



**KANAK BARAJININ OTURMA VE SIZMA
DEĞERLERİNİN NÜMERİK ANALİZ
SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

İnş. Müh. Veysel MEMİŞOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Erkut SAYIN
TEMMUZ-2019**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANAK BARAJININ OTURMA VE SIZMA DEĞERLERİNİN NÜMERİK ANALİZ
SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Veysel MEMİŞOĞLU

121115102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.05.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 05.07.2019

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Mekanik

Danışman: Doç.Dr.Erkut SAYIN

Doç.Dr.Muhammet KARATON

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

TEMMUZ -2019

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum çalışmalar esnasında bana göstermiş olduğu yardımlardan dolayı Sayın Doç. Dr. Erkut SAYIN'a, Kanak Barajına ait verilere ulaşmamda DSİ Sivas XIX. Bölge Müdürlüğü'ne , her türlü desteği aldığım kıymetli meslektaşım Seçkin AYDIN'a ve DSİ Elazığ IX. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Eşim Tuba MEMİŞOĞLU'na ve çocuklarım İkra ve Erva MEMİŞOĞLU'na her türlü destekleri için sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca manevi desteklerini esirgemeyen annem Gülümser MEMİŞOĞLU ve babam Tuncer MEMİŞOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Veysel MEMİŞOĞLU
ELAZIĞ – 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XV
1.GİRİŞ	1
1.1. Baraj ve Barajların Önemi.....	4
1.2. Barajlara Ait Kısımlar	5
1.2.1. Gövde.....	6
1.2.2. Dolusavak	6
1.2.3. Derivasyon-Dipsavak	7
1.2.4. Diğer Tesisler	7
1.3. Kullanılan Malzeme ve İnşa Tekniğine Göre Baraj Gövde Türleri	7
1.3.1. Dolgu Tipi Gövdeler.....	10
1.4. Baraj Gövdesinde Yer Alan Ölçüm Aletleri	15
1.4.1. Temel Tipi Piyezometre (T) ve Dolgu Tipi Piyezometre (P).....	18
1.4.2. Su Basınç Ölçer (B).....	20
1.4.3. Manyetik Ekstansometre (M)	21
1.4.4. Harici Çökme Röperi (HR).....	23
1.4.5. Bağlantı Kutusu (BK).....	25
1.4.6. Rezervuar Su Seviye Ölçer (RSSÖ).....	26

1.4.7. Rasat Kuyusu (RK).....	26
1.4.8. Alet Merkezlendirme Röperi (AMR), Sabit Referans Röperi (SRR) ve Nirengi Röperi (NR)	28
2.MATERYAL VE METOT	29
2.1. Kanak Barajı'nın Yeri ve Yapım Amacı	29
2.2. Kanak Barajı'nın İnşaa Tarihçesi	29
2.3. Kanak Barajı'nın Bulunduğu Bölgenin ve Ocak Sahalarının Jeolojik Özellikleri	32
2.4. Kanak Baraj Gövde Gövde İmalatları ve Ölçüm Aletlerinden Alınan Okuma Değerleri	40
2.5. Sonlu Elemanlar Metodu.....	50
2.5.1. İki Boyutlu Modellerde Sonlu Elemanlar Metodu	51
2.6. Plaxis v8.2. Paket Programı	52
2.6.1. Lineer Elastik Model	55
2.6.2. Mohr-Colomb Modeli.....	57
2.6.3. Joined Rock Model.....	59
2.6.4. Hardening Soil Model	59
2.6.5. Hardening Soil Small Model (HS Small Model).....	60
2.6.6. Modified Cam-Clay Model	60
2.6.7. Soft Soil Model.....	60
2.6.8. Soft Soil Creep Model	60
2.6.9. User-Defined Soil Model.....	60
2.7. Kanak Baraj Gövdesinin Plaxis v8.2 Programında Modellenmesi	60
3. BULGULAR	74
3.1. Kanak Baraj Gövdesine Ait Oturma Analizi.....	74
3.2. Kanak Baraj Gövdesine Ait Şev Analizleri.....	79
3.3. Kanak Baraj Gövdesine Ait Sızma Analizleri.....	82

3.4. Kanak Baraj Gövdesine Ait Dinamik Analizler	84
4. SONUÇ ve TARTIŞMA	98
4.1. Kanak Barajı Gövdesine Ait Oturma Analiz Sonuçları	98
4.2. Kanak Barajı Gövdesine Ait Şev Analiz Sonuçları.....	99
4.3. Kanak Barajı Gövdesine Ait Sızma Analiz Sonuçları.....	99
4.4. Kanak Barajı Gövdesine Ait Dinamik Analiz Sonuçları.....	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	106
EKLER	107

ÖZET

Baraj; su toplama, sulama, içmesuyu ve elektrik üretmek amacı ile bir vadinin iki yakası arasına değişik tip ve malzemeden inşa edilen su yapısıdır. Bu çalışmada, Sivas ili Şarkışla ilçesinde yapımı tamamlanmış Kanak Barajının sonlu elemanlar modeli oluşturularak şev stabilitesi, oturmaları, sızma miktarı ve sızma hatlarının durumları ile iki farklı deprem altında lineer dinamik analizleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen oturma ve sızma miktarı değerleri Devlet Su İşleri 19. Bölge Müdürlüğünden temin edilen ve Kanak Barajında kullanılan ölçüm aletlerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sızma analizi için baraj rezervuarının maksimum su seviyesinde olduğu kabul edilmiştir. Dinamik analizler için 1992 Erzincan ve 2003 Bingöl depreminin ivme kayıtları kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj, Oturma analizi, Sızma analizi, Lineer dinamik analiz.

SUMMARY

The Comparison of The Seepage and Settlement Values of Kanak Dam With The Numerical Analysis Results

A dam is a water structure, which is constructed between the two sides of a valley in various types and by various materials, in order to provide water collection, irrigation, drinking water and electricity production. In this study, the finite element model of Kanak Dam, which construction is completed in Şarkışla district of the city of Sivas, was formed and analyses of slope stability, settlements, seepage amount and seepage lines along with linear dynamic analyses under two different earthquakes were conducted by the help of a software using the finite element method. The values of settlement and seepage obtained from the analyses were compared with the results of the measurement instruments used in the Kanak Dam, which were obtained from the 19th Regional Directorate of State Hydraulic Work. The dam reservoir was regarded to be at the maximum water level for seepage analysis. For dynamic analyses, the acceleration records of 1992 Erzincan and 2003 Bingöl earthquake were used.

