-40 mm
9	Balkusan	1.10.2010	31.12.2011	48,00	189,00	60.000,00	16.000,00	75,00	50,00				
10	Ballikaya	15.06.2015	31.12.2019	98,00	188,00	99.000,00	14.000,00						
11	Beydag	25.07.2006	20.04.2008	96,00	800,00	2.350.000	300.000,00	60,00	30,00	125,0	2.161,00		0-50 mm
12	Beyhan-I	1.03.2012	31.03.2014	97,00	361,00	1.480.000	181.000,00	90,00	40,00				
13	Beyhan-II	1.01.2017	31.12.2018	60,00	363,00	191.000,00	19.000,00	130,00	0,00				
14	Beyyurdu	1.01.2013	31.12.2014	54,00	176,00	186.000,00	23.000,00	95,00	0,00				
15	Burç	1.01.2008	31.12.2010	70,00	235,00	232.000,00	28.000,00	60,00	5.060,00				0-75 mm
16	Çaltikoru	1.01.2008	31.12.2010	66,00	477,00		800.000,00						
17	Camlica III	15.04.2010	31.10.2010	52,00	186,00	160.000,00	22.000,00	88,00	37,00	110,0	1.415,00	830,00	0-63 mm
18	Çetin	1.01.2018	31.12.2020	160,00		2.400.000	-						
19	Çetintepe	1.01.2011	31.12.2012	39,00	173,00	60.000,00	4.000,00	95,00	0,00				



Tablo 3.1. (Devamı)

SIRA	BARAJ ADI	SSB BAŞLANGIÇ TARİHİ	SSB BİTİŞ TARİHİ	YÜKSEKLİK	UZUNLUK	SSB HACMİ (m <sup>3</sup> )	KONVANSİYONEL HACİM (m <sup>3</sup> )	ÇİMENTO İÇERİĞİ	PUZOLAN İÇERİĞİ	SU	KABA AGREGA İÇERİĞİ	İNCE AGREGA İÇERİĞİ	KULLANILAN AGREGA BOYUTLARI (mm)
44	Kavsaktepe	1.01.2014	31.12.2016	71,00	268,00	330.000,00	20.000,00	81,00	39,00	100,00	1.375,00	915,00	0-61 mm
45	Kelebek	1.01.2014	31.12.2016	60,00	193,00	74.000,00	21.000,00						
46	Ihsaniye	1.03.2017	31.06.2019	69,00		130.000,00	-	75,00	45,00				
47	Köprü	1.12.2010	30.04.2012	103,00	413,00	880.000,00	170.000,00	85,00	45,00				
48	Kotanli I	1.06.2015	28.02.2017	95,00	404,00	640.000,00	40.000,00	85,00	130,00	118,00			
49	Kotanli II	15.05.2014	30.04.2015	85,00	250,00	245.000,00	7.000,00	85,00	130,00				
50	Melen	1.06.2015	31.03.2019	124,00	944,00	1.871.000,00	225.000,00	90,00	60,00	115,00	905,00	1.360,00	0-63 mm
51	Menge	1.08.2010	31.10.2011	73,00	304,00	321.000,00	63.000,00	80,00	40,00				
52	Musatepe	1.01.2013	21.12.2014	66,00	165,00	130.000,00	8.000,00	95,00	0,00				
53	Naras	1.12.2012	28.01.2014	78,00	448,00	600.000,00	77.000,00	110,00	90,00	105,00	1.255,00	910,00	0-75 mm
54	Narli	1.01.2017	31.12.2018	47,00	153,00	49.000,00	19.000,00	65,00	50,00				
55	Oguzlar	1.01.2018	10.01.2019										
56	Oyuk	1.01.2009	11.12.2010	100,00	212,00		470.000,00						0-75 mm
57	Pembelik	1.03.2013	07.10.2014	88,00	500,00	760.000,00	78.000,00	120,00	0,00				
58	Sefaköy	1.01.2010	16.12.2011	45,00	148,00								
59	Silopi	1.01.2010	31.12.2011	80,00	356,00	693.000,00	34.000,00	81,00	39,00	100,00	1.375,00	915,00	0-61,5 mm
60	Sirnak	1.11.2009	09.08.2010	67,00	198,00	186.000,00	45.000,00	125,00	0,00	110,00	1.376,00	917,00	0-75 mm
61	Söylemez	1.01.2020	31.12.2023	109,00	270,00	750.000,00	-						
62	Suçati	23.02.1998	6.10.1999	36,00	192,00	55.000,00	5.000,00	50,00	100,00				0-76 mm
63	Uludere	1.01.2013	31.12.2014	63,00	431,00	392.000,00	68.000,00	100,00	0,00				0-63 mm
64	Yesilkavak	1.01.2016	31.12.2018	88,00	452,00	727.000,00	82.000,00						
65	Yukari Kaleköy	1.03.2014	31.12.2015	150,00	516,00	2.224.000,00	190.000,00	130,00	0,00				



### 3.1.1. İzmir Beydağ Barajı

İzmir ilinde Küçük Menderes Nehri üzerinde 1994 yılında inşaatına başlanılan Beydağ Barajı'nın gövde SSB hacmi 2.350.000 m<sup>3</sup>, konvansiyonel beton hacmi 300.000 m<sup>3</sup>, sulama kapasitesi ise 22.000 hektardır. SSB tipinde yapılan gövde hacmi olarak Türkiye'nin en büyük barajlarından biridir.

Gövde kret uzunluğu 800 metre, talvegten yüksekliği 60 metre, temelden yüksekliği ise 96 m'dir. 18.01.1994 tarihinde işe başlanılan Beydağ Barajı'nda 2002 yılında gövde tipinde değişiklik yapılmış olup sözleşmeye göre iş bitim tarihi 31.12.2009 olmasına rağmen 2007 yılında baraj inşaatı tamamlanarak 09.09.2007 tarihinde su tutma işlemi gerçekleştirilmiştir [2],[4].

Barajın SSB dizaynında 60 kg'ı çimento ve 30 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 90 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmış olup agrega aralıkları 0 - 50 mm arasında değişmektedir [3].



Şekil 3.2. İzmir Beydağ barajı genel görünüm

### 3.1.2. Denizli Cindere Barajı

Denizli ili Güney ilçe merkezinin 5 km güneybatısında, Büyük Menderes Nehri üzerinde yer almaktadır. Baraj enerji ve sulama amaçlı inşa edilmiş olup, 28.640 dekar tarım arazisinin, ayrıca önceden pompajla sulanmakta olan 105.560 dekar arazinin de (Pamukkale Gölemezli ve Çürüksu Sol Sahilin bir kısmı) cazibeyle sulanmasını sağlamaktadır. Cindere Barajı ve HES İnşaatının enerji hissesi %36, tarım hissesi %64'tür. Kurulu gücü 29,31 MW olan ve 88 GWh/yıl enerji üretecek olan yarı gömülü tipte bir Hidroelektrik Santral bulunmaktadır. 01.04.1994 tarihinde işe başlanılan Cindere Barajı'nda 2000 yılında gövde tipinde değişiklik yapılmış olup sözleşmeye göre iş bitim tarihi 14.02.1998 olmasına karşılık süre uzatım ile 2012 yılında baraj inşaatı tamamlanmıştır.

Cindere HES, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve Su Kullanım Hakkı Çerçevesinde tamamlanmış ve elektrik üretimine başlanılmıştır. Cindere Barajı gövde dolgusu, Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) dolgu tipinde olup, Cindere Barajı'nın sulama kapasitesi 16.000 hektardır. 30 MW kurulu güce sahip olan barajın yıllık toplam enerji üretim kapasitesi ise 100 milyon KWh seviyesindedir [2],[4].

SSB gövde hacmi 1.500.000 m<sup>3</sup> olup konvansiyonel beton hacmi 185.000 m<sup>3</sup>'tür. Baraj gövde kret uzunluğu 280 m, talvegten yüksekliği 85 m, temelden yüksekliği 107 m'dir. Barajın SSB dizaynında 50 kg'ı çimento ve 20 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 70 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmış olup agrega aralıkları 0 - 63 mm arasında değişmektedir [3].



Şekil 3.3. Denizli Cindere barajı genel görünüm

### 3.1.3. Aydın Çine Barajı

Aydın'ın Çine ilçesinde Çine Çayı üzerinde inşa edilmiştir. Silindirele sıkıştırılmış beton gövde sınıfında inşa edilen ve bu sınıfta Avrupa'nın en yüksek barajı ünvanına sahip Çine Adnan Menderes Barajı'nın yapılması ilk olarak 1869 yılında Sultan Abdulaziz döneminde gündeme gelmiş ancak baraj o tarihten tam 141 yıl sonra 10.10.2010 tarihinde tamamlanarak hizmete açılmıştır. Baraj sulama, enerji üretimi ve taşkın koruma özellikleriyle ön plana çıkmakta ve bu üç sektörde ülkemize hizmet etmektedir. 136,50 metre yüksekliği bulunan baraj 223.580 dekar alanı sulamakta ve 91.000 dekar araziye taşkınlardan korumaktadır. Çine Barajı ve HES İnşaatının enerji hissesi %47, tarım hissesi %53 (Sulama %37, Taşkın %16)'tür [2], [4].

SSB gövde hacmi 1.560.000 m<sup>3</sup>, konvansiyonel beton hacmi 90.000 m<sup>3</sup> olup talvegten yüksekliği 120,00 m, temelden yüksekliği 137,00 m'dir. Kret uzunluğu ise 300 m'dir. Barajın SSB dizayn raporuna göre iki farklı bağlayıcı dizaynı bulunmakta olup birincisi 85 kg'ı çimento ve 105 kg'ı puzolan olmak üzere toplamda 190 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı içermektedir. İkinci tasarımda ise 75 kg'ı çimento ve 95 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 170 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı bulunmaktadır. Agregalar aralıkları 0 - 75 mm arasında değişmektedir [3].



Şekil 3.4. Aydın Çine barajı genel görünüm



### 3.1.4. Adana Köprü Barajı

Köprü Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES) Adana'nın Kozan ilçesinde Seyhan Nehri'nin Göksu Çayı kolu üzerindedir. Silindirle sıkıştırılmış beton baraj olan Köprü Barajı ve HES, 2013 yılında tam olarak faaliyete geçip enerji üretimine başlamıştır. Toplam 156 MW gücünde 2 adet 78 MW'lık Francis türbine sahiptir. Santralin yıllık elektrik üretim kapasitesi 383,9 GWh'dır [2],[4].

Gövde SSB hacmi 880.000 m<sup>3</sup>, gövde konvansiyonel beton hacmi 170.0000 m<sup>3</sup>, baraj gövdesinin talvegden yüksekliği 100,00 metre, temelden yüksekliği 103,00 metredir. Kret uzunluğu ise 413,00 metredir. Yapılan toplam kazı hacmi 3.287.254 m<sup>3</sup>'tür. Barajın SSB dizaynında 85 kg'ı çimento ve 45 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 130 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 3.5. Adana Köprü barajı genel görünüm

### 3.1.5. Adana Menge Barajı

Menge Barajı, Adana'nın Seyhan Nehri üzerinde bulunmaktadır. İnşaatı, 3 yıl gibi kısa bir sürede tamamlanan Menge Barajı'nın yapımında silindirle sıkıştırılmış beton tekniği kullanılmıştır. Menge Barajı ve HES, 2012 yılında faaliyete geçip enerji üretimine başlamıştır. SSB gövde hacmi 321.000 m<sup>3</sup> olup konvansiyonel beton hacmi 63.000 m<sup>3</sup>'tür. Baraj gövdesinin temelden yüksekliği 66 m, talvegden yüksekliği ise 73 m'dir. Kret uzunluğu 304,00 m olup baraj için yapılan toplam kazı miktarı

2.134.218 m<sup>3</sup>'tür [2],[4]. Barajın SSB dizaynında 80 kg'ı çimento ve 40 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 120 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 3.6. Adana Menge barajı genel görünüm

### 3.1.6. Kahramanmaraş Suçati Barajı

Yap - işlet - devret modeli çerçevesinde hayata geçirilmiş olan Suçati Barajı ve HES projesinde Türkiye'de ilk defa olarak silindirle sıkıştırılmış beton gövdeli baraj inşa edilmiştir. Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde bulunan Suçati Barajı, Güredin Çayı üzerine kurulmuştur. Barajın inşaatı 2000 yılında tamamlanmıştır. Baraj gövdesinin talvegten yüksekliği 34,00 metredir. Temelden yüksekliği 36,00 m, kret uzunluğu 192,00 metredir. SSB gövde hacmi 55.000 m<sup>3</sup> olup konvansiyonel beton hacmi 5.000 m<sup>3</sup> tür [2],[4]. Barajın SSB dizaynında 50 kg'ı çimento ve 100 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 150 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 3.7. Kahramanmaraş Suçati barajı

### 3.1.7. Sakarya Melen Barajı

Melen Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Sakarya ilinin, Kocaali ilçesinde Melen Çayı üzerinde yapılmakta olan barajdır. Barajın asıl işlevi Büyük Melen Projesi kapsamında İstanbul'a içme suyu temin etmektir. Barajdan ikincil fayda olarak elektrik üretilmektedir. Baraj 45 MW kurulu güce sahip olacaktır. SSB ve konvansiyonel beton toplam gövde hacmi 1.873.000 m<sup>3</sup>, konvansiyonel beton hacmi 225.000 m<sup>3</sup>'tür. Gövdenin talvegten yüksekliği 99,00 m, temelden yüksekliği 124,00 m, kret uzunluğu 945,00 m'dir [2],[4]. Barajın SSB dizaynında 90 kg'ı çimento ve 60 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 150 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır ve agrega aralıkları 0 - 63 mm arasında değişmektedir [3].



Şekil 3.8. Sakarya Melen barajı genel görünüm

### 3.1.8. Sakarya Ballıkaya Barajı

Sakarya ili Akyazı ilçesinde bulunmaktadır. Esas amacı içme suyu temini olan Ballıkaya Barajı'nda ikincil hedef aynı zamanda enerji de üretebilmektir. Gövde dolgu tipi silindirele sıkıştırılmış beton olan barajın imalatı devam etmektedir. SSB ve konvansiyonel beton gövde hacmi 900.000 m<sup>3</sup> olup, baraj gövdesinin talvegten yüksekliği 98,00 m, temelden yüksekliği ise 188,00 m'dir. Kret uzunluğu ise 370,00 m'dir [2],[4].



Barajın SSB dizayn raporuna göre iki farklı bağlayıcı dizaynı bulunmakta olup birincisi 62,5 kg'ı çimento ve 62,5 kg'ı puzolan (uçucu kül) olmak üzere toplamda 125 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı içermektedir. İkinci tasarımda ise 87,5 kg'ı çimento ve 87,5 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 175 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı bulunmaktadır. Agrega aralıkları 0 - 63 mm arasında değişmektedir [3].



Şekil 3.9. Sakarya Ballıkaya barajı genel görünüm

### 3.2. Dünyada yapılan SSB Barajlar

Dünyada SSB kullanılan ilk baraj projesi olarak 1960-1961 yıllarında Tayvan'da inşa edilen Shihmen Barajı'nın batardosu kayıtlara geçmiştir. Dünya'da 2019 yılına kadar SSB tekniği ile yapımı devam eden ya da yapımı tamamlanmış barajların sayısı toplam 762 adettir. Bu barajlardan bazıları aşağıdaki tabloda verilmiş olup bir kısmı açıklanmıştır (Tablo 3.2.) [2].

