

TC
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PAMUKÇAY BARAJININ ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN ANALİZ
SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

İBRAHİM HALİL ORAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Haziran-2016

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

İbrahim Halil ORAL tarafından yapılan “Pamukçay Barajının Ölçüm Değerlerinin Analiz Sonuçlarıyla Karşılaştırılması” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Taha TAŞKIRAN

Üye : Prof. Dr. Arslan TEKİNSOY

Üye : Doç. Dr. Salih KESKİN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 23/06/2016

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../.....

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her basamağında sabırlı desteğini, görüş ve önerilerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Taha Taşkiran'a , yine Geoteknik Anabilim Dalı konusunda engin birikimiyle her zaman yol gösterici olan Doç. Dr. Salih KESKİN' e ve Arş. Gör. Ayşenur ARSLAN' a teknik açıdan yardımları haricinde yüksek lisans yolunda her zaman desteklerini arkamda hissettiğim mesai arkadaşlarım İnş. Müh. Servet POLAT, Jeo.Müh. Müslüm DEDEOĞLU, İnş. Müh. Hüseyin BAYAR ve İnş. Müh. Fadli YILMAZ' a çalışmamın her aşamasında ihmal etmek zorunda kaldığım ancak desteğini hep arkamda hissettiğim sevgili eşim Şafak OK ORAL' a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
EK LİSTESİ.....	X
KISALTMA VE SİMGELER.....	XI
1.GİRİŞ	1
1.1.Pamukçay Barajının Özellikleri	1
1.1.1 Pamukçay Barajı Karakteristikleri	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOT	5
3.1. Materyal.....	5
3.1.1 Baraj Yeri Jeolojisi ve Baraj Dolgusu.....	5
3.1.2. Genel Jeoloji.....	5
3.1.3. Startigrafik Jeoloji.....	5
3.1.4.Yapısal Jeoloji.....	5
3.1.5. Kıvrımlar	5
3.1.6. Faylar ve bindirme hatları	5
3.1.7. Deprem Durumu.....	6
3.1.8.Baraj Yerinin Temel araştırmaları	6
3.1.9 Jeolojik koşulların baraj yerine etkisi	8
3.1.10. Baraj Yerinin Geçirimliliği, Duraylılığı.....	11
3.2. Metod.....	12
3.2.1. Geostudio Programının Tanıtılması.....	12
3.2.2 Geostudio Programının Parametreleri.....	13

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	15
4.1. Pamukçay Barajının Dolgu Özellikleri	15
4.2 Pamukçay Barajında Bulunan Ölçüm Aletleri.....	19
4.3 Manyetik Ekstansometre ve Piyezometreler	20
4.3.1 Piyezometre.....	20
4.3.2 Manyetik Ekstansometre.....	21
4.4 Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması.....	22
4.4.1 Düşey Deplasmanlar ve Boşluk Suyu Basıncının Hesaplanmasında Sonlu Elemanlar Metodu.....	22
4.4.2. Sonlu Elemanlar Analizi	23
4.4.2.1 Analiz ile İlgili Genel Bilgiler.....	23
4.4.3. Kil, Dolgu Malzemesi Baraj Temeli (Şelmo Formasyonu) ve Filtre Malzeme Model ve Parametrelerinin Seçimi	26
4.4.3.1 Kil Malzemesi Parametrelerinin ve Modelinin Belirlenmesi	26
4.4.3.2 Baraj Temeli (Şelmo Formasyonu) Model ve Parametreleri	28
4.4.3.3 Dolgu Malzemesi ve Parametrelerinin Seçimi.....	29
4.4.3.4 Filtre Malzemesinin Parametrelerinin ve Modelinin Seçimi	31
-Filtre Kriterleri.....	32
-Pamukçay Barajında Kullanılan Filtre Malzemesinin Tahkiki.....	32
4.4.4 Analiz Sonuçları.....	35
4.4.4.1. Düşey Yer Değiştirme ve Gerilme Analizi (Geostudio Sigma).....	37
4.4.4.2 Sızma (Seep) Analizi.....	42
4.4.4.3 Gövde Şev Analizleri (SLOPE)	46
4.5 Analiz Sonuçları ve Baraj Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması.....	50
4.5.1 Pamukçay Barajında Oluşan Düşey Yer Değiştirme ve Değerlendirilmesi	50
4.5.2 Pamukçay Barajında Oluşan Sızma ve Değerlendirilmesi.....	52
4.5.3 Gövde Şev Analizleri (SLOPE) Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	56
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	59
6.KAYNAKLAR	63
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÖZET

PAMUKÇAY BARAJININ ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN ANALİZ SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

YUKSEK LİSANS TEZİ
İbrahim Halil ORAL

DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU
İNŞAAT MUHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
2016

Bu tezde; kil çekirdekli toprak dolgu tipteki 37.5 m yüksekliğe sahip Pamukçay Barajının inşaat su tutma aşamalarındaki deformasyon davranışı incelenmiştir. Oluşan yer değiştirmelerin belirlenmesi amacıyla, iki boyutlu düzlem şekil değiştirme prensibi kullanılarak sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Malzeme sonlu eleman model parametreleri, kil çekirdek malzemesi için üç eksenli deney sonuçlarından, diğer malzemeler için ise önceki çalışmalar temelinde seçilmiştir. İnşaat sonrasına ait hesaplanan ve ölçülen deformasyonlar büyüklük ve baraj gövdesindeki konumları itibarı ile uyumludur. En büyük oturma baraj gövdesinin yaklaşık yarısında ortaya çıkmıştır.

Öte yandan; bu çalışmada model olarak seçilen Pamukçay Barajının gövdesinde oluşan sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Geo-Studio bilgisayar programından yararlanmak suretiyle sızma analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DSI' nin yapmış olduğu sızma gözlemleri verileriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: barajlar, zonlu dolgu, oturma, boşluk suyu basıncı, Geostudio

ABSTRACT

MEASUREMENT VALUES OF PAMUKCAY DAM COMPARISON WITH ANALYSIS

**M.SC. THESIS
İbrahim Halil ORAL**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE
2016**

In this thesis; the settlement of behavior of Pamukcay Dam which is a 37.5 m high earthfill dam with clay core, is investigated for the end of construction and reservoir impoundment stages. Finite element analyses that are based on a 2-D plain strain solution are performed to determine the displacements. Material model parameters for clay are selected from triaxial compression test results. For other materials, preliminary values for model parameters are chosen based on the result from previous studies on dams. Predicted and measured displacements are in agreement as a function of time, in terms of magnitude and location for the end-of-construction stage. The maximum settlement is observed to be approximately at the middle of the dam height.

Otherwise; in this study the leakage analysis of the selected dam of Pamukcay for model is done by using Finite Element methods and Geo-Studio software program. The result of this model is compared with the observing data of DSI.

Keywords: dams, zonefill, settlement, pore water pressure, Geostudio

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1.	RQD Değerlerine göre Kaya Kalitesinin Belirlenmesi	7
Çizelge 3.2.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı İndirgeme Yüzdesi	8
Çizelge 3.3.	Lugeon Değerleri ile Geçirimlilik Arasındaki İlişki	11
Çizelge 4.1.	Pamukçay Barajı Malzeme Özellikleri	15
Çizelge 4.2	Pamukçay Barajı geçirimli malzeme özellikleri	17
Çizelge 4.3	DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberine Göre tavsiye edilen değer aralıkları	18
Çizelge 4.4.	Pamukçay Barajında Kullanılan Malzeme Değerlerinin DSİ Teknik Bülten Değerleriyle Karşılaştırılması	18
Çizelge 4.5.	Pamukçay Barajı Ölçüm Aletleri	20
Çizelge 4.6.	Kilin Üç Eksenli Deney Sonuçları	27
Çizelge 4.7.	Kilin Permeabilite Deney Sonuçları	27
Çizelge 4.8.	Kilin Özgül Ağırlığı	28
Çizelge 4.9.	Geçirimsiz malzeme olarak kullanılmış kil malzemesinin nihai parametreleri	28
Çizelge 4.10.	Şelmo Formasyonu (Kiltaşı, Kumtaşı ve Çakıltasına ait Laboratuar Deney Sonuçları)	29
Çizelge 4.11.	Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Laboratuar Deney Sonuçları	30
Çizelge 4.12.	Pamukçay Barajı Yarı Geçirimli Malzeme Alanları ve Ortalama Özellikleri	31
Çizelge 4.13.	Pamukçay Barajı Dolgu Malzemesi Nihai Parametre Değerleri	31
Çizelge 4.14.	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı	33
Çizelge 4.15.	Kil, Baraj Temeli (Şelmo Formasyonu) ve Filtre Malzeme Model ve Nihai (ortalama) Malzeme Parametreleri	34
Çizelge 4.16.	Pamukçay Barajında Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Geçirimlik Sonuç Değerleri	46
Çizelge 4.17.	Manyetik Ekstansometre Ortalama oturma Değerleri ve Analiz Sonucu Hesaplanan Ekstansometre Değerleri	51
Çizelge 4.18.	Pamukçay Barajı Dolgu Tipi Piyezometre Okuma Sonuçları	55
Çizelge 4.19.	Pamukçay Barajında Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Geçirimlik Sonuç Değerleri	55
Çizelge 4.20.	Pamukçay Barajı Emniyet Katsayıları ve Analizlerde Kullanılması Tavsiye Edilen Yükleme Durumları ve Emniyet Katsayıları	56
Çizelge 5.1.	Manyetik Ekstansometre Ortalama oturma Değerleri ve Analiz Sonucu Hesaplanan Ekstansometre Değerleri	51
Çizelge 5.2.	Pamukçay Barajında Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Geçirimlik Sonuç Değerleri	55
Çizelge 5.3.	Pamukçay Barajı Dolgu Tipi Piyezometre Okuma Sonuçları	55
Çizelge 5.4.	Pamukçay Barajı Emniyet Katsayıları ve Analizlerde Kullanılması Tavsiye Edilen Yükleme Durumları ve Emniyet Katsayıları	56

SEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Pamukçay Barajı'nın Yeri	2
Şekil 1.2	Baraj Gövdesi	2
Şekil 3.1.	Temel Sondaj Çalışmaları	7
Şekil 3.2.	Şelmo formasyonu üyesi birimler	8
Şekil 3.3.	Pamukçay Barajı Sol Sahili ve Talveg Görünüşü	10
Şekil 3.4.	Pamukçay Baraj Yeri Talveg ve Sağ Sahil Görünüşü	10
Şekil 3.5.	Geostudio programının kullanıcı ara yüzü	13
Şekil 4.1.	B,C,G Geçirimli; Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Haritası	16
Şekil 4.2.	C Geçirimsiz Malzeme Alanları Haritası Malzeme Labaratuar Deney Numune Haritaları	17
Şekil 4.3.	Pamukçay Barajında Kullanılan Titreşen Telli piyezometre	21
Şekil 4.4.	Manyetik Ekstansometrenin arazide Uygulanması	21
Şekil 4.5.	Pamukçay Barajının Sonlu Elemanlar Ağı	23
Şekil 4.6.	Pamukçay Barajı Kesitler	25
Şekil 4.7.	Geçirimsiz Malzeme Alanları Haritası Malzeme Labaratuar Deney Numune Haritaları	26
Şekil 4.8.	D,E Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Haritası	30
Şekil 4.9.	Filtre Malzemesinin tane çapı dağılımı	32
Şekil 4.10.	Temel malzemesinin tane çapı dağılımı	33
Şekil 4.11.	Dilim 5 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	35
Şekil 4.12.	Dilim 5 dolgu yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eks. Boy. Deplasmanlar	36
Şekil 4.13.	Dilim 6 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	36
Şekil 4.14.	Dilim 7 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	37
Şekil 4.15.	Dilim 7 dolgu yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eks. Boy. Deplasmanlar	37
Şekil 4.16.	Dilim 8 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	38
Şekil 4.17.	Dilim 9 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	38
Şekil 4.18.	Dilim 9 dolgu yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eks. Boy. Deplasmanlar	38

Şekil 4.19.	Dilim 10 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	39
Şekil 4.20.	Dilim 11 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	39
Şekil 4.21.	Dilim 12 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	40
Şekil 4.22.	Dilim 13 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi	40
Şekil 4.23.	Tüm Dilimler dolgu yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eksenî Boyunca Deplasmanlar	41
Şekil 4.24.	Pamukçay Barajı Maksimum Su Seviyesinde Sızma Sonrası Deplasman Analizi	41
Şekil 4.25.	Geçirimsizlik Perdesi Kullanılmamış Haliyle 1-1 Kesitteki Sızma Analizi Sonuçları	43
Şekil 4.26.	: Geçirimsizlik Perdesi Kullanılmış Haliyle 1-1 Kesitten Geçen Debi Miktarı	43
Şekil 4.27.	Pamukçay Barajı Eş potansiyel Su Basıncı Kontörleri	44
Şekil 4.28.	Pamukçay Barajı Boşluk Basıncı Kontörleri	44
Şekil 4.29.	İnşaat sonu Depremsiz Memba Şev Güvenlik Durumu	45
Şekil 4.30.	İnşaat sonu Depremsiz Mansap Şev Güvenlik Durumu	46
Şekil 4.31.	İnşaat sonu OBE Memba Şev Güvenlik Durumu	46
Şekil 4.32.	İnşaat sonu OBE Mansap Şev Güvenlik Durumu	46
Şekil 4.33.	İnşaat sonu MDE Memba Şev Güvenlik Durumu	47
Şekil 4.34.	İnşaat sonu MDE Mansap Şev Güvenlik Durumu	47
Şekil 4.35.	İşletme Durumu Dolu Hazne Mansap Şev Durumu	47
Şekil 4.36.	İşletme Durumu OBE Dolu Hazne Mansap Şev Durumu	48
Şekil 4.37.	İşletme Durumu MDE Dolu Hazne Mansap Şev Durumu	48
Şekil 4.38.	Ani Boşalma Durumu Depremsiz	48
Şekil 4.39.	OBE Depremlî Ani Boşalma Durumu	49
Şekil 4.40.	Pamukçay Barajında Yer Alan Manyetik Ekstansometreler	49
Şekil 4.41.	Pamukçay Barajı Gövde Vadi Biçimi Kotları	51
Şekil 4.42.	Pamukçay Barajı Kesit II km 0+150.00	51
Şekil 4.43.	DPZ 1 Dolgu tipi Piyezometre okuması (Bar cinsinden)	52
Şekil 4.44.	DPZ 2 Dolgu tipi Piyezometre okuması (Bar cinsinden)	52
Şekil 4.45.	DPZ 3 Dolgu Tipi Piyezometre Okuması (Bar cinsinden)	53

EKLER LİSTESİ

<u>Ek No</u>		<u>Sayfa</u>
Ek 1	Pamukçay Barajı 1 Numaralı Gövde Tipi Piyezometre Okumaları	63
Ek 2	Pamukçay Barajı 2 Numaralı Gövde Tipi Piyezometre Okumaları	65
Ek 3	Pamukçay Barajı 3 Numaralı Gövde Tipi Piyezometre Okumaları	67
Ek 4	Lugeon Değerinin Permeabiliteye Çevrim Değerleri	70

KISALTMA VE SİMGELER

DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
c	: Kohezyon
Y	: Yatay
D :	: Düşey
H	: Baraj yüksekliği
k	: Permeabilite katsayısı
m	: Modül gerilme bağımlılığı katsayısı
q	: Deviatorik gerilme
q _f	: Nihai deviatorik gerilme
q _a	: Deviatorik gerilmenin asimptotik değeri
Φ	: İçsel sürtünme açısı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
γ_{doygun}	: Doygun birim hacim ağırlık
γ_{kuru}	: Kuru birim hacim ağırlık
ν	: Poisson Oranı
E	: Elastisite Modülü
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi
w	: Doğal su İçeriği
w _{opt}	: Optimum Su İçeriği
OBE	: Operating Basis Earthquake
MDE	: Maximum Design Earthquake
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndisi
k _{max}	: Maksimum Sıkıştırma Katsayısı
DPZ	: Gövde Tipi Piyezometre
FM	: Filtre Malzemesi

1.GİRİŞ

Barajlar büyük mühendislik yapıları olarak taşıdıkları önem nedeniyle işletme ve inşaat süresi boyunca çeşitli ölçümlerle izlenmelidir. Barajlarda meydana gelecek deformasyon, şev stabilite sorunları veya aşırı boşluk suyu basıncı barajlarda önlenemeyecek ciddi hasarlara yol açabilir. Ülkemizde yer alan barajların çoğunda kullanılmış olan gövde malzemelerin türü, şekli ve arazi özellikleri farklılık gösterir. Bunun sonucunda inşası tamamlanan her baraj yapısının da göstereceği deformasyon, boşluk suyu basıncı ve stabilitesi farklılık gösterir. Sonradan oluşabilecek bu sorunlara karşı barajların daha inşaat aşamasından önce yapılacak etüt ve fizibilite işlemleri ile gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Baraj gövdesinde kullanılacak olan malzemelerin parametreleri, laboratuvar testlerine tabi tutulmasının ardından gerekli olan parametreler elde edilerek gerçeğe uygun bir şekilde analizinin yapılması gerekmektedir. Bu da mevcut durumun sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanması zorunluluğunu doğurmaktadır.

Sayısal modelleme yöntemlerinde kullanılacak olan parametrelerin temeli,3 eksenli basınç deneyidir. 3 eksenli basınç deneyi sonuçları sadece baraj gövde çekirdeğinde yer alan kil malzemesinde mevcuttur. Kil çekirdek malzemesi elastik-plastik model kullanılarak modellenmiştir.

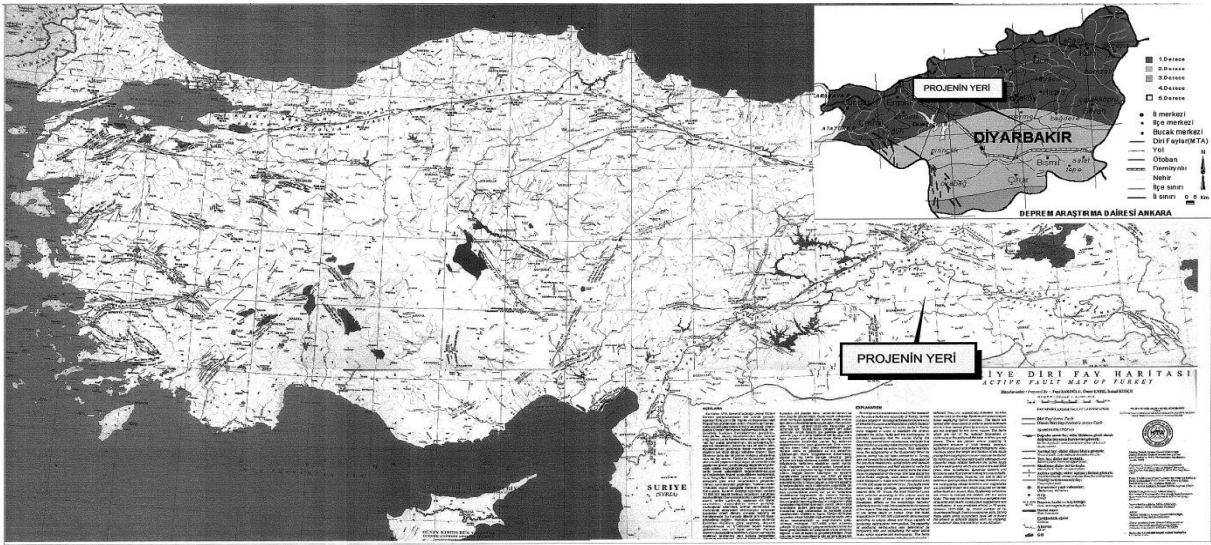
Bu tezde, Diyarbakır ili, Silvan yolu, 40. km’ de bulunan Pamukçay Çayı üzerinde yer alan Pamukçay Barajı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir Yapılmış olan modellemede parametrelerin çoğu proje aşamasında yapılan deneylerden alınmıştır. Herhangi bir nedenle elde edilemeyen parametreler DSİ dolgu barajlar tasarım rehberi veya DSİ 103 nolu teknik bültene dayandırılarak modellenmiştir. Barajın 2012 ve 2015 arasında meydana gelen düşey deplasmanlar ve boşluk basınçları sırasıyla manyetik ekstansometreler ve gövde tipi piyezometrelerle ölçülmüştür. Ölçüm deneylerinden bağımsız olarak baraj gövdesi yeniden Geostudio 2007 programı aracılığıyla modellenerek Pamukçay Barajının düşey deplasmanları, boşluk suyu basıncı ve şev stabilitesi hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan bu değerler mukayese edilmiştir.

1.1.Pamukçay Barajının Özellikleri

1.1.1 Pamukçay Barajı Karakteristikleri

Pamukçay Barajı Diyarbakır İlinin sınırları içerisinde Silvan yolu 40. km de Pamukçay Çayı üzerinde bulunmaktadır. (Şekil 1). Pamukçay barajı GAP kapsamında yapımı devam eden Silvan Barajı depolama barajlarından (Başlar, Kuruçay, Bulaklıdere, Kıbrıs, Pamukçay, Ambar,

Karacalar Barajı) biridir. Silvan barajından arttan su kanallarla bu barajlarda depolanacak ve yörenin su ve toprak kaynaklarını geliştirerek Dicle sol sahil ovalarının Pamukçay vadisinde bulunan 5134 ha alanın cazibe ile sulanması sağlanılacaktır. 07.05.2010 yılında yapımına başlanılan Pamukçay barajı 19.11.2013’ de yapımı tamamlanmıştır. Pamukçay Barajının gövde genel görünümü Şekil 2’ de verilmiştir. Baraj gövde alanında 356264 m³ kil, kum-çakıl dolgu olarak 887539 m³, 102629 m³ filtre dolgu malzemesi ve 55541 m³ kaya dolgu malzemesi kullanılmıştır. Gövde yüksekliği talvegden 31.50 m. olup, kret uzunluğu 512,14 m’ dir. Baraj gölü minimum işletme, normal ve maksimum su seviyeleri sırası ile 18, 28 ve 30,86 m, maksimum su seviyesinde göl hacmi 44.818 hm³, göl alanı ise 4,50 km² olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.1.: Pamukçay Barajı'nın Yeri



Şekil 1.2.: Baraj Gövdesi

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

GAP Batman- Silvan Projesi Pamukçay Barajı Sulama amaçlı olup yörenin su ve toprak kaynaklarını geliştirerek Dicle sol sahil ovalarının Pamukçay vadisinde bulunan 5134 ha alanın cazibe ile sulanmasının teminini sağlamak için geliştirilmiş olan bir projedir.

Proje alanında tarım ve hayvancılık bölge halkının geçim kaynağı olarak görülmekte, tarım tekniği açısından incelendiğinde, gerek tarımsal alet ve makine varlığı gerekse bitkisel üretimdeki diğer girdilerin kullanımı açısından oldukça iyi durumda olduğu görülmektedir. Proje sahası için tarımın önemli bir geçim kaynağı olduğu dikkate alındığında bu ova topraklarının sulanması sonucu, proje sahasında tarımsal verimlilik ve dolayısıyla halkın refah seviyesi artacak, daha fazla iş imkanı yaratılmış olacak ve tarımsal üretimin ve verimin artması sonucu ülkemizin kalkınmasına katkıda bulunulacaktır. Gerçekte, her yıl artan nüfus ve gelişen sanayinin getirdiği enerji ve gıda ihtiyacının karşılanabilmesi için bu tip sulama projelerinin süratle geliştirilerek hizmete sokulmasına büyük ihtiyaç duyulmaktadır.

Baraj üzerine yapılacak detaylı bir çalışma; hidrolojik, hidrolik, topoğrafik ve diğer ilişkili unsurların zaman ve alan boyutunda analizini gerekli kılmaktadır. Yaklaşık on yıl öncesine kadar kullanılan baraj gövdesi oturma, boşluk suyu basıncı ve stabilitesi belirleme yöntemlerinin çoğu, teknoloji desteğinden uzak ve önemli oranda zaman ve emek gerektiren manuel uygulamalar şeklinde olmuştur.

Muğla iline bağlı Köyceğiz ilçesinde yer alan ve yapımı tamamlanan Akköprü Barajı kil çekirdekli kaya dolgu tipteki, 162.50 m. yüksekliğe sahip Akköprü Barajı'nın inşaat ve su tutma aşamalarındaki deformasyon davranışı incelenmiştir. Oluşan yer değiştirmelerin belirlenmesi amacıyla, iki boyutlu düzlem şekil değiştirme prensibi kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Kaya dolgu malzemenin doğrusal ve elastik olmayan, gerilme bağımlı davranışını temsil etmek için sertleşen zemin modeli kullanılmıştır. Malzeme sonlu eleman model parametreleri, kil çekirdek malzemesi için üç eksenli basınç deney sonuçlarından, diğer malzemeler için ise önceki çalışmalar temelinde seçilmiştir. İnşaat sonrasına ait hesaplanan ve ölçülen deformasyonlar, büyüklük, zamanla değişim ve baraj gövdesindeki konumları itibarı ile uyumludur. En büyük oturma baraj gövde yüksekliğinin yaklaşık yarısında ortaya çıkmıştır. Su tutma aşamasındaki davranış da değerlendirilmiş, oluşması beklenen oturmalar için tahminlerde bulunulmuştur. (Akbaş ve Sak 2011,2012)

Bir diğer çalışma da Büyükçekmece barajının gövdesinde oluşan sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Geostudio bilgisayar programından yararlanmak suretiyle sızma analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DSİ' nin yapmış olduğu sızma gözlemleri verileri ile karşılaştırılmıştır. Uygulamada öncelikle çeşitli metotlarla serbest su yüzeyi çizgisi çizilip,

sızıntının barajın mansap sevinden çıkış noktası ve birim genişlik debisi belirlenerek toplam sızma debisi değerine ulaşılmıştır. Yapılan uyulama sonucunda teorik hesaplar ve gözlemler doğrultusunda elde edilen verilerin tutarlılığı ile baraj içerisindeki sızmaların tehlikeli boyutta olup olmadığı belirlenmiştir. (Çilingir 2007)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmayla Pamukçay Barajının gövde stabilite, boşluk suyu basıncı, Sızma analizi ve Düşey yer değiştirmeleri Geo-Studio analiz programıyla analiz edilerek baraj gövdesinin çeşitli durumlardaki değişimleri ve riskleri belirlenmiştir.

Bu çalışma ile 2012 yılından beri belirli aralıklarla elde edilmiş olan baraj ölçüm değerlerinin yapılan analiz değerleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.1.1 Baraj Yeri Jeolojisi ve Baraj Dolgusu

3.1.2. Genel Jeoloji

Proje alanı ve çevresi Anadolu ve Arap plakalarının bindirme zonu yakınında ve üzerinde yer almaktadır. Projede ön görülen yapılar Arap plakası üzerinde yer almaktadır. Anadolu plakası birimleri allokon olup Arap plakası birimleri üzerine bindirmelilerdir. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.3. Startigrafik Jeoloji

Proje sahası ve yakın çevresinde bulunan birimler Paleozoyik, Mezozoyik ve Senozoyik üst sistemlerine ait formasyonlardan oluşmaktadır. Anadolu plakası birimleri allokon, Arap plakası birimleri otokon özelliktedir. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.4.Yapısal Jeoloji

Bölge Hersiniyen orojenezi ve son olarak ta Alpin orojenezinin etkisinde kalarak bugünkü morfolojik konumuna ulaşmıştır. Sahada Alp orojenezinin en genç safhalarının etkisi dahi görülmektedir. Tektonizmanın etkisi daha çok kuzey-güney yönlü basınçların etkisiyle olmuştur. Saha Arap plakası ile Anadolu plakasının dalma-batma zonu üzerinde bulunmaktadır. Kuzey-güney yönlü kuvvetler etkisiyle kıvrım eksenleri ve bindirme hatları doğu-batı yönlü olarak gelişmişlerdir. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.5. Kıvrımlar

Hazro antiklinalı kuzey yönlü hareketler ve derinlerden gelen düşey basınçlar sonucunda oluşmuştur.