Keywords: Dam, Settlement analysis, Seepage analysis, Linear dynamic analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 1.1.	Temsili dolgu gövdeye sahip baraj yerleşim vaziyet planı.....	5
Şekil 1.2.	Dolgu gövdeye sahip baraj en kesit görünüşü.....	8
Şekil 1.3.	Dolgu gövdeye sahip baraj boy kesit görünüşü.....	8
Şekil 1.4.	Homojen dolgu gövde en kesit görünüşü	11
Şekil 1.5.	Kum-çakıl dolgu gövde en kesit görünüşü	12
Şekil 1.6.	Kaya dolgu gövde en kesit görünüşü.....	12
Şekil 1.7.	Karışık zonlu dolgu gövde en kesit görünüşü	13
Şekil 1.8.	Asfalt çekirdekli zonlu dolgu gövde en kesit görünüşü	14
Şekil 1.9.	Ön yüzü beton kaplı gövde en kesit görünüşü.....	14
Şekil 1.10.	Ön yüzü beton asfalt kaplı gövde en kesit görünüşü.....	15
Şekil 1.11.	Ön yüzü beton geomembran kaplı gövde en kesit görünüşü.....	15
Şekil 1.12.	Kanak baraj gövdesi vaziyet planı.....	17
Şekil 1.13.	Kanak baraj gövdesi 0+350,00 km sindeki en kesiti.....	17
Şekil 1.14.	Temel tipi piyezometre.....	18
Şekil 1.15.	Dolgu tipi piyezometre	19
Şekil 1.16.	Su basınç ölçer.....	21
Şekil 1.17.	Manyetik ekstansometre	22
Şekil 1.18.	Harici çökme röperi	23
Şekil 1.19.	Bağlantı kutusu (Ölçüm odası).....	25
Şekil 1.20.	Rezervuar su seviye ölçer.....	26
Şekil 1.21.	Rasat kuyusu.....	27
Şekil 2.1.	25.07.2006 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks ye.....ri görüntüsü	30
Şekil 2.2.	12.08.2012 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü	30
Şekil 2.3.	28.10.2013 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü	31
Şekil 2.4.	04.04.2016 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü	31
Şekil 2.5.	Kanak Baraj'ına ait görüntü	32

Şekil 2.6.	İki boyutlu cisim.....	51
Şekil 2.7.	6 düğüm noktalı eleman	53
Şekil 2.8.	15 düğüm noktalı eleman	53
Şekil 2.9.	Düzlemsel model ve eksenel simetrik model	54
Şekil 2.10.	Drene edilmiş malzemeye ait 3 eksenli basınç deneyi sonuçları	54
Şekil 2.11.	Mohr-Colomb yöntemine göre idealize edilmiş sonuçlar	55
Şekil 2.12.	Mohr-Colomb modelinde gerilme uzayında görülen gerilmeler ($c=0$)	58
Şekil 2.13.	Baraj gövde temelinin boyutlandırılması	61
Şekil 2.14.	Plaxis v8.2’de oluşturulan baraj gövde ve temel modeli (Model-1)	61
Şekil 2.15.	Ana kayanın bazalt olması durumunda elastisite modülü	69
Şekil 2.16.	Ana kayanın andezit olması durumunda elastisite modülü	69
Şekil 2.17.	Ana kayanın kireç taşı olması durumunda elastisite modülü	69
Şekil 2.18.	Model-1’in sonlu elemanlar ağı.....	71
Şekil 2.19.	Model-1’e ait gerilme noktaları.....	71
Şekil 2.20.	Model-2.	72
Şekil 2.21.	Model-2’e ait sonlu elemanlar ağı.....	73
Şekil 3.1.	Baraj gövde ve temel sistemin sonlu elemanlar ağı	74
Şekil 3.2.	Oturma analizinde Model-2’nin su seviyesi.....	75
Şekil 3.3.	Oturma analizinde Model-2’nin başlangıç durumu.....	75
Şekil 3.4.	Model-2’de seçilen gerilme noktaları.....	76
Şekil 3.5.	İnşaat sonu durum için Plaxis v8.2’de oluşturulmuş senaryo	76
Şekil 3.6.	B noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği	77
Şekil 3.7.	F noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği.....	78
Şekil 3.8.	J noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği	78
Şekil 3.9.	Şev analizinde Model-2’nin su seviyesi	79
Şekil 3.10.	Şev analizinde seçilen yöntemler ve çözüm senaryosu	80
Şekil 3.11.	Şev analizinde seçilen gerilme noktaları	80
Şekil 3.12.	Şev analizi sonucunda elde edilen kayma dairesi.....	81
Şekil 3.13.	Şev analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayısı.....	81
Şekil 3.14.	Sızma analizi için baraj gövde ve temel sisteminin sonlu elemanlar ağı ..	82
Şekil 3.15.	Sızma analizi için baraj gövdesinde oluşturulan sızma hattı ve su seviyesi..	83
Şekil 3.16.	Sızma analizinde seçilen gerilme noktaları	83

Şekil 3.17.	Sızma analizi sonucunda G noktası için elde edilen basınç değeri	83
Şekil 3.18.	Bingöl Depremi ivme-zaman grafiği	84
Şekil 3.19.	Erzincan Depremi ivme-zaman grafiği	85
Şekil 3.20.	Dinamik analizler için kullanılan modeller	85
Şekil 3.21.	Bingöl Depremi için oluşturulan Model-2’de seçilen gerilme noktası	86
Şekil 3.22.	Bingöl Depremi için oluşturulan Model-2’ye ait sonlu elemanlar ağı	86
Şekil 3.23.	Bingöl Depremi altında Model-2’de meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	86
Şekil 3.24.	Bingöl Depremi altında Model-2’de meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	87
Şekil 3.25.	Bingöl Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	87
Şekil 3.26.	Bingöl Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	87
Şekil 3.27.	Bingöl Depremi için oluşturulan Model-3’e ait sonlu elemanlar ağı	88
Şekil 3.28.	Bingöl Depremi altında Model-3’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	88
Şekil 3.29.	Bingöl Depremi altında Model-3’te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	89
Şekil 3.30.	Bingöl Depremi altında Model-3’te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	89
Şekil 3.31.	Bingöl Depremi altında Model-3’te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	89
Şekil 3.32.	Bingöl Depremi için oluşturulan Model-4’e ait sonlu elemanlar ağı	90
Şekil 3.33.	Bingöl Depremi altında Model-4’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	90
Şekil 3.34.	Bingöl Depremi altında Model-4’te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	91
Şekil 3.35.	Bingöl Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	91
Şekil 3.36.	Bingöl Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	91
Şekil 3.37.	Erzincan Depremi için oluşturulan Model-2’ye ait sonlu elemanlar ağı ...	92

Şekil 3.38.	Erzincan Depremi altında Model-2’de meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	92
Şekil 3.39.	Erzincan Depremi altında Model-2’de meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	92
Şekil 3.40.	Erzincan Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	93
Şekil 3.41.	Erzincan Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	93
Şekil 3.42.	Erzincan Depremi için oluşturulan Model-3’e ait sonlu elemanlar ağı.....	94
Şekil 3.43.	Erzincan Depremi altında Model-3’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	94
Şekil 3.44.	Erzincan Depremi altında Model-3’te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	94
Şekil 3.45.	Erzincan Depremi altında Model-3’te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	95
Şekil 3.46.	Erzincan Depremi altında Model-3’te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	95
Şekil 3.47.	Erzincan Depremi için oluşturulan Model-4’e ait sonlu elemanlar ağı.....	96
Şekil 3.48.	Erzincan Depremi altında Model-4’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar	96
Şekil 3.49.	Erzincan Depremi altında Model-4’te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar	96
Şekil 3.50.	Erzincan Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği	97
Şekil 3.51.	Erzincan Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği	97

