

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALAMAN – AKKÖPRÜ BARAJI İNŞAATI
ENJEKSİYON UYGULAMALARI

Kerem ÜŞENMEZ

Haziran, 2005

İZMİR

DALAMAN – AKKÖPRÜ BARAJI İNŞAATI ENJEKSİYON UYGULAMALARI

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Kerem ÜŞENMEZ

Haziran, 2005

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Kerem ÜŞENMEZ tarafından Doç. Dr. M. Yalçın KOCA yönetiminde hazırlanan ‘Dalaman – Akköprü Barajı İnşaatı Enjeksiyonu Uygulamaları’ başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Doç. Dr. M. Yalçın KOCA
Yönetici

.....

Prof. Dr. Necdet TÜRK
Juri Üyesi

.....

Doç. Dr. Ferhan ŞİMŞİR
Juri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın, başından sonuna kadar bilgi, tecrübe ve görüşlerini esirgemedен özverili yardım ve destekleri için Doç. Dr. M. Yalçın Koca'ya, bu tezi hazırlamamda baştan sona sevgisini ve desteğini esirgemeyen eşim Özen Üşenmez (Türkekul) ve NTF İnşaat Dalaman – Akköprü Baraj İnşaatı şantiyesinden mesai arkadaşlarım, Yapı grubu departman şefi İnşaat Yüksek Mühendisi Sedat Mehmet Ünal, Etüd şefi inşaat teknikeri Mehmet Dönder, beni yetiştiren Sondaj – enjeksiyon departman şefi Maden Yüksek Mühendisi Mehmet Meran Pakel, Spektra Jeotek Genel Müdürü Jeoloji Mühendisi Agah Levent Okay, çizimlerde yardım ve görüşlerini esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Çağrı Atlas, Araş Gör. Toygar Akar'a, Araş Gör. Cem Kıncal'a ve aileme şükranlarımı sunarım.

Kerem ÜŞENMEZ

DALAMAN – AKKÖPRÜ BARAJI İNŞAATI ENJEKSİYON UYGULAMALARI

ÖZ

Dalaman – Akköprü Barajı kil çekirdek, kaya dolgu tipinde olup, sulama, taşkın kontrolü ve enerji teminine yönelik olarak projelendirilmiştir. Baraj inşaatlarında; temel kayada oluşacak sızmanın kontrolü enjeksiyon perdesi uygulamasıyla önlenmektedir. Dalaman – Akköprü Barajı inşaatı enjeksiyon çalışmalarında, temel kayaya kadar kazı yapılarak yapılan enjeksiyon işleminde, çimento, bentonit ve sudan oluşan değişik oranlı karışımlar kullanılmıştır. Yapılan enjeksiyonun tekniği ayrıntılarıyla ve nedenleriyle irdelenmiştir. Amaçlanan başarının kontrolü yöntemleriyle ele alınmış ve sonuçları sunulmuştur. Karışımların laboratuvar sonuçları ve teknik özellikleri bu çalışmanın kapsamı içinde anlatılmıştır. Enjeksiyonların yapıldığı zeminlerin özelliklerine göre elde edilen veriler benzer özellikler gösteren zeminler için kılavuz olacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada enjeksiyon perdesi uygulamasının değişik aşamaları ve uygulama esaslarına değinilecektir. Enjeksiyon öncesi ve sonrası uygulanan jeoteknik uygulamalar nedenleri ve ayrıntılarıyla anlatılacaktır. Bu çalışmada incelenen enjeksiyon işleri, Dalaman – Akköprü Baraj inşaatı temel kayası enjeksiyon uygulaması ve teras birimi deneme enjeksiyonlarıdır. Her iki enjeksiyon çalışması da ayrıntılarıyla irdelenmiş ve sonuçları belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enjeksiyon perdesi, karışım oranı, sondaj, baraj.

DALAMAN – AKKOPRU DAM CONSTRUCTION GROUTING APPLICATIONS

ABSTRACT

Dalaman – Akköprü is a clay cored rock fill dam and is designed for irrigation, flood control and electrical power. The base rock seepage is controlled by grout curtain applications in dam constructions. Different ratios of cement, bentonite and water are mixed and used in grouting works after excavating the overburden in Dalaman – Akköprü Dam construction. Technical properties and reasons of the grouting application have been discussed. The control and the results of the success which is aimed by grouting are shown in details. The technical properties and the laboratory test results are also shown in the coverage of this work. The data will be reference to the ground conditions having the same ground properties with the ground grouted for Dalaman – Akköprü Dam. Application procedures have been discussed in this work. The geotechnical applications before and after the grouting procedure have also been discussed. The grouting works examined in this work are Dalaman – Akköprü Dam construction base rock grouting applications and terrace unit test grouting. The properties of both grouting applications have been determined in details and the results have been presented.

Keywords: Grout curtain, ratio of mixture, borehole, dam.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1. Dalaman - Akköprü barajı yeri ve barajın yapılış amacı.....	1
BÖLÜM İKİ – JEOLojİ	3
2.1. Genel Jeoloji.....	5
2.1.1. Otokton Birimler	5
2.1.1.1. Aktaş Kireçtaşı	5
2.1.1.2. Gökseki Flişi.....	5
2.1.2. Allohton Birimler	5
2.1.2.1. Cehennemderesi Kireçtaşı	6
2.1.2.2. Demirli Melanjı	6
2.1.2.3. Peridotit – Serpantin	6
2.1.3. Örtü Serisi	7
2.1.3.1. Eski Alüvyon ve Taraça	7
2.1.3.2. Alüvyon	7
2.2. Yapısal Jeoloji	9
2.3. Mühendislik Jeolojisi	10
2.3.1. Sonik Hız Deneyi	14
BÖLÜM ÜÇ - AKKÖPRÜ BARAJI KARAKTERİSTİKLERİ	17
3.1. Baraj Aksı Geçirimsizliği	17
3.1.1. Basınçlı Su Testi Uygulamaları ve Enjeksiyon Yapma Gerekliliği.....	18

3.2. Baraj Aksı Enjeksiyon Perdesi	23
BÖLÜM DÖRT - ENJEKSİYON UYGULAMASI	26
4.1. Temel Kayası Enjeksiyon Uygulaması	26
4.1.1. Kullanılan Şerbet Karışım Oranları	30
4.1.2. Kullanılan Enjeksiyon Basınçları	33
4.1.3. Refü Şartı	33
4.1.4. Kullanılan Malzemeler	33
4.1.5. İşin Denetimi.....	36
4.2. Teras – Konglomera Biriminde Deneme Enjeksiyonu Uygulaması	36
4.2.1. Uygulama Yöntemi	39
4.2.2. Karışımların Özellikleri	41
4.2.3. Denem Enjeksiyonu Uygulamasının Denetimi.....	43
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	46
KAYNAKLAR	48
EK 1. KONTROL KUYUSU Km 0+179 KATI MADDE ALIŞ MİKTARLARI İLE LUGEON DEĞERLERİ	51

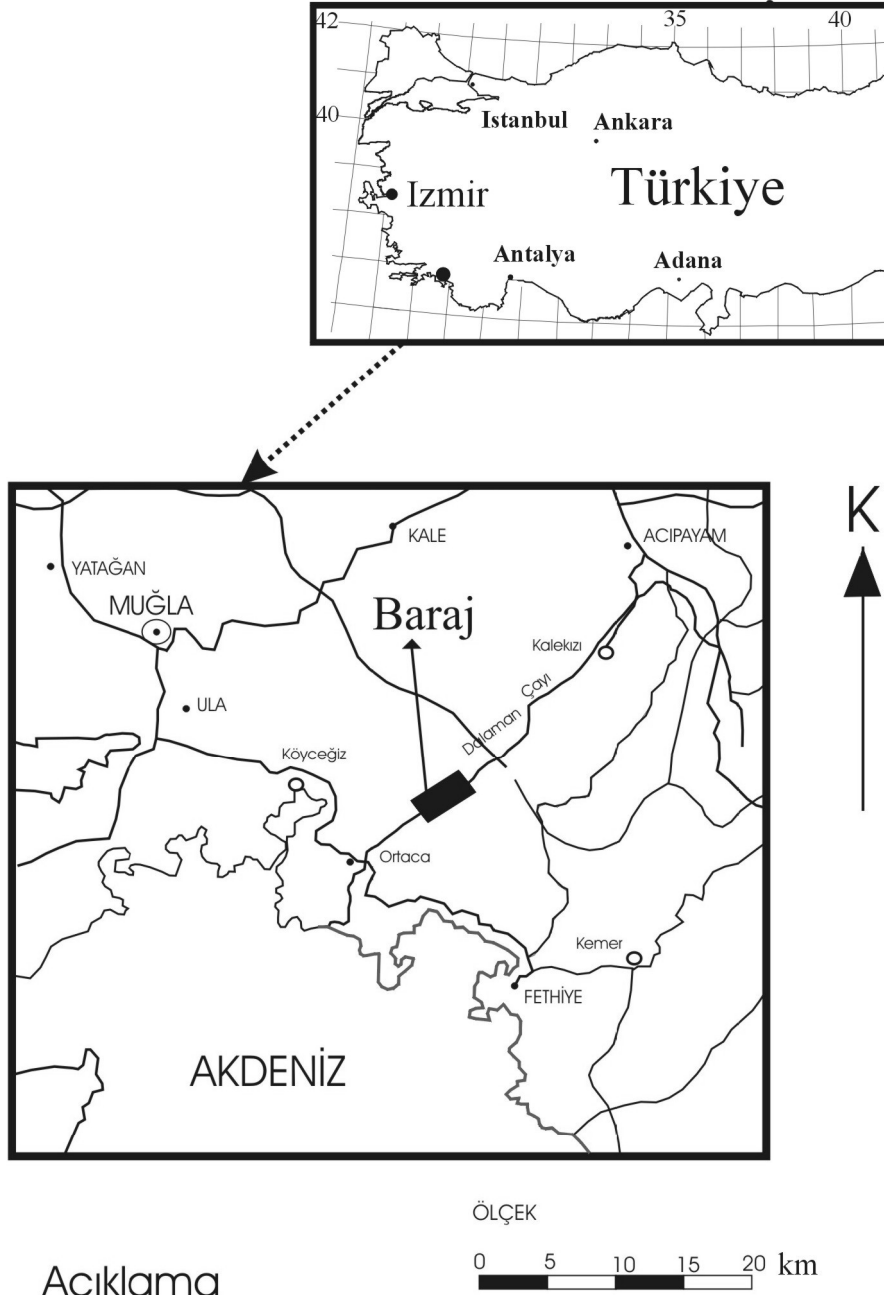
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Baraj inşaatlarında; barajın oturacağı ana kayanın geçirimsizliğinin ve stabilitesinin sağlanması amacıyla bazı önlemler alınır (Pettersson, Moulin, 1999). Baraj aksı boyunca, temel kayaya kadar kazı yapılarak, ana kayaya enjeksiyon yapılması işlemi, bu önlemler arasında en yaygın olanıdır. Enjeksiyon; zemin içindeki yapısal ve litolojik kusurlara veya zemin ile yapı arasında kalan boşluklara; genellikle sondaj deliklerinden, basınçlı olarak akışkan malzemenin doldurulması olarak tanımlanır (Kutzner, 1996). Belli zaman periyodu içinde akışkan malzeme, jel veya sertleşmiş hale gelir. Enjeksiyonun temel amacı; daha yüksek dayanımlı ve daha az geçirgen temel zemin veya kayaç kitlesini oluşturmaktır (Tosun, 2000). Dalaman – Akköprü Barajı aksı boyunca yer alan serpantinleşmiş harzburjit bileşimli ultrabazik temel kayalarda mevcut süreksizlikler boyunca su sızıntılarının varlığı tespit edilmiş ve sızmanın uzun dönemde baraj ekseni boyunca önemli mühendislik problemlerini oluşturacağı düşünülmüştür. Ultrabazik kayalardaki sızma problemini önlemek amacıyla tek sıra perde enjeksiyonu yapılması düşünülmüş ve böylece çatlaklı yapıya sahip temel kayayı sağlamlaştırmak amaçlanmıştır.

1.1. Dalaman - Akköprü Barajı Yeri ve Barajın Yapılış Amacı

Dalaman - Akköprü barajı tesisleri, Muğla iline bağlı Köyceğiz ilçesinin 24km doğusunda, Dalaman Çayı üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Baraj; sulama, enerji ve taşkın koruma amaçlıdır. Bu sayede, Dalaman Ovası taşkın zararlarından korunacaktır. Ayrıca, inşa edilecek olan 115MW gücündeki hidroelektrik santralinde yılda 343 GWh enerji üretilecektir (DSİ 21. Bölge Müd., 1993).



Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

Akköprü barajı rezervuar alanında temel kaya birimleri, Tersiyer (Paleosen) yaşlı otokton özellikteki derin denizel, mikritik Aktaş Kireçtaşı ile kumtaşı, çamurtaşı ardalanmasından oluşan, düzensiz eklemlili ve kıvrımlı Gökseki Filişi formasyonlarıdır (Şekil 2.1). Aktaş Kireçtaşları içinde mevcut boşluklar, çört ve kısmen spar kalsit ile doludur. Allokton Paleozoyik – Mesozoyik yaşlı Cehennemderesi Kireçtaşı, Mesozoyik (Kretase) yaşlı Demirli melanji ve Peridotit – Serpantin, otokton birimleri tektonik dokanak ile üstler (Şekercioğlu, Özgüler, 1999). Dalaman – Akköprü Barajı aksı peridotit – serpantin ve teras malzemesi üzerinde yer alır. Yapılan ince kesitlerden elde edilen verilere göre, baraj gövdesi boyunca görülen ultrabazik kayalar genellikle serpantinleşmiş harzburjitlerdir. Ortopiroksenler, bir serpantin minerali olan bastite dönüşmüştür. Olivinler krizotil ve lizordite dönüşmüş, tali mineral olarak da kromit görülmektedir. Kromit hariç, harburjit kayacı genel olarak serpantine dönüşmüştür (Tablo 1.1). Kayaçta genel olarak; serpantinleşme %95, kromit %1 veya daha az, demir oksit (Fe_2O_3) %1-2 mertebesinde. Serpantin dışında kayaçta en çok gözlenen mineral olivindir. Enjeksiyonlarda en az alış yapan, nispeten taze yüzeylerden alınan iki ince kesitin mineral yüzdeleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 1.1 Ultrabaziklerden alınan ince kesitlerden elde edilen mineralojik bileşenler.

İnce Kesit 1 (%85 Fenokristal, %15 Matriks)	İnce Kesit 2 (%80 Fenokristal, %20 Matriks)
Olivin %50	Serpantin %60
Kalsit %30	Olivin %10
Amfibol %5	Kalsit %20
Ortopiroksen %5	Piroksen %5
Opak %4	Kalsit %20
Serpantin %5	Amfibol %1
Klorit %1	Klorit %3

Birinci ince kesitte her ne kadar olivin minerali fazla olsa da, genel mineral dağılımını ikinci ince kesit yansıtmaktadır.

