

ALUVYONDAKİ SIZDIRMAZLIK ÇALIŞMALARININ ÇATALAN BARAJINDAKİ UYGULAMASI

Nuri ÖZGÜZEL : DSI Çatalan Barajı ve HES Proje Müdürlüğü - ADANA
Cuma KORKMAZ : DSI Çatalan Barajı ve HES Proje Müdürlüğü - ADANA
İhsan TAŞKIN : DSI Çatalan Barajı ve HES Proje Müdürlüğü - ADANA
Şevki KESER : DSI Çatalan Barajı ve HES Proje Müdürlüğü - ADANA

GİRİŞ

Türkiye'nin büyük barajları arasında yer alan Çatalan Barajı ve HES; Adana İlinin 30 km kuzeyinde ve Seyhan nehri üzerinde, inşaatına 1982 yılında başlanmıştır. Taşkın koruma, enerji ve sulama amaçlı zonlu toprak dolgu barajdır. Yapımı sürdürülen baraj, tamamlandığında 3 x 56, 3 = 168, 9 MW gücündeki santrali ile yılda ortalama 550 x 10⁶ Kwh elektrik enerjisi üretecektir. Adana ili ve Yüreğir Ovasını taşkından koruyacak ve İmamoğlu tüneli ile 65.000 ha araziye sulayacaktır.

Çatalan Barajı ve HES İnşaatında baraj gövdesinin ve diğer büyük yapıların (Dolusavak teskin havuzu, Santral binası, Tünel girişi yapıları v.s.) inşaat edilecekleri yerlerde kalınlığı 20 m'ye varan alüvyon bulunmaktadır. Yapıların özelliklerine göre; alüvyonun kısmen veya tamamen kaldırılması gerekmektedir. Bu nedenle alüvyonda "Geçirimsiz Elastik İnce Perde Duvarı" inşaatı yapılmış, bu perdenin ana kayaya kadar inemediği yerlerde alüvyon enjeksiyonu ile takviyesi yapılmıştır. Bu yazımızda pratikteki arazi çalışmaları ile yerinde gözlenen sonuçları, makina ekipmanı ile birlikte anlatılmaktadır. Geçirimsiz Elastik İnce Perde Duvarı "Perde Duvar" olarak anılacaktır.

Çatalan Barajı ve HES Tesisleri Mühendislik Verileri:

Baraj tipi..... : Zonlu Toprak Dolgu
Temelden Yüksekliği..... : 82.00 m
Talvegden Yüksekliği..... : 70.00 m
Gövde Dolgu Hacmi..... : 17 x 10⁶ m³
Toplam Göl Hacmi..... : 2200 x 10⁶ m³

Derivasyon Tünelleri

Yeri..... : Sol Sahil
Tipi..... : Dairesel Kesit
Uzunlukları..... : T-1: 710 m (Net çapı: 8,50 m)
T-2: 783 m (Net çapı: 8,50 m)

Maksimum Deşarj

Kapasitesi..... : 1675 m³.

Dolusavak

Yeri..... : Sağ Sahil
Tipi..... : Karşından alışı çift kapaklı
(Radyal + Giyotin)
Radyal Kapak..... : 6 adet 15.60 x 11.00 m
Çelik Batardo Kapağı... : 6 adet 16.60 x 11.00 m

Enerji Giriş Yapısı ve Cebri Borular

Yeri..... : Sağ Sahil
Eşik Kotu..... : 105.00 m
Kapasitesi..... : 3 x 120 = 360 m³/sn
Cebri Boru Çapı..... : 5.50 m
Ortalama Su Seviyesi... : 118,60 m

HES

Yeri..... : Sağ Sahil
Brüt Düşü..... : 61.00 m
Türbün Adedi..... : 3
Türbin Tipi..... : Düşey Eksenli Françis
Santral Kurulu Gücü..... : 3 x 56,3 = 168,9 MW
Yıllık Ort. Üretilen Enerji..... : 550 x 10⁶ kwh

2- BARAJ YERİ JEOLJİSİ

Baraj alanını çökel kayalar kapsamaktadır. Çökel kayalar Miyosen yaşlı Kilitaşı-Kumtaşı ardalanması; Pleyistosen yaşlı teras konglomerası ile Holosen yaşlı alüvyondan oluşmaktadır. Çalışma alanında en fazla yaygın olan birim Kilitaşı-Kumtaşıdır,

Kilitaşı: Gri ve kahverenkli olup, siltli, yumuşak, yer yer silttaşı arabantlıdır. Katmanları belirsizdir. Duraylılığı zayıftır. 8-10 m kalınlık göstermektedir. Geçirimsiz özelliktedir.