Silvan formasyonunda antiklinal eksenlerinin güney kanatlarında tabaka eğimleri, kuzey kanadına göre daha fazladır. Şelmo formasyonunda doğu-batı yönlü eksenli yersel kıvrımlar gözlenebilmektedir. Tabaka eğimleri yatay ve yataya yakındır. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.6. Faylar ve bindirme hatları

Sahanın kuzey ve kuzeydoğusu kademeli şaryaj (bindirme) ile kaplanmıştır. Ergani, Dicle, Hani, Lice, Kulp ve Sason doğrultusunda uzanan Güneydoğu Anadolu Şaryajı kuzeyden güneye

kademeli olarak yerleşmiştir. Bu şaryajla Anadolu plakası üyelerinden olan Maden karmaşığı Arap plakası üzerine sürüklenmiştir. Bitlis masifi de Maden karmaşığı üzerinde güneye doğru ilerlemiştir.

Bölgede en etkin faylanma Şelmo formasyonunun kuzey sınırını oluşturan batıda Ambardan başlayıp doğuda Malabadi'ye kadar uzanan Silvan fayıdır. Alt Miyosen Silvan kireçtaşları ile Şelmo formasyonunun sınırını oluşturur. Sahada yer alan sert kireçtaşları içerisinde birçok kırık hattı gelişmiştir. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.7. Deprem Durumu

Proje sahasında ve yakın çevresinde oluşan depremler genel olarak kuzeydeki faylanmalar ve Arap plakası ile Anadolu plakasının bindirme zonunda oluşmaktadır. Güney kesimde daha az deprem olmaktadır.

Arap plakası ile Anadolu plakası arasındaki bindirme devam etmektedir. Dalma-batma zonu olan bu bölge Şemdinli'den başlayıp Hakkari-Pervari- Şirvan-Sason-Lice-Ergani-Çermik hattını izleyerek Adıyaman'ın kuzeybatısında Doğu Anadolu Fayı ile kesişmektedir.

Baraj yeri için deprem risk analizi yaptırılmıştır. Buna göre; Pamukçay barajı aks yeri için; MDE değeri olarak 227.1 cm/sn^2 (0.23 g) pik yer ivmesinin, OBE değeri olarak $116,2 \text{ cm/sn}^2$ (0.11 G) pik yer ivmesinin, MCE için Richter Magnitüdü $M = 7.5$ olan depremin Yatay deprem katsayısı için $K = 0,14$ değerinin dikkate alınması önerilmektedir. (DSİ ES Proje,2009)

3.1.8.Baraj Yerinin Temel araştırmaları

Baraj yerinde bulunan birimlerin çalışmalarında yatay ve düşey yöndeki dağılımlarını tespit etmek, yerinde deneyler yapmak ve örnek almak amacı ile planlama aşamasında çalışılan aks yerinde 6 adet, kati proje aşamasında çalışılan yeni aks yerinde 7 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır (**Şekil 3.1**) Sondajlardan alınan karotların tanımlamaları ve yapılan deneylerin değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1: Temel Sondaj Çalışmaları (DSİ ES Proje,2009)

Proje sahasında bulunan birimler üzerinde açılan sondaj kuyularından elde edilen karotların RQD değerleri hesaplanarak kaya kalitesi belirlenmiştir. RQD ile kaya kalitesi ilişkisi tablo halinde aşağıda verilmiştir.

RQD Değeri	Kaya Kalitesinin Değerlendirilmesi
0-25	Çok zayıf
25-50	zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

Çizelge 3.1: RQD Değerlerine göre Kaya Kalitesinin Belirlenmesi (DSİ ES Proje,2009)

Pamukçay barajı yapı yerlerinde bulunan birimlerin taşıma güçleri hesaplanırken tek eksenli basınç dayanımından elde edilen sonuçlar, temel sondaj kuyularından elde edilen RQD (kaya

kalitesi göstergesi) değerine göre belirlenen indirgeme katsayısı ile çarpımı sonucu bulunmuştur. RQD ile tek eksenli basınç dayanımı indirgeme yüzdesi tablosu aşağıda verilmiştir. (DSİ ES Proje,2009)

Tek eksenli basınç dayanımı indirgeme Yüzdesi	RQD (kaya kalitesinin değerlendirilmesi) %
0	100
33	90
60	75
79	50
90	25
97	10

Çizelge 3.2: Tek Eksenli Basınç Dayanımı İndirgeme Yüzdesi (DSİ ES Proje,2009)

3.1.9 Jeolojik koşulların baraj yerine etkisi

Pamukçay baraj yerinde ana kaya olarak Şelmo formasyonu olarak adlandırılan birimler bulunmaktadır. Bu birimler çamur taşı ve konglomeranın hakim olduğu, çamur taşı, kiltası, konglomera ve kumtaşı seviyelerinin ardalanmasından oluşur. Bunların üzerinde yerinde ayrışma sonucu oluşmuş ve kalınlığı 6,00 m ye varan kil- çakıllı kil ve Pamukçay dere yatağında 6,00 m ye varan kalınlıkta alüvyon bulunmaktadır.

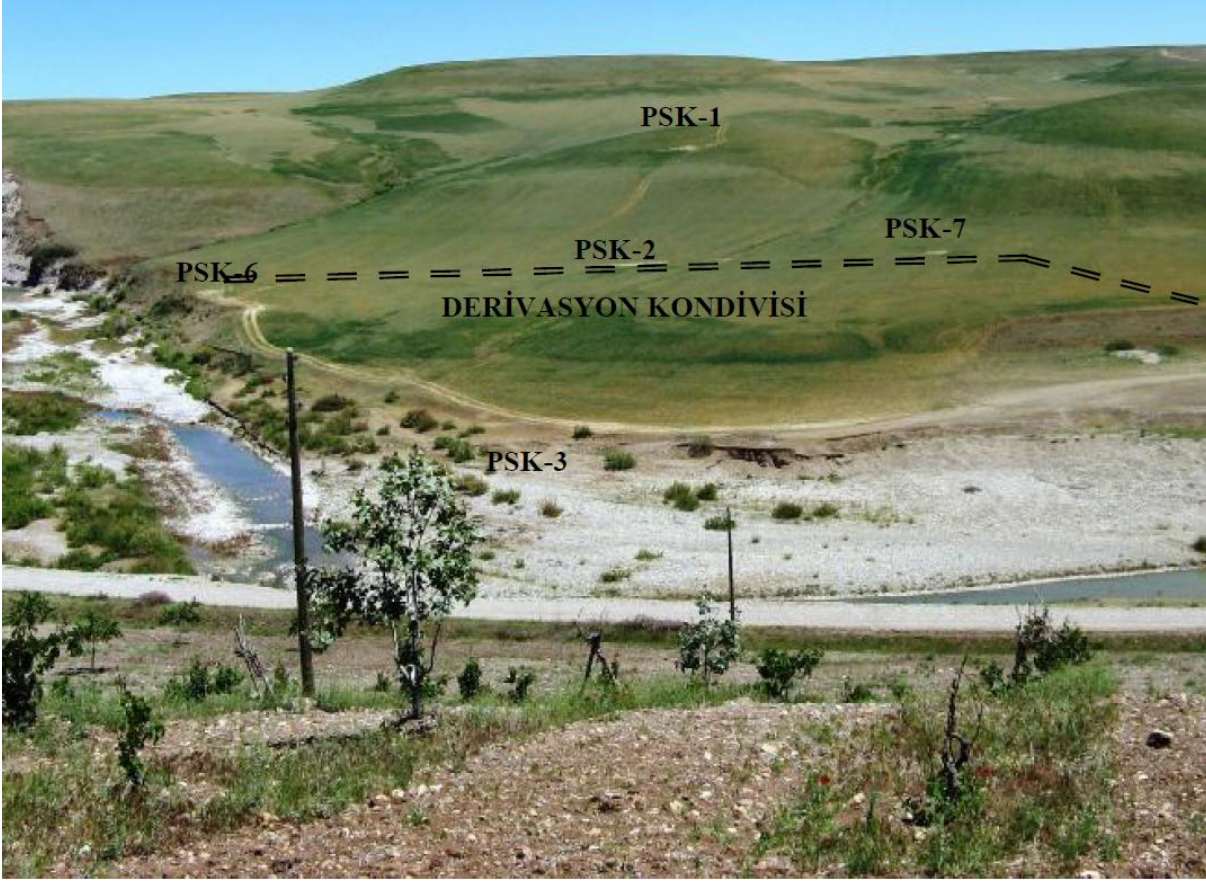


Şekil 3.2.: Şelmo formasyonu üyesi birimler (DSİ ES Proje,2009)

Şelmo formasyonunu oluşturan birimler tabakalı, tabaka kalınlıkları birkaç cm den 10 m ye kadar değişen yapıdadır. Tabakalanma yatay veya yataya yakın (5 – 10°) konumdadır. Şelmo formasyonu; boz açık kahverengi ve gri tonlarda olup kil ve karbonat çimentoludur. Çamurtaşı seviyeleri ince – orta tabakalı olup yumuşak – orta serttir. Genelde, yüzeyden itibaren 1 – 3 m ye kadar oksidasyon ve yumuşama şeklinde ayrışma gösterir. Belirgin bir eklem sistemi gelişmemiş olup yer yer ince çatlaklı ve fisürlüdür. Konglomera seviyeleri genelde tabakalanması belirsiz, ince – iri, yuvarlak – yarı yuvarlak çakıllı, gevşek – orta tutturulmuş olup kil ve karbonat çimentoludur. Açılan temel sondaj kuyularında karot yüzdeleri genel olarak çok düşüktür. Karot %’ leri iri taneli birimlerde (konglomera ve çakıllı kumtaşı) daha düşüktür. İnce taneli birimlerde (kiltası, killi kumtaşı) daha fazladır. RQD değerleri genel olarak “0” dır.

Baraj yerinde açılan temel sondaj kuyularından PSK-2 ve PSK-3 numaralı kuyularda pressiyometre deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre Pamukçay barajı bent yerinde bulunan birimlerin taşıma gücü $8,3 \text{ kg/cm}^2$ alınabilecektir. Pamukçay barajı bent yerinde bulunan birimlerin kaya kalitesi yönünden sınıflamasında zayıf kaya sınıfındadır. Deney sonucunda elde edilen Poisson Modülü konglomeralarda yüksek ($1000 - 2000 \text{ kg/cm}^2$), kumtaşlarında orta değerde ($500 - 800 \text{ kg/cm}^2$), kil taşlarında düşüktür ($<500 \text{ kg/cm}^2$).

Bu birimler üzerinde yerinde ayrışma sonucu oluşmuş ve daha çok kil-çakıllı kilden ibaret yamaç molozu yer almaktadır. Talvegde yer alan alüvyon genellikle kilden çakıla kadar değişen boyutlara sahiptir (Şekil 11-12) (DSİ ES Proje,2009)



Şekil 3.3: Pamukçay Barajı Sol Sahili ve Talveg Görünüşü (DSİ ES Proje,2009)



Şekil 3.4: Pamukçay Baraj Yeri Talveg ve Sağ Sahil Görünüşü (DSİ ES Proje,2009)

3.1.10. Baraj Yerinin Geçirirliiği, Duraylılığı

Pamukçay barajı aks yerinde açılan temel sondaj kuyularından PSK-1, PSK-2, PSK-3, PSK-4 numaralı kuyularda baraj yerinin geçirirliiğini araştırmak amacıyla ana kayada BST (basınçlı su tecrübesi) deneyi yapılmıştır.

Temel sondaj kuyularında su tecrübesi yapılmamış kademe kalmamasına özen gösterilmiş, ancak kuyu ağızına yakın zonlarda bazı kademelerde lastik tutturulamamış ya da basınçla birlikte zemin yırtılarak su kuyu ağızından gelmiştir. Temel sondaj kuyularının tamamında sondaj suyu devir daim etmiştir. Kuyuların açımından sonra hepsinde YAS ölçümü yapılmıştır. Kuyuların tamamında yeraltı suyu vardır. Aks yerinde açılan kuyulardaki YAS seviyesine göre yamaçlar dereyi beslemektedir.

Baraj aksı Şelmo formasyonu üyesi birimleri üzerine oturmaktadır. Bu birimler konglomera, kumtaşı, kıltaşı ar dalanmasından oluşmaktadır. Bu birimler üzerinde sol sahilde ortalama 6,00 m, talvegde 6,00 m, sağ sahilde de 8,00 m yamaç molozu, alüvyon ve ana kayanın ayrışma unsurları bulunmaktadır. Kil çekirdek altında yamaç molozu, alüvyon ve ana kayanın parçalanmış, ayrışmış kısımları sıyırma kazısı ile kaldırılmıştır.

BST sonuçlarına göre baraj yerinde bulunan birimler genel olarak geçirimsizdir. Lugeon hesaplamalarına göre ortalamada 1-2 Lu (m/d/l) değeri bulunmuştur. Çok az seviyede 2 Lu (m/d/l) üzerinde değer elde edilmiştir. Buna göre Pamukçay barajı bent yerini oluşturan birimler su tutma yönünden olumludur. (DSİ ES Proje,2009)

Lugeon Değeri	Geçirirliiğ Değeri (cm/s)	Kaya Sınıflaması
>25	10^{-2}	Çok Geçirirli
25	10^{-3}	
5-25	10^{-4}	Geçirirli
5	10^{-5}	
1-5	10^{-5} - 10^{-6}	Az Geçirirli
1	10^{-6}	Geçirimsiz
<1		

Çizelge 3.3: Lugeon değeri ile Geçirirliiğ arasındaki ilişki (DSİ, 2012)

Pamukçay barajı bent yerinde YASS yamaçlardan dereye doğrudur. Yamaçlarda su seviyesi kret kotundan ortalama 10,00 m daha derindedir. Bu bakımdan baraj bent yerinde YASS altına incek şekilde tüm boyda 3,00 m aralıklı ve 15,00 m derinlikte perde enjeksiyonu yapılması

uygun olacaktır. En alttaki kademede metre başına 100 kg daha fazla katı madde alışı olması halinde perde o kısımda bir kademe daha derinleştirilecektir.

Perde enjeksiyonunun her iki yanında sıyırma sonrası zeminde oluşabilecek zayıflıkları iyileştirmek amacıyla 5,00 m derinlikte konsolidasyon (kapak) enjeksiyonu yapılacaktır.

Pamukçay kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipinde yapılacaktır. Baraj yerinde ana kayayı oluşturan birimler kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipinde baraj inşaatı için taşıma gücü yönünden sorunsuzdur. Ana kaya (Şelmo formasyonu) üzerinde yer alan kil-çakıllı kil özelliğinde olan yamaç molozları ile dere yatağında bulunan alüvyon gövde altında tamamen kaldırılacaktır. Çekirdek altında sıyırma kazısı derinliği 6,00 m olacaktır. Kum-çakıl dolgu altında ise sol sahilde 6,00-8,00 m sağ sahilde 6,00 m kalınlıkta sıyırma kazısı yapılması yeterli olacaktır.

Pamukçay barajı bent yerinde yukarıda verilen derinlikte sıyırma kazısı yapıldıktan sonra baraj yerinde duraylılık problemi olmayacaktır. Baraj yerinde özel bir araştırmayı gerektirecek herhangi bir kitle hareketine veya benzer bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.

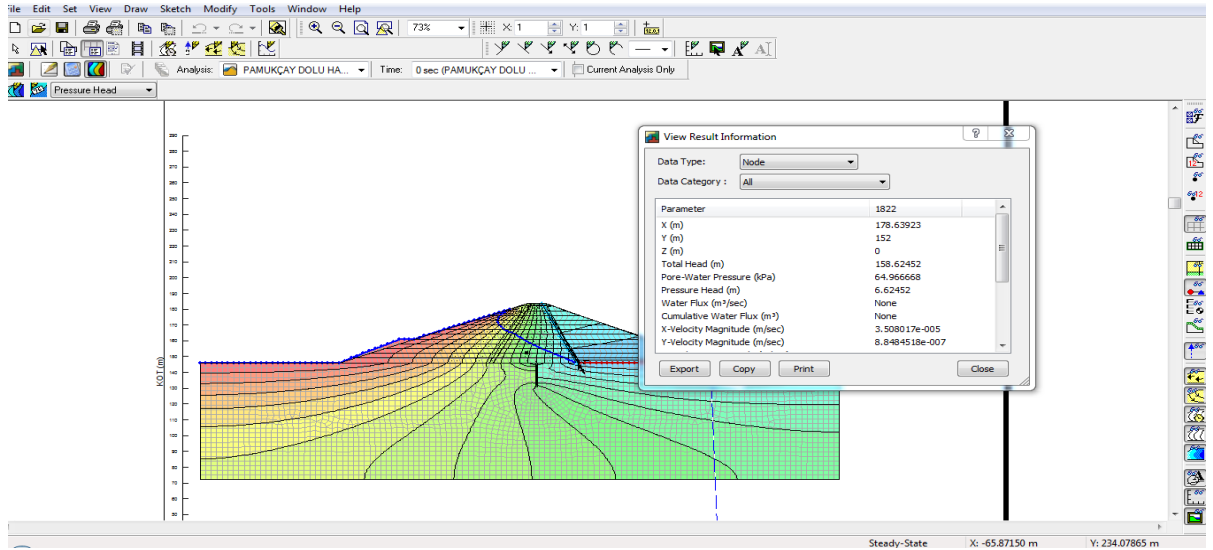
3.2. Metod

3.2.1. Geostudio Programının Tanıtılması

Geostudio programı Calgary, Alberta, Kanada merkezli Geo-Slope International Ltd. Şti. tarafından geliştirilmiş sayısal analiz programıdır. Geo-Slope programının amacı tüm geoteknik mühendisleri için pratik hale getirilmiş teknik kapsamlı ve kolay bir yazılımın yanı sıra programı erişilebilir hale getirmektir.

Program genelde uygulama alanının modellenmesinden sonra gerekli parametrelerinde işlenmesiyle gerçeğe yakın değerler elde edilmesini sağlamıştır. Geostudio programı farklı birçok zemin problemlerinin çözümlerini elde etmede karmaşık olmayan bir analiz programıdır. Bu da programın gün geçtikçe daha çok yaygınlaşmasına sebep olmuştur.

Özellikle barajların proje aşamasında yer alan modellenmesinden, inşaat aşamasına ve işletme durumuna kadar birçok aşamada gerçekçi çözümler bulduğu için barajlarla ilgili analizlerde sıkça kullanılan analiz programı olmuştur.



Şekil 3.5:Geostudio programının kullanıcı ara yüzü

3.2.2 Geostudio Programının Parametreleri

Geostudio programı; sızma, oturma ve gövde stabilite analizlerini yapabilmesi için bazı veri parametrelerini kullanır. Bu parametreler gövde içinde bir veya birkaç kesitte uygulanabilir. Bir veya birkaç kesitte bölümlendirilmesinin sebebi de malzeme parametrelerindeki farklılıklardır. Tanımlanması gereken bu parametrelerde aşağıda yer almaktadır.

- Permeabilite Katsayısı (k) m/s
- Birim Hacim Ağırlık(γ_n) KN/m³
- Kohezyon (c)
- İçsel Sürtünme Açısı (Φ)
- Elastisite Modülü (E)
- Poisson Oranı (ν)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Pamukçay Barajının Dolgu Özellikleri

Pamukçay Barajı kil çekirdekli zonlu dolgu olarak tasarlanmıştır. Çeşitli laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar, kil dolgu malzemesinin gerilme birim deformasyon davranışının elastik-plastik gerilme seviyesine bağlı bir karakteri olduğunu ortaya koymaktadır. Kil dolgu malzemesinin mekanik özellikleri, birçok çalışmada elastik plastik model kullanılarak temsil edilmiştir. Kil için yapılan kıvam limitleri bunun en belirgin özelliğidir. Aşağıda Pamukçay Barajında kullanılan malzemelerin ve malzeme özellikleri verilmiştir.

Pamukçay Barajı Malzeme Alanları ve Ortalama Özellikleri							
Malzeme Cinsi	Geçirimli Malzeme	Geçirimsiz Yarı Geçirimli/Malzeme			Yarı Geçirimli Malzeme		Kaya Malzeme
Alan Adı	A-Alanı	B-Alanı	C-Alanı	G-Alanı	D-Alanı	E-Alanı	K-Alanı
Cinsi	Alüvyon	Kil	Kil	Kil	kil-kum-çakıl	kil-kum-çakıl	
Tabaka Kalınlığı (m)	3	2	4	3.5	4	3	Silvan kireçtaşı 50<
Miktarı (m ³)	1,000,000.00	100,000.00	600,000.00	300,000.00	180,000.00	100,000.00	3,000,000.00

Çizelge 4.1 : Pamukçay Barajı Malzeme Özellikleri (DSİ Kati Proje,2010)

Baraj yeri ve çevresini içine alan çalışmalar barajın gövde dolgusunda kullanılacak dolgu malzemesinin nereden ve ne kadar temin edilebileceğinin tespiti amacıyla yapılmış olup 3 adet geçirimsiz (B,C,G), 5 adet yarı geçirimli (B,C,G,D,E), 1 adet geçirimli (A) ve 1 adet Kaya gereç alanı (Kaya) araştırılmıştır.

Pamukçay Barajı gövdesi kil çekirdekli olarak kum-çakıl dolgu olarak inşa edilmiştir. Bu bakımdan doğal yapı gereci olarak geçirimsiz gereç, kum çakıl dolgu gereci, kaya gereci, filtre ve beton agrega gereci gerekmiştir.

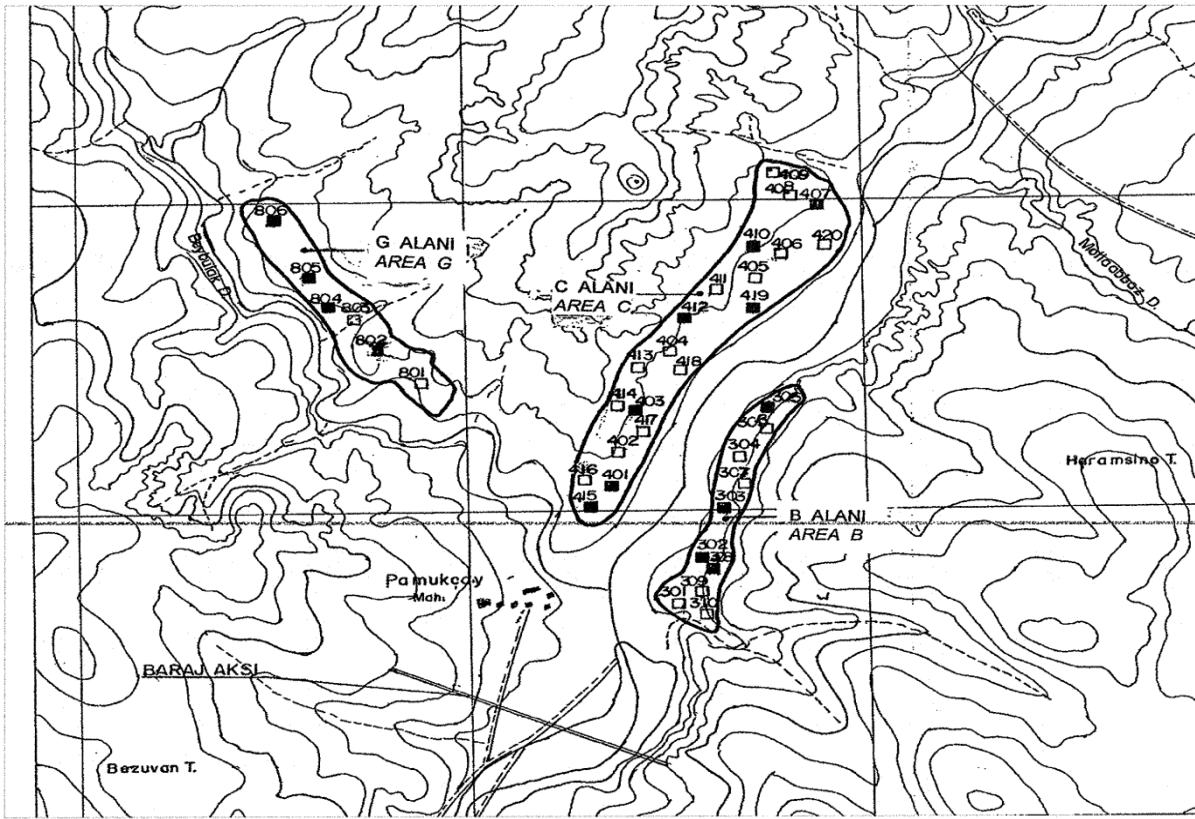
Pamukçay Barajı gövde imalatında kullanılmış olan geçirimsiz gereç “C” sahasından temin edilmiştir. Saha nitelik ve nicelik bakımından kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. Saha alanı sağ sahilinde bulunmaktadır. Malzeme kalınlığı değişken olduğu görülmüştür. Geçirimsiz gereç altında siltli çakıl ve siltli kumdan oluşan yarı geçirimli gereç bulunmaktadır. Ocak işletmesi yapılırken saha sürekli olarak kontrol edilmiş alttaki yarı geçirimli gereçle bırakılmıştır. Malzeme alanının tamamı maksimum su seviyesinin altında kalmıştır.

Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri kullanıma uygun olup yaklaşık rezerv 600.000,00 m³ 'tür.

Baraj gövde dolgusunda kullanılmış olan geçirimli (kum çakıl) dolgu, filtre ve beton agregası gereci "A" geçirimli gereç alanından sağlanmıştır. Yıkayıp elendikten sonra filtre malzemesi olarak ta kullanılmıştır. Sahanın tamamı göl alanı içerisinde kalmıştır. Sahadan 1 000 000 m³ malzeme alınması mümkündür.

Gövde dolgusunda kullanılmış olan riprap gereci Kaya-I gereç alanından sağlanmıştır. Gereç labratuar sonuçlarına göre kullanılmaya uygun görülmüştür.

