



**BARAJ TOPUK PLAĞI BETONU ÜZERİNDEKİ GEÇİRİMLİLİK
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ:
PAMUKLUK BARAJI (MERSİN) ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA HAZAL KUZU

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ŞUBAT -2024**

**BARAJ TOPUK PLAĞI BETONU ÜZERİNDEKİ GEÇİRİMLİLİK
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ:
PAMUKLUK BARAJI (MERSİN) ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FATMA HAZAL KUZU
ORCID ID: 0009-0006-9074-6085**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. KIVANÇ ZORLU ARAS
ORCID ID: 0000-0002-2086-7379**

**MERSİN
ŞUBAT- 2024**

ÖZET

BARAJ TOPUK PLAĞI BETONU ÜZERİNDEKİ GEÇİRİMLİLİK POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ: PAMUKLUK BARAJI (MERSİN) ÖRNEĞİ

Barajların, planlama, projelendirme ve uygulama aşamalarında temel sondaj ve enjeksiyon çalışmaları büyük bir öneme sahiptir. Baraj inşaatlarında, barajın oturacağı ana kayanın geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla, baraj aksı boyunca; temel kayaya kadar kazı yapılması, temel kayaya enjeksiyon uygulanması, en yaygın önlemler arasında yer almaktadır. Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlamak için, topuk plağı betonu üzerinde geçirimsiz perde ve kapak enjeksiyonları uygulanır.

Bu çalışmada Mersin ilinin Tarsus ilçesinin 30 km kuzeybatısında, Berdan Nehri'nin Pamukluk Çayı üzerinde yer alan ve ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj tipinde olan Pamukluk Barajı'nın ön yüzdeki betonun oturduğu topuk plağı betonunun (plinth hattı betonu) geçirimlilik potansiyelinin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk enjeksiyonları 2013 yılında tamamlanan ve uygulanan enjeksiyonlarla geçirimsizliği sağlanan baraj gövdesi ile topuk plağı betonu arasının, 2018 yılında baraj inşasına devam edilirken, yıllarca çeşitli iç ve dış etkenlere maruz kalmasından dolayı geçirimsizliğinde bir bozulma olup olmadığı, yapının güvenliği ve ileriye dönük geçirimlilik problemlerinin önlenmesi amacıyla enjeksiyonlar test edilmek istenmiştir. Enjeksiyonların kontrolü amacıyla, sol sahil, sağ sahil ve talvegde 33 adet basınçlı su testi temel sondaj kuyuları açılmış ve bu kuyuların alışlarının incelenmesi amacıyla 119 adet basınçlı su testi yapılmıştır. Basınçlı su testi sonuçlarına göre; enjeksiyonları tamamlanmış olan zeminde bir su kaçağı olmadığı ancak topuk plağı betonu ile zemin arasında 0-2,5 m arasında su kaçağı olduğu anlaşılmıştır. Su kaçağını önleyebilmek amacıyla memba tarafında topuk plağı betonu hattı boyunca 3 m aralıklar ve 5 m derinliğinde 241 adet açılan A sırası kapak kuyularında, 1325,50 m kapak enjeksiyonu yapılması uygun görülmüştür. Uygulanan enjeksiyonları test etmek amacıyla 5 m derinlikte 16 adet kontrol kuyusu açılmış ve her kontrol kuyusunda 2,5 m'de bir iki kademeli olarak 32 adet basınçlı su testi yapılmıştır.

Çalışma alanında en son yapılan basınçlı su testlerinden elde edilen geçirimlilik değerlerinin 3 Lugeon değerinin altında kaldığı ve yapılan enjeksiyonların yeterli olduğu, gövde zemini ile topuk plağı betonu arasının geçirimsizliğinin sağlandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj, Topuk Plağı Betonu, Basınçlı Su Testi, Geçirimlilik Potansiyeli, Pamukluk Barajı.

Danışman: Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS, Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

PERMEABILITY ON DAM HEEL PLATE CONCRETE EXAMINATION OF ITS POTENTIAL: PAMUKLUK DAM (MERSİN) EXAMPLE

Foundation drilling and injection studies are of great importance in the planning, projecting and implementation stages of dams. In dam construction, along the dam axis in order to ensure the impermeability of the bedrock on which the dam will sit; excavation down to the bedrock and injection into the bedrock are among the most common measures. To ensure impermeability in rock fill dams with concrete-covered front faces, impermeable curtain and cover injections are applied on the heel plate concrete.

In this study, it was aimed to examine the permeability potential of the heel plate concrete on which the concrete on the front face sits, of the Pamukluk Dam, which is a concrete-covered rockfill dam type and is located on the Pamukluk Stream of the Berdan River, 30 km northwest of the Tarsus district of Mersin province. While the construction of the dam continued in 2018, the injections were made to determine whether there was any deterioration in the impermeability of the dam body and the heel plate concrete (plinth line concrete), the first injections of which were completed in 2013 and which were made impermeable with the applied injections, due to being exposed to various internal and external factors for years, for the safety of the structure and to prevent future permeability problems. wanted to be tested. In order to control the injections, 33 pressurized water test foundation drilling wells were opened on the left bank, right bank and thalweg, and 119 pressurized water test experiments were carried out to examine the intake of these wells. According to pressurized water test results; it was understood that there was no water leakage in the ground whose injections were completed, but there was a water leakage between 0-2.5 m between the heel plate concrete and the ground. In order to prevent this water leakage, it was deemed appropriate to carry out 1325.50 m of cap injection in the a row cap wells, which were opened 241 times at 3 m intervals and 5 m depth along the plinth concrete line on the upstream side. In order to test the applied injections, 16 control wells were opened at a depth of 5 m and 32 pressurized water tests were carried out in two stages at 2.5 m in each control well.

It was determined that the permeability values obtained from the latest pressurized water tests in the study area were below 3 Lugeon and the injections were sufficient and the impermeability between the body floor and the plinth concrete line was ensured.

Keywords: Concrete-Faced Rock Fill Dam, Heel Plate Concrete, Pressurized Water Test, Permeability Potential, Pamukluk Dam.

Advisor: Professor Kıvanç ZORLU ARAS, Mersin University, Department of Geological Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca, sunduğu olanaklarla, sonsuz desteğiyle, paylaştığı bilgi ve deneyimleriyle, gelecek planlarıma ışık tutan, tanımaktan onur duyduğum ve kendimi bu yüzden şanslı hissettiğim, Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde emekleri bulunan sayın hocalarım, Prof. Dr. Cüneyt GÜLER'e ve Doç. Dr. Hidayet TAGA'ya teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasına ve çalışmamın sürdürülebilirliği için gerekli verilerin elde edilmesine destek olan, bilgi birikiminden yararlandığım, DSİ 67. Şube Müdürlüğü'nden Jeoloji Mühendisi Necla ONATLI'ya ve onun şahsında DSİ 67. Şube Müdürlüğü personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresinde her zaman yanımda olan, tezi yazarken tıkanıp her noktada yanı başımda oturup çalışmaya teşvik eden, canım eşim Arif Nebi KUZU'ya sabrı, sevgisi ve desteği için teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, attığım her adımda sonsuz güvenini hissettiğim, düşüncelerime saygı duyarak kendi ayaklarımın üzerinde durmamı sağlayan, canım babam Ahmet CAFOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca sen yaparsın diyerek beni her zaman yüreklendiren, çalışmam için her türlü imkanı sunan, her konuda yol göstericim olan, bana inanan, sevgisini ve desteğini yürekten hissettiğim, canım annem Filiz CAFOĞLU'na teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışmamı yaparken çok uzaklarda olsa da yanımda hissettiren, yapmak istediğim her şeyi başarabileceğime inandıran, koşulsuz dayanağım, kardeşim Onur Can CAFOĞLU'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışma Alanının Özellikleri	3
1.2.1. Çalışma Alanının Konumu	3
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.2.3. Depremsellik	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	7
2.1. Önceki Çalışmalar	7
2.1.1. Barajlarla İlgili Yapılan Çalışmalar	7
2.1.2. Enjeksiyonla İlgili Yapılan Çalışmalar	8
2.1.3. Bölgenin Jeolojisi İle İlgili Önceki Çalışmalar	10
2.2. Bölgenin Genel Jeolojisi	10
2.2.1. Stratigrafi	11
2.2.1.1. Paleozoyik	11
2.2.1.1.1. Karahamzaşağı Formasyonu	11
2.2.1.2. Mesozoyik	12
2.2.1.2.1. Demirkazık Kireçtaşı	12
2.2.1.2.2. Magmatik Kaya Kompleksi	12
2.2.1.2.3. Fındık Karmaşığı	12
2.2.1.2.4. Mersin Ofiyoliti	13
2.2.1.3. Senozoyik	13
2.2.1.3.1. Gildirli Formasyonu	13
2.2.1.3.2. Kaplankaya Formasyonu	14
2.2.1.3.3. Karaisalı Formasyonu	14
2.2.1.3.4. Güvenç Formasyonu	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Baraj Karakteristikleri	15
3.2. Barajların Gövde Türüne Göre Sınıflandırılması	17
3.2.1. Beton Barajlar	18
3.2.1.1. Beton Ağırlık Barajlar	18
3.2.1.2. Payandalı Beton Barajlar	18
3.2.1.3. Beton Kemer Barajlar	18
3.2.1.4. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar	19
3.2.2. Dolgu Barajlar	19
3.2.2.1. Kil Çekirdek Toprak Dolgu Barajlar	19
3.2.2.2. Kil Çekirdek Kaya Dolgu Barajlar	19
3.2.2.3. Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar	19
3.3. Topuk Plağı Betonu (Plinth Hattı Betonu)	21
3.4. Arazi Çalışmaları	23
3.4.1. Basınçlı Su Testi	23
3.4.1.1. Genel Bilgiler	23

	Sayfa
3.4.1.2. Basınçlı Su Testi Uygulama Yöntemi	23
3.4.2. Basınçlı Su Testleri ile Lugeon Değerinin Belirlenmesi	24
3.4.3. Lugeon Değerine Göre Geçirimsizliğin Sınıflandırılması	26
3.5. Enjeksiyon İşlemi	26
3.5.1. Uygulama Alanına Göre Enjeksiyon Türleri	27
3.5.1.1. Kontak (Dolgu) Enjeksiyonu	27
3.5.1.2. Perde Enjeksiyonu	27
3.5.1.3. Kapak Enjeksiyonu	27
3.5.1.4. Konsolidasyon Enjeksiyonu	27
3.5.1.5. Deneme Enjeksiyonu	27
3.5.2. Enjeksiyon Şerbetleri	27
3.5.3. Enjeksiyon Ekipmanları	28
3.5.3.1. Karıştırıcı ve Çalkalayıcı	28
3.5.3.2. Enjeksiyon Pompası	29
3.5.3.3. Manometre	29
3.5.3.4. Pakeler (Tıkaçlar)	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. Arazi Çalışmaları ve Deneyler	30
4.1.1. Basınçlı Su Testinin Uygulanması	30
4.1.2. Topuk Plajı Beton Geçirimsizliğinin İncelenmesi İçin Yapılan Basınçlı Su Testi Sonuçları ve Lugeon Değerleri	31
4.1.3. Topuk Plajı Beton Geçirimsizliğinin Değerlendirilmesi ve Enjeksiyon Yapma Gerekliği	39
4.1.4. Enjeksiyon Çalışmaları	39
4.1.4.1. Enjeksiyon Deliklerinin Açılması ve Yıkılması	39
4.1.4.2. Kapak Kuyuları Enjeksiyonları	40
4.1.4.3. Kontrol Kuyuları	42
4.1.5. Enjeksiyonda Kullanılan Malzemeler	42
4.1.5.1. Çimento	42
4.1.5.2. Bentonit	42
4.1.5.3. Su	43
4.1.5.4. Enjeksiyon Kimyasal Katkı Malzemeleri	43
4.1.6. Kullanılan Şerbet Karışım Oranları	43
4.1.7. Delgi ve Enjeksiyon İcmal Tabloları	44
4.1.8. Refü Şartı	45
4.1.9. Delgi ve Enjeksiyon İşlemleri Esnasında Kontrol Kuyularında Yapılan Basınçlı Su Testi Sonuçları ve Lugeon Değerleri	45
4.1.10. Enjeksiyon Alış Grafiği	51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Pamukluk Barajı proje özellikleri	16
Tablo 3.2. Türkiye’den ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örnekleri	19
Tablo 3.3. Kaya kütlelerinin Lugeon değerlerine göre geçirimsizlik sınıflandırması	26
Tablo 4.1. Pamukluk Barajı’nda yapılan basınçlı su testlerinden elde edilen Lugeon değerleri	35
Tablo 4.2. Pamukluk Barajı’nda A sırası kapak kuyularında uygulanan enjeksiyon basınçları	41
Tablo 4.3. Pamukluk Barajı’nda enjeksiyon karışımında kullanılan çimentonun özellikleri	42
Tablo 4.4. Pamukluk Barajı’nda enjeksiyon sırasında uygulanan karışımların mikser hacimleri	44
Tablo 4.5. Pamukluk Barajı A-Sırası kapak kuyuları uygulama miktarları	44
Tablo 4.6. Pamukluk Barajı kontrol kuyuları uygulama miktarları	44
Tablo 4.7. Pamukluk Barajı A sırası kapak kuyularına ve kontrol kuyularına uygulanan toplam icmal	44
Tablo 4.8. KK-1 Basınçlı su testi sonuçları	45
Tablo 4.9. KK-2 Basınçlı su testi sonuçları	46
Tablo 4.10. KK-3 Basınçlı su testi sonuçları	46
Tablo 4.11. KK-4 Basınçlı su testi sonuçları	46
Tablo 4.12. KK-5 Basınçlı su testi sonuçları	47
Tablo 4.13. KK-6 Basınçlı su testi sonuçları	47
Tablo 4.14. KK-7 Basınçlı su testi sonuçları	47
Tablo 4.15. KK-8 Basınçlı su testi sonuçları	48
Tablo 4.16. KK-9 Basınçlı su testi sonuçları	48
Tablo 4.17. KK-10 Basınçlı su testi sonuçları	48
Tablo 4.18. KK-11 Basınçlı su testi sonuçları	49
Tablo 4.19. KK-12 Basınçlı su testi sonuçları	49
Tablo 4.20. KK-13 Basınçlı su testi sonuçları	49
Tablo 4.21. KK-14 Basınçlı su testi sonuçları	50
Tablo 4.22. KK-15 Basınçlı su testi sonuçları	50
Tablo 4.23. KK-16 Basınçlı su testi sonuçları	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Pamukluk Barajı 2018 yılı talvegdeki su birikintisi	2
Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 1.3. Mersin ili 1940-2022 yılları arası ortalama sıcaklık değerleri	5
Şekil 1.4. Mersin ili 1940-2022 yılları arası aylık toplam yağış miktarı ortalaması	5
Şekil 1.5. Türkiye deprem tehlike haritası	6
Şekil 2.1. Pamukluk Barajı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	11
Şekil 3.1. Pamukluk Barajı planı	17
Şekil 3.2. Pamukluk Barajı'nın gövde ve göl alanının yukarıdan görünümü	18
Şekil 3.3. Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu ile ön plak arasında kullanılan bakır su tutucular	20
Şekil 3.4. Ön yüz betonu, topuk plağı, ankraj ve enjeksiyon detayı	21
Şekil 3.5. Pamukluk Barajı talveg topuk plağı betonu dökümü	22
Şekil 3.6. Pamukluk Barajı sağ sahilde topuk plağı beton dökümü için hazırlanan ankraj ve kalıp görünümü	22
Şekil 3.7. Tek lastikli ve çift lastikli paker	24
Şekil 3.8. Basınçlı su testinin yapılışı	25
Şekil 3.9. Karıştırıcı ve çalkalayıcının şematik gösterimi	29
Şekil 4.1. Değişik çap ve uzunluktaki pakerler	30
Şekil 4.2. Pamukluk Barajı'nda basınçlı su testinde kullanılan paker sistemi	31
Şekil 4.3. Pamukluk Barajı topuk plağı betonu dökümü	32
Şekil 4.4. Pamukluk Barajı'nda talvegdeki suyun pompalar yardımı ile çekilmesi	32
Şekil 4.5. Pamukluk Barajı sol sahil, talveg, sağ sahil ve topuk plağı betonu görünümü	33
Şekil 4.6. Pamukluk Barajı'nda talveg ve sağ sahildeki topuk plağı betonunda basınçlı su testi ve enjeksiyon uygulaması	34
Şekil 4.7. Pamukluk Barajı'nda talveg ve sol sahildeki topuk plağı betonu basınçlı su testi ve enjeksiyon uygulaması	34
Şekil 4.8. Pamukluk Barajı A sırası kapak kuyusu kesiti	39
Şekil 4.9. Pamukluk Barajı'nda talvegde enjeksiyon uygulaması	40
Şekil 4.10. Pamukluk Barajı'nda daralan aralık metodu ile 24 m'lik anonun enjeksiyonunun yapılışı	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
km	Kilometre
H	Su yükü
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
BST	Basınçlı su testi
Lu	Lugeon
Pe _{ff}	Deney kademesindeki gerçek basınç
P _m	Manometreden okunan basınç
H	Yeraltı su seviyesinden manometreye kadar olan mesafe
H'	Deney kuşağının ortası ile manometre arasındaki mesafe
P _C	Manometre ile deney zonu başlangıcı arasındaki tijlerde, vanalarda, manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı
Q	Kuyuya verilen su miktarı
P	Uygulanan gerçek basınç
L	Kademe boyu
t	Topuk plağı kalınlığı
atm	Atmosfer
K	Kuyu
TLVG	Talveg
P _t	Efektif basınç
KK	Kontrol kuyusu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ISO	International Organization for Standardization
m	Metre
mm	Milimetre
ÖYBKKD	Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu

1. GİRİŞ

Eski zamanlardan beri toplumlar, temel ihtiyaçlarından biri olan suyu bir havzada toplayıp başka bir alana taşımak amacıyla barajlar inşa etmişlerdir. Büyük miktardaki suyun kontrol altında tutulmasını gerektiren bu tür mühendislik yapılarının uzun yıllar kullanılabilmesi; üzerine inşa edileceği jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerinin iyi belirlenerek buna uygun proje tasarımı ve zemin iyileştirmesi yapılmasına bağlıdır (Beyaz, vd., 2007).

Su yapılarının planlama, projelendirme ve uygulama aşamalarında temel sondaj ve enjeksiyon çalışmaları büyük bir öneme sahiptir. Baraj inşaatlarında, barajın oturacağı ana kayanın geçirimsizliğinin ve duraylılığının sağlanması amacıyla, baraj aksı boyunca; temel kayaya kadar kazı yapılması, temel kayaya enjeksiyon uygulanması, en yaygın önlemler arasında yer almaktadır.

Enjeksiyon, zemin içindeki yapısal ve litolojik kusurlara veya zemin ile yapı arasında kalan boşluklara; genellikle sondaj deliklerinden, basınçlı olarak akışkan malzemenin doldurulması olarak tanımlanmaktadır (Kutzner, 1996). Enjeksiyon zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Baraj temellerinde geçirimsizliği sağlayarak sızma ve su kaçaklarını önlemek için, zemindeki boşluk ve çatlakları enjeksiyon harcı ile doldurarak zemini daha yoğun ve daha sıkı hale getirme işlemidir. Enjeksiyon uygulanacak zeminin jeoteknik yapısı, enjeksiyonda kullanılacak şerbetin özelliğini ve enjeksiyon uygulama tekniğini belirlemektedir (Günaydın, 2017).

Topuk plağı betonu ön yüzü beton kaplı barajlarda, ön yüzdeki betonun oturduğu kısma verilen isimdir. Bu tür barajlarda geçirimsiz perde enjeksiyonları topuk plağı betonu üzerinde yapılmaktadır. Topuk plağı betonu, plinth hattı betonu olarakta isimlendirilmektedir. Ön yüz betonunu destekleyen topuk plağı betonu temel ile ön yüz betonun aralarında ki geçişi sağlamaktadır. Gövdenin memba hattı tarafını sağ ve sol sahilden talvege kadar boydan boya gerdanlık şeklinde saran yapıdır.

Bu çalışma, Mersin ili, Tarsus ilçesinin 30 km kuzeybatısında bulunan Belen Mahallesi civarını kapsamaktadır. Pamukluk Barajı'nın su kaynağını Berdan Nehri'nin (Tarsus Çayı'nın) kolu olan Pamukluk Deresi oluşturmaktadır. Pamukluk Barajı, Pamukluk Çayı üzerinde bulunan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj tipindedir.

A.B.D.'de inşa edilen Morea Barajı ön yüzü beton kaplı kaya dolgu ilk barajdır (Altun vd., 2004). Ülkemizde ise Gümüşhane'de bulunan Kürtün Barajı ilk ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örneğidir (Özkuzukıran, 2005).