Kumtaşı: Kurşuni, kirli sarı renklerde, kuvars ve kireçtaşı daneli yer yer çakilitaşı ara yüzeylidir. Yamaçlarda gevşek çimentolu, iç kısımlarda iyi çimentolu özellikler göstermektedir. Silttaşı ile birlikte 15 m kalınlık gösterebilmektedir. Tabakalar N 70-80 E doğrultulu, 10-15 SE eğimlidir. Kilitaşı-Kumtaşı Orta Miyosen yaşlıdır.

Teras Konglomerası: Baraj yerinde Seyhan Nehri'nin sol ve sağ yamaçlarında, tepelerde görülmektedir. Kalınlığının az olduğu yerlerde gevşek çimentolu, kalınlığının fazla olduğu yerlerde karbonat çimentolu olduğu görülmektedir. Kilitaşı-Kumtaşı üzerine diskordanslı olarak yer almaktadır. Pleyistosen yaşlıdır. (Yördem ve Oğuzberk 1981).

Alüvyon: Seyhan Nehri ve Eğlence Deresi boyunca görülmektedir. Baraj yerinde 20 m kalınlık vermektedir. Siltli-kumlu-çakılıdır. Tabanda 3.5-4 m. kalınlıkta CaCo₃ çimentolu yaygın konglomera tabakası bulunmaktadır. (Cut-off kazısı sırasında bu konglomera tabakası dinamitle patlatılarak alınmıştır.) Üstte 8 m kadar silt; siltin altındaki kum-çakıl seviyesi iri bloklu ve heterojen

yapıda olduğu görülmüştür. Kum-çakıl seviyesi G-P sınıfında (kötü derecelenmiş) olup, maksimum dane çapı 76,2 mm, 200 nolu elekten ise % 1,6'sı geçmektedir. (Özgüzel ve Korkmaz 1988)

3- GEÇİRİMSİZ ELASTİK İNCE PERDE DUVARI

3.1- Makina Ekipmanı (Şekil 1)

Ekskavatör.....	: 125 ton
Kule.....	: 30 m
Vibratör.....	: 0-1330 devir/dak. 260 ton.
Çakma Putreli.....	: (0,60 m ve 0,70 m) x 0.10 x 0.18 m
Güç kaynağı.....	: 560 HP
Pompa ve basıncı hortum	: Ø 2 " - 24 kg/cm ²
Mobil karıştırıcı.....	: 3 ton
Karışım taşıyıcı tank....	: 2 x 3 ton.

3.2- Karışım Merkezi ve Yardımcı Ekipman (Şekil 2)

Çimento siloları.....	: 155000 kg.
Çimento bunkerleri.....	: 400 kg.
Mineral fuller siloları....	: 90000 kg.
Karışım bunkerleri.....	: 6000 kg.
Su bunkerleri.....	: 1200 litre
Su pompası.....	: 2 adet

Personel

Mühendis.....	: 2 Adet
Formen.....	: 2 Adet
Operatör.....	: 2 Adet
Düz İşçi.....	: 8 Adet

3.3- Kullanılan Malzemeler

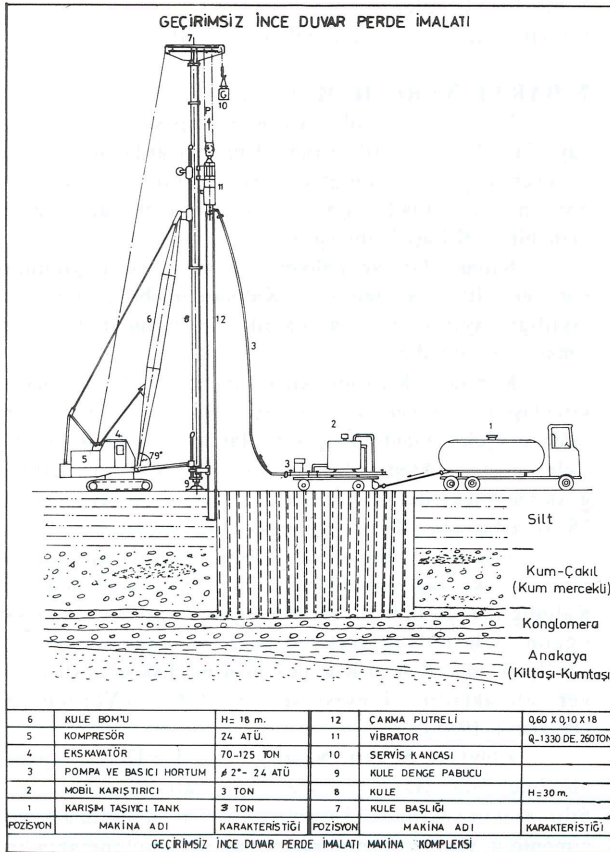
3.3.1- Mineral Fuller: Mermer veya dolomit tozu da denilmektedir. İyice öğütülmüş ve 200 nolu elekten geçirilmiştir. Niğde ve Eskişehir'den temin edilmiştir. Yoğunluğu $d = 2.87 \text{ gr/cm}^3$