Dalaman Çayı boyunca çökelmiş, yarı pekleşmiş, temel kayalardan türemiş çakıl içeren, kumlu ve karbonat ara maddeli genç tortullar tüm bu birimleri uyumsuz üstler. ‘Teras’ olarak da adlandırılan (DSİ, 1983) bu birimler Dalaman Çayı boyunca sağ ve sol sahilde gözlenir. Kalınlığı en fazla 40 metre kadardır (Şekil 1.2). Eski çay yatağını işaret eder. Sellenme sonucu gözlenen düzensiz katman dizilimi ve çapraz katmanlanmalar teras birimi için tipiktir.



Şekil 1.2 Teras malzemesinin genel görünümü (Enerji Tüneli sağ sahil mansap şevleri)

2.1. Genel Jeoloji

2.1.1. Otokton Birimler

İnceleme alanında, temeli oluşturan otokton birimler, alttan üste doğru Aktaş Kireçtaşı ve Gökseki Flişi'dir.

2.1.1.1. Aktaş Kireçtaşı

Otokton Kireçtaşı serisi Akköprü'nün bir kilometre güneyinde, yamaçlarda geniş yüzlekler sunar. Beyaz, gri renkli; sert, yüksek dayanımlı, kırıklı ve parçalıdır. Sık eklemlidir. Karstik özelliktedir. Kalın katmanlıdır. Stratigrafik kalınlığı yaklaşık olarak 400m'dir (DSİ, 1983).

2.1.1.2. Gökseki Flişi

Otokton serinin üst seviyesini oluşturan fliş birimi Akköprü ile Gürleyik arasında sol yakada geniş yayılım gösterir. Kıltaşı, marn, kumtaşı, kireçtaşı aralanmasından oluşur. Boz, yeşilimsi kahverengi renkli; ince – orta kalın katmanlı ve kıvrımlıdır. Kumtaşı, kireçtaşı, marn sert ve sık eklemlili ve duraysızdır. Gökseki Flişi, Aktaş Kireçtaşı üzerine uyumlu olarak gelir. Alt Miyosen (Burdigaliyen) yaşlıdır. Stratigrafik kalınlığı 300m olarak tahmin edilmiştir (DSİ, 1983).

2.1.2. Alloktion Birimler

Üst Kretase'ye kadar bütün Mesozoyik yaşlı birimler, yukarıda tanımlanan Tersiyer yaşlı otokton birimlerin üzerine sürüklenmiştir. Otokton birimler üzerindeki ana sürüklenme yüzeyinden başka bu alloktion birimler de birbirleri üzerine ayrı sürüklenme düzlemleriyle istiflenmiştir. Alloktion birimleri istif durumlarına göre Cehennemderesi Kireçtaşı, Demirli Melanj ve Peridotit – Serpantin olarak sayabiliriz.

2.1.2.1. Cehennemderesi Kireçtaşı

Cehennemderesi Kireçtaşı, çalışma alanı civarında geniş olarak Dalaman Çayı'nın her iki yakasında da görülmektedir. Allohton serinin en alt birimini oluşturur. Genelde boz, beyaz, gri, pembe renkli; kalın katmanlı, üst düzeylerde ince katmanlı ve silis bantlı; düzensiz sık eklemlili ve karstik bir yapıya sahiptir. Cehennemderesi Kireçtaşı birimi Permiyen'den Kretase'ye kadar devamlılık gösterir. Stratigrafik kalınlığının 1200 metreden daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (DSİ, 1983).

2.1.2.2. Demirli Melanji

Aşağı Dalaman Havzasında, özellikle Dalaman Çayı sağ sahilinde yaygın olarak yüzlek verir. Serpantin, radyolarit, diyabaz, mikro gabro, şist, kireçtaşı karmaşığdır. Yeşil, kırmızı, boz alacalı renkte; derin ayrışmalı ve duraysızdır. Kretase sonunda, Peridotit – Serpantin tabanında oluşmuştur. Stratigrafik kalınlığı yaklaşık 300m olarak tahmin edilmiştir (DSİ, 1983). İnceleme alanı ve çevresinde genel olarak Cehennemderesi Kireçtaşı üzerinde nap şeklinde gözlenir.

2.1.2.3. Peridotit – Serpantin

İnceleme alanı ve çevresinde geniş yayılım sunar. Peridotit, harzburjit ve bunların ayrışmasından oluşan serpantinleri içerir. Siyah, koyu yeşil renkli, kızıl, kahverengi ayrışma renklidir. Peridotit, dünit, harzburjit sert, sağlam ve sık eklemlili bir yapıya sahiptir. Peridotit – Serpantin Üst Kretase sonunda naplanma ile Demirli Melanji üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Genellikle bütün tektonik yapıyı örter konumdadır.

Baraj yerinde tüm alanı Peridotit – Serpantin birimi kaplar. Genelde peridotit yaygın olup, önemli ölçüde de serpantinleşme şeklinde bozunmalar görülür. Buradaki kalınlıkları 100 metreden fazladır (DSİ, 1983).

Sık çatlaklı bir yapıda olup, başlıca dört ana grupta kutup yoğunlaşmalarının varlığı dikkati çekmiştir;

K50B / 70KD

K60B / 60GB

K45D / 60KB

K35D / 70GD

2.1.3. Örtü Serisi

İnceleme alanında yukarıda tanımlanan, birbirleri üzerine bindirmiş ($\alpha < 20^0$) olmuş yapısal grupların hepsi Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç tortul birimler tarafından uyumsuz olarak üstlenir.

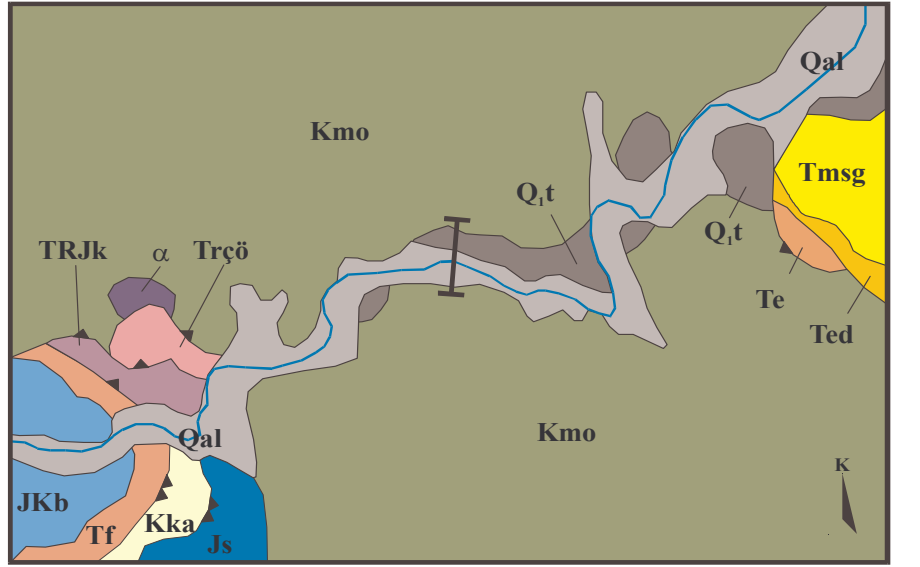
2.1.3.1. Eski Alüvyon ve Taraça

Eski alüvyon tipik olarak Akköprü Barajı rezervuar alanında yaygındır (Şekil 2.1). Taraça, Dalaman Çayı ve yan derelerinin vadi tabanından ortalama 30 metre yüksekliğe kadar yüzeylemiştir. Eski alüvyon ve Taraçalar, yuvarlak, iri çakıl ve bloklu karbonat çimentolu çakıltaşlarından oluşur. Çalışma alanı civarında iyi pekleşmiş olup kalsit çimentoludur.

Taraça baraj yerinde sağ yamaçta yüzlek verir. Kum ve çakıllı olup kalsit çimentoludur. Çakıllar kireçtaşı, peridotit – serpantin, kumtaşı ve çörtten meydana gelmiştir. Genelde iyi pekleşmiş olup sağlam yapıdadır.

2.1.3.2. Alüvyon

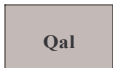
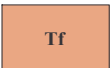
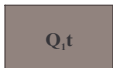

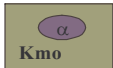


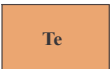









Dalaman Çayı ve yan derelerinin vadi tabanında alüvyonlar yaygındır (Şekil 2.1). Alüvyon genellikle iri çakıl, blok, kum, kil ve siltten oluşur. Geçirimsizliği 10^{-4} - 10^{-6} cm/sn'dir (DSİ, 1983). Çalışma alanında kalınlığı 40 metreye kadar ulaşır.



ÖLÇEK



ACIKLAMALAR

	ALÜVYON		FARALYA FORMASYONU (Kırmızı mikrit, breş, split, bazalt, kumtaşı, kıltaşı)
	AKARSU (ESKİ) TARAÇA DOLGULARI		KARAKÖY DOLOMITİ (dolomit, dolomitik kireçtaşı)
	MARMARİS PERİDOTİTİ (Harzburgit, dünit, serpantin, serpantinleşmiş harzburgit)		BABADAĞ FORMASYONU (Mikrit, çörtlü mikrit, kalsitürbidit)
	ÇÖVENLİYAYLA VOLKANİTİ (Bazalt, splitik bazalt, nadir radyolarit, çört, şeyl, çörtlü kireçtaşı)		ELMALI FORMASYONU (Kumtaşı, kıltaşı, silttaşı)
	KARABÖĞÜRTLEN FORMASYONU (Kumtaşı, kıltaşı, çörtlü kireçtaşı, çakıltaşı)		GÖMÜCE ÜYESİ (Aglı kireçtaşı)
	SANDAK FORMASYONU (kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, çörtlü mikrit)		DİŞİTAŞTEPE FORMASYONU (Mikrit, çörtlü mikrit)
	DOKANAK		ALT LANGİYEN YAŞLI BİNDİRME
	KRET		EOSEN SONU YAŞLI BİNDİRME
	TALVEG		

Şekil 2.1 Çalışma alanının jeoloji haritası (MTA, 1997).

2.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanında, düşey hareketler genellikle gravite faylarıyla denetlenir. Düşey atımlar en fazla 250 metreyi bulur (Şekercioğlu, Özgüler, 1999). Genellikle faylar KB-GD doğrultuludur.

Yapısal olarak Toros Dağları'nın güneybatısında pek çok bindirme fayı gözlenir. Çalışma alanı içerisinde, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı tortul seriler otokton birimleri bindirme fayları ile üstler. Bölgesel olarak bu hareketler Eosen'den alt Miyosen'e kadar devam etmiştir.

İnceleme alanı, Güneybatı Toroslar'ın (Teke Dağları) devamı şeklindedir. Bölgenin kuzeybatısında yer alan Menderes Masifi, güneybatı Toroslar'a göre otokton durumdadır. İnceleme alanındaki Cehennemderesi birimi kuzeybatıda Menderes Masifi'nin mermerleri üzerinde yer alır. Güneydoğuda ise Alt Miyosen yaşlı otokton kayaların üzerinde nap olarak bulunur.

İnceleme alanında yüzeylenen otokton serileri Aktaş Kireçtaşı ve Gökseki Flişi ile temsil edilmiştir. Bu alanlar topoğrafik konumlarını yeni hareketlerle kazanmış olduğundan, bu birimlerde derin aşınmalar gözlenmektedir. Eosen yaşlı Aktaş Kireçtaşı'nın altı inceleme alanı içerisinde gözlenememiştir (Şekil 2.2).

Otokton birimlerin üzerine Cehennemderesi Kireçtaşı serisi nap olarak gelmiş durumdadır. Cehennemderesi napları üzerine Melanj seri, onun üzerine de Peridotit – Serpantin serisi ayrı ayrı şariye olmuştur.

İnceleme alanında, birbirleri üzerine şariye olan (Şekil 2.2) bu birimlerin hepsi Pliyo-Kuvaterner yaşlı tortullar ile uyumsuz olarak örtülüdür. Pliyo-Kuvaterner

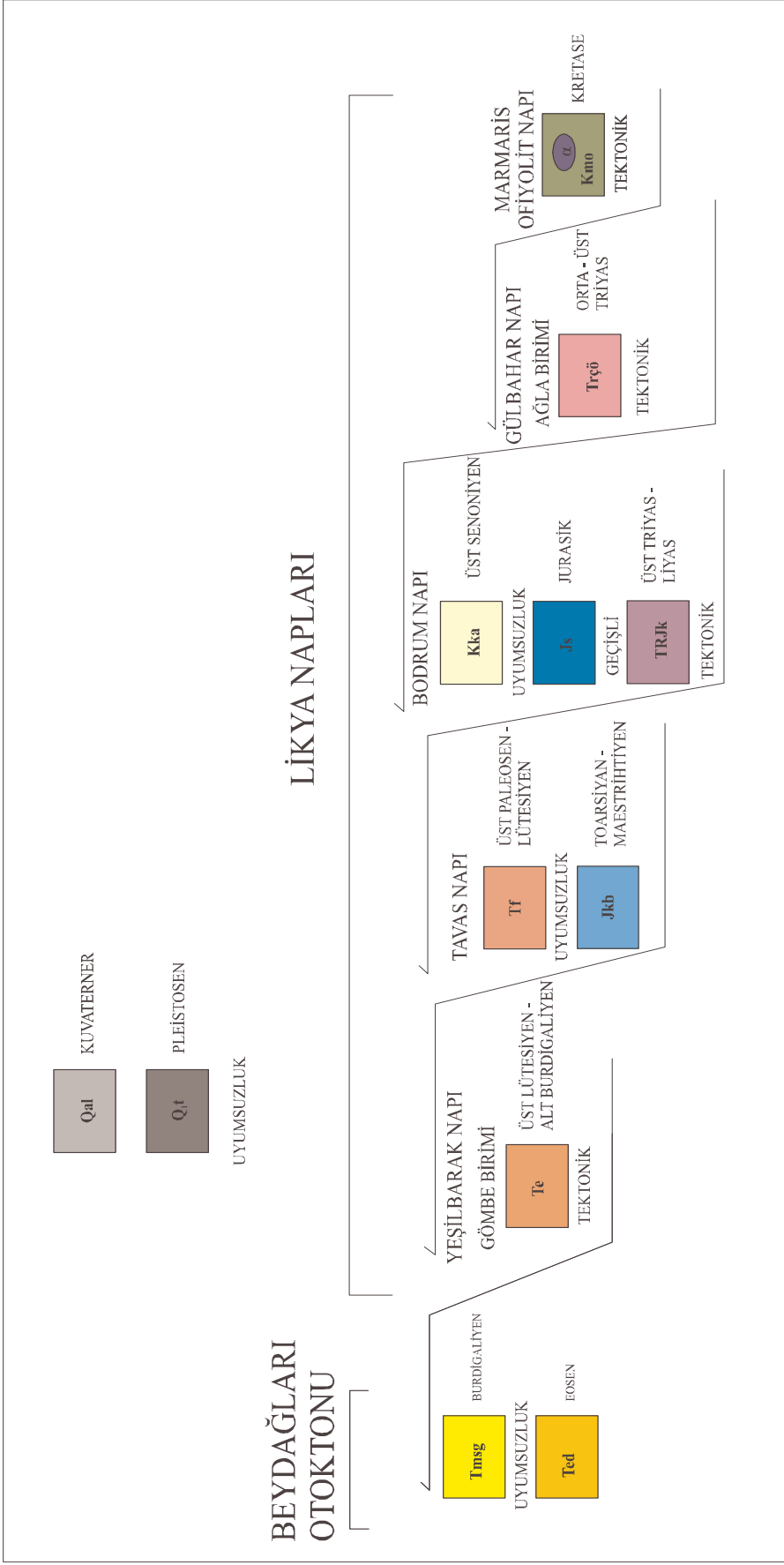
çökellerle örtülen yapı, sonradan düşey tektoniğin etkisinde kalmıştır. Anadolu'nun yükselmesi sonucunda büyük fay sistemleri oluşmuştur. Fayların çoğu Pliyosen birimlerini etkilemiştir. Bugünkü akarsu drenaj sistemi bu fayların etkisi ile gelişmiştir.

