

Cindere Barajı Enjeksiyon Uygulamaları

Grouting Applications in Cindere Dam

Devrim ALKAYA^{a,*}, Burak YEŞİL^a

^aPamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20070, Denizli

Geliş Tarihi/Received : 08.12.2010, Kabul Tarihi/Accepted : 14.04.2011

ÖZET

Enjeksiyon, barajlarda sızmanın kontrolü için dünyada yaygın olarak kullanılan en popüler yöntemlerden birisidir. Enjeksiyon yapılacak kayanın jeolojik ve geoteknik özellikleri, enjeksiyon ile ilgili tasarımı etkilemektedir. Bu çalışmada Cindere barajı temel kayasının geoteknik özellikleri, uygulanan enjeksiyonda kullanılan malzeme ve enjeksiyon basınçları yerinde incelenmiş, elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Baraj, Cindere barajı, Enjeksiyon, Geoteknik.

ABSTRACT

Grouting is one of the most popular method to control the water leakage in fill dam constructions. With this regard this method is widely used in all the world. Geological and geotechnical properties of rock are important parameters affect the design of grouting. In this study, geotechnical properties of Cindere Dam's base rock and the grouting procedure have been investigated with grouting pressure.

Keywords : Cindere dam, Dam, Geotechnics, Grouting.

1. GİRİŞ

Cindere Barajı ve HES projesinde, baraj gövdesi "Silindirle Sıkıştırılmış Katı Dolgu (SSKD)" olarak tasarlanmıştır. Gövde dolgusu, 36 m kalınlığa ulaşan alüvyon kaldırıldıktan sonra doğrudan ana kaya olan Paleozoik şistler üzerine oturtulmuştur.

Baraj inşaatlarında; barajın oturacağı ana kayanın geçirimsizliğinin ve stabilitesinin sağlanması amacıyla bazı önlemler alınması zorunludur. 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,1991; 1996). Belli zaman periyodu içinde akışkan malzeme, jel veya sertleşmiş hale gelir. Enjeksiyonun temel amacı; daha yüksek dayanımlı ve daha az geçirimli temel zemin veya kayaç kitlesini oluşturmaktır

(Tosun, 2000). Çalışmada ana kayaya yapılan temel enjeksiyonu uygulamaları, yapıma sebepleri ve yapıma şekilleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan iyileştirme çalışması ve uygulama şekli incelenerek farklı uygulamalarda bilgi birikimi oluşturmaya çalışılmıştır.

2. CİNDERE BARAJI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Cindere Barajı ve HES Denizli İline bağlı Güney ilçesinin 5 km güneybatısında Büyük Menderes nehri üzerinde inşa edilmektedir. Sulama (4 600 ha) ve Enerji (88 GWh/yıl) amaçlıdır. RCC (Roller Compacted Concrete) - SSB (silindirle sıkıştırılmış beton) Türkiye'de daha önce Karakaya Barajı, Atatürk Barajı, Sır Barajı, Berke Barajı, Kürtün ve Çine Barajlarında kullanılmıştır. Türkiye'de ilk kez bir barajın tamamının SSKD kullanılarak yapımı ise Cindere barajında gerçekleşmektedir. Baraja ait teknik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : dalkaya@pau.edu.tr (D. Alkaya)

Tablo 1. Baraja ait teknik bilgiler (DSİ, 1999).

Tipi	Silindire Sıkıştırılmış Katı Dolgu (SSKD)	Maksimum Su Seviyesi	267.70 m
Kret Kotu	272.00 m	Yıllık Ortalama Su	839.98 hm ³ /yıl
Kret Uzunluğu	280.58 m	Toplam Göl Hacmi	84.27 hm ³
Talvegden Yüksekliği	72.00 m	Regülasyon Oranı	98,3 %
Temelden Yüksekliği	107.00 m	Top. Kurulu Güç	9.31 MW
Toplam Dolgu Hacmi	1.50 hm ³	Proje Düşüsü	50.50 m
Derivasyon Tüneli	Sağ sahilde 5.00 m Çaplı Dairesel Betonarme 768.42 m	Proje Debisi	70.20 m ³ /sn
Göl Alanı	2.82 km ²	Yıllık Enerji Üretimi	88.00 GWh/yıl

3. BARAJ TEMELİNİN JEOLJİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Baraj yerindeki çalışmalarda, 25 adet ve toplam derinliği 1150 m olan mekanik sondaj açılmıştır. Kesin proje aşamasında, baraj ekseninde, bu sondajlara ek olarak, 9 adet daha mekanik sondaj açılmıştır. Sondajlarda kaya koşullarının olanak verdiği bölgelerde basınçlı su testleri (BST) uygulanmış ve ayrıca aşağıdaki verilerin sağlanması amaçlanmıştır;

Ana kaya konumundaki mikaşistlerin ve kalkışistlerin geçirimsizliği, mekanik ve fiziksel özelliği,

Yamaç molozu ve alüvyonun kalınlığı ile geçirimsizliği,

Yeraltı suyunun derinliği ve nehir düzeyi ile ilişkisi.

Baraj gövde yerinde kazı çalışmaları öncesinde baraj aksında yapılan temel araştırma sondaj kuyuları verilerine göre gövde tabanında ortalama 35 metre alüvyon bulunmaktadır.