3.3.2- Bentonit: Çankırı'dan temin edilmiştir. Laboratuvar analizlerine göre;

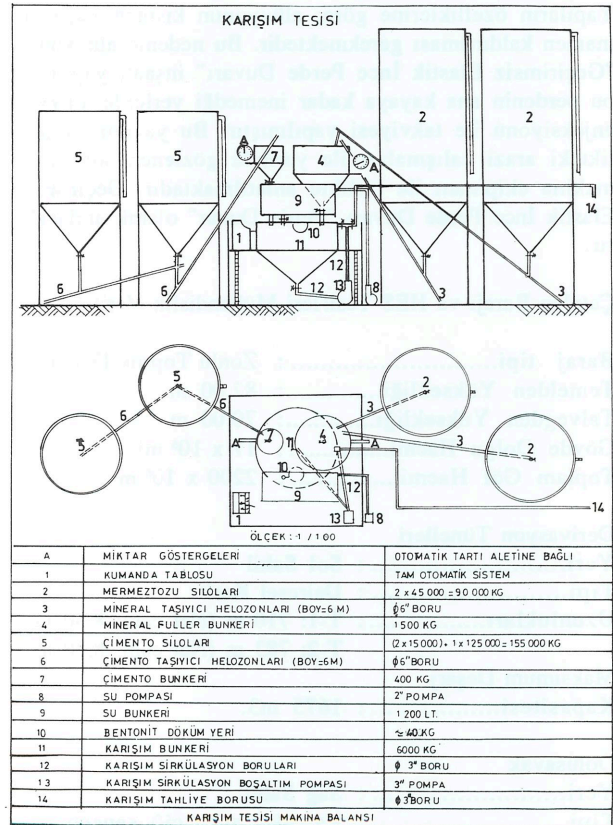
Likit Limit :	293
Plastik Limit :	36
Plastite endisi	: 256
Gevşek birim ağırlığı	: 0,734 gr/cm ³
Sıkı birim ağırlığı	: 0,808 gr/cm ³
200 Nolu elekten geçen	: % 85

3.3.3- Çimento: Katkılı portland çimentosu - 325 kullanılmıştır.

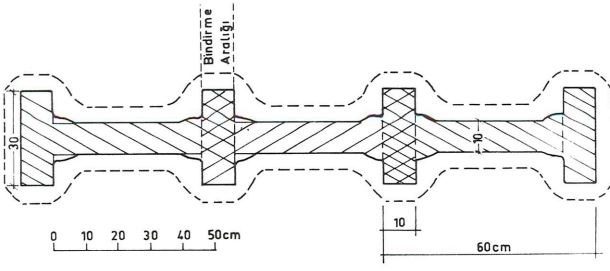
Yoğunluğu	: 3.02 gr/cm ³
200 Nolu elek üzerinde kalan:	% 0.3
Piriz başlama süresi	: 4.13 saat
Piriz sona erme süresi	: 5.28 saat



Şekil 1. Geçirimsiz ince duvar perde imalatı



Şekil 2. Karışım tesisi



Şekil 3. Geçirimsiz elastik ince perde duvarı planı

3.3.4- Su: Seyhan Nehri alüvyonunda açılan kuyulardan temin edilmiştir. Renksiz, kokusuz, içilebilir niteliktedir. PH: 7,35 ve sertliği 18.0 F.S'tir.

