

DERİNER BARAJI VE HES İNŞAATI PERDE ENJEKSİYONU TEST ÇALIŞMALARI

Dr. Bünyamin ÜNAL¹³

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

1.GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, ülkemizin en yüksek barajı olan Deriner Barajında, baraj temeli ve yamaçlarda geçirimsizliğin temel sondajlarla araştırılarak iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi, enjeksiyon perdesinin geometrisinin oluşturulmasıdır. Bu amaçla temel kayasının jeolojik ve yapısal özellikleri incelenmiş olup, araştırma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla temel kaya iyileştirmesi ve enjeksiyon perdesi geometrisinin oluşturulması amaçlanmıştır.

2.ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Saha jeolojisi çalışmalarıyla birimlerin jeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Bu amaçla büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca temel kayacın geçirimsizliğinin baraj aks yerinde düşey ve yatay doğrultuda değişimlerini izlemek amacıyla karotlu ve karotsuz kuyular açılmıştır. Bu kuyularda kaya kalite özellikleri basınçlı su testleri ve test enjeksiyonlarıyla incelenmiştir .

3.BULGULAR

3.1.İnceleme Alanı : Deriner barajı aks yeri Artvin iline 5 km uzaklıktadır. Baraj, Çoruh Nehri üzerinde inşa edilmektedir. Derivasyon tüneli, memba ve mansap batardoları tamamlanmıştır. Baraj gövdesi temel kazısı tamamlanmış olup, gövde betonuna başlanmıştır. Elektromekanik bölümlerin montaj çalışmaları, sondaj ve enjeksiyon çalışmaları ise devam etmektedir.

3.2. Deriner Barajının Karakteristikleri:

- Artvin ili 5 km membasında
- Amacı: Enerji ve taşkın koruma
- Çift eğrilikli beton kemer tipinde
- Temelden yüksekliği: 249 m

¹³ bunyaminunal@dsi.gov.tr 0312.4178300

- Kret Uzunluğu: 720 m
- Kurulu gücü: 670 MW
- Toplam enerji: 2118 GWh/yıl
- Sınıfında dünyanın dördüncü, ülkemizin ise en yüksek barajıdır.

3.3. Jeoloji : Baraj temel kayası Eosen-Oligosen yaşlı İkizdere magmatitleridir. Bunlar kuvars diyorit, diyabaz, profir ve lamprofir olarak ayırtlanmıştır. Kret kotu altında bu güne kadar karşılaşılan jeolojik yapı özellikle değişken kalınlıkta sayısız sokulumlu dayk kayalı tektonik olarak parçalanmış kuvars diyorit içermektedir. Temel kayası irili ufaklı dayklarla kesilmiş olup, yüzeye yakın yerlerde oldukça kırıklı ve çatlaklıdır. Çatlaklar çoğunlukla kapalı yüzeylere sahip olup açık olan çatlak yüzeyleri ise pürüzlüdür. Gövde kazısı alanında cm'den metre boyutuna kadar faylar bulunmaktadır, faylar genellikle dolgudur.

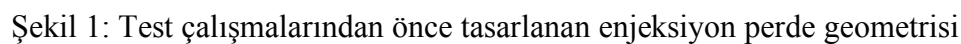
3.4. Önceki Çalışmalar: Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılan 18 adet araştırma sondajında temel kayasının geçirimsizliği araştırılmıştır. Buna göre Basınçlı Su Testleri (BST) 2 metrelik kademeler halinde yapılmıştır ve 3,6,10,6,3 bar basınç uygulanmıştır. Su kaçakları daha çok yüzeye yakın yerlerde ve diyabaz daykları çevresinde olmuştur. Eklem sistemlerine bağlı olarak su kaçakları gelişmiştir. Derinlere inildikçe çatlakların kapanması nedeniyle kaçaklar azalmıştır. Sonuçlar bir enjeksiyon perdesinin gerekliliğini göstermiştir (Şekil 1)

4. PERDE ENJEKSİYONUN YERİ

4.1. 153 Kotu: Perde enjeksiyonunun 153 m kotlu galeriden 160 m derinlikte ve 3 m aralıklı düşey olarak oluşturulması öngörülmüştür (Baraj yüksekliğinin 2/3 ü).