Pamukluk Barajı, sulama, enerji ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Pamukluk Barajı'nın, temelden yüksekliği 135 metredir. Barajın 282 milyon m³ su depolama kapasitesine sahip olması, barajda depolanacak su ile 221 bin 700 dekar araziye sulaması, yılda 68 milyon kilovat saat enerji üretmesi ve Mersin ilinin yıllık 127,54 hm³ içme suyunu karşılaması planlanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Pamukluk Barajı'nda geçirimsiz kapak enjeksiyonları ve perde enjeksiyonları, ön yüzdeki betonun oturduğu topuk plağı betonu üzerinde yapılmıştır. Baraj gövdesinde topuk plağı betonu, 2012 yılında dökülmüştür. İlk enjeksiyon çalışmaları 2013 yılında, baraj yerinde km:0+000 ile km:0+723 arasında 5 m derinliğinde iki sıra halinde kapak enjeksiyonları ve kapak enjeksiyonları tamamlandıktan sonra 3 m ara ile 40 m derinliğinde tek sıra temel perde enjeksiyonları yapılmıştır. Topuk plağı betonunda geçirimsizliğin sağlanıp, sağlanmadığını kontrol etmek amacıyla, takviye ve kontrol kuyuları açılmıştır. Basınçlı su testleri (BST) yapılmış, Lugeon değerlerine bakılmış ve enjeksiyonlar ile topuk plağı betonu geçirimsiz hale getirilmiştir. 2018 yılında baraj yapımına devam edileceğinde, baraj gövdesi ile topuk plağı betonu arası yıllarca çeşitli iç ve dış etkenlere maruz kalmıştır. Yapının güvenliği ve ileriye dönük su kaçaklarını engellemek için bu kuvvetlerin enjeksiyonlar ile topuk plağı betonunda sağlanan geçirimsizlikte bir bozulmaya sebep olup olmadığı araştırmak için enjeksiyonlar test edilmek istenmiştir. Bu esnada memba kısmı bir miktar su dolu olduğundan talvegde su birikintisi altında kalmıştır (Şekil 1.1) Talvegde BST'lerin yapılabilmesi için pompa yardımı ile membadaki su çekilerek talveg ortaya çıkarılmıştır. Enjeksiyonların kontrolü amacıyla barajın memba kısmında bulunan; sol sahil, sağ sahil ve talvegde 33 adet BST temel sondaj kuyuları açılmış ve bu kuyuların alışlarının incelenmesi amacıyla 119 adet BST yapılmıştır. BST sonuçlarına göre; enjeksiyonları tamamlanmış olan zeminde bir su kaçağı olmadığı ancak topuk plağı betonu ile zemin arasında 0-2,5 m arasında su kaçağı olduğu anlaşılmıştır. Su kaçağını önleyebilmek amacıyla memba tarafında tüm topuk plağı betonu boyunca 3 m aralıklar ve 5 m derinliğinde tek sıra 241 adet 1325,50 m kapak enjeksiyonu yapılması uygun görülmüştür.



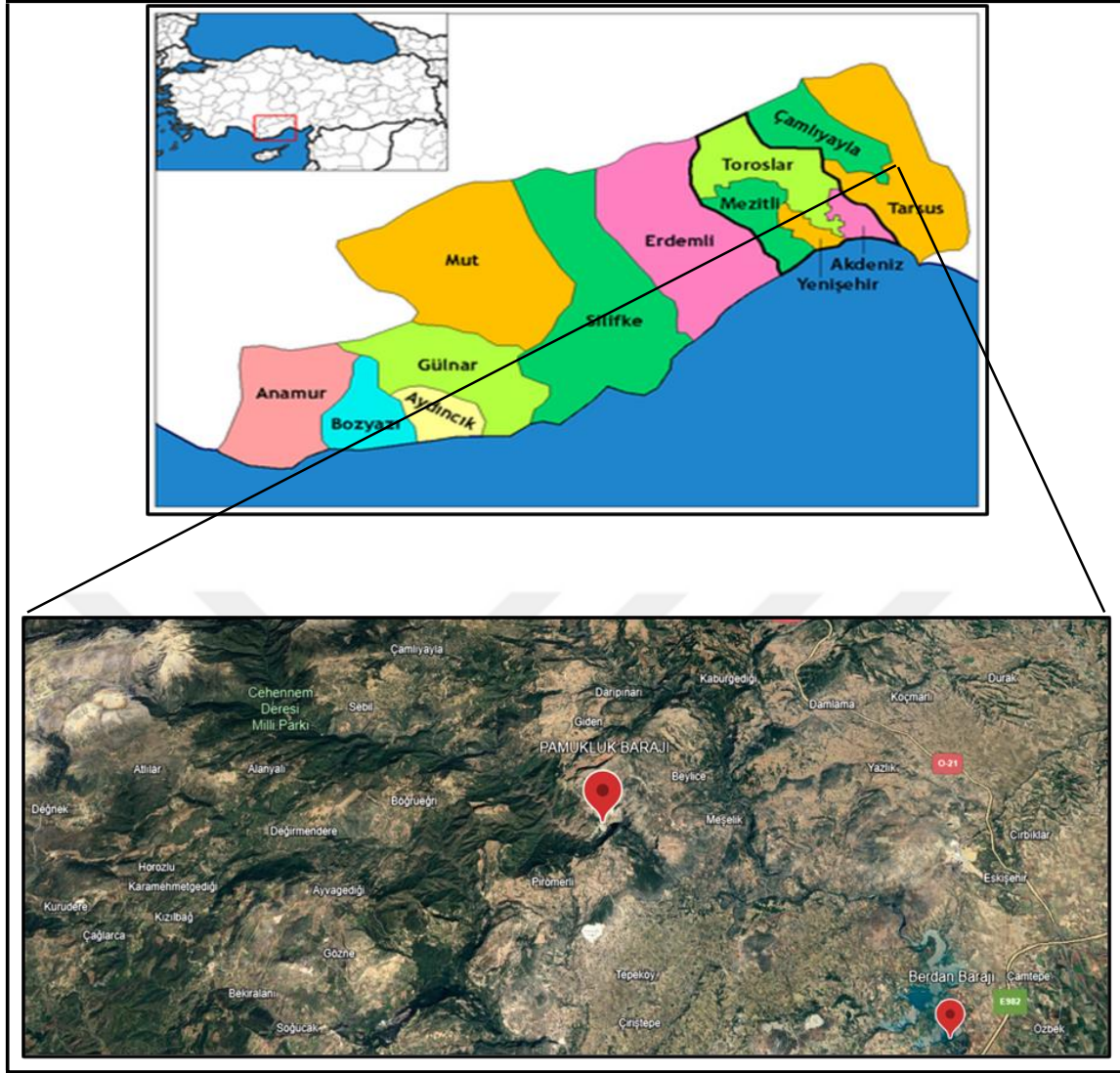
Şekil 1.1. Pamukluk Barajı 2018 yılı talvegdeki su birikintisi

Bu tez çalışmasında; Mersin ili Tarsus ilçesinde bulunan Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu üzerindeki geçirimsizlik potansiyelinin, enjeksiyon çalışmalarının incelenmesi ve su kaçağını önleyebilmek için uygulanan enjeksiyonun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Planlama aşamasında açılan temel sondaj kuyuları, bölgede daha önce yapılmış ilk enjeksiyon çalışmaları, kontrol kuyuları ve deney sonuç verileri incelenmiştir. Topuk betonu ile gövde arasında su kaçaklarının önlenmesi amacıyla memba tarafında 3 m aralıklar ve boyları 5 m olmak üzere kapak kuyuları açılmış ve enjeksiyon yapılmıştır. Pamukluk Barajı kapak kuyularının enjeksiyonunda ano sistemi oluşturulmuş ve enjeksiyon bu sisteme göre yapılmıştır. Ano boyu 24 m olarak uygulanmıştır. Enjeksiyonlar daralan aralık metodu yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Enjeksiyon sonrası kontrol kuyuları açılmıştır. Bunlara ek olarak, kontrol kuyularında basınçlı su testleri yapılmış ve ortaya çıkan Lugeon değerlerine bakılarak topuk plağı betonundaki sızma probleminin çözülüp, çözülemediği araştırılmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Özellikleri

1.2.1. Çalışma Alanının Konumu

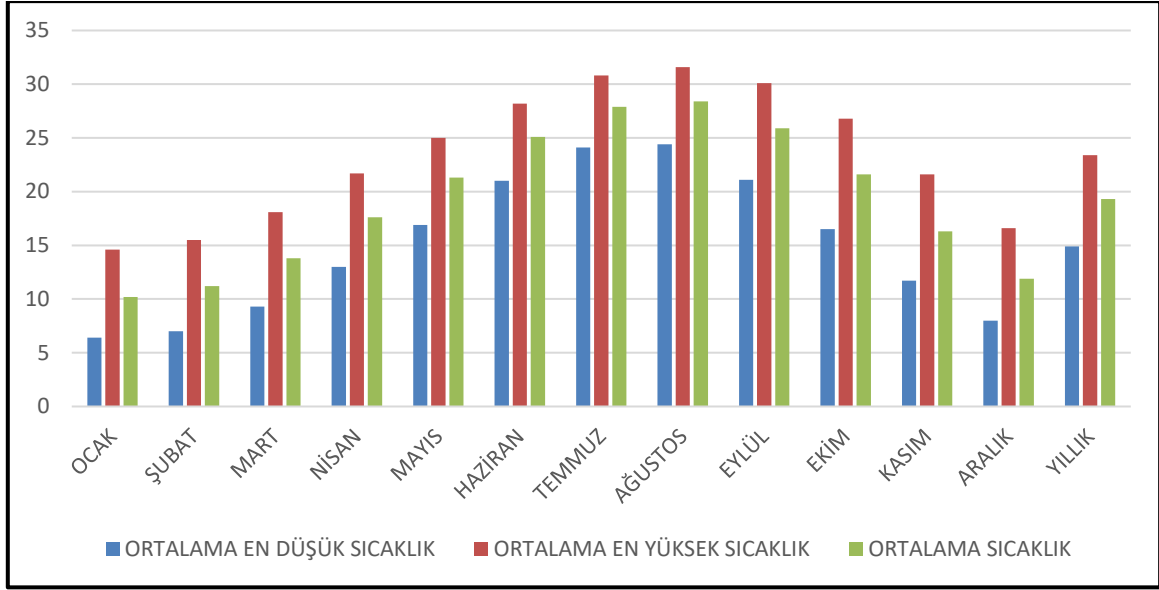
Çalışma alanı Mersin ili Tarsus ilçesinin 30 km kuzeybatısında, Berdan Nehri'nin Pamukluk Çayı kolu üzerinde yer almaktadır. Doğuda Berdan Nehri, batıda Tece Deresi, güneyde ise Mersin ve Tarsus şehirlerinin yerleşim alanları ile sınırlıdır (Şekil 1.2). Baraj aks yerine, sol yakadan Tarsus-Çamlıyayla karayolunun 40 km'sinden ayrılan 12 km'lik orman yoluyla ulaşılmaktadır. Sağ yakaya ise Adana-Mersin karayolunun 55. km'sindeki Huzurkent beldesinden kuzeye ayrılan Pirömerli-Belen-Doruk mahallelerine giden, 25 km'lik asfalt ve 7 km'lik ham orman yoluyla ulaşmak mümkündür. Baraj göl alanına ise sol ve sağ yakada mevcut olan orman yolları ile ulaşılır. Orman yolları haricindeki diğer yollar her mevsim ulaşım elverişlidir.



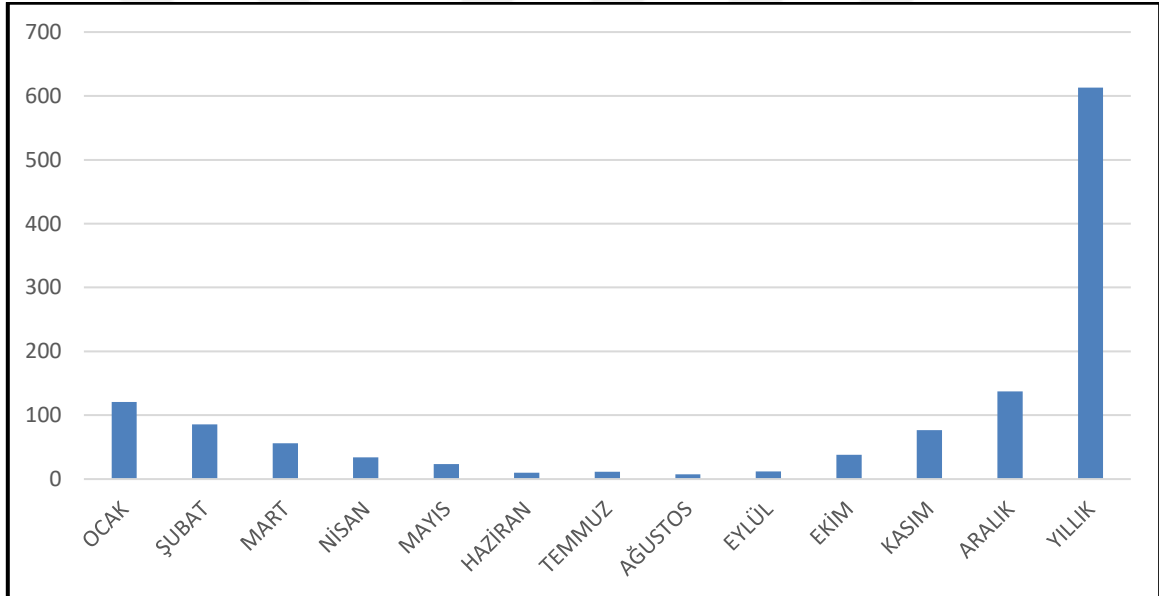
Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Wikipedia, 2023), (Google Earth, 2023)

1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında Akdeniz iklimi egemendir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Hava sıcaklıkları Aralık, Ocak ve Şubat aylarında en düşük, Temmuz ve Ağustos aylarında ise en yüksek değerlere ulaşmaktadır. 1940-2022 yılları arasında yapılan ölçümler doğrultusunda ortalama en düşük sıcaklık 6,4 °C, ortalama en yüksek sıcaklık 31,6 °C belirlenmiştir (Şekil 1.3). Yağışların büyük bir bölümü genellikle Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olmaktadır (Şekil 1.4). Bölgeye hakim olan bitki örtüsü genellikle Akdeniz iklimine uyum sağlayan makidir.



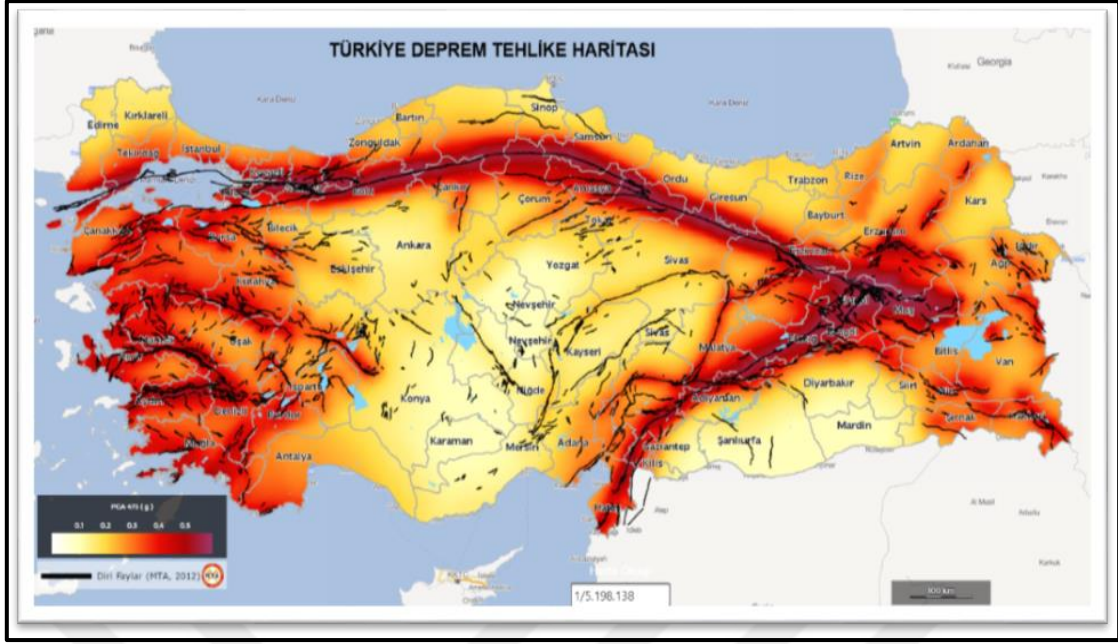
Şekil 1.3. Mersin ili 1940-2022 yılları arası ortalama °C sıcaklık değerleri (MGM, 2023)



Şekil 1.4. Mersin ili 1940-2022 yılları arası aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm) (MGM, 2023)

1.2.3. Depremsellik

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) 2018 yılında yayınladığı Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre Mersin ili ve çevresinde meydana gelebilecek olan depremlerin en büyük yer ivmesi 0,1 ve 0,2 arasındadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

Mersin ili için deprem tehlikesini, bölgedeki aktif faylar oluşturmaktadır. Bu faylar;

1. Gülek Boğazı ile Karsantı-Karaisalı arasında kuzeybatı-güneybatı doğrultusunda uzanan Karsantı-Karaisalı Fay Zonu,
2. Mersin'in kuzeyinde Çamardı ile Gülek Boğazı arasında doğru atımlı Ecemiş Fayı,
3. Mersin'e en yakın kırık hattı olan ve Gülek Boğazı ile Anamur arasında Ecemiş Fay zonunun bir parçasını oluşturan doğru atımlı Namrun Fay Zonu,
4. 1988 yılında Adana depremine neden olan Yumurtalık-Karataş Fayı,
5. Akdeniz'in içerisinde geçip Kıbrıs'a uzanan kırık hattı,
6. Mut civarında Mut Fayı,
7. Ovacık-Silifke arasında uzanan Ovacık Fayı'dır (İnan, 2005).

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Önceki Çalışmalar

2.1.1. Barajlarla İlgili Yapılan Çalışmalar

Ünal (2001) tarafından yapılan çalışmada, dolgu baraj temel birimlerinde inşa edilen enjeksiyon perdesi, balçık hendeği, ince perde duvar ve jet enjeksiyonu gibi yöntemler değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin uygulama esaslarından bahsedilmiş, bazı örnekler verilmiş, zemin cinsine göre avantaj-dezavantajları anlatılmış ve kullanılan ekipmanlara değinilerek proje maliyetindeki yeri anlatılmıştır. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan en büyük dolgu barajlarından biri olan, kaya dolgu tipinde ve temelden 162 m yüksekliğe sahip Dalaman-Akköprü Barajı temel zemininde yapılan uygulamalar incelenmiştir. Uygulamada perde derinliği en fazla 43 m olmuş ve toplam 240 m perde inşa edilmiştir. Barajın memba ve mansap batardoları altında bulamaç hendeği yöntemi ile inşa edilen perdeler ve baraj gövdesi altında inşa edilen enjeksiyon perdesinin tasarım ve inşa yöntemleri araştırılmış ve kontrol kriterleri değerlendirilmiştir.

Kong ve Liu (2002) tarafından yapılan çalışmada, ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajların göçmesini araştırmak için süreksiz deformasyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz sayısal bir yöntemdir. Deformasyon çözümleri elde etmek için, bu yöntemle ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj modellenmiş, davranış ve çökme işlemleri karakterize edilmiştir. Bu baraj türünde göçmeler genelde ilk olarak yüzeyin mansap yönündeki eğiminden kaymasıyla ortaya çıkmaktadır. Sayısal analizlerden yola çıkarak elde edilen değerlerin dinamik deneylerden elde edilen değerlerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Özkuzukıran (2005), ülkemizin ilk ÖYBKGD barajı olan ve Gümüşhane’de bulunan Kürtün Barajı’nın oturma davranışını incelemiştir. İnşa aşamasında ve su tutma sırasında meydana gelen toplam gerilme ve yer değiştirmeleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; iki boyutlu, düzlem şekil değiştirme sonlu elemanlar analizi tercih edilmiştir. Kaya dolgu malzemesinin lineer olmayan ve gerilme odaklı davranışını temsil etmek için sertleşen zemin modeli kullanılmıştır. Elde edilen gerilmeler ve oturmalar incelenmiş, ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, inşa aşaması ile uygun sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Ayvaz (2008) tarafından yapılan çalışmada, ÖYBKGD baraj tipi için temel tasarım ilkelerine değinilmiş ve Dim Barajı için gerçekleştirilen uygulamalar değerlendirilmiştir. Ön yüz beton plağını temele birleştiren topuk plağı betonu, uygun bir temel üzerine oturtulmuştur. Topuk plağı betonu inşaatı, gövde dolgusu ile paralel yürütülmektedir. Topuk plağı betonu, ankrajlarla temel zeminine bağlanmıştır. Ankrajlar, temel enjeksiyonundan yukarıya doğru yükselen alttan kaldırma basıncına dayanım göstermektedirler. Topuk plağı betonu genişliği 5,0 ila 9,0 m arasında değişmektedir. Topuk plağının üzerindeki su yüksekliği arttıkça genişliği de arttırılmıştır. Krete yakın bölümlerde topuk plağı genişliği

5,0 m alınırken tabanda 9,0 m genişliğe ulaşmıştır. Tabanda ki genişlik $1/14H$ (H: Su yükü) esasına göre değerlendirilmiştir. Dim Barajı topuk plağı altında iki sıra kapak ve tek sıra perde enjeksiyonu teşkil edilmiştir. Perde enjeksiyonu derinliği 26-44 m arasında değişmektedir ve 3,0 m ara ile açılan deliklerle oluşturulur. Kapak enjeksiyonu ise 10,0 m derinliğinde ve yine 3,0'er m ara ile uygulanmıştır. Sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve gerilmelerin dağılımı elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, ölçülen değerlerin, hesaplanan değerlerden göreceli olarak daha büyük olduğu ifade edilmiştir.

Akyüz (2010), Çorum ilinde bulunan Kargı Barajı HES projesinin; baraj yeri ve çevresindeki litolojik birimlerin geçirgenliklerini incelemiştir. Baraj gövdesi, kil çekirdekli toprak dolgu baraj tipindedir. Baraj aks yeri ve göl alanında, 14 adet sondaj açılmış, kuyu açımı esnasında basınçlı su testleri yapılmış Lugeon değerleri elde edilmiş ve yüzeydeki ayrılmış zonlarda da sabit seviyeli sızma deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile baraj yerinin geçirimsizliği tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.1.2. Enjeksiyonla İlgili Yapılan Çalışmalar

Canik (1998), basınçlı su deneylerinde çatlaklar ile verilen debi arasındaki ilişkinin gerçeğe en yakın bir yorumunu yapmak için en azından üç farklı basıncın uygulanması ve elde edilen eğrilerin deney kuşağındaki karotlarla karşılaştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Çünkü Lugeon basınçlı su deneylerinde laminar akımı veren eğriler nadiren görülmektedir. Hesaplanan Lugeon deneylerine göre kayacın geçirimsizliği sınıflandırılmıştır.