3.4- Yöntemin Uygulanışı:

Perde duvarının yapılacağı güzergahta kolay çalışmayı sağlamak, makinanın çalışma platformu üzerinde batmasını önlemek ve putrelin düşey durması amacıyla 10 m genişliğinde düz ve sıkıştırılmış bir yüzey hazırlanmıştır. Ucu özel çelikle takviye edilmiş bir putrel, kuvvetli bir vibrasyonla (260 kg/cm²) ana kayaya 50 cm girecek şekilde çakılmaktadır. Putrel çakılırken ve yukarıya doğru çekilirken oluşturduğu boşluğa, kenarındaki boru aracılığıyla ve basınçla (10-12 kg/cm³) özel olarak

hazırlanmış karışım pompalanmaktadır. Bu işlem eksen boyunca yanyana ve birbirini kesecek şekilde devam ederek devamlı bir geçirimsiz duvar oluşturmaktadır. (Şekil 3) (Etibank Yayını-1985)

Bu sistemin uygulanmasında putrelin çakılması vibrasyonla yapıldığından, teşkil edilen perde duvarın çevresindeki alüvyon malzemeyi sıkıştırmakta ve daha stabil hale getirmektedir. Baraj yerinde, alüvyon tabanında bulunan ve kalınlığı 3,5-4 m olan konglomera tabakası nedeniyle, perde duvarı ana kayaya kadar teşkil edilememiştir. (Şekil 1)

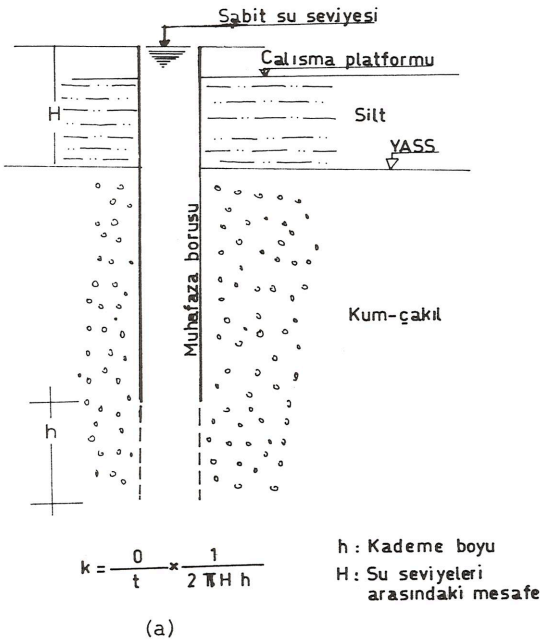
Perde Duvarı İnşaatında Kullanılan Karışım Özellikleri:

Mineral Fuller	: 1300 kg
Karışım Oranları: Çimento	: 280 kg
Bentonit	: 50 kg
Su	: 1000 Litre
Karışımın Viskozitesi	: 61 sn
Karışımın Yoğunluğu	: 1.657
Permeabilite	: 10 ⁻⁶ cm/sn

Türkiyede yeni uygulama alanı bulan bu sistem ile 10 saatlik çalışma süresi içerisinde ortalama 300 m²'lik perde duvarı inşaatı yapılabilmektedir.

Bu sistem sağlıklı olarak silt, kum, çakıl ve bunların karışımları ile iri bloklu olmayan alüvyon zeminlerde diğer metotlara göre:

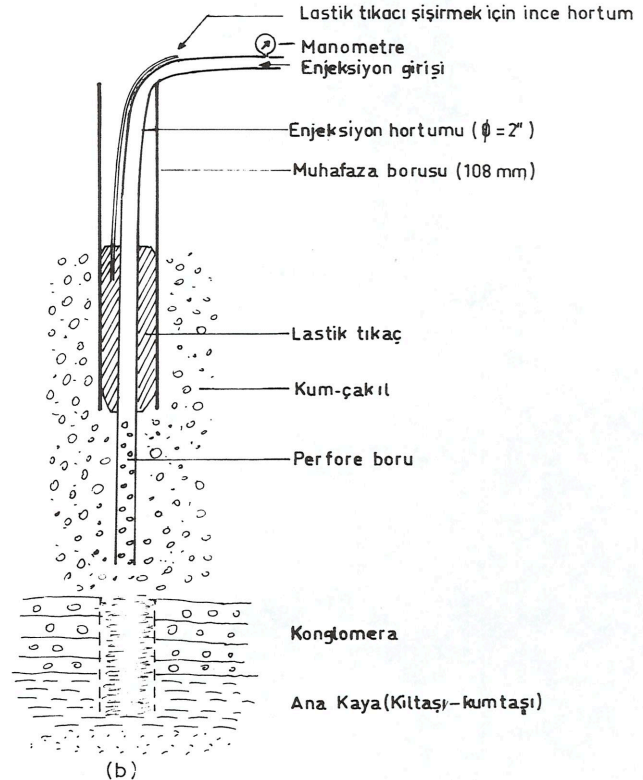
PERMABİLİTE DENEYİ



Şekil 4/a- Permabilite deneyi

Şekil 4/b- Alüvyon enjeksiyonu kuyu kesidi.