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.1.	2001-2014 yılları arasında TUIK verilerine göre kişi başına çekilen günlük su miktarı ile içme ve kullanma suyu arıtma tesisi sayısı	4
Tablo 1.2.	Kanak baraj gövdesinde bulunan dolgu tipi piyezometrelere ait lokasyonlar	19
Tablo 1.3.	Kanak baraj gövdesinde bulunan temel tipi piyezometrelere ait lokasyonlar	20
Tablo 1.4.	Kanak baraj gövdesinde bulunan su basınç ölçerlere ait lokasyonlar	21
Tablo 1.5.	Kanak baraj gövdesinde bulunan manyetik ekstansometrelere ait lokasyonlar.....	22
Tablo 1.6.	Kanak baraj gövdesinde bulunan harici çökme röperlerine ait lokasyonlar.. ..	24
Tablo 1.7.	Kanak baraj gövdesinde bulunan rezervuar su seviye ölçerlere ait lokasyonlar	26
Tablo 1.8.	Kanak baraj gövdesinde bulunan rasat kuyularına ait lokasyonlar	27
Tablo 2.1.	Baraj gövdesinin bulunduğu bölgede açılan sondaj kuyuları	34
Tablo 2.2.	085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait deney sonuçları	35
Tablo 2.3.	085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait dispersibilite deney sonuçları	36
Tablo 2.4.	085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait konsolidasyon deney sonuçları.....	37
Tablo 2.5.	085-BM-03/P2 paftasında E malzeme sahasından alınan yarı geçirimli numune deney sonuçları	38
Tablo 2.6.	085-BM-01 paftasında Kaya-1 malzeme sahasından alınan kaya numune deney sonuçları	40
Tablo 2.7.	Manyetik ekstansometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri	41
Tablo 2.8.	Dolgu tipi piyezometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri	44

Tablo 2.9.	Temel tipi piyezometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri	48
Tablo 2.10.	Kum-çakıl ve tuvenan malzemeye ait doyun birim hacim ağırlık.....	66
Tablo 2.11.	Kum-çakıl ve tuvenan malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık	67
Tablo 2.12.	Model-1'e ait deplasman değerleri.	72
Tablo 2.13.	Model-2'e ait deplasman değerleri.	73
Tablo 3.1.	B noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar.....	77
Tablo 3.2.	F noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar.....	78
Tablo 3.3.	J noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar	79

KISALTMALAR LİSTESİ

DSİ	: Devlet Su İşleri
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
SSB(RCC)	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
AMR	: Alet Merkezleme Röperi
SRR	: Sabit Referans Röperi
HR	: Harici Çökme Röperi
BK	: Bağlantı Kutusu
NR	: Nirengi Röperi
T	: Temel Tipi Piyezometre
P	: Dolgu Tipi Piyezometre
B	: Su Basınç Ölçer
M	: Manyetik Ekstansometre
RSSÖ	: Rezervuar Su Seviye Ölçer
RK	: Rasat Kuyusu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
UTM	: Urchin Tracking Module
MİPJAL	: Mineralogical and Geochemical Research Laboratories
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndisi
SC	: Killi Kum
GP	: Kötü Derecelendirilmiş Çakıllar, Kumlu Çakıllar
GM	: Siltli Çakıllar, Killi Kumlu Çakıllar
GW	: İyi Derecelendirilmiş Çakıllar, Kumlu Çakıllar
Fk	: Filtre Kum

Fç : Filtre Çakıl
Ft : Filtre Tuvenan



SEMBOLLER LİSTESİ

W_{opt}	: Optimum su içeriği
C_u	: Doğal haldeki kohezyon
$\phi(\varphi)$: İçsel sürtünme açısı
γ_{kmax}	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
P_c	: Konsolidasyon basıncı
C_c	: Sıkışma indisi
e_n	: Doğal boşluk oranı
e_f	: Sonraki boşluk oranı
m_{Wc}	: Su yüksekliği
u	: Deplasman vektörünün x yönündeki bileşeni
v	: Deplasman vektörünün y yönündeki bileşeni
t	: Cismin z yönündeki kalınlığı
$\{u\}$: Yer değiştirme vektörü
$\{\sigma\}$: Gerilme bileşeni vektörü
$\{\varepsilon\}$: Şekil değiştirme bileşeni vektörü
$\{f\}$: Kütle kuvveti vektörü
$\{T\}$: Yüzey kuvveti vektörü
dV	: Diferansiyel hacim
$[D]$: Elastisite matrisi
σ_1	: Eksenel gerilme
σ_3	: Sabit sınırlayıcı basınç
ε_1	: Eksenel yer değiştirme
ε_v	: Hacimsel yer değiştirme
ν	: Poisson oranı
c	: Kohezyon
E	: Elastisite modülü
ψ	: Dilatasyon açısı
G	: Kayma modülü
γ	: Birim hacim ağırlık

M	: Malzeme sertlik parametresi
E_{oed}	: Ödometre modülü
G_{ref}	: Kütle modülü
f_{1a}	: Gerilme bileşeni
a	: Plastik potansiyel fonksiyonu
H	: Baraj gövde yüksekliği
u_{sat}	: Doygun birim hacim ağırlık (γ_{doygun})
u_{nsat}	: Kuru birim hacim ağırlık (γ_{kuru})
M	: Kütle matrisi
C	: Sönüm matrisi
K	: Rijitlik matrisi
F	: Yük vektörü
α_R, β_R	: Rayleigh sönüm katsayıları

1. GİRİŞ

Yaşamın kaynağı olan suya, geçmişten günümüze kadar insan ve diğer bütün canlılar tarafından ihtiyaç duyulmaktadır.

İnsan, içme suyu, tarımsal verimlik ve hayvancılık faaliyetlerini arttırmak için suya ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca su, temizlik, enerji ve endüstri içinde kullanılır. Günümüzde de refah seviyesinin yüksek olduğu toplumlar genelde su kıyasında olan toplumlardır. Yaşam için önemi yüksek olan suya ihtiyaç gün geçtikçe artmakta ve suyun depolanması gereksinimi doğmaktadır. Suyu depolama yöntemlerinden biride baraj inşa etmektir.

Çilingir [1] çalışmasında, baraj temellerinde ve dolgu gövdeye sahip baraj gövdelerinde sızmanın, sızan suyun dirençle karşılaşmasına rağmen bir sızma hattı oluşturacağına değinmiştir. Baraj inşa edildikten sonra sızma miktarındaki artışın baraj gövdesinde tehlike oluşturacağını belirtmiştir. Buna engel olabilmek içinde baraj gövdesi projelendirilirken etütlerin ve analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılarak bir maliyet-güvenlik optimizasyonu yapılması gerektiğine değinmiştir. Bu amaçla Geo-Studio programı yardımıyla Büyükçekmece Barajı'na ait dolgu tipindeki baraj gövdesinde meydana gelen sızmaları tespit etmiştir. Yapmış olduğu analiz sonuçlarında elde ettiği değerleri Devlet Su İşleri tarafından ölçüm aletlerinden alınan okuma değerleri ile karşılaştırmıştır.

Taşkıran vd. [2] çalışmalarında, oluşturmuş oldukları bir şevin iki ve üç boyutlu modellerini Plaxis programında oluşturmuşlardır. Plaxis programında oluşturmuş oldukları bu model için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak şev stabilite analizini yapmışlar ve bir güvenlik katsayısı bulmuşlardır. Aynı şevin modelini Geo-Studio programında da oluşturmuşlardır. Geo-Studio programında oluşturmuş oldukları model için limit denge yöntemini kullanarak şev stabilite analizini yapmışlar ve bir güvenlik katsayısı da bu analiz sonucunda bulmuşlardır. Sonuç olarak, Plaxis programında oluşturulan üç boyutlu modele ait analiz sonuçlarının, iki boyutlu modele ait analiz sonuçlarından daha büyük güvenlik katsayıları verdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca Plaxis ve Geo-Studio programlarında yapmış olduğu analizleri karşılaştırmışlar ve sonuçların yaklaşık uyum içerisinde olduğuna değinmişlerdir.