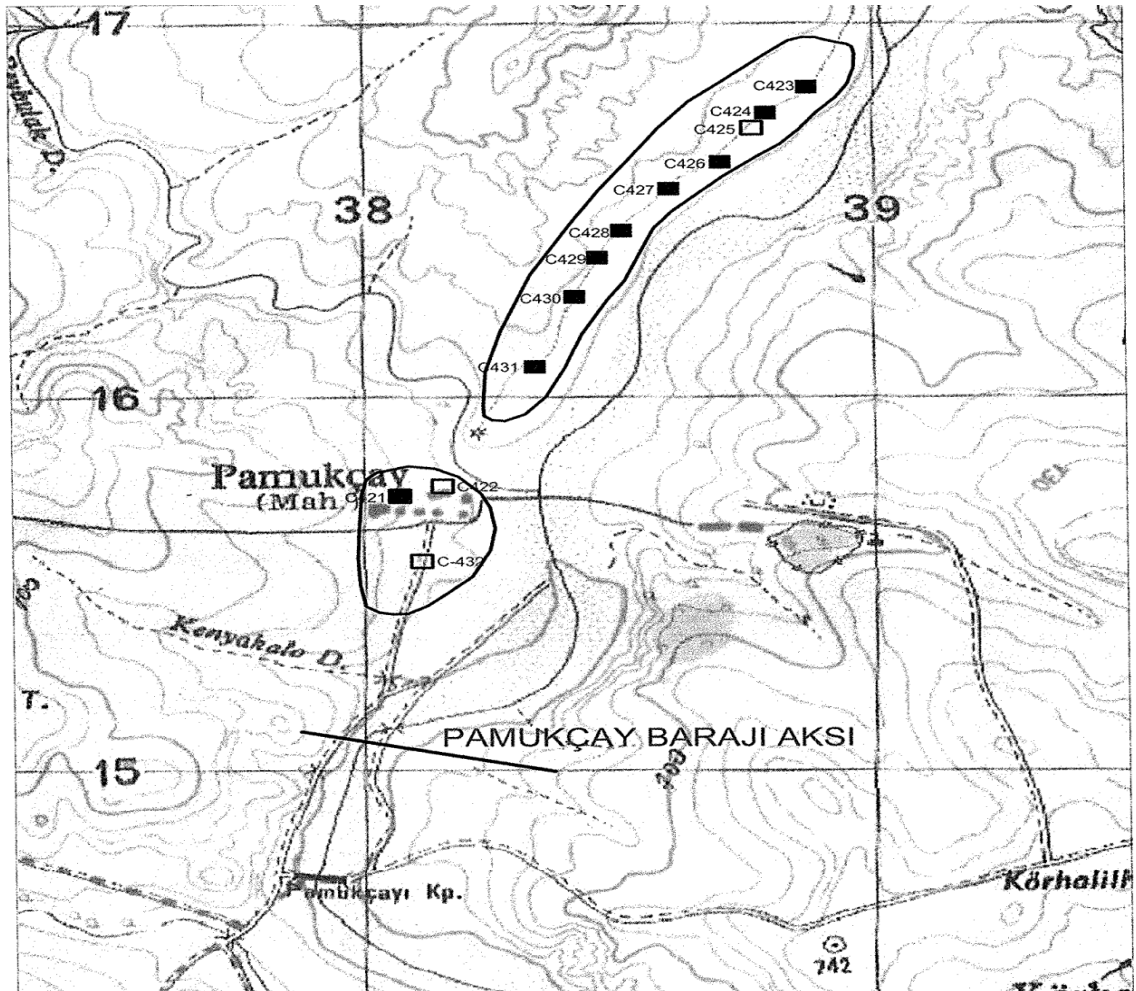
Sonuç olarak baraj inşaatında gerekli olan geçirimsiz malzeme "C" sahasından, yarı geçirimli malzeme C, E, D sahasından, geçirimli malzeme, filtre malzemesi ve beton agregası "A" sahasından, kaya gereci Kaya-I sahasından alınmıştır.



Şekil 4.1 :B,C,G Geçirimli;Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Haritası
(DSİ Kati Proje,2010)

C GEÇİRİMSİZ MALZEME ALANLARI LABARATUAR DENEY SONUÇLARI

	Özgöl Ağırlık g/cm ³	Doğal su İçeriği W(%)	Sıkıştırma γ_{kmax} (gf/cm ³)	Wopt	Kıvam Limitleri			Group Symbol	Tane Dağılımı %	
					LL	PL	PI		200 Nolu elekten Geçen	4 Nolu elekten Geçen
C-403	2.67	23.7	1.58	20.5	49.2	24.7	25	CL	96.8	96.96
C-405	2,49	15.9	1.73	14.5	42.1	21.6	20.5	CL	97.9	100
C-407	2.53	16.3	1.63	19	46.8	24.6	22.2	CL	79.8	98.7
C-410	2.5	15.6	1.61	20.2	54.7	31.7	23	MH	58.5	96.2
C-412	2.5	25	1.63	17.6	41.5	20.1	21.4	CL	86.6	99.4

Çizelge 4.2 : Pamukçay Barajı geçirimli malzeme özellikleri (DSİ Kati Proje,2010)**Şekil 4.2 : C Geçirimsiz Malzeme Alanları Haritası Deney Numune Haritaları (DSİ Kati Proje,2010)**

DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberine Göre tavsiye edilen değer aralıkları aşağıda verilmiştir.

Maksimum Tane Boyutu	Yaklaşık 75 mm
4 Numaralı Elekten Geçen	%70-100
200 Numaralı Elekten Geçen	%40-90
Plastisite İndeksi	Minimum %15

Çizelge 4.3 : DSİ Barajlar Tasarım Rehberine Göre tavsiye edilen değer aralıkları (DSİ 2012)

CL : Düşük Plastisiteli kil

MH: Yüksek Plastisiteli Silt

OH: Yüksek Plastisiteli Organik Kil

Geçirimsiz malzeme olarak kullanılmış olan “C” malzemesinin laboratuvar deneyleri ve DSİ normlarında istenen değer aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	DSİ Teknik Bülten Aralığı Değerleri			Pamukçay Barajında kullanılan Ortalama Malzeme Değerleri
	Kullanılmış veya tavsiye edilen alt limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen üst limit	Kullanılmış veya tavsiye edilen değerler	
Özgül ağırlık g/cm³	2.5	2.8	>2.6	2.54
Y_{kmax} (gf/cm³)	1.43	1.87	>1.65	1.64
Plastisite İndisi	14	20	14-20	22
Doğal su İçeriği W(%)	İnşa Aşamasında Optimum (-2)	İnşa Aşamasında Optimum (+2)	19.3	18.36
Likit Limit %	40	50	45	46.9

Çizelge 4.4:Pamukçay Barajında Kullanılmış Olan Malzeme Değerleri ve Tavsiye Değerleri (DSİ ES Proje, 2009)

Pamukçay Barajında kullanılan kil malzemesinin özelliklerine bakıldığı zaman Özgül Ağırlık değerinin tavsiye edilen değerler aralığında olduğu görülmüştür. Plastisite İndisinin nispeten küçük olduğu görülmüştür. DSİ Teknik bültenine göre (14-20) değerleri aralığı tavsiye edilmektedir. Bu değerlerin artması durumunda sıkışma ve sertleşme potansiyelinin artacağı geçirgenliğin azalacağı ve bunun sonucunda kazı ve dolgu zorluğu doğuracağı öngörülmüştür. Ayrıca doğal su içeriğiyle, optimum su içeriğinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. DSİ teknik bülteninde bu değer inşaat

aşamasında optimum (-2) ve inşaat sonrasında (+2) olması tavsiye edilmektedir. Bu farkın fazla artması durumunda oturmanın artacağı, yüksek boşluk suyu basıncı oluşturacağı öngörülmüştür. Az olması durumunda ise kil dolgusunun çatlamalara sebep olacağı düşünülmüştür. Optimum su muhtevasının aynı bültende (15-25) aralığında olması, γ_{kmax} 'ında (1.43-1.87 gf/cm³) arasında olması tavsiye edilmiştir. Bu değerlerin ikisinin de sağlandığı görülmektedir. Likit limit değerinin 46,9 olduğu ve tavsiye edilen değerlerde olduğu görülmüştür. Kil malzemesinin fiziksel özelliklerinin büyük çoğunluğunun tavsiye edilen aralıklarda olduğu sonucuna varılmıştır.

Kil malzemesinin barajda kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2. Pamukçay Barajında Bulunan Ölçüm Aletleri

Pamukçay Barajı kil çekirdekli homojen dolgu tipindedir. Ölçüm tesisleri yapılacak baraj gövdesinin gerilme ve deformasyonları ile kil çekirdek içindeki boşluk suyu basınçlarının ölçülmesi amaçlanmıştır. Elde edilecek veriler ile tasarım değerleri kıyaslanarak baraj güvenliği değerlendirilecektir.

Pamukçay Barajı temelden 37,50 m, talvegden 31,5 m yüksekliğindedir. Kret uzunluğu 512,14 m. dir. Gövde dolgusu boyuna yönde 100 m aralıkla 3 adet kesitte ve yatay düzlemde 3 adet katmanda yerleştirilen cihazlarla kontrol edilecektir. Baraj ve çevresindeki deformasyonlara neden olan yük değişimleri değişimi, gerilme, basınç değişimi ve etkili diğer parametreler bazı özel donanımlarla ölçülerek izlenmiştir. Farklı kesitlerde ve düzlemlerde yapılan bu ölçümlerin esas nedeni barajın farklı lokasyonlarında gerçekleşen ani değişimleri gözlemlemek ve tedbir alma amaçlıdır. Pamukçay Barajında yapım, yapım sonrası ve işletme koşullarında barajın davranışını izlemek amacıyla aşağıdaki maddelerde belirtilen ölçüm aletlerinin yerleştirilmiştir. Pamukçay Barajı gövdesi üzerinde işletme boyunca gelişmeleri izlemek amacıyla, Harici Çökme Röperleri (SP), Alet Merkezleme Röperleri (RP) , Sigorta Referans Röperleri (SPR), Titreşen Telli Piyezometre (PZ), Bağlantı Kutusu (JB), Manyetik Ekstansometre (EX) Rasat Kuyusu (RK), ve Taşınabilir Okuma Cihazı kullanılmıştır. Ölçüm aletlerinin yerleştiriliş amaçları, yerleştirilme sırasındaki ve sonrasında izlenecek adımlar aşağıda detaylı olarak verilmektedir. Bu cihazların yerleştirildiği yerler ve adetleri aşağıdaki gibidir.

Ölçüm Aleti	Lejant	Kullanılacağı Yer
Harici Çökme Röperleri	SP	Baraj yüzeyinde
Alet Merkezleştirme Röperi	RP	Sol yamaçta
Sigorta Referans Röperi	SPR	Sağ yamaçta
Temel tipi boşluk suyu basınçölçer	PZ	Baraj temelinde
Dolgu tipi boşluk suyu basınçölçer	DPZ	Kil Çekirdekte
Bağlantı Kutusu	JB	Krette
Manyetik Ekstansometre	EX	Kretten ana kayaya kadar
Rasat Kuyusu	RK	Mansap Yüzeyinden filtreden baraj yüzeyine kadar

Çizelge 4.5: Pamukçay Barajı Ölçüm Aletleri (DSİ Kati Proje,2010)

Pamukçay Barajı inşası 2010 yılı tarihinde başlamış, 2013 yılında tamamlanmıştır. Gövde dolgusu içerisine kurulan piyezometreler ve manyetik ekstansometrelerden alınan 2012 ve 2015 yıllarına ait okumalar mevcut olmakla birlikte, okumalar 2012 yılının son çeyreğinden itibaren düzenli bir şekilde kayıt altına alınmaya başlanmıştır.

4.3. Manyetik Ekstansometre ve Piyezometreler

4.3.1 Piyezometreler

Baraj güvenliği, baraj içinde ve temelinde sızıntı ve sıkışma sebebiyle oluşan su basıncından etkilenmektedir. Piyezometreler bu gibi durumların kontrol edilmesinde, su tutulması sırasındaki drenaj işlemlerinin veriminin ve yapım aşamasında oluşan boşluk suyu basınçlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Piyezometrenin baraj üzerinde, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve sızıntı basınç modelini elde etmeye olanak tanıyacak, yatay ve düşey yerleşim üzerindeki en kritik bölgelere yerleştirilmesi gerekmektedir. Açık uçlu depolu (Casagrande tipi), kapalı uçlu depolu, çift tüplü hidrolik, pnömatik, titreyen telli ve elektronik tipte olanları mevcuttur. Ticari olarak bulunabilen piyezometreler, genel olarak -5 ile 400 metrelik (çift tüplü hidrolik piyezometreler daha yüksek artı basınç değerlerini de gösterebilmektedir) hidrolik yüke kadar (-50 ile 4000 kPa arası) ölçüm yapabilmektedir. Piyezometrenin çevresindeki zeminde meydana gelen deformasyonlar, ekipmanın zarar görmesine sebep olabilmektedir. Şekil 1’de titreyen telli ve pnömatik piyezometre örnekleri verilmiştir. (Çetin ve ark. 2016)



Şekil 4.3 : Pamukçay Barajında Kullanılan Titreşen Telli piyezometre (Çetin ve ark. 2016)

4.3.2 Manyetik Ekstansometre

Manyetik ekstansometre sistemi İngiliz Yapı Araştırma tekniğine dayanır. Ekstansometre uygulaması değişik derinliklerde toprağın, setin, baraj zemin dolgusunun kabarma ya da oturma ölçümünde kullanılmaktadır. Sistem, harici spiral tüplerle bağlantılı, manyetik halka, başlangıç halkası bulunan dip bölme ve askılı baş kısmından oluşmaktadır. Manyetik halka harici bağlantı tüpü, hareket oluşturan zeminde kurulmuştur. (Şekil 4.4). Manyetik halkalar toprağı çevreleyen bağlama tüpünün eksenini boyunca taşınmıştır. Okumalar bağlama tüpü aracılığı ile indirilen kazık biçimli ölçüm ucu ile elde edilmiştir. Karşılaştırmalı incelemeler zeminin zaman içerisinde yükselmesini veya oturmasını gözlemekte yardımcı olmuştur. (Coşar 2010)



Şekil 4.4: Manyetik Ekstansometrenin arazide Uygulanması (Coşar 2010)

4.4 Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması

4.4.1 Düşey Deplasmanlar ve Boşluk Suyu Basıncının Hesaplanmasında Sonlu Elemanlar Metodu

Deterministik metot, fiziksel kanunlara göre gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile malzemenin özellikleri ve etki eden kuvvetler (yükler) hakkında bilgi sağlar. Deterministik metotta genelde Sonlu Elemanlar Metodu kullanılır. Sonlu Elemanlar Metodu, deformasyonların fonksiyonel modellenmesinde güçlü bir araçtır.

Sonlu elemanlar ağını meydana getirirken baraj gövdesini oluşturan yapıların boyutuna, şekline ve yapısına karar verilmesi gerekir. Bu sayede barajın mevcut hali, modellenerek gerçek şekline uygun olarak elde edilmiş olur. Bu yöntemi uygulamanın esas amacı gerçeğe yakın değerlerin çıkmasını sağlamak için baraj gövdesi ve temelini gerektiği kadar küçük parçalara ayrılmasıdır. Her parçanın bağlantı noktalarında bazı serbestlik noktaları yer alır. Bu serbestlik noktalarında her bir parçanın serbestlik derecelerini kapsayan denklemler mevcuttur. Bu sayede analizi istenen yapının sınır şartlarını içinde barındıran matematik model sağlanmış olur. Bu sayede sonsuz serbestlik derecesi olan sürekli ortam, sonlu serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür ve buna “ Sonlu Elemanlar Modeli” denir. Sonlu elemanlar ağında her eleman diğer elemene sadece bağlantı noktalarıyla bağlı olduğu varsayılmaktadır lakin esasında sonsuz sayıda nokta ile bağlıdır. Böylece düşey deplasmanların ve boşluk suyu basıncının bu noktalardan yapılan çözümlerle elde edilmesi sağlanacaktır. Laboratuar deneyleri sonucunda elde edilmiş olan parametrelerin bu yöntemde kullanılarak baraj daha yapılmadan önce bile öngörülen düşey deplasmanlar veya boşluk suyu basıncı hesaplama analizleri yapılabilir.

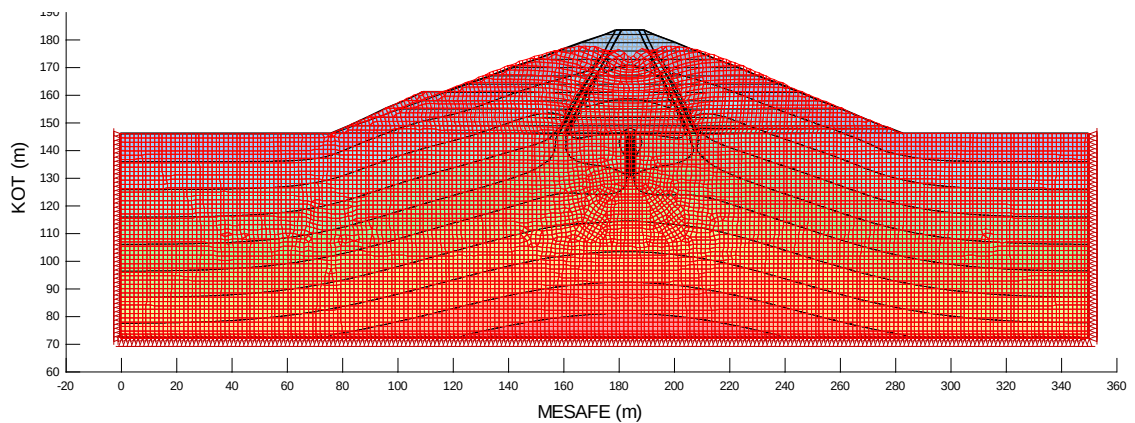
Barajlarda sonlu elemanlar analizi en yaygın haliyle barajın temelinde rijitlik ve ölü yüklerin tetkik edilmesinden sonra bu dilimde inşaat aşamasında meydana gelebilecek düşey deplasmanlar ve boşluk suyu basıncının hesaplanması ve aynı yöntemle en son dilimin yapımına kadar süregelmesini ifade eder. Dilim yönteminde dikkat çeken bir diğer hususta Kil Çekirdekli Dolgu Barajlardır. Kil çekirdekli dolgu barajlar tabaka halinde inşa edildiklerinden dolayı tek tabakada analiz etmek doğru sonuçlar doğurmayabilir. Örneğin tek kademeli bir baraj analizinde en çok oturma gövdenin kretinde olduğu sonucunu doğururken kademeli yani tabakalı analizde kretin ortalarında en çok oturma olduğu gözlenmiştir. Bu konuda bir çalışmada Zomorodian ve ark. tarafından Sange Siah Barajı için yapılmıştır. Sange Siah, İran’da bulunan, 33 m yükseklikte ve kret uzunluğu 351.6 m olan kil çekirdekli kaya dolgu tipte bir barajdır. Baraj, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 ve 31 kademeli olacak şekilde modellenerek on ayrı analiz yapılmıştır. Analizlerde bir veya daha fazla kademeli modelin tanımlanmasının, oturma

dağılımı ve miktarında farklı sonuçlara ulaşılmasına yol açtığı belirlenmiştir. (Zomorodian ve ark.)

4.4.2 Sonlu Elemanlar Analizi

4.4.2.1 Analiz ile İlgili Genel Bilgiler

Kil Çekirdekli Zonlu Toprak Dolgu Baraj biçiminde yapımı tamamlanan Pamukçay Barajı, üç boyutlu gerilme birim deformasyon şartları iki boyutlu şartlara dönüştürülerek analiz edilmiştir. Kil dolgu malzemesinin gerilmeye bağımlı, elastik ve plastik davranışını yansıtmak amacıyla sonlu elemanlar metodu analizi Geostudio’da mevcut olan Elastik-plastik zemin modeli kullanılarak yapılmıştır. Baraj için gerekli olan parametreler proje yapım aşamasında gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinden alınabilir. Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılacak olan Pamukçay Barajı diğer tüm barajlarda olması gerektiği gibi tüm yönleriyle modellenmiştir. Baraj temeli (şelmo formasyonu) , kum-çakıl dolgu malzemesi, filtre malzemesi ve kil çekirdek malzemesiyle inşa edilen barajda yalnız kil malzemesinin üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Diğer malzeme parametrelerinin çoğu projede yer verilen değerlerden alınmıştır. Proje yapım aşamasında da olmayan bazı parametreler ise DSI’ nin diğer barajlarda kullandığı değerler ışığında oluşturduğu Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi ve Teknik Bülteninde yer alan değerler alınmıştır. Barajın inşa aşamasındaki gibi temel malzemesinin parametreleri de girilip 3 m’ lik dilimler halinde dolgu artırımlı şekilde modellenmiştir. Tek dilimde analiz gerçekleştirildiğinde sağlıklı sonuçlar çıkmayacaktır. Baraj gövdesinin düşey yer değiştirmesi de en çok gövde ortalarında olmasına rağmen tek dilimde yapıldığı takdirde krette olacaktır. (Clough ve ark., 1967)

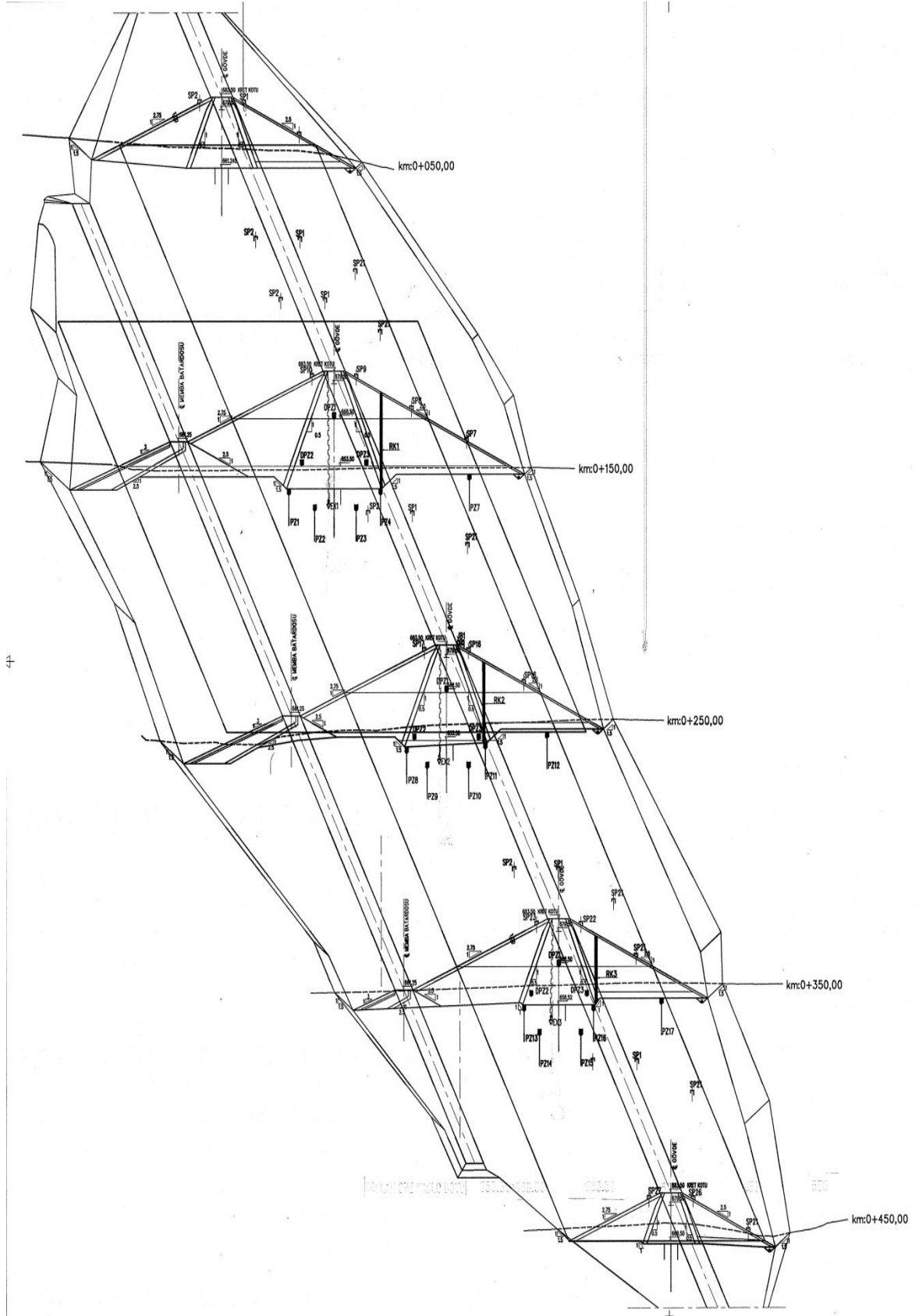


Şekil 4.5: Pamukçay Barajının Sonlu Elemanlar Ağı

Analiz inşaat sonrası durum için yapılmıştır. Her kademe için dolgu yüksekliğine bağlı olarak her kademe için ayrı ayrı olmak üzere oturma davranışı Geostudio sonlu eleman analizi

programı ile incelenerek ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Baraj kil çekirdeğinin içindeki boşluk suyu basıncını hesaplamak için Geostudio sonlu eleman analizi yapılmış bu bulunan değerler önceden ölçülen piyezometreler değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca şev analizi yapılarak obe ve mde deprem koşulları incelenerek baraj gövde şevlerinin güvenli bölgede kalıp kalmadığının kontrolü de yapılmıştır. Su tutulması durumu için ek bir analiz yapılarak baraj gövdesinde meydana geleceği tahmin edilen deformasyonlar da ayrıca belirlenmiştir. Pamukçay Barajı gövde dolgusunda ölçüm aletlerinin kurulduğu üç adet kesit bulunmaktadır.

Gövde km: 0+150.00, km: 0+250.00 ve 0+350.00 kesitlerde Manyetik ekstansometre ve piyezometreler, gövde km: 0+050, km ve 0+450 de ise çökme ölçerler yerleştirilmiştir.

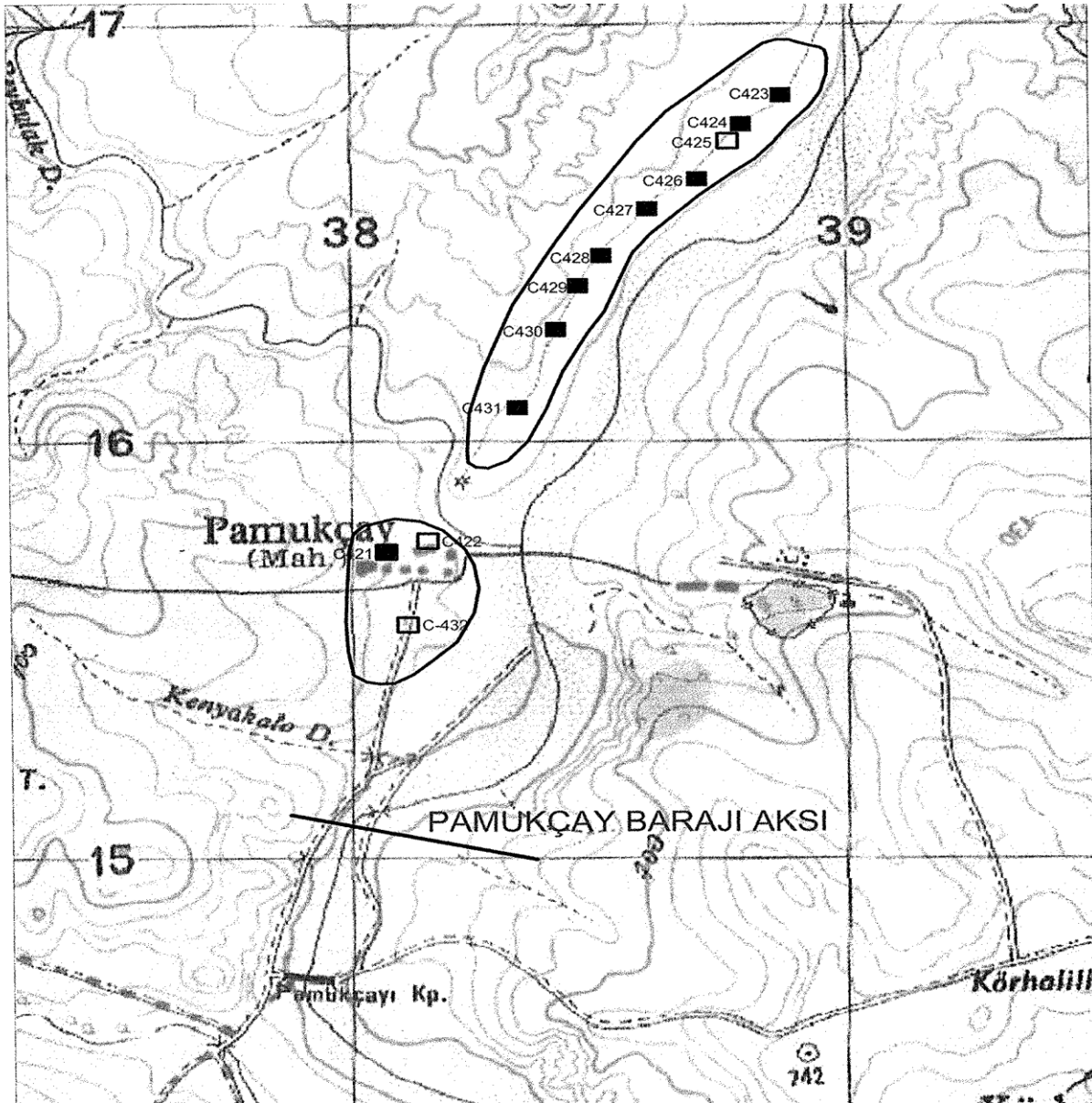


Şekil 4.6: Pamukçay Barajı Kesitler (DSİ Kati Proje,2010)

4.4.3. Kil, Dolgu Malzemesi Baraj Temeli (Şelmo Formasyonu) ve Filtre Malzeme Model ve Parametrelerinin Seçimi

4.4.3.1 Kil Malzemesi Parametrelerinin ve Modelinin Belirlenmesi

Baraj çekirdeğini oluşturan kil malzemenin sonlu elemanlar analizinde kullanılacak parametreleri, üç eksenli basınç deneylerinden alınmıştır. Kilin üç eksenli basınç deney sonuçları ile Permeabilite katsayısı (k) ve birim ağırlık değerleri sırası ile Çizelge 2, 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 4.7: Geçirimsiz Malzeme Alanları Labaratuar Deney Numune Haritaları
(DSİ Kati Proje,2010)

<u>Numune No</u>	<u>Kohezyon c (kgf/cm²)</u>	<u>İçsel Sürtünme Açısı Φ (°)</u>
C421	1.53	14
C423	1.74	18
C424	1.64	15
C426	1.48	14
C427	1.39	12
C428	1.39	13
C429	1.66	15
C430	1.64	20
C431	1.55	17

Çizelge 4.6: Kilin Üç Eksenli Deney Sonuçları (DSİ ES Proje, 2009)

<u>Numune No</u>	<u>Permeabilite (K) cm/sn</u>
C421	7.6×10^{-6}
C423	1.12×10^{-5}
C424	7.58×10^{-6}
C426	6.54×10^{-6}
C427	7.88×10^{-6}
C428	8.99×10^{-6}
C429	1.05×10^{-5}
C430	8.76×10^{-6}
C431	8.24×10^{-6}

Çizelge 4.7: Kilin Permeabilite Deney Sonuçları (DSİ ES Proje, 2009)

Numune No	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
C421	1.86
C423	1.86
C424	2,02
C426	1.90
C427	2.01
C428	1.79
C429	1.95
C430	1.99
C431	1.86

Çizelge 4.8: Kilin Birim Hacim Ağırlığı (DSİ ES Proje, 2009)

Malzeme	Permeabilite Katsayısı K (cm/s)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı Φ (°)	Elastisite Modülü E (kPa)
Kil Çekirdek	$8.59 \cdot 10^{-6}$	1.92	155	15	5000

Çizelge 4.9: Kil Çekirdek malzemesi olarak kullanılmış malzemenin nihai parametreleri (DSİ ES Proje, 2009)

Kil için kullanılması gereken nihai parametreler, yüksek kohezyon ve düşük içsel sürtünme açısı değerleri göz önüne alındığında, drenajsız davranışa yakın özelliklere sahip olarak görülmektedir. Permeabilite katsayısı değerleri göz önüne alındığında DSİ Teknik Bültende geçirimsizliğin sağlanabilmesi için bu değerlerin 10^{-6} - 10^{-8} cm/s değerleri arasında alınması önerilmiştir. Dokuz numuneden alınan bu değerlerin tavsiye edilen değer aralığına yakın olduğu görülmüştür.