ALUVİYON ENJEKSİYONU KUYU KESİTİ



- Teknik ve pozitif netice veren geliştirilmiş bir uygulamadır.

- Hızlı yapımı ve az malzeme kullanılması nedeniyle avantaj sağlamaktadır.

- Çatalan Barajı ve HES İnşaatında alüvyonda bu yöntemle yapılan perde duvarı, konglomera tabakasına rastlanmayan kesimlerde ana kayaya girecek şekilde yapılmıştır.

- Toplam 80000 m² alan yapılmış olup, 1 m²'lik alan için 145-160 kg kuru malzeme kullanılmıştır.

Bu nedenle ana kaya ile perde duvarının teşkil edilebildiği noktalar arasında geçirimli pencereler kalmıştır. (Şekil 1)

Bu geçirimli pencereleri geçirimsiz hale getirmek amacıyla alüvyon enjeksiyonu yapılmıştır.

4- ALÜVYON ENJEKSİYONU

Perde duvarının alüvyonda oluşturduğu geçirimsiz diyaframı ana kayaya bağlamak ve sürekli (pozitif) bir geçirimsiz perde oluşturmak amacıyla alüvyon enjeksiyonu yapılmıştır.

4.1- Kullanılan Ekipman

Delgi Makinaları: Krupp Marka DHR 80-61 Sondaj makinası (3 adet)

Enjeksiyon Merkezi: Mixer agitator pompa (3 adet)

Hidrolik muhafaza boru çektirmesi: 3 adet

Triplex su pompası: 3 adet

10 ve 25 bar'lık manometre: Yeterli miktarda

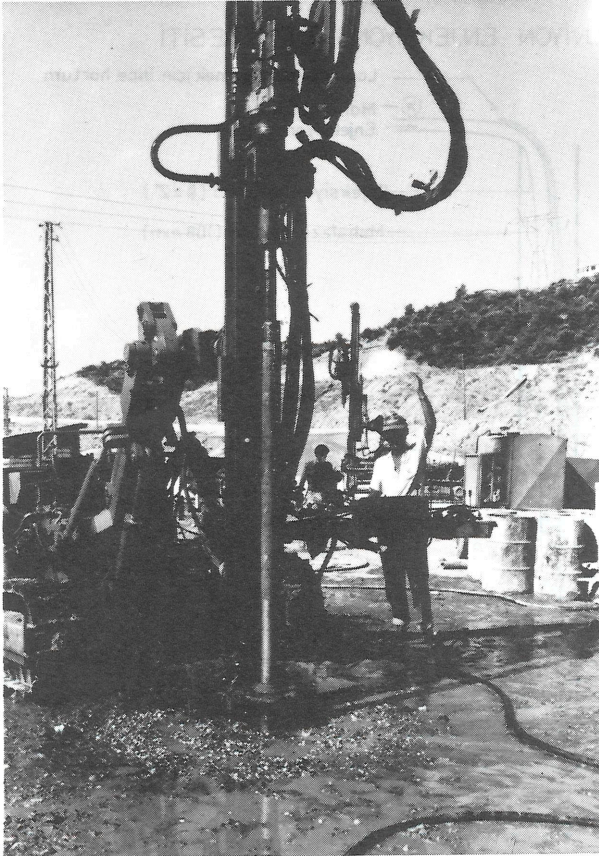


Foto 1- Alüvyonda yapılan sondajdan görünüş

Muhafaza borusu: 500 m

Lastik tıkaç, tij, matkap: Yeterli miktarda

4.2- Delgi: Alüvyon enjeksiyonu; batardolar eksenleri boyunca, perde duvarı ortada kalacak şekilde 3 m aralıklı, şaşırtmalı 2 sıra halinde yapılmıştır. Kuyular Rotari - Darbeli sistemle muhafaza borulu, su devir daimli 100 mm. çapında ve ana kayaya 1 m girecek şekilde açılmıştır.