4.2. Sağ ve Sol Sahil :153 m kotu üzeri yamaçlarda enjeksiyon perdesi 15° menbaya doğru oluşturulacaktır. Eğime ve alttaki perde ile bindirmeye bağlı olarak kuyu boyları 50 ile 60 m arasındadır. Perde enjeksiyonu derinliği limiti göl basıncındaki azalma ve jeolojik formasyonların geçirimsizlik ve kaya-enjeksiyon ilişkine bağlıdır.

4.4. Perde Derinliğini Azaltma: Baraj temelindeki mevcut belirsizlikler ve bilinmeyen süreksizlikler nedeniyle perde enjeksiyonu kuyu derinliklerinde azaltma yapılarak değiştirilemez. Ancak temel kayacın jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile test paneli enjeksiyon sonuçları ışığında, perde derinliğinde bir azaltma olabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle mevcut enjeksiyon perdesinin oluşturulması bütün bölgenin kontrolüne imkan vermekte ve kayaç geçirimliliğini büyük ölçüde düşürecektir..



Baraj temelinde enjeksiyon perdesinin derinliğine, karışımların oranı ve basınçlarına karar verebilmek amacıyla perde enjeksiyonundan önce test bölgesi oluşturulması öngörülmüştür. Bu amaçla sol sahil LG0 (153 kotu) galerisinden bir enjeksiyon test paneli uygulanmıştır. Baraj aksından itibaren km: 0+50 ile 0+98 arasındaki panel; 48 metre

uzunluğunda ve 160 m derinliktedir. Test bölgeleri fay zonundan uzakta masif Granit formasyonunun hakim olduğu yerdedir. Test paneli :

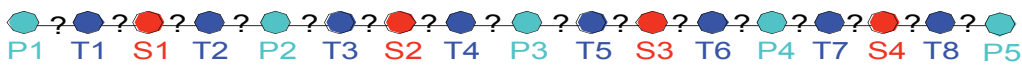
- Kati projedeki nihai 3 m kuyu aralıklarının değerlendirilmesi,
- Kullanılacak olan karışımın belirlenmesi,
- Uygulanacak enjeksiyon basınçlarının değerlendirilmesi,
- Enjeksiyon akış şemasının işlerliğinin kontrol edilmesi ve
- Yapılacak BST'lerle ilksel geçirimsizliğin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Enjeksiyon Perdesi Test Panelinin özellikleri:

- Yeri: 153 kotu LG-0 Galerisi Km: 0+050 – 0+098
- Kuyu derinlikleri: 160 m
- Birincil kuyular: 5 adet, karotlu, su testli
- İkincil kuyular: 4 adet, eritmeli, 1 tanesi karotlu, su testli
- Üçüncül kuyular: 8 adet, eritmeli
- Dördüncül kuyular: 14 Adet, eritmeli
- Beşincil kuyular: 1 adet, eritmeli olarak açılmıştır.

5.1. Temel Araştırma Sondajları

Test kuyuları; karotlu kuyularda 76 mm ve karotsuz kuyularda 59 mm olmak üzere iki ayrı çapta planlanan 160 m derinliğe kadar delinmiştir. Delgilere 24 m aralığa sahip 3 adet karotlu ve su testli birincil kuyularla başlanmış ve son aralık 12 m olacak şekilde aralarına 2 adet ilave birincil kuyu açılmıştır (Daralan Metod).



P: Birinci sıra kuyuları **S:** İkinci sıra kuyuları **T:** Üçüncü sıra kuyuları

Birinci sıra kuyuların arasına, kuyu aralığını 6 m ye indirecek şekilde 4 adet eritmeli (karotsuz) ikinci sıra kuyuları açılmış ve kuyu aralıkları 8 adet eritmeli üçüncü sıra kuyularla 3 m ye düşürülmüştür. Daha sonra derinlikleri 15 m den 30 m ye kadar değişen 15 adet dördüncül kuyular delinmiş ve enjeksiyonu yapılmıştır. Test paneli enjeksiyonu ve geçirimsizliği için 3 adet kontrol kuyusu, 3 adet eğik kontrol kuyusu açılmıştır.