4.4.3.2 Baraj Temeli (Şelmo Formasyonu) Model ve Parametreleri

Baraj aksı Şelmo formasyonu üyesi birimleri üzerine oturmaktadır. Bu birimler konglomera, kumtaşı, kıltaşı araldanmasından oluşmaktadır. Bu birimler üzerinde sol sahilde ortalama 6,00 m, talvegde 6,00 m, sağ sahilde de 8,00 m yamaç molozu, alüvyon ve ana kayanın ayrışma unsurları bulunmaktaydı. Kil çekirdek altında yamaç molozu, alüvyon ve ana kayanın parçalanmış, ayrışmış kısımları sıyırma kazısı ile kaldırılmıştır.

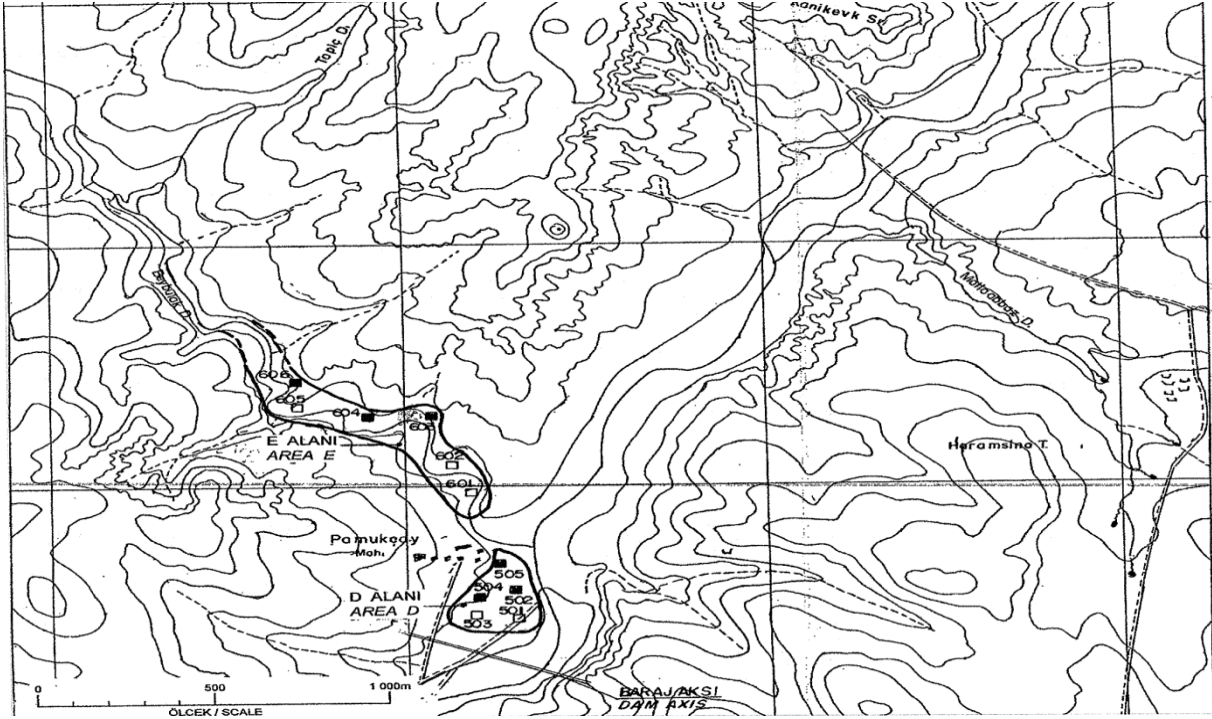
BST sonuçlarına göre baraj yerinde bulunan birimler genel olarak geçirimsizdir. Lugeon hesaplamalarına göre ortalamada 1-2 Lu (m/d/l) değeri bulunmuştur. Çok az seviyede 2 Lu (m/d/l) üzerinde değer elde edilmiştir. 1 lugeon değerine karşılık gelen yaklaşık permeabilite katsayısının 10^{-7} m/s' ye tekabül ettiği anlaşılmaktadır. (Rockmass 2011) Buna göre Pamukçay barajı bent yerini oluşturan birimler su tutma yönünden olumludur. Baraj temeli modeli için elastik-plasik model seçilmiştir. Şelmo formasyonuna ait diğer laboratuar değer sonuçları aşağıda verilmiştir. Şelmo formasyonu baraj temelinde yer alması açısından baraja avantajlar sağlamıştır çünkü şelmo malzemesi geçirimsiz özellikler göstermektedir. Bu nedenle Baraj temeline ait herhangi bir Permeabilite deneyi yapılmamıştır. Şelmo formasyonun Permeabilite katsayısının 1×10^{-7} m/s olarak seçilmesi uygun görülmüştür. Proje geoteknik raporunda Şelmo formasyonuna ait Elastisite Modülü 50000 Kpa, kohezyonu (k) 500 kPa ve birim hacim ağırlığı ise 20 KN/m³ verilmiştir.

Toplam Gerilmeye Göre					
Sigma 3 (Kpa)	100.0000	200.0000	400.0000	C (KPa)	177.0000
Belirsizlik				İçsel Sürtünme $\Phi(^{\circ})$	19.6700
Sigma1-Sigma 3 (Kpa)	618.3668	698.0778	922.0450		
Belirsizlik					
Sigma 1 (Kpa)	718.3668	898.0778	1322.0450		
Belirsizlik					
Epsilon %	4.0030	6.8010	16.4020		
Belirsizlik %					

Çizelge 4.10 :Şelmo Formasyonu ait Laboratuar Deney Sonuçları (DSİ 2015)

4.4.3.3 Dolgu Malzemesinin (Yarı Geçirimli Malzemenin) Modelinin ve Parametrelerinin Seçimi

Yarı geçirimli malzeme siltli, killi çakıl ve siltli kilden oluşan kısmen yamaç molozu ve kısmen alüvyon ile alttaki yerinde ayrıışmış kayadan oluşur. Bu alanda 5 adet araştırma çukuru açılmış ve 3 adet torba örnek alınmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır.



Şekil 4.8: D,E Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Haritası (DSİ Kati Proje,2010)

D YARI GEÇİRİMLİ MALZEME ALANLARI LABARATUAR DENEY SONUÇLARI

ÖRNEK NO	Özgül Ağırlık g/cm ³	Doğal su İçeriği W(%)	SIKIŞTIRMA		Kıvam Limitleri			GROUP SYMBOL	Tane Dağılımı %	
			γ_{kmax} (gf/cm ³)	Wopt	LL	PL	PI		200 Nolu elekten Geçen	4 Nolu elekten Geçen
D-504	2.62	18.00	1.72	18.00	49.60	25.40	24.20	CL	75.60	91.00

Çizelge 4.11: Yarı Geçirimli Malzeme Alanları Laboratuar Deney Sonuçları (DSİ Kati Proje,2010)

Dsi Dolgu Barajlar Tasarım Rehberine göre yarı geçirimli malzeme, geçirimsizlik katsayısı $K=10^{-4}$ - 10^{-6} cm/s arasında olan ve içinde ince dane oranı (Pamukçay Barajı ince dane oranı %9) %12' den az olan malzemedir. Dolgu malzemesi için Permeabilite deneyi yapılmadığı için Dolgu Barajlar tasarım rehberinde bahsedilen yarı geçirimli Permeabilite katsayısı değer aralığında tavsiye edilen $K=10^{-4}$ cm/s değeri alınmıştır. Kum Çakıl karmaşığı malzemede maksimum tane çapı 7.5 cm' den daha büyük olmamalıdır.

Pamukçay Barajı Yarı Geçirimli Malzeme Alanları ve Ortalama Özellikleri		
Malzeme Cinsi	Yarı Geçirimli Malzeme	
Alan Adı	D-Alanı	E-Alanı
Cinsi	Kil-kum-çakıl	Kil-kum-çakıl
Açılın Kuyu Sayısı	4	3
Miktarı (m ³)	180,000.00	100,000.00
Önerilen Kazı Derinliği (m)	4	3

Çizelge 4.12: Yarı Geçirimli Malzeme Alanları ve Ortalama Özellikleri
(DSİ Kati Proje,2010)

Malzeme	Permeabilite Katsayısı K cm/s	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı $\Phi(^{\circ})$	Elastisite Modülü (kPa)
Dolgu Malzemesi	1×10^{-4}	2.03	15	30	2000

Çizelge 4.13:Pamukçay Barajı Dolgu Malzemesi Nihai Parametre Değerleri
(DSİ ES Proje, 2009)

Pamukçay Barajı geoteknik raporunun ekli dosyası olan gövde sayısal hesap raporunda yer alan parametrelerde geçen değerler sırasıyla içsel sürtünme açısı (Φ) 30°, kohezyonu (c) 15 kPa, ve Elastisite modülü ise 2000 kpa'dır. Malzemenin parametre değerleri ve diğer fiziksel özelliklerinin DSİ dolgu Barajlar tasarım rehberinde bahsedilen değer aralıklarıyla örtüştüğü sonucuna varılmıştır.

4.4.3.4 Filtre Malzemesinin Parametrelerinin ve Modelinin Seçimi

Filtre zonları baraj kil çekirdeğinden sızan suların en kısa yoldan ve en kısa sürede baraj dolgusundan uzaklaştırılmasıdır. Bunun için filtre zonları yeterli deşarj kapasitesine sahip olmalıdır. Borulanmaya karşı önleyici ve stabiliteye destek olmalıdır.

Geçirimsiz çekirdek zonun memba ve mansap taraflarında bulunan ince ve kaba filtre zonları çok iyi derecelenmiş olmalı ve DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberinde söz edilen filtre kriterlerine uymalıdır.

Geçirimli malzeme geçirimsizlik katsayısı $K=10^{-4}$ cm/s den az ince tane içeren kum çakıl ve blok olan malzemedir. İnce malzeme miktarı %5' den fazla olmalıdır.

Filtre malzemesi, ariyet sahasından şartnameye uygun granülometride veya evsafa temin edilebilirse tuvenan, aksi halde eleme ve yıkama suretiyle temin edilmelidir.

-Filtre Kriterleri

Taban Malzemesi için (TM), Filtre malzemesi için (FM) ise;

$$FM-15/TM-15= 5-40$$

$$TM-15/ TM-85 \leq 5$$

Filtre malzemesine ait tane dağılımı eğri taban malzemesine ait taban eğrisine kısaca paralel olmalıdır.

Filtre malzemelerinde 200 numaralı elekten geçen ince malzeme miktarı (%)’ den daha fazla olmamalıdır. (DSİ ES Proje, 2009)

-Pamukçay Barajında Kullanılan Filtre Malzemesinin Tahkiki

Tane çapı (mm) 0 0.001 0.002 0.006 0.075 5 75

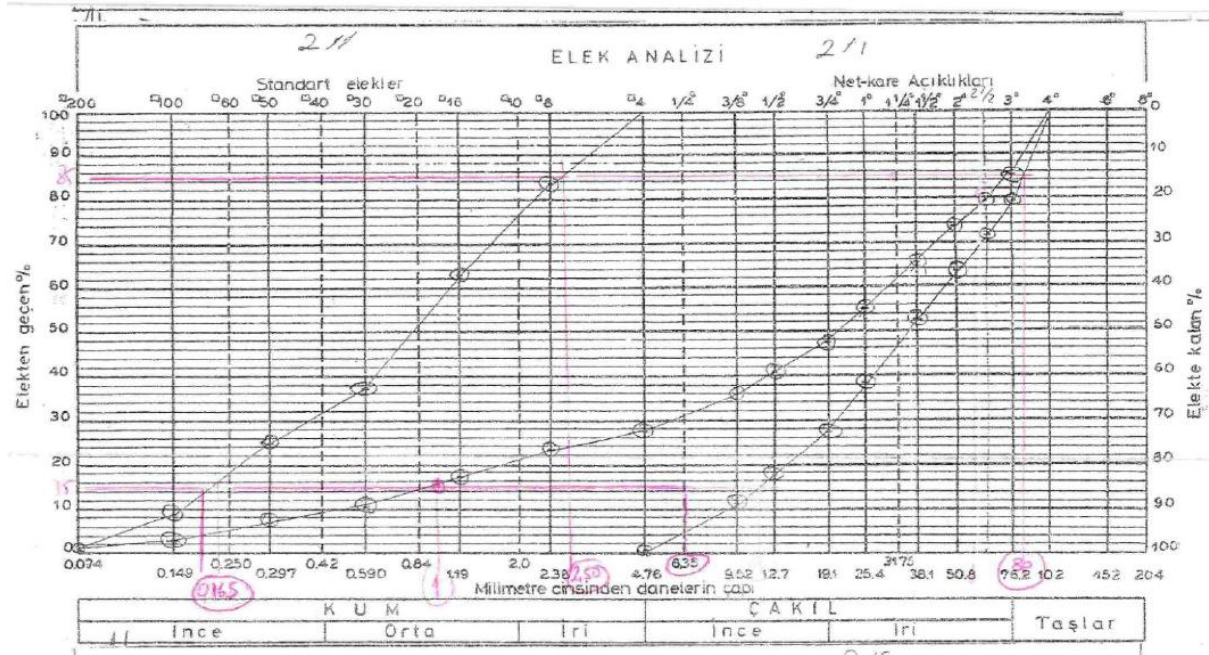
Kolloidal	Kil	Tas Unu	Silt	Kum	Çakıl
-----------	-----	---------	------	-----	-------

$$D_{15} > 5 \times d_{15}$$

$$D_{15} < 5 \times d_{85}$$

$$D_{15} = 5 \times d_{15} \div 40 \times d_{15}$$

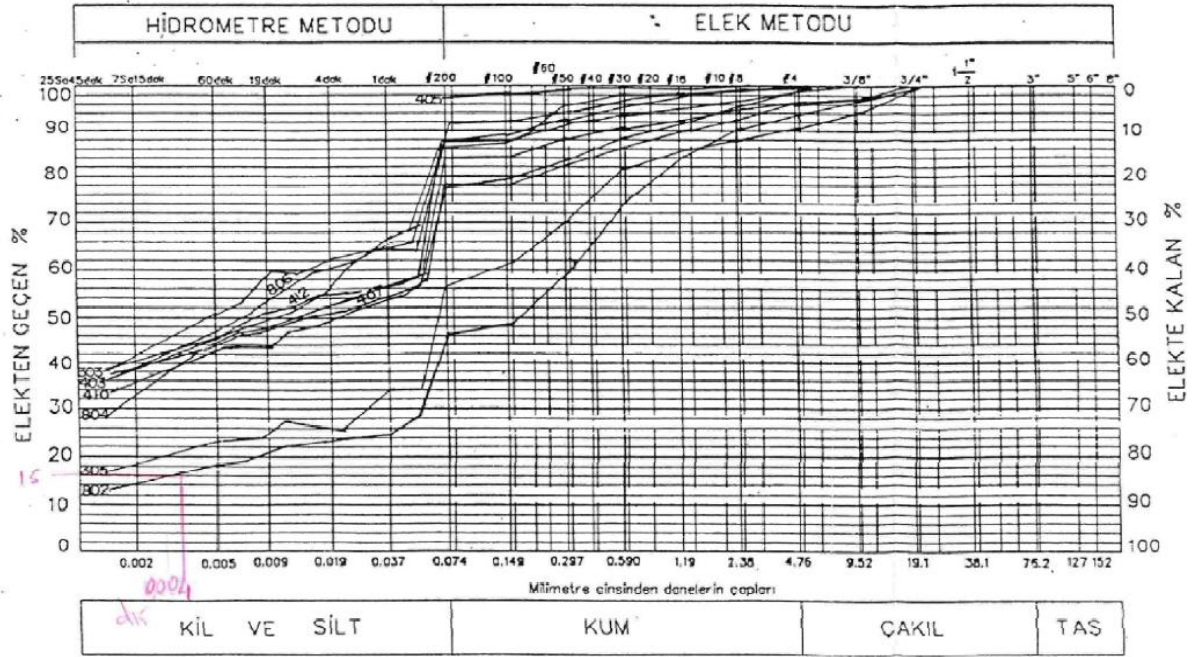
$$D_{15} < 5 \times d_{85}$$



Şekil 4.9: Filtre Malzemesinin tane çapı dağılımı (DSİ ES Proje, 2009)

Filtre kumun D_{15} i= 0.165

Filtre Çakılın D15'i = 11



Şekil 4.10: Temel malzemesinin tane çapı dağılımı (DSİ ES Proje, 2009)

Temelin d15' i = 0.004

Temelin d85' i = 1.19

Filtre Kumun D85 'i = 2.50

Filtre Çakılın D85' i = 80

(Filtre kumun D15' i)/(Temelin d15' i) = 0.165/0.004 = 41 ≈ 40 Uygundur.

(Filtre kumun D15' i)/(Temelin d85' i) = 0.165/1.19 = 0.14 < 5 Uygundur.

(Filtre çakılın D15' i)/(Filtre kumun D15' i) = 6.35/0.165 = 38 < 40 Uygundur.

(Filtre çakılın D15' i)/(Filtre kumun D85' i) = 6.35/2.5 = 2.54 < 5 Uygundur.

Yapılan filtre tahkikinin sonucunda D15/ D85 ve D15 Filtre Çakıl/ D15 Filtre Kum uygunluğu beraber düşünüldüğünde bu durumun filtre malzemesi için düşük boşluk suyu basıncı ve yüksek geçirimsizlik sağlayacağı DSİ 103 sayılı bültende dile getirilmiştir.

Örnek No	Birim Ağırlık g/cm ³		
	Birim Hacim Ağırlık g/cm ³	İzafi Birim Hacim Ağırlık g/cm ³	Ortalama Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
210	1.78	2.13	1.96
211	1.88	2.28	2.08
213	1.78	2.1	1.94
214	1.95	2.31	2.13
216	1.85	2.18	2.02
218	1.92	2.28	2.10
219	1.68	2.05	1.87
220	1.89	2.23	2.06

Çizelge 4.14:Ortalama Birim Hacim Ağırlığı:2.02 g/cm³ (DSİ ES Proje, 2009)

Filtre malzemesi kum-çakıl karışımından oluştuğundan ve çakıl ağırlıklı (%60) olduğundan, malzeme parametreleri filtre çakıl zonunda kullanılan malzeme ile özdeş alınmıştır. Talvegdeki alüvyon kum ihtiva ettiğinden, filtre kum zonunda kullanılan malzeme ile aynı şekilde modellenmiştir. Filtre Çakılın permeabilitesi ise Proje Geoteknik raporunda 5×10^{-3} m/s olarak verilmiştir. Filtre malzemesine ait Elastisite Modülü 70000 Kpa, kohezyonu (K) 0 kPa ve özgül ağırlığı ise 20.2 KN/m³ verilmiştir.

Baraj Gövdesinde Kullanılan Nihai Malzeme Parametreleri

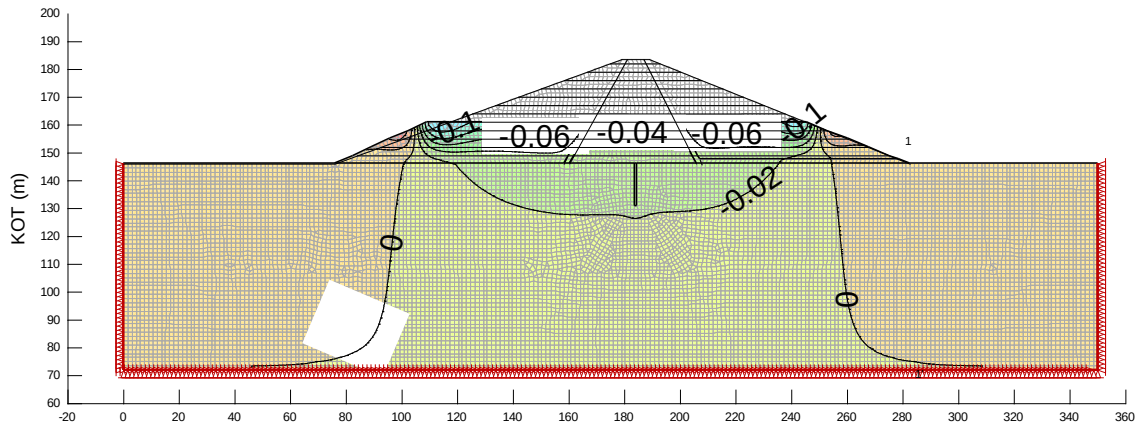
Malzeme	Permeabilite (K) cm/s	Birim Hacim Ağırlık (KN/m ³)	Kohezyon (C) Kpa	İçsel Sürtünme Açısı (Φ)	Elastisite Modülü E kPa
Kil Çekirdek Dolgu	8.59×10^{-6}	1.92	155.00	15.00	5000.00
Malzemesi Baraj	$1,0 \times 10^{-4}$	2.03	15.00	30.00	2000.00
Temeli(Şelmo)	1×10^{-5}	2.00	500.00	35.00	50000.00
Filtre Malzemesi	0.5	2.02	0	45.00	70000.00

Çizelge 4.15: Kil, Baraj Temeli ve Filtre Malzeme Nihai Malzeme Parametreleri (DSİ ES Proje, 2009)

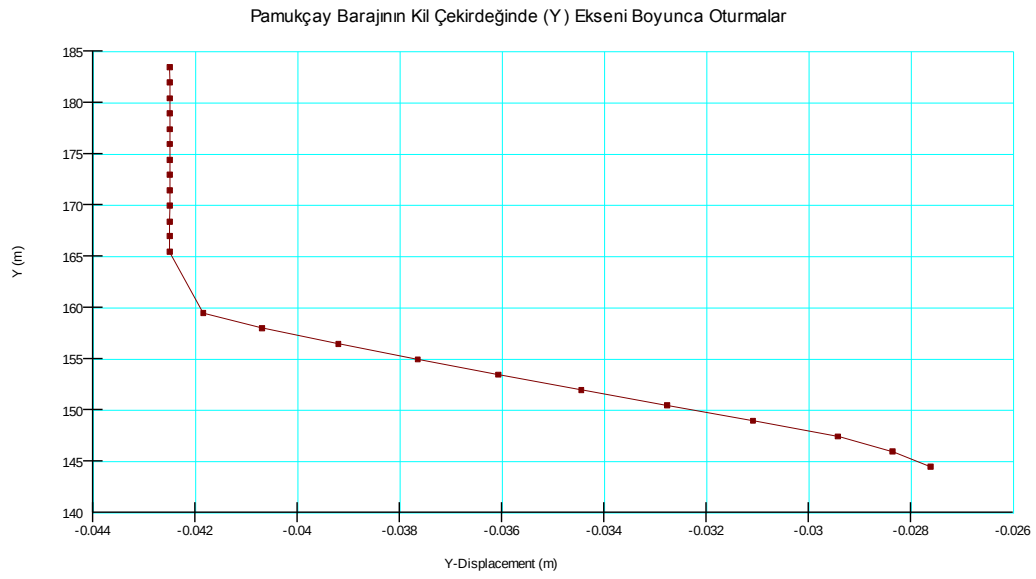
4.4.4 Analiz Sonuçları

4.4.4.1. Düşey Yer Değiştirme (Geostudio Sigma)

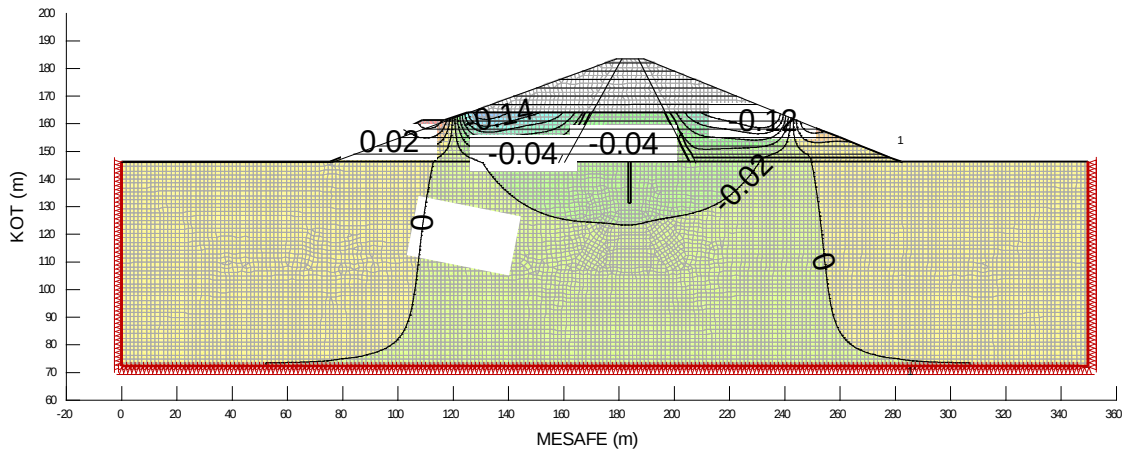
Pamukçay Barajına ait gerekli analizleri yapabilmek için parametre bilgisine sahip olmamız gerekir. Bu bilgiler daha önceden proje aşamasında yapılan laboratuvar deney sonuçlarından elde edilmiş olup parametreler kohezyon (K), içsel sürtünme açısı (Φ), permeabilite katsayısı vb. değerler analiz programının ilgili yerlerine işlenmiştir. Pamukçay Barajı 13 ayrı dilimde 3 m aralıklarla dilim dilim analiz edilmiştir. Bu yöntemin ana sebebi baraj inşasında yaşanan durumun analize de olduğu gibi yansıtılmasıdır. Tek parçada yapılan analizin sağlıklı olmadığı daha önceki aşamada anlatılmıştı. En fazla oturmanın baraj kretinde olduğu gibi bir durum ortaya çıkmasını engellemek adına 13 ayrı düşey yer değiştirme analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşen düşey yer değiştirme ve gerilme analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