4.3- Enjeksiyonda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Çimento: Adana Çimento fabrikasında imal edilen torbalı katkılı portland çimentosu kullanılmıştır.

Bentonit: Kurşunlu (Çankırı) kökenli bentonit kullanılmıştır.

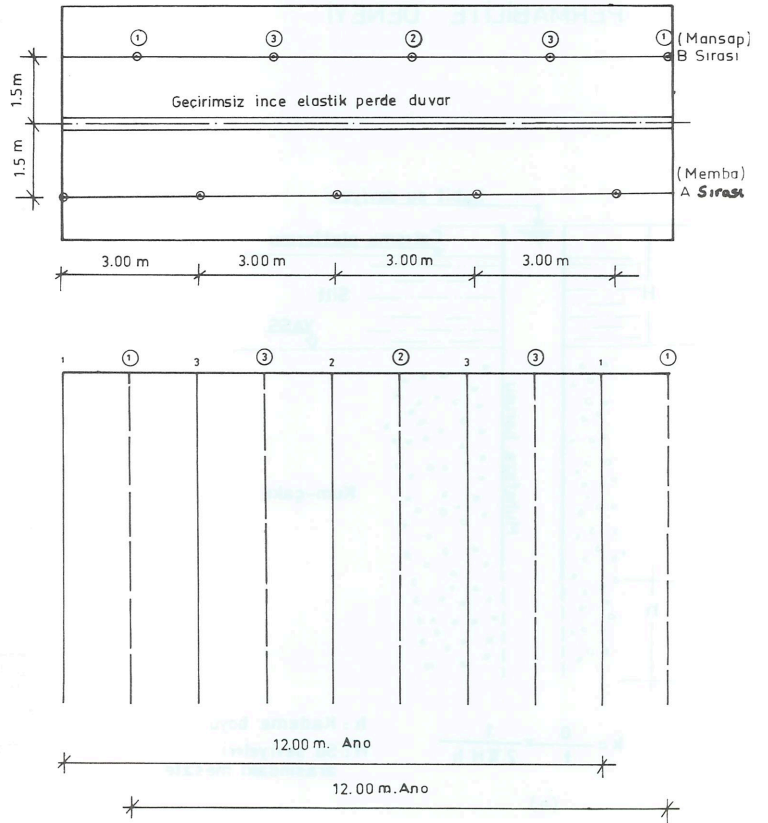
Plastisite endisi 326'dır. 200 nolu elekten % 97 geçmektedir. 1/8 oranında (bentonit/su) önceden mikser ile karıştırılıp tanklarda en az 24 saat dinlendirildikten sonra kullanılmıştır.

Su: Seyhan Nehri kıyısında açılan kuyulardan sağlanmıştır.

4.4- Enjeksiyon Basınçları

Alüvyon homojen özellikte olmayıp, değişik fiziksel özellikler göstermesi nedeniyle içindeki poisson oranları da farklılıklar göstermektedir.

Enjeksiyon basınçları aşağıdaki formül yardımıyla her kademe için ayrı ayrı hesaplanmış ve uygulanmıştır. (Özgüzel ve Korkmaz 1988)



Şekil 5. Alüvyon enjeksiyonunda çalışmaların örneklenmesi.

$$p = (m - 1) \frac{wh}{20}; \quad m = \frac{1}{\mu}$$

p = Enjeksiyon basıncı μ

μ = Poisson oranı (0,20-0,22 arasında alınmıştır.)

W = Enjeksiyon şerbetinin yoğunluğu

h = Enjeksiyon yapılan kademelerin ortası ile kuyu ağzı arasındaki yükseklik.

Kademe (m)	Manometre basıncı (kg/cm ²)
10-12	4
12-14	5
14-16	6
16-18	7
18-20	8
20-22	9
22-24	10

4.5- Enjeksiyon Öncesi Permeabilite deneyleri

Enjeksiyon işleminden önce alüvyonun doğal geçirimsizliğini saptamak amacıyla 24 m ara ile bir kuyuda yukarıdan aşağıya doğru birer metrelik kademeler halinde sabit seviyeli permeabilite deneyleri yapılmış ve alüvyonun doğal permeabilite değerleri $K = 10^{-1}$ ile 10^{-4} arasında tespit edilmiştir. (Şekil 4/a)