Yapılan kazı çalışmaları sonrasında talvegte ortalama 35 m alüvyon kaldırılarak 165.00 m kotlarında ve sağ yaka kenar bölgelerinde 167.00-168.00 m kotlarında temel kaya durumunda olan şistlere (mikaşist, kalışist ve grafitşist) girilmiştir.

Mikaşistler çalışma alanında gri - koyu gri renk tonları ile dikkat çekmektedirler. Mikaşistler arasında yer yer bantlar halinde siyah ve grimsi renk tonlarında grafitli düzeyler gözlenmektedir. Şistler genel olarak az ayrılmış, kırıklı ve çok çatlaklı, zayıf-orta dayanımlı bir niteliktedir. Temel taban kazısında ve sol şevde ortalama 30 metre genişliğinde bir kalınlık sunan sarımsı renkli birim çok ayrılmış niteliği ve çok çatlaklı yapısı ile yüzey gözlemlerini doğrulamaktadır.

Yapraklanmanın konumları genel olarak KB-GD (K KB-G GD), KD-GB (K KD-G GB) doğrultuludur ve ortalama yapraklanma eğim açısı 30-40° arasında olup kimi düzeylerde 45°'ye kadar ulaşmaktadır.

Eklem takımları genellikle arazide yapraklanma düzlemleri ile makaslanma oluşturmakta, özellikle şevlerde kamasal ve düzlemsel kaymalara çok duyarlı görünmektedir. Eklem arazide yaklaşık D-B doğrultulu olup, düşeye yakın eğimlidir. Ortalama eğim açısı 70° olup maksimum eğim açısı 79°'dir.

Şistler içerisinde yapraklanma yüzeylerine koşut (paralel), yer yer de düzensiz ve değişik kalınlıkta kalsit ve kuvarsit damarlarına rastlanmaktadır. Bu damarların kalınlığı 5 cm-2 m arasında değişmektedir.

Baraj gövdesine temel oluşturan şistlerin, örnek özellikleri bağlamında mühendislik sınıflaması uluslararası düzlemde onay gören RMR (Bieniawski, 1989) sistemine göre yapılmıştır. Bu çerçevede kayaların doğal durumları ve baraj gölünde su tutma sonrası koşullar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Mikaşist, arazide görgül (empirical) olarak belirlenen sınıflama parametrelerince "iyi kaya" niteliğindedir ve bunun nicel karşılığı aşağıdaki parametreler olmaktadır;

Kohezyon (c) : 300-400 kPa

İçsel sürtünme açısı (φ) : 35-45°

Elastisite modülü (E_m) : 26 GPa

Şist kütlelerinin içinde görece en zayıf grafit şisttir. Ancak bu birim kütle içinde sürekliliği yoktur ve bu nedenle kütlelerin toplam mühendislik davranışında etkili olmamıştır. Bu durumda kütleli anlamda şistlerin en zayıf üyeleri mikaşisttir (Anon., 1979; ASTM, 1980).

Baraj gölünün dolmasından sonra şistlerde sadece kütle üzerindeki su etkisi değişecektir. Bu durumdaki sınıflama parametrelerine göre şistler "orta kaya" niteliğindedir ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Kohezyon (c) : 200-300 kPa

İçsel sürtünme açısı (φ) : 25-35°

Elastisite modülü (E_m) : 8.9 GPa

Baraj gövde yerinde açılan temel araştırma sondaj kuyularına göre belirlenen yeraltı su seviyesi değeri ile yeraltı suyunun Menderes Nehri'ni beslediği verisi, kazı çalışmaları sonrasında karşılaşılan mevcut durum ile kendini doğrulamıştır.

Baraj gövde yeri kazı çalışmaları esnasında tabandan, kazı alanı dışında mansap tarafında alüvyon içerisinden ve özellikle yamaçlardan cut-off (sıyırma) kazı çukuruna su gelişi ile karşılaşmıştır. Sağ sahilde şistlerden gelen yeraltı suyu sol sahile oranla daha fazla miktardadır.

Sağ yakada çıkan suyun kimyasal analiz sonuçlarına göre; sülfat açısından kuvvetli, magnezyum açısından zayıf, serbest CO₂ açısından çok kuvvetli derecede etkili olduğu görülmüştür. Bu suların SSKD betonu ile temasını mümkün olduğu kadar engelleyebilmek için SSKD ile yamaçlar arasına dökülen 50 cm kalınlığındaki C20 betonun yalnız sağ sahilde ve 170.50 m kotundan başlanarak suyun kesileceği kota kadar kalınlığının 100 cm'ye çıkarılarak suyun sızma boyunun uzatılıp SSKD'ye vereceği zararın engellenmesi gerçekleştirilmiştir.

4. ENJEKSİYON İŞLERİ

Cindere Barajı ve HES inşaatı kapsamında yapılmış olan perde enjeksiyonu ve perde bağlantı enjeksiyonu ile kontak-konsolidasyon enjeksiyonu uygulama projeleri, DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Y.A.S. Dairesi Başkanlığı'nın "Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi (DSİ, 1993)" ilkeleri doğrultusunda, baraj yerinin jeoteknik özellikleri dikkate alınarak "Özel Teknik Proje" olarak hazırlanmıştır.