Tablo 3.2. Dünya'daki silindirle sıkıştırılmış beton barajlar [3]

SIRA	BARAJ ADI	PROJE BAŞLANGIÇ TARİHİ	PROJE BİTİŞ TARİHİ	YÜKSEKLİK	UZUNLUK	SSB HACMİ (m <sup>3</sup> )	KONVENSİYONEL HACİM (m <sup>3</sup> )
1	Shimajigawa	09/76	03/81	89,00	240,00	165,00	152,00
2	Copperfield	12/83	09/84	40,00	340,00	140,00	16,00
3	Galesville	07/84	10/85	50,00	290,00	161,00	10,00
4	Kengkou	11/84	11/86	57,00	123,00	43,00	19,00
5	De Mist Kraal	09/84	10/87	30,00	300,00	35,00	30,00
6	Saco de Nova Olinda	07/85	06/87	56,00	230,00	132,00	11,00
7	La Manzanilla	11/86	07/87	36,00	150,00	20,00	10,00
8	Santa Eugenia	01/87	10/88	84,00	290,00	225,00	29,00
9	Urugua-i	10/85	-/89	77,00	687,00	590,00	36,00
10	Tongjiezi	01/86	10/94	88,00	284,00	407,00	448,00
11	Prika	10/82	10/91	40,00	755,00	163,00	197,00
12	Concepcion	12/88	08/90	68,00	694,00	270,00	20,00
13	Asari	07/86	03/93	74,00	390,00	259,00	258,00
14	Kamuro	07/86	08/93	61,00	257,00	136,00	171,00
15	Sakaigawa	03/85	01/93	115,00	298,00	373,00	340,00
16	La Puebla da Cazalla	03/88	12/91	71,00	220,00	205,00	15,00
17	Capanda	02/87	12/07	110,00	1.203,00	757,00	397,00
18	Ryumon	09/87	03/97	100,00	378,00	521,00	315,00
19	Trigomil	12/86	12/93	107,00	250,00	362,00	681,00
20	Petit Saut	07/89	05/94	48,00	740,00	250,00	160,00
21	Cenza	01/92	12/93	49,00	609,00	200,00	25,00
22	Daguangba	06/90	07/95	57,00	827,00	485,00	372,00
23	Cyiya	03/89	03/98	98,00	259,00	396,00	274,00



Tablo 3.2.( Devamı)

SIRA	BARAJ ADI	PROJE BAŞLANGIÇ TARİHİ	PROJE BİTİŞ TARİHİ	YÜKSEKLİK	UZUNLUK	SSB HACMİ (m <sup>3</sup> )	KONVENŞİYONEL HACİM (m <sup>3</sup> )
24	Takisato	10/90	06/00	50,00	445,00	327,00	128,00
25	Shibanshui	12/92	12/98	84,00	445,00	335,00	229,00
26	Gov. Jose Richa	02/95	12/98	67,00	1.083,00	912,00	526,00
27	Acaua	-/93	-/95	79,00	674,00	674,00	60,00
28	Shimagawa	03/91	03/98	90,00	330,00	390,00	126,00
29	Ohnagami	03/93	03/03	72,00	334,00	284,00	78,00
30	Karkheh	02/98	-/02	34,00	350,00	130,00	140,00
31	Shimenzi	06/98	10/01	109,00	176,00	188,00	23,00
32	Jiangya	07/95	-/99	131,00	368,00	1.100,00	286,00
33	Toker	11/96	08/99	73,00	263,00	187,00	23,00
34	Las Blancas	08/97	11/00	32,00	2.795,00	221,00	95,00
35	Çindere	04/94	11/07	107,00	280,00	1.500,00	185,00
36	Peixe Angical	04/02	09/06	39,00	400,00	500,00	82,00
37	Liubo	-/02	-/04	70,00	258,00	130,00	38,00
38	Tha Dan	11/99	01/05	95,00	2.600,00	4.900,00	500,00
39	Bandeira de Melo	-/01	-/05	20,00	320,00	75,00	27,00
40	Miel I	12/97	10/02	188,00	345,00	1.669,00	61,00
41	Takizawa	03/99	03/07	139,00	424,00	810,00	860,00
42	Bureyskaya	01/76	-/09	139,00	810,00	709,00	2.829,00
43	Dachaoshan	10/97	07/02	115,00	460,00	757,00	530,00
44	Pedras Altas	-/00	-/01	24,00	1.090,00	172,00	20,00
45	Mae Suai	11/99	07/02	59,00	340,00	300,00	50,00
46	Wala	01/99	04/03	52,00	300,00	240,00	20,00

### 3.2.1. ABD Willow Creek Barajı

ABD'deki ilk SSB barajlardan biridir. Gövde dolgusu sadece silindirle sıkıştırılmış beton olarak projelendirilerek imalatı yapılmıştır. Baraj Columbia Nehri üzerinde 1981 yılında başlanmış olup, 1983 yılında tamamlanmıştır [2].

Willow Creek Barajı'nın temelden yüksekliği 52,00 metre ve kret uzunluğu 543,00 metredir. Taşkın kontrolü amacıyla yapılmış olup 331.000 m<sup>3</sup> hacminde SSB barajdır. Barajın SSB dizaynında 47 kg'ı çimento ve 19 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 66 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 3.10. ABD Willow Creek barajı genel görünüm

### 3.2.2. Çin - Lington Barajı

Hongsui Nehri üzerinde taşkın kontrolü, elektrik üretimi ve sulama amacı ile projelendirilmiş olup, silindirle sıkıştırılmış beton dolguyla inşa edilen bir barajdır. Kret yüksekliği 217,00 m ve kret uzunluğu 832,00 m'dir. Yapımı tamamlanan SSB barajlar arasında en uzun krete sahip olan barajlardandır. SSB gövde hacmi

4.952.000 m<sup>3</sup> olup, konvansiyonel beton hacmi 2.506,000 m<sup>3</sup>'dür. Baraj gövdesi imalatı için yaklaşık 20.000.000 m<sup>3</sup> hacimde kazı yapılmıştır.

Diğer barajlardan farklı olarak gemi ulaşımına olanak sağlayan bu baraj, aynı zamanda 500 tona kadar kapasitesi olan dünyanın en uzun gemi asansörüne sahiptir. 2001 yılında başlayan baraj inşaatı 2009'da tamamlanmıştır [2].

Barajın SSB dizayn raporuna göre iki farklı bağlayıcı dizaynı bulunmakta olup birincisi 99 kg'ı çimento ve 121 kg'ı puzolan olmak üzere toplamda 220 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı içermektedir. İkinci tasarımda ise 86 kg'ı çimento ve 119 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 195 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı bulunmaktadır [3].



Şekil 3.11. Çin Lington barajı genel görünüm

### 3.2.3. İtalya - Alpe Gera Barajı

İtalya'nın kuzeydoğusunda Cormor Nehri üzerinde kret uzunluğu 530,00 m ve yüksekliği 174,00 m'dir. Barajın SSB gövde hacmi 1.685.000 m<sup>3</sup>'dir. 1961 yılında inşa edilmeye başlanmış olup, 1964 yılında tamamlanan baraj silindirle sıkıştırılmış beton dolgu barajlar arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

SSB beton inşaatı sırasında kullanılan beton yerleştirme teknikleri biraz daha geliştirilmiş olup, baraj gövdesinde derzlere yer verilmiştir. Elektrik üretim ve sulama amacı ile yapılmıştır [2].



Şekil 3.12. İtalya-Alpe Gera barajı genel görünüm

### 3.2.4. Etopya - Gibe III Barajı

Gibe III barajı elektrik üretimi için projelendirilmiş olup Afrika'nın en büyük 3. barajıdır. 2008 yılında inşasına başlanan baraj 2016 yılında tamamlanmıştır.

Baraj yüksekliği 246,00 m, kret uzunluğu 630,00 m, silindir ile sıkıştırılmış beton hacmi 6.200.000 m<sup>3</sup> ve konvansiyonel beton hacmi 200.000 m<sup>3</sup> olarak imalatı tamamlanmıştır. Barajın SSB dizaynında 70 kg'ı çimento ve 45 kg'ı puzolan olmak üzere toplam 115 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 3.13. Etopya-Gibe III barajı genel görünüm



### 3.2.5. Miel I Barajı

Kolombiya'nın güneyindeki Norcasia kentinde La Miel nehri üzerinde silindirik sıkıştırılmış beton dolgu barajı olarak inşa edilen bir barajdır. Barajın temelden yüksekliği 188,00 m'dir. Kret uzunluğu 345,00 m olup, SSB hacmi 1.669.000 m<sup>3</sup>, konvansiyonel beton hacmi 61.000 m<sup>3</sup> olarak tamamlanmıştır. Baraj dizayn raporuna göre bağlayıcı olarak sadece 85 kg çimento kullanılmıştır. Bu baraj hidroelektrik santrali olarak enerji üretim amacıyla tasarlanmıştır.

İnşaatı 1997 yılında başlamış olup 2002 yılında tamamlanmıştır. İlk tasarımı beton kemer baraj olarak düşünülürken kazı maliyetinin ciddi rakamlara ulaştığı tespit edilince dolgu tipi SSB olarak değiştirilmiştir.

ABD Mühendisler Birliği barajın dolgu imalatı sırasında bir takım testler yapmıştır. Agregası, çimento, kum ve SSB numuneleri alınarak Kuzey Pasifik Malzeme Laboratuvarında incelenmiştir. 1995 yılında testlere başlayan laboratuvarında 7, 28, 90, 180 ve 365 günlük periyotlarla çalışmalar yapılmıştır. Basınç dayanımı, çekme dayanımı, genleşme ve yük dayanımı incelenmiştir. Testlerin tamamlanması yaklaşık 2 yıl sürmüştür. Böylelikle 1997 yılında inşası başlamıştır. Barajın kurulu gücü 396 MW'tır [2].



Şekil 3.14. Miel I barajı genel görünüm

### 3.2.6. Malezya-Murum Barajı

Baraj gövdesi, Rajang Nehri havzasının en üst kısmındaki Murum Nehri üzerinde, projelendirilmiştir. Rajang nehrinin üst kısmında Pelagus, Bakun, Murum ve Belaga olmak üzere dört basamak vardır. Murum Hidroelektrik Projesi, dört adımın ikinci adım hidroelektrik projesidir. 2008’de inşasına başlanan hidroelektrik santrali 2015’de tamamlanarak su tutmaya başlamıştır. Barajın gövde yüksekliği 146,00 m, kret uzunluğu 440,00 m olup, SSB hacmi 1.520.000 m<sup>3</sup> ve konvansiyonel beton hacmi 140.000 m<sup>3</sup> olarak tamamlanmıştır [2].

Barajın SSB dizayn raporuna göre iki farklı bağlayıcı dizaynı bulunmakta olup birincisi 88 kg’ı çimento ve 88 kg’ı puzolan olmak üzere toplamda 176 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı içermektedir. İkinci tasarımda ise 65 kg’ı çimento ve 72 kg’ı puzolan olmak üzere toplam 137 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı bulunmaktadır [3].



Şekil 3.15. Malezya-Murum barajı genel görünüm

## BÖLÜM 4. TÜRKİYEDEKİ BARAJLARDA ENJEKSİYON UYGULAMALARI

### 4.1. Dalaman Akköprü Barajı Enjeksiyon Uygulamaları

Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde planlanan Akköprü Barajı'nın talvegten yüksekliği 112,00 m olup, temelden yüksekliği 162,00 m'dir. Baraj gövdesinin oturacağı ana kayayı oluşturan peridotit-serpantinlerdeki muhtemel sızma derinliğini arttırmak ve baraj gövdesinde oluşması beklenen kaldırma kuvvetini azaltmak amacı ile baraj gövde aksına 1 sıra perde enjeksiyonu yapılmıştır. Enjeksiyon metodolojisi 24 m'lik anolar halinde azalan ano yöntemine göre imalattır. 76 mm çapında, kademe koyları 5 m olacak şekilde, su sirkülasyonu sağlayan, zemini örselemeden açan rotari tip makineler kullanılmıştır. Tablo 4.1.'de Akköprü Dalaman Barajı enjeksiyon karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4.1. Akköprü Dalaman Barajı enjeksiyon şerbeti karışım oranları

Karışım Oranı	Su	Çimento	Bentonit		Kum		Hacim
Çimento/Su	kg	lt	%	kg	%	kg	lt
1/3	150	50	5	2,5	-	-	168
2/3	150	100	4	4	-	-	186
1/1	150	150	3	4,5	-	-	203
7/5	150	210	2	4,2	-	-	222,5
7/5	150	210	2	4,2	25	52,5	235,03
7/5	210	108	2	4,2	50	105	249,57

Enjeksiyon kuyusuna Tablo 4.1.'de belirtildiği gibi 1/3 çimento/su oranı ile başlanıp, manometrede artış olmadığı görülmüş, bu nedenle daha yoğun karışım olan 2/3 ile devam edilmiştir. Yine manometrede artış olmadığı için 1/1 karışım ardından 7/5 karışım ile devam edilip, eğer hala manometre sabit ise çimentonun %25-%50'si kadar kum ilave edilmiştir (Bu durumda da manometre sabit kalmış olsaydı, enjeksiyonun priz alması beklenip özel kimyasal maddeler kullanılırdı). Bu barajda

ana kaya birimi Peridotit-Serpantin yarı geçirimli olduğu için kumlu karışımlar kullanılmadan refü elde edilmiştir. Perde kuyularında enjeksiyon basınçları  $P_t = 0,33H$  olarak uygulanmıştır. Yeraltı sularında sülfat sorununa rastlanmadığı için PKÇ/A 32,5 Portland çimentosu kullanılmıştır.

#### 4.2. Boyabat Barajı Enjeksiyon Uygulamaları

Boyabat Barajı, beton ağırlık gövde tipinde projelendirilmiş olup, barajın talvegten yüksekliği 150,00 m, temelden yüksekliği ise 195,00 m'dir. Baraj gövdesi altındaki kayalar sedimanter ve metamorfik özellikte olup, kireçtaşı ve şisttir. Boyabat Barajı inşaat kapsamında sağ sahilde 4 adet ve sol sahilde 4 adet olmak üzere toplam 1850 metre enjeksiyon galerisi yapılmıştır.

Baraj gövde dolgusu alüvyon ve benzeri geçirimli zeminlere oturtulduğu durumlarda, enjeksiyon imalatı yapılmadan önce zemin vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılarak enjeksiyon imalatlarına başlanır. Eğer dolgu baraj farklı oturmalara tolerans göstermeyecek baraj tipinde ise bütün ayrılmış malzemeler kaldırılıp, sahanın enjeksiyon kotuna kadar beton dökülmesi sonrasında enjeksiyon delgilerine başlanır.

Enjeksiyon imalatına ilk olarak M<sub>1</sub> karışımı ile başlanmakta, hala kuyuda alış var ise içinde priz hızlandırıcı katkısı olan M<sub>2</sub> karışımı katılarak devam edilmektedir. Bu durumda da manometre basıncı değişmez ise kumlu karışıma geçmeden bentonitli karışım enjekte edilmektedir. Tablo 4.2.'de enjeksiyon şerbeti karışım oranları ve Tablo 4.3.'de enjeksiyon malzemeleri verilmektedir.

Tablo 4.2. Enjeksiyon şerbeti karışım oranları

M1= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı
M2= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Priz Hızlandırıcı
M3= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Bentonit
M4= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Bentonit+ % 50 Kum
M5= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Bentonit+ % 100 Kum
M6= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Bentonit+ % 150 Kum
M7= Su+ Çimento+ Süper akışkanlaştırıcı+ Bentonit+ % 200 Kum



Tablo 4.3. Enjeksiyon şerbeti karışım malzemeleri

Çimento	CEM II B-P 32,5 R (Ekstra ince) (Akçansa-Ladik)
Su	Derin kuyulardan temin edilmektedir
Rheobuild 2000 PF	Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı (BASF-YKS)
Pozzolith 110 HE	Priz hızlandırıcı kimyasal katkı (BASF-YKS)
Bentonit	Karakaya bentonit
Kum	Ladik kum

### 4.3. Cindere Barajı Enjeksiyon Uygulamaları

Cindere Barajı silindir ile sıkıştırılmış beton baraj olarak projelendirilmiştir. 36,00 m kalınlığındaki alüvyon tabakası kaldırılarak baraj gövde temeli anakaya olan paleozoik şistler üzerine oturtulmuştur. Uygulama projesinde 1 ano uzunluğu 24,00 m alınmış olup, çatlakların seyrek olması durumu ve jeolojik koşullar nedeni ile 12,00 m ve 13,00 m’de alınmıştır. Enjeksiyon kuyularında son iki kademe boyu 2,50 m, diğer kademe boyları 5,00’er m alınmıştır. Enjeksiyon basıncı 2,50 m’lik son kısımda 0,33H, genel olarak 0,23H olarak önerilmiştir. Tablo 4.4.’de enjeksiyon şerbeti karışım oranları verilmektedir.