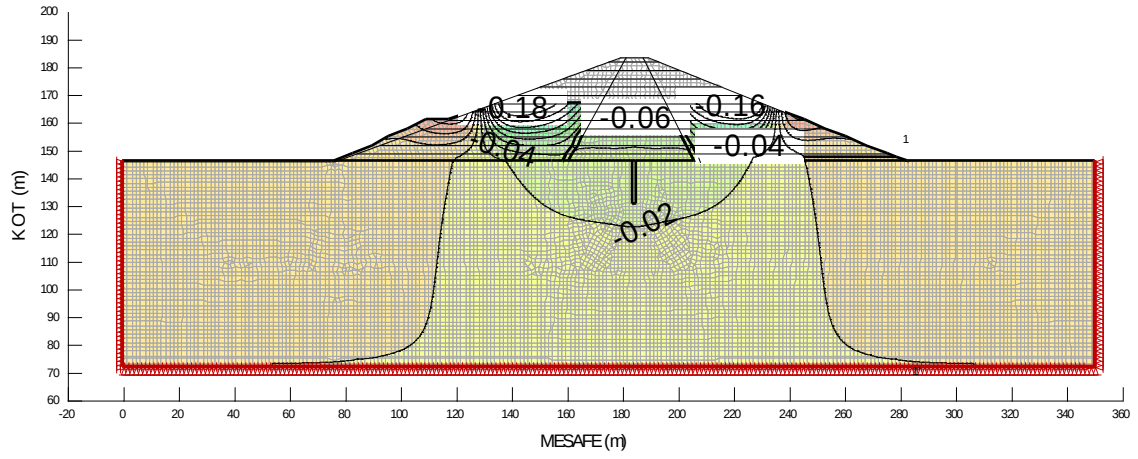
Şekil 4.11: Dilim 5 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



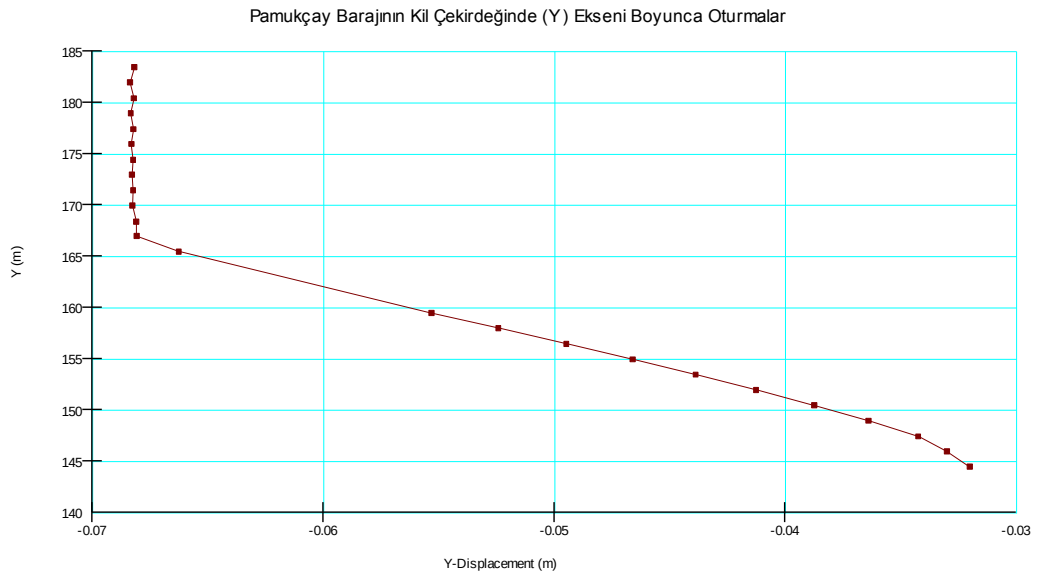
Şekil 4.12: Dilim 5 Dolgu Yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eksenli Boyunca Deplasmanlar



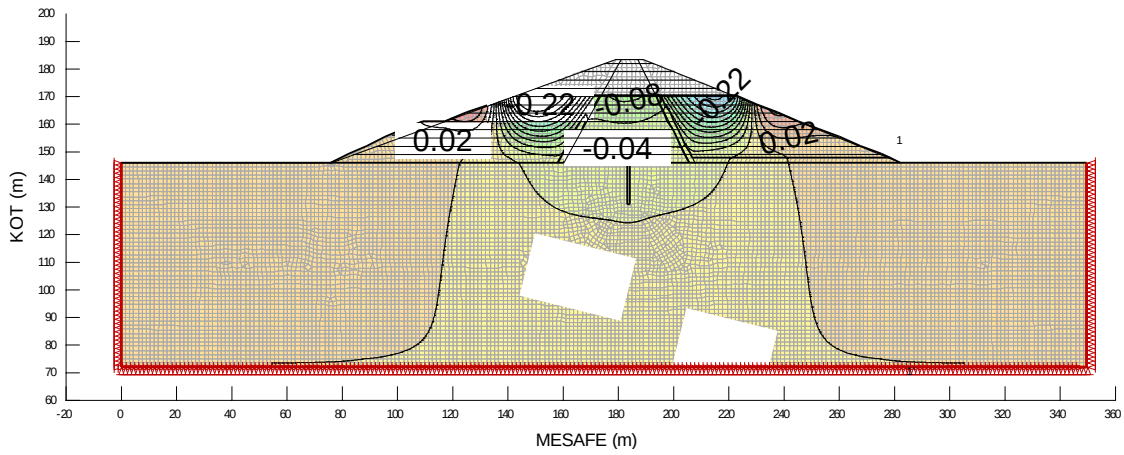
Şekil 4.13: Dilim 6 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



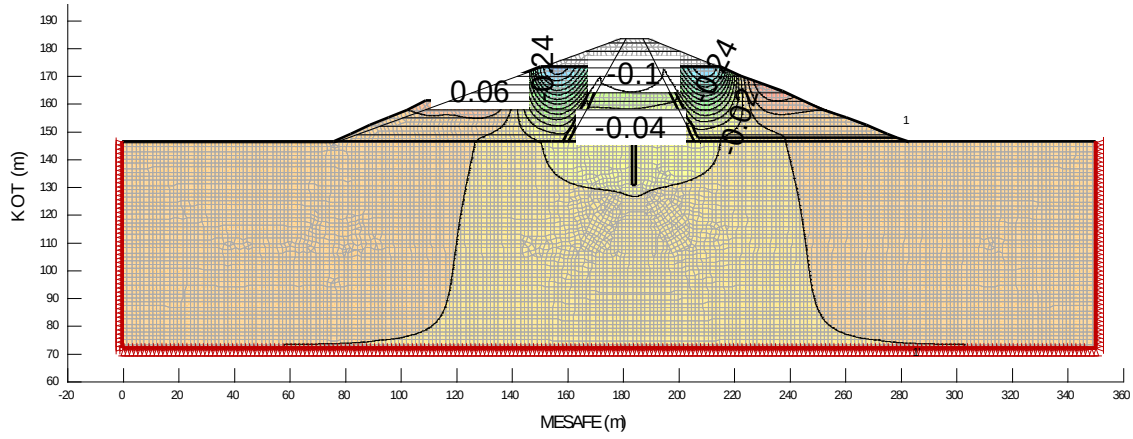
Şekil 4.14 :Dilim 7 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



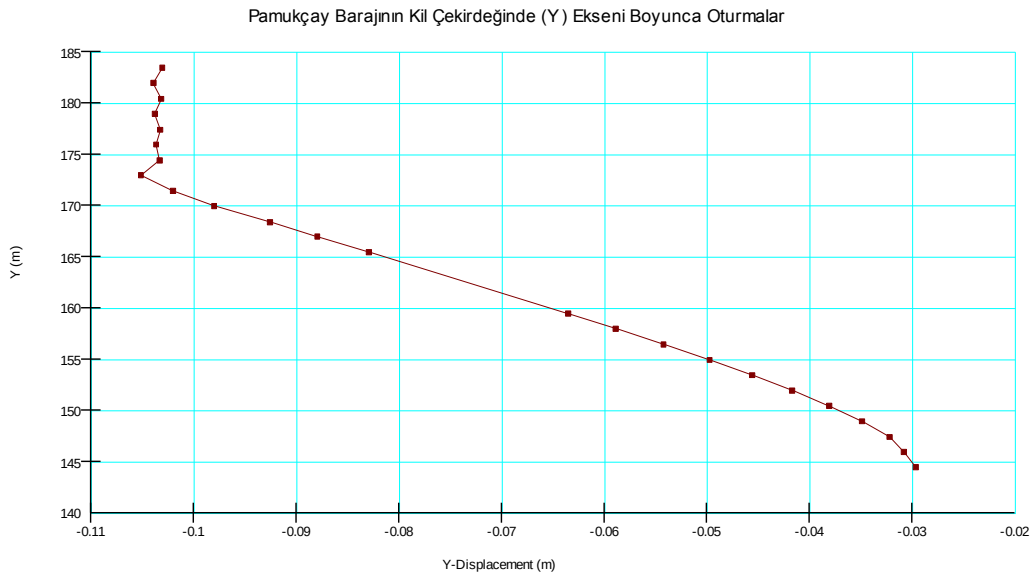
Şekil 4.15: Dilim 7 Dolgu Yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eksenli Boyunca Deplasmanlar



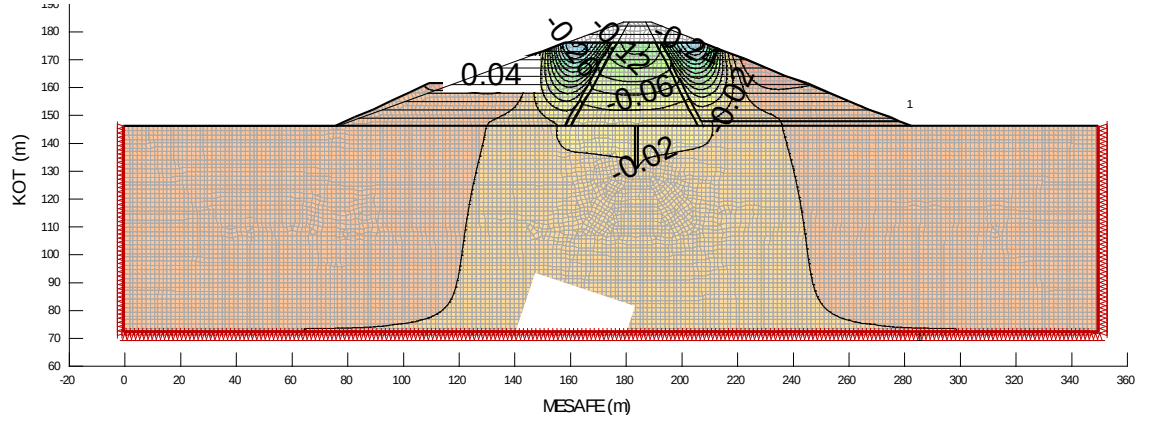
Şekil 4.16: Dilim 8 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



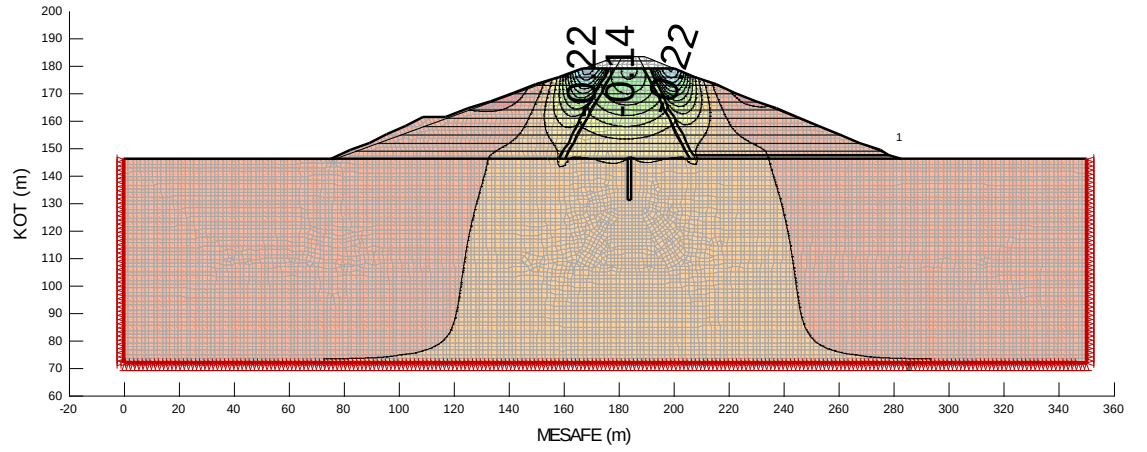
Şekil 4.17: Dilim 9 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



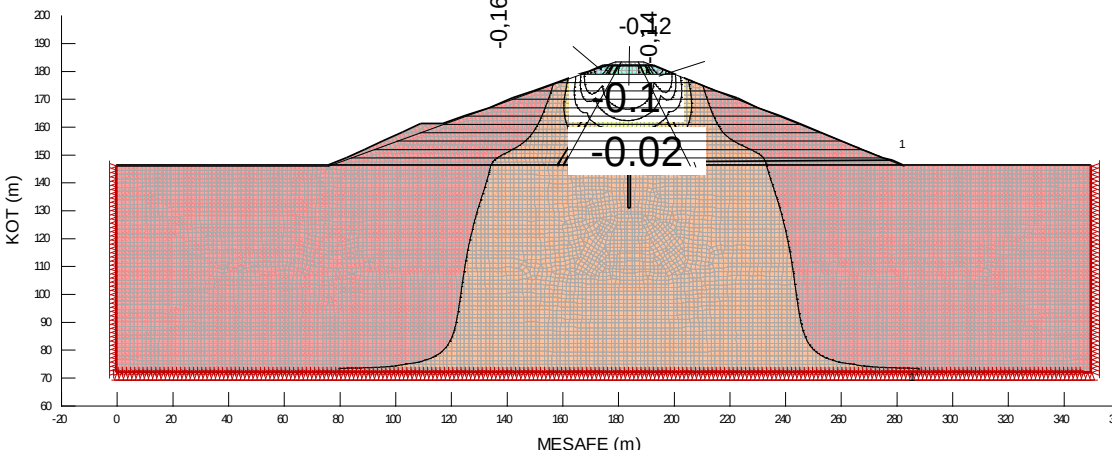
Şekil 4.18: Dilim 9 Dolgu Yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eksenli Boyunca Deplasmanlar



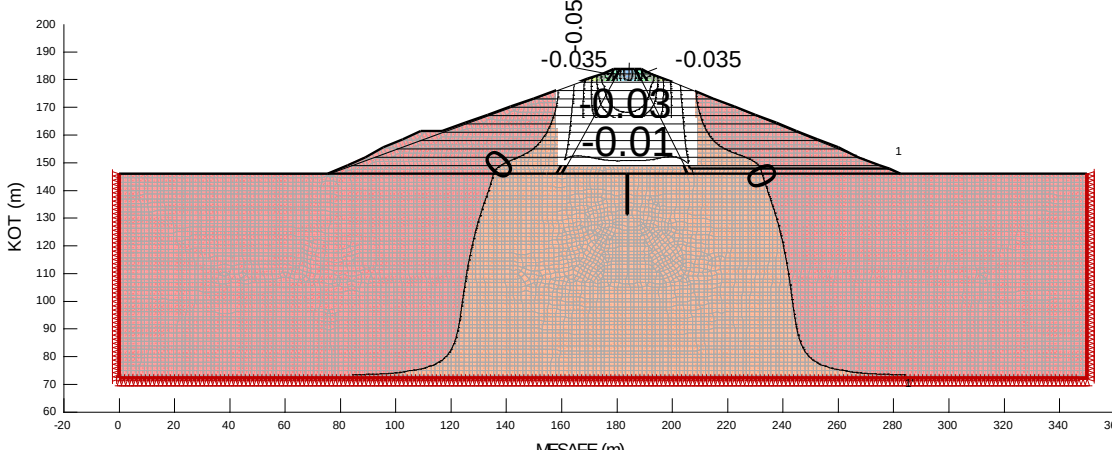
Şekil 4.19 :Dilim 10 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



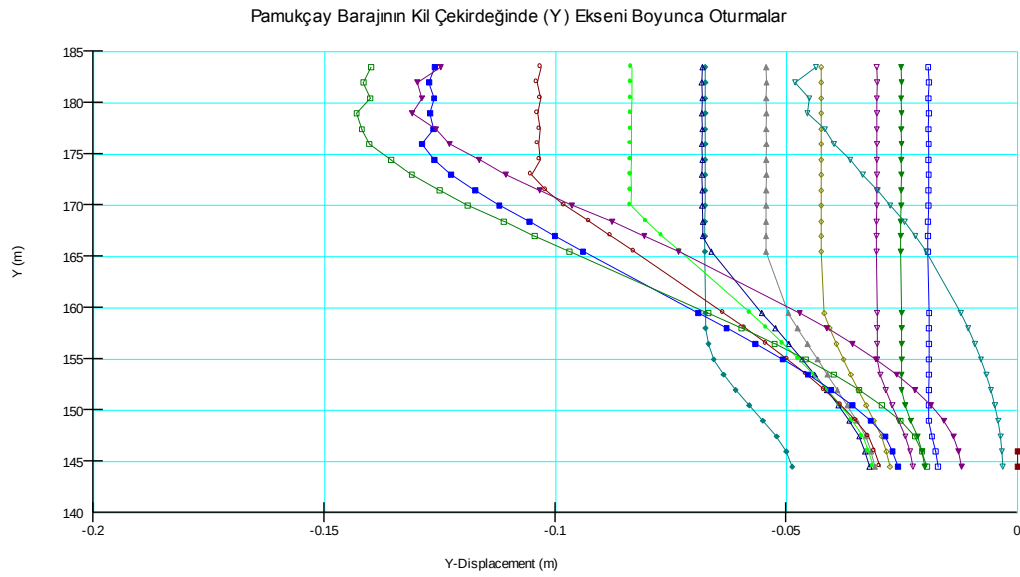
Şekil 4.20: Dilim 11 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



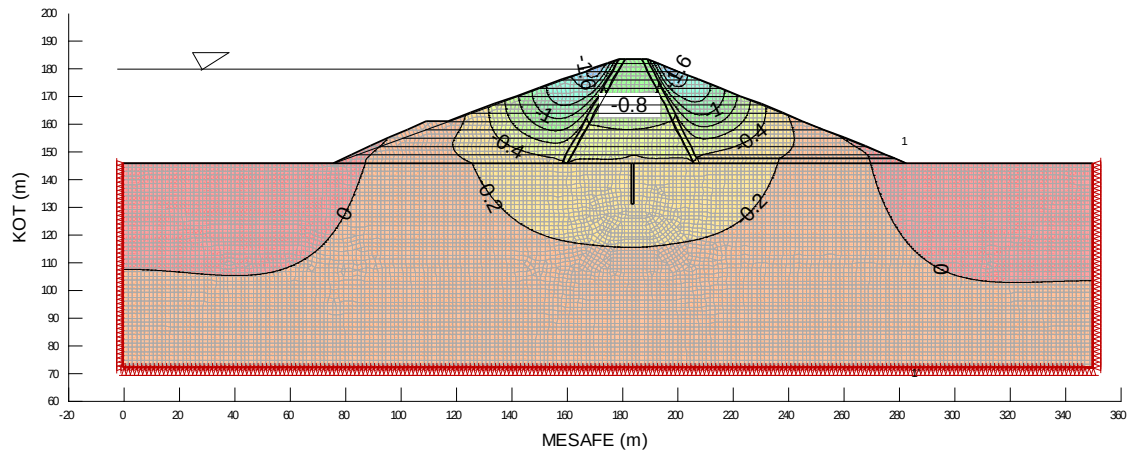
Şekil 4.21: Dilim 12 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



Şekil 4.22: Dilim 13 dolgu yüksekliğine göre yapılan deplasman analizi



Şekil 4.23: Tüm Dilimler Dolgu Yüksekliğine göre Kil Çekirdek (Y) Eksenli Boyunca Oturmalar



Şekil 4.24: Pamukçay Barajı Maksimum Su Seviyesinde Sızma Sonrası Deplasman Analizi

4.4.4.2 Sızma (Seep) Analizi

Sızma su yapılarının en ciddi sorunlarından biri olarak dikkat çekmektedir. Baraj yapılarının planlama ve proje aşamasında gövde analizleriyle birlikte en önemli hususlarından bir tanesini temsil etmektedir. Barajlarda sızma olaylarının sonucunda özellikle gövde ve baraj tabanında borulanma dediğimiz ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Bu tür olayların önüne geçmek için öncelikle seçilen malzeme kriterlerinin iyi tetkik edilmesi gerekir. Malzemelerin permeabilite katsayısı, filtre malzemelerinin, baraj yapılacak alanın uygunluğu ve gövde sızdırmazlık durumları laboratuvar sonuçlarına göre DSİ' nin istediği ve tavsiye ettiği değer aralıklarına göre

seçilmelidir . Bu faktörlerin iyice tetkik edilmediği durumlarda özellikle baraj rezervuar alanında ciddi azalmalar meydana getireceği öngörülmektedir. Bu da enerji ve sulamada kullanılacak olan baraj yapılarında karşılaşılmaması istenmeyen durumların başında gelmektedir. Sulama ve enerji amaçlı barajlarda suyun sızması gerekli enerjinin üretilmemesi, sulamada da yeterli alanların sulanamamasına sebep olacaktır. Özellikle sızma nedeniyle barajda oluşabilecek borulanmanın barajlarda geri dönüşü olmayan hasarlara yol açacaktır. Sızma analizlerinin temeli darcy yasasına dayanır. Darcy kanuna uyduğu kabul edilen permanant iki boyutlu yeraltı suyu akımlarında hareket doğrultusuna paralel düzlemler arasından sızan suya yanlardan su girmemesi veya yanlara su gitmemesi ve debinin sabit kabul edilmesi durumunda hız potansiyeli (1) bağıntısındaki gibi olur.

$$f = k.h \quad (1)$$

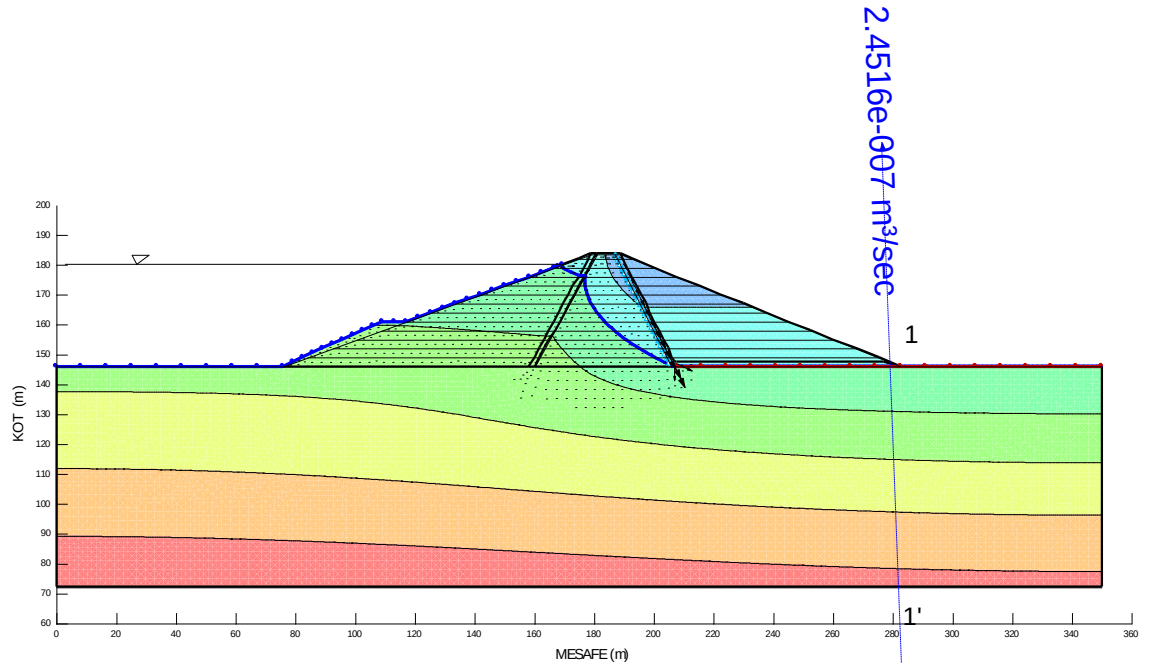
Bu tür potansiyel akımların Laplace Operatörü olarak bilinen diferansiyel denklemi sağladığı bilinmektedir.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

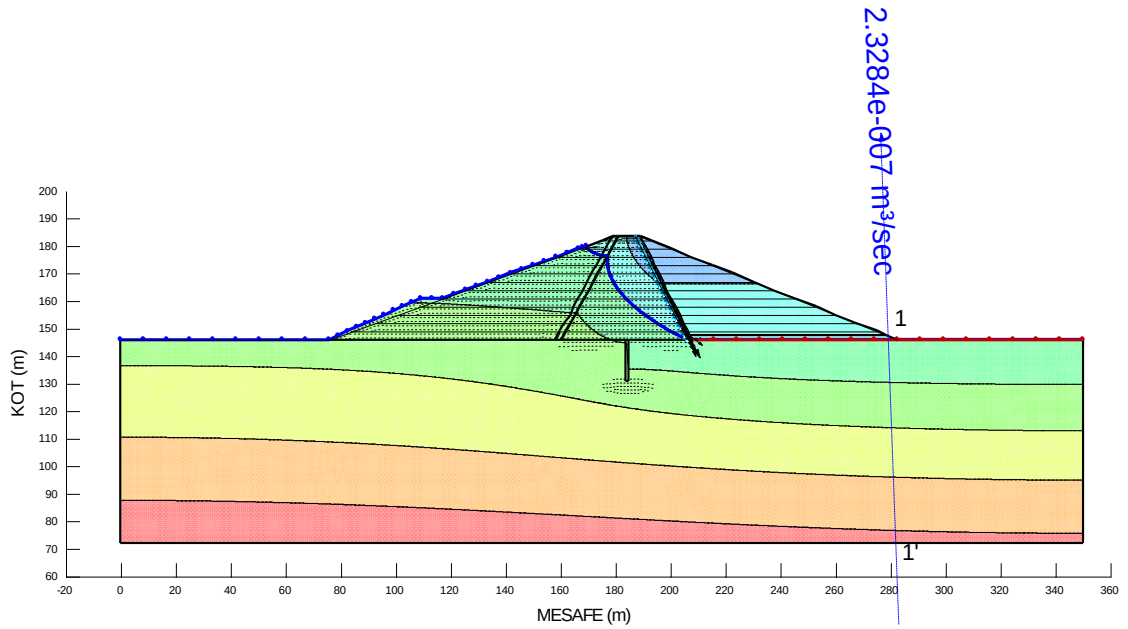
Bu denklemin çözümü birbirini dik kesen iki eğri ailesi verir. Akım çizgileri ile potansiyel çizgilerden oluşan bu iki eğri ailesinin teşkil ettiği ortogonal ağa, **akım ağı** denmektedir. Akım ağının elde edilmesinde matematiksel yol, model deneyleri ve grafik metot kullanılır. Bu ağ yardımıyla yeraltı suyu akımında akimin debisi, hidrolik eğim ve boşluk suyu basıncı hesaplanabilmektedir.