Akbulut (1999) tarafından yapılan çalışmalarda, laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda enjeksiyon şerbetlerinin mekanik ve fiziksel karakteristikleri incelenmiştir. Arazide yapılan çalışmalarda ise incelenecek temel için optimum enjeksiyon şekli belirlenmiştir. Arazide yapılan çalışmaların kapsamı; zemin cinsi, enjeksiyon uygulama yöntemi, enjeksiyon yapılış amacı ve enjeksiyon şerbet tipi, vb. kriterlere göre belirlenmiştir.

Akman ve Mutlu (1999) yaptıkları çalışmalarında, baraj inşaat aşamasının en önemli noktalarından biri olan enjeksiyon problemini incelemişlerdir. Enjeksiyon türlerinden biri olan geçirimsiz perde enjeksiyonları irdelenmiştir. Enjeksiyonun uygulama yöntemi ile ilgili parametreler açıklanmıştır. Enjeksiyon malzemeleri, polimer ve çimento esaslı bulamaçlar olarak iki grupta ele alınmıştır. Çimento esaslı malzemelerle üretilen geçirimsiz perdelerin yapımında kullanılan inşaat tekniği, planlama aşaması, uygulama ve kontrolleri anlatılmıştır. Örnek olarak, Berke Barajı'ndaki uygulamalar ve kullanılan malzeme araştırılmıştır.

Üşenmez (2005) çalışmasında, Dalaman-Akköprü Baraj inşaatı temel kayası enjeksiyon uygulaması ve teras birimi deneme enjeksiyonlarının tekniklerini araştırmıştır. Çalışmada karışımların laboratuvar sonuçları anlatılmıştır. Enjeksiyon perdesi uygulamasının değişik aşamaları ve uygulama yöntemlerine değinilmiştir. Enjeksiyon öncesi ve sonrasında uygulanan jeoteknik uygulamalar nedenleri ile anlatılmıştır. Çalışmanın sonucunda yapılan uygulamanın geçerliliği kontrol kuyuları ile kontrol edilmiş; elde edilen verilerin istenen limitlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Beyaz vd. (2007), çalışma kapsamında Gökpınar Barajı dolusavak yapısı 0,000-0,055 km'leri arasında çakıltası biriminin sağlamlaştırılması ve taşıma gücünün arttırılabilmesi için kompaksiyon enjeksiyonu yapılması tercih edilmiştir. Enjeksiyon işlemine başlamadan önce; arazide yapılan araştırmalarla sondaj yerleri, enjeksiyon aralıkları, enjeksiyon derinliği ve uygulanacak basınç belirlenmiş, zemin boşluklarını en iyi doldurabilecek malzeme ve enjeksiyon yöntemi araştırılmış, kullanılacak enjeksiyon sıvısının özellikleri veya kullanılacak karışım oranlarıyla ilgili araştırmalar yapılmış ve enjeksiyon çalışma programı hazırlanmıştır.

Ünal (2007) tarafından yapılan çalışmanın amacı, Türkiye'nin en yüksek barajı olan ve Artvin'de bulunan Deriner Barajı'nın, baraj temeli ve yamaç geçirimsizliğinin temel sondajlarıyla araştırılarak iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi, enjeksiyon perdesinin geometrisinin oluşturulmasıdır. Bu amaçla, büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Temel kayanın baraj aks yerinde düşey ve yatay doğrultuda değişimlerini gözlemlemek amacıyla karotlu ve karotsuz kuyular açılmıştır. Bu kuyularda kaya kalite özellikleri BST'ler ve test enjeksiyonlarıyla incelenmiştir. Elde edilen verilerle temel kayanın iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Koçer (2012), Boyabat Barajı'nın enjeksiyon perdesi üzerine yapmış olduğu çalışmada, enjeksiyon öncesi ve sonrası geçirimsizlik değerleri ile kademelere göre enjeksiyon alışı miktarları kayıt altına alınmıştır. Azalan aralık yönteminin uygulandığı geçirimsizlik perdesi enjeksiyonunda sırasıyla P, S, T ve Q kuyuları açılmış ve enjeksiyon işlemi yapılmıştır. İstisnalar olsa da, her aşamada enjeksiyon alışlarının azaldığı görülmüştür. Karotlu kontrol kuyularının delinmesiyle de bu alış yapan kademelerde düşük geçirimsizlik oranının elde edildiği belirlenmiş olup enjeksiyon işleminin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Günaydın (2017) çalışmasında, baraj temellerinde karşılaşılan sızma problemleri ve bu problemlerin çözümü için uygulanan yöntemleri detaylı bir şekilde ele almıştır. Çalışma alanı tanıtılmış, zemin yapısı incelenmiş ve temel sondaj deneyleri ile zeminin geçirimsizliği araştırılarak uygulanacak olan enjeksiyon yöntemini önermiştir. Enjeksiyon çalışmaları sonrası açılan kontrol kuyularında yapılan basınçlı su deneyleri detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan uygulamanın geçerliliği ve değerlerin önerilen sınırların altında olduğu belirlenmiş, uygulama esaslarının bu çalışma kapsamı içindeki jeolojik yapıya uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Alptekin ve Yakar (2019) yaptıkları çalışmada, Mersin ili Tarsus ilçesinde bulunan Pamukluk Barajı'nın dolusavak, topuk plağı betonu ve derivasyon tüneline yapılan enjeksiyon çalışmalarını incelenmiştir. Baraj alanı çevresinde magmatik kayalar bulunmaktadır. Barajın tabanında bulunan magmatik kayalar (gabro, diyorit, diyabaz ve granofir) düşük geçirgenliğe sahipken, dolusavak ve derivasyon tüneline bulunan moloz yüksek geçirgenliğe sahiptir. Dolusavak ve topuk plağı betonu 3 m aralıkla 241 perde ve 241 kapak enjeksiyonu yapılmıştır. Derivasyon tüneline 3 m aralıkla 300 kontak ve 1200 konsolidasyon enjeksiyonu yapılmıştır. Enjeksiyonda 690,453 ton çimento ve 13,132 ton bentonit kullanılmıştır. Sondaj kuyu çapı 66 mm ve su/çimento oranı 5/7'dir.

2.1.3. Bölgenin Jeolojisi İle İlgili Önceki Çalışmalar

Türkmen (1994), baraj aks yerinde açılan temel sondaj kuyularından 1990 yılından itibaren yeraltı su seviyeleri ölçümü yapmıştır. Bu değerler topluca incelendiğinde, mevsimlere bağlı olarak sondaj kuyusu içindeki yeraltı suyu seviyesinde fazla bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu durum, baraj yerindeki kayaçların geçirimli olmadıklarını göstermektedir. 195 baraj aks yerinde ve göl alanında herhangi bir su kaynağına rastlanmamıştır. Aks yerinde ve göl alanında yer alan kayaçların tamamı geçirimsiz özelliktedir. Mühendislik jeolojisi çalışmalarına, baraj için gerekli doğal yapı gereçleri araştırmaları da dahil edilmiş, bu amaca yönelik olarak geçirimsiz kil, kum-çakıl ve kaya gereç alanları tespit edilmiştir. Yapı gereçleri araştırmaları ve laboratuvar deneyleri sonucunda, baraj için gerekli olan gereçlerin kalite ve miktar bakımından uygunluğu belirlenmiştir. Bu inceleme sonucunda, barajın 100 m yükseklikte, kaya dolgu tipinde, derivasyon tüneli ve dolu savağın sol yakada olabileceği ortaya koyulmuştur.

2.2. Bölgenin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresini otokton ile allokton konumlu magmatik, volkanik ve çökel kayaçlar kapsamaktadır.

Paleozoyikte otokton birim olan; kireçtaşı, kalkışist, şist ve mermer, Mesozoyikte allokton birim olan; kireçtaşı, granofir, gabro, diyorit, granodiyorit, diyabaz, karmaşık seri (kumtaşı, radiolarit, diyabaz, spilitik bazalt, kireçtaşı blokları), ultrabazik kayaçlar (peridotit, diyabaz, serpantin), Senozoyikte otokton birim olan; çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı, marn, resifal kireçtaşı, kumtaşı-marn, birimleri sınıflandırılmıştır (Şekil 2.1).

LİTOLOJİ						
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	KALINLIK(M)	SİMGE	
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN		0-15	Al	ALÜVYON; Kum, çakıl, az blok
				0-50	Ym	YAMAÇ MOLOZU
	TERSİYER	MİYOSEN	ORTA	>100	M4	KUMTAŞI – MARN
				100-350	M3	RESİFAL KİREÇTAŞI
			ALT	0-200	M2	KUMTAŞI, KİLLİ KİREÇTAŞI, ÇAKILTAŞI, MARN
				50-200	M1	ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI, KİLTAŞI
				>500	Mof	ULTRABAZİK KAYAÇLAR; peridotit, diyabaz, Serpantin
				>500	Mks	KARMAŞIK SERİ; Kumtaşı, radiolarit, diyabaz, Spilitik bazalt, Kireçtaşı blokları
	KRETASE			>500	Mdk	DAYK KOMPLEKSİ; granofir, gabro, diyorit, granodiyorit, diyabaz
				>100	Mkçt	KİREÇTAŞI
PALEZOYİK				>200	Pk	KİREÇTAŞI, KALKŞİST, ŞİST, MERMER

Şekil 2.1. Pamukluk Barajı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (DSİ, 2008)

2.2.1. Stratigrafi

2.2.1.1. Paleozoyik

2.2.1.1.1. Karahamzauşağı Formasyonu

Formasyonun adı, Ünlüenç (1986) tarafından Adana'nın Kızıldağ yaylası çevresinde benzer özellikler sunan Paleozoyik yaşlı birimlere uyguladığı Karahamzauşağı formasyonundan alınmıştır.

Formasyon, baraj mansabında Pamukluk Vadisi, Çevlik mevkiinde, Belenköy'de ve Pirömerli çevresinde izlenmiştir. Bölgede koyu gri, mavi renkli, sert ve yer yer dolomitik kireçtaşı şeklinde gözlemlenmektedir. Kalkşist, şist, kuvarsit ve mermer düzeyleri içermektedir (DSİ, 2008).

2.2.1.2. Mesozoyik

2.2.1.2.1. Demirkazık Kireçtaşı

Formasyonun adı, Yetiş (1984) tarafından Niğde Ecemiş koridoru doğusunda (Çamardı dolayları) yer alan, açık-koyu boz renkli, sert, orta-kalın katmanlı, çatlaklı, kıt mikro fosilli, çoğunlukla mikritik yapılı olan kireçtaşı ile benzerlikler sunduğu için, Demirkazık kireçtaşı olarak uyarlanmıştır (Türkmen, 1994).

Formasyon, baraj mansabında Pamukluk Vadisi'nde ve aksın üst kotlarındaki yamaçlarda izlenmiştir. Ayrıca, göl alanının kuzeyinde, Sarıkavak mahallesi ile Kisecek mahallesi çevresinde geniş alanda yüzeylenmiştir. Bölgede, gri-kahve, sütlü kahve renkli, genelde mikritik (karbonat çamurtaşı), yer yer kristalize kireçtaşıdır (DSİ, 2008).

2.2.1.2.2. Magmatik Kaya Kompleksi

Baraj aks yerinde ve göl alanında izlenmiştir. Baraj aks yeri mansabında, Mesozoyik yaşlı kireçtaşı ile göl alanında ofiyolit grubu ultrabaziklerle faylı dokanağa sahiptir. Birimin üzerine Miyosen yaşlı çökeller uyumsuz olarak gelmiştir. Birim için magmatik kaya kompleksi tanımı kullanılmıştır. Granofir, gabro, diyorit, kuvarslı diyorit, diyabaz, riolit, vb. asidik ve bazik kayalar iç içe ve değişik zaman aralığında sokulumları göstermiştir. Yer yer sert, sağlam taze sokulumlar izlenirken yer yer de ayrılmış, altere olmuş zonlar yer almıştır. Birimin hakim litolojisi asidik karakterli kayalardan oluşmuştur. Bu asidik kayalar içerisinde damar ve düzeyler şeklinde gabro, diyorit, diyabaz ve spilitik bazalt sokulumlar izlenmiştir. Asidik karakterli kayalar daha çok açık renkli, ayrılmış, yer yer kumtaşı görünümü kazanmış granofir ve granit benzeri kayalar ile kahve renkli, çatlaklı ve kırıklı yapı sunan riolitlerden oluşmuştur. Bazik karakterli kayalar ise gri-yeşil renkli, az ayrılmış gabro, taze yüzeyli sert, sağlam diyorit, çatlaklı ve ince dokulu diyabaz ile kahve renkli çokça ayrılmış spilitik bazalttan oluşmuştur. Genel görünüm itibarıyla yer yer çok ayrılmış, yer yer ise az ayrılmış, sağlam özellik gösteren birim içerisinde iç içe düzensiz sağlam ve dayanımlı zonlar yer almıştır. Bu farklı zonların düzensiz ve faylı bir yapı sunduğu birim, magmatik kaya kompleksi özelliğini karakterize etmektedir (DSİ, 2008).

2.2.1.2.3. Fındık Karmaşığı

Formasyonun adı ilk kez Yaman (1991) tarafından kullanılmıştır. Çalışma alanı batısında benzer birimler bulunduğu için Fındık Karmaşığı terimi kullanılmıştır.

Formasyon, göl alanında Kisecik ve Sarıkavak mahalleleri civarında yüzeylenmiştir. Karmaşık seri, kumtaşı-kiltaşı gibi çökel kayaçlar ile diyabaz, spilitik bazalt, radyolarit ve büyük çapta kireçtaşı bloklarından oluşmuştur. Hamuru kumtaşı-kiltaşı ve ofiyolit malzeme oluşturur. Kırmızı-bordo renkli bu hamur içerisinde gri-yeşil renkli diyabaz, kahve renkli spilitik bazalt ve açık renkli kireçtaşı blokları yer almaktadır. Kumtaşı-kiltaşı olan kısımlar, kırmızı-bordo renkli, gevşek çimentolu, yer yer dağınık ve ince tabakalıdır. Çoğunlukla silttaşı görünümlü bu birim içerisinde diyabaz daykları ve spilitik bazalt izlenmiştir. Kireçtaşı blokları ise; yer yer çok büyük tepeleri oluşturmuş ve sarı çıkıntılar meydana getirmiştir.

2.2.1.2.4. Mersin Ofiyoliti

Bu formasyon, Juteau (1980)'nin Toros ofiyolitleri ile ilgili çalışmasında ve Yaman (1991)'in Mersin kuzeyindeki çalışmalarında adlandırılmıştır (Türkmen, 1994).

Formasyon, Pamukluk Vadisi'nde geniş bir alanda, baraj göl alanında ve inceleme alanının dışında batıya doğru Mersin'in kuzeyinde geniş alanlarda yüzeylenmiştir. Birim karmaşık seri üzerine sürüklenimle gelmiştir. Birim, peridotit, diyabaz daykları ve serpantinden oluşmuştur. Yeşil-gri renkli, sert, sağlam yapılı peridotit kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Diyabaz ise peridotit içerisinde dayklar şeklinde izlenmiştir. Bu formasyon, gri renkli, ince dokulu, sert ve sağlamdır. Damar ve çatlaklar boyunca yeşil renkli kaygan yüzeyli serpantin izlenmiştir. Birim genel görünümü ile sert, sağlam, dayanımlı ve az ayrılmıştır. Üzerinde çok az yamaç molozu gelişmiş olup sarp çıkıntılar oluşturan bir topografya sunmaktadır (DSİ, 2018).

2.2.1.3. Senozoyik

2.2.1.3.1. Gildirli Formasyonu

İlk kez Schmidt (1961) tarafından, Adana'nın kuzeyinde bulunan Gildirli mahallesi çevresinde benzer karasal litolojiler için kullanılan tanım, inceleme alanındaki çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı gibi litolojilerden dolayı aynen kullanılmıştır (Türkmen, 1994).

Formasyon, inceleme alanında Pamukluk Vadisi yamaçlarında ve Sarıkavak mahallesinde gözlemlenmiştir. Hakim litoloji çakıtaşıdır. Çakıtaşı, değişik kayaçlardan türeme değişik tane boyundaki yuvarlak çakıllardan meydana gelmiştir. Çimento maddesi, kil ve CaCO₃'tür. Kumtaşı, kahve renkli ince-iri taneli ve gevşek tutturulmuştur. Kiltaşı; kumtaşı ve çakıtaşı seviyeleri arasında izlenmiştir. Kırmızı renkli olup, düzensiz seviyeler oluşturmuştur (DSİ, 2018).

2.2.1.3.2. Kaplankaya Formasyonu

İlk kez Lagap (1985) tarafından Karaisalı civarında resifal kireçtaşı özellikli Karaisalı formasyonu altındaki birimler için uygulanmıştır (Türkmen, 1994).

Formasyon, Belenköy’de ve baraj mansabında Çevlik mevkiinde yüzeylenmiştir. Hakim litoloji kumtaşı-marndır. Yer yer çakıtaşı ve killi kireçtaşı seviyeleri izlenmiştir. Kumtaşı, gri-sarı renkli gevşek yer yer sıkı tutturulmuştur. Marn seviyeleri ise; ara bantlar şeklinde olup gri-yeşil renkli, yumuşak ve makro fosillidir. Killi kireçtaşı seviyeleri de ara bantlar şeklinde sarı-krem renkli, kumlu ve bol makro fosillidir (DSİ, 2018).

2.2.1.3.3. Karaisalı Formasyonu

İlk kez Schmidt (1961) tarafından Karaisalı civarında Karaisalı kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Türkmen, 1994).

İnceleme alanında tepe ve sırtlarda geniş alanda yüzeylenen resifal kireçtaşı, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı tüm temel kayaçları örtmektedir. Birim, genellikle beyaz, krem-bej renkli, sert, sağlam, dayanımlı ve bol makro fosilli resifal özellikli kireçtaşından oluşmuştur. Kalınlığı 100-350 m arasındadır. Baraj aks yerinde yamaçlarda en üst kotlarda izlenmiştir (DSİ, 2018).

2.2.1.3.4. Güvenç Formasyonu

İlk kez Mobil jeologları tarafından Karaisalı ilçesinin güneyinde bulunan Güvenç mahallesi civarındaki benzer birimler için kullanılmıştır. İlker (1975) tarafından da inceleme alanındaki benzer birimler için aynı adlama kullanılmıştır. İnceleme alanı güneyinde Çakır ve Karadiken mahalleleri civarında ve çalışma alanının dışında güneyde geniş alanlarda yüzeylenmiştir (Türkmen, 1994).

Resifal kireçtaşı ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Birim, gri-sarı, yer yer kahve renkli kumtaşı-silttaşı ile gri-yeşil renkli marndan oluşmaktadır. Kumtaşı, ince taneli, yer yer iri taneli, gevşek tutturulmuş ve çimento maddesi CaCO_3 ’tır. Alt seviyeleri laminalı olan kumtaşı ince tabakalıdır. Marn ise gri-sarı renkli yumuşak ve kırılğandır (DSİ, 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Baraj Karakteristikleri

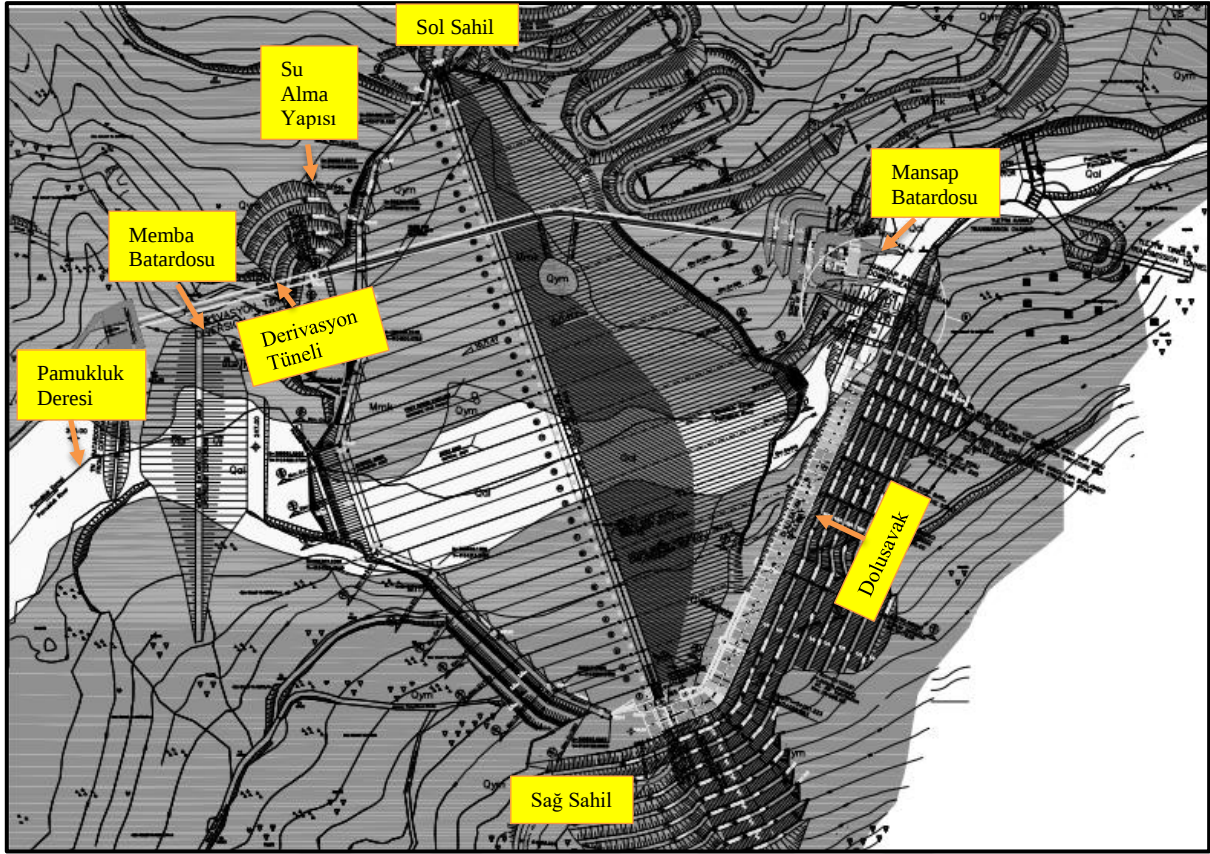
Pamukluk Barajı'nın su kaynağını Berdan Nehri'nin (Tarsus Çayı'nın) kolu olan Pamukluk Deresi oluşturmaktadır. Pamukluk Barajı, Pamukluk Çayı üzerinde bulunan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj tipindedir. Pamukluk Barajı, sulama, enerji ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Pamukluk Barajı'nın, temelden yüksekliği 135 m'dir. Barajın 282 milyon m³ su depolama kapasitesine sahip olması, barajda depolanacak su ile 221 bin 700 dekar araziye sulaması, yılda 68 milyon kilovat saat enerji üretmesi ve Mersin ilinin yıllık 127,54 hm³ içme suyunu karşılaması planlanmıştır (Tablo 3.1).