Enjeksiyon uygulamaları;

- Gövde altındaki alüvyonun tümüyle kaldırılmasından sonra baraj gövdesine temel oluşturan kalker, şist ve mikaşistlerdeki olası su kaçaklarını önlemek amacıyla enjeksiyon galerilerinden ve çevirme tüneline yapılmış olan perde ve perde bağlantı enjeksiyonlarını,
- 220.50 m-272.00 m kotlarındaki enjeksiyon galerilerinde; kaplama betonu ile ana kaya arasındaki boşluğun doldurulması amacı ile kontak enjeksiyonlarını,
- Ana kayanın sağlamlaştırılmasını sağlamak amacı ile konsolidasyon enjeksiyonlarını, kapsamaktadır.

Perde ve perde bağlantı enjeksiyonlarında 24 m'lik ano sistemi ve azalan aralık yöntemi uygulanmıştır.

Ancak alışların durumuna göre idare'nin onayı ile anolar 12 m veya 6 m alınması kararlaştırılmıştır.

Kontak enjeksiyonlarında 12 m'lik ano sistemi ve azalan aralık yöntemi, konsolidasyon enjeksiyonlarında 24 m'lik ano sistemi ve azalan aralık yöntemi uygulanmıştır. Kontak enjeksiyonlarında en az bir anonun enjeksiyon işlemi bütünlendikten sonra konsolidasyon enjeksiyonuna geçilmesi düşünülmüştür.

4. 1. Delgi Yöntemi

- Enjeksiyon delikleri döner (rotary) delgi yöntemi ile açılmıştır.
- Perde enjeksiyonlarında X sırasının ano başı (24.00 m) delikleri karotlu, ara kuyular karotsuz açılmıştır.
- Perde bağlantı enjeksiyonu delikleri karotsuz açılmıştır. Bu deliklerin jeoteknik koşullarına özgü bilgiler yamaçlardaki galerilerde açılmış olan karotlu sondajlardan sağlanmıştır.
- Perde enjeksiyonu ile perde bağlantı enjeksiyonu ara deliklerinde idarenin yönergesi doğrultusunda basınçlı su deneyleri ek olarak yapılmıştır.
- Delgi işlemi sırasında, perde enjeksiyonu 24 m'lik ano başları deliklerinin tümünde yukarıdan aşağıya doğru basınçlı su deneyi uygulanmıştır. Bu kural perde bağlantı enjeksiyon delikleri için de geçerlidir.
- Basınçlı su deneylerinde ano başı deliklerinde artan ve azalan kademeler halinde, ara deliklerde idarenin onayı ile tek kademe basınç uygulanmıştır.

4. 2. Enjeksiyonda Kullanılan Malzemeler

4. 2. 1. Sülfata Karşı Dayanıklı Çimento

TSE'nin UDK 669.95 TS-B09 şartnamesine uygun olan, sülfata karşı dayanıklı çimentoda, trikalsiyum alüminat miktarı % 3.5'dan fazla olmamıştır (Batı Söke Çim., 2002).

4. 2. 2. Normal Portland Çimentosu

Sülfata dayanıklı çimentoların kullanılacağı yerlerin haricindeki bütün enjeksiyon işlerinde portland çimentosu TSE'nin UDK 669.94 TS-19 şartnamesindeki PÇ-325'e uygun çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun özgül yüzeyi en az 2400 cm²/gr ve 200 mikron göz açıklığı olan elek üzerinde en çok % 1 ve 90 mikron göz açıklığı olan elek üzerinde ise en çok % 12 kalıntı bırakmalıdır. Su kaçaklarının fazla olduğu fakat alışların az olduğu yerlerde özgül yüzeyi daha fazla olan ve kalıntı miktarı da daha az olan çimentolar kullanılmıştır.

4.2.3. Su

Enjeksiyonunda kullanılan su, betonda kullanılan karma suyu niteliğinde temiz ve berrak olan sudur.

4.2.4. Bentonit

Karıştırma ve enjeksiyon süresince çimento tanecikleri ve kumu askıda tutarak harcın duraylı olmasını sağlamak ve çimento su karışımında suyun ayrışmasını en aza indirmek için bentonit kullanılmıştır. Enjeksiyonlarda bütün şerbet ve harçlı şerbetler çimento miktarının % 2-5'i kadar bentonit ilave edilerek kullanılmıştır (Karakaya Bentonit, 2002). Kullanılmış bentonitin özellikleri, TSE'nin UDK 622.36 TS 977'ye uygun olanlar seçilmiştir.

4.2.5. Kum

Enjeksiyonlarda fazla alış yapan kademelerde, çimento ağırlığının % 25, 50, 100, 200'ü kadar kum, çimento şerbetlerine ilave edilerek kullanılmıştır. Kullanılan kum, sert ve dayanıklı taşların kumu olmuştur. Tanelerin şekli genel olarak yuvarlak veya kübik, ince veya orta iriliktir, içinde organik maddeler ile sodyum sülfat ve kil yoktur. Eğer başlangıçta bu zararlı maddelerin toplam miktarı % 5'den fazla ise, kum mutlaka yıkanarak bu maddelerden arındırıldıktan sonra kullanılmıştır.

Kullanılan kumun ağırlıkça 16 no'lu (1,19 mm aralıklı) elekten % 95'i, 50 no'lu (0,297 mm aralıklı) elekten % 50'si geçmelidir. 200 no'lu (74 mikron aralıklı) elekten ise % 5'ten fazlası geçmemiştir. Birim hacim ağırlığı 2 gr/cm³'ten büyüktür.