Tablo 4.4. Cindere Barajı perde enjeksiyon karışım oranları

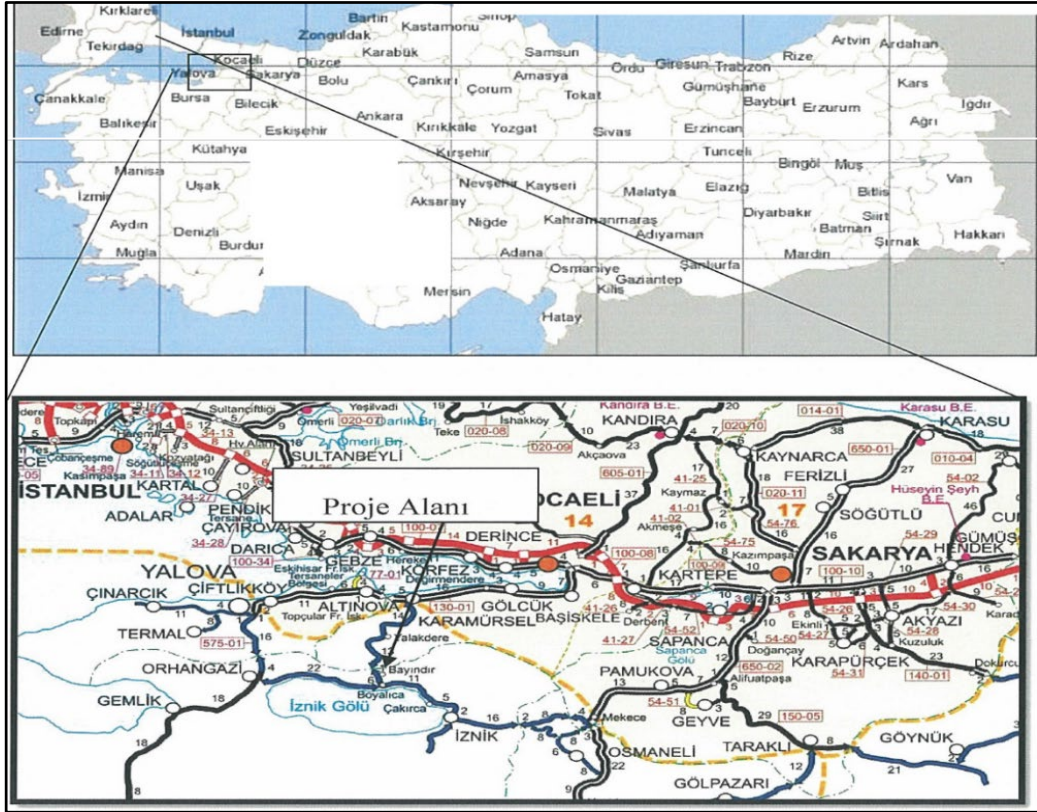
Karışım Oranı	Çimento	Su	Bentonit	Kum	Hacim	Yoğunluk	
Çimento/Su	kg	lt	%	kg	kg	lt	gr/cm <sup>3</sup>
1/3	50	125	5	2,5	-	167,37	1,21
2/3	100	110	4	4	-	184,36	1,38
1/1	150	105	3	4,5	-	201,56	1,51
7/5	210	108	2	4,2	-	220,50	1,65
7/5 + % 25 kum	210	108	2	4,2	37,5	235,03	1,71
7/5 + % 50 kum	210	108	2	4,2	75	249,57	1,76
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	3,05	1		2,55	2,58		

Uygulamaya ilk karışım olan 1/3 ile başlanmış olup, manometre basıncında herhangi bir artış olmadığı için diğer karışımlara geçilerek tamamlanmıştır. Ancak herhangi bir karışım ile enjeksiyon yapılırken manometre basıncı değişir ise o karışım ile refü alıncaya kadar devam edilmiştir.

## BÖLÜM 5. İHSANIYE BARAJI YERİ VE GENEL JEOLojİSİ

### 5.1. Barajın Yeri

1/125.000 ölçekli Bursa G23- D1 paftasında 4400000 - 4403000 K ve 719000 - 721000 D koordinatları içinde yer alan Karamürsel İhsaniye Barajı, Yalakdereyi oluşturan önemli kollardan biri olan Suludere üzerinde, İhsaniye Köyü'nün doğusundaki Şerbet Tepe ile Gıcıklı Sırtları arasında yer almakta olup, sulama ve içme suyu amacı ile projelendirilmiştir (Şekil 5.1.). Baraj yerinin Karamürsel'e uzaklığı yaklaşık 10 km'dir [5].



Şekil 5.1. İhsaniye barajı haritadaki yeri [5]

Şekil 5.2.'de proje alanının 10.02.2016 ve 23.04.2018 tarihli uydu görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.3.'te ise barajın yükselişi sırasında çekilmiş bir hava fotoğrafı sunulmaktadır.



Şekil 5.2. İhsaniye barajı proje alanı uydu görüntüsü





Şekil 5.3. İhsaniye barajı inşa görüntüsü

## 5.2. Proje Karakteristikleri

İhsaniye Barajı rezervuar alanı  $8,97 \text{ hm}^3$  olup sulama ve içme suyu amaçlı inşa edilmektedir. Tutulacak su hacmi 1440 ha (hektar) alanı sulayabilecektir. Proje karakteristikleri Tablo 5.1.'de verilmektedir.

Tablo 5.1. İhsaniye Barajı proje karakteristikleri [5]

<b>AMACI</b>	İçme-Kullanma Sulama Suyu
<b>Hidroloji ve Su Kullanımı</b>	
Drenaj Alanı	37,80 km <sup>2</sup>
Yıllık Ortalama Yağış	961,50 mm
Yıllık Toplam Buharlaşma	1024,30 mm
Yıllık Ortalama Akım	18,43 hm <sup>3</sup>
Sulamaya Verilen Su	4,41 hm <sup>3</sup> (Avcıdere ile birlikte)
Regülasyon Oranı	% 83,94
İçme Suyuna Verilen Su	25,44 hm <sup>3</sup> (Avcıdere ile birlikte)
<b>Baraj Gölü</b>	
Minimum İşletme Kotu	204,00m
Normal Su Kotu	232,00 m
Maksimum Su Kotu	234,37 m
Minimum Göl Hacmi	1,000 hm <sup>3</sup>
Normal Göl Hacmi	8,947 hm <sup>3</sup>
Maksimum Göl Hacmi	10,177 hm <sup>3</sup>
Aktif Depolama Hacmi	7,947 hm <sup>3</sup>
Maksimum Göl Alanı	0,5616 km <sup>2</sup>
Normal Göl Alanı	0,5076 km <sup>2</sup>
Minimum Göl Alanı	0,1232 km <sup>2</sup>
<b>Baraj Tipi</b>	Silindire Sıkıştırılmış Beton Baraj
Kret Kotu	234,50 m
Talveg Kotu	171,50 m
Barajın Talvegden Yüksekliği	63,00 m
Barajın Temelden Yüksekliği	69,00 m
Kret Uzunluğu	222,25m
Kret Genişliği	8,00 m
Memba Şevi	1Y/10D
Mansap Şevi	0.8Y/1D
Toplam Gövde Hacmi	135 000 m <sup>3</sup>
<b>Dolusavak</b>	
Yeri	Gövde Üzerinde
Dolusavak Genişliği	25 m
Boşaltım Kanalı Genişliği	25 m
Boşaltım Kanalı Eğimi	1/0.8
Boşaltım Kanalı Boyu	51.60 m
Enerji Kırıcı Boyu	11.40
Tipi	Karşıdan Alışlı,Kontrolsüz
Katastrofal Taşkın Debisi	229,61 m <sup>3</sup> /s
Yaklaşım Kanalı Kotu	171,50 m
Dolusavak Eşik Kotu	232,00 m
Kret (Eşik) Uzunluğu	25,00 m
Boşaltım Kanalı Uzunluğu	44,46 m
Enerji Kırıcı Havuz Eni ve Boyu	B=25,00 m, L=15,00 m
Enerji Kırıcı Havuz Taban Kotu	168,50 m

Tablo 5.1. (Devamı)

<b>Kondüvi</b>	
Yeri	Gövde İçerisinde
Tipi	Karesel
Kapasitesi (Q <sub>25</sub> )	33,30 m <sup>3</sup> /s
Kondüvi Giriş Taban Kotu	171,50m
Kondüvi Çıkış Taban Kotu	170,50 m
Boyutlar	3 m x 3 m
Uzunluğu	50,00 m
Eğimi	0,02
<b>Dipsavak</b>	
Boyu	57.85m
İç çapı	1.100 m
Eğimi	% 1.0
Giriş Kotu	173.10m
Çıkış Kotu	172.565m
Sualma Yapısı Tipi	Kademeli
1. Kademe	1000 mm (225.00 Kotu)
2. Kademe	1000 mm (218.00 Kotu)
3. Kademe	1000 mm (211.00 Kotu)
4. Kademe	1000 mm (204.00 Kotu)
Enerji Kırıcı Tipi	Çarpma Kirişi
<b>Memba Batardosu</b>	
Membası shotcrete kaplı kaya dolgu	
Kret Kotu	177.50
Kret Genişliği	5,00 m
Memba Şevi	1.8Y/1D
Mansap Şevi	1.8Y/1D
Talvegden Yüksekliği	3,50 m
Temelden Yüksekliği	9,50 m
Enerji Kırıcı Havuz Eni ve Boyu	B=25,00 m, L=15,00 m
Enerji Kırıcı Havuz Taban Kotu	168,50 m
<b>Kondüvi</b>	
Yeri	Gövde İçerisinde
Tipi	Karesel
Kapasitesi (Q <sub>25</sub> )	33,30 m <sup>3</sup> /s
Kondüvi Giriş Taban Kotu	171,50m
Kondüvi Çıkış Taban Kotu	170,50 m
Boyutlar	3 m x 3 m
Uzunluğu	50,00 m
Eğimi	0,02

### 5.3. Çalışma Yöntemi

İhsaniye Barajı gövde aksı ve çevresinde planlama aşamasında toplam derinliği 687 m olan 14 adet, kesin proje aşamasında ise toplam derinliği 111 m olan 4 adet sondaj kuyusu açılarak gövde altı zeminin geoteknik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Gövde aksı ve çevresinde oturacak baraj ve baraj yapıları olan dolusavak, kondüvi, batardoların temel altındaki zeminlerinin cinsi, kayaların farklılıkları ve jeolojik özelliklerinin belirlenmesi için temel sondaj kuyuları açılmıştır. Yapılan sondajlar sırasında ortamın taşıma gücünü, oluşabilecek farklı zemin oturmalarını

hesaplayabilmek için karot numuneler alınmış ve bunlar üzerinde tek eksenli basma deneyleri yapılmıştır. Baraj aks yeri geçirimsizliğini tespit etmek amacı ile permeabilite (geçirgenlik) ve basınçlı su (BST) testleri yapılmıştır. Elde edilen veriler, baraj gövdesi içinden ana kayanın içine doğru yapılacak perde enjeksiyonu alış değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir [5].

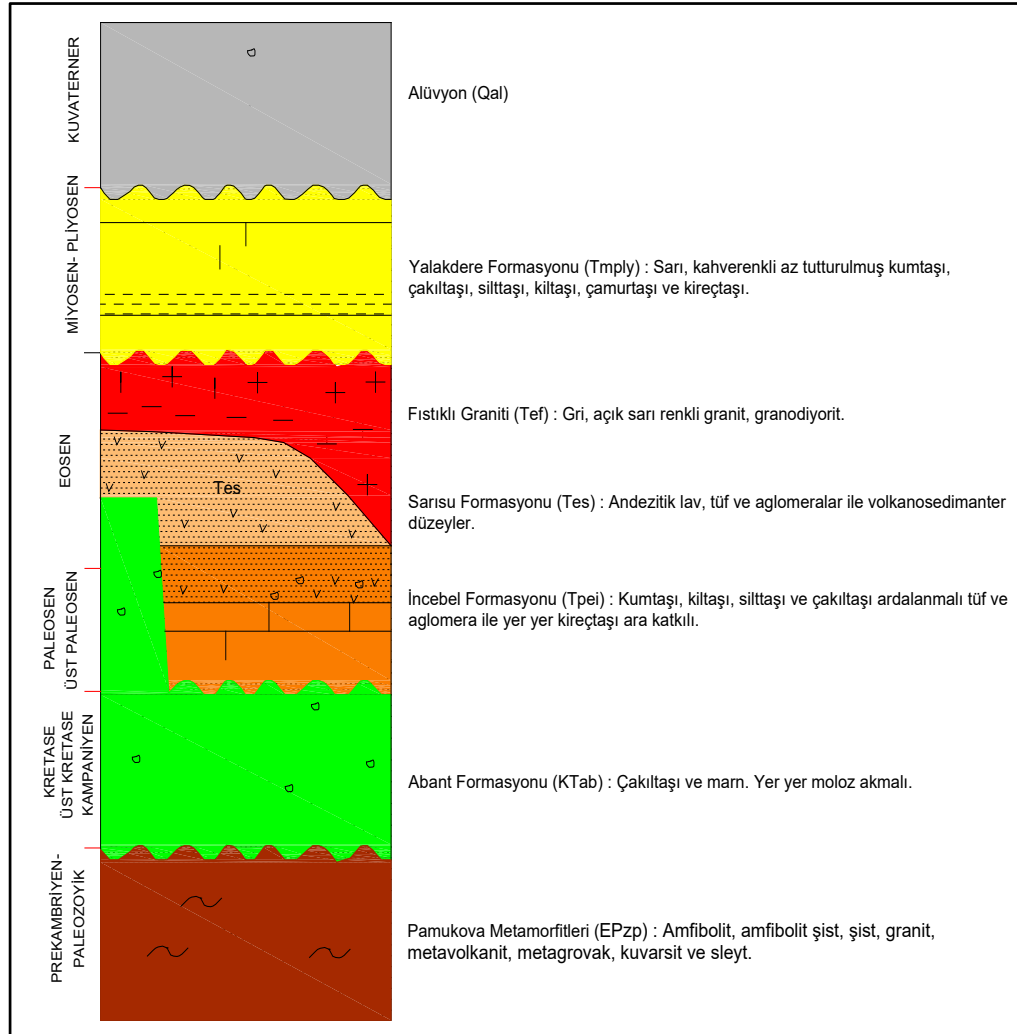
#### **5.4. Genel Jeoloji**

Çalışma alanı, Rodop - Pontid kuşağının İstanbul Zonu ile Sakarya Kıtası arasındaki Armutlu - Almacık - Arkotdağı zonu üzerinde ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun Sapanca - Gölcük - Karamürsel kolu ile Geyve - İznik - Gemlik kolu arasında yer alan parçalanarak dağılmış katmanların iç içe girdiği yapıdan oluşmuştur.

Çalışma alanı temelinde bulunan jeolojik yapı Prekambriyen - Paleozoyik yaşlı Pamukova Metamorfizmaları'ndan oluşur. Bu temel üzerinde sırası ile Geç Kretase - Eosen yaşlı Abant Formasyonu, Geç Paleosen - Orta Eosen yaşlı İncebel Formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu Formasyonu'ndan oluşan temeli örten sedimanter ve volcano - sedimanter birimler bulunmaktadır. Tabakalar iç içe girmiş bir yapıdadır [5]. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 5.4.'te sunulmaktadır.

##### **5.4.1. Fıstıklı graniti (Tef)**

Baraj gövde sahası alanındaki tüm granitik kayalar ilk kez Akartuna (1968) tarafından temel ile bağlantılı granitler olarak yorumlanmış, sonrasında granitlerin Sarısu Formasyonu olduğu Göncüoğlu ve diğerleri (1986) tarafından, Erendil ve diğerleri (1991) tarafından fıstıklı graniti olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.5.). Baraj aks yeri güneyinde yüzeylenen granitler temele ilişkin granitler olup, yaşları Paleozoyik olarak kabul edilir.



Şekil 5.4. İnceleme alanının geliştirilmiş stratigrafik kesiti



Şekil 5.5. Baraj aks yerindeki granodiyonitlerin genel görünümü



Yapı olarak gri, bazen pembe renkli, ayrıışmış seviyeleri açık sarı renkli, orta taneli, sert ve masif olarak belirlenmiştir. Petrografik incelemelerde kayaçlar orta taneli, holokristalen, çoğunlukla granüler, hipidiyomorf, seyrek olarak porfiritik dokulu, yoğun piritli olup granodiyoritik bileşimli olarak tanımlanmıştır.

Baraj gövde zemini altında bulunan granitler genellikle iri kristalli, pembe renkli, alkali feldispatlı, koyu mineralli monzogranit ile ince taneli, açık renkli, koyu mineralli granodiyoritten oluşmaktadır (Şekil 5.6.). Çoğunlukla görülen bu iki kaya türü haricinde, alkali feldispatça fakir, iri ve oval yuvarlak kuvars daneli, porfirik dokulu ve kuvars bakımından diğer tür kayaçlara nazaran zengin granodiyoritler de yer almaktadır. Granitik kütle içerisinde ayrıca kuvars porfiri stoklan ve riyolit dayklar bulunmaktadır. Granitik kütlenin içerisinde, ayrıca birçok aplitik dayk, graniti kesmekte ve ona göre daha taze halde bulunmaktadır. Granit bulunduğu alanın güney kesimlerinde kısmen daha taze halde bulunurken kuzeye gidildikçe yoğun alanı kaplamıştır. Bu değişim nedeni ile kayaç dokusu tamamen bozulmuştur. Feldispatlar granit bünyesinden ayrılmış ve geriye kuvars minerali ile birlikte az miktarda koyu renkli mineraller kalmıştır. Kayaç bu durumda az çimentolu, açık kahverengi, koyu sarı renkli, orta boylu parçalı bir kayaç görünümündedir. Granitin iç kesimlerindeki aşırı bozulmuş granit içerisinde, 20 -30 m genişliğinde, küçük mostralara şeklinde, değişime uğramamış taze granitlere de rastlanmaktadır.