4.6- Enjeksiyon Uygulaması

Enjeksiyon, 12 m'lik anolar halinde, daralan aralıklar yöntemine göre yapılmıştır. Aşağıdan yukarıya doğru (stop Enj.) yükselen 1 ve 2 m'lik kademeler halinde muhafaza borusu çekilerek enjeksiyon gerçekleştirilmiştir.

tir. (Şekil 5) Ana kayaya en az 1 m, askıda kalan perde duvarı ile en az 1,5 m bindirme yapacak şekilde enjeksiyon boyu tespit edilmiştir. Enjeksiyon yapılacak kademelerin muhafaza borusu çekildikten sonra, kuyunun göçme yapabileceği düşünülerek kademe boyu kadar yerleştirilen perfore boru yardımı ile çıplak kalan kuyunun her noktasına enjeksiyon şerbeti kolaylıkla verilebilmiştir. (Şekil 4/b)

Enjeksiyona ince karışımla (1/4 çimento/su) başlanmış ve 1/1 + % 10 bentonit karışımına kadar gelinebilmiştir. (Şekil 6)

Kuyunun herhangi bir kademesinin enjeksiyonu sırasında, refü basıncı altında dönüşlü alış yapması halinde, dönüşün başladığı karışımla o kademelerin refü şartı sağlanmıştır. Başlangıçta düşük basınçlar kullanılmıştır. Kontrol kuyularındaki su kayıplarının istenilenden fazla olduğu görülmüştür. Bu kontrol kuyularının daha yüksek basınç altında enjeksiyonları yapılmış ve kuyuların alış yaptıkları görülmüştür. Bu nedenle basınçlar kontrollü olarak yükseltilmiştir. (Foto 2)

Refü Kriteri: Herhangi 2 m'lik bir kademelerin, refü basıncı altında 15 dakikada 30 litreden az alış yapması halinde refü şartı sağlanmış bulunmaktadır.

4.7- Enjeksiyon Kontrol Kuyuları

Enjeksiyon yapılan bölgenin geçirimsizliğini ve dolayısıyla yapılan çalışmanın başarısını belirlemek amacıyla enjeksiyon öncesi permeabilite deneyinin yapıldığı kuyuların civarında ve enjeksiyon alış durumlarına göre kontrol kuyuları açılıp permeabilite deneyleri yapılmıştır. Geçirimsizlik katsayısı $K = 10^{-4}$ cm/sn dolayında tespit edilmiştir. Daha sonra aşağıdan yukarıya doğru 2 m'lik kademeler halinde enjeksiyonları yapılmıştır.

KARIŞIM ORANI Çim/ Su	ÇİMENTO MİKTARI (Kg)	SU MİKTARI (Lt)	BENTONİT			KARIŞIM HACMİ (Lt)
			%	Kuru (kg)	Dinlendirilmiş (Lt)	
1/4	25	92	4	1.0	8	108
1/3	50	134	4	2.0	16	167
1/2	50	88	3	1.5	12	117
1/2	50	84	4	2.0	16	117
1/2	50	80	5	2.5	20	117
1/2	50	76	6	3.0	24	117
1/2	50	72	7	3.5	28	117
1/2	50	68	8	4.0	32	117
1/1	50	38	3	1.5	12	67
1/1	50	34	4	2.0	16	67
1/1	50	30	5	2.5	20	67
1/1	50	26	6	3.0	24	67
1/1	50	22	7	3.5	28	67
1/1	50	18	8	4.0	32	67
1/1	50	14	9	4.5	36	67
1/1	50	10	10	5.0	40	67

Şekil 6. Enjeksiyonda kullanılan karışım oranları

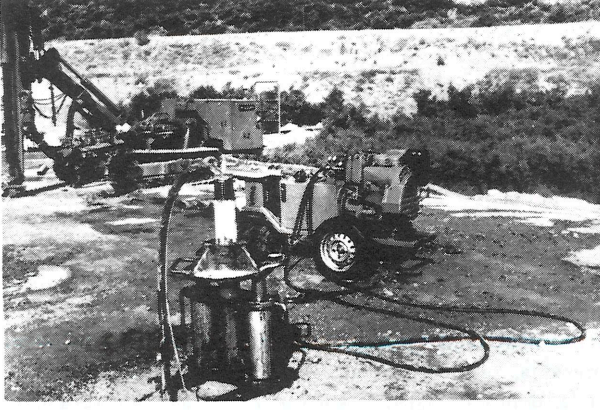


Foto 2- Alüvyon Enjeksiyon Yapılışı ve Hidrolik boru çektiirmesinin görünüşü.