Tablo 3.1. Pamukluk Barajı proje özellikleri (DSİ, 2018)

Proje Özellikleri	
Yeri	Mersin'in kuzeyinde Pamukluk Deresi üzerindedir.
Barajın amacı	Sulama, İçme suyu ve Enerji
Yağış (drenaj) alanı	561 km ²
Yıllık ortalama akım	373.28 hm ³
Baraj Gövdesi	
Barajın tipi	Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj
Baraj kret kotu	365,00 m
Talveg kotu	245 m
Temel kotu	230 m
Prabet duvarı üst kotu	365 m
Barajın talvegden yüksekliği	120 m
Barajın temelden yüksekliği	135 m
Kret uzunluğu	625 m
Kret genişliği	10 m
Gövde dolgusu	6,191 hm ³
Derivasyon Tüneli	
Derivasyon debisi	Q ₂₅ =415,5 m ³ /s
Derivasyon tüneli yeri	Sol Yaka
Derivasyon tüneli eğimi (J)	0,005
Derivasyon tüneli çıkış	242,98 m
Derivasyon tüneli uzunluğu	604,00 m
Dolusavak	
Tipi	Karşıdan alışı kapaklı
Yeri	Sağ sahil
Kapak tipi	Radyal kapak

Pamukluk Barajı'nda derivasyon tüneli sol yakada, dolusavak yeri sağ yakada konumlandırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Pamukluk Barajı planı (DSİ, 2008)

Baraj gövdesi, genellikle beton veya dolgu malzemesinden meydana gelen ve bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlayan kısımdır. Talveg, memba tarafında bulunan akarsu tabanıdır. Su alma yapısı, baraj önünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır. Dipsavak, gerektiğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak ve gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan kısımdır. Dolusavak, taşkın sularını mansaba aktararak yapının emniyetini sağlayan yapıdır. Derivasyon tüneli, baraj inşasının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Pamukluk Barajı'nın inşasına derivasyon tüneli ile başlanmıştır. Suyun inşa alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşan yapıdır.

3.2. Barajların Gövde Türüne Göre Sınıflandırılması

Akarsu vadisinin elverişli bir yerine; sulama, enerji üretimi, taşkından korunma, akarsuların düzenlenmesi, içme suyu temini gibi amaçlara hizmet etmesi için inşa edilen ve suyun baraj gölünde birikmesini sağlayan, ekonomik faydası olan büyük yapılara baraj denir (Güneş, 2020) (Şekil3.2).



Şekil 3.2. Pamukluk Barajı'nın gövde ve göl alanının yukarıdan görünümü

Baraj tipi seçimine birçok faktör etki etmektedir. Baraj inşasında kullanılacak gövde malzemesi seçimi de önemli faktörlerden birisidir. Barajlar, gövde dolgusunda kullanılan malzeme türüne göre; beton barajlar ve dolgu barajlar olarak sınıflandırılmaktadır.

3.2.1. Beton Barajlar

3.2.1.1. Beton Ağırlık Barajlar

Sağlam veya orta sağlamlıktaki kaya temellerde, U veya V şeklindeki vadilerde bu tip barajın seçilmesi uygundur. Dolusavak beton gövde üzerine oturtulabildiğinden, dolusavak hafriyatı zor olan vadilerde bu baraj tipi avantaj sağlar. Baraj yüksekliği arttıkça diğer barajlara göre daha maliyetli olurlar (Orhon, 1997).

3.2.1.2. Payandalı Beton Barajlar

Payandalı beton barajlar suyun itme gücüne payandalarla desteklenmiş düz veya hafif eğimli bir duvar şeklindeki beton gövde ile karşı koyarlar. Su basıncı payandalarla temele aktarılır. Payandalı ağırlık barajları, geniş ve yatık yamaçlı kanyon tipi vadiler için uygun ve ekonomiktir. Orta yükseklikteki barajlarda kullanılır. Bu tip barajlarda daha az malzeme ve beton kullanılmakta ve daha az kazı yapılmaktadır (Hatipoğlu, 2023).

3.2.1.3. Beton Kemer Barajlar

Beton kemer tipi barajlar ise akarsuyun memba tarafına doğru kavisli (konkav) tek bir duvar şeklinde yapılır. Baraj gövdesinin kavisli şeklinden dolayı suyun itme kuvveti vadi yamaçlarına iletilir.

Bu nedenle kemer tipi barajlar dar, taşıma gücü yüksek ve yamaçları sağlam vadilerde inşa edilir (Hatipoğlu, 2023).

3.2.1.4. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar

Bu baraj türünde baraj gövdesi; silindirle sıkıştırmaya elverişli özel karışım bir beton türünün tabakalar halinde serilerek sıkıştırılması ile oluşur. Söz konusu karışımın içindeki çimento miktarı klasik betona nispetle daha az olmasına rağmen, içeriğindeki diğer unsurlar çoğunlukla benzerdir. Titreşimli silindirlerle sıkıştırma işlemi yapıldığı için bu adı almışlardır (Güneş, 2020).

3.2.2. Dolgu Barajlar

3.2.2.1. Kil Çekirdek Toprak Dolgu Barajlar

Toprak dolgu barajın merkezi kil çekirdekten oluşur. Kullanılan dolgu malzemesinin yarıdan fazlası toprak olan barajlar kil çekirdek toprak dolgu baraj olarak tanımlanmaktadır.

3.2.2.2. Kil Çekirdek Kaya Dolgu Barajlar

Dolgu içeriğinin yarıdan fazlası kayadan oluşan baraj türüdür. Kaya dolgu barajlarda geçirimsizliğin sağlanması amacıyla ilave olarak sıkıştırılmış kil, beton veya asfalt malzeme de kullanılır (Güneş, 2020).

3.2.2.3. Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar

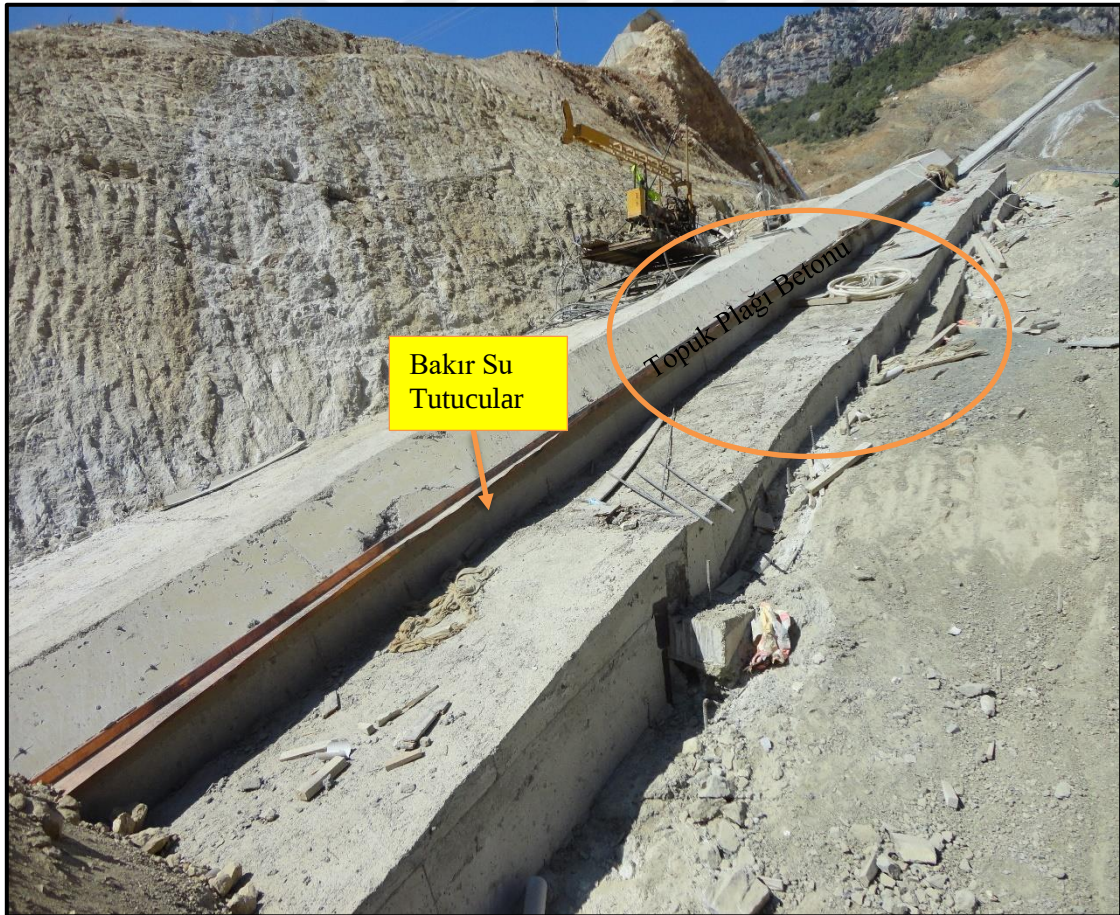
Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda geçirimsizlik ön yüzdeki beton plak ile sağlanır (USBR, 1987). A.B.D.'de inşa edilen Morea Barajı ön yüzü beton kaplı kaya dolgu ilk barajdır (Altun vd., 2004). Ülkemizde ise Gümüşhane'de bulunan Kürtün Barajı ilk ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örneğidir (Özkuzukıran, 2005) (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Türkiye'den ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj örnekleri (Ergeneman, 2012)

Barajın İsmi	Bulunduğu Şehir	Yükseklik(m)
Silvan	Diyarbakır	158.5
Torul	Gümüşhane	137.0
Dim	Antalya	123.5
Kürtün	Gümüşhane	110.0
Atasu	Trabzon	118.0

Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu (ÖYBKGD) barajlarda, topuk plağının sağlam zemine oturtulması ve dolguda kullanılan kaya dolgu malzemesinin aşırı oturmaları neden olmayacak sağlam kayadan oluşması gerekmektedir. ÖYBKGD barajlar, topuk plağı ve ön yüz beton kalıp maliyeti sebebiyle yüksekliği 20 m’den düşük barajlar için ekonomik olmamaktadır (Fitzpatrick vd., 1985).

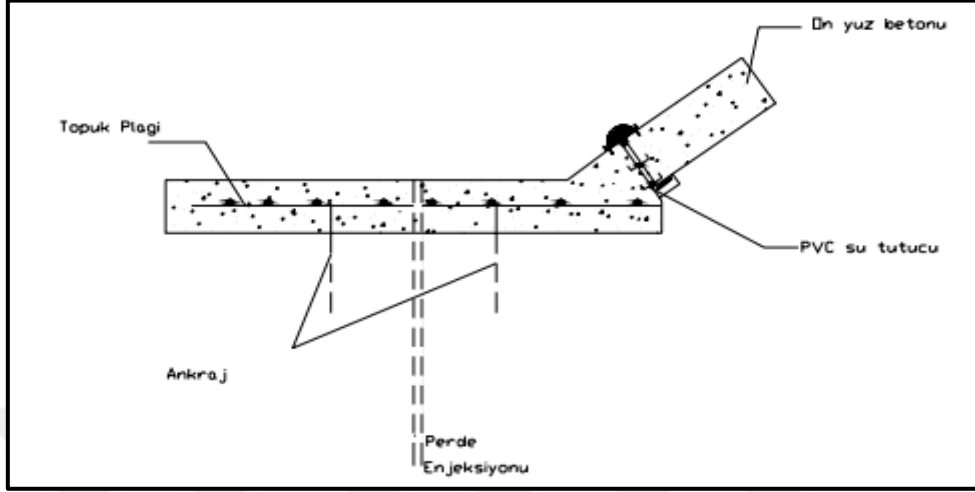
Bu tip barajlarda gövde hacminin büyük bir kısmını kaya dolgu oluşturur. Barajın statik ve dinamik etkilere karşı stabilitesi kaya dolgu ile sağlanır. Kaya dolguda kullanılacak olan malzeme iyi bir destek dolgusu olması için sıkıştırılabilir olmalıdır. Kaya dolgunun en önemli görevi, topuk plağı betonunu üniform bir biçimde desteklemek ve su yükü altında en az deformasyonu sağlamaktır. Ön yüzdeki betonun kalınlığı tabanda maksimumdur, krete yaklaştıkça azalır. Ön yüz topuk plağı betonu (plinth hattı betonu) ile desteklenir. Ön yüzü betonu, topuk plağı betonunun üzerine oturur. Topuk plağı betonu, ön yüz beton ile temel arasındaki geçişi sağlar. Topuk plağı betonu ile ön plak arasında oluşan derzler arasındaki geçirimsizlik bakır su tutucular (bakır conta) ile sağlanır. Yarı topuk plağı betonunun içinde, yarı ise ön yüz betonunun altında kalır (Çakır ve Ünsever, 2019) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu ile ön plak arasında kullanılan bakır su tutucular

Önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda, baraj zemininden gelen sızıntının önlenmesi ve su geçirimsizlik perdesi ile temel arasındaki etkileşim dikkate alınması gereken en önemli noktalardır. Bu

tür barajlarda uygulanan enjeksiyon; ankrajlı olan topuk plağı yapısının zeminle olan kontakını tamamlar ve topuk plağı altında oluşması muhtemel sızmaların engellenmesini sağlar (Ayvaz, 2008) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Ön yüz betonu, topuk plağı, ankraj ve enjeksiyon detayı (Ayvaz, 2008)

Pamukluk Barajı ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajdır. Derivasyon tüneli ve batardo tamamlandıktan sonra baraj gövdesinin zemin sıyrma işlemlerine başlanmaktadır. Zeminde geçirimsizliğe sebep olacak alüvyonlu tabaka sıyrılmaktadır. Daha sonra gövdenin dolgusuna başlanmaktadır.

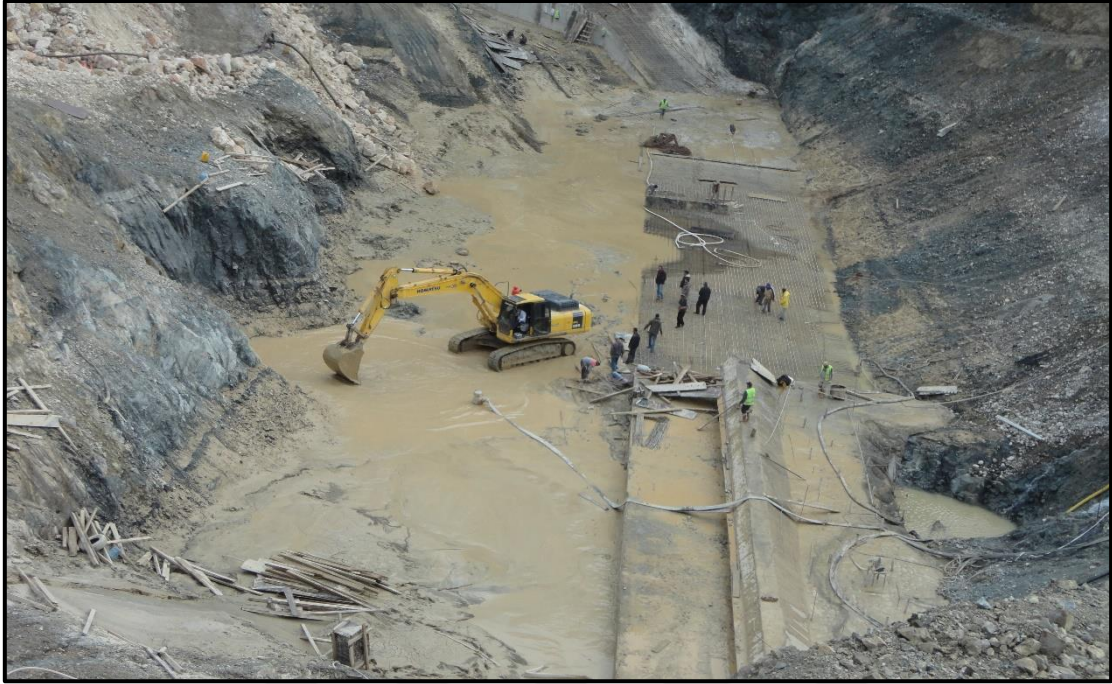
Pamukluk Barajı'nın memba kısmında, baraj ön yüzü altında dökme ince beton bordür vardır. Mansap yüzü altında ise, baraj gövdesini suyun aşındırma etkisine karşı korumak ve baraj ömrünü uzatmak açısından riprap döşenmiştir.

3.3. Topuk Plağı Betonu (Plinth Hattı Betonu)

Topuk plağı betonu ön yüzü beton kaplı barajlarda, ön yüzdeki betonun oturduğu kısma verilen isimdir. Bu tür barajlarda geçirimsiz perde enjeksiyonları topuk plağı betonu üzerinde yapılmaktadır. Ön yüz betonunu destekleyen topuk plağı betonu temel ile ön yüz betonun aralarında ki geçişi sağlamaktadır. Topuk plağı betonu, plinth hattı betonu olarak da isimlendirilmektedir. Baraj gövdesinin memba hattı tarafını sağ ve sol sahilden talvege kadar boydan boya gerdanlık şeklinde saran yapıdır.

Beton topuk plağı, ön yüzü beton kaplı barajlarda kaya dolguyu ve onun üzerindeki beton kaplamayı mesnetliyen en önemli elemanlardan biridir. Beton topuk plağının avantajı, temel kayasında kapsamlı ve maliyetli bir kazı gerektirmemesi ve böylece enjeksiyon işlemlerinin daha erken tamamlanmasına olanak sağlayarak inşaat süresini kısaltmasıdır. Bu durumda proje maliyeti de azalmaktadır. Beton topuk plağın; sağlam kaya temelli, erozyona uğramamış, çok az sızma problemi

yaşanan ve enjeksiyon kabul eden temel şartlarına sahip yerlerde kullanılması gerekmektedir (Ayvaz, 2008) (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Pamukluk Barajı talveg topuk plağı beton dökümü



Şekil 3.6. Pamukluk Barajı sağ sahilde topuk plağı beton dökümü için hazırlanan ankraj ve kalıp görünümü

Pamukluk Barajı'nın yüksekliği 135 m'dir. Topuk plağı kalınlığı en az 30 cm olmak koşuluyla tıpkı betonarme plak kalınlığı için önerildiği gibi aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$t = 0.3 + 0.003 \times H \quad (3.1.)$$

- H: Baraj yüksekliği
- t: topuk plağı kalınlığı (m)

Topuk plağı kalınlığı $t = 0.3 + 0.003 \times 135 = 0.705$ m hesaplanmış ve bu değer 70 cm olarak belirlenmiştir. Pamukluk Barajı'nda 70 cm kalınlığında 3 m genişliğinde topuk plağı betonu yapılmıştır.

3.4. Arazi Çalışmaları

Basınçlı su testi farklı basınçlar altında kaya kütlelerinin su iletkenliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen arazi deneyleridir.

3.4.1. Basınçlı Su Testi

3.4.1.1. Genel Bilgiler

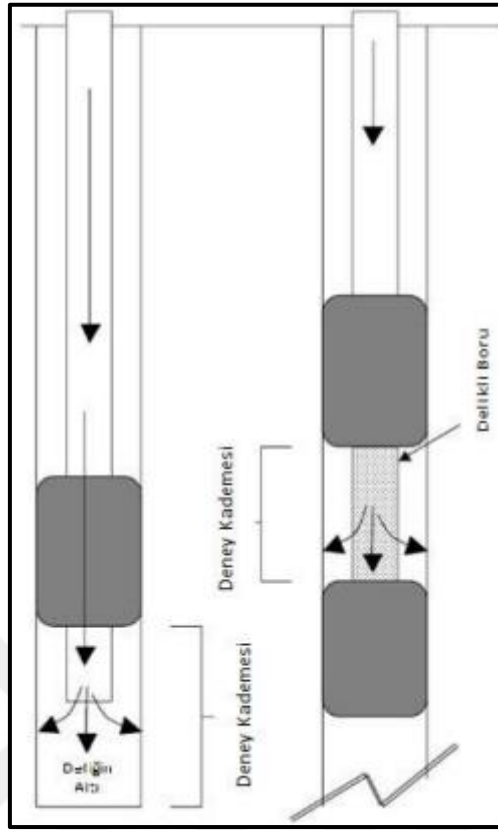
Baraj ve tünel gibi yapılarda kayaçların geçirimliklerini belirlemek, enjeksiyona ihtiyaç duyulup duyulmadığına karar vermek ve enjeksiyon uygulaması bitiminde enjeksiyonları test etmek amacıyla kontrol kuyuları veya araştırma sondajlarında yapılan deneylere basınçlı su testi denilmektedir.

1933 yılında ilk kez Maurice Lugeon tarafından yapıldığı için Lugeon testi olarak da isimlendirilmektedir. Lugeon birimi (Lu), 10 kg/cm^2 'lik efektif (gerçek) basınç altında 1 dakikada 1 m uzunluğundaki deney zonundan litre olarak kaçan su miktarıdır (1/dak/m). Lugeon testi, bir sondaj deliğinin belirli ve paklerle (tıkaç) izole edilmiş bir aralığında uygulanan sabit basınç geçirgenlik testidir. Deneyde kullanılan tıkaçlardan dolayı Packer testi olarak da adlandırılmaktadır.