5.2. Basınçlı Su Testi (BST):

Birincil, ikincil (yalnızca S1) ve kontrol kuyularında ilerlemeye paralel 5 metrelik kademeler halinde yapılmıştır. E.İ.E.İ. çalışmalarına göre baraj yerindeki temel kayanın geçirimsizlik durumu Şekil 2 ' de verilmektedir.

Test araştırma kuyularının açılması sırasında kayacın geçirimsizlik durumu ilave araştırma çalışmaları ile daha ayrıntılı araştırılmıştır. Basınçlı su testi sırasında derinliğe bağlı olarak uygulanan basınçları aşağıda verilmiştir:

Kademe, m	Basınç, bar
0-5	1 – 3 – 1
5-10	1 – 3 – 5 – 3 – 1
10-20	3 – 6 – 8 – 6 – 3
>20	3 – 6 – 10 – 6 – 3

Şekil 2:E.İ.E.İ çalışmalarında Deriner Barajı aks yeri geçirimsizliğini gösterir kesit.

5.3. Enjeksiyon Karışımları : Enjeksiyon uygulamalarında kullanılacak karışımı belirlemek için 190 farklı karışımın testi yapılmıştır. Enjeksiyon 397 m kotundaki ana enjeksiyon merkezinde otomatik olarak hazırlanmış ve karışım 153,50 m kotundaki ara istasyona aktarılmıştır. Testler sonucunda ana karışım olarak M1 ve ikincil karışım olarak

M2 belirlenmiştir. Enjeksiyon karışımları için Kars Çimento CEM II / A-M (P-L) 42,5 N ürünü kullanılmıştır. Bu çimento ile hazırlanan M1 ve M2 karışımlarının viskozite ile basınç mukavemet sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmektedir.

5.4. Kontrol Kuyuları: Test panelinin tamamlanması ardından kontrol amaçlı 3 adet kontrol kuyusu test panelinin tabanına inecek şekilde 165 m delinmiştir. Kuyular karotlu, su testli olarak açılmıştır. Kontrol kuyularının yerleri test paneli çalışmalarında enjeksiyon alışlarının yüksek olduğu yerler dikkate alınmıştır (Tablo 4).

Kar. No	Su / çimento	Rheo.1000 / Çimento %	Pozzo.326 / Çimento %	Yoğunluk (gr / cm ³)	Viskozite (Marsh) sn.				
					27/12/05	29/12/05			
M1	0.8 / 1.0	1.1	-	1.583	0 dak.	0 dak.	15 dak.	30 dak.	45 dak.
					33.1	32.1	34.1	36.2	36.7
M2	0.8 / 1.0	1.1	2.0	1.577	0 dak.	0 dak.	15 dak.	30 dak.	45 dak.
					31.7	32.3	34.8	36.0	36.2

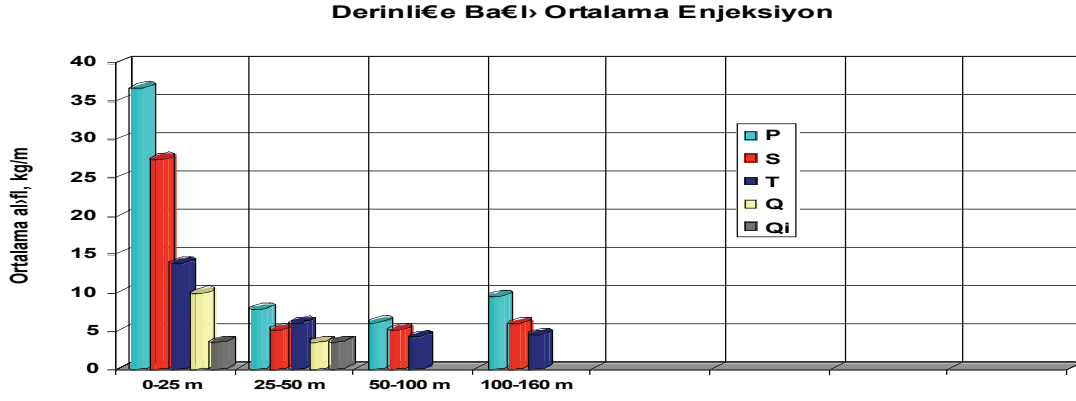
Tablo 1: M1 ve M2 enjeksiyon karışım numunelerinin viskozite değerleri