Bajlan [3] çalışmasında, düşük maliyet ve hızlı inşa tekniği nedeni ile tercih edilen dolgu tipi gövdelerin hatalı tasarımından kaynaklı hasarların meydana geldiğine

değirmiştir. Bu nedenle, Irak sınırları dahilinde bulunan bir barajın dolgu tipi gövdesinin, statik ve dinamik yükler altında sızma, oturma ve stabilite gibi analizlerini Geo-Studio 2012 programını kullanarak yapmıştır. Programda analizlerini, baraj gövdesinin inşa aşamasından sonrası, işletme hali (rezervuarın dolu hali), rezervuardaki suyun ani boşaltıldığı ve ihtiyaca bağlı su boşaltım durumları için modelleyerek yapmıştır. Sonuç olarak, programa ait ayrı ayrı modüllerde yapmış olduğu nümerik analizlerde bulmuş olduğu güvenlik katsayılarını değerlendirmiştir.

Kılıç [4] çalışmasında, Alibey Barajı'nın gövde modeli ve temel zeminini Plaxis programında oluşturarak sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizlerini yapmıştır. Analizlerini baraj gövdesini inşa aşaması hali için kademeli olarak tasarlayarak yapmıştır. Analiz sonucunda baraj gövdesine ait oturmaların, yer değiştirmelerin ve boşluk suyu basınçlarına ait güvenlik katsayılarının ölçüm aletlerinden alınan okuma değerleri ile kıyaslamıştır.

Raja ve Maheshwari [5] çalışmalarında, Hindistan'da bulunan Nara Barajı'na ait 40 m yüksekliğindeki gövdeyi Geo-Studio programında iki boyutlu olarak modellemiştir. Modelde yapılan meshlemede 814 düğüm noktası ve 243 eleman oluşturulmuştur. Modellemede ayrıca baraj gövdesinin memba kısmında 30 m yüksekliğinde su yükü ve ayrıca dinamik yüklerde tanımlanarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda gövde kretinden, gövde temeline doğru inildikçe yatay ve düşey gerilmelerin arttığını, zemin gerilmelerinin ise doğrusal lineerlikten doğrusal olmayan lineerliğe geçtiğini gözlemlemiştir.

Şayan vd. [6] çalışmalarında, dolgu baraj gövde tiplerinin ülkemizde yapım tekniği kolaylığı ve ekonomik olduğundan tercih edildiğine değirmiştir. Ambarlı Barajı'na ait gövde tesisini Plaxis 7.2 programında modelleyerek statik ve dinamik yükler altında sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizlerini yapmışlardır. Analizlerde 2003 Bingöl Deprem ivmelerini sismik yük olarak tanımlamışlardır. Sonuç olarak, Ambarlı Barajı'na ait gövdenin Bingöl Depremi'ne göre güvenlik kriterini sağladığını belirtmişlerdir.

Maula ve Zhang [7] çalışmalarında, yamaç şevleri için deprem yükü altında sonlu elemanlar, limit denge, Morgenstern-Price ve programlarda bulunan diğer yöntemlerle nümerik analizler yapmışlardır. Analizleri, Geo-Studio 2007 ve Plaxis 2D programları ile yapmışlardır. Her iki programa da dört farklı model tanımlayarak analiz yapılmış ve sonuçları karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Programlara tanımlanan dört farklı model;

- 1- Homojen bir zemin ile oluşturulan model,

- 2- Farklı iki tabakaya sahip zemin için farklı geometrilere sahip model,
- 3- Farklı yüksekliklere sahip iki tabakaya sahip model,
- 4- Farklı eğimlere sahip iki tabakaya sahip model şeklinde tasarlanmıştır.

Hasani vd., [8] çalışmalarında, Geo-Studio programında bulunan Seep/w ve Slope/w modüllerini kullanarak İran'da bulunan Ilam Barajı'na ait gövdenin şev stabilitesi ve sızdırma durumlarını değerlendirmişlerdir. Seep/w modülünde baraj rezervuarının su dolu olduğu durumda dört farklı mesh yöntemi kullanarak sızma hattı ve sızma miktarını bulmuş ve verileri karşılaştırmışlardır. Slope/w modülünde ise farklı yöntemleri (Bishop, Janbu, Dilim Methodu, Morgenstern-Price) kullanarak baraj gövdesinin memba ve mansap şevlerinde inşaat, işletme ve ani boşalma hali için değerlendirmişlerdir.

Kamanbedast ve Delvari [9] çalışmalarında, Maroon Barajı'na ait gövdede ANSYS ve Geo-Studio programlarında yapmış oldukları sızma, stabilite ve şev stabilite analizleri karşılaştırmışlardır. Sızma analizi sonucunda Geo-Studio programında daha fazla sızmanın görüldüğünü bunun sebebinin ise analiz yöntemlerindeki farklılıklarında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, bu iki programın en önemli farkı güvenlik katsayılarında saptanmış ve ANSYS programının daha kabul edilebilir olduğuna değinmişlerdir.

Çetin ve Bilge [10], çalışmalarında Kralkızı Baraj gövdesini sonlu farklar yöntemi ile analiz yapan Flac ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan Plaxis programlarında modelleyerek, gövdeye yerleştirilmiş ölçüm aletlerinden alınan veriler yardımıyla karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında ölçüm aletlerinden ne sıklıkla veri alınması hakkında bilgi vermişlerdir.

Bu tezde, öncelikle baraj, baraj tesisleri, barajlara ait gövde türleri ve baraj ölçüm tesisleri hakkında bilgiler verilecektir. Daha sonra, Sivas ilinde bulunan kil çekirdekli kum -çakıl dolgu gövdeye sahip Kanak Barajının Plaxis v8.2 programı kullanılarak sayısal modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde sızma hattı, boşluk suyu basıncı, sızma miktarı, oturmalar (yatay ve düşey deplasmanlar) ve dolgu şevlerinin stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerler baraj gövdesinde bulunan ölçüm aletlerinden alınan okumalar ile karşılaştırılmıştır. Barajın malzeme parametreleri için Devlet Su İşleri laboratuvarlarında yapılan malzeme deney sonuçlarından elde edilen değerler dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda ekonomik, sosyolojik, ekolojik ve stratejik öneme sahip barajların gövde tesislerinde

proje ve inşaat aşamalarında meydana gelebilecek statik problemler irdelenmeye çalışılmıştır.

1.1. Baraj ve Barajların Önemi

Barajın kelime anlamı suyu toplama, sulama ve elektrik üretme amacıyla akarsu üzerine yapılan benttir [11]. Devlet Su İşleri'ne [12] göre, baraj su biriktirmek veya bir rezervuar oluşturmak amacıyla bir vadinin iki yakası arasına inşa edilen bariyer olarak tanımlanmıştır. Su biriktirmenin nedeni ise Devlet Su İşleri'ne [13] göre, amacına göre kullanılacak suyun yetersiz olduğu zamanlarda kullanılması için depolandığı ve taşkınla gelen fazla suların kontrolünü sağlamak olduğu şeklinde belirtilmiştir.