Şekil 5.6. Baraj göl alanı genel görünüm

Proje alanını kaplayan granodiyoritler gri, sarımsı renkte, çok sert - sert, sağlam, dayanımlı, masif görümlü, porfirik dokulu ve fenokristalli, yoğun eklem, kırık ve çatlaklı, çatlakları demiroksit yüzeylenmeli, kuvars dolgulu olup üst kesimleri, yoğun süreksizlik yüzeyleri boyunca atmosferik şartlarda değişime uğramış, küresel bozunma ve çoğunlukla arenalaşma oluşmuştur. Baraj gövde inceleme alanında granitlerden yapılan petrografik tayinlerde kayacın pertitik ortoz niteliğinde, öz şekilsiz alkali feldispat, yarı şekilli plajiyoklazdan ve bu minerallerin arasındaki öz şekilsiz kristaller halindeki kuvarstan oluştuğu, alterasyonla serizitleşmenin geliştiği görülmüştür.

Fıstıklı Graniti, Armutlu yarımadasında önemli bir alana sahip olan Eosen yaşlı Sarısu Formasyonunun volkanik kayaları ile yakın ilişkili olup bu yay volkanizmasıyla eş zamanlı yerleşim kayaları olarak temsil edilir. Fıstıklı Graniti, Pamukova Metamorfikleri ile Sarısu Formasyonunu kesmektedir. Ayrıca Sarısu Formasyonudur.

#### **5.4.2. Yamaç molozları (Qym)**

Baraj gövde inşaa alanında bulunan yamaç molozları, sağ ve sol sahildeki dik eğimler nedeniyle, yamaçtan aşağıya doğru taşınan blok, çakıl, kum, silt vb. malzemedir oluşur. Yamaç molozunun yapısı, üzerinde taşınan birime bağlı olarak değişken kaya türlerinden oluşur. Yamaç molozunu oluşturan gerecin bir kısmı, yağışlar ile taşınan çoğunluğu granit ve granodiyorit gibi magmatik kayaların, daha az olarak da volkanik kayaların çakıllarından oluşur.

Baraj gövde sahası alanında, Sulu Dere'nin oluşturduğu vadilerin yamaçlarında yaygın olarak yüzeylenen Fıstıklı Granitin yüzeyde ayrışması ve bu gerecin tekrar işlenmesi nedeniyle proje alanında büyük bir çoğunluğu granit ve granodiyoritten oluşan yamaç molozları çoğunlukla görülür.

Yamaç molozu malzeme dağılımı kaba daneler aşağıda ince daneler yukarıda olacak şekilde olup orta derecede boylanmış, boşlukların bir kısmı kum ile dolmuş ve köşeli,

yanal yönde derecelenmelidir. İnceleme alanında, aks yerinin sağ ve sol sahilinde yamaç molozu kalınlığı 1,00 - 4,50 m arasında değişmektedir. Ancak, proje alanında açılan temel sondaj kuyularında 2,50 ile 4,50 metreye ulaşan kalınlıklarda bulunmuştur.

#### **5.4.3. Alüvyon (Qal)**

Baraj rezervuar alanını besleyen derelerin (Yalak Dere, Sulu Dere, Avcı Dere, Akçat Dere) taşıyarak getirdiği malzemelerin birikimi ile alüvyonlar oluşmuştur. Akarsu çökellerinden oluşan alüvyonlar, akarsu kanal çökelleri ile taşkın ovası çökelleriyle temsil edilir. Kanal çökelleri çoğunlukla örgülü akarsu ve menderes çökelleri niteliğindedir. Alüvyonlar, başlıca volkanik, metamorfik ve magmatik kökenli blok, çakıl, kum, silt ve kil, mil gibi akarsu temelli çökellerden oluşur.

Sulu Dere morfolojik yapısı gereği dar bir vadi içerisinde akmakta olup 1,0 - 2,0 m kalınlığında alüvyona sahiptir.

Proje sahasında, ayrışma ürünü olarak tespit edilen konsolide killer yer almaktadır. İhsaniye Barajı kapama seddesi güzergahında Devlet Su İşleri tarafından 2001 ve 2003 yılında yapılan temel sondajlarda kesilen kahverengi renkli, yer yer ince çakıllar içeren sık dokulu olan killer plastik özelliğe sahiptir. Çalışma alanındaki birimler üzerinde tabakaların ayrışması ile oluşan ve bitki örtüsü ile kaplı alanlarda gelişmiş olan nebati topraklar da yaygın olarak gözlenmektedir. Nebati topraklar 0,50 - 1,00 m ile 2,0 - 3,0 m kalınlığa ulaşan kırmızımsı, sarımsı ve kahve renkli, çoğunlukla kumlu, killi, siltli ve ara ara çakıllı yapıdadır.

## **BÖLÜM 6. İHSANIYE BARAJI GÖVDE ZEMİNİ SONDAJ ÇALIŞMALARI**

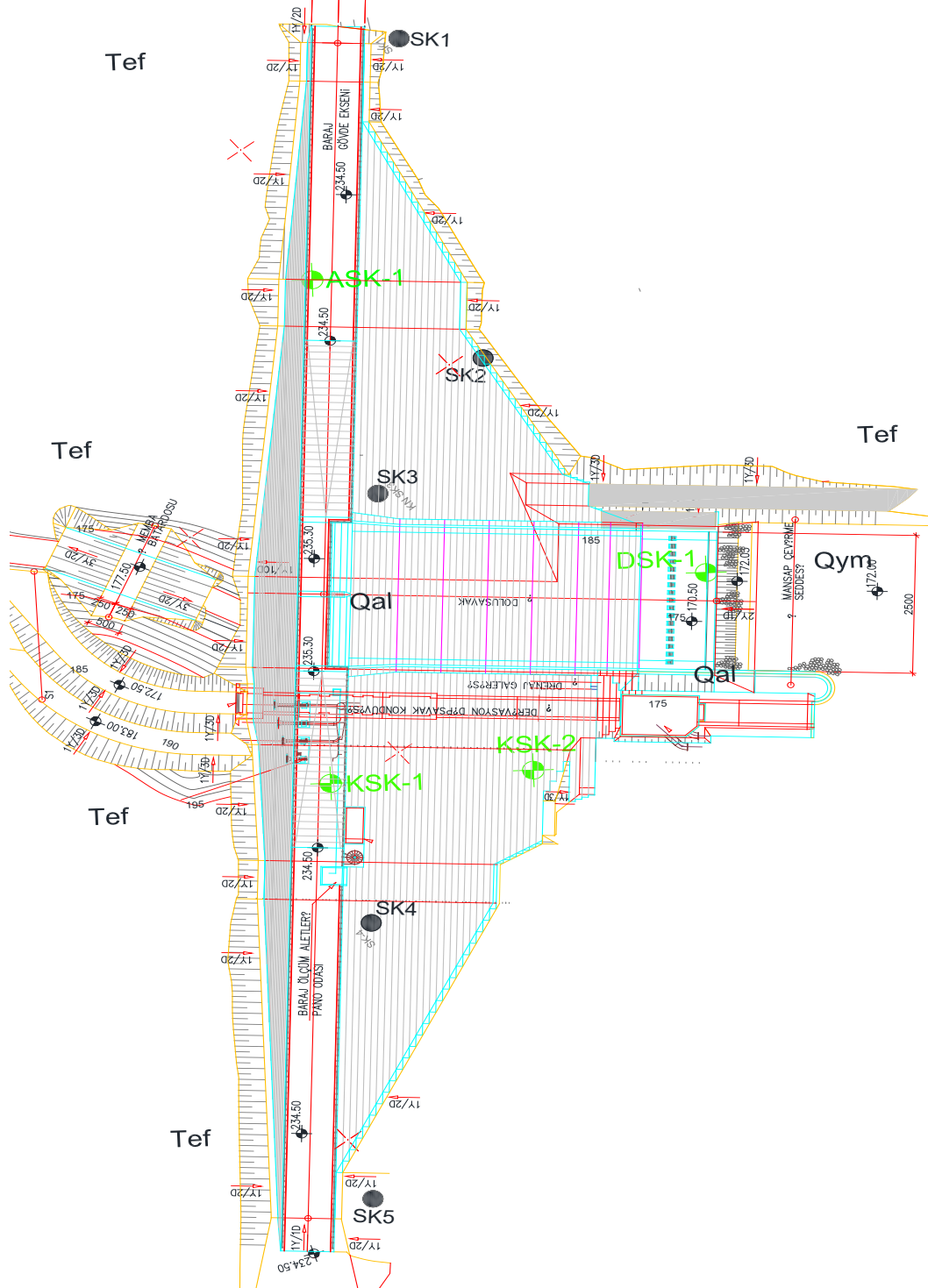
Yüksek taşıma gücü olan kayalar, yüksek erozyon direnci, sızma direnci olan ve kayma riski olmayan, fay bulunmayan kaya temeller SSB barajlar için en uygun temel tipidir.

Karamürsel İhsaniye Barajı çekirdek dolgu SSB memba tarafı (önyüzü) 1/10 eğimli geçirimsiz konvansiyonel beton, mansap tarafı (arka yüzü) 0,8/1 eğimli yine geçirimsiz konvansiyonel beton ile basamak şeklinde projelendirilmiştir. Dolusavak gövde üzerine kontrolsüz olarak 25,00 m genişlikte gövde ortasına yerleştirilmiştir. Baraj genleşmelerini kontrol altına alabilmek için 15,00 m’de bir su tutucu bant yerleştirilmiş olup memba tarafında OL Tipi 35/10 kullanılarak mansap tarafına doğru çatlak yönlendirici naylon ile derz boşluğu sağlanmıştır. Mansap tarafında dolusavak yapısı inşaat derzlerinde ise A tipi 25/5, B tipi 20/8 su tutucu bant kullanılarak projelendirilmiştir. Gövde SSB hacmi: 133.000,000 m<sup>3</sup>, konvansiyonel beton hacmi: 33.000,000 m<sup>3</sup>’tür. İhsaniye Barajı silindir ile sıkıştırılmış beton dizayn raporuna göre, 75 kg CEM 1 42,5 R sınıfı çimento ve 45 kg Zonguldak Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen uçucu kül kullanılarak toplamda 120 kg bağlayıcı ile imalat yapılmıştır. Konvansiyonel beton olarak projede gösterilen C20 sınıfı beton kullanılmıştır.

### **6.1. Planlama Aşaması ve Kesin Proje Aşaması Sondaj Kuyuları**

Planlama çalışmaları sırasında Devlet Su İşleri tarafından 2001-2004 yıllarında baraj gövde sahasındaki ve havza içerisindeki tabaka birimlerinin temel özelliklerini tespit etmek amacı ile toplam 687 metre derinliğinde 14 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan SK-1,2,3,4,5 planlama aşamasında baraj gövde aks ekseninde açılmış olup, kesin proje aşamasında ise toplam 111 metre uzunluğunda 4 adet sondaj kuyusu

(KSK-1, KSK-2, ASK-1, DSK-1) açılmıştır. Bu kuyuların baraj gövde üzerinde yerleşimi Şekil 6.1.'de görülmektedir [5].



Şekil 6.1. Baraj gövdesi altında açılan sondaj kuyuları

Devlet Su İşleri tarafından planlama aşamasında açılan temel sondaj kuyularının kot, koordinat ve derinlikleri Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Planlama aşamasında DSİ tarafından açılan sondaj kuyuları kot koordinat ve derinlikleri

Kuyu No	Yeri	Derinlik ( m)	Koordinat		Kot (m)
			Y (Doğu)	X (Kuzey)	
SK-1	Aks	75,0 m	465586	4499547	235,0
SK-2	Aks	50,0 m	465642	4499713	205,0
SK-3	Aks	35,0 m	465635	4499742	187,0
SK-4	Aks	43,0 m	465473	4499653	210,0
SK-4A	Aks (eğimli)	14,0 m	465479	4499660	212,0
SK-5	Aks	75,0 m	465431	4499684	232,0
SK-SA	Aks (eğimli)	20,0 m	465432	4499686	230,0
DSK-2	Dolusavak	25,0 m	465542	4499469	213,0
DSK-3	Dolusavak	15,0 m	465486	4499431	178,0
DSK-4	Depo yeri	20,0 m	465899	4499487	207,0
DSK-5	Pompa yeri	20,0 m	465327	4499327	206,0
TSK-1	Derivasyon Tüneli	50,0 m	465739	4499620	215,0
TSK-3	Derivasyon Tüneli	180,0 m	465664	4499506	279,0
TSK-5	Derivasyon Tüneli	65,0 m	465530	4499411	198,0

Kesin proje aşamasında açılan sondajların özellikleri ise Tablo 6.2.'de verilmektedir.

Tablo 6.2. Kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyuları kot koordinat ve derinlikleri

Kuyu No	Yeri	Derinlik (m)	Koordinat (EDSO 6°)		Kot (m)
			Y (Doğu)	X (Kuzey)	
ASK-1	Aks-Sol Sahil	36,0 m	719306	4500956	211,0
DSK-1	Dolusavak	15,0 m	719228	4500940	179,0
KSK-1	Kondüvi-Giriş	40,0 m	719226	4501012	192,0
KSK-2	Kondüvi-Çıkış	20,0 m	719210	4500982	186,0

Planlama ve kesin proje aşamasında açılan temel sondaj kuyularına ait karot yüzdeleri, YASS seviyeleri, kuyu yapısı, RQD (fiziksel özelliği) değerleri, Lugeon (geçirimlilik) deneyleri sonuçları Tablo 6.3.'de açıklanmıştır.

Tablo 6.3. Planlama ve kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyularına ait deney tablosu [5]

Sondaj Kuyusu	Karot Yüzdesi	YASS	Kuyu Derinliği	Yapısı	RQD	Lugeon	
SK-1	100%	22.23 m	0.00-2.00	Granodiyorit, gri renkli	0.00-4.00	Çok Zayıf (0-%10)	
			2.00-4.50	Granodiyorit, orta sert-sert	4.00-6.00	Orta (%60-%90)	2.00-4.00 m Geçirimli (Lugeon 5.80-6.20)
			4.50-6.00	Granodiyorit, gri renkli, orta sert-sert, sağlam dayanımlı	6.00-7.00	Çok Zayıf (0-%10)	6.00-7.00 m Az Geçirimli (Lugeon 1.1-3.5)
			6.00-7.00	Granodiyorit, gri renkli	7.00-44.00	Çok İyi (%100)	6.00-7.00 m Az Geçirimli (Lugeon 1.1-3.5)
			7.00-44.50	Granodiyorit, gri renkli, fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı, granüler dokulu boyuna ve çapraz çatlaklı, çatlak yüzeyleri FeO yüzeylenmiş	44.00-52.00	Orta (%60-%90)	7.00-44.50 m Az Geçirimli (Lugeon 1.1-3.5)
			44.50-52.00	Granodiyorit, gri renkli, orta sert, sağlam dayanımlı, yer yer parçalı yapıda	52.00-75.00	Çok İyi (%100)	44.50-52.00 m Geçirimsiz (Lugeon 0.50-0.90)
			52.00-75.00	Granodiyorit, gri renkli, fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı, masif görümlü boyuna çapraz köşeden köşeye çatlaklı			52.00-75.00 m Geçirimsiz (Lugeon 0.50-0.90)
SK-2	100%	14.75 m	0.00-2.00	Granodiyorit, gri renkli, fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı, granüler dokulu boyuna ve çapraz çatlaklı, çatlak yüzeyleri FeO yüzeylenmiş	0.00-2.00	Zayıf (%40)	2.00-4.00 m Geçirimli (Lugeon 17.50)
			2.00-19.50	Granodiyorit, gri renkli, fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı, granüler dokulu boyuna ve çapraz çatlaklı, çatlak yüzeyleri FeO yüzeylenmiş	2.00-50.00	Çok İyi (%100)	6.00-8.00 m/10.00-12.00 m/16.00-18.00 m/22.00-24.00 m Az Geçirimli (Lugeon 1.00-3.90)
			19.50-50.00	Granodiyorit, gri renkli, fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı, masif görümlü boyuna ve verevine çatlaklı, çatlak yüzeylerikuvars özellikte dolgulu olarak belirlenmiştir.			4.00-6.00 m/8.00-10.00 m/12.00-16.00 m/18.00-22.00/24.00-50.00 m Geçirimsiz (Lugeon 1.00-3.90)