Kum üzerinde TS 707'ye göre organik madde deneyleri uygulandığında standart referans renginden daha koyu renk vermemelidir. Standart referans renginden daha koyu renk veren bir kumun kullanılabilmesi için, bu kumla harç yapıldığında 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri, standart kumla (TS EN 196-1) ve aynı şartlarda yapılan mukayese küplerinin mukavemetlerinin en az % 95'i olmalıdır. Aksi halde bu kum kullanılmamıştır.

4.2.6. Kimyasal Katkı Maddeleri

Enjeksiyonun çabuk katılaşması istenilen yerlerde kimyasal katkı maddeleri (priz hızlandırıcılar) kullanılmıştır.

4.3. Enjeksiyonda Kullanılan Karışımlar

Cindere Barajı ve HES'in enjeksiyon işlerinde kullanılan şerbet karışımları Tablo 2'de verilmektedir. Bentonit, %10'luk Bentonit çözeltisi halinde karışıma katılmıştır.

Tablo 2. Enjeksiyon işlerinde kullanılan şerbet karışım oranları.

Karışım Oranı	Çimento	Su	Bentonit		Kum	Hacim	Yoğunluk
Çimento/Su	(kg)	(lt)	%	(kg)	(kg)	(lt)	(gr/cm ³)
1/3	50	125	5	2.5	-	167.37	1.21
2/3	100	110	4	4	-	184.36	1.38
1/1	150	105	3	4.5	-	201.56	1.51
7/5	210	108	2	4.2	-	220.50	1.65
7/5 + % 25 kum	210	108	2	4.2	37.5	235.03	1.71
7/5 + %50 kum	210	108	2	4.2	75	249.57	1.76
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.05	1		2.55	2.58		

5. PERDE ENJEKSİYONU

Cindere Barajı ve HES'in perde enjeksiyonu delgi örgüsü ve delik derinlikleri, geoteknik koşullar değerlendirilerek belirlenmiştir. Uygulama projesinde ano uzunluğu 24 m olarak alınmıştır. Ancak jeolojik koşullar ve şantiyedeki genel iş programı gerektirdiğinde ano uzunlukları açıklığın azalması ve seyrek çatlak durumlarında 12 m veya 13 m alınmıştır.

Perde enjeksiyonu delikleri akış yukarıya doğru düşeyden 15° eğimli ve plandaki galeri eksenlerine dik olacak şekilde tasarlanmıştır.

Perde enjeksiyonu işlerinde uygulanması önerilen enjeksiyon basınçları aşağıda verilmektedir; (Özkan, 2006).

$$PT = 0.33H \text{ (2.5 m'lik son iki fazda bu basınç; PT = 0.23H olarak önerilmektedir);}$$

Burada;

PT : Toplam etkin (effective) basınç (kg/cm²).

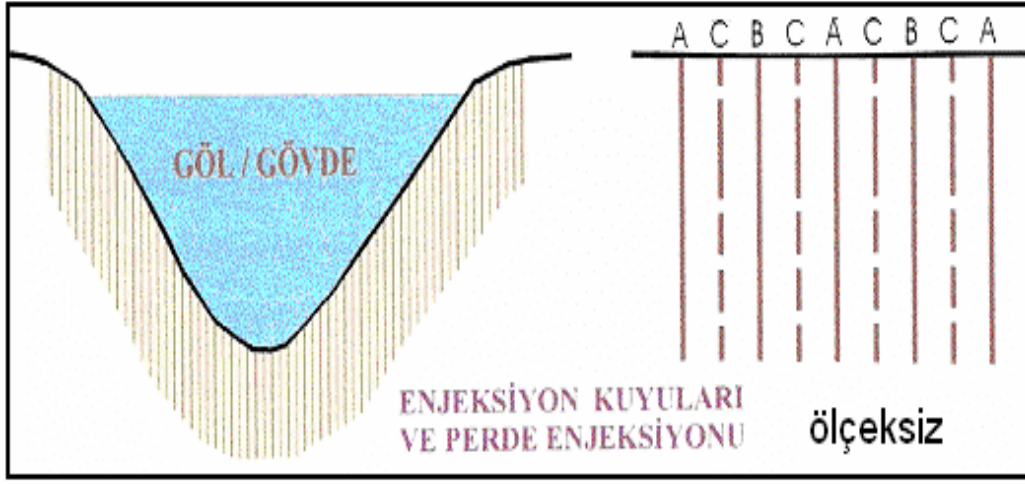
H : Enjeksiyon yapılan kademenin orta noktasından delik ağzına olan mesafe (m).

Perde enjeksiyon delikleri üstten aşağıya doğru bütünüyle delinmiş ve aşağıdan yukarıya doğru çıkan kademeler metodu ile enjekte edilmiştir.

Enjeksiyon deliklerinde son iki kademe boyu 2.5 m, öteki kademe boyları ise 5.0 m alınmıştır. Ancak jeolojik koşullar gerektirdiğinde kırık ve çatlak durumuna göre idarenin onayı ile 5.0 m'lik kademe boyları azaltılmış veya yukarıdan aşağıya doğru inen kademeler metodu ile enjeksiyon yapılmıştır.