2.3. Mühendislik Jeolojisi

Baraj gövdesi, temel kaya birimi olan peridotit – serpantinler üzerine inşa edileceğinden, suya ve yüke karşı daha dayanımsız olan teras birimi ve bozunmuş ultrabazik kayalar sıyrılmış ve taze peridotit – serpantinlerden sağlam bir yüzey elde edilmiştir. Bu yüzey enjeksiyon sonrasında, hava ile temizlenerek göve dolgu çekirdek malzemesi olan kil ile temasa hazırlanmıştır. Bu araştırma kapsamında temel kaya birimi olan peridotit – serpantinlerden elde edilen karotlar üzerinde çeşitli fiziko-mekanik deneyler yapılmıştır. Deneyler ASTM (1980)'e göre yapılmıştır. Prosedür olarak, ISRM tarafından önerilen 'Suggested Method for the Determining of the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Material' isimli yayından yararlanılmıştır (Brown, 1981). Deney sonuçları Tablo 2.1 ve 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.1 Alman örneklerde yapılan jeoteknik deneyler.

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Yorum
1	1406,73	
2	745,13	Belirgin süreksizlik var
3	745,13	Belirgin süreksizlik var
4	743,46	Belirgin süreksizlik var
5	1600,53	
6	970,68	Belirgin süreksizlik var



Şekil 2.2 Harita birimlerinin korelasyonu (MTA, 1997).

Tek eksenli basınç direnç değerlerinden de anlaşılacağı gibi, belirgin süreksizliklere sahip kısmen ayrılmış örneklerde değerler oldukça düşüktür. Masif yapıda olan karot örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları, kısmen ayrılmış ve çatlaklı yapı sunan örneklere oranla iki mislidir. Yük taşıyacak kısımların süreksizlik durumları ve konumlarının önemi bu deneylerle de kuvvetlenmektedir.

Diğer taraftan, numunelerin su emme değerleri ve boşluk hacimleri oldukça düşüktür. Kuru birim hacim ağırlık ve doygun birim hacim ağırlıkları arasında pek önemli bir fark yoktur.

2.3.1. *Sonik Hız Deneyi*

Sonik hız deneyinin amacı, P-dalga hızının (V_p) bulunmasıdır. Sonik hız deneyleri ses kaynağı ile alıcı arasındaki mesafeyi kat eden sesin gerekli zamanının ölçümü yapılarak gerçekleştirilir. Eğer mesafe biliniyorsa, özgül materyal için ortalama hızı hesaplamak mümkündür. Kayanın mineral bileşimi, yoğunluk, porozite, elastisitesi ve süreksizlik derecesi hızın değerini denetler. IAEG (Anon 1979a), sonik hız sınıflamasını Tablo 2.3'te görüldüğü şekliyle tanımlar:

Derinlik kayaları genellikle 5000m/sn'nin üzerinde V_p - sonik hız değerlerine sahiptir. Metamorfik kayalar ise 3500m/sn değerinden yukarı değişen değerler sunar. Sedimenter kayalar ise 1500 – 4500m/sn arasında değişim gösterir (Bell, 1992).

Kayaların yoğunlukları ve elastik özellikleri ses hızını etkiler. Hız, çok katı ve elastik materyallerde çok daha hızlı hareket eder.

Değişik fiziksel faktörler yoğunluğu ve elastik özellikleri değiştirebilir (sıcaklık, basınç, porozite, su içeriği ve diğerleri gibi). Ses soğuk havada sıcak havada olduğundan daha hızlıdır; aslında soğuk hava sıcak havadan daha yoğundur. Tablo 2.4'te bazı yaygın materyaller için yoğunluk ve ses hızı değerleri verilmiştir (Frederick, 1965).

Tablo 2.2 Alınan örneklerde yapılan jeoteknik deneyler.

Örnek No	Doygun Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Su İçindeki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Boşluk Hacmi (cm ³)	Katı Hacim (cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)
1	740,27	735,75	464,46	275,81	4,52	271,29	2,66760	2,68299
2	703,15	696,07	427,86	275,29	7,08	268,21	2,52850	2,55422
3	715,15	709,29	438,82	276,33	5,86	270,47	2,56682	2,58803
4	708,05	700,71	432,13	275,92	7,34	268,58	2,53954	2,56614
5	744,03	739,40	468,29	275,74	4,63	271,11	2,68151	2,69830
6	731,92	727,05	457,06	274,86	4,87	269,99	2,64516	2,66288
				Ağırlıklı Ortalama			2,60486	2,62559
				Standart Sapma			0,06779	0,06345

Örnek No	n (%)	e (%)	Doluluk (%)	Ağır S.E. (%)
1	1,63881	1,66611	98,3339	0,614339
2	2,57183	2,63972	97,3603	1,017139
3	2,12065	2,16660	97,8334	0,826178
4	2,66019	2,73289	97,2671	1,047509
5	1,67912	1,70779	98,2922	0,626183
6	1,77181	1,80377	98,1962	0,669830
Aritmetik Ortalama	2,07374	2,11948	97,8805	0,800196
Standart Sapma	0,45393	0,47410	0,47410	0,195306

Tablo 2.3 Sonik hız sınıflaması (IAEG, 1979).

SINIF	SONİK HIZ (m/sn)	TANIMLAMA
1	2500'den küçük	Çok düşük
2	2500 – 3500	Düşük
3	3500 – 4000	Orta
4	4000 – 5000	Yüksek
5	5000'den büyük	Çok yüksek

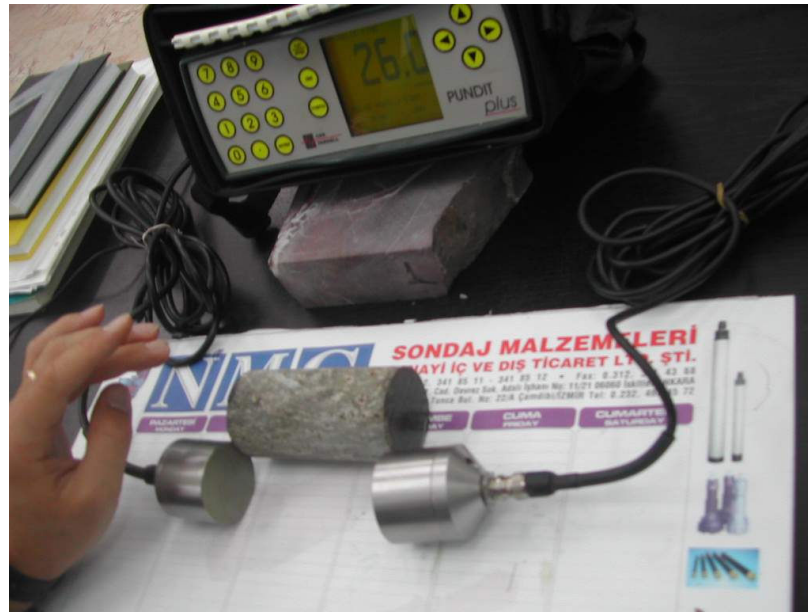
Tablo 2.4 Çeşitli materyallerin sonik hız ve yoğunluk değerleri.

Materyal	Yoğunluk (gr / cm ³)	Ses Hızı (km/s)
Aluminyum	2.7	6.32
Bakır	8.9	4.7
Altın	19.3	3,24
Cıva	13.6	1.45
Çinko	7.1	4.17
Buz	0.9	3.98
Porselen	2.4	5.6 - 6.2
Kuvars	2.6	5.57
Kauçuk	1.2	2.3
Teflon	2.2	1.35
Gliserin	1.26	1.92
Benzin	0.8	1.25
Su (20° C)	1.0	1.483

Pundit aleti (PUNDIT Plus of CNS Farnell, UK) ile karotların Sonik hızları ölçülmüştür.

$V = \frac{X}{T}$ bağıntısından yararlanılmıştır. Formüle, karot boyu (X) ve geçiş süresi (T) yazılarak geçiş hızı bulunur. Bu değer, numunenin boşluk oranı ile ilgili ön bilgi verir (Frederick, 1965). Silindirik karot numunelerinden elde edilen sonik hız deneyi sonuçları Tablo 2.5'te sunulmuştur.

Deneyde karot örneklerin alt ve üst yüzeylerinde pürüzlülük istenmeyen bir durumdur. Pürüzleri gidermek için karotların yüzeylerine ve aletin prob yüzeylerine bir miktar gres yağı sürülür. Aletin probları karotun yüzeylerine yapıştırıldıktan sonra, 'start' tuşuna basılarak deneye başlanılır (Şekil 2.3). Problar çok hafif oynatılır ve en küçük değer bulunarak not edilir.



Şekil 2.3 Sonik hız cihazı ve aparatlarından bir görünüm.

Tablo 2.5 Pundit hız deneyi sonuçları.

Örnek No	<i>Pundit Deneyi Sonuçları</i>				
	Boy (mm)	Üst Çap (mm)	Alt Çap (mm)	Zaman (mikro saniye)	Hız (Vp) (m/sn)
1	114,3	55,5	55,5	22,3	5125,561
2	114,0	55,6	55,5	28,0	4071,429
3	114,1	55,6	55,6	25,1	4545,817
4	114,1	55,5	55,6	25,7	4439,689
5	114,3	55,4	55,5	22,3	5125,561
6	114,2	55,4	55,5	22,8	5008,772
Aritmetik Ortalama (X)	114,167	55,5	55,5333	24,3667	4719,471
Standart Sapma (SD)	0,12111	0,08944	0,05164	2,30275	434,0289

BÖLÜM ÜÇ

AKKÖPRÜ BARAJI KARAKTERİSTİKLERİ

Baraj tipi	: Kil çekirdekli kaya dolgu
Temelden yüksekliği	: 162m
Talvegden yüksekliği	: 112m
Toplam gövde dolgu hacmi	: 12hm ³
Kret uzunluğu	: 689m
Kret genişliği	: 12m
Kret kotu	: 207m
Minimum su seviyesi	: 173m
Maksimum su seviyesi	: 204m
Minimum su seviyesinde göl hacmi	: 196hm ³
Maksimum su seviyesinde göl hacmi	: 419hm ³

3.1. Baraj Aksı Geçirimsizliği

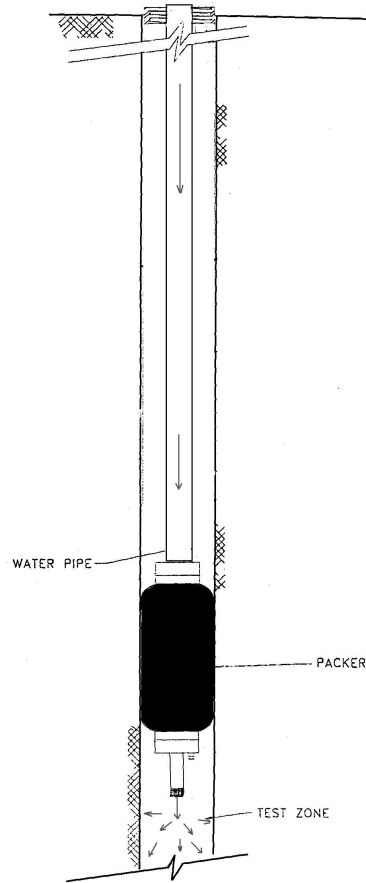
Baraj aksı boyunca temelde yer alan peridotit ve serpantinler yarı geçirimsiz olup, permeabilitesi $K = 10^{-4} - 10^{-5}$ cm/sn mertebesinde (DSİ, 1999). Tablo 3.1’de verilen IAEG (Anon, 1979a) permeabilite sınıflamasına göre, baraj aksı geçirimsizliği orta seviyededir.

Tablo 3.1 Permeabilite dereceleri.

SINIF	PERMEABİLİTE	
	K (m/s)	TANIMLAMA
1	10^{-2} 'den büyük	Çok yüksek
2	$10^{-2} - 10^{-4}$	Yüksek
3	$10^{-4} - 10^{-5}$	Orta
4	$10^{-5} - 10^{-7}$	Zayıf
5	$10^{-7} - 10^{-9}$	Çok zayıf
6	10^{-9} 'dan küçük	Hemen hemen geçirimsiz

3.1.1. Basınçlı Su Testi Uygulamaları ve Enjeksiyon Yapma Gerekliği

Dalaman – Akköprü Barajı’nda Basınçlı Su testleri (BST), Enjeksiyon perdesi boyunca karotlu açılan ano başı kuyularında ve her anoda açılan karotlu veya karotsuz kontrol kuyularında her kademedede uygulanmıştır. Bu işlem DSİ Sondaj - Enjeksiyon Teknik Şartnamesi’nde belirtilen prosedürlere uyularak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, karotlu açılan ano başı kuyularında delgi yapılırken, her enjeksiyon kademe sonu metresinde delgi durdurularak, paker enjeksiyon kademe üst noktasında şişirilerek; değişik basınçlarda su basılmıştır (Şekil 3.1). Bu basınç değerleri DSİ (1993)’te belirtildiği şekliyle, 2-4-6-8-10-8-6-4-2 barlık basınçlarla 10’ar dakika okumalarıyla tatbik edilmiştir. Üst kademelerde en çok enjeksiyon basınç değerlerini aşmada BST basınçları uygulanmıştır. Basınçlı su testlerinden elde edilen su kaçak değerleri ‘Q’ litre olarak ifade edilmiş, ofis ortamında $Q/(LPt)$ formülüyle Lugeon’a çevrilmiştir (Lugeon, 10 bar basınç altında 10 dakikada 10 metreye giden su miktarıdır). Elde edilen basınçlı su testi deney sonuçları değerlendirilerek, enjeksiyon öncesi, ilgili anonun su geçirimsizliği öğrenilmiş ve enjeksiyon alışları için öngörü kazanılmıştır. Ancak su kaçakları ile enjeksiyon alışları arasında her zaman doğru orantı görülmeyebilir. Bunun sebebi öncelikle jeolojiktir. Kayaçtaki su yollarının genişliği ile sayısı farklı olabilir. İnce çatlaklı birçok su yolu suyu geçirirken hiç enjeksiyon almayabilir. Ancak birkaç geniş çatlak büyük oranda enjeksiyon karışımı alabilir. İkinci sebep ise tekniktir. Enjeksiyon, su testinden daha yüksek basınçta yapılmaktadır. Daha yüksek basınç birçok çatlak açabilir ki bu da yüksek enjeksiyon alımlarına neden olur (Çatal, 1993).