Tablo 6.3. (Devamı)

Sondaj Kuyusu	Karot Yüzdesi	YASS	Kuyu Derinliği	Yapısı	RQD	Lugeon	
SK-3	50%	11.34 m	0.00-2.00 m	Granodiyorit, gri renkli	0.00-2.00 m	Çok Zayıf (%0)	4.00-12.00 m arası çok geçirimli (Lugeon 49.89)
	100%		2.00-50.00 m	Granodiyorit gri-yeşilimsi renkli fenokristalli, sert sağlam dayanımlı granüler dokulu olarak belirlenmiştir.	2.00-50.00 m	Çok İyi (%100)	12.00-14.00 m arası az geçirimli (Lugeon 1.14-4.07) Diğer seviyeler geçirimsiz
SK-4	50%	14.4 m	0.00-6.30 m	Granodiyorit	0.00-6.30 m	Çok Zayıf (%0)	0.00-4.00 arası deney yapılamamış, 4.00-34.00 m arası az geçirimli (Lugeon 1.00-1.90)
	100%		6.00-43.00 m	Granodiyorit gri-yeşilimsi renkli fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı masif görünümlü kılçak çatlaklı, çatlaklar kuvars dolgulu çatlak yüzeyleri FeO ile yüzeylenmiştir.	6.30-43.00 m	Çok İyi (%100)	34.00 m-43.00 m arası geçirimsiz
SK-5		45.00 m	0.00-12.00 m	Granodiyorit	0.00-12.00 m	Çok Zayıf (%0)	0.00-12.00 m Çok Geçirimli-Geçirimli (Lugeon $1.5 \times 10^2$ - $8.90 \times 10^4$ )
			12.00-37.00 m	Granodiyorit gri-yeşilimsi renkli fenokristalli, çok sert sağlam dayanımlı masif görünümlü kılçak çatlaklı, çatlaklar kuvars dolgulu çatlak yüzeyleri FeO ile yüzeylenmiştir.	12.00-34.00 m	İyi (%40-90)	12.00-50.00 m Az Geçirimli (Lugeon 1.1-3.90)
			37.00-75.00 m		34.00-75.00 m	Çok İyi (%100)	
ASK-1 (AKS SOL SAHİL) (KESİN PROJE AŞAMASI)	Yüzde belirtilmemiştir.	18.30 m	0.00-6.00 m	Fıstıklı Granodiyorit tamamen ayrılmış;	0.00-36.00 m	Orta-İyi (%96)	0.00-10.00 m arası ölçüm alınamamıştır.
			6.00-7.00 m	Parçalanmış orta çok ayrılmış			10.00-16.00 m arası çok geçirimli (Lugeon 30)
			7.00-10.00 m	Az orta derecede ayrılmış çok kırıklı ve çatlaklı			16.00-30.00 m arası geçirimli (Lugeon 18)
			10.00-36.00 m	Granit ara seviyeli granodiyorit			
			15.00-23.00 m	Çatlaklar yeşilimsi renkli, kil dolgulu			30.00-36.00 m geçirimsizdir. (Lugeon 0.5)
			23.00-31.00 m	Yeşil renkli şist			
			31.00-36.00 m	Yer yer granit seviyeleri			



Tablo 6.3. (Devamı)

Sondaj Kuyusu	Karot Yüzdesi	YASS	Kuyu Derinliği	Yapısı	RQD	Lugeon	
DSK-1 (DOLUSAVAK- ENERJİ KIRICI HAVUZ) (KESİN PROJE AŞAMASI)	Yüzde belirlenmemiştir.	6.00 m	0.00- 1.50 m	Yamaç Molozu	0.00-15.00 m	Orta-İyi (%14-77)	Lugeon Yapılmamış
			1.50- 15.00 m	Fıstıklı Granitoyidi (Tef); Pembemsi bej-beyazımsı renkli, genelde taze az ayrılmış, kırıklı çatlaklı yer yer boyuna çatlaklı, yer yer eklemli, yer yer masif olarak bulunmakta ve 4.00-5.00 m ve 14.00 ve 15.00 m'ler arasında yer yer bazik dayklar ile kesilmiştir.			
KSK-1 (SAĞ SAHİL- KONDÜVİ GİRİŞİ VE AKS EKSENİ) (KESİN PROJE AŞAMASI)	Yüzde belirlenmemiştir.	11.60 m	0.00- 0.50 m	Sondaj Platform Dolgusu	0.00-40.00 m	Orta-İyi (%0-92)	0.00-8.00 m arası ölçüm alınamamıştır.
			0.50- 40.00 m	Fıstıklı Granitoyidi (Tef); bej pembemsi renkli, genellikle taze-az ayrılmış, çatlaklı kırıklı yer yer çok çatlaklı-kırıklı, yer yer boyuna çatlaklı, eklemeler çapraz şekilde ve sıklığı 10-50 cm arasında, eklem yüzeyleri dalgalı pürüzlü			8.00-12.00 m çok geçirimli (Lugeon 16) 18.00-20.00 ve 22.00-24.00 m arası az geçirimli (Lugeon 3), Diğer seviyeler geçirimsizdir.
KSK-2 (SAĞ SAHİL- KONDÜVİ ÇIKIŞI) (KESİN PROJE AŞAMASI)	Yüzde belirlenmemiştir.	6.80 m	0.00- 4.50 m	Yamaç Molozu	0.00-20.00 m	Zayıf Orta (%0-76)	0.00-4.00 m ve 8.00-12.00 m arası geçirimli (Lugeon 15), 6.00-8.00 m çok geçirimli (Lugeon 30), Diğer seviyeler geçirimsiz
		4.50- 20.00 m	Fıstıklı Granitoyidi (Tef); Pembemsi bej-grimsi renkli. Genelde taze-az ayrılmış, kırıklı çatlaklı, 10 mm'den itibaren çok çatlaklı kırıklı. 9.00 m'de kayma düzlemi				

## 6.2. Karot Yüzdesi (Toplam Karot Verimi) (TKV)

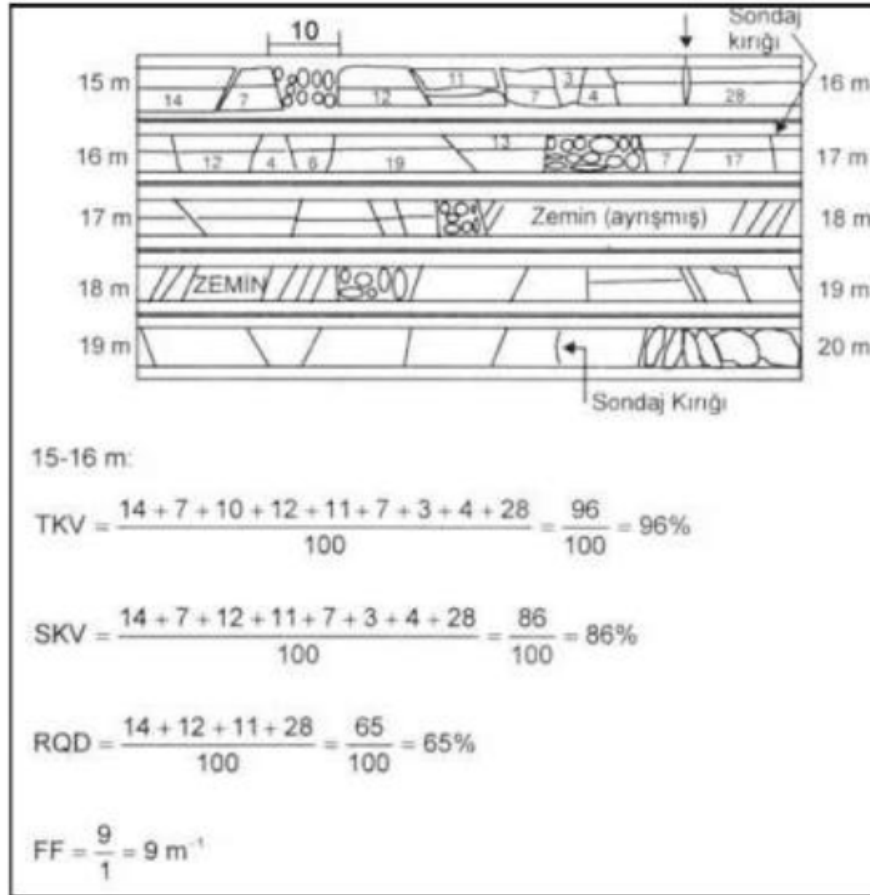
Bu parametre, karotiyerin bir ilerleme boyunda içerisinde aldığı doğal yapıdaki karot parçalarının toplam uzunluğunun karotiyerin ilerleme uzunluğu oranına yüzde olarak ifadesidir. Toplam karot verimi, sağlam karot verimi, kaya kalitesi göstergesi ve çatlak sıklığı değerlerinin tespit edilmesi Şekil 6.2.'de verilmiştir [7].

TKV: Toplam Karot Verimi

SKV: Sağlam Karot Verimi

RQD: Kaya Kalite Göstergesi

FF: Çatlak Sıklığı



Şekil 6.2. TKV, SKV, RQD, FF değerlerinin hesaplanması [7]

### 6.3. Lugeon Deneyi (Geçirimsizlik Deneyi)

Kayaçların geçirimsizliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan deneydir. Sondaj ile açılan düşey açılı ya da yatay kuyularda tıkaç ile kapatılan bir bölgeye farklı basınçlarda su verilerek kaybolan ya da emilen suyun debisini tespit etmek esasına dayanır. Lugeon Birimi (LU); 10 kg/cm<sup>2</sup>'lik efektif basınç altında 1 dakikada, 1 metre uzunluğundaki deney zonundan litre olarak kaçan suyun miktarıdır. Deney için gerekli ekipmanlar aşağıda Şekil 6.3., Şekil 6.4., Şekil 6.5., Şekil 6.6., Şekil 6.7.'de belirtilmiştir [8].



Şekil 6.3. Sondaj makinaları



Şekil 6.4. Tij ve karotiyer



Şekil 6.5. Farklı uzunlukta pabuçlar (packer)

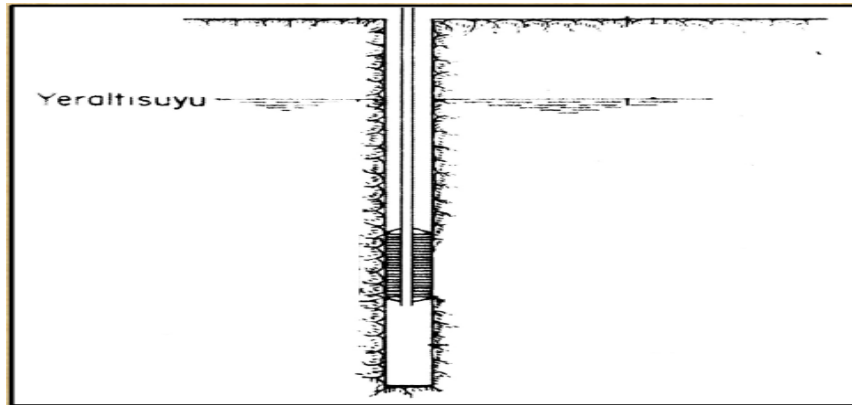


Şekil 6.6. Su basma ünitesi



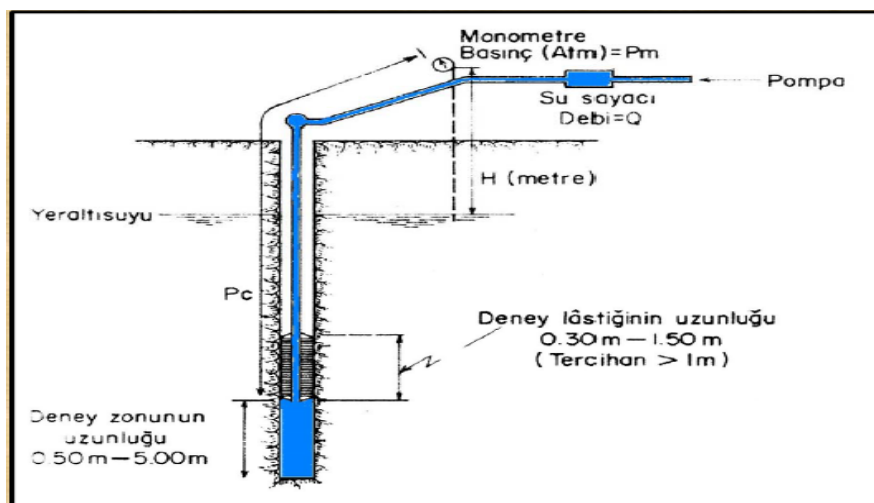
Şekil 6.7. Kaya birimleri içine sızan suyun miktarını ölçmede kullanılan su sayacı ve su basıncını gösteren manometre

Lugeon deneyi öncesinde kayada karotlu sondaj yapılarak kuyu cidarlarının düzgün çıkması sağlanır. Kuyu içine yerleştirilen pakerin hareket etmemesi için su ile doldurularak sabitlenir (Şekil 6.8.).



Şekil 6.8. Lugeon pakerrinin kuyuya yerleştirilmesi

Paker sabit tutturulduktan sonra 0,50-5,00 m uzunluğundaki deney zonu basınçsız su ile doldurularak suyun ilk miktarı su saatinde okunur. Deney düzeneğinde kaçak olmadığı tespit edildikten sonra manometre basıncı  $2 \text{ kg/cm}^2$  basınca ayarlanarak 10 dk süre ile deney zonuna su verilir. 10 dakika sonunda emilen suyun miktarı deney formuna kaydedilir. Aynı işlem basınç arttırımı yapılarak 4, 6, 8, 10, 8, 6, 4, 2  $\text{kg/cm}^2$  basınçlar verilerek emilen su forma kaydedilir (Şekil 6.9.). Tablo 6.4.'te Lugeon ölçüm değerleri için bir örnek gösterilmektedir.

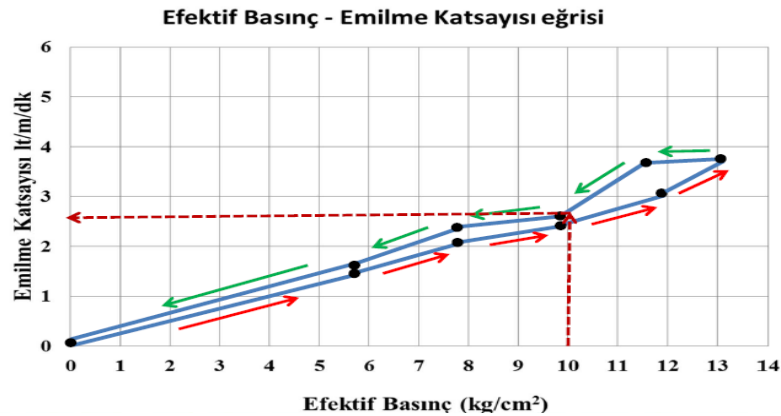


Şekil 6.9. Lugeon deneyi yapılıması

Tablo 6.4. Lugeon ölçüm değerleri tablosu

$P_{eff}$ : Efektif basınç						
$P_m$ : Manometre basıncı						
$P_s$ : Statik yük						
$P_c$ : Yük kaybı (Abaktan bulunuyor)						
$P_{eff} = P_m + P_s - P_c$						
$P_{eff} = 2 + 3.85 - 0 = 5.85$ (2 atm basınç için)						
$P_{eff} = 4 + 3.85 - 0 = 7.85$ (4 atm basınç için)						
$P_s = H/10$						
H: Yass ile manometre arasındaki mesafe						
Manometre Basıncı $P_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Deney Süresi T (dk)	Emilen Suyun Miktarı S (lt)	Statik Yükü $P_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Yük Kaybı (kg/cm <sup>2</sup> )	Efektif Basınç $P_{eff}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Emilme Katsayısı Lugeon (1/m/dak)
2	10	70	3.85	0	5.85	1.4
4	10	104		0	7.85	2.08
6	10	119		0	9.85	2.38
8	10	154		0	11.85	3.08
10	10	193		0.8	13.05	3.86
8	10	188		0.4	11.45	3.76
6	10	126		0	9.85	2.52
4	10	116		0	7.85	2.32
2	10	78		0	5.85	1.56

Emilme katsayısı ve efektif basınç arasında bir eğri çizilir (Şekil 6.10.). Bu eğri üzerinde 10 atm basınca karşılık gelen Emilme katsayısı Lugeon birimi olarak kayacın geçirirliğini gösterir. 1 Lugeon  $10^{-5}$  cm/sn geçirirlilik katsayısı (k) değerine eşittir.