Tarihte ilk barajın M.Ö. 4000 yıllarında sulama ve içme suyu ihtiyaçlarının giderilmesi amacı ile inşa edildiği düşünülmektedir. Bu denli eski bir tarihe sahip barajlar, içme suyu temini, elektrik üretimi, hayvancılık, tarımsal faaliyetler, endüstriyel faaliyetlerin yanında dere yataklarındaki taşkın kontrolleri ve stratejik konumlarda inşa edilmesiyle ülkelerin savunma hatlarının oluşumunda da yardımcı olduğu söylenmesi mümkündür. Bu nedenle Ulusoy [14] çalışmasında, barajların imal aşamalarında da, işletme aşamalarında da risklerle karşılaşılacağına ve bu risklerin minimize edilmesinin önemine değinmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TUİK) [15] verilerine göre Tablo 1.1.'de görüldüğü gibi 2001 yılından 2014 yılına kadar kişi başına çekilen su miktarında azalış olduğu, bunun yanında içme ve kullanma suyu arıtma tesislerinde ise artış olduğu gözlemlenmektedir.

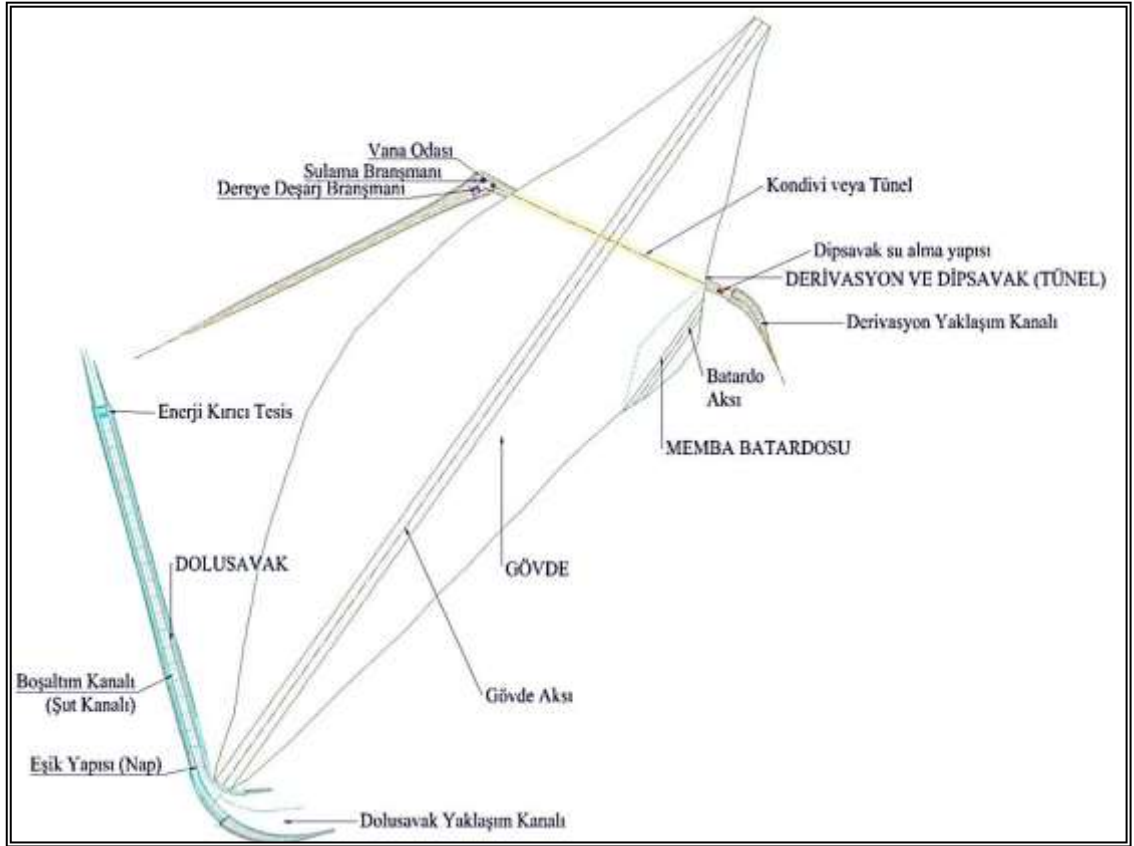
Tablo 1.1. 2001-2014 yılları arasında TUİK verilerine göre kişi başına çekilen günlük su miktarı ile içme ve kullanma suyu arıtma tesisi sayısı [15]

Yıl	Kişi Başı Çekilen Günlük Su Miktarı litre/kişi-gün	İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Tesisleri adet
2001	252	113
2002	255	123
2003	259	131
2004	255	140
2006	245	139
2008	215	170
2010	216	206
2012	216	258
2014	203	381

Bu da, yer altı su miktarlarında azalma olduğunu ve ihtiyaca artık yetişmediğini, ayrıca yüzey sularının arıtılarak ihtiyaca yönelik kullanıldığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle artırılması gereken suyun depolanması için doğaya minimum zarar ve maksimum güvenlik amaçlayan önemli mühendislik yapısı olan barajlar inşa edilmektedir.

1.2. Barajlara Ait Kısımlar

Berkün'e [16] göre, Baraj; baraj gövdesi, yaklaşım kanalı, dolusavak, boşaltım kanalı, enerji kırıcı tesis, su alma ağızı, dipsavak, vana odası ve tahliye büzünden oluşur.



Ağırlioğlu ve Erkek'e [17] göre, baraj gövdesi, yaklaşım kanalı, dolusavak kontrol kesiti, boşaltım kanalı, enerji kırıcı tesis, su alma ağızı ve dipsavak, su yükseltme ve vana odası, tahliye büzü, ulaşım yolu bir barajı oluşturan kısımlar olarak görülmektedir. Baykan çalışmasında [18], barajları genel olarak gövde, su alma yapıları, enerji kırıcı yapılar, kapaklar, savaklar, iletim yapıları (tünel veya cebri boru) olarak ele alarak detaylı bir şekilde irdelemiştir. Barajı, temel ve gövde, dolusavak yapısı, dipsavak yapısı, derivasyon yapısı ve batardolar olarak sınıflandırmakta mümkündür [19].

Orhon'a [20] göre de, baraj depolama yapısı (baraj gövdesi), depolanan suyun bulunduğu alan (gölalanı veya rezervuar alanı) ve boşaltım yapıları (derivasyon, dipsavak ve dolusavak) kısımlarından oluşmaktadır.

Ancak barajları genel olarak gövde, derivasyon-dipsavak, dolusavak ve baraj yapım amacına yönelik hizmet veren diğer tesis kısımları olmak üzere dört ana kısımda incelemek mümkündür. Şekil 1.1 temsili dolgu gövdeye sahip barajın yerleşim vaziyet planı görülmektedir.

1.2.1. Gövde

Baraj gövdesi, gölalanının oluşmasını sağlayan ve suyun önüne inşa edilen beton harcı, dolgu malzemesi, asfalt veya membran gibi malzemelerden oluşan bir settir. Berkün'e [16] göre ise baraj gövdesi, baraj göl alanını oluşturmak amacıyla vadiyi kapatan beton veya dolgu malzemesi ile inşa edilen yapıdır. Ağralıoğlu ve Erkek [17] ise baraj gövdesini, yapay bir göl oluşturmak için vadiye, masif veya dolgu malzemesinden inşa edilmiş yapı olarak tanımlamışlardır. Bazı barajlarda gövde imalatlarına maliyeti azaltmak için gövdeye topuk teşkil edecek şekilde memba ve mansap batardo imatları da Şekil 1.1'de görüldüğü gibi dahil edilebilmektedir.