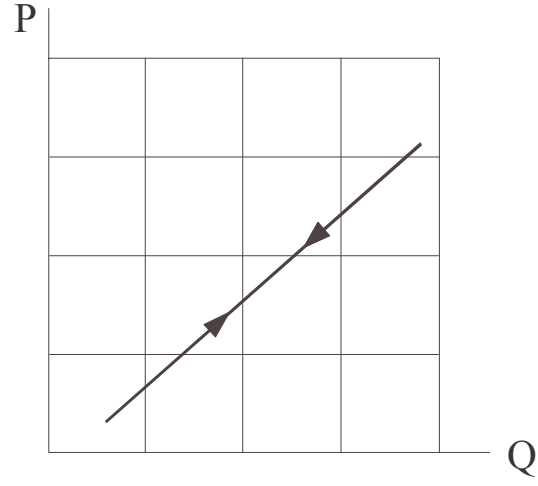


Şekil 3.1 Tekli paker ile basınçlı su testi uygulaması.

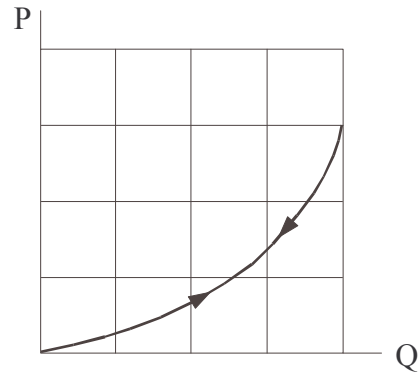
Basınçlı su testlerinin neticelerinin grafiklerle gösterilmesi kayaç hakkında yorum yapma imkânı vermektedir.

Basıncın artmasıyla kuyuya basılan su miktarının doğru orantılı olarak artması, basıncın düşürülmesiyle de su miktarının ilk haline dönmesi bir 'Laminar Akım'ın varlığını gösterir. Bu tür zeminlerde enjeksiyon alımları çok az olur (Şekil 3.2).

Basıncı artırılırken kuyuya basılan su miktarı çok çabuk bir şekilde artıyorsa, basıncın düşürülmesiyle su miktarı eski durumuna geliyorsa, burada 'Türbülanslı Akım'dan bahsedilebilir. Böyle bölümlerde enjeksiyon alımları nispeten fazla olmaktadır (Şekil 3.3).

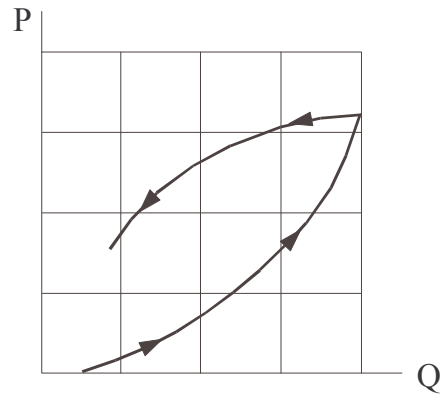


Şekil 3.2 Laminer akım.



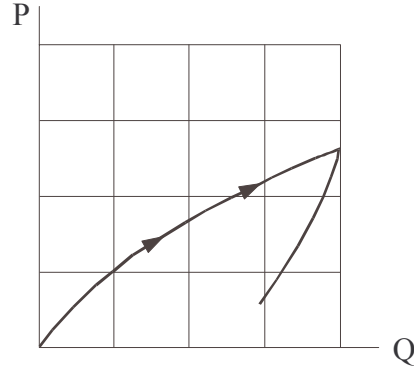
Şekil 3.3 Türbülanslı akım.

Kuyuya basılmakta olan suyun miktarı, basıncın artmasına rağmen çok az artıyorsa ve basıncın düşürülmesiyle eski değerine ulaşamamışsa, kayaçta 'Tıkanma' söz konusudur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Tıkanma.

Kuyuya basılan su miktarı, basıncın artmasıyla birlikte çok çabuk bir şekilde artar ve basıncın düşürülmesiyle ilk haline dönmez ise bu bize kayacın bir ‘Kırılma’ ile ‘Yıkanma’ varlığını gösterir. Yıkanma olayında basıncın artırılmasıyla birlikte permeabilitede de normal artışlar oluşur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kırılma ve yıkanma.

Kontrol kuyularında ise, uygulanan basınçlar, basınçlı su testinin yapılacağı aralıkta kesilen, enjeksiyonu bitmiş olan kademelerin enjeksiyon basıncına eşdeğerdir. Aksi halde uygulanacak daha yüksek basınç, tamamlanmış olan enjeksiyona ve zemine zarar verebilecektir. BST’ler kontrol kuyularında da delgi ile birlikte derinleşerek yürütülmüş, tekli paker kullanılmıştır.

Genellikle, enjeksiyon yapma gerekliliği BST sonuçlarına göre tayin edilir. Hously (1985), çimento enjeksiyonuna göre Lugeon kriterlerini Tablo 3.2’deki gibi ifade eder:

Tablo 3.2 Lugeon değerleri ile enjeksiyon gerekliliği arasındaki ilişkiler.

Mühendislik yapısının tipi ve/veya temel olma özelliği	Lugeon değerleri $1 \text{ min}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1 Mpa’ da)
Beton barajlar – tek sıra perde	3 – 5
Kil çekirdek toprak dolgu – Birden fazla sıra perde	7 - 15
Temelde aşındırılabilir materyal	3 - 4
Kaçak suyun çevreye tehlikeli olduğu durumlar	1 - 3

Enjeksiyonun gerekliliğini değerlendirmek için basınçlı su deneylerinin yeterli olup olmadığı hakkında da bazı şüpheler vardır. Şerbet alışı (grout absorption) ve şerbet etkisi ile su ve şerbet alışı arasındaki ilişkilerin tam olarak ortaya konulamayışı veya bu ilişkinin kaya anizotropisine bağlı olarak değişiklik göstermesi bu şüpheleri desteklemektedir. Lombardi (1985), enjeksiyon işlemi ve suyun reolojik özelliklerinin (rheology: maddenin sıvı halindeki özelliklerini inceleyen bilim dalı) farklı olması yüzünden, bu iki madde arasında bir ilişki olmadığı sonucuna varmıştır. Çünkü, kaya içinde bağlantılı boşlukların oluşmaması durumunda enjeksiyon öncesi yapılan basınçlı su deneyleri ile basılan su boşluklarda hapsolacaktır. Bu su, yapılacak enjeksiyonu olumsuz yönde etkileyecektir. Enjeksiyon öncesinde de bu su alınmadığı gibi, suyun nereye gidip hapsoldüğü da bilinmemektedir. Ayrıca, BST sırasında uygulanan basınç, kaya ortamda yeni çatlakların da oluşmasını aneden olabilir. Kutzner (1996), Lombardi (1985)'in aksine, enjeksiyon işlerinin dizaynı için basınçlı su deneylerinin hala esas ana deney olduğunu öne sürmekte ve enjeksiyon ile basınçlı su deneyleri arasında bir ilişkinin varlığından bahsetmektedir.

Çeşitli deneyimlerin sonrasında revize edilen enjeksiyon kriterleri Tablo 3.3'de sunulmuştur. Bu kriterlerin dışında, çimento bazlı enjeksiyonlar, izotropi ve anizotropi açısından kayanın tipine ve yapısına da bağlıdır (Kutzner, 1991).

Kayaların temel olma özellikleri dikkate alınarak, çatlakların durumuna (açık veya kapalı çatlaklı olmaları) ve kayanın izotropik ve/veya anizotropik özelliklerine bağlı olarak, müsaade edilebilen Lugeon değerleri Tablo 3.3'de sunulmuştur.

Laminer akım koşullarında basınçlı su deneylerinden elde edilen lugeon değerleri, türbülanslı akım koşullarında elde edilen lugeon değerlerinden biraz daha büyüktür (Tablo 3.3). Bu nedenle, türbülanslı akım koşulları, yüksek permeabilite ve enjekte edilebilirliği kavramsal olarak içeren açık çatlakların ortamda var olduğuna işaret eder. Tablo 3.3'de belirtildiği üzere, en düşük müsaade edilebilir lugeon değerleri, yüksek risk içeren özel mühendislik projeleri için uygulanabilir niteliktedir.

Alçak ($H < 10m$) ve yüksek ($H > 15m$) barajlar ile belirtilen aralıktaki tüm lugeon değerleri, değişik baraj türlerine ve belirtilen sıra ile perde enjeksiyonunun üst ve alt bölümlerine uygulanır (Tablo 3.3). Tablo 3.3'in en alt bölümü çimento ile yapılacak enjeksiyonun enjekte edilebilirliğinin en alt sınırını verir. 30 kg/m^3 lik çimento alışı, yaklaşık olarak kuyunun 5 ile 10 kez kuyu tabanından kuyu ağzına kadar şerbet ile doldurulmasına karşılık gelir.

3.2. Baraj Aksı Enjeksiyon Perdesi

Akköprü Barajı eksenini boyunca baraj gövdesinin inşa edildiği temel kayada oluşabilecek sızıntılar su kaybı oluşturabilir. Bu su kaçakları zamanla büyüyerek ve kaldırma basıncı yaratarak barajın yıkılmasına ve taşkınlara yol açabilir. Bu sızıntılar temel kayada belirli sınırlar dışında oluşursa tehlike arz etmez. Bu sınırlar kontrol kuyuları ile denetlenen limitler ile aynıdır. Etki alanı olarak da DSİ'nin belirlediği enjeksiyon etki derinliği ve uzaklığı kabul edilir (DSİ, 1993).

Dalaman – Akköprü Barajı temel kayasını oluşturan peridotit – serpantinlerdeki olası sızma derinliğini uzatmak ve baraj gövdesinde oluşabilecek kaldırma basınçlarını azaltmak amacıyla tek sıra-perde enjeksiyonu yapılmıştır. Ayrıca, kil çekirdeğin oturduğu kısımlarda, düzensiz eklemleri yapıyı sağlamlaştırmak, taşıma gücünü arttırmak ve sızma boyunu uzatmak amacıyla, perdeye paralel konsolidasyon (kapak) enjeksiyonu yapılmıştır. Baraj ekseninde, sağ sahilde 140m kotunda, 97,60m uzunluğunda ve sol sahilde 137,50m kotunda, 190m uzunluğunda iki adet enjeksiyon galerisi mevcuttur. Enjeksiyon perdesinin yamaçlarda nüfuz derinliğini arttırmak, yamaçlardan sızacak suları toplayıp deşarj etmek, ve baraj işletimi sırasında çıkabilecek aksaklıklara müdahale edebilmek amacıyla bu galeriler inşa edilmiştir (Ünal, 2001). Baraj temelinden galerilere kadar, 70m derinliğe varan düşey perde enjeksiyonu yapılmıştır. Galerilere denk gelen kısımlarda ise yüzeyden, galeri tabanını düşeyde 3m geçecek şekilde membaya eğimli perde enjeksiyonu, galeri içinden ise, yüzeyden açılan kuyuları kesecek şekilde irtibat enjeksiyon kuyuları ve tabandan 60m derinliğe varan düşey perde enjeksiyonu yapılmıştır.

Tablo 3.3 Barajlardaki kaya temellerinde müsaade edilebilen su emme değerleri (1min⁻¹.m⁻¹ 1Mpa'da)

Kayaların geçirimsizlik durumuyla	İzotropik Kaya		Anizotropik Kaya			
	Serbest ¹		Serbest ¹		Parçalı bloklı ²	
Sızıntı akışı	Laminer	Türbülanslı	Laminer	Türbülanslı	Laminer	Türbülanslı
BST Sızıntı araştırması	-	-	-	-	Yapılmaz	Uygun
Homojen Dolgu (uzun sızıntı yolu)	10'dan 15'e	8'den 12'ye	10'dan 15'e	8'den 12'ye	<20	<40
Toprak-kil çekirdek/kaya dolgu (orta sızıntı yolu)	8'den 12'ye	5'ten 8'e	8'den 12'ye	5'ten 8'e	<15	<30
Membran contalı kaya dolgu (kısa sızıntı yolu)	5'ten 8'e	3'ten 5'e	5'ten 8'e	3'ten 5'e	<12	<20
Beton baraj ile yukarı doğru azalma)	5'ten 8'e	3'ten 5'e	5'ten 8'e	3'ten 5'e	<12	<20
Özel durumlar:						
Erozyon riski						
Çözülme riski	3'ten 5'e	1'den 3'e	3'ten 5'e	1'den 3'e	<5	<10
Çevresel etki riski						
Kabul edilemez su kaybı riski						
Çimento (kg/m) kullanılarak enjekte edilebilirliğin alt limiti	30	30	30	30	30	30

Serbest¹: Geçirimli tabakaların doğrultusu vadiye paraleldir.

Parçalı bloklı²: Düşük geçirimli tabakaların doğrultusu vadiyi keser.