Şekil 6.10. Efektif basınç-emilme katsayısı eğrisi

Lugeon Değeri= 2.65 lt/m/dk

#### 6.4. YASS (Yeraltı Su Seviyesi Ölçümü)

Yeraltı su seviyesinin (YASS) tespit edilmesinde en yaygın kullanılan yöntem düdüklü metredir. Bu sistemde açılan sondaj kuyusuna bir ölçekli kablo ucundaki sondanın suya değmesine kadar indirilir ve suya değen sonda ses çıkarır. Su seviyesi ölçekli kablo üzerinden ölçülerek belirlenir (Şekil 6.11.).



Şekil 6.11. YASS seviye ölçüm cihazı

## BÖLÜM 7. ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI

### 7.1. Baraj Gövde Aksı Geçirimlilik ve Ana Kaya Dayanım Deneyleri

Karamürsel İhsaniye Barajı kesin projesinde silindir ile sıkıştırılmış baraj gövde tipinde çalışılmıştır. Baraj gövde oturum alanında 2 adet aks üzerinde (ASK-1), 1 adet enerji kırıcı havuz üzerinde (DSK-1), kondüvi güzergahı çevresinde (KSK1 - KSK-2) olmak üzere 4 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. Barajın oturacağı ana kayanın geçirimliliğini belirlemek amacı ile 48 adet BST (Lugeon) deneyi yapılmıştır. DSK-1 kuyusunda Lugeon (Geçirimlilik) deneyi yapılmamıştır [5].

#### 7.1.1. Laboratuvar deneyleri

Kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyularından (ASK-1, DSK-1, KSK-1, KSK-2) alınan 11 adet karot numunesi üzerinde barajın oturacağı anakayanın geoteknik parametrelerini ortaya çıkarmak amacı ile deneyler yapılmıştır. Sondaj kuyularından alınan karot numunelerinin derinlikleri Tablo 7.1.'de verilmiştir. Alınan numunelerin birim hacim ağırlıklar ölçülmüş, tek eksenli basınç (karot numunesinin basınç dayanımı) deneyleri yapılmış ve elastisite modülü ile Poisson oranı hesaplanmıştır.

Tablo 7.1. Temel sondaj kuyularından alınan karot numuneleri ve derinlikleri

Kuyu No	Numune Adedi	Numunelerin Alındığı Derinlik (m)	Kuyu No	Numune Adedi	Numunelerin Alındığı Derinlik (m)
ASK-1	1	11,10-11,28	KSK-1	1	12,45-12,90
	1	14,40-14,66		1	14,75-14,90
	1	15,10-15,40		1	16,00-16,40
DSK-1	1	4,70-5,00	KSK-2	1	14,32-14,46
	1	6,73-7,00		1	18,05-18,35
	1	7,80-8,00			



### 7.1.1.1. Tek eksenli basınç dayanımı

Kesin proje aşamasında baraj aks güzergahından alınan çapları 4,73 cm ile 6,34 cm arasında ve boyları 9,48 cm - 12,44 cm arasında değişen 11 adet karot numunelerinin yük altında kırılma değerleri Tablo 7.2.'de gösterilmiştir [5].

Tablo 7.2. Kesin proje sondaj numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri [5]

Kesin Proje Sondaj Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Deneyleri												
Tarih	Kuyu No	Derinlik (m)	Numune Boyu (cm)	Numune Çapı (cm)	Numune Ağırlık (gr)	Doğal Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> )	Kırılma Yüklü (Kg)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Kg/cm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (Kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	
16.05.2014	ASK-1	11,10-11,28	9,5	4,75	440,2	2,62	17,711	3400	191,97			
16.05.2014	ASK-1	14,40-14,66	9,61	4,74	452,1	2,67	17,637	6760	383,29			
16.05.2014	ASK-1	15,10-15,40	9,7	4,73	457,4	2,68	17,562	6410	364,99			
16.05.2014	DSK-1	4,70-5,00	12,38	6,34	1037,8	2,66	31,55	6890	218,38			
16.05.2014	DSK-1	6,73-7,00	12,44	6,34	1023,2	2,61	31,55	5150	163,23			
16.05.2014	DSK-1	7,80-8,00	12,36	6,34	1018,4	2,61	31,57	15027	475,99	158,244	0,26	
16.05.2014	KSK-1	12,45-12,90	9,64	4,78	444,4	2,57	17,935	3800	211,88			
16.05.2014	KSK-1	14,75-14,90	9,48	4,78	448,1	2,64	17,935	5480	305,55			
16.05.2014	KSK-1	16,00-16,40	"	4,74	458,1	2,67	17,646	4341,9	246,06	259,624	0,25	
16.05.2014	KSK-2	14,32-14,46	9,61	4,8	453,1	2,61	18,086	2840	157,03			
16.05.2014	KSK-2	18,05-18,35	9,75	4,83	464,3	2,60	18,313	5260	287,23			

Çalışmalar sırasında ASK-1 ile KSK-1 sondajlarından alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonucunda, ortalama basma dayanımı:

$$q_u = (191,97 + 383,29 + 364,99 + 211,88 + 305,55 + 246,06) / 6 = 283,841 \text{ kg/cm}^2$$

$q_{uort} = 28,38 \text{ MPa}$  bulunmuştur.

Baraj gövde inşaat alanında bulunan anakaya birimlerinin emniyetli taşıma kapasitesi; tek eksenli basınç dayanımı ( $q_u$ ), güvenlik katsayısı ( $K_{sp}$ ) ile çarpılarak bulunmuştur. Anakaya emniyetli taşıma gücü bulunurken güvenlik sayısı 3 olarak alınmıştır.

$$Q_{em} = K_{sp} \times q_u$$

$Q_{em}$  = Kaya birimlerinin emniyetli taşıma kapasitesi

$q_u$  = Seçilen tek eksenli basınç dayanımı

$K_{sp} = 3,0$  (güvenlik sayısı için ampirik katsayı)

$$K_{sp} = (3 + c/B) / (10 [1 + 300 (\delta/c)])$$

$\delta$  = Süreksizlik açıklığı (1 - 2 mm)

$c$  = Süreksizlik aralığı (20 - 30 cm)

$B$  = Temel genişliği (plinth temeli= 6 m)

Baraj Aksı için  $q_u \sim 28,38$  MPa ve  $K_{sp} = 0.160$  için,

$$Q_{emn} \sim 4.541 \text{ kPa} \sim 45,41 \text{ kg/cm}^2$$

Benzer şekilde dolusavak zemini taşıma gücü DSK-1

$$q_u = (218,38 + 163,23 + 475,99) / 3 = 285,866 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{uort} = 28,58 \text{ MPa}$$

Dolusavak zemini için  $q_u \sim 28,58$  MPa ve  $K_{sp} = 0.160$  için,

$$Q_{emn} \sim 4.573 \text{ kPa} \sim 45,73 \text{ kg/cm}^2$$

ve kondüvi zemini taşıma gücü KSK-2

$$q_u = (157,03 + 287,23) / 2 = 222,13 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{uort} = 22,21 \text{ MPa}$$

Dolusavak zemini için  $q_u \sim 22,21$  MPa ve  $K_{sp} = 0.160$  için,

$$Q_{emn} \sim 3553 \text{ kPa} \sim 35,53 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.1.1.2. Kaya mukavemet dayanımı Roclab programı ile bulunması

Roclab kaya mukavemet analiz programı kullanılarak, Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Sağlam Kaya Parametresi ( $M_i$ ),  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  parametreleri ve sondaj karotları üzerinde yapılan tek eksenli dayanım değerlerinin ortalaması ve birim hacim ağırlık ortalaması ve Mohr - Coloumb parametreleri olan İçsel Sürtünme Açısı ve Kohezyon ( $c$ ) parametreleri de bulunmaktadır.

## BÖLÜM 8. BARAJ AKS YERİ GEÇİRİMLİLİĞİNİ ÖNLEMELİK İÇİN PERDE ENJEKSİYONU YAPILMASI

Baraj gövdesi enjeksiyon galerisinden yapılan perde enjeksiyonu imalatları Devlet Su İşleri tarafından onaylı enjeksiyon uygulama talimatına ve onaylı ekipmana göre yapılmıştır.

Enjeksiyon imalatı baraj kret uzunluğu olan 213,25 metre boyunca 3'er metre mesafe ile projede belirtilen derinliklerde sol sahilden başlayarak sağ sahile doğru aks boyunca yapılmıştır. Kuyu taban çapı minimum 56 mm olacak şekilde her türlü eğimde aynı yönde sapma açısı %2'yi geçmeyecek şekilde, alüvyon zeminlerde delgi yapılırken muhafaza borusu sürülerek ve su sirkülasyonu sağlayan rotari tip sondaj makineleri ile yapılmıştır. Şekil 8.1.'de düz galeride, Şekil 8.2.'de ise eğimli galeride enjeksiyon yapılmasına örnek fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 8.1. Düz galeride enjeksiyon yapılması

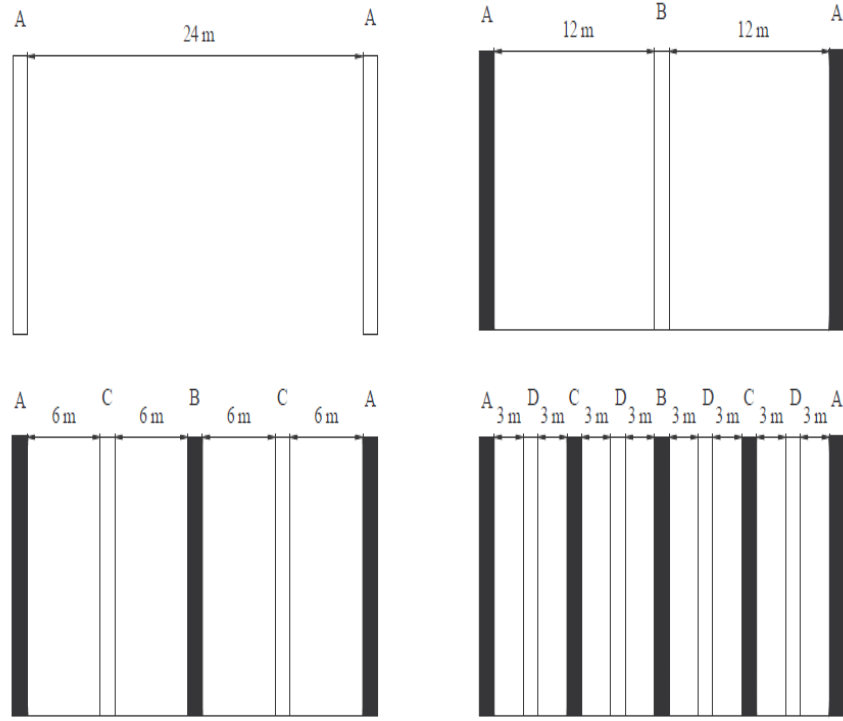


Şekil 8.2. Eğimli galeride enjeksiyon yapılması

## 8.1. Enjeksiyon Metodolojisi

### 8.1.2. Enjeksiyon ano imalat planı

İhsaniye Barajı'nda perde kuyuları aks ekseni boyunca 24 metre'lik anolara bölünerek oluşturulan ano sistemine göre enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyon daralan ano sistemine göre uygulanmıştır. Buna göre 24 metrelik A anosunun ortasına B deliği açılmış, daha sonra A ve B'nin ortasında C delikleri ve A ile C'nin arasına da D delikleri açılmıştır (Şekil 8.3.). En son A - D, D - C, C - D, D - B, B - D, D - C, C - D, D - A şeklinde imalat yapılarak ano tamamlanmıştır [9].



A: Birincil kuyular B: İkincil kuyular C: Üçüncül kuyular D: Dördüncül kuyular

Şekil 8.3. Daralan aralıklar ile 24,00 m'lik ano'nun enjeksiyonun yapılması [10]

### 8.1.3. Yukarıdan aşağıya inen kademeler metodu ile enjeksiyon

Başlangıçta enjeksiyon deliği kademe boyu kadar delinir, yıkanır, basınçlı su testi ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon çimentosu tam priz almadan delik yıkanır ve ekipmanlar dışarı alınarak deliği çevreleyen kayadaki çimento şerbetinin priz almasından sonra aynı deliğin 2. kademesi delinerek aynı işlemler kuyunun son kademesine kadar devam eder.

### 8.1.4. Aşağıdan yukarı doğru çıkan kademeler metodu ile enjeksiyon

Bu metod ile enjeksiyon deliği projede belirtilen derinliğe kadar delinir, yıkanır, varsa her kademenin basınçlı su deneyi yapılır. Sonrasında enjeksiyon ekipmanları yerleştirilerek enjeksiyon imalatına başlanır. Sonra ekipman bir üstteki kademenin enjeksiyon işlemleri için yukarıya alınır, aşağıdan yukarıya doğru ikinci kademenin enjeksiyonu yapılır, bu işlem en üst kota kadar devam eder.

### **8.1.5. Çok safhalı enjeksiyon**

Bu metotta enjeksiyon deliği projede belirtilen derinliğe kadar delinirken yıkıntı olup devir daim suyunun %70 ve daha fazlası kaçıyorsa delgi işi durdurulup, bu kısımların üstlerinde lastik tutturularak enjeksiyonlar yapılır. Priz müddeti sonrasında delme işlemine devam edilir. Enjeksiyon deliği projede belirtilen derinliğe kadar delme işlemi bittikten sonra, aşağıdan yukarıya doğru çıkan kademeler metodu ile enjeksiyon yapılır.

## **8.2. Karışıma Giren Malzemeler**

### **8.2.1. Çimento**

Sülfata dayanıklı çimentoların kullanılacağı yerlerin haricindeki bütün enjeksiyon işlerinde CEM 1 veya CEM 2 tipi çimento kullanılmaktadır. CEM 2 gibi katkıli çimentolarda katkı miktarı A tipinde (az katkıli) olacaktır. CEM 2 tipi katkıli çimentoların sulu ortamların daha az dayanıklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

### **8.2.2. Sülfata Karşı Dayanıklı Çimento**

Bu çimento TS EN 197-1 standartlarında fabrikanın ürettiği en ince daneli ve sülfat iyonuna karşı dayanıklı çimentodur. Bunun dışında sülfatlı sulara dayanıklı ve hidrasyon ısısı düşük olan TS 13353 standardına uygun Borlu Aktif Belit çimentosu da kullanılabilir.

### **8.2.3. Bentonit**

Enjeksiyon karışımlarında çimento miktarının %1'i kadar TSE EN ISO 13500 standardına uygun olarak bentonit ilave edilerek kullanılacaktır.

#### **8.2.4. Kum**

Enjeksiyonda fazla alış yapan kademelerde çimento ağırlığının %25, 50, 100'ü kadar kum çimento şerbetine eklenerek kullanılacaktır. Kullanılacak kum sağlam yapıda olmalı, şekli yuvarlak ve kübik, organik madde %5'den fazla olmamalı, gerekirse yıkanmalıdır.

Kullanılacak kumun ağırlıkça 16 nolu (1,19 mm) elekten %95'i, 50 nolu (0,297 mm) elekten %50'si geçmeli, 200 nolu (0,074 mm) elekten ise %5'ten fazlası geçmemelidir.

#### **8.2.5. Su**

Enjeksiyonda kullanılacak su, beton karma suyu niteliğinde temiz ve içinde yağ, asit, alkali maddeler, kömür ve odun parçaları bulunmayacaktır.

#### **8.2.6. Kimyasal katkı malzemeleri**

Enjeksiyon işlerinde kullanılacak kimyasal katkıları (akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı vb.) gerekirse dizayn çalışmalarında belirlenecektir.

#### **8.2.7. Kalafat malzemesi**

Enjeksiyonun başladığı satıhta şerbetin yüzeye sızdığı çatlaklar kalafat malzemesi (alçı, üstübü, ağaç kaması) ve çabuk priz alan maddeler ile engellenecektir.

### **8.3. Enjeksiyon Şerbetleri**

Enjeksiyon şerbetleri özel olarak dizayn yapılmadığı takdirde Tablo.8.1.'de gösterildiği gibi belirlenecektir. Enjeksiyon kuyularında kademe derinliklerine göre basınç tablosu Tablo 8.2.'de verilmiştir.