1.2.2. Dolusavak

Dolusavak, baraj gövdesinin memba kısmındaki gölalanı suyunun mansap kısmına savaklanmasını sağlayan ve maksimum su seviyesinin istenilen seviyede tutulmasını sağlayan yapıdır. Berkün'e [16] göre dolusavak, baraj kısımlarının emniyetini amaçlayarak suyun mansap kısmına aktarılmasını sağlayan yapıdır. Ağralıoğlu ve Erkek [17] ise dolusavağı, barajlarda emniyet görevini üstlenmiş yapı olarak tanımlamışlardır. Dolusavak genellikle Şekil 1.1'de de görüldüğü üzere yaklaşım kanalı, eşik yapısı (nap), boşaltım kanalı (şut kanalı) ve enerji kırıcı tesis (havuz) kısımlarından oluşmaktadır. Dolusavak, yaklaşım kanalı, dolusavak eşiği (kontrol kesiti), deşarj kanalı, uç yapısı (enerji kırıcı yapı) kısımlarından oluşan ve suyun baraj membasından mansabına taşınmasını sağlayan yapı olarak da tanımlanabilir [19]. Dolgu gövdeye sahip barajlarda genellikle barajın sağ veya sol sahil yamaçlarından uygun olanına inşa edilir. Beton barajlarda ise genellikle bu yapı gövde üzerine inşa edilir.

1.2.3. Derivasyon-Dipsavak

Derivasyon suyun inşaatına girmesini önlemek amacı ile mansaba aktaran iletim hattı, dipsavak ise suyu tamamen mansaba kontrollü şekilde salmak için inşa edilen yapılardır [16, 17]. Derivasyon, baraj gövdesi ve diğer tesislerinin inşa edileceği alandan akarsuyun uzaklaştırılması için tünel veya kondivi şeklinde inşa edilmiş yapılardır. Dipsavak ise gövde inşaatının tamamlanmasına müteakip su alma yapısı, vana odası ve mekanik imalatlarının da tamamlanmasının ardından tıkaç betonu ile derivasyon yapısının giriş ağzının kapatılması ve suyun artık kule, yamaca yaslamalı vb. şekillerde imal edilen su alma yapısından girişini sağlayarak vana odasında kontrollü olarak amaca yönelik ihtiyaç duyulan suyun mambadan alınmasını sağlayan yapıdır. Derivasyon ve dipsavak yapıları Şekil 1.1’de görülmektedir.

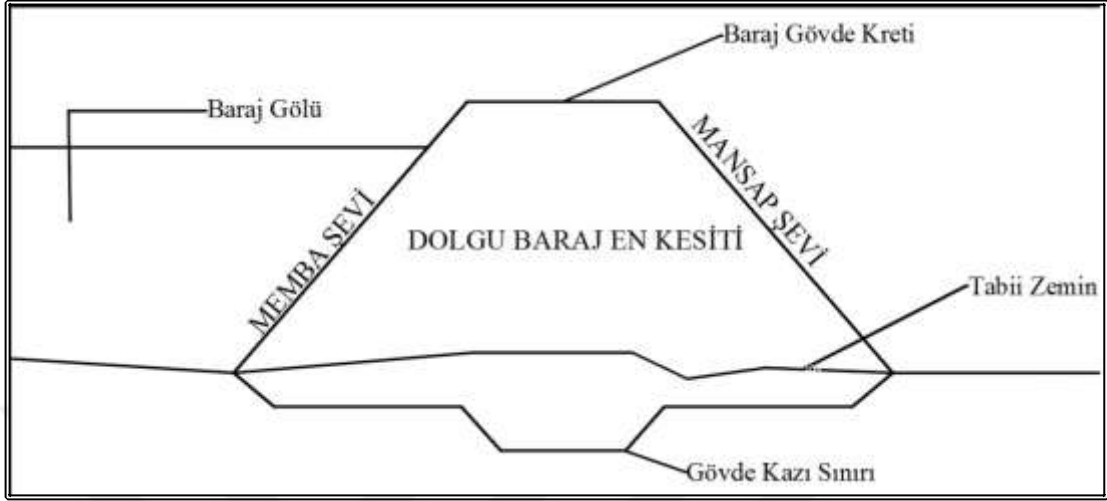
1.2.4. Diğer Tesisler

Barajların yapılma amaçlarına göre yapılan enerji üretim (santral binası, şaft sahası vb.) tesisleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi gibi yapıların bulunduğu kısımdır. Berkün’e [16] göre, arıtma tesisleri, enerji tesisleri, tomruk geçitleri, gemi eklüzleri, kaydırma yapıları ve balık geçitleri diğer tesisler olarak adlandırılabilir. Ağralıoğlu ve Erkek’e [17] göre, hizmet amacına göre inşa edilen baraj kısımlarıdır.

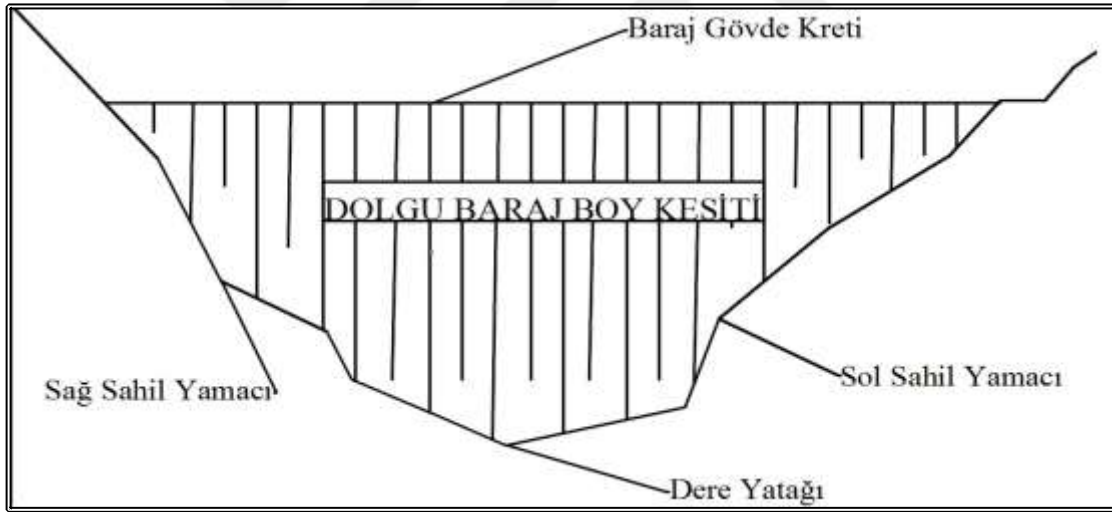
1.3. Kullanılan Malzeme ve İnşa Tekniğine Göre Baraj Gövde Türleri

Barajın ana kısımlarından biri olan baraj gövdesi, set olarak suyun barajın memba kısmında biriktirerek barajın mansap kısmına geçişini engelleyen Şekil 1.2.’de en kesiti ve Şekil 1.3.’de boy kesiti görülen yapıdır. Baraj gövdeleri projelendirilirken minimum maliyet ve maksimum güvenlik optimizasyonu göz önüne alınarak dizayn edilir. Minimum maliyetin oluşabilmesi için, baraj gövdesinin inşa edileceği alanın baraj gövde inşasında kullanılacak yapı malzemesine uzaklığı ve güvenlik şartlarının sağlanmasıyla istenilen su rezervinin oluşmasını sağlayacak minimum boyutların tespitiyle olmaktadır. Maksimum güvenlik ise, baraj gövdesinde kullanılacak malzemenin dayanımı, geçirgenliği gibi karakteristik, kimyasal özelliklerine bağlıdır. Buda, ihtiyaç duyulan su rezervini elde edebilecek şekilde boyutlandırılacak baraj gövdesine stabilite, boşluk suyu basıncı, sızma hattı, hava payı, oturma hesabı gibi hesapların sismik ve dinamik yükler altında yapılmasıyla bulunan güvenlik değerlerinin

yorumlanması ile elde edilir. Değerlendirmeler sonunda bir optimizasyon yapılarak yapılacak baraj gövdesinin boyutları ve malzeme türleri belirlenir.