Sondaj sırasında delikte yıkıntı olursa veya dönüşüm (devri daim) suyunun %70'i veya daha fazlası kaçarsa, o kademelerin enjeksiyonu yapıp prizini aldıktan sonra enjeksiyon işlemleri aşağıdan yukarıya çıkan

kademeler metodu ile tamamlanmıştır (Şekil 1). Enjeksiyona, ağırlıkça çimento/su=1/3 oranındaki şerbet ile başlanmıştır. Tablo 3'de verilen karışım oranları ve miktarlarında şerbet verilmesine rağmen manometre basıncında bir yükselme olmaz ise bir sonraki karışıma geçilmiştir. Gerek çimento şerbeti, gerekse harçlı karışımlarda herhangi bir karışım oranı ile enjeksiyon yapılırken manometre basıncında yükselme olursa kuyularda refü elde edilinceye kadar anılan karışım basılmaya devam edilmiştir.



Şekil 1. Perde enjeksiyonu.

Tablo 3. Cindere barajında perde enjeksiyonlarında kullanılan karışım oranları.

Karışım Oranı (Çimento/Su)	Basılmış Mikser Adedi (1 Mikser)	Manometre Basıncının Yükselmesi Durumunda Geçilecek Olan Karışım Oranı (Çimento/Su)
1/3	4	2/3
2/3	4	1/1
1/1	4	7/5
7/5	20	7/5 + %25 kum
7/5 + %25 kum	20	7/5 + %50 kum
7/5 + %50 kum	20	7/5 + %50 kum

Gerek çimento şerbeti gerekse harçlı karışımlarda istenilen basınç elde edilip 10 dakika süre içinde kademe şerbet veya harç yemiyor ise 1/3'lük karışıma geçilecek ve 20 dakika bu karışımla devam edilecektir. Ancak 20 dakikalık sürede 0.6 lt/m. dak. veya daha az şerbet yer ise refü elde edilmiş sayılmıştır. Bu miktar 5 m'lik kademe için 60 lt'dir. Daha sonra öteki kademelerin veya başka deliğin enjeksiyonuna geçilmiştir (Şekil 2-3).

Perde kuyuları bitirildikten sonra veya birkaç ano bitirildikten sonra her anoda (24 m) iki adet olmak üzere görece en fazla alış yapan kuyulara denk gelecek şekilde dik veya eğik kontrol delikleri açılmıştır.

Kontrol deliklerinin boyu, yapıldığı yerdeki perde deliklerinin derinliği kadar olmuş ve tüm kademelerde enjeksiyon basıncına eşit basınç altında basınçlı

su deneyleri yapılmıştır. Basınçlı su deneylerinde bir delikte veya birkaç kademede yukarıda verilen koşul sağlanamaz ise kontrol deliği veya deliklerinin temsil ettiği anonun o bölümünde araya girerek ek enjeksiyon yapılmıştır. Perde enjeksiyonu ve perde bağlantı enjeksiyonu ano başı karotlu araştırma kuyuları ile kontrol kuyuları için uygulanmış basınçlı su testi basınç değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

5. 1. Perde Bağlantı Enjeksiyonu

Perde bağlantı enjeksiyonu projenin enjeksiyon galerilerinde, çevirme (Derivasyon) tüneline uygulanmıştır.

Perde bağlantı enjeksiyonunda uygulanmış delgi ve enjeksiyon yöntemleri ve parametreleri perde enjeksiyonlarında uygulanan yöntemler ile aynı özelliktedir. Perde enjeksiyonu için tanımlanan tüm özellikler ve formüller perde bağlantı enjeksiyonları içinde geçerlidir. Ancak perde bağlantı enjeksiyonlarında uygulanmış refü basınçları perdeden farklı olarak 3 kg/cm²'dir.

6. KONTAK VE KONSOLIDASYON ENJEKSİYONU

Sağ ve sol yakada 272.00 m ve 220.50 m kotlarındaki enjeksiyon galerileri ile sol yakadaki 220.50 m kotundaki ulaşım galerisinde kontak ve konsolidasyon enjeksiyonu uygulaması tasarlanmıştır.

6. 1. Kontak Enjeksiyonu

Kontak enjeksiyonu delgi boyları beton kalınlığı + 50 cm olmuştur. En az iki anonun kontak enjeksiyonları bitirilmeden o anolara ait konsolidasyon enjeksiyonlarına geçilmemiştir.

Konsolidasyon enjeksiyonları kontak enjeksiyonlarının yapıldığı deliklerden yapılmıştır.

Konsolidasyon enjeksiyon delgi boyu 5.50 m ($D_{ic} + 2.00$ m) olarak hesaplanmıştır. 3'er metre aralıkta şaşırtmalı ve aralarında 45° açı olacak şekilde her kesitte 4 adet delgi yapılmıştır. 3.00 m kesit aralıkları, beton kaplama ano derzlerinde bulunan PVC su tutuculara denk geldiği kesimlerde, 2.50 m' ye düşürülmüştür.

Kontak enjeksiyonu deliklerinde uygulanmış etkin basınç $P_t = 2$ kg/cm² olmuştur. Ancak kontak enjeksiyonunda amaç beton ile zemin arası boşlukların doldurulması olduğundan, deliğin kontak noktası ile manometrenin bulunduğu düşey mesafe boyundaki şerbet basıncının manometrenin bulunduğu düzeyin üstündeki deliklerde eklenerek, altındaki deliklerde ise çıkarılarak manometre basıncı bulunmuştur.

Kontak enjeksiyonlarında anolar 12 m olarak alınmıştır. Anolarda gerekirse daralan aralık metoduna göre enjeksiyon yapılmıştır. Önce galerilerin altındaki deliklerden başlanmış bir sıra oluştuktan sonra alt yarı yan delgileri sonra üst yarı yan delikleri en son tavan delikleri enjekte edilmiştir.