3.4.1.2. Basınçlı Su Testi Uygulama Yöntemi

Basınçlı su testine deney kademesinin yıkanması ile başlanmaktadır. Deney, enjeksiyona bağlı olarak tek lastikli veya çift lastikli uygun basınçlı su test takımları ile 2 m veya en çok 5 m kademe aralıkları ile yapılmaktadır.

Basınçlı su testlerinde ve enjeksiyonlarda, değişik çaplarda ve en az 30 cm olmak şartıyla yeterli uzunluklarda tek veya çift lastikli pakler (lastikli tıkaçlar) kullanılarak iki farklı şekilde uygulanabilir (Şekil3.7). Uygulama anında yeterli sayıda pakler inşa alanında bulundurulur.

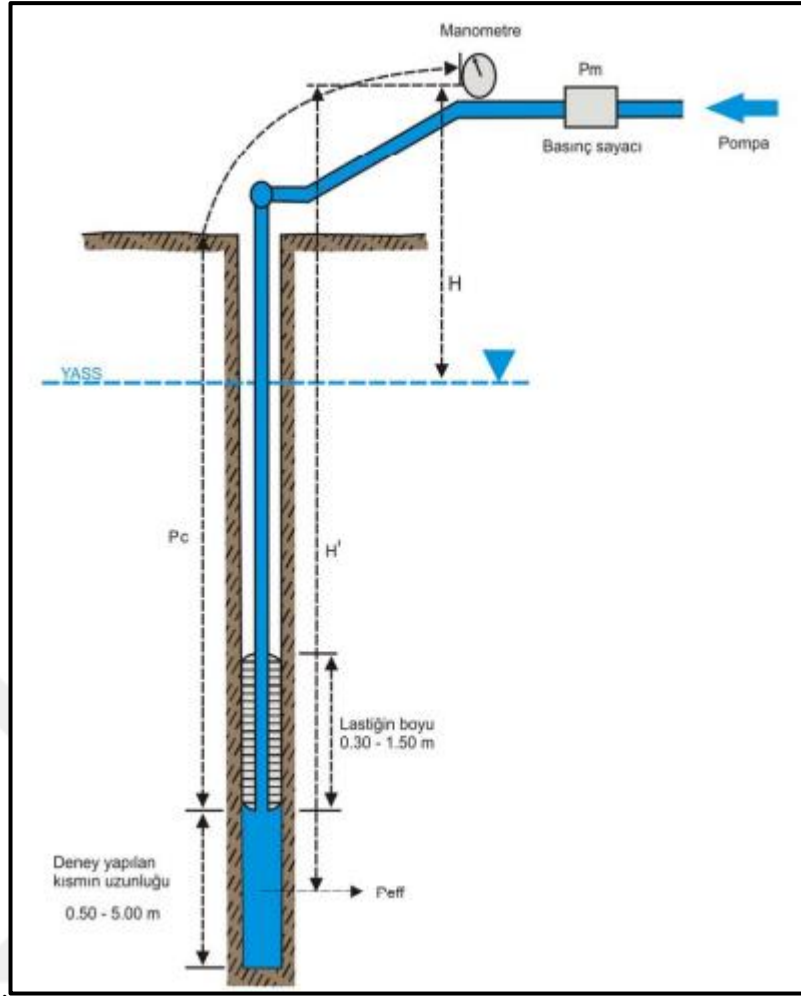


Şekil 3.7. Tek lastikli ve çift lastikli paketer (Yağcıoğlu, 2017)

Deneye başlanmadan önce, kuyulardaki su seviyeleri ölçülür, test kademesi deliğine oturtulan şişirilebilir paketer tarafından sınırlandırılır ve sonrasında deney yapılacak kademe basınçsız su ile doldurulur. Deney sırasında uygulanan basınçlar projenin ve kayacın özelliklerine göre değişir. Deneye zemini (temel kayayı) suyla doymun hale getirip lineer su kaçakları sağlandıktan sonra başlanır ve 10 dakika beklenerek okumalar yapıldıktan sonra son verilmektedir. Uygulanan her basınçta iki 5 dakikalık su kaybı ayrı ayrı tespit edilir. Bu süre sonunda, su sayaçlarından okunan su kaçakları litre cinsinden deney formuna kaydedilmektedir. Deney zonlarına artan ve azalan basınçlar uygulanarak her kademe oluşun kaçak miktarları ölçülür ve deney tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlar deney formlarına işlenir.

3.4.2. Basınçlı Su Testleri ile Lugeon Değerinin Belirlenmesi

Basınçlı su testlerinde manometrede okunan değerleri 2-4-6-8-10-8-6-4-2 veya 3-6-10-6-3 kg/cm² olan basınçlar uygulanmaktadır. Derinliği az olan veya sağlam olmayan formasyonlarda 1-2-3-2-1 kg/cm² şeklinde artan ve azalan değerlerde uygulanmaktadır. Uygulanan her basınçta iki 5 dakikalık su kaybı ayrı ayrı tespit edilmektedir. Şayet uygulanacak basınç 10 kg/cm² 'den az ise, en az üç basınç seviyesinde ikişer 5 dakikalık ölçüm yapılmaktadır (3-6-3 kg/cm² veya 2-4-2 kg/cm² gibi) (DSİ, 2013).



Şekil 3.8. Basıncılı su testinin yapılışı (Şekercioğlu, 2007)

Basıncılı su testlerinde Lugeon değerlerinin hesaplanabilmesi için deney sırasında uygulanan gerçek basıncın bilinmesi gerekmektedir. Gerçek basıncı (P_{eff}) hesaplayabilmek için manometrede okunan basınca (P_m) yeraltı su tablası üzerindeki statik yük ($H/10$) eklenip, elde edilen değerden, deney kademesi üst kotu ile manometre kotu arasındaki yük kaybı (P_c) çıkarılarak sonuca ulaşılmaktadır (Akyüz, 2010) (Şekil 3.8).

$$P_{eff} = P_m + \frac{H}{10} - P_c \quad (3.2.)$$

- P_{eff} : Deney kademesindeki gerçek basınç (kg/cm^2)
- P_m : Manometreden okunan basınç (kg/cm^2)
- H : Yeraltı su seviyesinden manometreye kadar olan mesafe (m) (su varsa)
- H' : Deney kuşağının ortası ile manometre arasındaki mesafe (m) (su yoksa)
- P_c : Manometre ile deney zonu başlangıcı arasındaki tijlerde, vanalarda, manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı.

Basınçlı su testleri tamamlandıktan sonra elde edilen değerler, geçirimsizlik deneyi formuna işlenerek, her deney zonu için ayrı ayrı Lugeon eğrileri çizilmektedir. Bu eğri üzerinde, 10 bar gerçek basınca karşılık gelen emilme katsayısı (1 metrede 1 dakikada litre olarak emilen su miktarı), deney zonunun Lugeon birimi olarak geçirimsizliğidir. Çeşitli nedenlerle, deney sırasında 10 bar basınç uygulanamaması durumunda, deney sonuçları şu şekilde değerlendirilmektedir (Akyüz, 2010):

$$LU = (Q \times 10)/(P \times L) \quad (3.3.)$$

- Lu: Lugeon (lt/dk/m)
- Q: Kuyuya verilen su miktarı (lt/dk)
- P: Uygulanan gerçek basınç (kg/cm²)
- L: Kademe boyu (m)

3.4.3. Lugeon Değerine Göre Geçirimsizliğin Sınıflandırılması

Basınçlı su testi sonucunda elde edilen Lugeon değerlerine göre kayaçların geçirimsizliği sınıflandırılır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Kaya kütlelerinin Lugeon değerlerine göre geçirimsizlik sınıflandırması (Lugeon, 1933)

Lugeon Değerleri	Geçirimsizlik Sınıfı
<1 Lugeon	Geçirimsiz
1-5 Lugeon	Az geçirimli
5-25 Lugeon	Geçirimli
>25 Lugeon	Çok geçirimli

3.5. Enjeksiyon İşlemi

Barajlarda uygulanan enjeksiyon işlemi, zemini iyileştirme ve geçirimsizliği sağlamak için yapılmaktadır. Baraj su tuttuğunda zeminin içerisinde bulunan çatlak ve boşluklardan su geçişini engellemek için enjeksiyonlar uygulanır. Enjeksiyon derinlikleri zemine, gövdenin yüksekliğine ve bölgenin jeolojisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Zeminlerde kapak ve perde enjeksiyonları yapılmaktadır. Önce kapak enjeksiyonu tamamlanır daha sonra perde enjeksiyonlarının uygulamasına geçilmektedir.

Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda enjeksiyon işleri topuk plağı betonu üzerinde yapılmaktadır. Uygulama alanına göre çeşitli enjeksiyon türleri bulunmaktadır.

3.5.1. Uygulama Alanına Göre Enjeksiyon Türleri

3.5.1.1. Kontak (Dolgu) Enjeksiyonu

Tünel, galeri, denge bacası, şaft gibi yapılarda kaplama betonu ile temel kaya arasındaki boşlukları, beton ile çelik kaplama ara yüzeyindeki muhtemel boşlukları, göçük boşluklarını ve tünel sondaj makineleri (TBM) ile açılan tünellerde yapılan çeper enjeksiyonu sonrası kalabilecek boşlukları basınçlı enjeksiyonla doldurmaktır (DSİ, 2013).

3.5.1.2. Perde Enjeksiyonu

Baraj, gölet ve regülatör gibi su yapılarında memba–mansap yönünde ve göl alanında olabilecek su kaçaklarını önlemek ve/veya sızma boyunu uzatmak amacı ile yapılan enjeksiyondur (DSİ, 2013).

3.5.1.3. Kapak Enjeksiyonu

Gövde sıyırma kazıları sırasında örselenen temel kayanın iyileştirilmesi amacıyla yapılan enjeksiyondur (DSİ, 2013).

3.5.1.4. Konsolidasyon Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonunun diğer adı sağlamlaştırma enjeksiyonudur. Tünel, galeri, denge bacası çevresindeki ve herhangi bir yapının oturacağı temel kayanın iyileştirilmesi amacı ile yapılan enjeksiyondur (DSİ, 2013).

3.5.1.5. Deneme Enjeksiyonu

Bir projede enjeksiyona başlamadan önce, planlanan enjeksiyonun delikler arası mesafe, kademe boyu, enjeksiyon basınçları, karışım oranlarını ve katkı maddelerini belirlemek için yapılan enjeksiyondur (DSİ, 2013).

3.5.2. Enjeksiyon Şerbetleri

Özel olarak şerbet cinsi ve karışım oranlarının belirtilmediği yerlerde, çimento enjeksiyonlarında kullanılacak şerbetlerin karışım oranları, ağırlıkça çimento/su şeklinde aşağıdaki gibidir. (Şerbetlere ilave edilecek bentonit, kum ve diğer katkı maddeleri çimento ağırlığının %'si olarak belirtilecektir).

1. 1/1 + %1 bentonit + akışkanlaştırıcı
2. 10/9 + %1 bentonit + akışkanlaştırıcı
3. 5/4 + %1 bentonit + akışkanlaştırıcı
4. 7/5 + %1 bentonit + akışkanlaştırıcı
5. 7/5 + %1 bentonit + %25 kum + priz hızlandırıcı
6. 7/5 + %1 bentonit + %50 kum + priz hızlandırıcı
7. 7/5 + %1 bentonit + %100 kum + priz hızlandırıcı

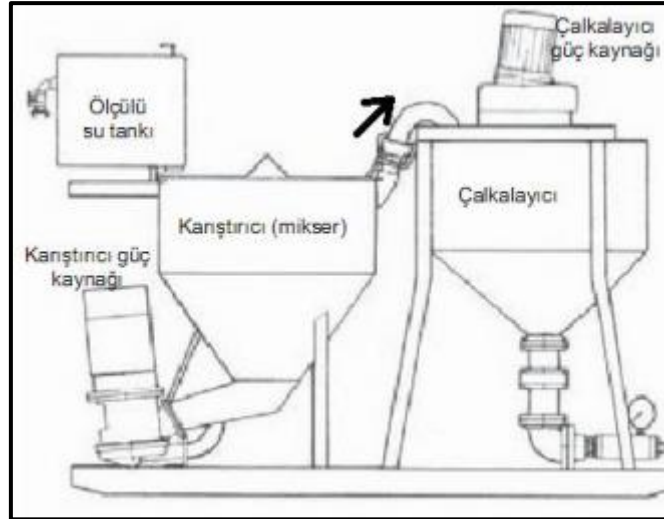
Genel olarak enjeksiyon çalışmalarında yukarıdaki karışım oranlarındaki şerbetler uygulanmaktadır. Ancak; bentonit, akışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcıların kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacaksa oranları, gerekli laboratuvar deneyleri yapıldıktan sonra belirlenmeli ve Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığının onayı alınarak kullanılmalıdır (DSİ, 2013).

3.5.3. Enjeksiyon Ekipmanları

3.5.3.1. Karıştırıcı ve Çalkalayıcı

Karıştırıcılar (mikserler), çimento, bentonit, kum, su ve gerektiğinde kimyasal katkı maddelerini homojen halde birbirine karıştırmak için mutlaka mekanik olarak çalışan, dönme hızı en az 1000 devir/dak olan ve bu karışımları 2 dakikada homojen hale getirebilen ekipmanlardır. Karıştırıcılar, minimum 250 litre ve maksimum 1000 litre hacme sahiptir. Karışıma giren maddelerin oranını dikkatle kontrol edebilmek için mikserlerin üzerinde veya yanında tartı cihazı veya hassas ölçü kapları bulundurulmalıdır (DSİ, 2013).

Çalkalayıcılar, en az mikser hacminin iki katına eşit veya daha büyük hacimde olmalıdır. Hazırlanmış olan enjeksiyon karışımını süspansiyon halinde muhafaza etmek için mekanik karıştırıcıya sahip olacaktır. Ayrıca çalkalayıcı, çimento ve bentonit şerbetlerinde 50 numaralı (0,297 mm), kumlu şerbetlerde ise 8 numaralı (2,38 mm) standart elekten geçmeyecek irilikte kum, kırıntı ve yabancı maddelerin enjeksiyon pompasına gitmesini önleyecek bir eleğe de sahip olmalıdır. Bir kuyuya veya enjeksiyon kademesine verilen enjeksiyon şerbet hacmini hassas ölçmek için çalkalayıcıda litre cinsinden hacmi belirten bir eşel sistemi olmalıdır (DSİ, 2013). Karıştırıcı ve çalkalayıcının şematik gösterimi (Şekil 3.9) verilmiştir.



Şekil 3.9. Karıştırıcı ve çalkalayıcının şematik gösterimi (Kap, 2014)

3.5.3.2. Enjeksiyon Pompası

Uygulama noktasında (kuyu veya kademede) minimum 40 kg/cm^2 çalışma basıncına sahip ve bu basınç altında en az 100 l/dak, serbest çalışma basıncı altında ise en az 120 l/dak debiye sahip dubleks tipli enjeksiyon pompaları kullanılır (DSİ, 2013).

3.5.3.3. Manometre

Uygulanacak enjeksiyon işlerine göre çeşitli kapasitede ve gliserin korumalı (yağlı) çalışan tipte manometreler kullanılacaktır. Düşük basınçlı enjeksiyonlarda 10 kg/cm^2 'lik kadrana sahip manometreler, yüksek basınçlı enjeksiyonlarda 40 kg/cm^2 'lik kadrana sahip manometreler kullanılmalıdır. Bu manometrelerin 10 kg/cm^2 'lik olanları en az 0,5 atm, 40 kg/cm^2 'lik olanları da en az 1 atm basıncı gösteren bölmelere sahip olacaktır. Manometre çapları en az 10 cm olmalıdır (DSİ, 2013).

3.5.3.4. Parkerler (Tıkaçlar)

Enjeksiyon delgilerinde kademeli enjeksiyon işlerinin yapılabilmesi için tıkaçlar kullanılır. Mekanik yolla genişleyen veya hava-sıvı yardımıyla şişirilebilen lastiğin yardımıyla tıkaç kuyu içine sıkıca tutturulur. Bu lastik yardımıyla enjeksiyon işleminin yapıldığı kademeden diğer kademe ile bağlantısı kesilmiş olur. Böylece sadece o kademede enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir (Özkan, 2006).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Arazi Çalışmaları ve Deneyler

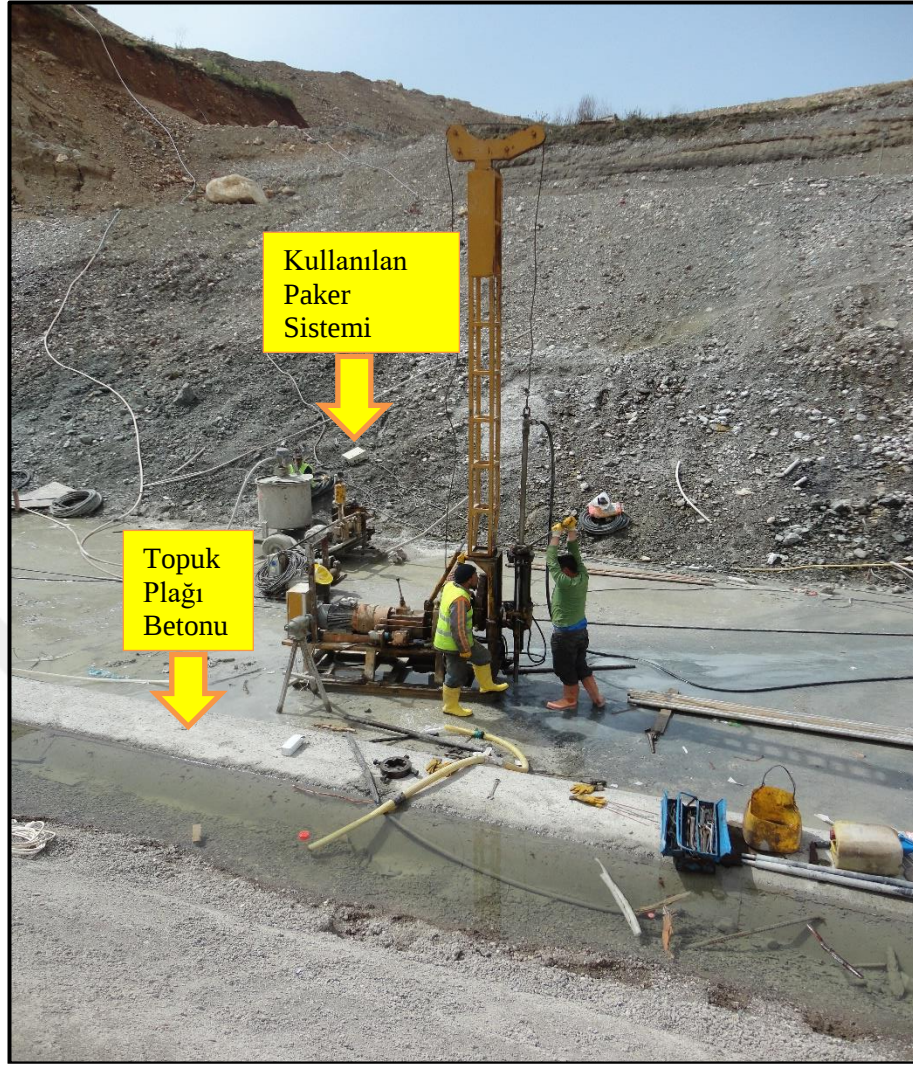
4.1.1. Basınçlı Su Testinin Uygulanması

Basınçlı su testinin (BST) yapılabilmesi için karotsuz kontrol kuyuları açılmıştır. Kontrol kuyularında planlanan kademe kadar delgi işlemi yapılmıştır. Deneyde çeşitli çaplarda ve uzunluklarda ikili paker (iki lastikli tıkaç) kullanılmıştır (Şekil 4.1). Açılan kontrol kuyularında deney derinliğine bağlı olarak paker indirilip, iki lastik arası deney kademesi boyu kadar bırakılıp, pakerler şişirilmiş ve pakerin yerine tam oturup oturmadığı aşağı yukarı oynatılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 4.1. Değişik çap ve uzunluktaki pakerler (Fener, 2019)

Basınçlı su testleri farklı kademeler halinde yapılmıştır. Deneye kontrol kuyusu tabanından başlanıp, kuyu ağzına kadar devam edilmiştir. Deneyde pompalar, su sayaçları ve hassas manometreler kullanılmıştır (Şekil 4.2). Deneye başlamadan önce kuyulardaki su seviyeleri ölçülmüştür. BST'lerden önce deney kademeleri yıkanmıştır. Deneye, deney zemini suyla doygun hale getirilerek, lineer su kaçakları sağlandıktan sonra başlanmıştır. BST sırasında her basınç kademesinde 10 dakika beklenerek, su kaçakları beşer dakikalık aralarla kaydedilmiştir. Deney zonlarına artan ve azalan basınçlar uygulanarak her kademede oluşan kaçak miktarları ölçülmüş ve deney tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlar deney formlarına işlenmiştir (EK 1). Lugeon değerleri hesaplanıp, Lu değerlerine göre geçirimsizlikler sınıflandırılmıştır. Bütün işlemler, DSİ Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon öncesi elde edilen deney sonuçlarına göre ilgili anonun su geçirimsizliği öğrenilmiş ve enjeksiyon alışları için değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 4.2. Pamukluk Barajı'nda basınçlı su testinde kullanılan paker sistemi

4.1.2. Topuk Plağı Betonu Geçirirliiliğinin İncelenmesi İçin Yapılan Basınçlı Su Testi Sonuçları ve Lugeon Değerleri

Topuk Plağı betonu, 2012 yılında dökülmeye başlanmıştır (Şekil 4.3). İlk enjeksiyon çalışmaları 2013 yılında, baraj yerinde km:0+000 ile km:0+723 arasında 5 m derinliğinde iki sıra halinde kapak enjeksiyonları ve kapak enjeksiyonları tamamlandıktan sonra 3 m ara ile 40 m derinliğinde tek sıra temel perde enjeksiyonları yapılmıştır. Geçirirliiliğin sağlanıp, sağlanmadığını kontrol etmek amacıyla, kontrol kuyuları açılmıştır. Basınçlı su testleri (BST) yapılmış, Lugeon değerlerine bakılmış ve enjeksiyonlar ile topuk plağı betonu geçirimsiz hale getirilmiştir.