Şekil 1.2. Dolgu gövdeye sahip baraj en kesit görünüşü



Şekil 1.3. Dolgu gövdeye sahip baraj boy kesit görünüşü

Orhon'a [20] göre, barajların kendilerini oluşturan kısımlar ve amaçlarına göre sınıflandırmanın hemen hemen mümkün olmadığına, olsa bile çok fazla çeşitliliğe sebebiyet vereceğine değinmiştir. Bu nedenle, baraj sınıflandırmasında en uygun olarak kullanılan ve hem gövde inşasında kullanılan yapı malzemesini hem de gövde şekil ve boyutu göz önüne alan bir sınıflandırma yapmayı tercih etmiştir. Böylelikle baraj gövdelerini dolgu ve beton baraj gövdeleri olmak üzere iki ana başlık altında toplamıştır.

Dorum, Akkaya ve Polat'a [22] göre, baraj gövdesi büyüklük, yapım amacı ve gövde imalatında kullanılan malzemeye göre sınıflandırılabilir. Baraj gövdesi imalatında kullanılan malzemeye göre dolgu, beton ve karma tip gövdeye sahip barajların olacağını belirtmişlerdir.

Emiroğlu [23] ise, baraj gövdelerinin sınıflandırılmasını şu başlıklar altında incelemiştir;

1. Gövde büyüklüklerine göre
2. Hidrolik projesine göre
 - Üzerinden suyun aşmasına izin verilen gövde
 - Üzerinden suyun aşmasına izin verilmeyen gövde
3. Statik projesine göre
 - Ağırlık tipi gövde
 - İnce kemer tipi gövde
 - Toprak dolgu tipi gövde
 - Kaya dolgu tipi gövde
4. Kullanılan malzemeye göre
 - Dolgu tipi gövde
 - ◆ Toprak dolgulu gövde
 - ◆ Kaya dolgulu gövde
 - Beton tipi gövde
 - ◆ Klasik beton ağırlık gövde
 - ◆ Payandalı beton gövde
 - ◆ Beton kemer gövde
 - ◆ Silindire sıkıştırılmış beton gövde (SSB veya RCC)
 - Kâgir tipi gövde
 - Ahşap tipi gövde
5. Düzenlenme devresine göre

Helvacı'da [24], baraj gövdelerini dolgu ve beton gövde olarak iki başlık altında toplamıştır. Günümüz teknolojisinde göz önüne alındığında, yeni inşaat teknikleri ve kullanılan malzeme türüne göre baraj gövdesini üç başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar;

1. Dolgu tipi gövdeler

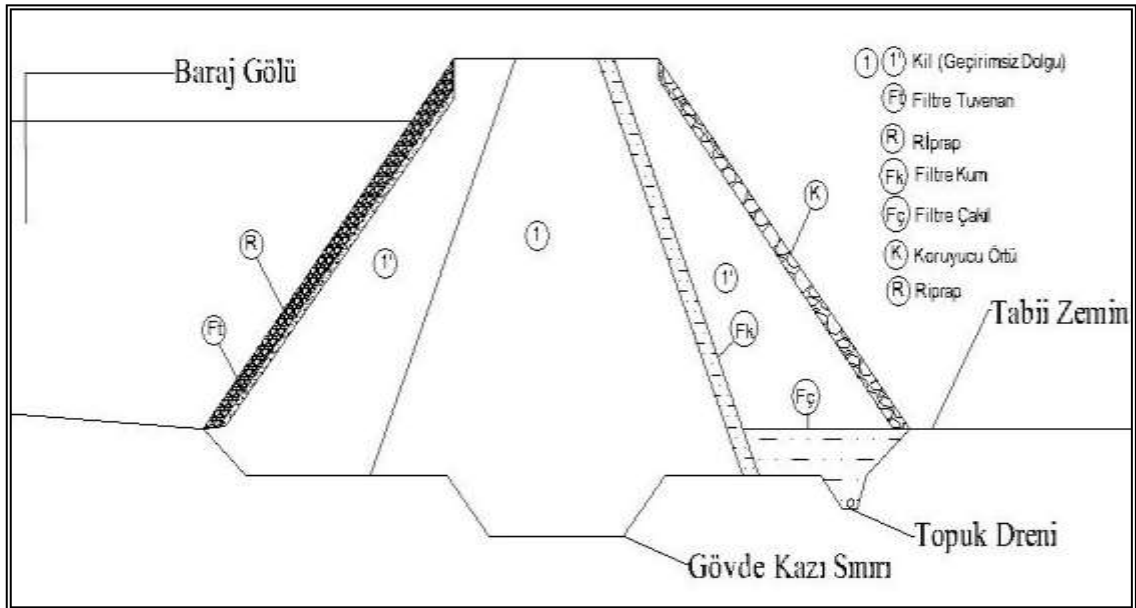
- a. Homojen dolgu tipi gövde
 - b. Zonlu dolgu tipi gövdeler
 - i. Kum-çakıl dolgulu gövde
 - ii. Kaya dolgu gövde
 - iii. Karışık zonlu dolgu gövde
 - c. Asfalt çekirdekli zonlu dolgu tipi gövde
 - d. Memba şevi geçirimsiz malzeme ile kaplı zonlu dolgu tipi gövde
 - i. Ön yüzü beton kaplı gövde
 - ii. Ön yüzü asfalt kaplı gövde
 - iii. Ön yüzü geomembran kaplı gövde
2. Beton tipi gövdeler
- a. Beton ağırlık tipi gövde
 - i. Payandalı beton gövde tipi
 - ii. Dolu gövde tipi
 - iii. Silindirle sıkıştırılmış beton gövde tipi (SSB)
 - b. Beton kemer tipi gövde
 - i. Kemer ağırlık gövde
 - ii. Basit silindirik gövde
 - iii. Çift eğrilikli gövde
3. Karma tip (Beton + Dolgu) gövdeler

Bu çalışmada, seçilen Kanak Barajı'na ait gövde Kil Çekirdekli Kaya Dolgu türünde projelendirildiğinden sadece dolgu gövdeye değinilmiştir.