Kontak enjeksiyonu yapılmış yerlerin kaplama betonunun en az 21 gün önce dökülmüş olması gereklidir.

Galerilerin alt yarısındaki deliklerde 1/3 oranlı şerbetten başlanmış, 4 mikser verildiği halde manometre artışı yoksa sıra ile 2/3 çim/su oranlı şerbetten 4 mikser, 1/1'den 4 mikser, 7/5'ten 20 mikser verilmiş, hala artış yok ise %25 - %50 (çimento miktarının) kumlu karışımlara geçilmiştir.

Üst yanda ise 1/1 oranlı şerbetten başlanmış, 4 mikser verildikten sonra, manometrede artış yoksa 7/5'e geçilip 20 mikser verilmiştir. Bu durumda da manometrede basınç artışı yoksa %25 ve %50 kumlu karışıma geçilmiştir. % 25'ten 20 mikser sonra % 50'lik kumlu karışıma geçilmiş, manometrede artış olursa o karışımla refü sağlanmıştır.

Gerek çimento gerekse harçlı karışımlarda istenilen basınç elde edilip 10 dakikalık zamanda kademe şerbeti veya harcı yemediği zaman çimento/su=1/3 olan ince karışıma geçilmesi ve enjeksiyona devam edilmesi, ancak 20 dakikalık süre içinde delik 0.6 litre/dakika veya daha az şerbet yemiştir refü elde edilmiş sayılması ve başka deliğin enjeksiyonuna geçilmesi öngörülmüştür.

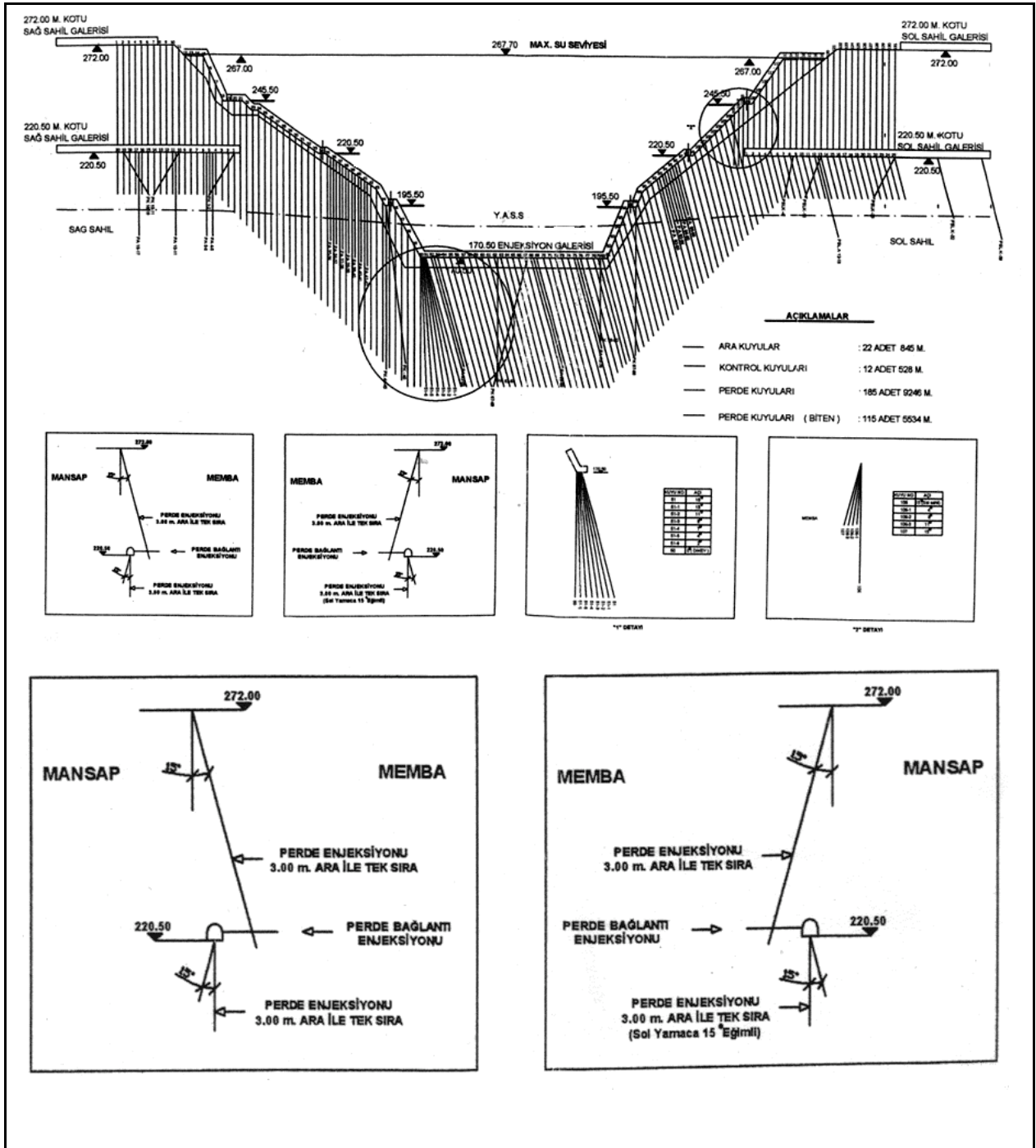
6. 2. Konsolidasyon Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonları delgi boyları her tarafta tünel betonundan sonra 5.50 m olmuştur. Konsolidasyon enjeksiyonlarında anolar 24 m alınmıştır.