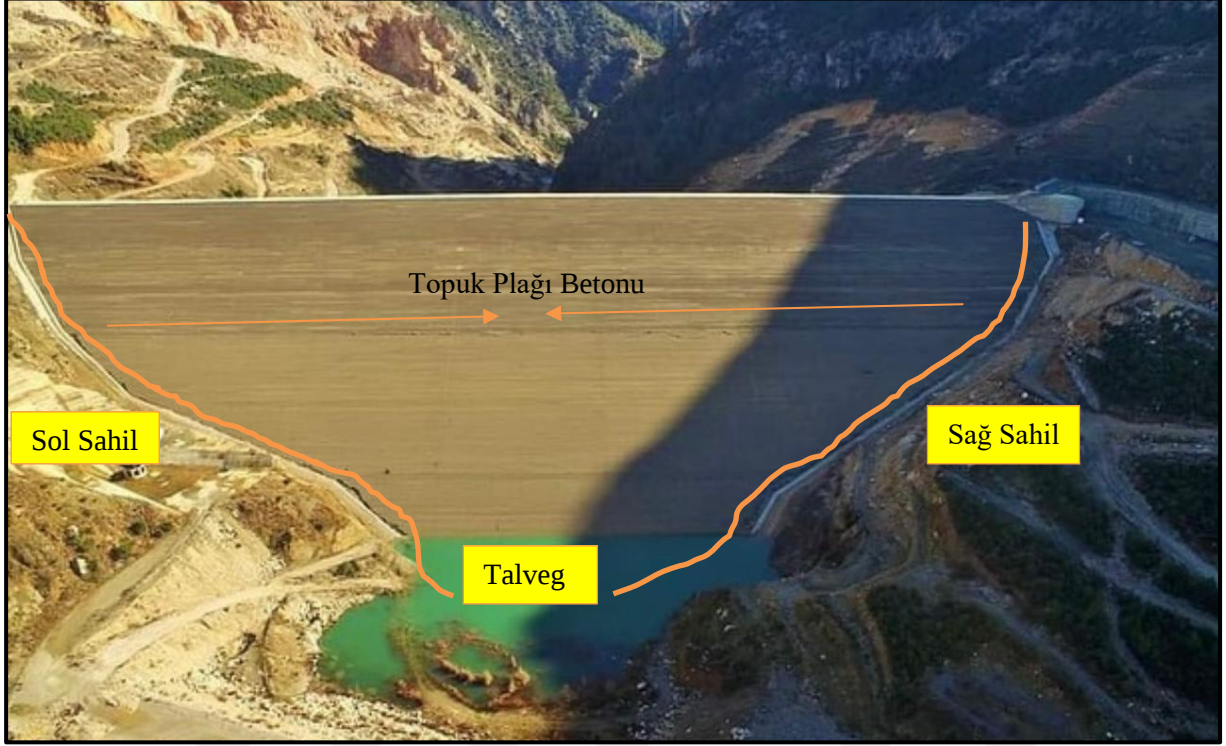
Şekil 4.3. Pamukluk Barajı topuk plağı betonu dökümü

2018 yılında baraj yapımına devam edileceğinde, baraj gövdesi ile topuk plağı betonu arası yıllarca çeşitli iç ve dış etkenlere maruz kalmıştır. Yapının güvenliği ve ileriye dönük su kaçaklarını engellemek için bu kuvvetlerin enjeksiyonlar ile topuk plağı betonunda sağlanan geçirimsizlikte bir bozulmaya sebep olup olmadığı araştırmak için enjeksiyonlar test edilmek istenmiştir. Bu esnada memba kısmı bir miktar su dolu olduğundan talvegde su birikintisi altında kalmıştır. Talvegde BST'lerin yapılabilmesi için pompa yardımı ile membadaki su çekilerek talveg ortaya çıkarılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Pamukluk Barajı'nda talvegteki suyun pompalar yardımı ile çekilmesi

Enjeksiyonların kontrolü amacıyla barajın memba kısmında bulunan; sol sahil, sağ sahil ve talvegde 33 adet temel sondaj kuyuları açılmış ve bu kuyuların alışlarının incelenmesi amacıyla 119 adet basınçlı su testi yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Pamukluk Barajı sol sahil, talveg, sağ sahil ve topuk plağı betonu görünümü

“Mersin ili, Tarsus ilçesi, Pamukluk Barajı ikmal 1. kısım” işi kapsamında 2013 yılında; temel kapak ve perde enjeksiyonları tamamlanan ve enjeksiyon sonuç raporları onaylanan enjeksiyon işinin kontrolü ve geçirimsizlik potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla; arazi çalışmaları kapsamında 14.03.2018-19.03.2018 tarihleri arasında sol sahilde 10 adet toplam 115 m enjeksiyon kontrol kuyusunda 33 adet BST, 15.09.2018-21.09.2018 tarihleri arasında sağ sahilde 11 adet toplam 135 m enjeksiyon kontrol kuyusunda 42 adet BST ve 24.10.2020-07.11.2020 tarihleri arasında talvegde olmak üzere 11 adet toplam 165 metre enjeksiyon kontrol kuyusunda 44 adet BST yapılmıştır. Sol sahil, sağ sahil ve talvegde toplamda 33 adet temel sondaj kuyusu açılmış olup bu kuyuların alışlarının incelenmesi amacıyla da toplamda 119 adet BST yapılmıştır (DSİ, 2021) (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Pamukluk Barajı'nda talveg ve sağ sahildeki topuk plağı betonunu basınçlı su testi ve enjeksiyon uygulaması



Şekil 4.7. Pamukluk Barajı'nda talveg ve sol sahildeki topuk plağı betonunu basınçlı su testi ve enjeksiyon uygulaması

BST'ler tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlar, Lugeon değerleri ve Lu değerlerine bakılarak geçirimsizlikler sınıflandırılmış ve deney formlarına işlenmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Pamukluk Barajı'nda yapılan basınçlı su testlerinden elde edilen Lugeon değerleri
(DSİ, 2021)

BST KUYULARI LUGEON DEĞERLERİ				
KUYU ADI	KUYU BOYU (m)	KADEME (m)	LUGEON	AÇIKLAMA
SOL K-1	10,00	0-2,5	47,55	Çok geçirimli
		2,5-5	52,96	Çok geçirimli
		5-10	4,15	Az geçirimli
SOL K-2	10,00	0-2,5	2,37	Az geçirimli
		2,5-5	0,36	Geçirimsiz
		5-10	0,73	Geçirimsiz
SOL K-3	10,00	0-2,5	13,60	Geçirimli
		2,5-5	5,67	Geçirimli
		5-10	2,96	Az geçirimli
SOL K-4	10,00	0-2,5	2,455	Az geçirimli
		2,5-5	3,75	Az geçirimli
		5-10	1,13	Az geçirimli
SOL K-5	10,00	0-2,5	2,25	Az geçirimli
		2,5-5	2,12	Az geçirimli
		5-10	1,05	Az geçirimli
SOL K-6	10,00	0-2,5	8,62	Geçirimli
		2,5-5	1,95	Az geçirimli
		5-10	0,81	Geçirimsiz
SOL K-7	10,00	0-2,5	2,01	Az geçirimli
		2,5-5	1,87	Geçirimsiz
		5-10	0,15	Geçirimsiz
SOL K-8	10,00	0-2,5	1,93	Az geçirimli
		2,5-5	0,00	Geçirimsiz
		5-10	0,04	Geçirimsiz
SOL K-9	25,00	0-2,5	2,01	Az geçirimli
		2,5-5	2,03	Az geçirimli
		5-10	1,29	Az geçirimli
		10-15	0,70	Geçirimsiz
		15-20	0,68	Geçirimsiz
		20-25	0,40	Geçirimsiz

KUYU ADI	KUYU BOYU (m)	KADEME (m)	LUGEON	AÇIKLAMA
SOL K-10	10,00	0-2,5	19,53	Geçirimli
		2,5-5	2,11	Az geçirimli
		5-10	1,20	Az geçirimli
SAĞ K-1	17,00	0-2	29,40	Az geçirimli
		2-7	BETON	
		7-9,5	1,29	Az geçirimli
		9,5-12	0,70	Az geçirimli
		12-17	0,68	Az geçirimli
SAĞ K-2	12,00	0-2	12,66	Geçirimli
		2-4,5	1,22	Az geçirimli
		4,5-7	2,23	Az geçirimli
		7-12	0,44	Geçirimsiz
SAĞ K-3	12,00	0-2	5,53	Geçirimli
		2-4,5	2,46	Az geçirimli
		4,5-7	1,31	Az geçirimli
		7-12	0,67	Geçirimsiz
SAĞ K-4	12,00	0-2	5,13	Geçirimli
		2-4,5	0,83	Geçirimsiz
		4,5-7	1,19	Az geçirimli
		7-12	1,21	Az geçirimli
SAĞ K-5	10,00	0-2,5	6,06	Geçirimli
		2,5-5	1,78	Az geçirimli
		5-10	1,37	Geçirimsiz
SAĞ K-6	12,00	0-2	2,56	Az geçirimli
		2-4,5	0,00	Geçirimsiz
		4,5-7	1,17	Az geçirimli
		7-12	0,61	Geçirimsiz
SAĞ K-7	12,00	0-2	0,25	Geçirimsiz
		2-4,5	1,03	Az geçirimli
		4,5-7	1,28	Az geçirimli
		7-12	0,67	Geçirimsiz
SAĞ K-8	10,00	0-2,5	4,17	Az geçirimli
		2,5-5	1,78	Az geçirimli
		5-10	1,37	Az geçirimli

KUYU ADI	KUYU BOYU (m)	KADEME (m)	LUGEON	AÇIKLAMA
SAĞ K-9	13,00	0-3	6,53	Geçirimli
		3-5,5	6,08	Geçirimli
		5,5-8	1,50	Az geçirimli
		8-13	0,94	Geçirimsiz
SAĞ K-10	12,00	0-2	19,70	Geçirimli
		2-4,5	4,65	Az geçirimli
		4,5-7	5,41	Az geçirimli
		7-12	0,73	Geçirimsiz
SAĞ K-11	13,00	0-3	8,53	Geçirimli
		3-5,5	7,22	Geçirimli
		5,5-8	10,04	Geçirimli
		8-13	0,86	Geçirimsiz
TLVG K-1	15,00	0-2,5	2,21	Az geçirimli
		2,5-5	1,54	Az geçirimli
		5-10	0,07	Geçirimsiz
		10-15	0,19	Geçirimsiz
TLVG K-2	15,00	0-2,5	2,25	Az geçirimli
		2,5-5	0,85	Geçirimsiz
		5-10	0,21	Geçirimsiz
		10-15	0,15	Geçirimsiz
TLVG K-3	15,00	0-2,5	2,13	Az geçirimli
		2,5-5	0,81	Geçirimsiz
		5-10	0,23	Geçirimsiz
		10-15	0,06	Geçirimsiz
TLVG K-4	15,00	0-2,5	2,29	Az geçirimli
		2,5-5	0,93	Geçirimsiz
		5-10	0,23	Geçirimsiz
		10-15	0,21	Geçirimsiz
TLVG K-5	15,00	0-2,5	4,49	Az geçirimli
		2,5-5	1,54	Az geçirimli
		5-10	0,36	Geçirimsiz
		10-15	0,23	Geçirimsiz

KUYU ADI	KUYU BOYU (m)	KADEME (m)	LUGEON	AÇIKLAMA
TLVG K-6	15,00	0-2,5	2,23	Az geçirimli
		2,5-5	1,46	Az geçirimli
		5-10	0,30	Geçirimsiz
		10-15	0,13	Geçirimsiz
TLVG K-7	15,00	0-2,5	2,25	Az geçirimli
		2,5-5	1,01	Az geçirimli
		5-10	0,27	Geçirimsiz
		10-15	0,16	Geçirimsiz
TLVG K-8	15,00	0-2,5	2,45	Az geçirimli
		2,5-5	1,05	Az geçirimli
		5-10	0,27	Geçirimsiz
		10-15	0,19	Geçirimsiz
TLVG K-9	15,00	0-2,5	4,05	Az geçirimli
		2,5-5	0,24	Geçirimsiz
		5-10	0,40	Geçirimsiz
		10-15	0,13	Geçirimsiz
TLVG K-10	15,00	0-2,5	2,29	Az geçirimli
		2,5-5	1,46	Az geçirimli
		5-10	0,28	Geçirimsiz
		10-15	0,04	Geçirimsiz
TLVG K-11	15,00	0-2,5	2,21	Az geçirimli
		2,5-5	0,89	Geçirimsiz
		5-10	0,32	Geçirimsiz
		10-15	0,15	Geçirimsiz

Basınçlı su testleri yapılırken sol sahil, sağ sahil ve talvegde olmak üzere bölümlendirilmiştir. İlk enjeksiyonların kontrolü amacıyla yapılan BST sonuçlarına göre;

- Sol sahilde 0-2,5 m arasındaki kademelerde SOL K-1, SOL K-3, SOL K-10 kuyularında 3 Lugeonun üzerinde çok geçirimli değerler görülmüştür. 2,5-5 m arası kademeler ise genellikle geçirimsiz özellikte olduğu değerlendirilmiştir. Perde enjeksiyonunun derivasyon tüneli ile kesiştiği bölgede yapılan SOL K-9 25 m derinlikte olan kuyuda Lugeon değerlerinin 3 Lugeonun altında olduğu görülmüştür.

- Sağ sahilde çoğunlukla 0-2,00 m arasındaki kademelerde Lugeon değerlerinin 3 Lugeonun üzerinde olduğu hatta yer yer 29,40 Lugeona kadar ulaşan sonuçların elde edildiği, daha alt kademelerde ise 3 Lugeon altında değerler olduğu görülmüştür.
- Talvegte yapılan basınçlı su testlerinde 0-2,5 m arasındaki kademelerde sadece TLVG K-5 ve TLVG K-9 kuyularında Lugeon değerlerinin 3 Lugeonun üzerinde olduğu, diğer kuyuların tüm kademelerde geçirimsiz olduğu görülmüştür.

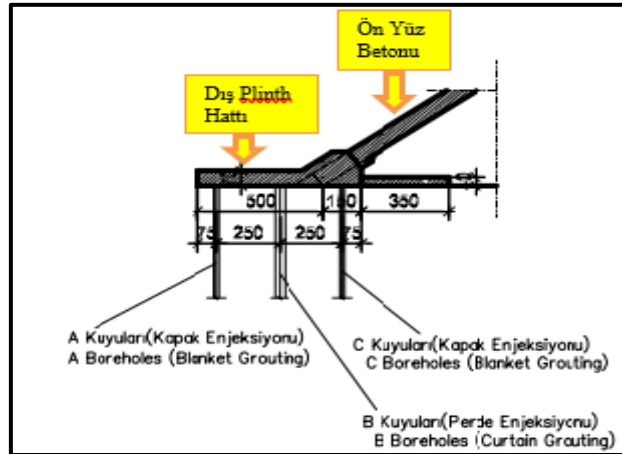
4.1.3. Topuk Plağı Betonu Geçirimliliğinin Değerlendirilmesi ve Enjeksiyon Yapma Gerekliliği

2018 yılında ilk enjeksiyonları tamamlanmış olan zeminde bir su kaçağı olmadığı ancak topuk plağı betonu ile zemin arasında 0-2,5 m arasında su kaçağı olduğu anlaşılmıştır. Topuk plağı betonu ile zemin arasında oluşabilecek su kaçaklarını önleyebilmek amacıyla memba tarafında tüm topuk plağı betonu hattı boyunca 3 m aralıklar ve 5 m derinliğinde tek sıra 241 adet 1325,5 m A sırası kapak kuyularının açılması ve enjeksiyon yapılması uygun görülmüştür.

4.1.4. Enjeksiyon Çalışmaları

4.1.4.1. Enjeksiyon Deliklerinin Açılması ve Yıkılması

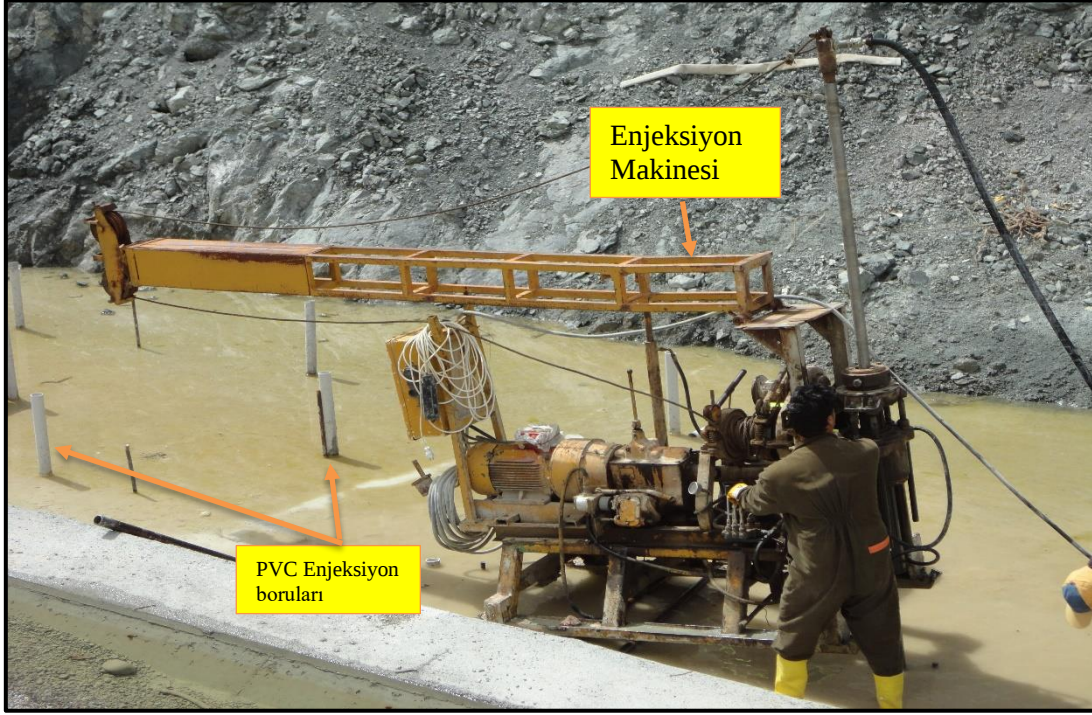
241 adet A sırası kapak kuyuları betonda 0,5 m ve kayada 5 metre boyunda delinmiştir (Şekil 4.8). A sırası kapak kuyularının, delgi ve enjeksiyon işlemleri sonunda, 1325,50 m delgi işlemi yapılmıştır. Enjeksiyon delikleri kuyu taban çapı en az 56 mm olacak şekilde su sirkülasyonlu rotary tip sondaj makineleri ile delinmiştir. Delgi işlemi biten kuyular enjeksiyondan önce basınçlı su ile yıkanmıştır. Her enjeksiyon kademesinin her bir metresi için en az bir dakika boyunca yıkama yapılmıştır. Yıkama işlemine su jeti delik dibine tutularak dönüş suyu berrak gelinceye kadar devam edilmiştir.



Şekil 4.8. Pamukluk Barajı A sırası kapak kuyusu kesiti (DSİ, 2008)

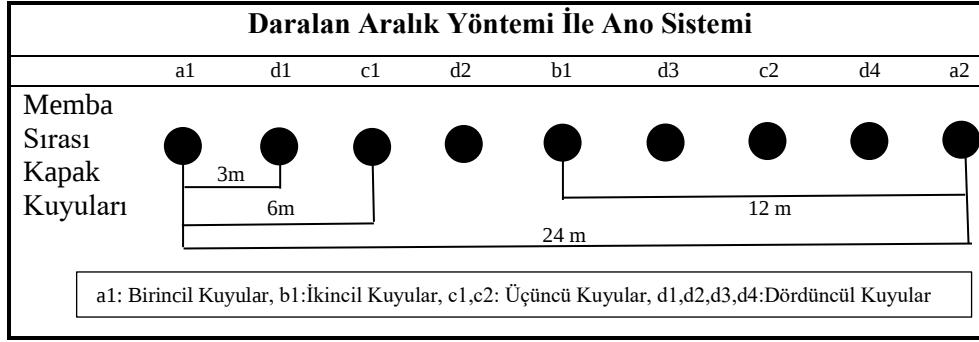
4.1.4.2. Kapak Kuyuları Enjeksiyonları

Gövde boyunca topuk plağı betonuyla gövde arasındaki muhtemel su kaçaklarının önlenmesi amacıyla barajın memba kısmında 5 m derinliğinde ve 3 m aralıklarla tek sıra kapak kuyuları açılmıştır. Enjeksiyona aşağıdan yani talveg seviyesinden başlanarak yukarıya yani sol ve sağ sahilde yamaçlara doğru sırasıyla enjeksiyon uygulanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Pamukluk Barajı'nda talvegde enjeksiyon uygulaması

Pamukluk Barajı delgileri ve kapak kuyularının enjeksiyon uygulamasında ano sistemi oluşturulmuştur. Enjeksiyonlarda daralan aralık yöntemi ile ano sistemi kullanılmıştır ve enjeksiyon bu sisteme göre uygulanmıştır. Daralan aralık yönteminin kullanılmasının nedeni yapılan enjeksiyonun diğer enjeksiyonlara karışmamasıdır. Ano boyu 24 m olarak projelendirilmiş ve projedeki boyutta uygulanmıştır. Enjeksiyon yapılacak eksen 24 m'lik parçalara bölünerek anolar tespit edilmiştir. Her anoda; önce ano başı ve ano sonu kuyuları (a delikleri) açılarak, enjeksiyon yapılmıştır. Sonra her anonun ortasına denk gelen (iki a deliğinin orta noktası) b1 deliği açılmış ve enjeksiyonu yapılmıştır. Daha sonra bu noktaların arasına girerek üçüncül (c1,c2) ve en son dördüncül (d1,d2,d3,d4) kuyuların delikleri açılmış ve enjeksiyonları yapılarak anonun enjeksiyonu tamamlanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Pamukluk Barajı'nda daralan aralık metodu ile 24 m'lik anonun enjeksiyonunun yapılışı (DSİ, 2021)

Delgilerde 0,00 – 5,00 m arası iki kademe halinde enjeksiyon yapılmıştır. Uygulanan enjeksiyonlarda aşağıdan yukarı doğru çıkan kademeler metodu kullanılmıştır. Parker (tıkaç), en alttaki kademeyi enjekte etmek üzere yerleştirilerek en alttaki kademenin enjeksiyonu yapılmıştır. Kademe refü şartı yani kuyunun doygunluğu sağlandıktan sonra bir üstteki kademenin enjeksiyonuna geçilmiştir. Sonra tıkaç, bir üstteki kademeyi enjekte etmek üzere yukarıya alınarak, aşağıdan yukarıya doğru ikinci kademenin enjeksiyonu yapılmıştır. Bu işleme kuyu ağzına kadar devam edilmiştir.