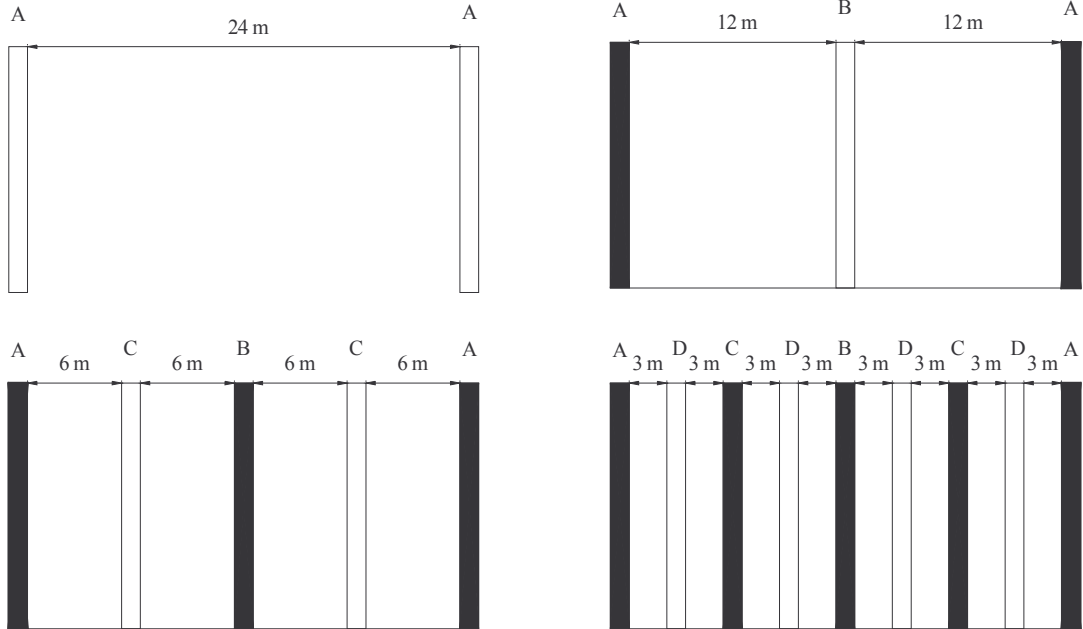
Ülkemizde, GAP projesi'nin başlangıcını oluşturan ve 1974 yılında faaliyete geçen Keban Barajı'nda da, enjeksiyon perdesi dışında yer alan karstik boşluklarda oluşan ve yıllarca süren tüm gayretlere rağmen tam olarak önlenemeyen su kaçaklarının başka bir proje ile değerlendirmesi planlanmaktadır. Bu deneyim, proje aşamasının ve enjeksiyon perdesinin etki alanının önemini pahalı bir biçimde göstermektedir.

BÖLÜM DÖRT

ENJEKSİYON UYGULAMASI

4.1. Temel Kayası Enjeksiyon Uygulaması

Perde enjeksiyonları baraj aksı boyunca 24 metrelik anolar halinde, ano başları karotlu delinerek, 3'er metre ara ile toplam 777m'lik hat boyunca oluşturulması planlanmıştır. Enjeksiyon işlemi sırası "daralan anolar metodu"na göre tatbik edilmiştir. Buna göre; her anoda, ano başı ve sonu kuyuları açılıp enjeksiyon yapılarak orta kuyulara geçilmekte ve daha sonra bunların arasına girerek üçüncül ve en son dördüncül kuyular delinip enjeksiyonları yapılarak, enjeksiyonlar tamamlanmıştır (Şekil 4.1; Şekil 4.2 ve 4.3). Enjeksiyonlara, delgi işlemi bitip, kuyular temiz su ile basınçlı olarak temizlendikten sonra başlanmıştır. Delgi işlemi için enjeksiyonların tamamen tamamlanması beklenmiştir. Ayrıca böyle bir şart olmamasına rağmen, sondajın başlayacağı kuyu noktasına yakın olan, enjeksiyonu tamamlanmış kuyuların enjeksiyon işleminin en az 24 saat önce bitirilmiş olmasına dikkat edilmiştir.



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

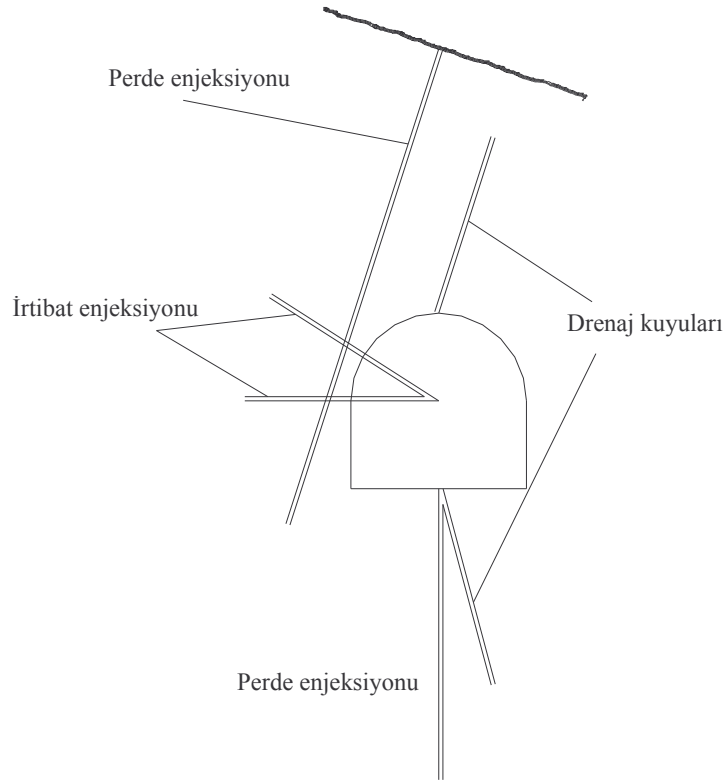
Şekil 4.1 Daralan aralıklarla 24m'lik anonun enjeksiyonunun yapılması.

Daralan anolar metoduna uyularak enjeksiyonu biten kuyuların arasına girerek enjeksiyonlara devam etme işlemi başta Atatürk Barajı olmak üzere, Türkiye'nin hemen hemen bütün baraj inşaatlarında uygulanmış olup, uygulanmasına da devam edilmektedir (Çatal, 1993).



Şekil 4.2 ve 4.3 Dalaman – Akköprü barajı temel enjeksiyonu uygulamaları.

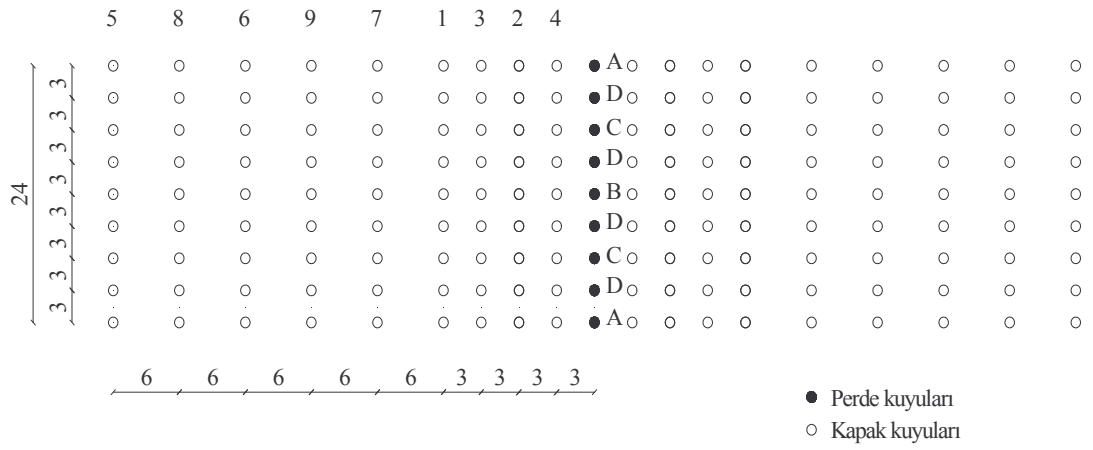
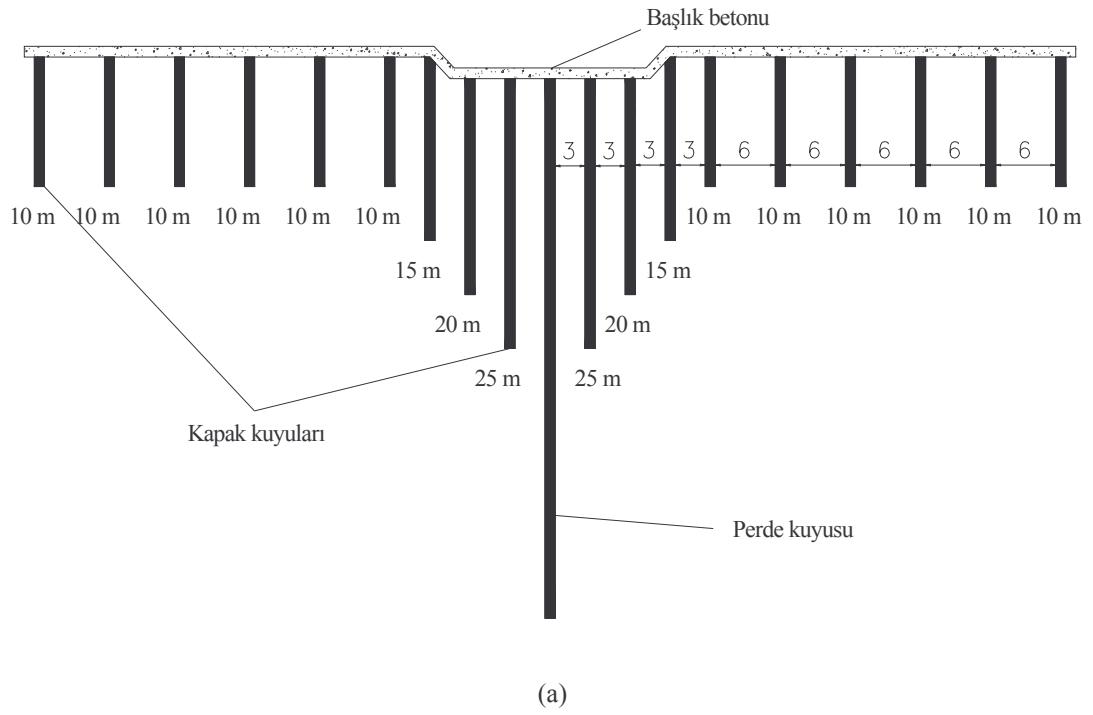
Enjeksiyon galerilerine karşılık gelen kısımlarda, galerilerin üzerinde, yüzeyden membaa eğimli olacak şekilde, galeri tabanından itibaren düşeyde 3m derinde olacak derinlikte perde enjeksiyonuna devam edilmiş; galeri içinden de bu kuyuları 5m fazladan kesecek şekilde irtibat enjeksiyonları yapılmıştır. Galeri içinden de ayrıca, düşeyde 60m derinliğinde perde enjeksiyon kuyuları açılmıştır. Ayrıca, galeri içerisinden barajın mansap tarafına eğimli olarak açılan drenaj kuyularıyla perdeden veya çevresinden sızacak sular toplanıp deşarj edilebilecektir (Şekil 4.4). Perdeden kaçan suların kaldırma etkisiyle baraj gövdesi hasar görebileceğinden, drenaj kuyuları emniyet sübabı olarak görev yapar.



Şekil 4.4 Galerinin içinden yapılan enjeksiyon ve drenaj kuyuları.

Galeriler arasında yapılan perde enjeksiyonlarının hem memba hem de mansap tarafında konsolidasyon (kapak) enjeksiyonları yapılmıştır. Boyuna ve enine 3'er metre şaşırtmalı olarak açılmış ve boyları perde enjeksiyonundan uzaklaşma sırasına göre 25m, 15m, 10m olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).

Daralan anolar yöntemine uygun olarak, kapak enjeksiyonlarından birbirine yakın 3 anonun enjeksiyonları tamamlanmadan perde enjeksiyonlarına geçilmemiştir. Tüm enjeksiyonlara başlamadan önce; sonradan kırılmak üzere, geçici başlık betonları dökülmüş ve şerbetin yüzey ile irtibatını en aza indirerek, gereksiz şerbet kayıplarından kaçınılmış, temiz ve düzenli çalışma ortamı sağlanarak uygulamada hızlı çalışma ortamı oluşturulmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.5 (a) Temel enjeksiyonu maksimum tip kesiti.

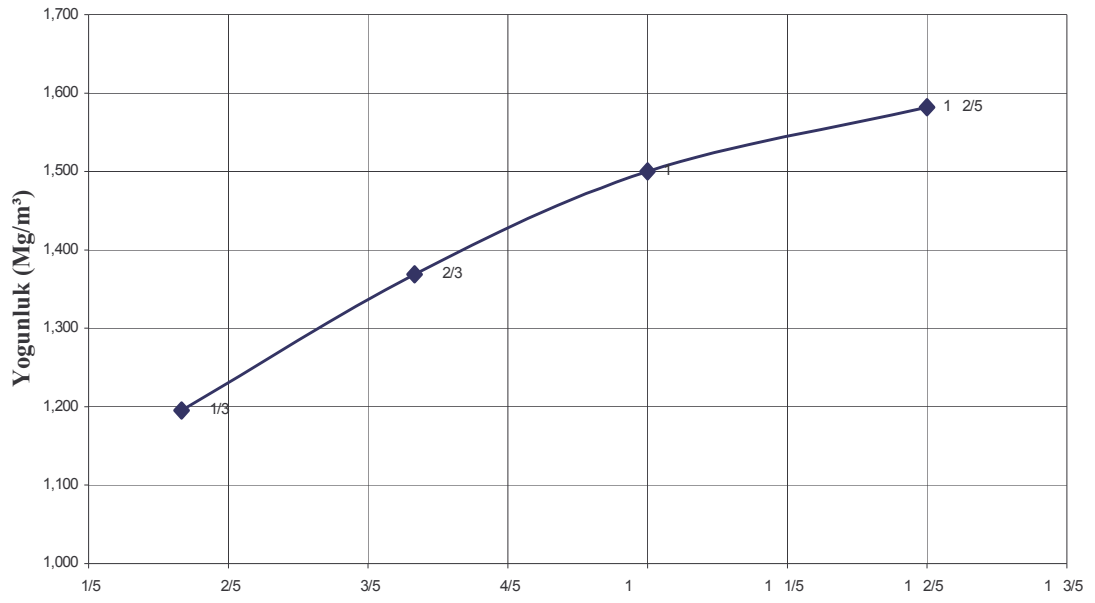
(b) 24 metrelik bir anonun enjeksiyon planı.

Perde ve kapak enjeksiyon kuyuları 76mm çapta, rotary su sirkülasyonlu makinelerle, zemin örselenmeden açılmış; enjeksiyonu yapılacak kuyunun cidarı basınçlı su ile tam olarak temizlenerek, aşağıdan yukarı yükselen kademeler halinde enjeksiyonları tamamlanmıştır. Perde ve kapak enjeksiyon kuyularında kademe boyları 5m olarak seçilmiş; son 0 – 5m arası, taban kazısı sırasında hasara uğramış olabileceğinden, 2,5m'lik iki kademe halinde yapılmıştır.