Konsolidasyon delgileri daha önce kontak enjeksiyonu uygulanan deliklerden yapılmıştır. Toplam 5.50 m boyunda olan delgilerde 2.50+3.00 m'lik kademeler halinde enjeksiyon yapılmıştır. Gerektiğinde konsolidasyon kuyularında; enjeksiyonlardan önce yapılan su deneyleri ile formasyonun şerbet alışı arasında paralellik yoksa; sodyum fosfat gibi kimyasal incelticiler kullanılabilir. Buna göre inceltici 1/1 ve daha kalın karışımlarda su sıcaklığına göre çimento ağırlığının %0.5-%1'i arasında kullanılmıştır.

Kumlu karışımlarda ise % 3 oranında CaCl₂ kullanılmıştır. Su kaçaklarının olduğu ancak 1/3 şerbet alışı olmayan yerlerde mutlaka özgül yüzeyi fazla çimento kullanılmıştır.

Enjeksiyonlarda 1/3 karışımdan 4 mikser verilmesi, manometre basıncında artış yoksa 2/3'e geçilerek



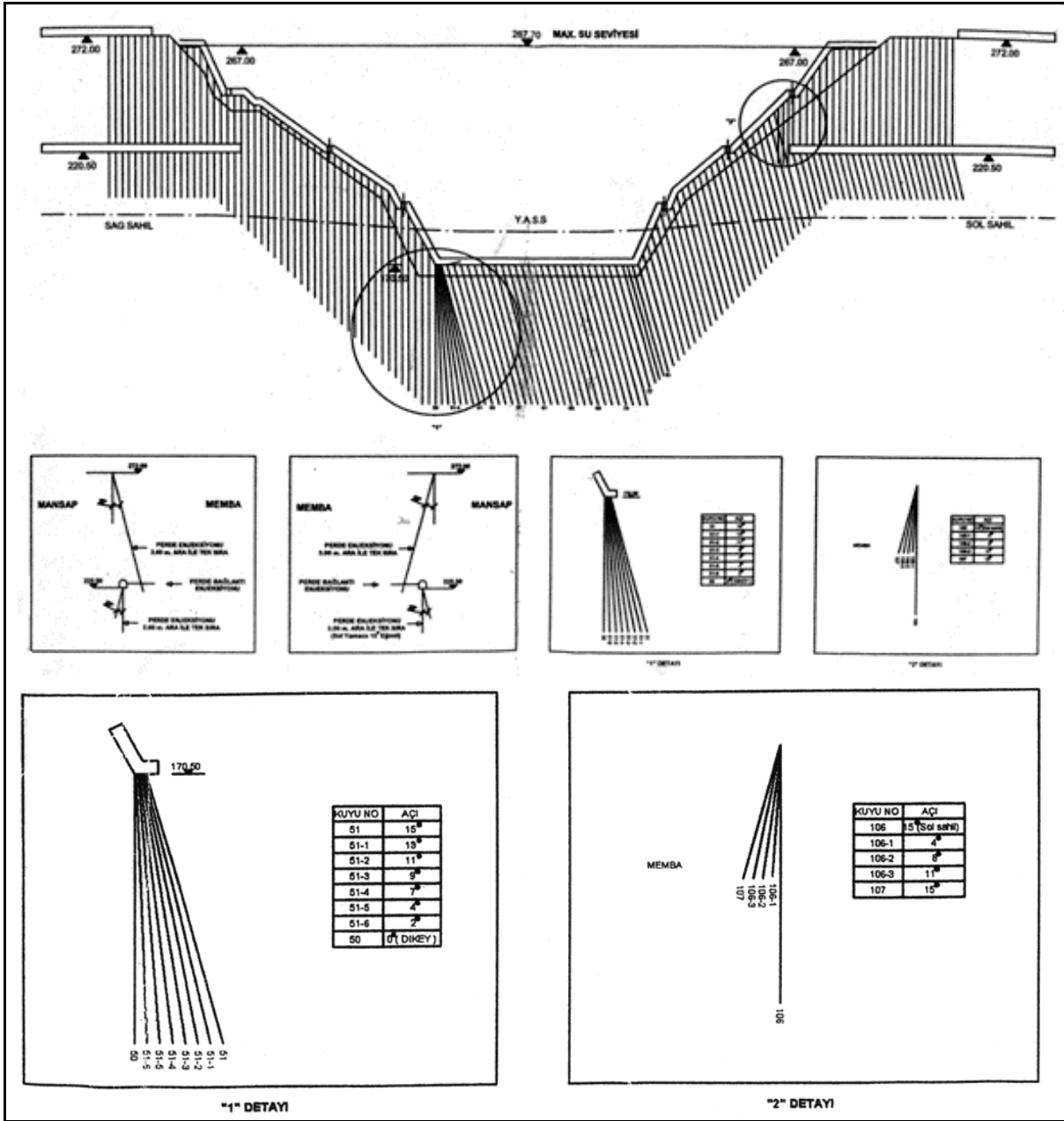
Şekil 2. Cindere barajı perde enjeksiyon uygulama boy kesiti ve memba-mansap enjeksiyon kesiti.

bu karışımdan da 4 mikser verilmesi, bu durumda manometre basıncında artış yoksa 1/1'e geçilerek 4 mikser verilmesi, basınçta yine artış olmaz ise 7/5'ten 20 mikser verilmesi, hala basınçta artış yoksa kumlu karışımlara geçilmesi ve refü oluncaya kadar bu karışımlarla devam edilmesi öngörülmüştür.