Tablo 4.2. Pamukluk Barajı A sırası kapak kuyularında uygulanan enjeksiyon basınçları (DSİ, 2021)

Kademe	Kademe Ortası	Pt (Efektif Basınç)	Uygulanan Basınç
0-2,5	1,25	0,41	0,5
2,5-5	3,75	1,24	1,0
5-10	7,5	2,48	2,0

Enjeksiyonda verilen basınçlar derinliğe göre değişmektedir. Her kademe için aynı basınç kullanılmaz (Tablo 4.2). Efektif basınç diğer adıyla enjeksiyon basıncı (P_T), kg/cm^2 cinsinden aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_T = 0,33 \times H \quad (4.1.)$$

P_T = Enjeksiyon Basıncı.

H = Metre cinsinden kademe ortası kuyu ağzı arası mesafe.

$$P_T = 0,33 \times 1,25 = 0,41$$

$$P_T = 0,33 \times 3,75 = 1,24$$

$$P_T = 0,33 \times 7,5 = 2,48$$

4.1.4.3. Kontrol Kuyuları

Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu hattında yapılan delgi ve enjeksiyon uygulamaları esnasında yapılan enjeksiyonları test etmek amacıyla 16 tane kontrol kuyusu açılmıştır. Kontrol kuyuları betonda 0,5 m ve kayada 5 m derinlikte, karotsuz açılmıştır. Her 2,5 m de bir iki kademeli ve şartnameye uygun olarak toplam 32 tane BST yapılmıştır. Kontrol kuyuları dik olarak açılmıştır. Kontrol kuyularındaki basınçlı su testleri tamamlandıktan sonra enjeksiyonları yapılarak doldurulmuşlardır.

4.1.5. Enjeksiyonda Kullanılan Malzemeler

Enjeksiyon işlemlerinde, çimento, bentonit ve kimyasal katkı malzemeleri kullanılmıştır.

4.1.5.1. Çimento

Çimento enjeksiyonun ana maddesidir. Sülfata dayanıklı çimentoların kullanılacağı yerlerin haricindeki bütün enjeksiyon işlerinde CEM-I veya CEM-II tipi çimento kullanılmaktadır. CEM-II tipi katkılı çimentolarda katkı miktarı 'A' tipinde (az katkılı) olmaktadır. CEM-II tipi katkılı çimentoların sulu ortamlarda daha dayanıklıdır (DSİ, 2013).

Pamukluk Barajı'nda kapak enjeksiyonu uygulamasında toplam 5003,73 kg CemII / A-M (P-L) 42,5 çimento kullanılmıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Karışımda kullanılan çimentonun özellikleri

Tipi	CemII / A-M (P-L) 42,5
Bileşenler	Klinker: %80-%88, Puzolan+Kalker: %12-%20, Priz düzenleyici Kalsiyum Sülfat
Özgül Yüzey	4500-4700 cm ² /g
Özgül Ağırlık (Yoğunluk)	3,00-3,05 gr/cm ³

4.1.5.2. Bentonit

Pamukluk Barajı'nda enjeksiyon karışımlarında çimento miktarının %1'i kadar bentonit kullanılmıştır. Pamukluk Barajı kapak enjeksiyonu uygulamasında toplam 50,04 kg bentonit kullanılmıştır.

4.1.5.3. Su

Pamukluk Barajı'nda kapak enjeksiyonu uygulamasında temiz ve berrak nitelikte su kullanılmıştır.

4.1.5.4. Enjeksiyon Kimyasal Katkı Malzemeleri

Enjeksiyonların çabuk katılaşması istenilen yerlerde kimyasal katkı maddeleri (akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcılar, vb.) kullanılmaktadır (Alkaya ve Yeşil, 2011).

Pamukluk Barajı'nda kapak enjeksiyonu uygulamasında toplam 50,04 kg akışkanlaştırıcı (Rheobuild 1000T) kullanılmıştır. Master Rheobuild 1000T, betonun erken ve nihai dayanımını geliştiren, naftalin sülfonat esaslı, yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı bir katkı maddesidir (Sika Group, 2024).

4.1.6. Kullanılan Şerbet Karışım Oranları

Bu çalışmada topuk plağı betonuyla gövde arasındaki geçirimsizliliğin sağlanması için kullanılacak enjeksiyon karışımı hazırlanırken çimento/su + %1 bentonit + %1 akışkan enjeksiyon şerbet karışım oranı kullanılmıştır. Şerbet karışım oranlarını ve enjeksiyon basınçlarının belirlenmesi için önceden deneme enjeksiyonları yapılmaktadır. Şerbetlere ilave edilecek bentonit ve katkı malzemeleri çimento ağırlığının %'si olarak belirtilmiştir. Su kaybı yüksek olan yerlere dozajı yüksek şerbet uygulanmaktadır.

Pamukluk Barajı mikser hacimleri hesaplanıp alttaki tabloda verilmiştir (Tablo 4.4);

Suyun özgül ağırlığı = 1,0 gr/cm³

Çimentonun özgül ağırlığı = 3,1 gr/cm³

Bentonit özgül ağırlığı = 1,06 gr/cm³

Akışkanın özgül ağırlığı = 1,16 gr/cm³

1/1 Mikser Hacmi= $150/3,1 + 150/1 + 1,5/1,06 + 1,5/1,16 = 201$ lt

10/9 Mikser Hacmi= $150/3,1 + 135/1 + 1,5/1,06 + 1,5/1,16 = 186$ lt

5/4 Mikser Hacmi = $150/3,1 + 120/1 + 1,5/1,06 + 1,5/1,16 = 171$ lt

Tablo 4.4. Pamukluk Barajı'nda enjeksiyon sırasında uygulanan karışımların mikser hacimleri

Karışım Oranı	Çimento (kg)	Su (lt) (Miksere alınan su+bentonitten gelen su)	Bentonit (kg)	Katkı (kg)	Kum (kg)	Mikser Hacmi (lt)
1/1	150	135+15=150	1,5	1,5	-	201
10/9	150	120+15=135	1,5	1,5	-	186
5/4	150	105+15=120	1,5	1,5	-	171

4.1.7. Delgi ve Enjeksiyon İcmal Tabloları

A sırası kapak kuyularının, delgi ve enjeksiyon işlemleri sırasında 241 adet kuyuda, $(241 \times 0,5) + (241 \times 5) = 1325,50$ m delgi işlemi yapılmış ve $10,68 \text{ m}^3$ enjeksiyon enjekte edilmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Pamukluk Barajı A-sırası kapak kuyuları uygulama miktarları (DSİ, 2021)

Uygulama Metresi	Enjeksiyon (lt)	Çimento (kg)	Bentonit (kg)	Kimyasal (kg)
Toplam 1325,50	10.685,00	8.183,02	81,83	81,83

Kontrol kuyularının, delgi ve enjeksiyon işlemleri sırasında 16 adet kuyuda, $(16 \times 0,5) + (16 \times 5) = 80$ m delgi işlemi yapılmış ve $0,58 \text{ m}^3$ enjeksiyon enjekte edilmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Pamukluk Barajı kontrol kuyuları uygulama miktarları (DSİ, 2021)

Uygulama Metresi	Enjeksiyon (lt)	Çimento (kg)	Bentonit (kg)	Kimyasal (kg)
Toplam 88,00	575,00	429,10	4,29	4,29

Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu ile gövde arasında A sırası kapak kuyularında ve kontrol kuyularında toplamda 1413,5 m delgi işlemi yapılmış ve $11,26 \text{ m}^3$ enjeksiyon enjekte edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Pamukluk Barajı A sırası kapak kuyularına ve kontrol kuyularına uygulanan toplam icmal (DSİ, 2021)

Uygulama Metresi	Enjeksiyon (lt)	Çimento (kg)	Bentonit (kg)	Kimyasal (kg)
Toplam 1413,50	11.260,00	8.612,12	86,12	86,12

4.1.8. Refü Şartı

Refü şartı, enjeksiyonu tamamlanan bir kademenin enjeksiyona doyduğu anlamak ve enjeksiyon işlemine son vermek için kademenin enjeksiyon basıncında, kabul edilen veya daha az miktarda şerbet alma durumudur.

Şerbet karışımlarında, istenen basınç elde edilip 10 dakikalık zamanda kademe şerbet yemediği zaman, başlangıç şerbetine geçilip ve enjeksiyona bu şerbetle devam edilmiştir. Kademe 20 dakika içinde 0,6 litre/metre/dakika veya daha az şerbet yemiştir, refü elde edilmiş sayılmıştır ve bu kademenin enjeksiyon işlemleri durdurulup diğer kademe veya başka bir deliğin enjeksiyonuna geçilmiştir. Bu miktar 5 m'lik bir kademe için 60 lt şerbet anlamına gelmektedir (DSİ, 2013).

4.1.9. Delgi ve Enjeksiyon İşlemleri Esnasında Kontrol Kuyularında Yapılan Basıncılı Su Testi Sonuçları ve Lugeon Değerleri

Topuk plağı betonu ile gövde arasını geçirimsiz hale getirebilmek için ikinci kez enjeksiyon uygulaması yapılmıştır. Projeye uygun olarak enjeksiyonları tamamlanan A sırası kapak kuyularının enjeksiyonlarını test etmek amacıyla; sol sahilde 7 adet, sağ sahilde 4 adet ve talvegde 5 adet olmak üzere toplamda 16 tane kontrol kuyusu 5 m derinlikte açılmıştır. Kontrol kuyularında her 2,5 m de bir toplam 32 tane basınçlı su testi yapılmıştır. Basınçlı su testi sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Kontrol kuyularına basınçla verilen berrak suyun kademe tarafından alınan su miktarı, su saati ile ölçülen su kaybı tabloda litre cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.8. KK-1 Basıncılı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-1 (B125-B126)	28.04.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	7	0,43	Geçirimsiz
	2	3			
	1	2			
2,50-5,00	2	1	5	0,34	Geçirimsiz
	4	3			
	2	1			

Tablo 4.9. KK-2 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No KK-2 (B141-B142)	Tarih 28.04.2021		Derinlik: 5 m		
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	9	0,79	Geçirimsiz
	2	4			
	1	3			
2,50-5,00	2	2	7	0,38	Geçirimsiz
	4	4			
	2	1			

Tablo 4.10. KK-3 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No KK-3 (B157-B158)	Tarih 28.04.2021		Derinlik: 5 m		
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	3	10	0,83	Geçirimsiz
	2	5			
	1	2			
2,50-5,00	2	1	3	0,04	Geçirimsiz
	4	1			
	2	1			

Tablo 4.11. KK-4 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No KK-4 (B112-B113)	Tarih 21.05.2021		Derinlik: 5 m		
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	9	1,22	Az Geçirimli
	2	4			
	1	3			
2,50-5,00	2	3	10	0,42	Geçirimsiz
	4	5			
	2	2			

Tablo 4.12. KK-5 Basıncılı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih	Derinlik: 5 m			
KK-5 (B65-B66)	21.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	7	0,79	Geçirimsiz
	2	4			
	1	1			
2,50-5,00	2	5	21	0,96	Geçirimsiz
	4	10			
	2	6			

Tablo 4.13. KK-6 Basıncılı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih	Derinlik: 5 m			
KK-6 (B58-B59)	23.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	1	2	0,04	Geçirimsiz
	2	1			
	1	0			
2,50-5,00	2	3	14	0,73	Geçirimsiz
	4	7			
	2	4			

Tablo 4.14. KK-7 Basıncılı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih	Derinlik: 5 m			
KK-7 (B49-B50)	23.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	3	10	0,83	Geçirimsiz
	2	5			
	1	2			
2,50-5,00	2	2	6	0,23	Geçirimsiz
	4	3			
	2	1			

Tablo 4.15. KK-8 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-8 (B44-B45)	25.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	1	4	0,39	Geçirimsiz
	2	2			
	1	1			
2,50-5,00	2	4	16	0,61	Geçirimsiz
	4	7			
	2	5			

Tablo 4.16. KK-9 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-9 (B29-B30)	25.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	6	20	1,3	Az Geçirimli
	2	9			
	1	5			
2,50-5,00	2	2	7	0,23	Geçirimsiz
	4	3			
	2	2			

Tablo 4.17. KK-10 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-10 (B21-B22)	26.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	1	5	0,75	Geçirimsiz
	2	3			
	1	1			
2,50-5,00	2	4	15	0,61	Geçirimsiz
	4	7			
	2	4			

Tablo 4.18. KK-11 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-11 (B12-B13)	26.05.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	3	10	0,83	Geçirimsiz
	2	5			
	1	2			
2,50-5,00	2	1	3	0,04	Geçirimsiz
	4	1			
	2	1			

Tablo 4.19. KK-12 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-12 (B82-B83)	16.09.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	8	0,47	Geçirimsiz
	2	4			
	1	2			
2,50-5,00	2	1	5	0,34	Geçirimsiz
	4	3			
	2	1			

Tablo 4.20. KK-13 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-13 (B177-B178)	04.07.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	4	12	0,87	Geçirimsiz
	2	5			
	1	3			
2,50-5,00	2	1	6	0,35	Geçirimsiz
	4	3			
	2	2			

Tablo 4.21. KK-14 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-14 (B181-B182)	14.07.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	3	11	0,83	Geçirimsiz
	2	5			
	1	3			
2,50-5,00	2	1	4	0,32	Geçirimsiz
	4	3			
	2	0			

Tablo 4.22. KK-15 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-15 (B205-B206)	11.07.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	2	8	0,51	Geçirimsiz
	2	4			
	1	2			
2,50-5,00	2	1	4	0,19	Geçirimsiz
	4	2			
	2	1			

Tablo 4.23. KK-16 Basınçlı su testi sonuçları (DSİ, 2021)

Kuyu No	Tarih		Derinlik: 5 m		
KK-16 (B224-B225)	11.07.2021				
Kademe	Basınç	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı	Lugeon	Açıklama
0,00-2,50	1	4	13	0,87	Geçirimsiz
	2	6			
	1	3			
2,50-5,00	2	2	10	0,53	Geçirimsiz
	4	5			
	2	3			

16 kontrol kuyusunda 0-2,5 m ve 2,5-5 m aralığında yapılan 32 adet basınçlı su testi sonucuna bakıldığında kademelerdeki geçirimsizlik değerleri DSI'nin geçirimsiz kabul ettiği sınır değeri olan Lugeon değeri 3'ün altında kalmıştır.

4.1.10. Enjeksiyon Alış Grafiği

İkinci enjeksiyonun alış grafiği incelendiğinde kontrol kuyularındaki alışların 10 kg/m altında olduğu görülmektedir (Ek 2).



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; Mersin ili Tarsus ilçesinde bulunan Pamukluk Barajı'nda topuk plağı betonu (plinth hattı betonu) üzerindeki geçirimsizlik potansiyeli incelenmiştir. İlk enjeksiyonları 2013 yılında tamamlanan, uygulanan kapak ve perde enjeksiyonlarıyla geçirimsizliği sağlanan baraj gövdesi ile topuk plağı betonu arasının, 2018 yılında baraj inşasına devam edilirken, yıllarca çeşitli iç ve dış etkenlere maruz kalmasından dolayı geçirimsizliğinde bir bozulma olup olmadığı, yapının güvenliği ve ileriye dönük geçirimsizlik problemlerinin önlenmesi amacıyla enjeksiyonlar test edilmek istenmiştir. İlk enjeksiyonların kontrolü amacıyla, açılan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı su testi (BST) anlatılmış ve sonuçları irdelenmiştir. İlk enjeksiyonların kontrolü amacıyla sol sahilde 33 adet, sağ sahilde 42 adet, talvegde 44 adet yapılan BST sonuçlarına göre;

- Lugeon değerlerine göre geçirimsizlikler sınıflandırılmıştır. Enjeksiyon uygulamanın geçerliliği için DSİ'nin geçirimsiz kabul ettiği sınır değeri 3 Lugeon değerinin altıdır.
- Elde edilen sonuçlar; bölgelere göre sol sahil, sağ sahil ve talveg olmak üzere değerlendirilmiştir.
- Sol sahilde 0-2,5 m arasındaki kademelerde SOL K-1, SOL K-3, SOL K-10 kuyularında 3 Lugeonun üzerinde çok geçirimli değerler görülmüştür. 2,5-5 m arası kademelerin ise genellikle geçirimsiz özellikte olduğu değerlendirilmiştir. Perde enjeksiyonunun derivasyon tüneli ile kesiştiği bölgede yapılan SOL K-9 25 m derinlikte olan kuyuda Lugeon değerlerinin 3'ün altında olduğu görülmüştür.
- Sağ sahilde çoğunlukla 0-2,00 m arasındaki kademelerde Lugeon değerlerinin 3'ün üzerinde olduğu hatta yer yer 29,40 Lugeona kadar ulaşan sonuçların elde edildiği, daha alt kademelerde ise 3 Lugeon altında değerler olduğu görülmüştür.
- Talvegde yapılan basınçlı su testlerinde 0-2,5 m arasındaki kademelerde sadece TLVG K-5 ve TLVG K-9 kuyularında Lugeon değerlerinin 3'ün üzerinde olduğu, diğer kuyuların tüm kademelerde geçirimsiz olduğu görülmüştür.

İlk enjeksiyonları tamamlanmış olan zeminde bir su kaçağı olmadığı ancak topuk plağı betonu ile zemin arasında 0-2,5 m arasında su kaçağı olduğu anlaşılmıştır. Topuk plağı betonu ile zemin arasında oluşabilecek su kaçaklarını önleyebilmek ve geçirimsiz hale getirebilmek amacıyla memba tarafında tüm topuk plağı betonu hattı boyunca 3 m aralıklar ve betonda 0,5 m, kayada 5 m derinliğinde toplamda 1325,5 m tek sıra 241 adet A sırası kapak kuyularının açılması ve enjeksiyon yapılması uygun görülmüştür. Uygulanan ikinci enjeksiyon işlemi ele alınmıştır. Uygulanan enjeksiyonların test etmek amacıyla yapılan BST sonuçlarına bakılarak topuk plağı betonu ile zemin arasındaki geçirimsizliğin çözülüp çözülemediği araştırılmıştır.

- 5 m derinlikte; sol sahilde 7 adet, sağ sahilde 4 adet ve talvegte 5 adet olmak üzere toplamda 16 adet kontrol kuyusu açılmıştır. Her kontrol kuyusunda iki adet, toplamda 32 adet BST deneyi yapılmıştır.
- Lugeon değerlerine göre geçirimsizlikler sınıflandırılmıştır. Enjeksiyon uygulamanın geçerliliği için DSI'nin geçirimsiz kabul ettiği sınır değeri 3 Lugeon değerinin altıdır.
- 16 kontrol kuyusunda 0-2,5 m ve 2,5-5 m aralığında yapılan 32 adet BST deneyleri sonuçlarına bakıldığında kademelerdeki geçirimsizlik değerleri 3 Lugeonun altında kalmıştır.

Sonuç olarak, ikinci enjeksiyonu test etmek amacıyla yapılan basınçlı su deneylerinden elde edilen Lugeon değerleri dikkate alındığında tüm kuyulardaki Lugeon değerleri, DSI'nin geçirimsiz kabul ettiği sınır değeri olan 3'ün altında kalmıştır. Dolayısıyla enjeksiyonun yeterli olduğu, uygulama parametrelerinin çalışma alanı içindeki jeolojik yapıya uygun olarak yapıldığı değerlendirilmiştir. Pamukluk Barajı'nda uygulanan enjeksiyon sonucunda topuk plağı betonu ile zemin arasındaki geçirimsizliğin sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Barajların uzun ömürlü ve performanslı kullanılması için amacıyla barajların belli periyotlarla geçirimsizliklerinin test edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD (2018). Deprem Tehlike Haritası. 03 Kasım 2023 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> adresinden erişildi.
- Akbulut, S., (1999). Enjeksiyon ile Granüler Zeminlerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Akman, M.S. and Mutlu, M. (1999). Baraj Zeminlerinde Enjeksiyon Teknolojisi ve Malzemeleri. Türkiye İnşaat Mühendisliği, IMO, 15. Teknik Kongresi, Ankara.
- Akyüz, S., (2010). Kargı Baraj Yeri (Çorum) Litolojik Birimlerin Geçirgenlik Özellikleri Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Alkaya D. and Yeşil B. (2011). Cindere Barajı Enjeksiyon Uygulamaları, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 17, No. 1, pp. 9-18, Denizli.
- Alptekin, A. and Yakar, M. (2019). Investigation of Grouting Applications In Tarsus Pamukluk Dam, 2. International Mersin Symposium, 23-25 Mayıs 2019, Mersin.
- Altun, S., Göktepe, A.B. and Eriş, E. (2004). Ön Yüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Barajlar ve Dinamik Etkiler Altındaki Davranışları.
- Ayvaz, E.O. (2008). Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Statik Analizleri ve Dim Barajı Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Beyaz, T., Ünlü, N. and Akgün, M. (2007). Gökpınar Barajı (Denizli) Dolusavak ve Eşik Yapısı Temel Zemininde Yapılan Jeoteknik Çalışmalar. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, Vol. 23, pp.3.
- Canik, B. (1988). Hidrojeoloji: Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Birinci Baskı. Ankara.
- CEM II / A-M (P-L) 42,5 R Portland Kompoze Çimento Standart Özellikleri. <https://www.bursacimento.com.tr/urun/cem-ii-a-m-p-l-425-r-portland-kompoze-cimento>.