4.1.1. Kullanılan Şerbet Karışım Oranları

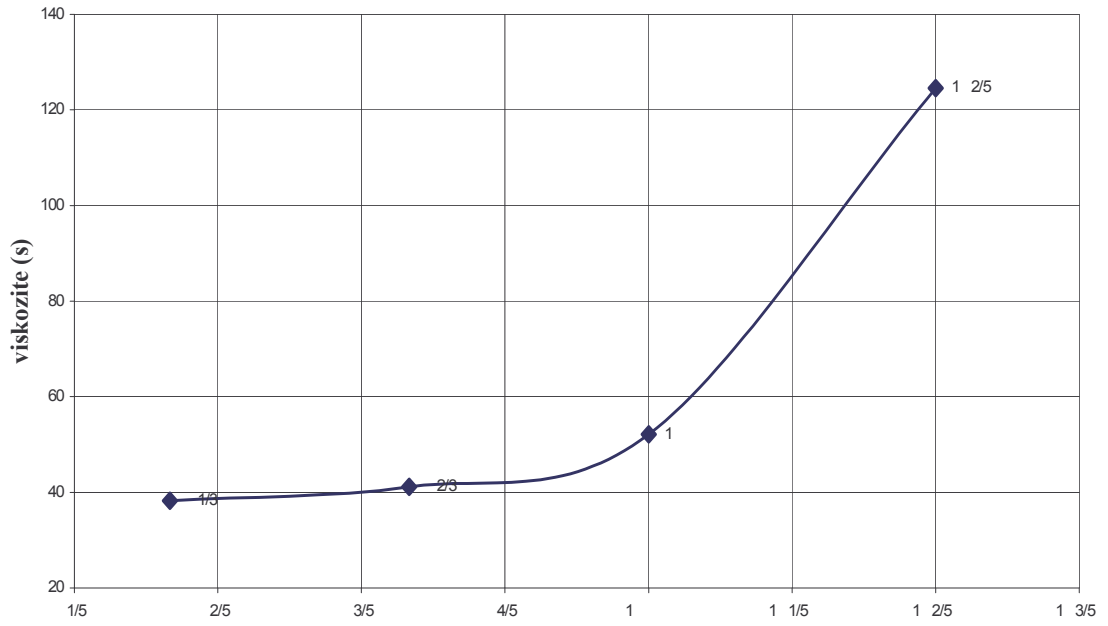
Formasyonların şerbet alış miktarına göre, yoğunlukça ince karışımdan kalın karışıma geçilmiştir. Enjeksiyonlara ince yoğunluktaki karışımlarla başlanmasının sebebi, ince aşıklıktaki çatlak ve boşluklara enjeksiyon şerbetinin nüfuz edebilmesini sağlamak veya açıklığı az olan çatlaklardan geçerek, eğer varsa, nispeten daha büyük boşluklara ulaşabilmektir. Kalın karışımlarala başlandığı zaman şerbet, viskozitesine uygun olmayan kanallarda köprü yaparak ardında boşluk bırakabilmektedir ki bu da yapılan işin amacıyla ters düşmektedir.

Her kuyuda enjeksiyon işlemine ilk olarak ağırlıkça 1/3 çimento/su oranıyla başlanmış, sırasıyla 2/3, 1/1, 7/5 ve en son 7/5 oranda %50 kumlu karışıma kadar şerbet yoğunluğu arttırılmıştır. Her karışımda 0,5m³ alış miktarından sonra, şerbet yoğunluğu arttırılmıştır. Stabil olmaması ve sedimentasyona uğraması nedeniyle 1/6 oranında şerbet hiç kullanılmamıştır. Şerbet karışımları viskozite, stabilite ve özgül ağırlık deneylerine tabi tutularak sedimentasyon miktarları ve diğer karakteristikleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de sırasıyla yoğunluk, viskozite ve stabilite deney sonuçları gösterilmiştir (Ünal, 2001). Kullanılan karışımlarda, stabiliteyi arttırmak için en az 24 saat önceden ağırlıkça 1/10 oranında hidrate edilmiş bentonit kullanılmıştır (T.S. 977, 1971). Temel kayaç birimi Peridotit – Serpantinin permeabilitesi düşük olduğundan “Blaine” değeri, yani özgül yüzeyi 4000cm²/gr'dan büyük olan çimento kullanılmıştır (T.S. 19, 1985). Kullanılan şerbet karışım oranları ve bu şerbetlerin litre cinsinden hacimleri Tablo 4.1'de ayrıntısıyla gösterilmektedir.



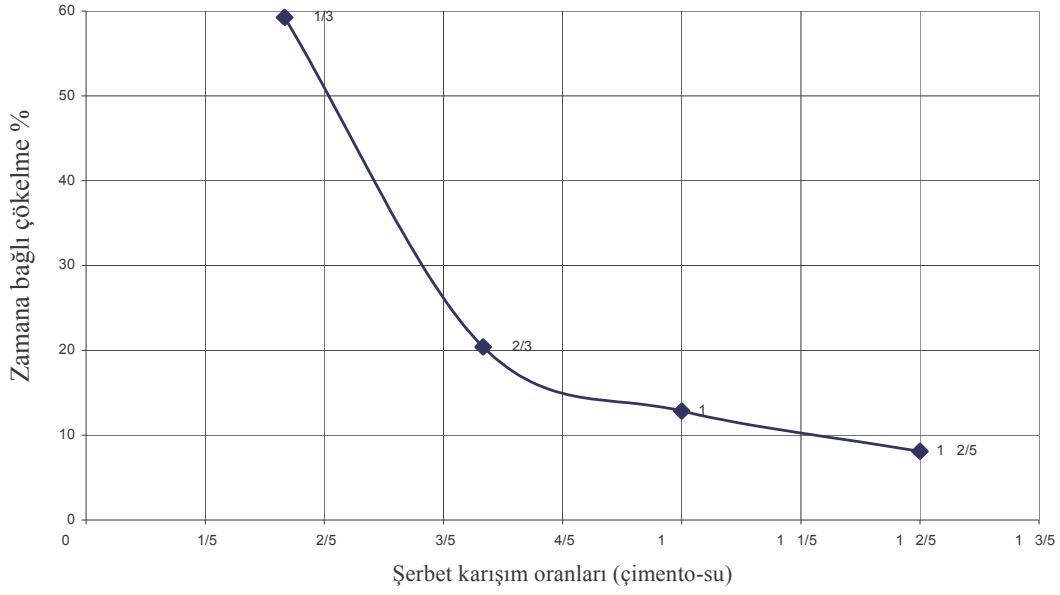
Şerbet karışım oranları (çimento-su)

Şekil 4.6 Yoğunluk deneyi sonuçları.



Şerbet karışım oranları (çimento-su)

Şekil 4.7 Viskozite deneyi sonuçları.



Şekil 4.8 Stabilite deney sonuçları.

Tablo 4.1 Akköprü Barajı'nda kullanılan şerbet karışım oranları.

Karışım oranı	Su (s)	Çimento (ç)	Bentonit (%)	Kum (%)	Hacim (L)
Çim / su	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(L)
1 / 3	150	50	5	-	168.0
2 / 3	150	100	4	-	186.0
1 / 1	150	150	3	-	203.0
7 / 5	150	210	2	-	222.5
7 / 5	150	210	2	25	237.5
7 / 5	150	210	2	50	252.5

Yukarıda da belirtildiği gibi enjeksiyona $\text{ç/s}=1/3$ karışımla başlanmıştır (ç = çimento, s = su). $0,5\text{m}^3$ bu karışımdan verildiği halde manometrede yükselme olmadığında daha koyu karışıma, yani $2/3$ 'e geçilmiştir. $0,5\text{m}^3$ bu karışımdan verildiği halde manometre basıncında yine artış olmadığında $1/1$ karışıma geçilmiş ve $0,5\text{m}^3$ bu karışımdan verilmiştir. Hala basınç artmadığında $7/5$ karışıma geçilmiş ve $2,5\text{m}^3$ bu şerbetten verilmiştir. Yine manometre basıncında artış yoksa, ağırlıkça çimento yüzdesi olarak sırasıyla karışıma %25 ve %50 kum ilave edilmektedir. Tüm bu karışım oranlarına rağmen sonuç alınamamışsa, enjeksiyona ara verilmiş, basılmış

olan şerbetin priz almasına müsaade edilmiş ve gerektiğinde özel kimyasal maddeler kullanılmıştır. Ancak, Akköprü Barajı'nda temel kaya birimi olan Peridotit – Serpantin yarı geçirimli malzeme olduğundan kumlu karışımların kullanılmasına gerek kalmadan refü elde edilerek sonuç alınmıştır.

4.1.2. Kullanılan Enjeksiyon Basınçları

Akköprü Baraj inşaatında tüm kapak kuyularında uygulanan enjeksiyon refü basınçları $P_t=0,23 \times H$ formülüyle hesaplanmıştır (DSİ, 1993). Tüm perde kuyularında da $P_t=0,33H$ formülüyle hesaplar yapılmıştır. Burada P_t kademe toplam efektif basıncıdır; H , kademe orta noktası ile kuyu ağzı arası düşey mesafedir (m). Efektif basıncın manometrede okunacak olan basınca çevrilmesinde $P_m=P_t+(W/L) \times \cos\alpha$ bağıntısı kullanılmıştır. Burada, 'W' şerbet yoğunluğu, 'L' kademe ortası ile manometre arası düşey mesafe, ' α ' da kuyunun düşeyle arasındaki açıdır. Kademelerde uygulanan manometre refü basınçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

4.1.3. Refü Şartı

Refü, bir kademede enjeksiyona devam edilirken kuyuya verilen karışımın tamamen geri gelmesi haline denir. Akköprü barajında uygulanan refü şartı; tüm perde ve kapak kuyuları için ilgili kademede enjeksiyon yapılırken, istenen basınç elde edilip, artık kademe şerbet yemiyorsa, 1/3 ince karışıma geçilip 20 dakika boyunca kuyuya bu karışım verilmiştir. Bu zaman içerisinde perde kuyuları için ilk 20 metrede 0,3L/m/dak ve konsolidasyon kuyuları için de 0,6L/m/dak veya daha az şerbet alışı olursa refü şartı sağlanmış olarak kabul edilmiştir.

4.1.4. Kullanılan Malzemeler

Çimento: Yeraltı suyunda sülfat tehlikesi olmadığından normal PKÇ/A 32,5 (Portland Çimentosu) kullanılmıştır. Suda 600mg/L'den fazla SO_4 iyonu olması durumunda sülfata dayanıklı çimento kullanılması gerekecekti. Özgül yüzeyi $4000\text{cm}^2/\text{gr}$ 'dan büyük çimento kullanılarak çimentonun ince çatlaklara daha iyi

nüfuz etmesi sağlanmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Akköprü Barajı'nda uygulanan enjeksiyon refü basınçları.

KADEME (m)	BASINÇ (kgf / cm ²)	
	PERDE ENJEKSİYONU	KAPAK ENJEKSİYONU
0 – 2.5	1	0.5
2.5 – 5	2	1
5 – 10	2	2
10 – 15	3	3
15 – 20	4	4
20 – 25	5	5
25 – 30	6	
30 – 35	7	
35 – 40	8	
40 – 45	9	
45 – 50	10	
50 – 55	11	
55 – 60	12	
60 – 65	13	
65 – 70	14	

Bentonit: Likit limit değeri %400'den büyük olan katkısız bentonit kullanılmıştır. Özellikleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Kum: İçinde organik madde, sodyum sülfat ve kil gibi ince malzeme içermeyen, elenmiş ve yıkanmış kum kullanılmıştır.

Su: Yağ, asit, alkali vb zararlı maddeler içermeyen temiz yer altı suyu kullanılmıştır.

Tablo 4.3 Kullanılan çimentonun özellikleri (Batı Söke, 2002).

Özellikler	Birim	Laboratuvar Değerleri	Şartname Değerleri	
			En düşük	En büyük
<i>Kimyasal Özellikler</i>				
Kükürt Trioksit (SO ₃)	%	2.16	-	3.50
Klorür (Cl)	%	0.0076	-	0.1000
Toplam katkı miktarı	%	17.11	6.00	20.00
<i>Fiziksel Özellikler</i>				
7 günlük basınç dayanımı	MPa	32.40	16.00	-
28 günlük basınç dayanımı	MPa	44.40	32.50	-
Priz başlangıcı	Dak	170	60	-
Hacim genişmesi	Mm	2.00	-	10.00
Özgül yüzey	cm ² /g	4254	2800	-

Tablo 4.4 Kullanılan bentonitin özellikleri (Karakaya Bentonit, 2002).

Fiziksel Özellikler	Birim	Laboratuvar Değerleri	Şartname Değerleri	
			En düşük	En büyük
200 nolu elekte kalan miktar (Yaş elek analizi)	%	1.32	-	2.00
100 nolu elekten geçen miktar (Kuru elek analizi)	%	99.50	98.00	-
Likit limit	%	412.00	400.00	-
Nem oranı	%	9.25	-	10.00
Viskozite	S	33	32	45

Kimyasal incelticiler: Peridotit – Serpantinlerin permeabilitesi düşük olduğundan su alışı olduğu halde şerbet alışı olmuyorsa çimento ağırlığının %0,5-1'i oranında sodyum fosfat veya %1-2'si oranında L-10 Melment ticari isimli katkılar

kullanılması öngörülmektedir. Ancak, uygulamada böyle bir durumla karşılaşmamıştır.

Priz Hızlandırıcılar: Böyle bir ihtiyaca gerek duyulmamışsa da gerektirdiği taktirde şerbetlerde NaSiO_3 , kumlu karışımlarda ise CaCl_2 kullanılması planlanmıştır.

4.1.5. İşin Denetimi

Enjeksiyonu tamamlanan anolarda nispeten yüksek çimento alışı yapan kademeleri kesecek şekilde karotlu veya karotsuz eğik kontrol kuyuları açılmıştır (Şekil 4.9 ve 4.10). Açılan bu kontrol kuyularında basınçlı su deneyleri yapılmış ve hemen sonrasında enjeksiyonları yapılmıştır. Böylece elde edilen Lugeon değerlerine göre ilgili anonun geçirimsizliği değerlendirilmiş ve DSI'nin belirlediği limitlerin altında olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 4.5'te perde, kapak ve kontrol kuyuları toplam metrajları ile katı madde miktarları gösterilmektedir. Açılan kontrol kuyularından bir tanesinin konumu, elde edilen Lugeon değerleri ve sonrasında yapılan enjeksiyonun alışı değerleri (katı madde olarak) Ek-1'de sunulmuştur (Ünal, 2001).

Tablo 4.5 Temel enjeksiyonu icmali.

Kuyu Tipi	Kuyu Sayısı	Metraj m	Çimento kg	Bentonit kg	1m'ye Giden Ortalama Katı Madde Miktarı (kg/m)
Kapak	1580	24372	344592	14604	14,7
Perde	365	20889	271249	10846	13,5
Kontrol	31	1952	12101	550	6,5

4.2. Teras – Konglomera Biriminde Deneme Enjeksiyonu Uygulaması

Dalaman Çayı üzerinde yer alan Dalaman-Akköprü Barajı'nda, mansap sağ sahilinde yer alan teras biriminde (Dere çökeli şeklinde gelişmiş, düzensiz, taşlaşmış çakıllar), deneme enjeksiyonları yapılmıştır. Aynı bölgede dört ano oluşturulmuş ve aynı enjeksiyon şartları altında, yalnızca karışım malzemeleri ve de oranları değiştirilerek, teras birimi için en uygun karışımın tespitine çalışılmıştır.