Konsolidasyon deliklerinde uygulanmış efektif basınç $PT=2+0.33H$ kg/cm² olmuştur. Bir delik veya kademesinin enjeksiyonuna son verebilmek için manometrede okunmuş basınç deliğin yukarı yönde veya aşağı yönde açılına göre şerbetin hidrostatik

basıncını enjeksiyon basıncına ekleyerek veya çıkararak bulunmuştur.

Konsolidasyon enjeksiyonlarından birkaç ano bitirilip veya tünelin tamamı bitirdikten sonra İdare'nin belirleyeceği yerde ve sayıda (24 m'lik anoda en fazla alışıyan yerlerde 2-3 adet) kontrol kuyusu açılmıştır. Kontrol kuyuları karotlu veya karotsuz ama mutlaka su tecrübeli olmuştur. Ancak kontrol kuyuları yalnız basıncı su deneyli ve karotsuz istenirse 46 mm veya 56 mm çapında açılmıştır.



Şekil 3. Cindere barajı perde enjeksiyon uygulama boy kesiti, kuyu numaraları ve enjeksiyon aç detayları.

Deney sonucunda 3 Lugeon ve daha az su kaçarsa refü elde edilmiş sayılmıştır. Ancak su kaçakları 3 Lugeon'dan daha büyükse ek enjeksiyon yapılmıştır. Konsolidasyon enjeksiyonları yapılırken istenilen basınç elde edilip delik artık bu şerbetten gitmiyorsa

bu şerbetten 10 dakika verilmesi öngörülmüştür. Kademe 0.6 lt/m/dak ve daha az şerbet alırsa refü sağlanmış sayılmıştır. 10 dakika için bu miktar 36 litredir.

Tablo 4. Anobaşı araştırma kuyuları için BST basınç değerleri ve kontrol kuyuları BST basınç değerleri.

Kademe (m)	Araştırma Kuyuları Basınçlar (kg/cm ²)	Kontrol Kuyuları Basınçlar (kg/cm ²)
0-5	0.5-1-0.5	0.5-1-0.5
5-10	1-2-1	1-2-1
10-15	2-3-4-3-2	2-3-4-3-2
15-20	2-4-6-4-2	2-4-6-4-2
20-25	2-4-6-4-2	2-4-6-7.5-6-4-2
25-30	2-4-6-8-6-4-2	2-4-6-9-6-4-2
30-35	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-11-8-6-4-2
35-40	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-12-8-6-4-2
40-45	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-14-8-6-4-2
45-50	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-16-8-6-4-2
50-55	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-17-8-6-4-2
55-60	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-19-8-6-4-2
60-65	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-21-8-6-4-2
65-70	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-22-8-6-4-2
70-75	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-24-8-6-4-2
75-80	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-26-8-6-4-2
80-85	2-4-6-8-10-8-6-4-2	2-4-6-8-27-8-6-4-2

7. SONUÇ

Cindere Barajı'nda baraj gövdesi boyunca temel kayada perde enjeksiyonları yapılmıştır. Çalışmada Cindere Barajı'nda arazi çalışması ve yapılan işin kontrolü ile ilgili olarak uygulamalı araştırma yapılarak enjeksiyonda kullanılan, enjeksiyon şerbetini oluşturan maddeler ve yapılan çalışmalar yerinde görülerek incelenmiştir. Yapılan uygulamanın geçerliliği ve 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. Baraj su tutmaya başladığında, bu verilere dayanarak, baraj eksenine boyunca, temel kayadan su kaçağı beklenmemektedir. Yapılan araştırma ile zemin iyileştirme, enjeksiyon ve geçirimsizlik amaçlı çalışmalara örnek olması amaçlanmıştır.

8. TEŞEKKÜR

Makalenin hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı DSİ Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1 - 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.
- Batı Söke Çimento TAŞ. 2002. Çimento Deney Raporu, Rapor No: 201, 1.
- Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons p. 251.
- DSİ Genel Müdürlüğü, 1993. Sondaj - Enjeksiyon Teknik Şartnamesi, Ankara.
- DSİ Genel Müdürlüğü, 1999. Uygulama Projeleri, Aydın, (yayımlanmamış).
- Karakaya Bentonit, 2002. Aralık Ayı Laboratuar Sonuçları, Ankara.
- Kutzner, C. 1991. New Criteria for Rock Grouting in Dam Engineering. 17th ICOLD Congress, Vienna. (111), 307-317.
- Kutzner, C. 1996. Grouting of Rock and Soil (1st English Edit.). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Özkan, H. 2006. Enjeksiyon yöntemleri ve uygulamaları, Ankara.
- Tosun, H. 2000. Dolgu Barajlarda Enjeksiyon Perdesi Tasarım Esasları ve Türkiye Pratiği, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İstanbul, 1.
- TS 19 / UDK 669.94, 1985. Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- TS 707, 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TSE, Bakanlıklar, Ankara.
- TS 977/UDK 622.36, 1971. Sondaj Çamuru Katkı Maddesi Bentonit, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- TS EN 196-1, 2002. Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.