- Çakır, E.N. and Ünsever, Y.S. (2019). Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajı Olan Büyükkumla Barajı'nın Tasarım Esasları, ICOCEM 4.International Conference on Civil and Environmental Geology and Mining Engineering. Trabzon.
- DSİ Genel Müdürlüğü (2008). Kat'ı Proje Raporu, Cilt 1 Projenin Tanıtılması, Pamukluk Barajı Katı Proje Yapım İş. Ankara.
- DSİ Genel Müdürlüğü (2013). Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi, Ankara.
- DSİ Genel Müdürlüğü (2021). Mersin İli Tarsus İlçesi Pamukluk Barajı Ek Enjeksiyon Gerekçe Raporu.
- DSİ Genel Müdürlüğü (2021). Pamukluk Barajı 1.Kısım İkmal İnşaatı A-Sırası Kapak Kuyuları İyileştirme Enjeksiyon Sonuç Raporu.
- Ergeneman, I., (2012). Ön Yüzü Beton Kaplı Barajlar, 1.Barajlar Kongresi, 11-12 Ekim 2012, Ankara.
- Fener, M. (2019). Basıncılı Su Testi, Lugeon Testi, Packer Testi (BST). Açık Ders Malzemeleri, Ankara Üniversitesi.
- Fitzpatrick, M., Cole, B.A., Kinstler, F.L., and Knoop, B.P. (1985). Design of concrete faced rockfill dams, Concrete face rockfill dams-design,construction and performance, J.B Cooke and J.L Sherard, ASCE, Vol. 896, pp. 410-434.
- Günaydın, H.İ., (2017). Yalnızardıç Barajı ve Berat Hidroelektrik Santrali Enjeksiyon Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Güneş, H., (2020). Türkiye’de Baraj Emniyeti ve Atatürk Barajı’nda Deformasyon İzleme Çalışmaları ve Son 12 Yıllık Analiz Sonuçları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Hatipoğlu, E., (2023). Baraj Jeolojisi. 10 Aralık 2023 tarihinde <https://avesis.ktu.edu.tr/> adresinden erişildi.
- İlker, S., (1975). Adana Baseni Kuzeybatısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları: TPAŞ Raporu, Arşiv No:973, Ankara.
- İnan, S., (2005). 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Yıldönümünde Deprem Gerçeği ve Mersin’in Depremselliği. Çiftlikköy Merkez konferans Salonu. Mersin: Mersin Üniversitesi.

Juteau, T., (1980). Ophiolites of Turkey: Ofioliti Special Issue.

Kap, Ö. F., (2014). Ayazağa Tünelinde Yapılan Konsolidasyon Enjeksiyonu ile Kaya Kütlesi Özellikleri Arasındaki İlişkinin Jeostatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Koçer, A., (2012). Beton Ağırlık Bir Barajda Enjeksiyon Uygulamaları: Boyabat Barajı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde.

Kong, X. and Liu, J. (2002). Dynamic Failure Numeric Simulations of Model Concrete-Faced Rock-fill Dam, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 9-12, pp.1131- 1134.

Kutzner, C. (1996). Grouting of Rock and Soil (1st English Edition), Rotterdam.

Lugeon, M. (1933). “Barrage et Géologie”, Dunod, Paris.

MasterRheobuild 1000T Beton Katkısı Tanımı. <https://mbcc.sika.com/tr-tr/products/masterrheobuild/masterrheobuild-1000t>.

Mersin haritası 01 Kasım 2023 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Mersin%27in_il%C3%A7eleri adresinden erişildi.

Mersin ili 1940-2022 yılları arası; aylık toplam yağış miktarı ortalaması (2023). 03 Kasım 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN> adresinden erişildi.

Mersin ili 1940-2022 yılları arası; ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (2023). 03 Kasım 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN> adresinden erişildi.

Orhon, M., (1997). Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri, Türkiye Mühendislik Haberleri.

Özkan, H., (2006). Enjeksiyon Yöntemleri ve Uygulamalar, Ankara.

Özkuzukıran, R.S., (2005). Settlement Behaviour of Concrete Faced Rockfill Dams: a Case Study, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Pamukluk Barajı'nın konumu harita üzerinden gösterimi 20.10.2023 tarihinde <https://earth.google.com> adresinden erişildi.

Schmidt, G.C., (1961). VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklotörü: Petrol Dairesi Neşriyatı, No:6, Ankara.

Şekercioğlu, E., (2007). Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, TBMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, No. 28, Ankara.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası 03 Kasım 2023 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> adresinden erişildi.

Türkmen, S., (1994). Pamukluk Barajının (Tarsus) Mühendislik Jeolojisi İncelemesi, Doktora Tezi, Adana.

US Bureau of Reclamation, 1987. Design of Small Dams.

Ünal, B., (2007). Deriner Barajı ve HES İnşaatı Perde Enjeksiyonu Test Çalışmaları, 2.Geoteknik Sempozyumu, Sayfa: 484-494.

Ünal, M.S., (2001). Dolgu Barajlarda Geçirimsizlik Perdeleri ve Dalaman-Akköprü Barajında Yapılan Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, OGU Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Ünlügenç, U.C., (1986). Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Üşenmez, K., (2005). Dalaman-Akköprü Barajı İnşaatı Enjeksiyon Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yağcıoğlu, Ö., (2017). Farklı Jeolojik Ortamlarda Yapılan Basınçlı Su Testi Verilerinin Değerlendirilmesi, Dönem Projesi, Denizli.

Yetiş, C. and Demirkol C. (1984). Adana Baseni Kuzey-Kuzeybatı kesiminin temel stratigrafisine ilişkin bazı gözlemler: TJK 38. Bilim ve Teknik Kurultayı, Bildiri Özetleri, Ankara.

EKLER**EK-1****14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-1 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI					
KUYU NO SOL K-1 (B1-B2)	TARİH 14.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	152	47,55	Çok geçirimli
	0.6	10	174		
	0.4	10	145		
2.5-5	0.4	10	131	52,96	Çok geçirimli
	0.6	10	157		
	0.4	10	138		
5-10	1	10	16	4,15	Az geçirimli
	2.5	10	51		
	1	10	23		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-2 (DSİ, 2021)

PAMUKLUK BARAJI					
KUYU NO SOL K-2 (B6-B7)	TARİH 15.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	12	2,37	Az geçirimli
	0.6	10	13		
	0.4	10	10		
2.5-5	0.4	10	9	0,36	Geçirimsiz
	0.6	10	9		
	0.4	10	5		
5-10	1	10	9	0,73	Geçirimsiz
	2.5	10	14		
	1	10	12		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-3 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO SOL K-3 (B12-B13)	TARİH 15.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	24	13,60	Geçirimli
	0.6	10	17		
	0.4	10	7		
2.5-5	0.4	10	50	5,67	Geçirimli
	0.6	10	52		
	0.4	10	44		
5-10	1	10	33	2,96	Az geçirimli
	2.5	10	54		
	1	10	29		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-4 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO SOL K-4 (B20-B21)	TARİH 16.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	14	2,45	Az geçirimli
	0.6	10	15		
	0.4	10	11		
2.5-5	0.4	10	6	3,75	Az geçirimli
	0.6	10	4		
	0.4	10	2		
5-10	1	10	13	1,13	Az geçirimli
	2.5	10	21		
	1	10	17		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-5 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO SOL K-5 (B30-B31)	TARİH 16.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	9	2,25	Az geçirimli
	0.6	10	10		
	0.4	10	7		
2.5-5	0.4	10	7	2,12	Az geçirimli
	0.6	10	8		
	0.4	10	5		
5-10	1	10	14	1,05	Az geçirimli
	2.5	10	21		
	1	10	14		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-6 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO SOL K-6 (B33-B34)	TARİH 17.03.2018	Derinlik: 10 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	27	8,62	Geçirimli
	0.6	10	34		
	0.4	10	24		
2.5-5	0.4	10	5	1,95	Az geçirimli
	0.6	10	4		
	0.4	10	2		
5-10	1	10	13	0,81	Geçirimsiz
	2.5	10	18		
	1	10	12		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-7 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO	TARİH	Derinlik: 10 m			
SOL K-7 (B45-B46)	17.03.2018				
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	5	2,01	Az geçirimli
	0.6	10	4		
	0.4	10	2		
2.5-5	0.4	10	3	1,87	Az geçirimli
	0.6	10	2		
	0.4	10	1		
5-10	1	10	2	0,15	Geçirimsiz
	2.5	10	3		
	1	10	1		

14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. SOL K-8 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO	TARİH	Derinlik: 10 m			
SOL K-8 (B52-B53)	18.03.2018				
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	3	1,93	Az geçirimli
	0.6	10	2		
	0.4	10	1		
2.5-5	0.4	10	0	0	Geçirimsiz
	0.6	10	0		
	0.4	10	0		
5-10	1	10	2	0,04	Geçirimsiz
	2.5	10	2		
	1	10	0		

**14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SOL K-9 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SOL K-9 (B61- B62)	TARİH 19.03.2018	Derinlik: 25 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	5	2,01	Az geçirimli
	0.6	10	4		
	0.4	10	2		
2.5-5	0.4	10	7	2,03	Az geçirimli
	0.6	10	6		
	0.4	10	5		
5-10	1	10	21	1,29	Az geçirimli
	2.5	10	29		
	1	10	20		
10-15	2	10	8	0,70	Geçirimsiz
	4	10	16		
	2	10	7		
15-20	3	10	13	0,68	Geçirimsiz
	6	10	25		
	3	10	12		
20-25	4	10	17	0,64	Geçirimsiz
	8	10	33		
	4	10	15		

**14.03.2018-19.03.2018 TARİHLERİ ARASINDA SOL SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SOL K-10 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO	TARİH	Derinlik: 10 m			
SOL K-10 (B69-B70)	19.03.2018				
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	17	19,53	Geçirimli
	0.6	10	27		
	0.4	10	16		
2.5-5	0.4	10	9	2,11	Az geçirimli
	0.6	10	8		
	0.4	10	7		
5-10	1	10	11	1,20	Az geçirimli
	2.5	10	20		
	1	10	9		

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-1 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-1 (B240-B239)	TARİH 15.09.2018			Derinlik: 17 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	21	78	29,40	Çok geçirimli
	0.6	10	33			
	0.4	10	24			
2.00-7.00 BETON						
7.00-9.50	1	10	8	25	2,34	Az geçirimli
	2.5	10	13			
	1	10	4			
9.50-12	1	10	24	45	2,00	Az geçirimli
	2,5	10	16			
	1	10	5			
12.00-17.00	2	10	24	67	1,18	Az geçirimli
	4	10	31			
	2	10	12			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-2 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-2 (B234-B233)		TARİH 16.09.2018		Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	17	52	12,66	Geçirimli
	0.6	10	22			
	0.4	10	13			
2.00-4.50	1	10	19	49	1,22	Az geçirimli
	2.5	10	21			
	1	10	9			
4,50-7.00	1	10	39	103	2,23	Az geçirimli
	2.5	10	42			
	1	10	22			
7,00-12,00	2	10	8	24	0,44	Geçirimsiz
	4	10	12			
	2	10	4			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-3 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-3 (B228-B227)	TARİH 16.09.2018			Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	12	38	5,53	Geçirimli
	0.6	10	14			
	0.4	10	12			
2.00-4.50	1	10	21	81	2,46	Az geçirimli
	2.5	10	33			
	1	10	15			
4,50-7.00	1	10	16	45	1,31	Az geçirimli
	2.5	10	19			
	1	10	10			
7,00-12,00	2	10	37	95	0,67	Geçirimsiz
	4	10	36			
	2	10	22			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-4 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-4 (B218-B217)	TARİH 17.09.2018			Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	8	26	5,13	Geçirimli
	0.6	10	10			
	0.4	10	8			
2.00-4.50	1	10	15	45	0,83	Geçirimsiz
	2.5	10	16			
	1	10	14			
4,50-7.00	1	10	13	35	1,19	Az geçirimli
	2.5	10	16			
	1	10	6			
7,00-12,00	2	10	36	101	1,21	Az geçirimli
	4	10	43			
	2	10	22			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-5 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-5 (B212-B211)	TARİH 18.09.2018			Derinlik: 10 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.50	0.4	10	10	29	6,06	Geçirimli
	0.6	10	13			
	0.4	10	6			
2.50-5.00	1	10	16	45	1,78	Az geçirimli
	2.5	10	21			
	1	10	8			
5.00-10.00	1	10	14	64	1,37	Az geçirimli
	2.5	10	24			
	1	10	12			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-6 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-6 (B205-B204)		TARİH 18.09.2018		Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	4	12	2,56	Az geçirimli
	0.6	10	5			
	0.4	10	3			
2.00-4.50	1	10	0	0	2,46	Geçirimsiz
	2.5	10	0			
	1	10	0			
4,50-7.00	1	10	7	21	1,31	Az geçirimli
	2.5	10	11			
	1	10	3			
7,00-12,00	2	10	13	41	0,61	Geçirimsiz
	4	10	18			
	2	10	10			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-7 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-7 (B194-B193)	TARİH 19.09.2018			Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	5	14	0,25	Geçirimsiz
	0.6	10	5			
	0.4	10	4			
2.00-4.50	1	10	20	54	1,03	Az geçirimli
	2.5	10	21			
	1	10	13			
4,50-7.00	1	10	21	59	1,28	Az geçirimli
	2.5	10	24			
	1	10	14			
7,00-12,00	2	10	16	47	0,67	Geçirimsiz
	4	10	21			
	2	10	10			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-8 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-8 (B188-B187)	TARİH 19.09.2018			Derinlik: 10 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.50	0.4	10	10	30	4,17	Az geçirimli
	0.6	10	12			
	0.4	10	8			
2.50-5.00	1	10	16	19	1,78	Az geçirimli
	2.5	10	21			
	1	10	12			
5.00-10.00	1	10	14	64	1,37	Az geçirimli
	2.5	10	24			
	1	10	12			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-9 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-9 (B182-B181)		TARİH 20.09.2018		Derinlik: 13 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-3.0	0.4	10	8	27	6,53	Geçirimli
	0.6	10	12			
	0.4	10	7			
3.00-5.50	1	10	78	202	6,08	Geçirimli
	2.5	10	91			
	1	10	71			
5,50-8.00	1	10	21	59	1,50	Az geçirimli
	2.5	10	24			
	1	10	14			
8,00-13,00	2	10	40	113	0,94	Geçirimsiz
	4	10	42			
	2	10	31			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-10 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-10 (B173-B172)	TARİH 20.09.2018			Derinlik: 12 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.0	0.4	10	16	55	19,70	Geçirimli
	0.6	10	24			
	0.4	10	15			
2.00-4.50	1	10	76	212	4,65	Az geçirimli
	2.5	10	83			
	1	10	71			
4,50-7.00	1	10	57	172	5,41	Geçirimli
	2.5	10	71			
	1	10	44			
7,00-12,00	2	10	47	123	0,73	Geçirimsiz
	4	10	44			
	2	10	32			

**15.09.2018-21.09.2018 TARİHLERİ ARASINDA SAĞ SAHİLDE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. SAĞ K-11 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO SAĞ K-11 (B164-B163)	TARİH 21.09.2018			Derinlik: 13 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Su Kaybı	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-3.0	0.4	10	21	68	8,53	Geçirimli
	0.6	10	26			
	0.4	10	21			
3.00-5.50	1	10	73	237	7,22	Geçirimli
	2.5	10	92			
	1	10	72			
5,50-8.00	1	10	47	176	10,04	Geçirimli
	2.5	10	84			
	1	10	45			
8,00-13,00	2	10	19	63	0,86	Geçirimsiz
	4	10	26			
	2	10	18			

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-1 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-1 (B76- B77)	TARİH 31.10.2020	Derinlik: 15 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	18	2,21	Az geçirimli
	0.6	10	20		
	0.4	10	18		
2.5-5	0.4	10	8	1,54	Az geçirimli
	1	10	12		
	0.4	10	9		
5-10	1	10	7	0,07	Geçirimsiz
	2.5	10	9		
	1	10	5		
10-15	2	10	5	0,19	Geçirimsiz
	4	10	7		
	2	10	4		

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-2 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-2 (B81- B82)	TARİH 30.10.2020		Derinlik: 15 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	6	2,25	Az geçirimli
	0.6	10	8		
	0.4	10	7		
2.5-5	0.4	10	4	0,85	Geçirimsiz
	1	10	6		
	0.4	10	5		
5-10	1	10	6	0,21	Geçirimsiz
	2.5	10	7		
	1	10	5		
10-15	2	10	3	0,15	Geçirimsiz
	4	10	3		
	2	10	1		

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-3 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-3 (B92-B93)	TARİH 29.10.2020	Derinlik: 15 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	8	2,13	Az geçirimli
	0.6	10	9		
	0.4	10	9		
2.5-5	0.4	10	8	0,81	Geçirimsiz
	1	10	10		
	0.4	10	9		
5-10	1	10	9	0,23	Geçirimsiz
	2.5	10	8		
	1	10	8		
10-15	2	10	6	0,06	Geçirimsiz
	4	10	7		
	2	10	4		

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-4 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-4 (B97-B98)	TARİH 28.10.2020	Derinlik: 15 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	10	2,29	Az geçirimli
	0.6	10	11		
	0.4	10	10		
2.5-5	0.4	10	8	0,93	Geçirimsiz
	1	10	9		
	0.4	10	8		
5-10	1	10	6	0,23	Geçirimsiz
	2.5	10	7		
	1	10	5		
10-15	2	10	4	0,21	Geçirimsiz
	4	10	6		
	2	10	3		

24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. TALVEG K-5 (DSİ, 2021)

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO		TARİH		Derinlik: 15 m	
TLVG K-5 (B108-B109)		01.11.2020			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	18	4,49	Az geçirimli
	0.6	10	20		
	0.4	10	18		
2.5-5	0.4	10	8	1,54	Az geçirimli
	1	10	12		
	0.4	10	9		
5-10	1	10	7	0,36	Geçirimsiz
	2.5	10	9		
	1	10	5		
10-15	2	10	5	0,23	Geçirimsiz
	4	10	7		
	2	10	4		

24.10.2020-07.11.2020 tarihleri arasında talvegte yapılan BST kuyuları, Kuyu No. Talveg K-6 (DSİ, 2021)

PAMUKLUK BARAJI					
KUYU NO TLVG K-6 (B117-B118)	TARİH 02.11.2020		Derinlik: 15 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	10	2,33	Az geçirimli
	0.6	10	12		
	0.4	10	11		
2.5-5	0.4	10	6	1,46	Az geçirimli
	1	10	8		
	0.4	10	7		
5-10	1	10	4	0,3	Geçirimsiz
	2.5	10	6		
	1	10	3		
10-15	2	10	3	0,13	Geçirimsiz
	4	10	4		
	2	10	3		

24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. TALVEG K-7 (DSİ, 2021)**PAMUKLUK BARAJI**

KUYU NO		TARİH		Derinlik: 15 m	
TLVG K-7 (B121-B122)		05.11.2020			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	11	2,25	Az geçirimli
	0.6	10	10		
	0.4	10	10		
2.5-5	0.4	10	10	1,01	Az geçirimli
	1	10	11		
	0.4	10	8		
5-10	1	10	8	0,27	Geçirimsiz
	2.5	10	9		
	1	10	7		
10-15	2	10	8	0,16	Geçirimsiz
	4	10	8		
	2	10	5		

24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. TALVEG K-8 (DSİ, 2021)

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-8 (B129-B130)	TARİH 07.11.2020	Derinlik: 15 m			
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	13	2,21	Az geçirimli
	0.6	10	15		
	0.4	10	11		
2.5-5	0.4	10	10	1,54	Az geçirimli
	1	10	12		
	0.4	10	9		
5-10	1	10	8	0,07	Geçirimsiz
	2.5	10	9		
	1	10	7		
10-15	2	10	6	0,19	Geçirimsiz
	4	10	7		
	2	10	6		

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-9 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-9 (B140-B141)		TARİH 26.10.2020		Derinlik: 15 m	
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	7	4,05	Az geçirimli
	0.6	10	9		
	0.4	10	7		
2.5-5	0.4	10	6	0,24	Geçirimsiz
	1	10	6		
	0.4	10	4		
5-10	1	10	9	0,4	Geçirimsiz
	2.5	10	11		
	1	10	8		
10-15	2	10	3	0,13	Geçirimsiz
	4	10	4		
	2	10	3		

**24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI,
KUYU NO. TALVEG K-10 (DSİ, 2021)**

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO	TARİH	Derinlik: 15 m			
TLVG K-10 (B148-B149)	25.10.2020				
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	8	2,29	Az geçirimli
	0.6	10	9		
	0.4	10	8		
2.5-5	0.4	10	7	1,46	Az geçirimli
	1	10	8		
	0.4	10	6		
5-10	1	10	5	0,28	Geçirimsiz
	2.5	10	7		
	1	10	4		
10-15	2	10	4	0,04	Geçirimsiz
	4	10	5		
	2	10	3		

24.10.2020-07.11.2020 TARİHLERİ ARASINDA TALVEGTE YAPILAN BST KUYULARI, KUYU NO. TALVEG K-11 (DSİ, 2021)

PAMUKLUK BARAJI

KUYU NO TLVG K-11 (B153-B154)		TARİH 24.10.2020	Derinlik: 15 m		
Kademe	Basınç	Deney Süresi (dak)	Toplam Su Kaybı (lt)	Lugeon	Açıklama
0.00-2.5	0.4	10	12	2,21	Az geçirimli
	0.6	10	10		
	0.4	10	10		
2.5-5	0.4	10	6	0,89	Geçirimsiz
	1	10	8		
	0.4	10	5		
5-10	1	10	3	0,32	Geçirimsiz
	2.5	10	5		
	1	10	2		
10-15	2	10	2	0,15	Geçirimsiz
	4	10	2		
	2	10	1		

EK 2 – Mersin Tarsus Pamukluk Barajı A-sırası kapak kuyuları alış grafiği (DSİ, 2021)