Kar. No	Çökelme (%)			Priz süreleri (saat: sn.)			Basınç mukavemeti (kg/ cm ²)		
	1 sa	2 sa	3 sa	Priz başı	Priz sonu	süre	3 günlük	7 günlük	28 günlük
M1	1.8	2.0	2.4	11:50	16:55	05:05	118.2	156.3	198.2
M2	1.0	1.2	2.0	07:05	10:45	03:40	90.9	139.3	188.5

Tablo 2: M1 ve M2 enjeksiyon karışım numunelerinin mukavemet değerleri

5.5. Test Paneli Çalışmalarının Sonuçları : 153 m kotundaki galerilerden yüksek enjeksiyon alışları bu kuyuların ilk 25 m sinde görülmüştür (Şekil 3).

İkincil ve üçüncül kuyuların 30 m derinliğe kadar olan 66 kademesinin 3 ünde enjeksiyon alışları 100 kg/m yi geçerken, 2 kademesinde 45 kg/m ile 100 kg/m arasındadır. 30 m altında alışlar, 22.6 kg/m ye ulaşan bazı bölgeler hariç 10 kg/m nin altındadır.



Şekil 3 : Derinliğe bağlı olarak enjeksiyon alışlarında bir azalma izlenmektedir.

Test panelinin büyük bir bölümünde 1,5 m aralıklı dördüncül kuyulara girilmiştir (Q kuyuları-Şekil 3). 16 enjeksiyon kademesinin 4 ünde enjeksiyon alışları 100 kg/m yi geçmekte, diğer 4 kademede ise 45 kg/m ile 100 kg/m arasında kalmaktadır. Diğer açılan bu dördüncül kuyuların genelinde alış olmamıştır. Dördüncül kuyuların asla 45 kg/m ye ulaşmayan enjeksiyon alışları jeolojik formasyonların başarılı olarak enjeksiyonlandığını göstermektedir. Açılan 1 adet beşincil kuyuda enjeksiyon alış olmamıştır (Qi kuyusu-Şekil 3).

Deer, 1976 Sınıflamasına Göre ;

Perde test enjeksiyonlarında birincil ikincil ve üçüncül kuyulardaki alışlar,

- 0-25 m aralığında “orta derecede düşük”
- 25-160 m aralığında “çok düşük” tür (Tablo 3).

Katı Madde Alışlarının Derecelendirilmesi, Deer, 1976:

Geçirimsizlik Tanımlaması	Katı Madde Alışı, kg / m	Deriner Baraj Yeri
Çok Düşük		
Düşük	12,5-25	
Orta Derecede Düşük		
Orta Derece	50-100	
Orta Derecede Yüksek	100-200	
Yüksek	200-400	
Çok Yüksek	>400	

Tablo 3: Katı madde alışlarının DEER’e göre sınıflandırılması

Kontrol kuyularında genellikle enjeksiyon alış olmamıştır (Tablo 5). Kontrol kuyularında ölçülen geçirimsizlik değerleri 2 lugeon altında olup bütün enjeksiyon alışları bütün perde

zonunda 10 kg/m den azdır. Derin kotlarda bütün lugeon değerleri 2' den (izin verilen enjeksiyon tamamlama kriteri) azdır.

Kaydedilen enjeksiyon değerleri, lugeon değerleriyle karşılaştırıldığında düzensiz olarak değişmektedir. Birimin kristalen (derinlik kayacı) olması göz önüne alındığında derinlere doğru kaya kalitesinde doğal bir artış daha üst kotlarda izlenmiştir.