5- SONUÇ

- Alüvyon zeminlerde geçirimsizlik sistemini uygulamadan önce, alüvyonun fiziksel özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla geçirimsizlik için uygulanacak yöntem daha sağlıklı seçilebilecektir.
- Perde duvarının alüvyonda oluşturduğu geçirimsiz diyaframı ana kayaya bağlamak ve kesintisiz bir perde duvarı oluşturmak amacıyla alüvyon enjeksiyonu yapılmıştır.

- Enjeksiyon sıraları ve dolayısıyla kuyular arasındaki mesafeler, perde duvarı nedeniyle 3 m olarak seçilmiştir. (Şekil 5)
- Uygulama sırasında alış yapan kuyuların bazı kademelelerinde, komşu kuyularla enjeksiyon irtibatı olduğu görülmüş ve kuyular arasındaki mesafenin doğru seçildiği gözlenmiştir.
- Enjeksiyon sırasında kırıyım değişimleri kademenin alış hızına ve basınca bağlı olarak yapılmıştır.
- B sırasının enjeksiyonu önce yapılmış 1 ano geriden takip edecek şekilde A sırası yapılmıştır.
- Perde duvarının tabanı ile ana kaya arasındaki açık pencerelerin boyları değişkenlik gösterdiğinden, kuyuların enjeksiyonu yapılan boyları da değişmektedir.
- Enjeksiyonda kullanılan karışımların yoğunluk, çökeltme ve viskozite deneyleri yapılarak buna göre düzenlemeler yapılmıştır. (Şekil 7)
- Permeabilite değeri $K = 10^{-3}$ ve 10^{-4} cm/sn olan kısımlarda genel olarak 1/4 oranındaki enjeksiyon şerbetini kabul etmemiştir.
- Ortalama 150 kg/m kuru malzeme alış gözlenmiştir.
- Kurutma çalışmaları, kazı yapıldıktan sonra yerinde izlenmiş ve başarı sonuçları; tünel girişi ile Cut-Off kazılarında görülmüş; en fazla 200 litre/sn mertebesinde su kaçaqları gözlenmiştir.

KPÇ İLE YAPILAN ENJEKSİYON KARIŞIM DENEYLERİ

ÇİMENTO-SU ORANI	1/1			1/2			1/3			
	50kg Çimento + 50 kg Su			50 kg Çimento + 100kg Su			50 kg Çimento + 150 kg Su			
BENTONİT (kg)	00	0.5	1	00	0.5	1	00	1.00	1.5	
YOĞUNLUK (gr/cm ³)	1.30			1.26			1.20			
VİSKOZİTE	32	41	48	30	31	31	28	30	35	
Z A M A N	10 Dakika	8	0	0	20	5	3	35	10	3
	20 Dakika	15	0	0	28	6	4	49	13	0
	30 Dakika	22	0	0	45	8	5	60	16	0
	60 Dakika	35	1	0	60	9	6	70	23	4
	120 Dakika	39	3	0	67	14	10	75	32	6

ÇÖKELME YÜZDELERİ

NOT: Kullanılan çimento katkı portland Çimento Adana, Bentonit ise Kurşunlu kökenlidir.

Şekil 7. KPÇ ile yapılan enjeksiyon karışım deneyleri

DEĞİNİLEN BELGELER

- YÖRDEM, C. ve OĞUZBERK, U. C. 1981 Seyhan Projesi Aşağı Çatalan Barajı Kesin Proje Aşaması Mühendislik Jeolojisi Raporu DSI, Adana.
- BOZKURT, S. ve ÖZGÜZEL, N. 1987, Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Dayanma Yapıları Semineri Cilt-1 DSI, Samsun.
- ÖZGÜZEL, N. ve KORKMAZ, C. 1988 Çatalan Barajında Alüvyondaki Geçirimsizliğin Sağlanması da Uygulanan Yöntem ve Sonuçları, Isparta Müh. Fak. Bildiri Özetleri
- Etibank Kestelek Bor Madenleri İşletmeleri Müessesesi Müdürlüğü, "Açık Ocak Sahasına Sızan Suların Geçirimsiz İnce Duvar Sistem Uygulanarak Önlenmesi", Etibank yayını. 1985