Enjeksiyonu tamamlanan anolarda nispeten yüksek çimento alışı yapan kademeleri kesecek şekilde eğimli kontrol kuyuları açılmış ve elde edilen karotlar üzerinde incelemeleri yapılmıştır. Açılan kuyuların her kademesinde basınçlı su deneyleri gerçekleştirilmiş ve hemen sonrasında da enjeksiyonları yapılmıştır. Böylece, elde edilen Lugeon değerlerine göre ilgili anonun geçirimsizliği değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, klasik çimento enjeksiyonu karışım ve basınçları ile uygulanacak enjeksiyon işleminin, teras biriminde başarısını ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Baraj inşaatı gibi kazı maliyetinin yüksek olduğu durumlarda, enjeksiyon ile teras malzemesini sağlamlaştırmak, geçirimsizliğini sağlamak söz konusu olmaktadır. Değişik projelerde olası durumlarda, barajın gövde inşaatı veya santral binası gibi önemli mühendislik yapıları teras malzemesi üzerinde yer alabileceği için, bu malzemenin geçirimsizliğinin ve sağlamlığının nasıl ve hangi karışım oranlarında sağlanabileceğinin bilinmesi mühendislik işlerinde zorunluluk haline gelebilecektir. Çünkü dere yataklarında teras malzemeleri dere tabanının talvegini doldurmaktadır. Bu malzemenin bağlayıcıları ince kum, kil, silt gibi ince tanelilerden, bazen de karbonat gibi çimento materyalinden oluşabilmekte ve aramaddenin bu özelliklerine göre de geçirimsizliklerinin değişebildiği bilinmektedir. Ayrıca, belirli bir pekleşme derecesine sahip dere tabanında yer alan malzemenin tektonik aktivitelerden etkilenebileceği ve kazanılan ikincil porozite ile geçirimsizliğinin daha da artacağı bir gerçektir.

Bu çalışmada yer alan dört farklı çimento karışımının performansı teras malzemesi için araştırılmış ve en uygun karışım oranları geçirimsizliğin sağlanması için belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.9 ve 4.10 Kontrol kuyularından alınan karotların (NQ) görünüşleri.

4.2.1. Uygulama Yöntemi

Dalaman Çayı sağ sahilinde, Akköprü Barajı'nın mansap tarafında, 122 kotunda oluşturulan palyede, üçer kuyudan oluşan dört sıra kuyu enjeksiyonu yapılmıştır (Şekil 4.11). Kuyu derinlikleri, teras kalınlığı kadar olmak üzere, 20m olarak açılmış ve enjeksiyonlar kuyu tabanından üste doğru yükselen kademeler halinde yapılmıştır. Her sıra birer ano gibi ele alınmıştır. Ano başlarının enjeksiyonu önce, orta kesimlerinin ise daha sonra yapılmıştır. Su kaçaklarının bulunduğu zemin kesimlerinin saptanmasına yönelik olarak her kademede basınçlı su deneyleri (BST) yapılmıştır. Enjeksiyonu biten anolarda en çok alış yapan kademeleri kesecek şekilde, eğimli kontrol kuyuları karot alınarak ve BST yapılarak açılmış ve yine yükselen kademeler halinde enjeksiyonları yapılmıştır. Tüm kontrol kuyuları ile birinci sıranın birinci kuyusu karotlu açılmıştır.

Bu çalışmada, teras malzemesinin geçirimsizliğinin sağlanmasına yönelik olarak enjekte edilecek uygun şerbet karışım oranının bulunması için dört farklı karışım denenmiştir. Bu karışımlar aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

KARIŞIM – I

Çimento+Su+Bentonit

KARIŞIM-II

Çimento+Su+Bentonit+Katkı Maddesi

KARIŞIM-III

Çimento+Su+ Katkı Maddesi

KARIŞIM-IV

Çimento+Su

Formasyonların şerbet alış miktarına göre, yoğunlukça ince karışımdan kalın karışıma geçilmiştir. İlk olarak, ağırlıkça 1/3 çimento/su oranıyla işleme başlanmış, sırasıyla 2/3, 1/1 ve 7/5 oranlı karışımlar kullanılmıştır. Klasik çimento–bentonit-su

karışımında 1/3 oranla, diğer karışımlarda 2/3 oranlı karışımlarla enjeksiyonlara başlanmıştır. Stabil olmaması ve sedimentasyona uğraması nedeniyle 1/6 oranında karışıma sahip şerbet hiç kullanılmamıştır. Şerbet karışımlarının her defasında viskozite, stabilite ve özgül ağırlık değerleri belirlenerek sedimentasyon miktarları ve diğer karakteristikleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Kullanılan karışımlarda stabiliteyi arttırmak için, en az 24 saat önceden ağırlıkça 1/10 oranında hidrate edilmiş bentonit kullanılmıştır (TS 977, 1971). Tüm enjeksiyonlarda “Blaine” değeri, yani özgül yüzeyi $4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dan büyük olan çimento türü kullanılmıştır (TS 19, 1985).

Çimento inceliği ‘Blaine’ değeri ile denetlenir. Çimento enjeksiyonlarında, Blaine değeri yüksek çimentolar ($>3500 \text{ cm}^2/\text{gr}$), özellikle çok ince çatlakların doldurulmasında önem taşır. Çimentonun inceliğinin artması ile hidratasyon olayı daha hızlı gelişeceğinden, priz süresi kısalmaktadır.

Dalaman - Akköprü Baraj inşaatındaki tüm kapak kuyularında uygulanan enjeksiyon refü basınçları $P_t=0,23xH$ formülüyle hesaplanmıştır (DSİ, 1993). Tüm perde kuyularında enjeksiyon refü basınçları ise $P_t=0,33H$ formülüyle hesaplanmıştır. Burada P_t kademe toplam efektif basıncıdır; H, kademe orta noktası ile kuyu ağzı arasındaki düşey mesafedir (m). Efektif basıncın manometrede okunacak olan basınca çevrilmesinde $P_m=P_t+(W/L)xcos\alpha$ dönüşüm formülü kullanılmıştır. Burada ‘W’ şerbet yoğunluğu, ‘L’ kademe ortası ile manometre arası düşey mesafe, ‘ α ’ da kuyunun düşeyle arasındaki açıdır. Bu çalışmadaki basınçlarda kapak enjeksiyonu basınçları kullanılmıştır. Kademelerde uygulanan manometre refü basınçları Tablo 4.6’te gösterilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan refü şartı aşağıdaki gibidir:

Tüm kuyular için ilgili kademede enjeksiyon yapılırken, istenen basınç elde edilip, artık kademe şerbet almıyorsa, en ince karışıma geçilip şerbet 20 dakika boyunca kuyuya zerk edilir.

Bu zaman içerisinde, 0,6L/m/dak veya daha az şerbet alışı olursa o kademe için refü şartı sağlanmış kabul edilmiştir.

Tablo 4.6 Dalaman - Akköprü Barajı'nda uygulanan enjeksiyon refü basınçları.

KADEME	BASINÇ (kgf / cm ²)
	KAPAK ENJEKSİYONU
0 – 2.5	0.5
2.5 – 5	1
5 – 10	2
10 – 15	3
15 – 20	4

4.2.2. Karışımların Özellikleri

Bu çalışmada da kullanılan tüm malzemeler, Dalaman – Akköprü Barajı Temel Kayası Enjeksiyon uygulamalarındakiyle aynı özellikleri taşımaktadır.

Bu araştırmada şerbet karışımlarının viskozite, stabilite ve yoğunluk deneylerine tabi tutularak çökme miktarları ve diğer özellikleri araştırılmıştır. Kullanılan şerbet karışım oranları ve bu şerbetlerin litre cinsinden hacimleri Tablo 4.7'te ayrıntısıyla gösterilmektedir.

Şekil 4.11 ve 4.12'de sırasıyla yoğunluk – viskozite ve stabilite deney sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.11'de gösterilen yoğunluk – viskozite grafiğine göre, klasik çimento enjeksiyonunda kullanılan oranları ifade eden Karışım-1'de yoğunluk artışı ile beraber ani viskozite artışı (jelleşme) meydana gelmekte ve hem olası pompalama güçlüğü hem de zeminde lokal tıkanmalar gerçekleşebilmektedir.

Şekil 4.11'de, Karışım-3 ve Karışım-4, katkı maddesini az içermeleri nedeniyle düşük yoğunluklarda Karışım-1 ile benzer davranış gösterse de, Karışım-3 yoğunluk artışıyla viskozitede laminer yükselme gösterirken Karışım-4 ani artış göstermektedir

Tablo 4.7 Dalaman - Akköprü Barajı'nda kullanılan şerbet karışım oranları.

KARIŞIM-1

Tip (ç/s)	Çimento (kg)	Su (lt)	Bentonit (kg)	Hacim (lt)	% Bentoni t	Yoğunluk (gr/cm ³)	Viskozite (sn)
1/3	50	150	2,5	167	5		
2/3	100	150	3	184	3	1,268	56
1/1	150	150	3	200	2	1,432	68
7/5	200	142	2	208	1	1,510	98

KARIŞIM-2

Tip (ç/s)	Çimento (kg)	Su (lt)	Bentonit (kg)	Katkı (kg)	Hacim (lt)	% Katkı	% Bentoni t	Yoğunluk (gr/cm ³)	Viskozite (sn)
2/3	100	150	2	1	184	1	2	1,238	38
1/1	150	150	1,5	1,5	201	1	1	1,384	50
7/5	200	142	0,5	2	210	1	0,5	1,480	58

KARIŞIM-3

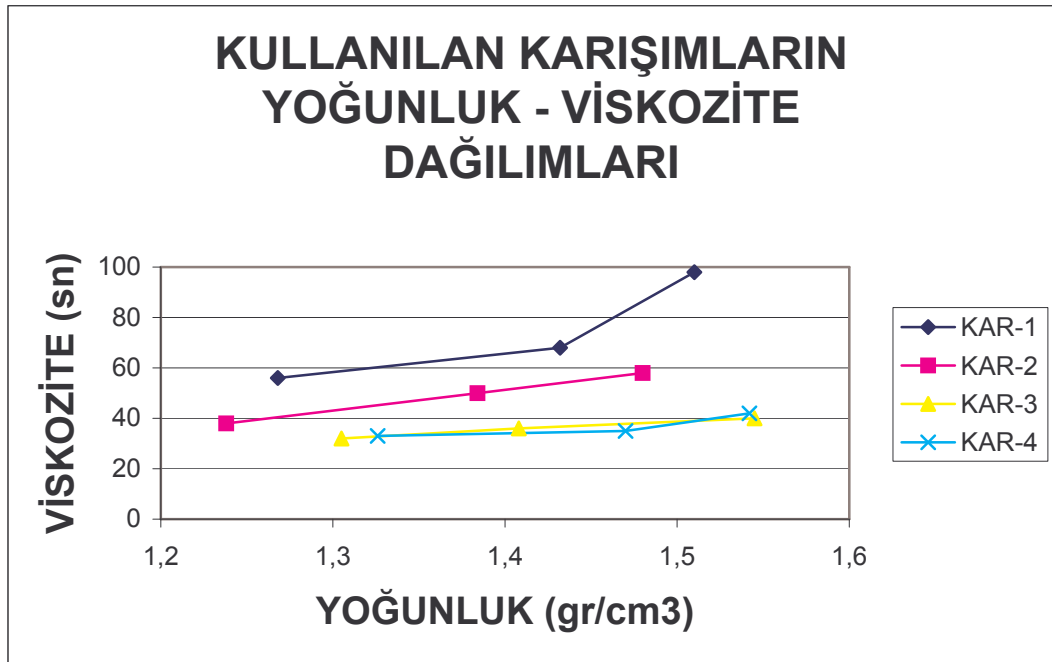
Tip (ç/s)	Çimento (kg)	Su (lt)	Katkı (kg)	Hacim (lt)	% Katkı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Viskozite (sn)
2/3	100	150	1	183	1	1,305	32
1/1	150	150	1,5	200	1	1,408	36
7/5	200	142	2	210	1	1,545	40

KARIŞIM-4

Tip (ç/s)	Çimento (kg)	Su (lt)	Hacim (lt)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Viskozite (sn)
2/3	100	150	183	1,326	33
1/1	150	150	199	1,470	35
7/5	200	142	208	1,542	42

Açıklama: ç: çimento, s: su, %katkı (katkı maddesi%): sodyum trifosfattır.

Karışım-4'te çimentonun su içinde uzun süre asılı duramaması, karışımda homojen yapıya izin vermemekte ve enjeksiyonun zemine nüfuzunu ve boşlukların tıkanmasını engellemektedir. Karışım-3'te viskozitenin Karışım-2'ye göre düşük olması; diğer karışımlara göre zeminde daha ileri noktalara rahatça hareket ederek nüfuz etmesini sağlayabilir. Ancak zamana bağlı çökme özelliklerine baktığımızda (Şekil 4.12), Karışım-2'nin daha düşük çökme değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Çökmenin uzun sürede gerçekleşmesi enjeksiyon priz süresini geciktirse de bu belirleyici nitelikte değildir. Uzun sürede çöken karışım, enjeksiyon yapılan noktadan uzak noktalardaki boşluklarda dahi homojenliğini korur. Laboratuvar deney sonuçlarına göre bu dört karışımdan en uygunu Karışım-2'dir.

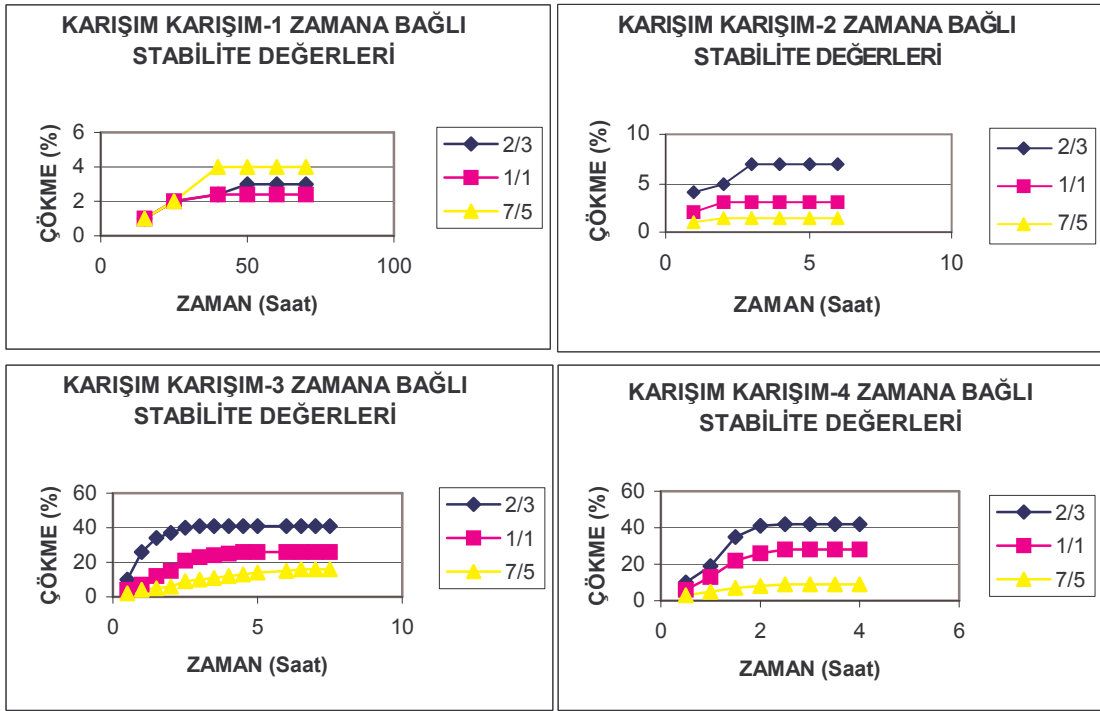


Şekil 4.11 Yoğunluk-viskozite deneyi sonuçları.