Şekil 4 te verilen ve eğimli plarak açılan control kuyuları karotlu ve basınçlı su testli (BST) olarak incelenmiştir. Buna göre 7° ile 14° arasında (Tablo 4) özellikle enjeksiyon alışlarının fazla olduğu yerlerde kontrol kuyuları verilmiştir. Kontrol kuyularında enjeksiyon alışları olmamıştır. Bu durum perde enjeksiyonundan beklenen geçirimsizlik özelliğinin en belirgin kanıtlarından birisidir.

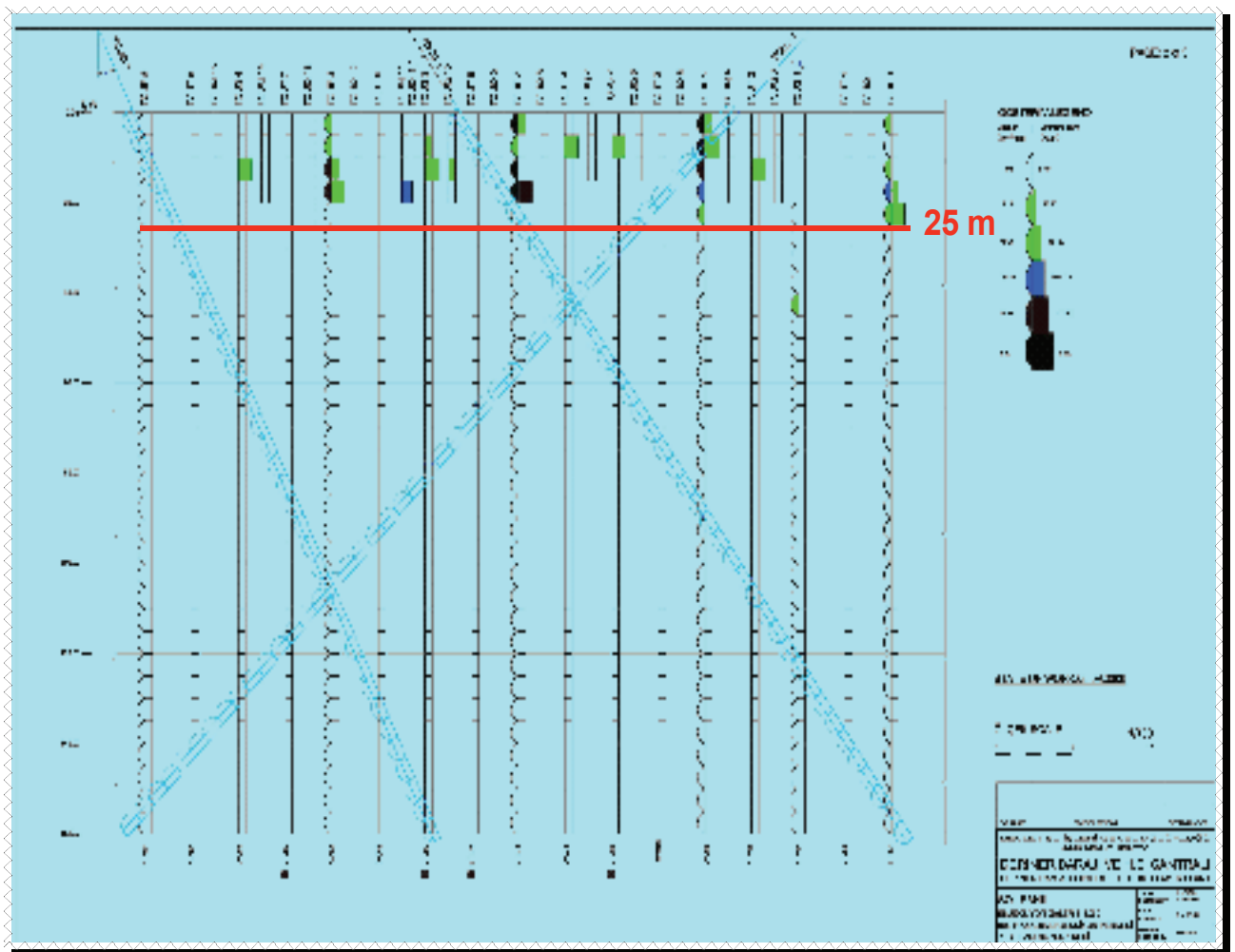
Kontrol Kuyular > Alışlar:

Derinlik, m		0-25	25-50	50-100	100-160
TCUC1 (14°)	Toplam, kg	111,25	192,20	245,65	293,70
	Ort., kg/m				
TCUC2 (10°)	Toplam, kg	111,25	111,25	263,40	293,70
	Ort., kg/m				
TCUC3 (7°)	Toplam, kg	111,25	111,25	222,50	289,25
	Ort., kg/m				
Toplam (C1,C2,C3)	Toplam, kg	333,75	414,70	731,55	876,65
	Ort., kg/m				

Tablo 4 : Derinliğe bağlı kontrol kuyularındaki enjeksiyon alışlarıPerde enjeksiyonu test paneli çalışmalarının sonuçları ise Tablo 5' te verilmektedir. Buna göre perdeninin %67 lik kısmı 1 lugeon altında, %22 lik kısmı ise çok az geçirimlidir.

Derinlik, m	Toplam Test Sayısı	Geçirimsiz 0 - 1 LU		Çok Az Geçirimli 1 - 3 LU		Az Geçirimli 3 - 5 LU		Orta Geçirimli 5 - 10 L		Çok Geçirimli 10 - 25 L		Çok Yüksek Geçirimli > 25 LU	
		Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
0.0 - 25	25	6	24	1	4	2	8	1	4	9	36	6	24
25 - 50	25	17	68	8	32	-	-	-	-	-	-	-	-
50 - 100	50	35	70	15	30	-	-	-	-	-	-	-	-
100 - 160	60	49	82	11	18	-	-	-	-	-	-	-	-
0 - 160	160	107	67	34	22	2	1	1	1	9	5	6	4

Tablo 5: Basınçlı su testi çalışmaları sonunda geçirimli, çok geçirimli (10 – 25 Lu) bölümün 0-25 m zonu olduğu görülmüştür.



Şekil 4: Test paneli çalışmaları sonunda yüzeyden itibaren ilk 25 metrelik kısımda yüksek geçirimsizlik ve enjeksiyon alışları görülmüştür.

Bu veriler sonucunda amaçlanan enjeksiyon perdesi geometrisi için:

- **Birincil kuyuların:**
 - 24 m aralıklarla,
 - 130 m derinlikte,
 - karotlu, su testli,
- **İkincil kuyuların:**
 - 24 m aralıklı (12 m birincil kuyu mesafesi)
 - 100 m derinlikte,
 - Karotsuz
- **Üçüncül kuyuların:**
 - 12 m aralıklı (6 m birincil ve ikincil kuyu mesafesi)