Bu ağın çizilmesinde bugüne kadar genellikle grafik metot kullanılmaktadır. Grafik metotta ise akım ağı, her bir ağ hücresi yaklaşık kare biçimli olacak şekilde elle çizilmektedir. Sonra da çizilen bu grafik yardımıyla sızıntı hesapları yapılmakta ve yaklaşık neticeler elde edilmektedir.

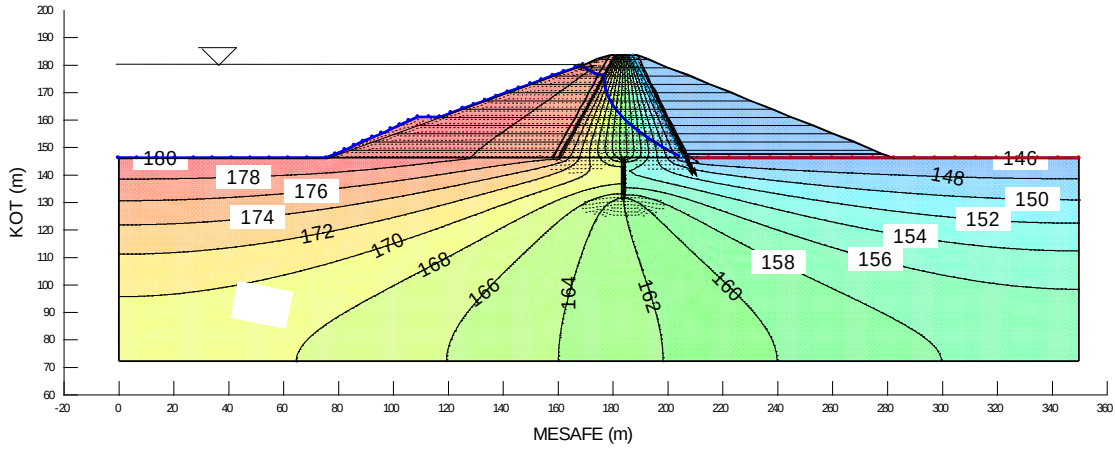
Grafik olarak çizilen akım ağı yardımıyla elde edilen bu değerler, nümerik metotlarla da bulunabilmektedir. Nitekim Phalkun ve Paramsoty (1986) sonlu farklar metoduyla serbest yüzeyli ve kararla akımlarda toprak dolgu baraj altında sızan su için bir çalışma yapmışlardır. (Güngör 1995)



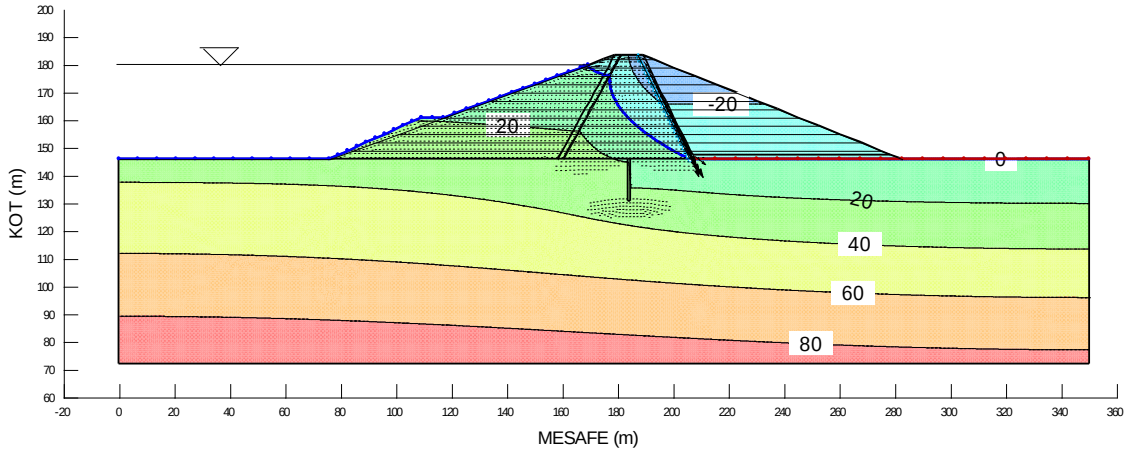
Şekil 4.25: Geçirimsizlik Perdesi Kullanılmamış Haliyle 1-1 Kesitteki Sızma Analizi Sonuçları



Şekil 4.26: Geçirimsizlik Perdesi Kullanılmış Haliyle 1-1 Kesitten Geçen Debi Miktarı



Şekil 4.27:Pamukçay Barajı Eş potansiyel Su Basıncı Kontörleri



Şekil 4.28:Pamukçay Barajı Boşluk Basıncı Kontörleri

	Boşluk Suyu Basıncı (kPa)	X yönündeki Geçirimsilik (m/s)	Y yönündeki Geçirimsilik(m/s)	XY yönündeki Geçirimsilik (m/s)
DPZ 1	-67.6468	1.20×10^{-7}	5.70×10^{-10}	1.20×10^{-7}
DPZ 2	100.5982	7.01×10^{-8}	5.57×10^{-10}	7.01×10^{-8}
DPZ 3	28.0563	7.04×10^{-8}	1.16×10^{-9}	3.04×10^{-7}

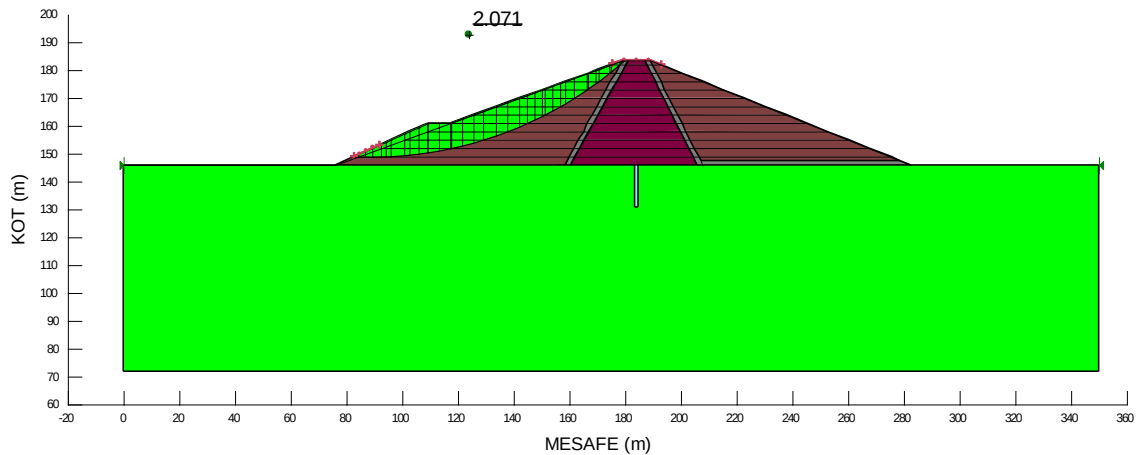
Çizelge 4.16: Pamukçay Barajında Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Sızma hızı Değerleri

4.4.4.3 Gövde Şev Analizleri (SLOPE)

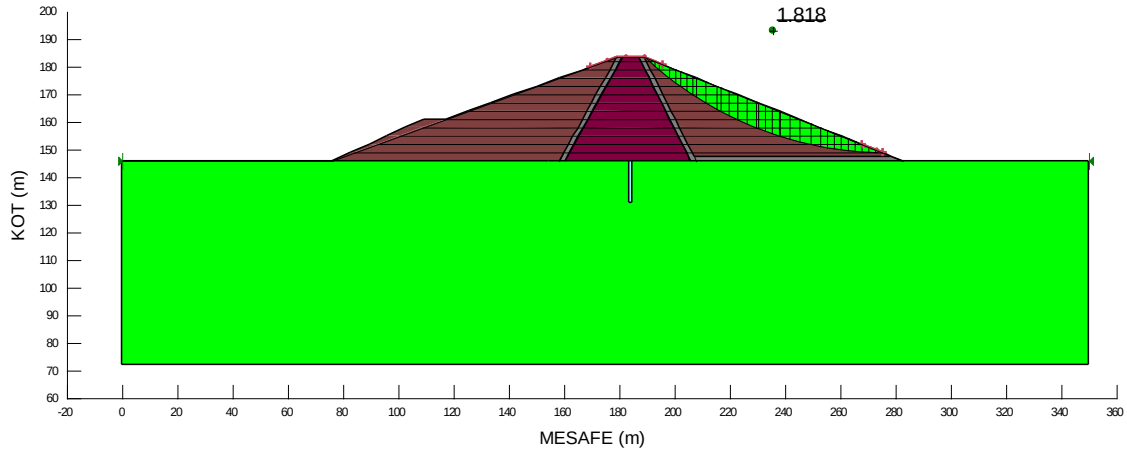
Barajlar projelendirilmeden önce yapılması gereken analizlerden bir tanesi de gövde şev analizidir. Gövde şev analizleri yapılarak dolgu barajların şevleri ve tasarım kriterleri belirlenmiş olur. Analizin iki aşamada yapılmasının daha uygun olacağının kanaatine varılmıştır. İlk aşama barajın su tutmaya başlamadan önceki hali için deprem durumunda ve depremsiz durumlar için yapılan analizlerdir. İkinci aşama ise barajın su tutmaya başladıktan sonra yani işletme durumunda göstereceği durumdur. İşletme durumunda da yine deprem durumu bir de depremsiz durum birlikte incelenerek baraj gövdesinin stabil kalıp kalmayacağı araştırılmıştır.

Şev analizi yapılırken kayma daireleri yöntemi kullanılmıştır. Memba ve mansap şevleri ayrı ayrı değerlendirilerek baraj tasarımının güvenli bölgede kalıp kalmadığı araştırılmıştır. Ani boşalma durumu da incelenerek baraj rezervuarının dolu durumda olduğu ve freatik hattında var olduğu durum incelenmiştir.

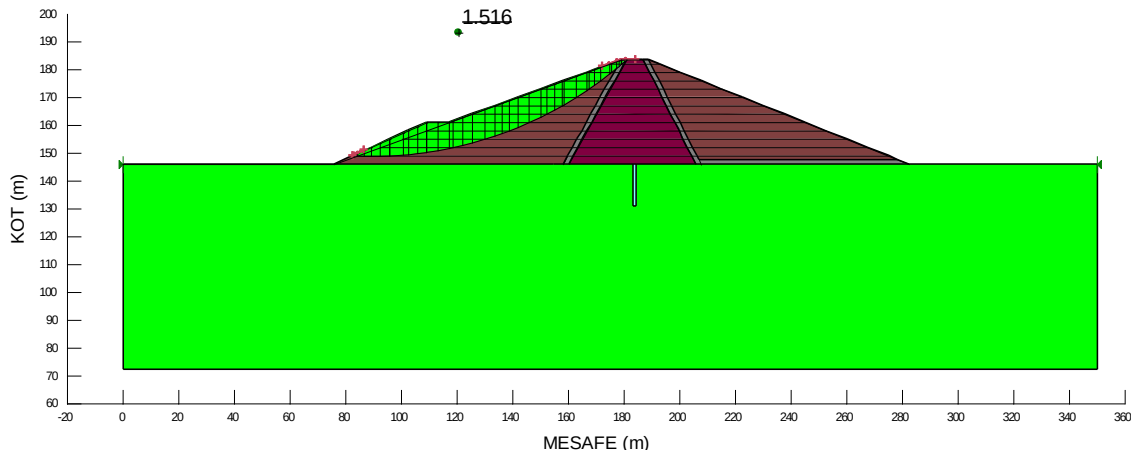
Deprem durumlu analiz için ise baraj yeri için daha önceden yapılan deprem risk analizi yaptırılmıştır. Pamukçay Barajı aks yeri için MDE (Maximum Design Earthquake) değeri olarak 227.1 cm/sn^2 (0.23g) pik yer ivmesinin, OBE (Operating Basis Earthquake) değeri olarak 116.2 cm/sn^2 (0.11g) pik yer ivmesinin yatay deprem katsayısı için $K=0.14$ değerinin dikkate alınması önerilmektedir.



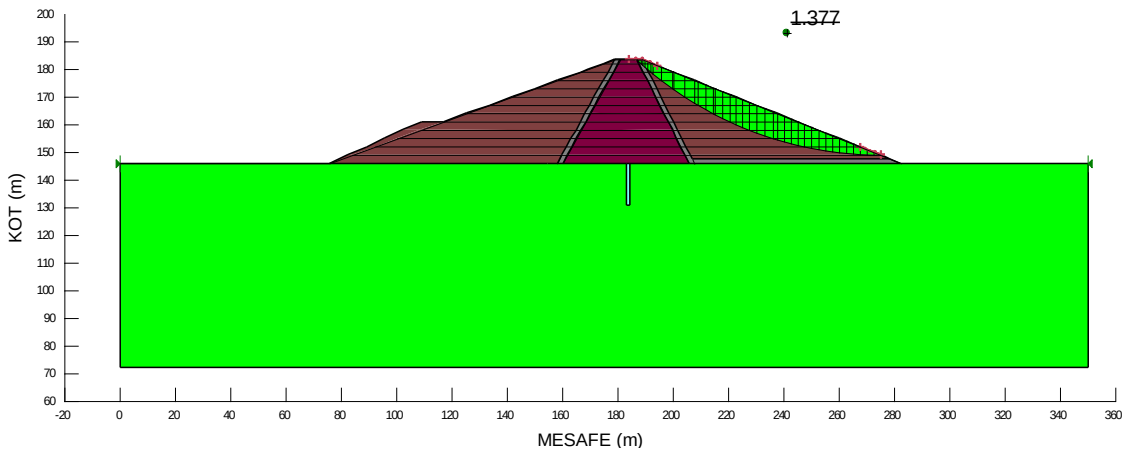
Şekil 4.29: İnşaat sonu Depremsiz Memba Şev Güvenlik Durumu



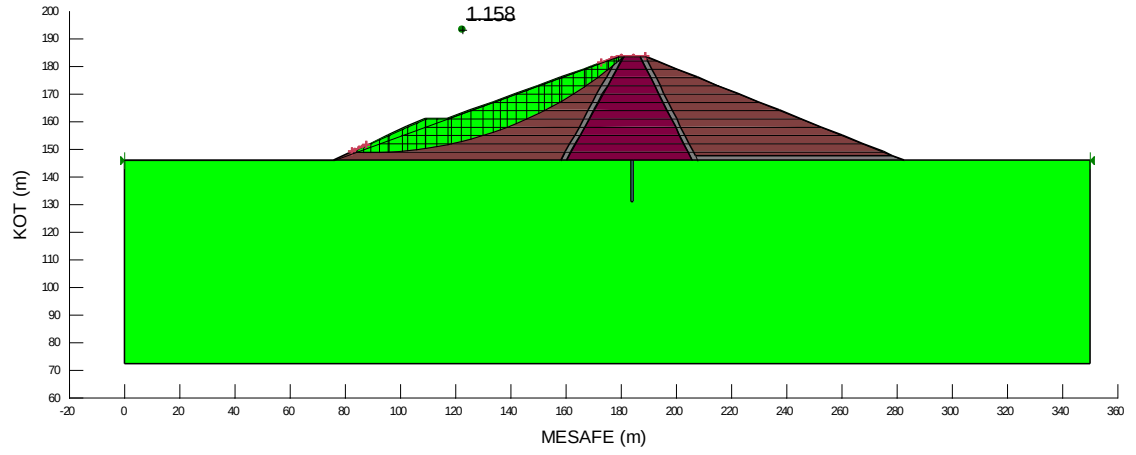
Şekil 4.30: İnşaat sonu Depremsiz Mansap Şev Güvenlik Durumu



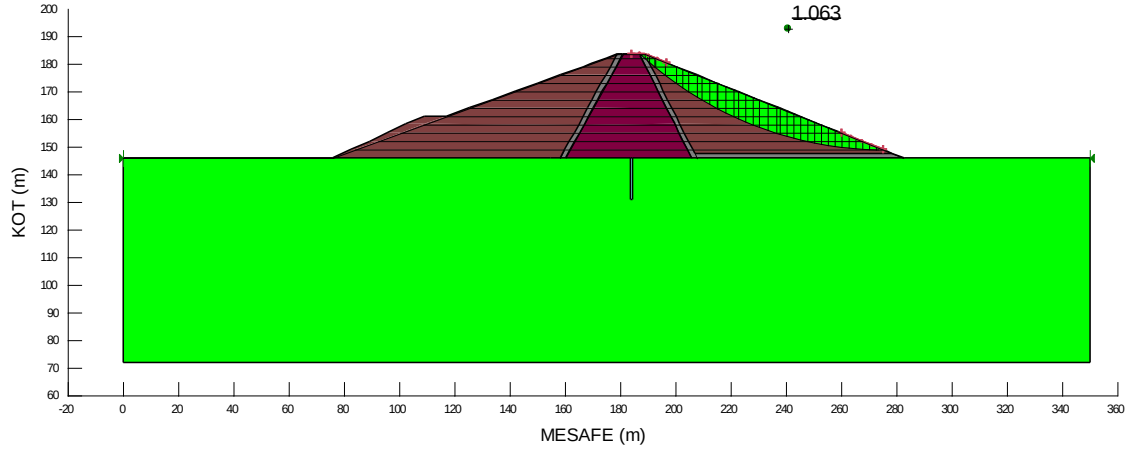
Şekil 4.31: İnşaat sonu OBE (Operating Basis Earthquake) Memba Şev Güvenlik Durumu



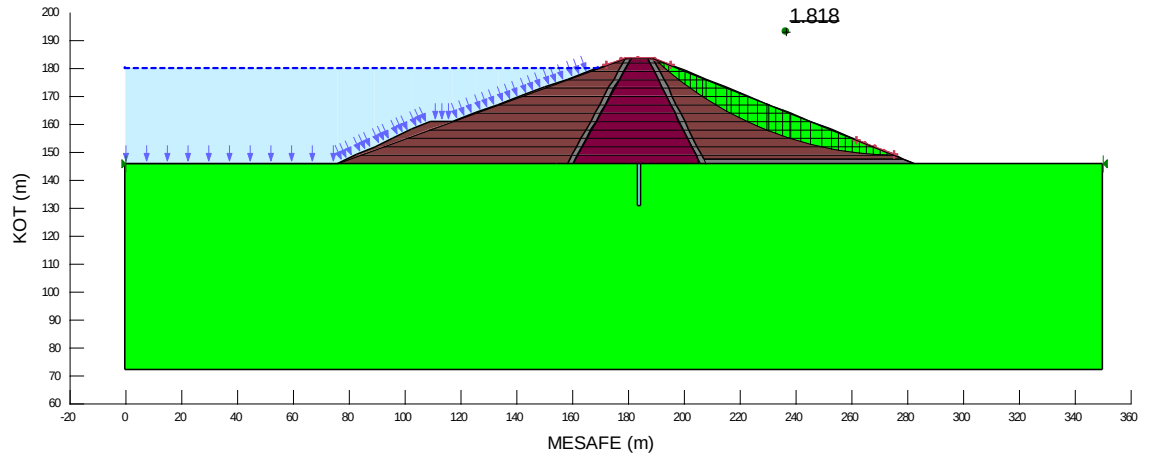
Şekil 4.32: İnşaat sonu OBE Mansap Şev Güvenlik Durumu



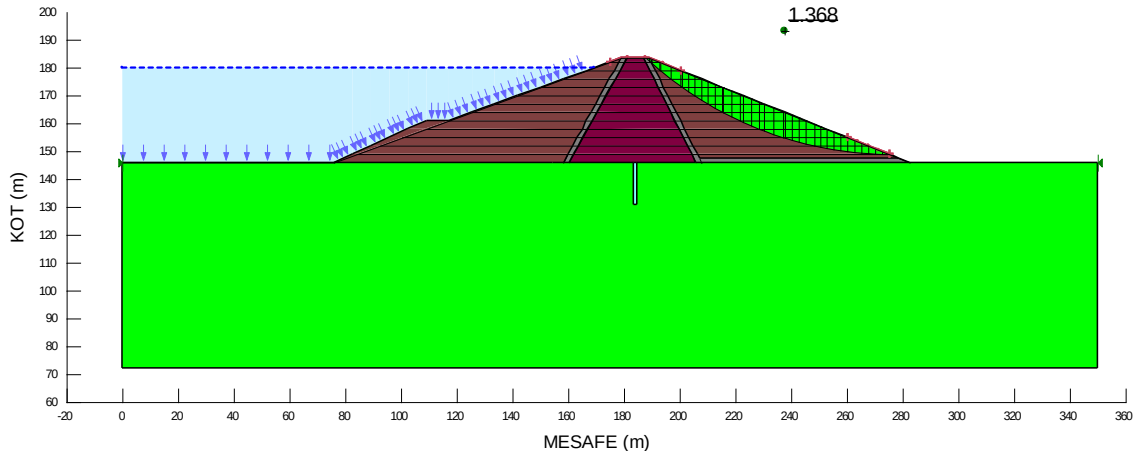
Şekil 4.33: İnşaat sonu MDE (Maximum Basis Earthquake) Memba Şev Güvenlik Durumu



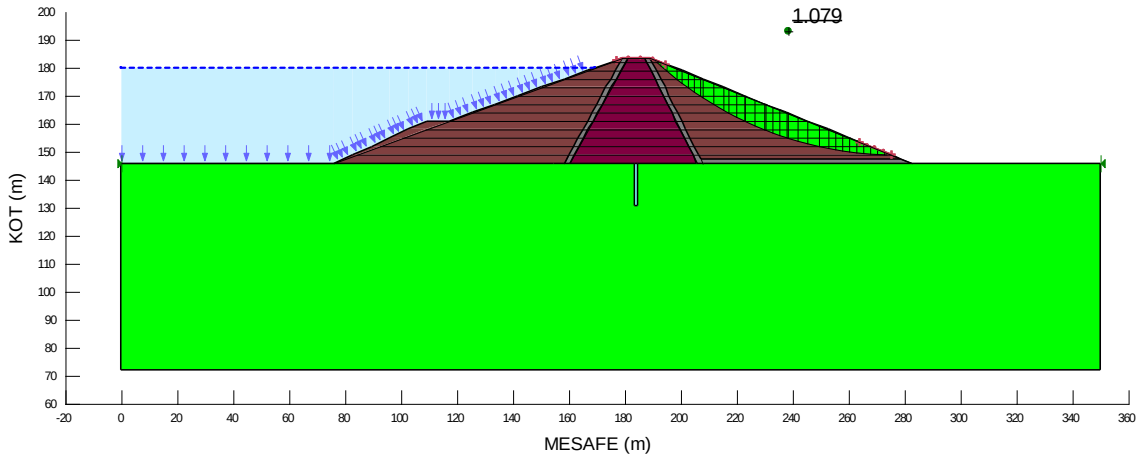
Şekil 4.34: İnşaat sonu MDE Mansap Şev Güvenlik Durumu



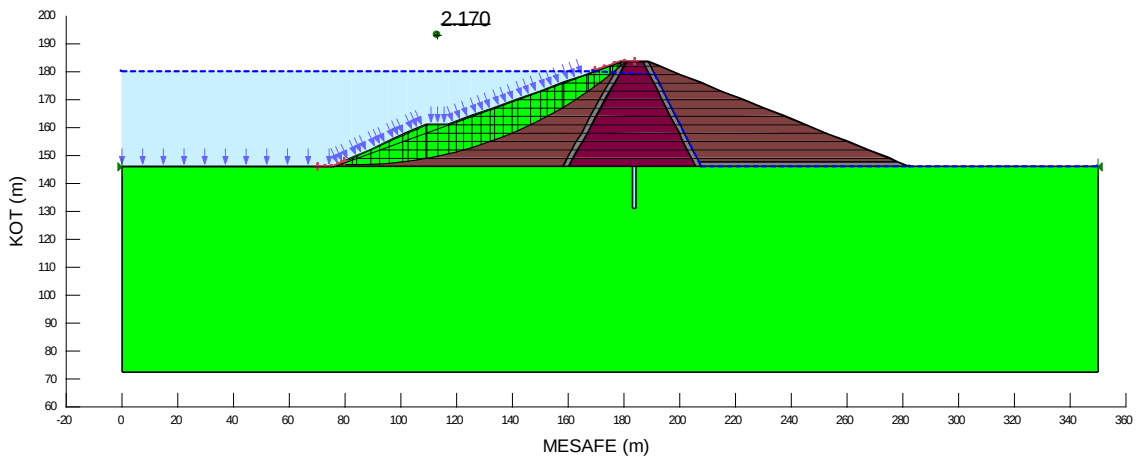
Şekil 4.35: İşletme Durumu Dolu Hazne Mansap Şev Durumu



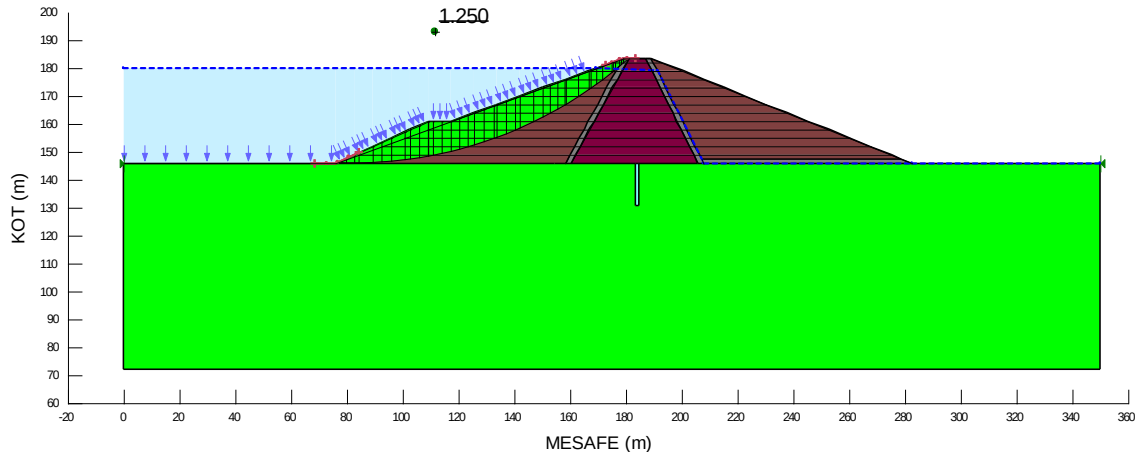
Şekil 4.36: İşletme Durumu OBE Dolu Hazne Mansap Şev Durumu



Şekil 4.37: İşletme Durumu MDE Dolu Hazne Mansap Şev Durumu



Şekil 4.38: Ani Boşalma Durumu Depremsiz

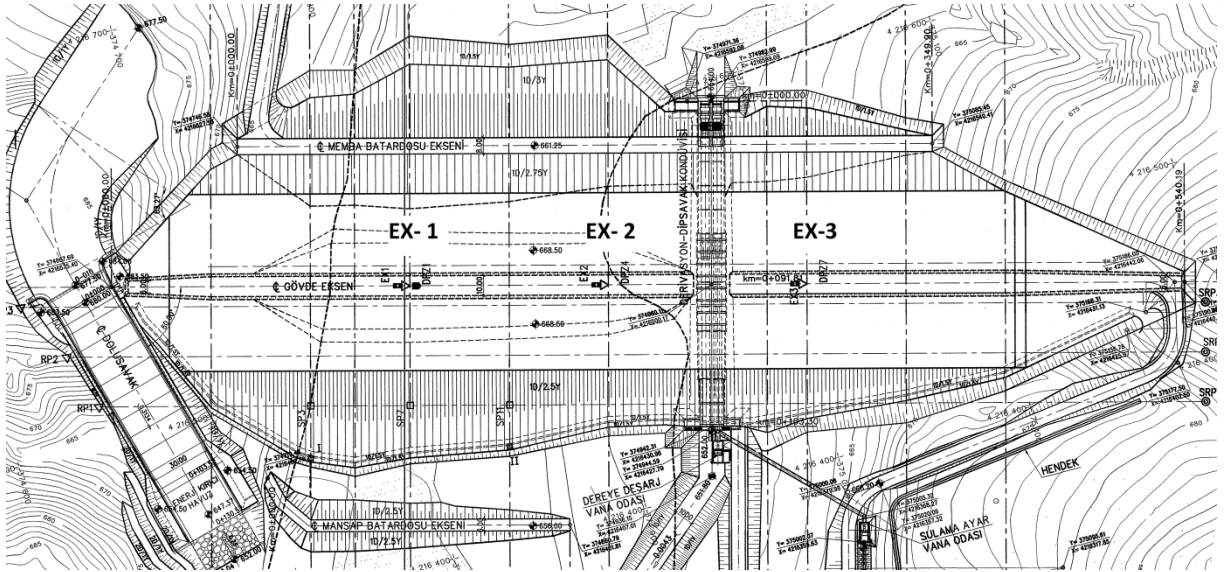


Şekil 4.39: OBE Depremli Ani Boşalma Durumu

4.5. Analiz Sonuçları ve Baraj Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması

4.5.1 Pamukçay Barajında Oluşan Düşey Yer Değiştirme ve Değerlendirilmesi

Pamukçay Barajı deplasman analizi 13 ayrı dilimde 3 m aralıklarla yapılmıştır. Pamukçay Barajında gövde üzerinde üç kesitte üç ayrı Manyetik Ekstansometre bulunmaktadır.