4.2.3. Deneme Enjeksiyonu Uygulamasının Denetimi

Enjeksiyonu tamamlanan anolarda nispeten yüksek çimento alışı yapan kademeleri kesecek şekilde karotlu eğimli kontrol kuyuları açılmıştır. Açılan bu kontrol kuyularında her kademedede basınçlı su deneyleri yapılmış ve hemen

sonrasında enjeksiyonları yapılmıştır. Böylece elde edilen Lugeon değerlerine göre (1 Lugeon: 1 m'lik kademede 1 dakikada 10 bar basınç altında oluşan su kaçağıdır), ilgili anonun geçirimsizliği değerlendirilmiş ve DSİ'nin belirlediği limitlerin altında olduğu sonucuna varılmıştır (DSİ. 1993). Tablo 4.8'da karışımlara göre enjeksiyon kuyusu ve kontrol kuyularının toplam metrajları ile katı madde miktarları gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Stabilite deney sonuçları.

Açıklama: Karışım-1, çimento-su-bentonit; Karışım-2, çimento-su-bentonit-katkı; Karışım-3, çimento- su- katkı; Karışım-4, çimento-su karışımıdır.

Tablo 4.8 Anolara göre deneme ve kontrol kuyularındaki şerbet alış miktarları.

Karışım-1 ano

Kademe	Enjeksiyon Litre alış				Enjeksiyon katı madde kg/m alış			
	A	B	C	Kontrol Kuyusu	A	B	C	Kontrol Kuyusu
0-2,5	582	15	373	15	130	3	84	3
2,5-5	3.252	20	15	105	1.120	4	3	24
5-10	3.039	1.365	962	135	519	194	124	15
10-15	383	10	55	30	43	1	6	3
15-20	772	209	110	962	95	23	62	124
TOPLAM	8.028	1.619	1.515	1.247	1.907	225	279	169

Karışım-2 ano

Kademe	Enjeksiyon Litre alış				Enjeksiyon katı madde kg/m alış			
	A	B	C	Kontrol Kuyusu	A	B	C	Kontrol Kuyusu
0-2,5	189	15	15	10	42	3	9	2
2,5-5	2.840	378	1.375	373	956	85	390	84
5-10	1.585	189	194	20	236	22	22	2
10-15	60	30	30	15	7	9	3	2
15-20	100	1.795	40	40	11	276	4	5
TOPLAM	4.774	2.407	1.654	458	1.252	395	428	95

Karışım-3 ano

Kademe	Enjeksiyon Litre alış				Enjeksiyon katı madde kg/m alış			
	A	B	C	Kontrol Kuyusu	A	B	C	Kontrol Kuyusu
0-2,5	371	10	15	10	82	2	3	2
2,5-5	188	376	20	188	42	83	4	42
5-10	1.999	20	1.164	193	314	2	153	21
10-15	737	10	105	35	81	12	12	4
15-20	193	140	80	30	21	4	9	3
TOPLAM	3.488	556	1.384	456	540	103	181	72

Karışım-4 ano

Kademe	Enjeksiyon Litre alış				kg/m alış			
	A	B	C	Kontrol Kuyusu	A	B	C	Kontrol Kuyusu
0-2,5	10	193	188	10	2	21	20	2
2,5-5	3.028	188		25	1.022	21		5
5-10	1.780	2.815	193	377	271	471	21	41
10-15	85	1.775	85	35	9	21	9	4
15-20	376	371	1.780	193	41	21	271	21
TOPLAM	5.279	5.342	2.246	640	1.345	555	321	73

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Dalaman – Akköprü Barajı'nda baraj gövdesi boyunca kil çekirdeğin oturacağı temel kayada perde ve kapak enjeksiyonları yapılmıştır. Uygulama şekilleri belirtilmeden, enjeksiyonda kullanılan, enjeksiyon şerbetini oluşturan maddeler tek tek irdelenmiş, karışım laboratuvar sonuçları ifade edilmiş ve teknik uygulama esasları belirtilmiştir. Yapılan uygulamanın geçerliliği kontrol kuyuları ile denetlenmiş; değerlerin DSİ tarafından önerilen sınırların altında olduğu belirlenmiştir. DSİ'nin önerdiği karışım oranları ve uygulama esaslarının bu çalışma kapsamı içindeki jeolojik yapıya uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan jeoteknik uygulamaların sonuçlarının yorumu yapılmıştır. İleride baraj su tutmaya başladığında, bu verilere dayanarak, baraj eksenini boyunca, temel kayadan su kaçağı olmayacağı ve tehlikeli bir kaldırma basıncı oluşmayacağı açıktır. Bu verilerin aynı bölgede/birimde yapılacak uygulamalara ışık tutarak, olası alışı miktarları ve fizibilite çalışmalarına katkısı olacaktır.

Dalaman – Akköprü Barajında mansap sağ sahilinde yer alan teras birimi deneme enjeksiyonları yapılmıştır. Pratik uygulama şekilleri belirtilmeden, enjeksiyonda kullanılan, enjeksiyon şerbetini oluşturan maddeler tek tek irdelenmiş, karışımın laboratuvar sonuçları ifade edilmiş ve teknik uygulama esasları belirtilmiştir. Yapılan uygulamanın geçerliliği kontrol kuyuları ile kontrol edilmiş; değerleri istenen limitlerin altında olduğu belirlenmiştir. Değişik karışımlara göre şerbet alışı ve enjeksiyonun başarı miktarları sayısal olarak ifade edilmiş ve uygunluğu irdelenmiştir. İleride, aynı şartlar altında, özellikle Dalaman Çayı boyunca Teras biriminde olası enjeksiyonlar için referans kaynak oluşturulmuştur. Bu verilerin aynı bölgede/birimde yapılacak uygulamalara ışık tutacak, olası alışı miktarları ve fizibilite çalışmalarına katkısı olacaktır.

Kullanılan malzeme ve oranları, Dalaman Çayı boyunca yüzlek veren teras biriminde bu çalışmada belirtilen karışımlardan Karışım-2'nin enjeksiyon için en iyi stabilite ve viskozitede olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan deneme

enjeksiyonlarında, şerbet alışlarında en uygun alış Karışım-2; metreye katı madde alış olarak en uygun Karışım-3 görülmektedir. Bu seçimde; aşağıda belirtilen ilişkilerin sonuçları belirleyici olmuştur;

- a) kuyu şerbet alışları ile su kaçak miktarları
- b) Kontrol miktarları şerbet alış miktarları ile su kaçak miktarları

Kuyu şerbet alışları ve su kaçak miktarları ile kontrol kuyuları şerbet alışları ve su kaçak miktarları karşılaştırılmıştır. Başlangıçta şerbet alışının fazla olup, kontrol kuyusunda alışın az olması ve bu farkın en fazla Kar-2'de olması nedeniyle; en iyi sonucu Kar-2 vermiştir. Bu çalışmadaki zemin ve uygulama şartlarında en uygun karışımın Kar-2 olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anon (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I -Rock and Soil Materials, *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, 19, 364 – 371.
- ASTM (1980). Standard method of test for unconfined compressive strength of rock specimens (2939-79), *Annual Book of ASTM Standards*, 19, 440-443.
- Bell, F.G. (1992). *Engineering in rock masses*, Germany: Butterworth – Heinemann Ltd.
- Brown, E.T. (1981). Rock Characterization Testing and Monitoring. *ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, 1, 113-116.
- Batı Söke Çimento T.A.Ş. (2002). Çimento Deney Raporu, Rapor no: 201, 1.
- Çatal, A. (1993). *Atatürk Barajı jeoteknik uygulamaları*. Ankara: Atak ofset.
- DSİ Genel Müdürlüğü (1999). Uygulama Projeleri, Aydın, yayınlanmamış.
- DSİ Genel Müdürlüğü (1993). Sondaj – Enjeksiyon Teknik Şartnamesi, Ankara, yayınlanmamış.
- DSİ 21. Bölge Müdürlüğü (1983). Aşağı Dalaman Projesi Master Plan Raporu, Ankara.
- Frederick, J.R., (1965). *Ultrasonic Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Houlsby, A.C. (1985). Design and Construction of Cement Grouted Curtains. *15th ICOLD Congress, Lausanne, III*; 995-1015.
- Karakaya Bentonit (2002). Aralık Ayı Laboratuar Sonuçları, Ankara.

- Kutzner, C. (1996). *Grouting of Rock and Soil* (1st English Edition). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Kutzner, C. (1991). New Criteria for Rock Grouting in Dam Engineering. *17th ICOLD Congress, Vienna, III*, 307-317.
- Lombardi, G. (1985). The Role of Cohesion in Cement Grouting of Rock, *15th ICOLD Congress, Lausanne, III*, 235-261.
- MTA (1997). Fethiye – L7 Paftası Jeoloji Haritası, Ankara.
- NTF İnşaat (2000). Dalaman – Akköprü Barajı Tanıtım Broşürü, Muğla, yayınlanmamış.
- Pettersson, S., & Moulin, H. (1999). *Grouting & drilling for grouting*. Sweden: Atlas Copco Craelius AB.
- Şekercioğlu, E. ve Özgüler, E. (1999). Geotechnical Investigations on Leakage Problem of Akkopru Dam, *ICOLD, Antalya, I*.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü (1993). Sondaj – Enjeksiyon Teknik Şartnamesi, Ankara.
- TS 19 (1985). Portland Çimentoları UDK 669.94, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- Tosun, H. (2000). Dolgu Barajlarda Enjeksiyon Perdesi Tasarım Esasları ve Türkiye Pratiği, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İstanbul, I*.

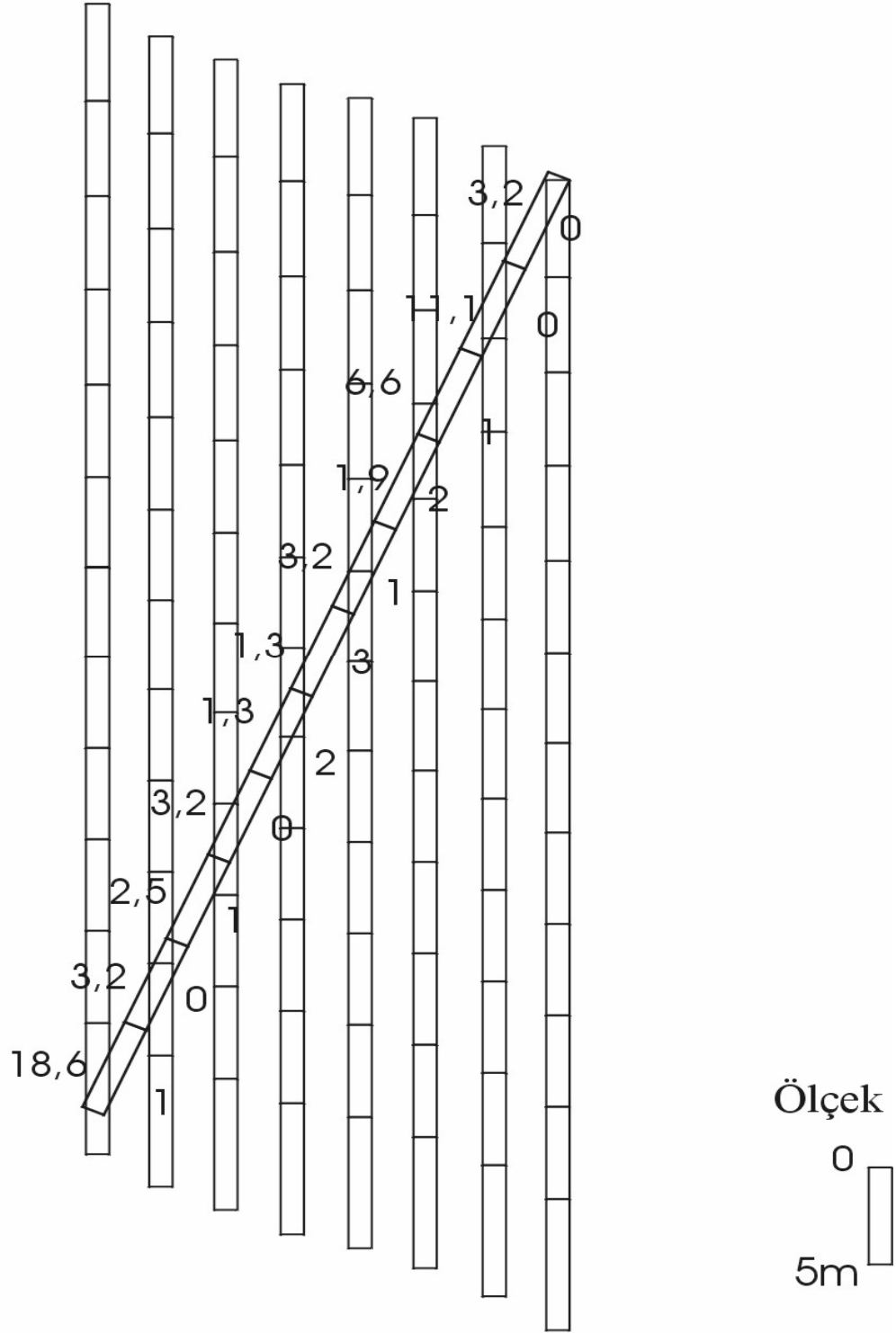
Ünal, S.,M. (2001). Dolgu Barajlarda Geçirimsizlik Perdeleri ve Dalaman – Akköprü Barajı'nda Yapılan Uygulamalar, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir.

TS 19 / UDK 669.94 (1985). Portland Çimentoları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Bakanlıklar, Ankara.

TS 977 / UDK 622.36 (1971). Sondaj Çamuru Katkı Maddesi Bentonit, *Türk Standartları Enstitüsü*, Bakanlıklar, Ankara.

**EK 1. KONTROL KUYUSU Km 0+179 KATI MADDE ALIŞ MİKTARLARI İLE
LUGEON DEĞERLERİ**

Kontrol Kuyusu Km:0+179



NOT: Sol taraftaki değerler kg/m cinsinden katı madde alış miktarlarını,
Sağ taraftaki değerler Lugeon değerlerini göstermektedir