- 80 m derinlikte,
- Karotsuz

○ **Dördüncül Kuyular:**

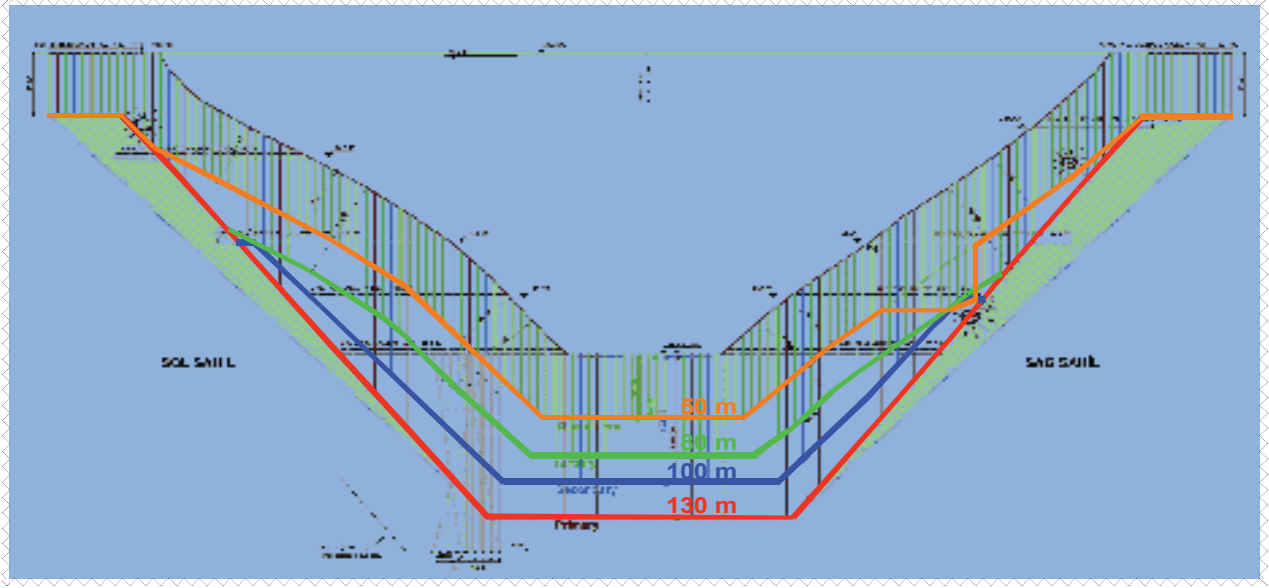
- 6 m aralıklı (3 m diğer kuyulara mesafe)
- 50 m derinlikte,
- Karotsuz olarak açılması ve enjeksiyon perdesi geometrisini oluşturulması planlanmıştır (Şekil 4)

Araya girme kriteri:

- 0-50 m derinlikte: >45 kg/m enjeksiyon alışı veya >5 Lu geçirimsizlik
- 50-80 m derinlikte: >60 kg/m enjeksiyon alışı
- >80 m derinlikler: >80 kg/m enjeksiyon alışı
- Yamaçlarda ve temelde 3 m aralıklı perde zonu yüzeye dik 50 m lik mesafe içerisinde olacak,
- Yamaçlarda galeri aralarında perde bir alttaki galerinin 10 m altına geçecek şekilde planlanmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan incelemede temel kaya granit-granodiyorittir. Ana kayanın yüksek bir eklem sistemine sahip olmasına karşın eklem sistemlerinin ince ve dolgusuz olmasından dolayı permeabilite üzerinde ikincil derecede etkilidir. Ana kayanın geçirimsizliğine etken olarak birincil derecede ana kayayı değişik yönlerde kesen diyabaz dayklarıdır



Şekil 5: Test Çalışmaları sonunda oluşturulması hedeflenen enjeksiyon perdesi geometrisi

Yapılan test panelinde gerçekleştirilen enjeksiyon alışı ve daha önce planlama aşamasında açılmış temel sondaj kuyuları sonuçlarına göre ana kayada enjeksiyon alışı ve yapılan BST'lerde yüksek değerler granit birimi içerisindeki diyabaz daykaları çevresinde gerçekleşmektedir. Yapılan test panelinden elde edilen verilere göre ilk 25 metre yüksek geçirimsizlik değerlerine (>25 lugeon) sahipken daha derinlere doğru geçirimsizlik değerleri çok düşüktür. İlk metrelerde yüksek geçirimsizlik değerlerinin yapılan kazı çalışmalarının doğal bir etkisi ile yüzeye yakın kesimlere soğuma çatlaklarının sıklığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle 100 metrenin altında bu değerler 1 lugeon değerinin altında kalmaktadır. Birimin kristalen (derinlik kayacı) olması göz önüne alındığında derinlere doğru kaya kalitesinde doğal bir artış beklenmelidir. Bu nedenle oluşturulacak enjeksiyon perdesinde elde edilen veriler ışığında gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- DECON. Deriner Barajı ve HES İnşaatı Kati Proje Raporu (Yayınlanmamış)
EİEİ(1991). Aşağı Çoruh Havzası Deriner Barajı Yeri Mühendislik Jeolojisi raporu
STUCKY(2005). Deriner Barajı ve HES İnşaatı Kati Proje Raporu (Yayınlanmamış)
TEKSON (2007). Deriner Barajı Perde Enjeksiyonu Test Çalışmaları.