Şekil 4.40: Pamukçay Barajında Yer Alan Manyetik Ekstansometreler
(DSİ Kati Proje, 2010)

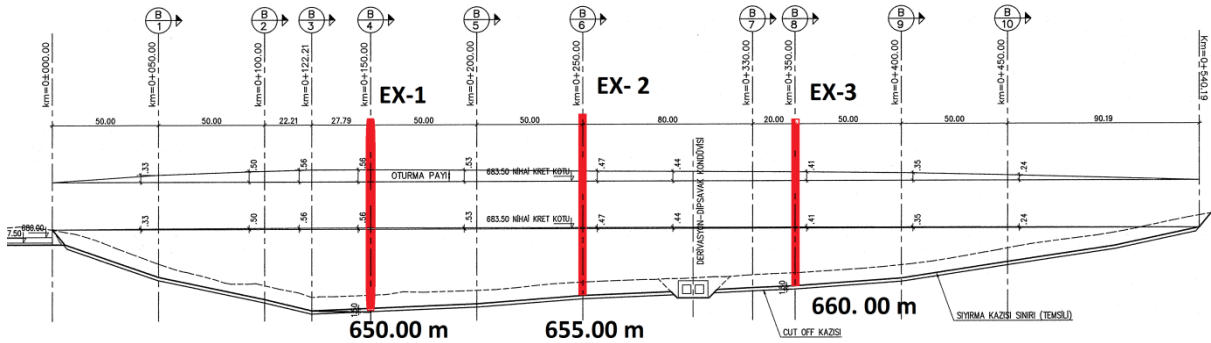
Kretin üç ayrı kesitinde yer alan Manyetik Ekstansometreler gölet gövdesinin düşey yönde yaptığı deplasman seviyesini ölçülmesini sağlamıştır. Manyetik ekstansometrelerden 30 gün (1 Ay) aralıklarla 2012 den 2015 Mayıs ayına kadar düzenli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler

sonucunda baraj kretinde yapılan toplam düşey yer değiştirmeler ve analiz sonuçlarında hesaplanmış olan düşey yer değiştirmeler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

	EX 1	EX2	EX 3	EX _{max}	EX _{ORT}	EX _{hesap}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Deplasman	7	3	4	7	4.67	5

Çizelge 4.17: Manyetik Ekstansometre Ortalama Oturma Değerleri ve Analiz Sonucu
Hesaplanan Ekstansometre Değerleri (DSİ 2012-2015)

Manyetik Ekstansometreler baraj gövdesine üç ayrı eksende 0+150, 0+250, 0+350 km eksenlerinde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen manyetik ekstansometreler yukarıdaki yerleşim planında verilmişti. Her üç ayrı ekseninde yapılan oturma miktarları farklı miktarlarda olduğu görülmüştür. Bu farklılığın temelinde ise vadi eğiminden kaynaklı yapılan farklı dolgu miktarları ve zemin yapısında yatay yöndeki heterojenlikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Aşağıdaki şekilde vadi biçimi kotları ve Manyetik Ekstansometre yerleştirilen kesit verilmiştir.



Şekil 4.41: Pamukçay Barajı Gövde Vadi Biçimi Kotları ve Extansometre Kesit
Yerleşimi (DSİ Kati Proje,2010)

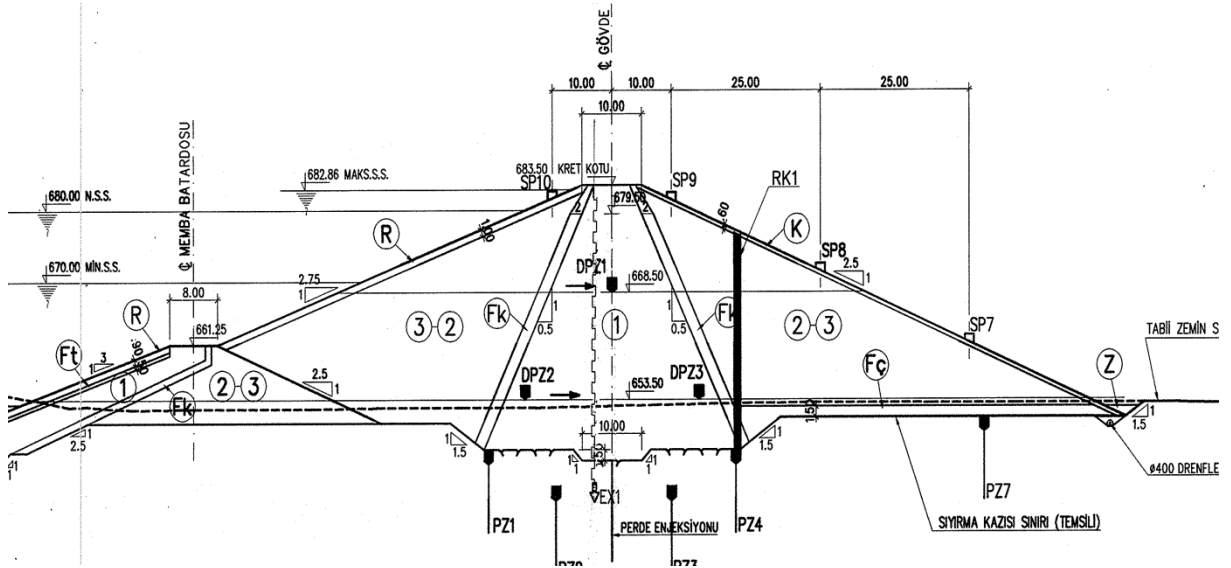
EX-1 ve EX-2 karşılaştırıldığında zaman EX-1 deki oturma miktarının daha fazla olduğu görülmektedir bunun nedeni ise dolgu miktarının daha fazla olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun nedeninin aradaki 5 m' lik kot farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. EX-2 ve EX-3 karşılaştırıldığında aradaki kot farkından normalde EX-2' in daha fazla oturması gerekirken EX-3' ün daha fazla oturduğu görülmektedir, bunun da zemin yapısında yatay yöndeki heterojenlikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Krette bu durum oluşurken baraj gövdesinde analiz sonucunda çıkan yükseklikler göze çarpmaktadır. Dilim 8,9 ve 10 da gövde dolgularının ortasında yani kil malzemesinde yaklaşık

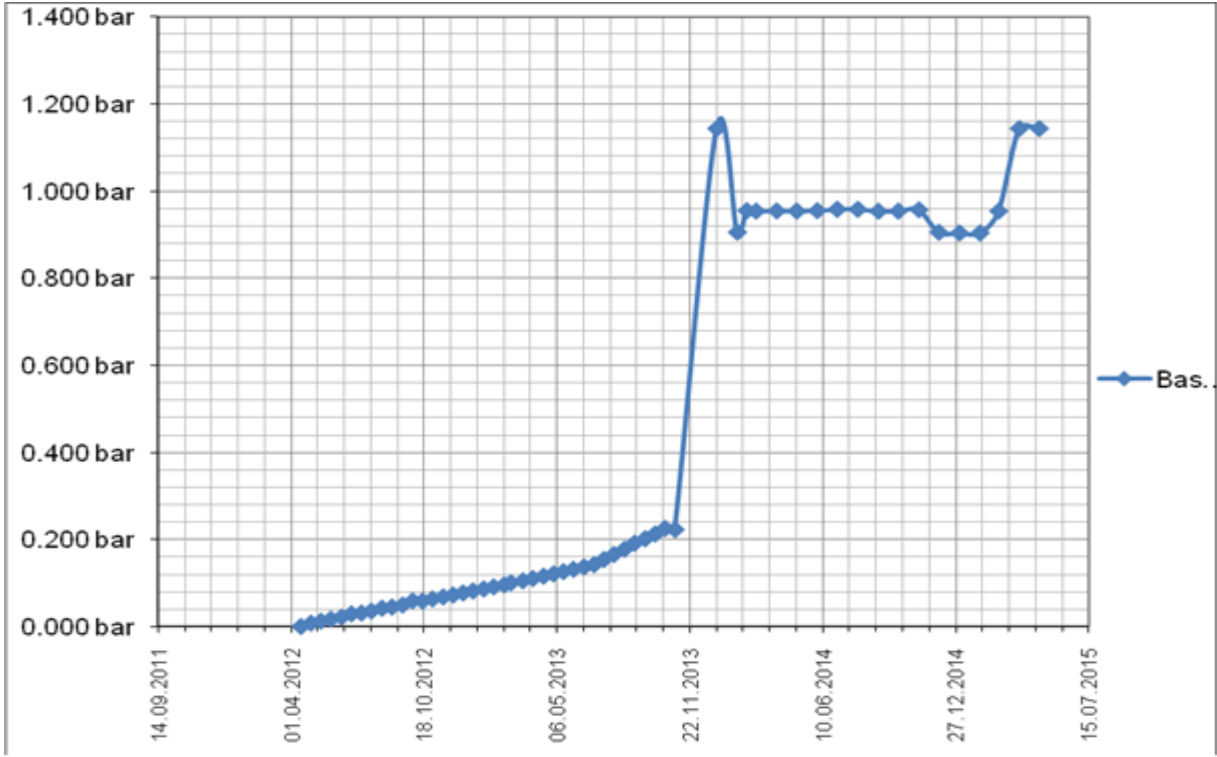
12 cm oturma olurken, dolgu malzemesinde ise 22 cm' e varan oturuların yaşandığı görülmektedir. Bu farkın baraj gövdesindeki kil malzemesi ve dolgu malzemesi arasındaki kohezyon ve Elastite modülü farkından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolgu malzemesinin proje geoteknik raporunda verilen Elastite Modülü parametresinin gerçek değerine göre daha düşük bir değer girişi yapıldığı düşünülmektedir.

4.5.2. Pamukçay Barajında Oluşan Sızma ve Değerlendirilmesi

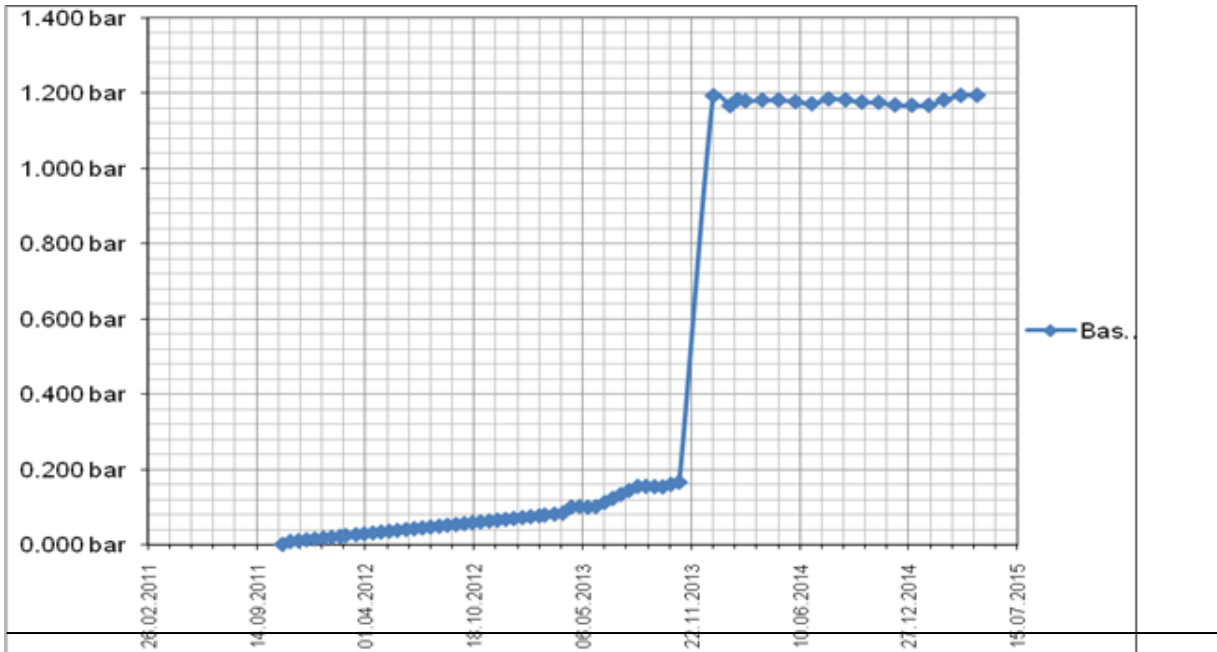
Pamukçay Barajında 3 ayrı kesitte 9 adet Dolgu tipi Piyezometre bulunmaktadır. Her kesitte 3 adet Piyezometre yerleştirilmiştir. Piyezometreler kil çekirdek içinde bir kesitte 3 ayrı noktada ölçüm yapmaktadır. Piyezometrelerde manyetik ekstansometrelerle aynı km' lere yerleştirilmiştir. Pamukçay Barajında su tutma işlemine 20.07.2013 tarihinde başlanılmıştır. Barajın bitim tarihi ise 19.11.2013' tür. Pamukçay Barajında 15 günde bir Piyezometre okuması yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır. Pamukçay Barajında yer alan okumalar aşağıda gösterilmiştir.



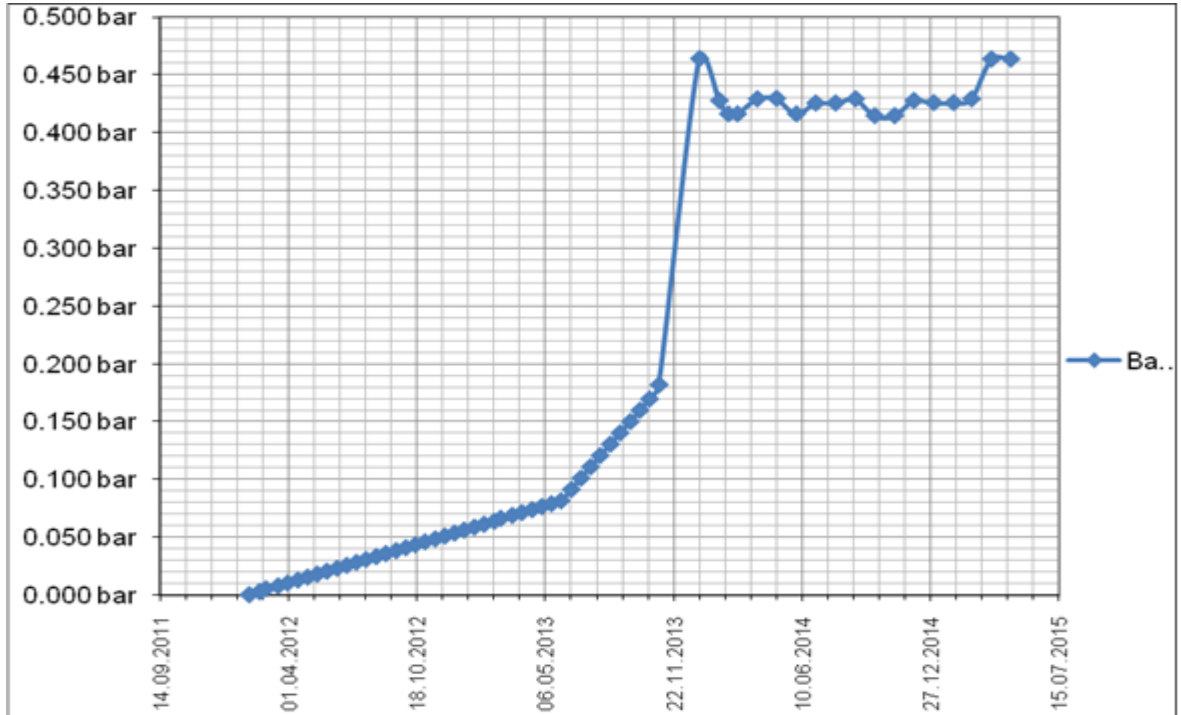
Şekil 4.42: Pamukçay Barajı Kesit II km 0+150.00 (DSİ Kati Proje,2010)



Şekil 4.43: DPZ 1 Dolgu tipi Piyezometre okuması (Bar cinsinden)
(Sangari 2011-2015)



Şekil 4.44 :DPZ 2 Dolgu tipi Piyezometre okuması (Bar cinsinden)
(Sangari 2011-2015)



Şekil 4.45:DPZ 3 Dolgu Tipi Piyezometre Okuması (Bar cinsinden)
(Sangari 2011-2015)

Yukarıda okumaları verilen Pamukçay Barajının değerlerine baktığımız zaman belirli bir aşamadan sonra kararlı akım seviyesine geldiği görülmektedir. Bu kararlı durum gövdenin doygun duruma geldiğini göstermektedir. Gövde inşaatına 07.05.2010 tarihinde başlanan Pamukçay Barajında su tutma işlemi 20.7.2013 tarihinde gerçekleşmiştir. Baraj inşaatı ise 19.11.2013 yılında tamamlanmıştır. Grafik okumalarına bakıldığı zaman daha su tutma işlemine başlamadan önce dahi boşluk suyu basıncının artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu artışın zamanla gövde üzerine gelen dolgu miktarı artışının sonucunda var olan boşlukların sıkışarak boşluk suyu basıncını artırdığı düşünülmüştür. Esas kritik noktanın ise su tutma işleminin başladığı tarih olan 20.07.2013' tür. O güne kadar var olan boşluk suyu basıncının baraj gövdesinde oluşacak borulanmaya neden olmayacağı düşünülmüştür. Onun için su tutma işlemi gerçekleşmeden önce var olan boşluk suyu basıncı okumaları, toplamda oluşan boşluk suyu basıncı okumaları arasındaki fark alınarak esas kritik boşluk suyu basıncı değerine ulaşıldığı kanaatine varılmıştır. Son durumdaki basınç durumu aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

	Su Tutma İşlemi Başlangıcı(Kpa)	Dolu Hazne Durumu (Kpa)	Dolu Hazne ve Su Tutma Baş. Farkı (Kpa)
DPZ 1	16.5	114.3	97.8
DPZ 2	14.3	119.3	105.0
DPZ 3	12.0	46.3	34.3

Çizelge 4.18:Pamukçay Barajı Dolgu Tipi Piyezometre Okuma Sonuçları
(Sangari 2011-2015)

	Boşluk Suyu Basıncı (kPa)	X yönündeki Geçirimlilik (m/s)	Y yönündeki Geçirimlilik(m/s)	XY yönündeki Geçirimlilik (m/s)
DPZ 1	-67.6468	1.20×10^{-7}	5.70×10^{-10}	1.20×10^{-7}
DPZ 2	100.5982	7.01×10^{-8}	5.57×10^{-10}	7.01×10^{-8}
DPZ 3	28.0563	7.04×10^{-8}	1.16×10^{-9}	3.04×10^{-7}

Çizelge 4.19: Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Geçirimlilik Sonuç Değerleri

Pamukçay Barajında bahsedilen kritik aşama belirlendikten sonra analiz sonucu hesaplanan verilerle Pamukçay Barajında yapılan piyezometre okumaları mukayese edilmiştir. Pamukçay Barajında yapılan okumalar sonucunda elde edilmiş olan bu verilerin sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan boşluk suyu basıncıyla büyük oranda örtüştüğü sonucuna varılmıştır. Bu da özellikle laboratuvar deneyi sonucu girilen parametrelerin büyük oranda örtüştüğü sonucunu doğurmuştur. Kil çekirdek, dolgu malzemesi, baraj temeli (Şelmo Formasyonu) ve filtre malzeme parametrelerinin genel olarak uygun olduğu daha önceden belirtilmişti. Yapılan filtre tahkiki, gövde malzemeleri Etüt Raporları ve Analiz sonuçları beraber incelendiğinde borulanma yönünden bir tehdidin öngörülmediği sonucuna varılmıştır.

Pamukçay Barajında gövdeden ve baraj temelinden sızan su hızı iki durum için incelenmiştir. Bunlardan biri geçirimsizlik perdesi yapılmadan, bir diğeri de geçirimsizlik perdesi yapıldıktan sonraki durum içindir. Geçirimsizlik perdesi kullanılmadan mansap eteğinden yani drenflex bölümünden sızan suyun debisi $2.45 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$, geçirimsizlik perdesi kullanıldıktan sonra da sızan suyun debisi $2.32 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ ’ dir. Bu bağlamda enjeksiyon sonucunda yapılan geçirimsizlik perdesinin sızan suyun sızma yolunu uzatarak sızma debisini az da olsa azalttığı görülmüştür. Bir diğer sonuçta baraj temelinin şelmo formasyonu olmasından kaynaklanmaktadır. Şelmo genelde geçirimsiz yapıda olan bir formasyon çeşididir. Bunun kanıtı da baraj yerinin geçirimsizliği bölümünde anlatılan Basıncılı Su Testi deneyidir. BST’ ye göre şelmo formasyonunun lugeon değerleri genel olarak 1-2 lugeon çıkmış çok az seviyede 2 lugeon

(m/d/l) üzerinde değer elde edilmiştir. Bu sonuçlarda göstermektedir ki baraj temeli geçirimsiz olduğundan dolayı geçirimsizlik perdesi çok fazla gerekmediği halde DSİ tarafından emniyet açısından yapıldığı düşünülmektedir. Baraj temeli geçirimsiz özellik gösterdiğinden zaten geçirimsiz olan zemin geçirimlik perdesiyle de desteklenmiştir.

4.5.3. Gövde Şev Analizleri (SLOPE) Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Pamukçay Barajı memba ve mansap proje aşamasında yapılan analiz sonucunda belirlenmiştir. Belirlenen bu şevlere göre memba ve mansap şevleri 1D/2.75 Y ve 1D/2.5 Y olarak öngörülmüştür. Yani Gövde stabilite analizinin yapılmasının ana sebeplerinden biri memba ve mansap şevlerinin belirlenmesidir. Bu belirlemeler ani boşalma, OBE ve MDE depremli koşullarda ayrıca incelenerek nihai şev eğimi belirlenmektedir. Yapılan bu çalışmada da bu durumlar analiz edilerek DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberinde yer alan yükleme durumlarına göre emniyet katsayıları değerlendirilmiştir.

Hal	Yükleme Hali	Emniyet Katsayısı (Dsi Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi)	Pamukçay Barajı Şev Güvenliği Emniyet Katsayısı
İnşaat Sonu	Olağan Dışı	1.3	2.07
İnşaat sonu Depremli (OBE)	Ekstrem	>1.0	1.516
İşletme	Olağan	1.5	1.818
İşletme Depremli (OBE)	Olağan Dışı	1.2	1.37
İşletme Depremli (MDE)	Ekstrem	>1.0	1.08
Ani Boşalma	Olağan Dışı	1.2	2.17
Ani Boşalma (OBE)	Ekstrem	>1.0	1.25

Çizelge 4.20:Pamukçay Barajı Emniyet Katsayıları ve Analizlerde Kullanılması
Tavsiye Edilen Yükleme Hali, Emniyet Katsayıları (DSİ 2012)

Gövde şev analizi söylendiği gibi memba ve mansap şevlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ani boşalma durumu ise biraz daha farklılık göstermektedir. Taşkın, feyezan gibi durumlarda artan boşluk suyu basıncıyla gövdenin bir bölümünün sıyrılıp gövde dolgusundan ayrılması durumunu temsil etmektedir. Bu durumu engellemek içinde en az şev eğimi kadar filtre malzemesi ve gövde parametrelerinin de yeteri kadar uygun seçilmesi gerekmektedir.

Yukarıdaki çizelgede yer alan durumlarda incelendiğinde bahsi geçen her durumda baraj stabilite değerlerinin güvenli bölgede kaldığı görülmüştür. OBE ve MDE sismik deprem durumlarında dahi baraj gövdesinin stabil kalacağı kanaatine varılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pamukçay Barajı 2013 yılında işletmeye açılan kil çekirdekli zonlu baraj tipinde yapılmıştır. Pamukçay Barajı inşaatı Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bitirilen barajlar içinde en yakın zamanda yapımı tamamlanan bir baraj olmasının yanında baraj ölçüm değerlerinin güncel ve düzenli olmasından dolayı seçilmiştir. Pamukçay Barajıyla ilgili kullanılan ölçüm aletleri iki farklı ölçüm aletinden alınan verilerle değerlendirilmiştir. Bunlardan biri boşluk basıncını ölçen Gövde Tipi Titreşen Telli Piyezometre ve bir diğeri de düşey deplasmanları ölçen Manyetik Ekstansometre' dir.

Elastik-Plastik model kullanılarak modelleme yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçlarından alınan parametrelerin programa işlenerek sonuç analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan oturmaların Pamukçay Barajı kretinde gerçekleşen oturma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu da programın yeterli doğrulukta ölçüm yapabildiğini göstermektedir. Üç ayrı Manyetik Ekstansometreden alınan deplasman ölçüm değerleri ve analiz sonucunda elde edilmiş deplasman değerleri aşağıda (cm) cinsinden verilmiştir.

	EX 1	EX2	EX 3	EX _{max}	EX _{ORT}	Ex _{hesap}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Deplasman	7	3	4	7	4.67	5

Çizelge 5.1: Manyetik Ekstansometre Ortalama oturma Değerleri ve

Analiz Sonucu Hesaplanan Ekstansometre Değerleri (DSİ 2012-2015)

Analiz sonucu elde edilen İnşaat Sonu Dolu Hazne Durumunda (İşletme Durumu) barajın nihai olarak 0.8 metre oturma yapacağı sonucuna varılmıştır. Bu tezin hazırlık aşamasında baraj 3 yıllık olduğu için henüz nihai oturmasını gerçekleştirmemişti. Bu aşamada bu değerlerin karşılaştırılabileceği herhangi bir done bulunmamaktadır. Ölçümlerin devam etmesi durumunda bu değerler önümüzdeki tarihlerde hesap ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması daha anlamlı olacağı sonucuna varılmıştır. Pamukçay Barajının şu anda bu değerden oldukça uzakta olduğu görülmektedir.