Tablo 8.1. Enjeksiyon işlerinde kullanılacak şerbet karışım oranları [9]

ENJEKSİYON İŞLERİNDE KULLANILACAK ŞERBET KARIŞIM ORANLARI TABLOSU											
KARIŞIM ORANI (ÇİMENTO/SU)	ÇİMENTO	Su (kg)	BENTONİT		(4)* KİMYASAL KATKI				KUM (kg)	KARIŞIM MİKTARI	
			1%		AKIŞKANLANDIRICI (%)	PRİZ HIZLANDIRICI I (kg)		TOPLAM KATI (kg)		HACİM (LT)	
			(1)*	(2)* kg		(3)*Lt	(kg)				%
1/1	150	135	1.5	15.5	1%	1.5	*	*	*	151.5	200
10/9	150	120	1.5	15.5	1%	1.5	*	*	*	151.5	185
5/4	150	105	1.5	15.5	1%	1.5	*	*	*	151.5	170
7/5	150	92	1.5	15.5	1%	1.5	*	*	*	151.5	155
7/5+%25 Kum	150	92	1.5	15.5	1%	1.5	3%	4.5	37.5	193.5	180
7/5+%50 Kum	150	92	1.5	15.5	1%	1.5	3%	4.5	75	230.5	203
7/5+%100 Kum	150	92	1.5	15.5	1%	1.5	3%	4.5	150	306.0	251
NOT:											
(1) * Ağırlıkça B/S=1/10 Oranında sulandırılmış bentonit şerbeti kullanıldığında alınacak su miktarı.											
(2) * Karışıma giren bentonit miktarı											
(3) * Ağırlıkça B/S=1/10 Oranında sulandırılmış bentonit şerbeti.											
(4) * Kimyasal katkı maddeleri (priz hızlandırıcılar, akışkanlaştırıcılar) laboratuvar testlerinin ardından % 1-3 oranında kullanılabilir.											
Karışımında kullanılacak malzemeler; kullanılan mükserin hacmi göz önüne alınarak, tablodaki miktarlarının katları veya 1/2 oranında ast katları şeklinde kullanılacaktır.											



Tablo 8.2. Kademelerin efektif ve manometre basınç değerleri [9]

BARAJ TEMELİ ENJEKSİYONLARINDA (PERDE VE KAPAK) UYGULANACAK BASINÇ TABLOSU									
KADEME (m)	Pt (kg/cm <sup>2</sup> )	KARIŞIM ORANLARINA GÖRE Pm MANOMETRE BASINCI ((kg/cm <sup>2</sup> )						KABUL EDİLEN BASINÇLAR (*)	KABUL EDİLEN BASINÇLAR (*)
		1/1	10/9	5/4	7/5	7/5+%25 KUM	7/5+%50 KUM	Pt	Pm
0.00-2,50	0.3	0.1	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.30	0.50
2,5-5,00	0.9	0.29	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	1.00	0.50
5,00-10,00	2.5	1.34	1.33	1.27	1.23	1.19	1.14	2.50	1.00
10,00-15,00	4.1	2.23	2.21	2.12	2.05	1.98	1.9	4.00	2.00
15,00-20,00	5.8	3.12	3.1	2.96	2.88	2.77	2.66	5.50	3.00
20,00-25,00	7.4	4.02	3.99	3.81	3.7	3.56	3.42	7.50	4.00
25,00-30,00	9.1	4.91	4.87	4.66	4.52	4.36	4.17	9.00	5.00
30,00-35,00	10.7	5.8	5.76	5.5	5.34	5.15	4.93	10.50	6.00
35,00-40,00	12.40	6.69	6.64	6.35	6.16	5.94	5.69	12.50	6.50
40,00-45,00	14	7.59	7.53	7.2	6.99	6.73	6.45	14.00	7.50
45,00-50,00	15.7	8.48	8.41	8.04	7.81	7.52	7.21	16.00	8.00
50,00-55,00	17.3	9.37	9.3	8.89	8.63	8.32	7.97	17.00	9.00
55,00-60,00	19	10.26	10.19	9.74	9.45	9.11	8.73	19.00	10.00
60,00-65,00	20.6	11.15	11.07	10.58	10.27	9.9	9.49	20.50	11.00
65,00-70,00	22.3	12.05	11.96	11.43	11.1	10.69	10.25	22.00	12.00
YOĞUNLUK (kg/cm <sup>2</sup> )		1.52	1.53	1.61	1.66	1.72	1.78		

Pt: Toplam efektif basınç (kg/cm<sup>2</sup>) Pm: Manometre basıncı (kg/cm<sup>2</sup>) (\*): Arazide uygulanacak pratik basınçlar  
0; 2.5 ve 2.5; 5 m kademelerinde (kapak) toplam efektif basınç, Pt=0.23xH; Diğer kademelerde Pt=0.33xH Formülü ile hesaplanmıştır.  
Not: Enjeksiyon kademeleri YAS üzerinde kabul edilmiştir. Basınçla enjeksiyon uygulaması sırasında ölçülerek YAS'a göre tespit edilecektir.

## 8.4. Enjeksiyon Şerbetleri Deneyleri

### 8.4.1. Çimento deneyleri

Enjeksiyon karışımlarına giren çimentoda, enjeksiyon karışımlarının özelliklerinin belirlenmesi için TSE ve ASTM standartlarına uygun olarak aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

1. Granülometrik analizler
2. Priz başlangıç ve bitiş süreleri tespiti
3. Çimento hacmi değişmesi
4. Basınç mukavemeti
5. Muhtelif oranlarda çimento/su karışımlarının süspansiyon halindeki stabilitesi

### 8.4.2. Bentonit deneyleri

1. Yaş elek analizinde, 200 nolu elekte kalan kalıntı en çok %2,50 olacaktır.
2. Kuru elek analizinde, 149 mikron aralıklı elekten geçen malzeme miktarı en az %98 olacaktır. Bentonitte kimyasal katkı bulunmayacaktır.
3. Rutubet miktarı ağırlıkça %10 olacaktır.
4. Viskosite ölçen alette, 600 devir/dakika viskosite değeri en az 30 olacaktır.
5. Likit limit değeri %400'den az olmayacaktır.

### 8.4.3. Kum deneyleri

Hazırlanmış her 30'ar m<sup>3</sup> enjeksiyona giren kumdan, ortalama bir örnek alınmıştır.

Alınan örnek üzerinde,

1. Elek analizi
2. Özgül ağırlık
3. Organik madde
4. Sodyum sülfat deneyleri, yapılarak uygunluğuna karar verilmiştir.

#### **8.4.4. Su deneyleri**

Karma su için kullanılacak suyun içinde, sodyum sülfat iyonu ve diğer iyonlar betona zarar vermeyecek limitlerde olmalıdır.

#### **8.4.5. Priz başlangıç ve bitiş süreleri tespiti**

TS EN 196-3'e uygun olarak priz başlangıç ve bitiş süreleri tayin edilerek başlanmıştır.

#### **8.4.6. Basınç dayanım değerleri**

Çimento veya sülfata dayanıklı çimentodan yapılmış numuneler su içinde küre tabi tutularak 7 ve 28 günlük dayanım deneyleri yapılacaktır. 28 günlük numuneler en az 10 kg/cm<sup>2</sup> basınç dayanımı sağlamalıdır.

#### **8.4.7. Viskosite deneyi**

Marsh hunisi ile her karışım oranlı şerbet için viskosite deneyi yapılacaktır.

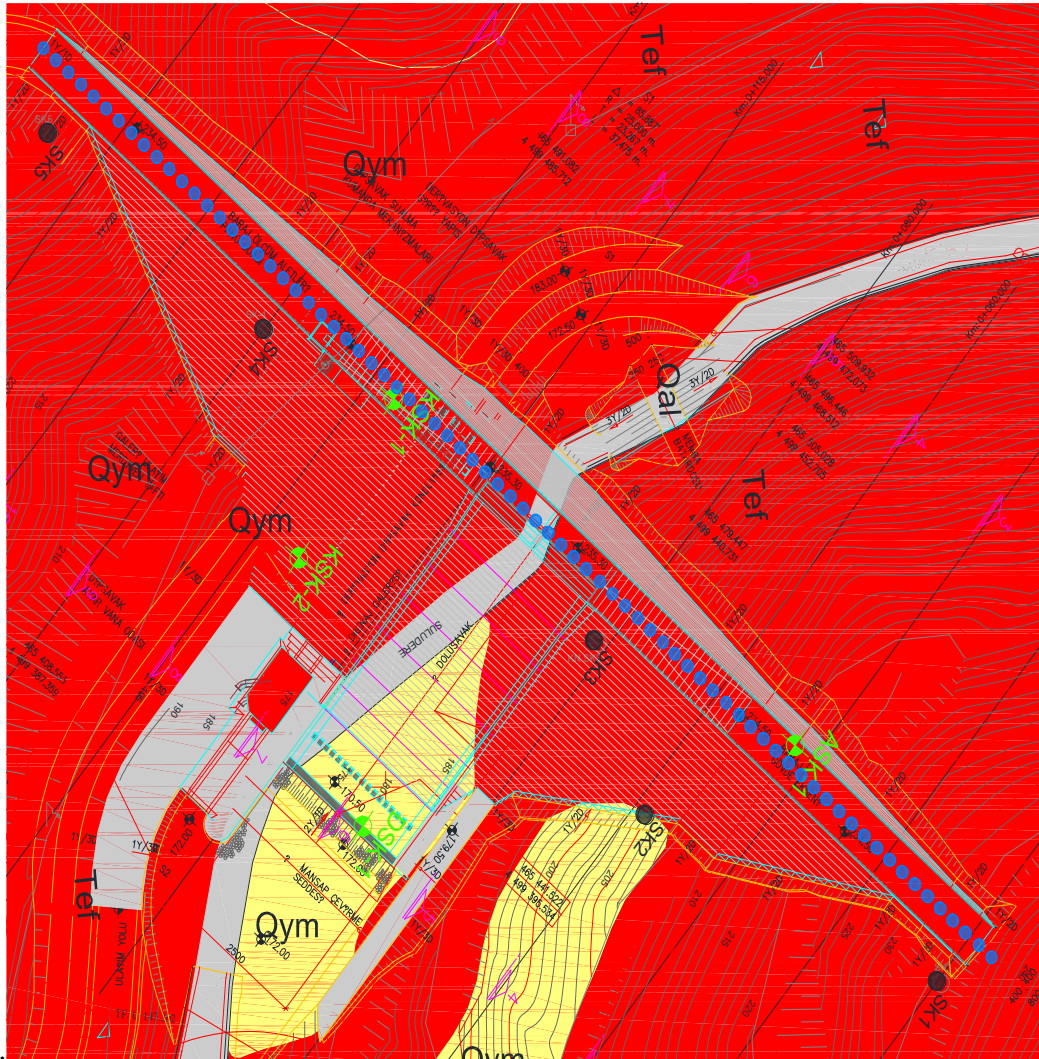
#### **8.4.8. Çökelme ve özgül ağırlık deneyi**

Enjeksiyon şerbet karışımında kullanılacak her cins şerbet içindeki katı maddelerin zamana göre çökelme miktarının karışım hacmine yüzde olarak oranıdır. 2 saatlik çökelme değeri %5'i geçmeyecektir. Enjeksiyon şerbetlerinin özgül ağırlığı belirlenecektir.

## 8.5. İhsaniye Barajı Perde Enjeksiyonu

### 8.5.1. Kati proje aşaması enjeksiyon ve geçirimsizlik

Kati proje aşamasında baraj gövde aksına yerleştirilen enjeksiyon delgi planı Şekil 8.4.'de verilmiştir. Sondaj kuyularında yapılan testler sonucu enjeksiyon delgi boyu 2.943,00 m (76 adet perde delgi boyu), kontrol kuyusu delgi boyu 746,00 m ve drenaj delgisi 255,00 m olmak üzere toplam 3.944,00 metre delgi yapılmaktadır. Perde delgi kuyu araları 3,00'er m olacak şekilde projelendirilmiştir [5].



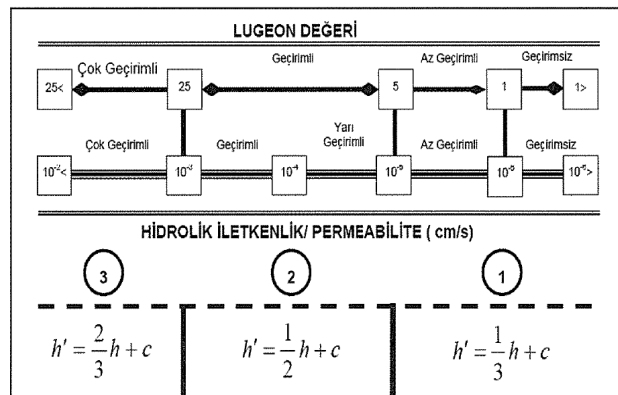
Şekil 8.4. Baraj aksı jeolojisi ve enjeksiyon planı [5]

Baraj aksı boyunca tabandaki alüvyon birimi kalınlığı yaklaşık 2,00 metre olup, sıyırma kazısı ile kaldırılmıştır. Kesin proje aşamasında yapılan sondaj çalışmalarında ana kayayı oluşturan granodiyoritlerde basınçlı su testi (Lugeon) sonuçları ile elde edilen değerler incelendiğinde, sondaj logu üst seviyelerinin çok geçirimli, alt seviyelerinin geçirimli, en alt seviyelerinin ise geçirimsiz kaya olduğu tespit edilmiştir.

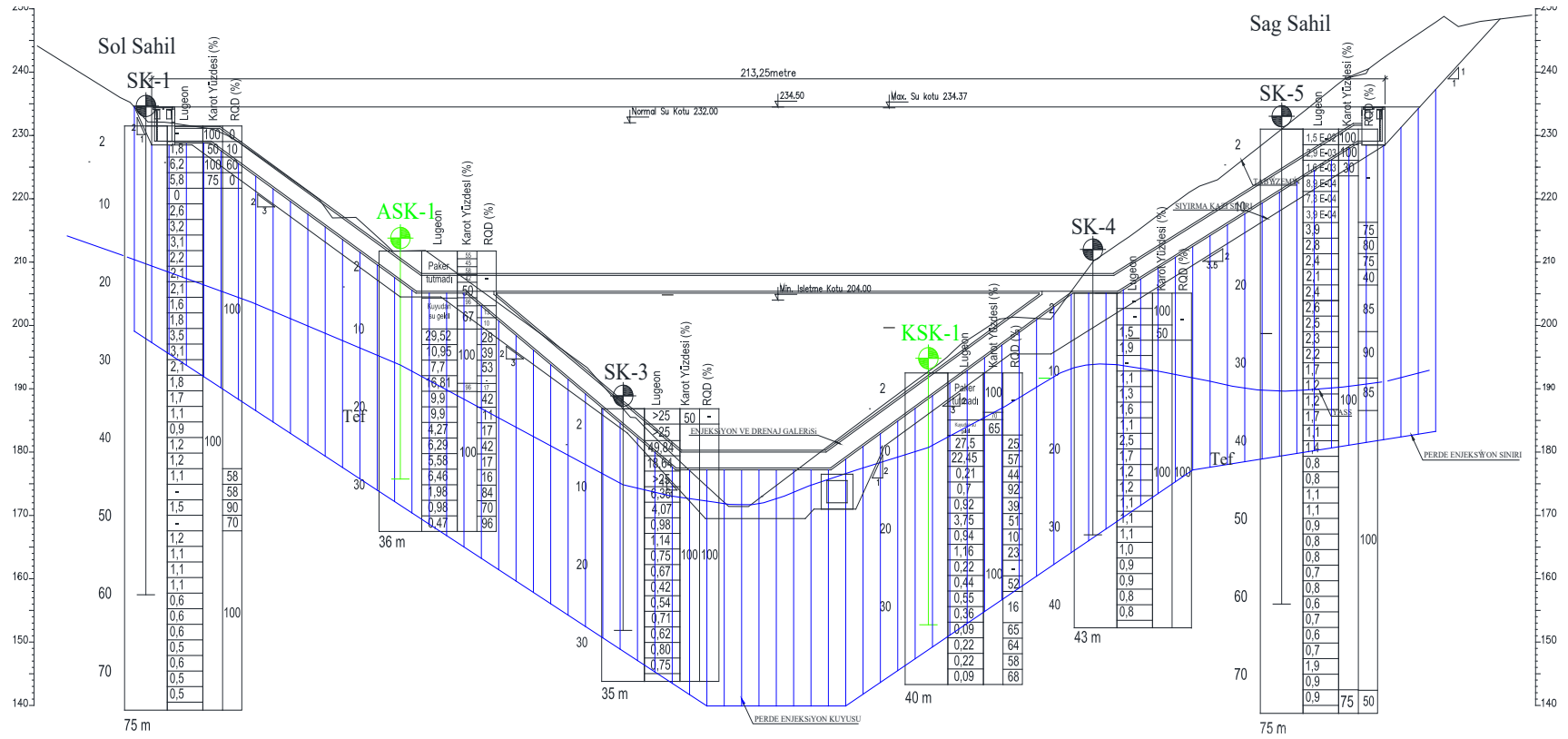
Baraj gövdesi aks yerinde enjeksiyon galerisi içinden yapılacak perde enjeksiyonu ile mambadan mansaba su geçisi engellenecektir. Yapılacak perde enjeksiyonunun derinliğinin belirlenmesinde, temel sondajlarındaki RQD değerleri, BST sonuçları, yeraltı su seviyesi ile maksimum su kotu, geçiririmsizlik ilişkileri ve sondaj karot numuneleri ile belirlenen granodiyorit biriminin çatlaklık durumunun heterojen olması dikkate alınmıştır.

Baraj gövde aksında planlama ve kesin proje aşamasında sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testi değerleri (Lugeon), RQD, karot yüzdesi parametreleri Şekil 8.5.'de verilmiştir.

Baraj aksında geçiririmsizliği önlemek amacı ile perde enjeksiyon alt sınırının yeraltı su seviyesinin en az 10,00 m altına inecek şekilde yapılması ve talvegte ise USRS (United States Bureau of Reclamation) tarafından önerilen ampirik yöntemle göre yapılması kararlaştırılmıştır. Bu yöntemde baraj yüksekliği arttıkça perde enjeksiyon derinliği artmaktadır (Şekil 8.6.).



Şekil 8.5. Enjeksiyon perde derinliği formüller yöntemi [13]



KAYA KALİTE GÖSTERGESİ (RQD)  
(Deere, 1968)

KAYA KALİTESİ	RQD (%)
ÇOK ZAYIF	0 - 25
ZAYIF	25 - 50
ORTA	50 - 75
İYİ	75 - 90
ÇOK İYİ	90 - 100

BASINÇLI SU DENEYİ (BST)  
(Lugeon, 1933)

GEÇİRİMSİZ	< 1
AZ GEÇİRİMLİ	1 - 5
GEÇİRİMLİ	5 - 25
ÇOK GEÇİRİMLİ	> 25
YAPILAMAMIS	

Şekil 8.6. Baraj gövde aksı Lugeon, RQD, karot yüzdesi değerleri [5]

$h'$ : Enjeksiyon perdesinin derinliği (m)

$h$ : Delik üst kotu ile barajın maksimum su kotu arasındaki düşey uzaklık (m)

$c$ : Kayacın geçirimsizliğine göre değişen katsayı

( $c=$  1. bölgede 7,5, 2. bölgede 15, 3. bölgede 22,50 m)

Baraj gövde sıyırma kazılarında sonra, sol sahilde ortalama 35,00 m, talvegte 30,00 m, sağ sahilde ise 45,00 m derinlikte enjeksiyon imalatı planlanmış, ancak enjeksiyon uygulama projesinde güvenli tarafta kalabilmek için bu derinlikler artırılmıştır. Talveg'de enjeksiyon perde derinliği aşağıdaki formüller yöntemi ile hesaplanmış olup, enjeksiyon delgileri baraj zemini altında dik olarak oluşan çatlakları yakalamak amacı ile membaya doğru 6 derece eğimli olacak şekilde projelendirilmiştir [5].

### 8.5.2. Uygulama aşaması enjeksiyon ve geçirimsizlik

Karamürsel İhsaniye Barajı perde enjeksiyonu ulaşım galerileri içinden 3'er metre aralıklar ile galeri en alt kotu olan 177,70 metreden başlayarak sol ve sağ sahile doğru aşağıdan yukarı doğru çıkan kademeler metodu kullanılarak perde delikleri enjeksiyon basıncı  $PT=0,33 H$  formülüne göre 35 metre ve 40 metre derinlikte yapılmıştır.

Enjeksiyon uygulamalarında; enjeksiyona Tablo 8.1.'de belirtilen 1 numaralı şerbet ile başlanarak ve bu şerbetten 1 m<sup>3</sup> hacminde kuyuya verilerek kuyu basıncı takip edilmektedir. Basınçta yükselme olmadığı zaman 2 numaralı şerbet karışımına geçilerek 1 m<sup>3</sup> karışım daha kuyuya verilmektedir. Yine kuyu basıncında yükselme olmazsa 3 numaralı şerbete geçilerek yine 1 m<sup>3</sup> verilmekte olup, herhangi bir basınç artışı olmaz ise 4 numaralı şerbetten 5 m<sup>3</sup> verildiğinde basınç artışı olup olmadığı gözlenmektedir. Basınç artışı olduğunda yani kuyunun kaçaklarının kapandığı belirlendiğinde, 1 numaralı şerbet ile devam edilerek refü şartı sağlanıp kuyu enjeksiyonu tamamlanmaktadır. Enjeksiyon uygulama yöntemine göre en ince karışım ile başlayıp, kuyu basınçlarındaki sabitliğe göre daha kaba karışımlar kuyuya

enjekte edilmiştir. Kuyu basınçlarında yükselme olmaması kuyu içerisinde kaçak olduğunu göstermektedir.

Eğer kuyularda 7 numaralı enjeksiyon şerbetine kadar basılmasına rağmen basınç artışı olmuyorsa kuyunun şerbet dolgusuna ara verilerek priz alması beklenir ve kuyunun refü olmamasının jeolojik/geoteknik sebepleri araştırılarak enjeksiyon metodolojisi gözden geçirilir.

Enjeksiyon imalatları biten kısımlarda alış durumuna göre belirlenen kuyular arasına kontrol kuyuları açılarak tekrar enjeksiyon yapılarak geçirimsizlik sağlanmıştır.

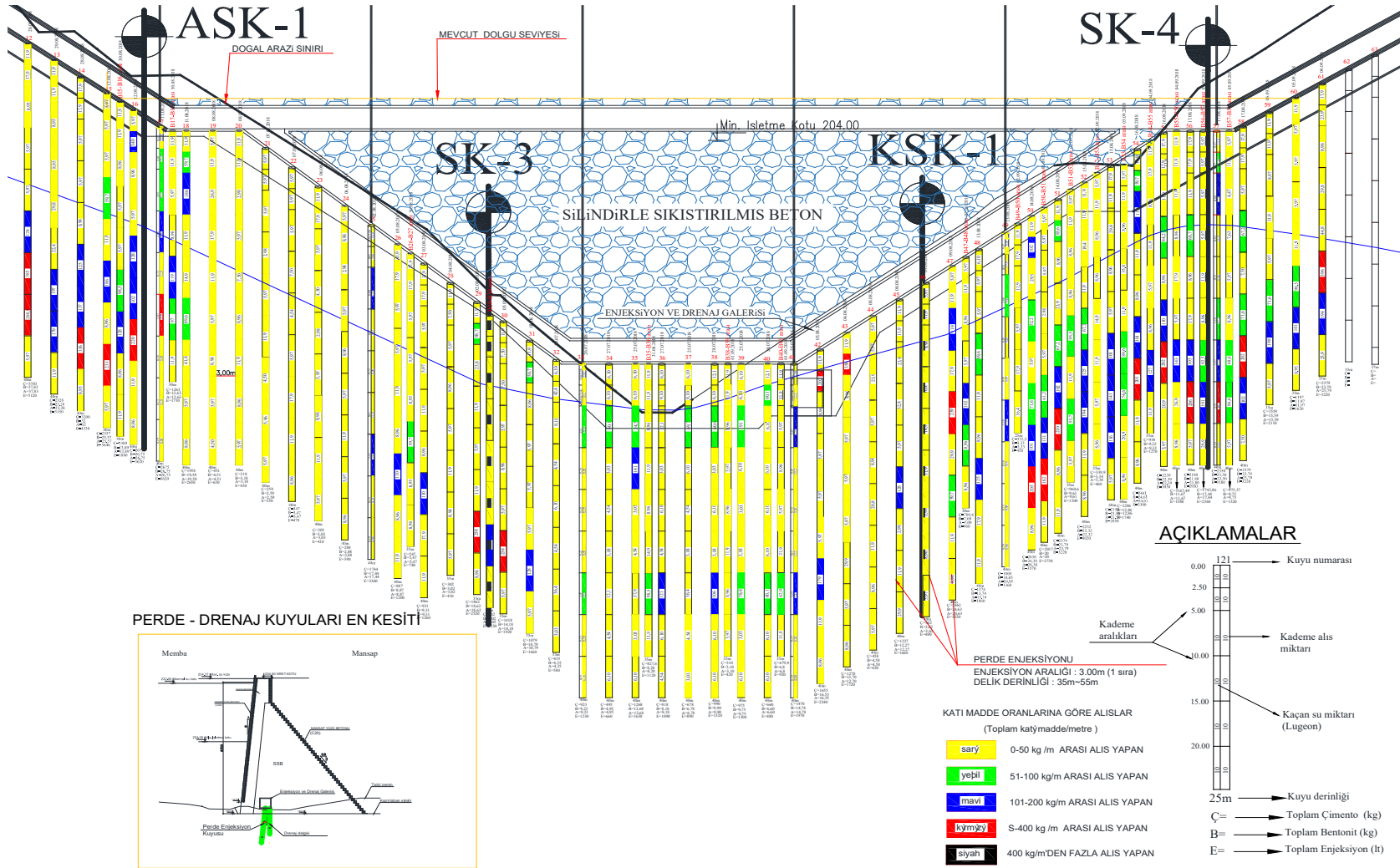
İhsaniye Barajı enjeksiyon galerilerinden açılan enjeksiyon kuyuları, kontrol kuyuları, kuyu derinlikleri, kuyu aralıkları, kuyuların şerbet alış miktarı, basınçlı su testleri Şekil 8.7.'de verilmiştir.

İhsaniye Barajı enjeksiyon kuyusuna giden 1 metredeki katı madde enjeksiyon şerbeti diğer barajlardaki jeolojik birimlerin alışlarına göre Tablo 8.3.'de verilmiştir [14].

Tablo 8.3. İhsaniye barajı enjeksiyon deliğinin 1 metresine giden katı madde miktarı

Baraj Yeri	Jeolojik Birim	Enjeksiyon Deliğinin 1 metresine Giden Katı Madde Miktarı
Özlüce Barajı	Andezit	60 - 70 kg/m
Özlüce Barajı	Alüvyon	200 - 240 kg/m
Oymapınar Barajı	Karstik Kireçtaşı	50 kg/m
Keban Barajı	Karstik Kireçtaşı	300 kg/m
	Filiş	25 - 50 kg/m
İhsaniye Barajı	Granidiyorit	23 kg/m





Şekil 8.7. İhsaniye barajı enjeksiyon uygulama planı

## BÖLÜM 9. SONUÇ

Baraj gövdesinin oturacağı zemin sağ ve sol yamaçlarında bulunan ayrıışmış kaya, talvegte bulunan alüvyon ve alüvyon altı ayrıışmış kaya sıyrma kazıları ile kaldırılmış ve baraj sağlam granodiyoritler üzerine oturtulmuştur. Buna göre taşıma gücü problemi ve sıvılaşıma riski bulunmamaktadır. Güncel durumda herhangi bir problem yaşanmamıştır.

Baraj gövde inşaat sahasında bulunan granodiyoritlerin boşluksuz yapıda olması eklem açıklıklarının 1 cm'den az ve bu açıklıkların kuvars ve kil dolgulu olması sebebi ile temel zemininde ancak mm dolayında oturma beklenmiş olup, bu oturmanın inşaat sırasında sönmüneceği dolayısı ile oturma yönünden bir problem yaşanmayacağı düşünölmüştür. Güncel durumda oturma ile ilgili herhangi bir problem yaşanmamaktadır.

Baraj aksında bulunan eosen yaşlı granodiyoritler rezervuar sahası içine doğru yaklaşık 300 metrelik alanda bulunmaktadır. Bu kısımdan sonra rezervuar alanının ana kayasını paleozoyik yaşlı Pamukova metamorfiteeri oluşturmaktadır. Baraj aksı ve çevresinde açılan sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testi deneylerinde elde edilen geçirimsizlik değerlerine göre baraj rezervuar alanının geçirimsiz olduğu söylenebilir.

İhsaniye Barajı enjeksiyon kuyularının çimento şerbeti alış miktarları incelendiğinde, planlama ve kesin proje aşamasında açılan sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testlerinde bulunan parametreler ile aynı değerlere sahip olduğu görölmektedir. Sadece bazı kuyularda 25,00 m ile 30,00 m'ler arasında alışlar beklenenden biraz fazla olmuştur. Enjeksiyon imalatından sonra yapılan basınçlı su testlerinde lugeon değerleri geçirimsizlik değerleri arasında kalmıştır.

Baraj ekseninden açılan kuyulara göre temel kayası granodiyoritlerden oluşmaktadır. Granodiyoritlerin üst kısmında bulunan zamanla ayrıışmış kaya sıyırma kazısı ile kaldırıldığından şevlerde herhangi bir duraysızlık problem yaşanmamıştır

Rezervuar alanının küçük bir kısmını granodiyoritler oluşturmaktadır. Granodiyoritlerin üst kısımları ayrıışmış alt kısımları sağlam ve sert yapıda görülmektedir. Rezervuar sahasının çoğunlunu kapsayan morumsu ve kahverengi renkteki metamorfitler orta sert-sert ve çok sert dayanım gösteren yapıdadırlar. Rezervuar sahasının temel kayasını oluşturan metamorfitlerin kırılğan yapılı üst kısımları ile granodiyoritlerin ayrıışmış kısımları su seviyelerinin hareketleri ile ıslanma ve kuruma sonucunda küçük ölçeklerde kütle hareketleri gerçekleşebilir. Büyük ölçekte akma, heyalan, kaya devrilmesi gibi kütle hareketleri beklenmemektedir.

Baraj imalat başlangıcında itibaren kati projesine uygun belirli kot ve km'lere toplam 134 adet olan ölçüm aletlerinden 95 adet yerleştirilmiştir. Baraj inşaaı devam ettiği için tamamı yerleştirilememiştir.

Baraj Gövde İçerisine;

Boşluk Suyu Basıncı Ölçer 12 Adet

Kaya Tipi Deformasyon Ölçer 3 Adet

Kısa Dönem Sıcaklık Ölçer 18 Adet

Uzun Dönem Sıcaklık Ölçer 20 Adet

Deformasyon Ölçer 18 Adet

Derz Ölçer 2 Yönlü 14 Adet

Derz Ölçer 3 Yönlü 4 Adet

Alt Basınc Ölçer 6 Adet, yerleştirilmiştir.

Yerleştirilen cihazlarda belirli periyotlar ile yapılan okumalarda herhangi olumsuz bir parametreye rastlanmamıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiyedeki Barajlar Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu Türk Komitesi.
- [2] www.wikipedia.com Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- [3] Malcolm Dunstan and Associates Specialist in Roller Compacted Concrete Dams <http://www.rccdams.co.uk>.
- [4] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hes Dairesi Başkanlığı 2019.
- [5] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Barajlar ve Hes Dairesi Başkanlığı Kocaeli Karamürsel İhsaniye Barajı Proje Yapım Raporu Nisan 2015. (yayınlanmamış).
- [6] Polat, Ö., Silindir ile Sıkıştırılmış Baraj Uygulamaları.
- [7] Arkoç, O., 2017, Genel Jeofizik ve Jeoloji. Kayaçların ve Süreksizliklerin Mühendislikteki Önemi.
- [8] Fener, M., Ankara Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Anabilim Dalı. Basınçlı Su Testi (Lugeon).
- [9] Devlet Su İşleri Bursa 1. Bölge Müdürlüğü Karamürsel İhsaniye Barajı Enjeksiyon Uygulama Talimatı.
- [10] Üşenmez, K., 2005. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Dalaman Akköprü Barajı Enjeksiyon Uygulamaları Yüksek Lisans Tezi.
- [11] Koçer, A., Ağustos 2012. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Beton Ağırlık Barajda Enjeksiyon Uygulamaları. Boyabat Barajı Yüksek Lisans Tezi.
- [12] Alkaya, D., Yeşil, B., (2011) Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat mühendisliği Bölümü. Cindere Barajı Enjeksiyon Uygulamaları.

- [13] Özkan, H., Enjeksiyon Yöntemleri ve Uygulamaları Ankara, 2006.
- [14] Tolun, M.G., Barajlar ve Hidroelektrik Tesislerin Planlama Düzeyinde Projelendirme Kriterleri, Eğitim Notları, DOLSAR Mühendislik Limited Şti., Ankara,1995, (yayınlanmamış).

## **ÖZGEÇMİŞ**

İskender GÜMAN, 20.12.1982 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında İnşaat Mühendisi olarak Sakarya Üniversitesinden mezun olduktan sonra özel bir şirkette çalışmaya başladı. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.