İki boyutlu sızma analizi sonucu ölçülen değerlerle hesaplanan değerlerinin de birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yönteminin sızma konusunda da başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Söz konusu değerler aşağıdaki çizelgede ayrıntılı biçimde verilmiştir.

	Boşluk Suyu Basıncı (kPa)	X yönündeki Geçirimsizlik (m/s)	Y yönündeki Geçirimsizlik(m/s)	XY yönündeki Geçirimsizlik (m/s)
DPZ 1	-67.6468	1.20×10^{-7}	5.70×10^{-10}	1.20×10^{-7}
DPZ 2	100.5982	7.01×10^{-8}	5.57×10^{-10}	7.01×10^{-8}
DPZ 3	28.0563	7.04×10^{-8}	1.16×10^{-9}	3.04×10^{-7}

Çizelge 5.2: Pamukçay Barajında Analiz Sonucunda Hesaplanan Boşluk Suyu Basıncı ve Sızma hızı Değerleri

	Su Tutma İşlemi Baş. –Dolu Hazne Durumu Boşluk Suyu Basıncı Değerleri (Kpa)	Su Tutma İşlemi Baş. –Dolu Hazne Durumu Boşluk Suyu Basıncı Değerleri Farkı(Kpa)	Ölçülen Basınç Şiddeti (Kpa)
DPZ 1	16.5-114.3	97.8	-67.6468
DPZ 2	14.3-119.3	105	100.5982
DPZ 3	12.0-46.3	34.3	28.0563

Çizelge 5.3:Pamukçay Barajı Dolgu Tipi Piyezometre Okuma Sonuçları ve Analiz sonucu elde edilen Basınç Şiddeti (Sangari 2011-2015)

Baraj temeline yapılmış olan enjeksiyonun yani geçirimsizlik perdesi iki durum için incelenmiştir. Geçirimsizlik perdesi olmadan yapılan analiz sonucunda drenflex bölümünden geçen suyun debisi 2.45×10^{-7} m³, enjeksiyon perdesi yapıldıktan sonra ise 2.32×10^{-7} m³/s olmuştur. Bu durumda enjeksiyon perdesinin drenflex bölümünden sızan debi miktarını belirli oranda düşürmediği sonucuna varılmıştır. Bu da baraj temelini Şelmo Formasyonu (Geçirimsiz) olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmaktadır.

Boşluk Suyu basıncını gidermek için yapılan filtre malzemesinin yeterli olduğu ve borulanma tehdidinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Gövde stabilite durumları incelenerek depremlili durum ve depremsiz durum beraber tahkik edilmiştir. Aşağıda her yükleme hali durumu için Pamukçay Barajı Emniyet katsayı değerinin sağlandığı görülmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere barajda her hangi bir stabilite tehlikesi bulunmamaktadır.

Hal	Yükleme Hali	Emniyet Katsayısı (Dsi Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi)	Pamukçay Barajı Şev Güvenliği Emniyet Katsayısı
İnşaat Sonu	Olağan Dışı	1.3	2.07
İnşaat sonu Depremli (OBE)	Ekstrem	>1.0	1.516
İşletme	Olağan	1.5	1.818
İşletme Depremli (OBE)	Olağan Dışı	1.2	1.37
İşletme Depremli (MDE)	Ekstrem	>1.0	1.08
Ani Boşalma	Olağan Dışı	1.2	2.17
Ani Boşalma (OBE)	Ekstrem	>1.0	1.25

Çizelge 5.4:Pamukçay Barajı Emniyet Katsayıları ve Analizlerde Kullanılması

Tavsiye Edilen Yükleme Hali, Emniyet Katsayıları (DSİ 2012)

Ayrıca MDE ve OBE durumlarında dahi baraj gövdesinin stabil kalacağı sonucuna varılmıştır. Baraj gövdesinin ani boşalma durumları da tahkik edilmiş ve barajın herhangi bir stabilite tehlikesinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

Akbaş, S., SAK, İ. 2012 Akköprü Barajının Hesaplanan ve Gözlenen Deformasyon Davranışı

Bilge, T., Çetin, Ö., 2016 , Dolgu Barajlarda Ölçüm Sistemleri

Clough, R.W, Woodward, R.J., Analysis of Enbankment Stresses and Deformations J. of Soil Mech and Found Div.

Coşar, Ö., 2010 Düşey Dren Uygulamaları ile Adana ve Yakın Civarında Yer Alan Killi Zeminlerin İyileştirme Modelleri

Çilingir,H., 2007 Toprak Dolgu Barajların Gövdelerindeki Sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi Büyükçekmece Barajı Uygulaması

DSİ 2008, DSİ Teknik Bülteni, Ocak 2008 Ankara (1-43)

E., Gökalp, C., Karaali, An Overview of The Physical Interpretation of Deformation Measurements, I. Turkish International Symposium on Deformations Measurements, İstanbul, 1994.

Engineer Manuel, EM-1110-2-1004, Deformation Monitoring And Control Surveying, U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC, 1994

GAP Batman Silvan Projesi Diyarbakır Pamukçay Barajı Kati Proje Albümü ES Proje 2010, Ankara S,1-323

GAP Batman Silvan Projesi Diyarbakır Pamukçay Barajı Kati Proje Raporu ES Proje Nisan 2009, Ankara S,1-120

Güngör, M., 1995 Toprak Dolgu Barajlardaki Sızma Olayının Sonlu Elemanlar Modeli

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 1. Barajlar Kongresi Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi Ekim 2012 Ankara S, 1-151

Orman ve Su İşleri Bakanlığı DSİ 10 Bölge Müdürlüğü Laboratuvar Deney Sonuçları 2015 Diyarbakır S,1-1

Technical Units used in Rock Engineering 2011
[http://www.rockmass.net/articles/misc/useful/_info.html].

Zomordion, A., Sahabzadeh, K., Oaria, A., 2006, Effect of Number of Layers on Incremental Construction Analysis of Earth Dams, The Electronic J. Of Geotech.

EK-1 PAMUKÇAY BARAJI 1 NUMARALI GÖVDE TİPİ PİYEZOMETRE OKUMALARI

DPZ 1



Temel Piyezometreleri

Baraj Adı:	PAMUKÇAY BARAJI
Müteahhit:	AKGENÇ İNŞAAT
Kontrol:	DSI 10. Bölge

Kalibrasyon Sertifika
Değerleri

G Katsayısı [kPa/digit]	0.33075	Sensör Seri No :	018493
A Katsayısı [kPa/digit²]		Ro: İlk Okuma Referans Değeri	6678.8
B Katsayısı [kPa/digit]			
C Katsayısı [kPa]		kpa= [R0-R1] x G	

Tarih	İlk ve Son Okumalar		G Katsayısı	Basınç	Sıcaklık
	Ro	Okuma			
15.04.2012	6678.8	6678.8	3.31E-01	0.000 bar	29.2 °C
30.04.2012	6678.8	6676.5	3.31E-01	0.008 bar	29.1 °C
15.05.2012	6678.8	6675.1	3.31E-01	0.012 bar	29.2 °C
30.05.2012	6678.8	6673.7	3.31E-01	0.017 bar	28.1 °C
15.06.2012	6678.8	6672.3	3.31E-01	0.021 bar	28.3 °C
30.06.2012	6678.8	6670.0	3.31E-01	0.029 bar	28.4 °C
15.07.2012	6678.8	6669.5	3.31E-01	0.031 bar	27.9 °C
30.07.2012	6678.8	6668.1	3.31E-01	0.035 bar	27.6 °C
15.08.2012	6678.8	6666.1	3.31E-01	0.042 bar	27.6 °C
30.08.2012	6678.8	6665.3	3.31E-01	0.045 bar	27.3 °C
15.09.2012	6678.8	6663.9	3.31E-01	0.049 bar	27.2 °C
30.09.2012	6678.8	6661.0	3.31E-01	0.059 bar	27.2 °C
15.10.2012	6678.8	6661.1	3.31E-01	0.059 bar	27.2 °C
30.10.2012	6678.8	6659.7	3.31E-01	0.063 bar	27.2 °C
15.11.2012	6678.8	6658.3	3.31E-01	0.068 bar	27.2 °C
30.11.2012	6678.8	6656.9	3.31E-01	0.072 bar	27.0 °C
15.12.2012	6678.8	6655.5	3.31E-01	0.077 bar	26.8 °C
30.12.2012	6678.8	6654.1	3.31E-01	0.082 bar	26.2 °C
15.01.2013	6678.8	6652.7	3.31E-01	0.086 bar	26.1 °C
30.01.2013	6678.8	6651.3	3.31E-01	0.091 bar	26.2 °C
15.02.2013	6678.8	6649.9	3.31E-01	0.096 bar	26.3 °C
25.02.2013	6678.8	6648.5	3.31E-01	0.100 bar	26.0 °C
15.03.2013	6678.8	6647.1	3.31E-01	0.105 bar	26.0 °C

30.03.2013	6678.8	6645.5	3.31E-01	0.110 bar	25.9 °C
15.04.2013	6678.8	6643.9	3.31E-01	0.115 bar	25.6 °C
30.04.2013	6678.8	6642.3	3.31E-01	0.121 bar	25.8 °C
15.05.2013	6678.8	6640.7	3.31E-01	0.126 bar	25.7 °C
30.05.2013	6678.8	6639.1	3.31E-01	0.131 bar	25.4 °C
15.06.2013	6678.8	6637.5	3.31E-01	0.137 bar	25.7 °C
30.06.2013	6678.8	6635.9	3.31E-01	0.142 bar	25.4 °C
15.07.2013	6678.8	6632.3	3.31E-01	0.154 bar	25.6 °C
30.07.2013	6678.8	6628.8	3.31E-01	0.165 bar	25.4 °C
15.08.2013	6678.8	6625.1	3.31E-01	0.178 bar	25.4 °C
30.08.2013	6678.8	6621.0	3.31E-01	0.191 bar	25.3 °C
15.09.2013	6678.8	6617.9	3.31E-01	0.201 bar	25.5 °C
30.09.2013	6678.8	6614.6	3.31E-01	0.212 bar	25.5 °C
15.10.2013	6678.8	6610.7	3.31E-01	0.225 bar	25.4 °C
30.10.2013	6678.8	6611.5	3.31E-01	0.223 bar	25.5 °C
01.01.2014	6678.8	6333.1	3.31E-01	1.143 bar	26.8 °C
01.02.2014	6678.8	6405.1	3.31E-01	0.905 bar	27.6 °C
15.02.2014	6678.8	6390.1	3.31E-01	0.955 bar	27.0
01.03.2014	6678.8	6390.4	3.31E-01	0.954 bar	27.1
01.04.2014	6678.8	6390.3	3.31E-01	0.954 bar	27.5
01.05.2014	6678.8	6390.4	3.31E-01	0.954 bar	27.5
01.06.2014	6678.8	6390.1	3.31E-01	0.955 bar	27.0
01.07.2014	6678.8	6389.2	3.31E-01	0.958 bar	26.9
01.08.2014	6678.8	6389.2	3.31E-01	0.958 bar	26.9
01.09.2014	6678.8	6390.5	3.31E-01	0.954 bar	27.5
01.10.2014	6678.8	6390.4	3.31E-01	0.954 bar	27.5
01.11.2014	6678.8	6389.5	3.31E-01	0.957 bar	26.9
01.12.2014	6678.8	6405.1	3.31E-01	0.905 bar	27.6
01.01.2015	6678.8	6405.6	3.31E-01	0.904 bar	27.8
01.02.2015	6678.8	6405.6	3.31E-01	0.904 bar	27.8 °C
01.03.2015	6678.8	6390.4	3.31E-01	0.954 bar	27.5 °C
01.04.2015	6678.8	6333.1	3.31E-01	1.143 bar	26.8 °C
01.05.2015	6678.8	6333.1	3.31E-01	1.143 bar	26.8 °C

EK-2 PAMUKÇAY BARAJI 2 NUMARALI GÖVDE TİPİ PİYEZOMETRE OKUMALARI

DPZ 2



Temel Piyezometreleri

Baraj Adı:	PAMUKÇAY BARAJI
Müteahhit:	AKGENÇ İNŞAAT
Kontrol:	DSI 10. Bölge

Kalibrasyon Sertifika
Değerleri

G Katsayısı [kPa/digit]	0.32389	Sensör Seri No :	019309
A Katsayısı [kPa/digit ²]		Ro: İlk Okuma Referans Değeri	6526.3
B Katsayısı [kPa/digit]			
C Katsayısı [kPa]		kpa= [R0-R1] x G	

Tarih	İlk ve Son Okumalar		G Katsayısı	Basınç	Sıcaklık
	Ro	Okuma			
01.11.2011	6526.3	6526.3	3.24E-01	0.000 bar	16.8 °C
15.11.2011	6526.3	6524.0	3.24E-01	0.007 bar	16.4 °C
30.11.2011	6526.3	6523.3	3.24E-01	0.010 bar	16.0 °C
15.12.2011	6526.3	6522.6	3.24E-01	0.012 bar	16.9 °C
30.12.2011	6526.3	6521.9	3.24E-01	0.014 bar	16.7 °C
15.01.2012	6526.3	6521.2	3.24E-01	0.017 bar	16.2 °C
30.01.2012	6526.3	6520.5	3.24E-01	0.019 bar	16.0 °C
15.02.2012	6526.3	6519.8	3.24E-01	0.021 bar	16.2 °C
25.02.2012	6526.3	6519.1	3.24E-01	0.023 bar	16.1 °C
15.03.2012	6526.3	6518.4	3.24E-01	0.026 bar	16.0 °C
30.03.2012	6526.3	6517.7	3.24E-01	0.028 bar	15.9 °C
15.04.2012	6526.3	6517.0	3.24E-01	0.030 bar	15.9 °C
30.04.2012	6526.3	6516.3	3.24E-01	0.032 bar	15.8 °C
15.05.2012	6526.3	6515.6	3.24E-01	0.035 bar	15.7 °C
30.05.2012	6526.3	6514.9	3.24E-01	0.037 bar	15.7 °C
15.06.2012	6526.3	6514.2	3.24E-01	0.039 bar	15.6 °C
30.06.2012	6526.3	6513.5	3.24E-01	0.041 bar	15.5 °C
15.07.2012	6526.3	6512.8	3.24E-01	0.044 bar	15.9 °C
30.07.2012	6526.3	6512.1	3.24E-01	0.046 bar	16.0 °C

15.08.2012	6526.3	6511.4	3.24E-01	0.048 bar	16.1 °C
30.08.2012	6526.3	6510.7	3.24E-01	0.051 bar	16.0 °C
15.09.2012	6526.3	6510.0	3.24E-01	0.053 bar	16.3 °C
30.09.2012	6526.3	6509.3	3.24E-01	0.055 bar	16.4 °C
15.10.2012	6526.3	6508.6	3.24E-01	0.057 bar	16.6 °C
30.10.2012	6526.3	6507.9	3.24E-01	0.060 bar	16.3 °C
15.11.2012	6526.3	6507.2	3.24E-01	0.062 bar	16.0 °C
30.11.2012	6526.3	6506.5	3.24E-01	0.064 bar	16.0 °C
15.12.2012	6526.3	6505.8	3.24E-01	0.066 bar	16.4 °C
30.12.2012	6526.3	6505.1	3.24E-01	0.069 bar	16.7 °C
15.01.2013	6526.3	6504.4	3.24E-01	0.071 bar	17.0 °C
30.01.2013	6526.3	6503.7	3.24E-01	0.073 bar	17.8 °C
15.02.2013	6526.3	6503.0	3.24E-01	0.075 bar	17.4 °C
25.02.2013	6526.3	6502.3	3.24E-01	0.078 bar	17.6 °C
15.03.2013	6526.3	6501.5	3.24E-01	0.080 bar	18.0 °C
30.03.2013	6526.3	6500.8	3.24E-01	0.083 bar	17.9 °C
15.04.2013	6526.3	6495.7	3.24E-01	0.099 bar	18.0 °C
30.04.2013	6526.3	6495.3	3.24E-01	0.100 bar	18.4 °C
15.05.2013	6526.3	6495.8	3.24E-01	0.099 bar	18.4 °C
30.05.2013	6526.3	6495.3	3.24E-01	0.100 bar	18.4 °C
15.06.2013	6526.3	6492.0	3.24E-01	0.111 bar	18.4 °C
30.06.2013	6526.3	6488.7	3.24E-01	0.122 bar	18.4 °C
15.07.2013	6526.3	6485.4	3.24E-01	0.132 bar	18.3 °C
30.07.2013	6526.3	6482.1	3.24E-01	0.143 bar	18.3 °C
15.08.2013	6526.3	6478.8	3.24E-01	0.154 bar	18.7 °C
30.08.2013	6526.3	6478.8	3.24E-01	0.154 bar	18.3 °C
15.09.2013	6526.3	6479.0	3.24E-01	0.153 bar	18.3 °C
30.09.2013	6526.3	6479.2	3.24E-01	0.153 bar	18.1 °C
15.10.2013	6526.3	6477.1	3.24E-01	0.159 bar	18.4 °C
30.10.2013	6526.3	6475.4	3.24E-01	0.165 bar	18.1 °C
01.01.2014	6526.3	6158.3	3.24E-01	1.192 bar	16.4
01.02.2014	6526.3	6166.5	3.24E-01	1.165 bar	17.8
15.02.2014	6526.3	6161.4	3.24E-01	1.182 bar	17.5
01.03.2014	6526.3	6162.6	3.24E-01	1.178 bar	17.6
01.04.2014	6526.3	6161.9	3.24E-01	1.180 bar	17.2
01.05.2014	6526.3	6161.8	3.24E-01	1.181 bar	17.2
01.06.2014	6526.3	6163.2	3.24E-01	1.176 bar	17.7
01.07.2014	6526.3	6164.9	3.24E-01	1.171 bar	17.8
01.08.2014	6526.3	6160.9	3.24E-01	1.183 bar	16.9
01.09.2014	6526.3	6161.7	3.24E-01	1.181 bar	17.2

01.10.2014	6526.3	6163.6	3.24E-01	1.175 bar	17.6
01.11.2014	6526.3	6163.8	3.24E-01	1.174 bar	17.9
01.12.2014	6526.3	6165.9	3.24E-01	1.167 bar	18.0
01.01.2015	6526.3	6166.2	3.24E-01	1.166 bar	18.1
01.02.2015	6526.3	6166.2	3.24E-01	1.166 bar	18.1
01.03.2015	6526.3	6161.8	3.24E-01	1.181 bar	17.6
01.04.2015	6526.3	6158.1	3.24E-01	1.193 bar	16.5
01.05.2015	6526.3	6158.0	3.24E-01	1.193 bar	16.4

EK-3 PAMUKÇAY BARAJI 3 NUMARALI GÖVDE TİPİ PİYEZOMETRE OKUMALARI

DPZ 3					
<i>Temel Piyezometreleri</i>					
Baraj Adı:	PAMUKÇAY BARAJI				
Müteahhit:	AKGENÇ İNŞAAT				
Kontrol:	DSI 10. Bölge				
Kalibrasyon Sertifika Değerleri					
G Katsayısı [kPa/digit]	0.36255	Sensör Seri No :	019438		
A Katsayısı [kPa/digit ²]		Ro: İlk Okuma Referans Değeri	6600.1		
B Katsayısı [kPa/digit]					
C Katsayısı [kPa]		kpa= [R0-R1] x G			
Tarih	İlk ve Son Okumalar		G Katsayısı	Basınç	Sıcaklık
	Ro	Okuma			
30.01.2012	6600.1	6600.1	3.63E-01	0.000 bar	20.4 °C
15.02.2012	6600.1	6599.4	3.63E-01	0.003 bar	20.2 °C
25.02.2012	6600.1	6598.7	3.63E-01	0.005 bar	20.1 °C
15.03.2012	6600.1	6598.0	3.63E-01	0.008 bar	20.8 °C
30.03.2012	6600.1	6597.3	3.63E-01	0.010 bar	21.9 °C
15.04.2012	6600.1	6596.6	3.63E-01	0.013 bar	21.3 °C
30.04.2012	6600.1	6595.9	3.63E-01	0.015 bar	21.9 °C
15.05.2012	6600.1	6595.2	3.63E-01	0.018 bar	22.2 °C
30.05.2012	6600.1	6594.5	3.63E-01	0.020 bar	22.4 °C

15.06.2012	6600.1	6593.8	3.63E-01	0.023 bar	22.7 °C
30.06.2012	6600.1	6593.1	3.63E-01	0.025 bar	23.8 °C
15.07.2012	6600.1	6592.4	3.63E-01	0.028 bar	24.2 °C
30.07.2012	6600.1	6591.7	3.63E-01	0.030 bar	24.6 °C
15.08.2012	6600.1	6591.0	3.63E-01	0.033 bar	25.0 °C
30.08.2012	6600.1	6590.3	3.63E-01	0.036 bar	25.3 °C
15.09.2012	6600.1	6589.6	3.63E-01	0.038 bar	26.0 °C
30.09.2012	6600.1	6588.9	3.63E-01	0.041 bar	26.9 °C
15.10.2012	6600.1	6588.2	3.63E-01	0.043 bar	27.4 °C
30.10.2012	6600.1	6587.5	3.63E-01	0.046 bar	28.0 °C
15.11.2012	6600.1	6586.8	3.63E-01	0.048 bar	28.5 °C
30.11.2012	6600.1	6586.1	3.63E-01	0.051 bar	29.0 °C
15.12.2012	6600.1	6585.4	3.63E-01	0.053 bar	29.4 °C
30.12.2012	6600.1	6584.7	3.63E-01	0.056 bar	28.7 °C
15.01.2013	6600.1	6584.0	3.63E-01	0.058 bar	28.9 °C
30.01.2013	6600.1	6583.3	3.63E-01	0.061 bar	28.0 °C
15.02.2013	6600.1	6582.6	3.63E-01	0.063 bar	27.8 °C
25.02.2013	6600.1	6581.9	3.63E-01	0.066 bar	27.4 °C
15.03.2013	6600.1	6581.2	3.63E-01	0.069 bar	27.0 °C
30.03.2013	6600.1	6580.5	3.63E-01	0.071 bar	26.1 °C
15.04.2013	6600.1	6579.8	3.63E-01	0.074 bar	25.3 °C
30.04.2013	6600.1	6579.1	3.63E-01	0.076 bar	24.4 °C
15.05.2013	6600.1	6578.4	3.63E-01	0.079 bar	23.6 °C
30.05.2013	6600.1	6577.7	3.63E-01	0.081 bar	22.7 °C
15.06.2013	6600.1	6575.0	3.63E-01	0.091 bar	21.9 °C
30.06.2013	6600.1	6572.3	3.63E-01	0.101 bar	21.0 °C
15.07.2013	6600.1	6569.6	3.63E-01	0.111 bar	20.3 °C
30.07.2013	6600.1	6566.9	3.63E-01	0.120 bar	19.6 °C
15.08.2013	6600.1	6564.2	3.63E-01	0.130 bar	19.5 °C
30.08.2013	6600.1	6561.5	3.63E-01	0.140 bar	19.7 °C
15.09.2013	6600.1	6558.8	3.63E-01	0.150 bar	18.9 °C
30.09.2013	6600.1	6556.1	3.63E-01	0.160 bar	18.9 °C
15.10.2013	6600.1	6553.4	3.63E-01	0.169 bar	18.6 °C
30.10.2013	6600.1	6550.0	3.63E-01	0.182 bar	18.7 °C
01.01.2014	6600.1	6472.2	3.63E-01	0.464 bar	29.4
01.02.2014	6600.1	6482.2	3.63E-01	0.427 bar	28.4
15.02.2014	6600.1	6485.4	3.63E-01	0.416 bar	28.2
01.03.2014	6600.1	6485.4	3.63E-01	0.416 bar	28.2
01.04.2014	6600.1	6481.8	3.63E-01	0.429 bar	28.1
01.05.2014	6600.1	6481.7	3.63E-01	0.429 bar	28.1

01.06.2014	6600.1	6485.4	3.63E-01	0.416 bar	28.2
01.07.2014	6600.1	6482.8	3.63E-01	0.425 bar	28.3
01.08.2014	6600.1	6482.8	3.63E-01	0.425 bar	28.3
01.09.2014	6600.1	6481.8	3.63E-01	0.429 bar	28.1
01.10.2014	6600.1	6485.8	3.63E-01	0.414 bar	28.4
01.11.2014	6600.1	6485.8	3.63E-01	0.414 bar	28.4
01.12.2014	6600.1	6482.2	3.63E-01	0.427 bar	28.4
01.01.2015	6600.1	6482.7	3.63E-01	0.426 bar	28.6
01.02.2015	6600.1	6482.7	3.63E-01	0.426 bar	28.6
01.03.2015	6600.1	6481.8	3.63E-01	0.429 bar	28.1
01.04.2015	6600.1	6472.3	3.63E-01	0.463 bar	29.4
01.05.2015	6600.1	6472.3	3.63E-01	0.463 bar	29.4

EK-4 LUGEON DEĞERİNİN PERMEABİLİTEYE CEVRİM DEĞERLERİ

Various units and conversions

Dimension	Name	Symbol	Unit	Conversion
Time	minute	min	s	1 h = 60 s
	hour	h	h	1 h = 60 min
	day	day	day	1 day = 24 h
	week	wk	wk	1 wk = 7 days
	year	yr	yr	1 yr = 365.242 days = 52.17 wk
Length	Angstrom	Å	m	1 Å = 10^{-10} m
	nautical mile		n mile	1 n mile = 1852 m
	wave length	λ	m	
Force	load	G (P,W)	N	1 kp = 9.807 N
	gravity	g	N	1 g _a = 9.80665 m/s ² (exact, at 45° N; at 60°N g = 9.82 m/s ²)
	atmosphere		atm	1 atm
Modulus	elasticity modulus	E	Pa	1 kPa = 0.1 N/cm ² = 0.102 ton/m ²
	deformation modulus	G	Pa	1 MPa = 10.2 kg/cm ²
	shear modulus	K	Pa	
Density	mass density	ρ	kg/m ³	
	force density	γ	kN/m ³	
Flow	Lugeon	Lugeon	l/min/m	1 Lugeon = approx. 10^{-7} m/s (see definition)
	permeability coefficient	k	m/s	
	Darcy		m/s	1 Darcy = 1 cm ³ /s through 1 cm ² at 1 atm and viscosity η = 0.01 poise
Viscosity	dynamic viscosity	η, μ	poise	1 poise = 0.1 Pa × s
	kinematic viscosity	ν	m ² /s	
Angle	degree	°		1° = $\pi/180$ rad = 0.017453 rad; 1 rad = 57.296° = 63.622°
	new degree (gon)	°		1° = $\pi/200$ rad = 0.015708 rad
Energy	calory		cal	1 cal = 4.1868 J = 4.1868 × 10 ⁷ erg 1 cal/s = 4.1868 W
	erg		erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
	kilowatthour		kWh	1 kWh = 3.6 × 10 ⁶ J = 3.6 MJ 1 MJ = 0.278 kWh
Heat	heat capacity	C	J/K	
	specific heat capacity	c	J/(K × kg)	
	thermal conductivity	l	W/K × m ²	
Pressure	atmosphere (normal)		atm	1 atm = 760 mm Hg = 1.013 bar = 1.033 kg/m ² = 0.101325 MPa
	bar		bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
Others	moment of force	M	N × m	
	strain	ϵ, e	none	1 $\epsilon = \Delta l / l_0$
	Poisson's number	ν, μ	none	
	efficiency	η	none	
	factor of safety	FS	none	
	angle		rad	1 rad = 57.296° = 63.622°
	horsepower	hp		1 hp = 0.7457 kW

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : İbrahim Halil ORAL

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 28.01.1987, Diyarbakır

e-mail : oralibrahimhalil@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Dicle Üniveristesi / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi / Diyarbakır	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013 -	DSİ 10. Bölge Müdürlüğü	İnşaat Müh.
2013 – 2013	TCDD 5. Bölge Müdürlüğü	İnşaat Müh

Yabancı Dil : İngilizce