1.3.1. Dolgu Tipi Gövdeler

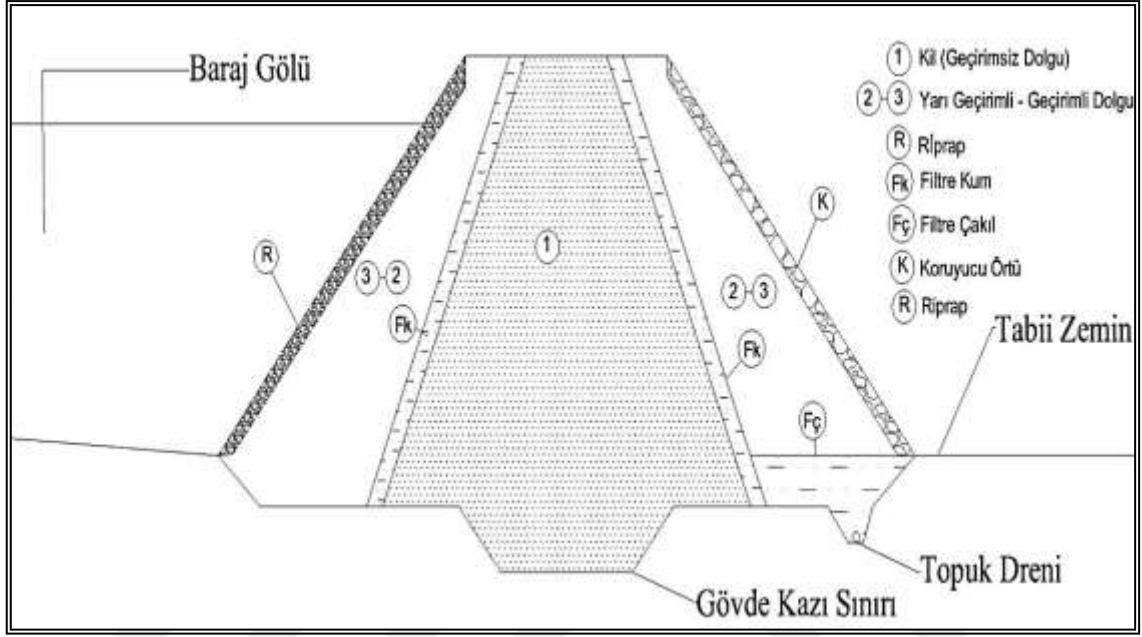
Dolgu tipi gövdeler, doğal yapı malzemesi olan kil, kum, çakıl, kaya v.b. malzemelerin belirli işlemlerden geçirilip gövdenin inşa edileceği alana istif edilerek sıkıştırılması ile imal edilmektedir. Ancak kullanılacak olan yapı malzemelerinin baraj inşası için yapılan maliyet-güvenlik optimizasyonları sonucunda en uygun olanı tercih edilerek projelendirilmektedir, buda farklı alternatiflerde dolgu tipi gövdeye sebep olmaktadır. Ağırlioğlu'na [25] göre, dolgu tipi gövdeler bütün vadi türlerine (dar veya geniş) uyumlu olması, doğal malzeme kullanıldığından beton gibi malzemelerin gövde imalatlarında çok az miktarda kullanılması, tüm zemin türleri üzerine inşa edilebilir olmaları gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanında, gövde içinde sızmaya ve gövde

üzerinden su taşmasına bağlı yıkımla sonuçlanan olumsuzluklarının da bulunduğu göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Akçalı ve Arman [21], baraj gövde imalatlarında boşluk suyu basıncı, gövde de oluşan sızmalar, borulanma (pınarlaşıma), iç erozyon (dispersiyon), sıvılaşma, oturma, çatlama, stabilite, mukavemet kaybının başlıca meydana gelen problemler olduğunu belirtmiştir. Bu problemlerin oluşmaması amacı ile gövde güvenliği için yapılacak analizlerde kullanılmak için laboratuvar ortamlarında yapılan malzeme deneyleri için bir standart oluşturmaya çalışmıştır. Bunlar da bu tür baraj gövdelerinin tercih edilirken iyice irdelenmesi ve optimizasyonların yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca Orhon [20], kullanılacak doğal yapı malzemesinin ekonomik ve hidrolojik parametrelerin yanı sıra kaliteli, rezervi bol ve gövde aks yerine yakınlığının da önemli olduğuna değinmiştir. Dolgu tipi gövdeleri yapılacak olan maliyet güvenlik optimizasyonuna göre Şekil 1.4'te en kesiti görünen homojen dolgu tipi, zonlu dolgu tipi (Şekil 1.5'te en kesiti görünen kum-çakıl gövde, Şekil 1.6'da en kesiti görünen kaya dolgu gövde, Şekil 1.7'de en kesiti görünen karışık zonlu gövde), Şekil 1.8'de en kesiti görünen asfalt çekirdekli zonlu dolgu tipi ve memba şevinin geçirimsiz malzeme ile kaplandığı gövde (Şekil 1.9'da en kesiti görünen ön yüzü beton kaplı gövde, Şekil 1.10'da en kesiti görünen ön yüzü asfalt kaplı gövde ve Şekil 1.11'de en kesiti görünen ön yüzü geomembran kaplı gövde) tipleri olarak incelemek mümkündür.

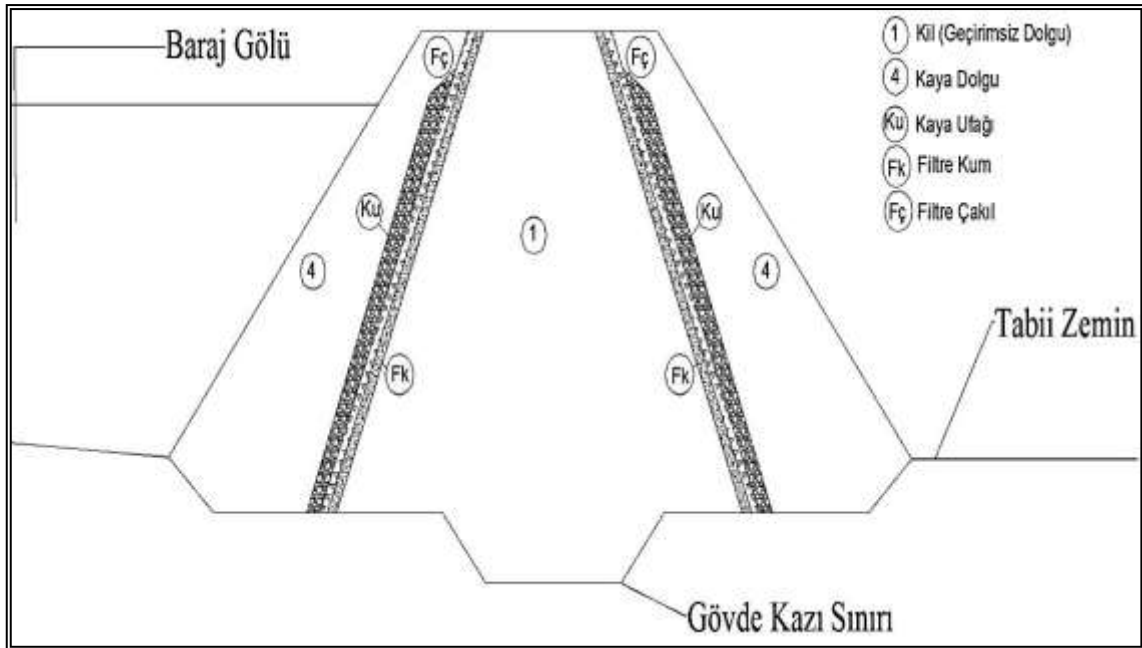


Şekil 1.4. Homojen dolgu gövde en kesit görünüşü

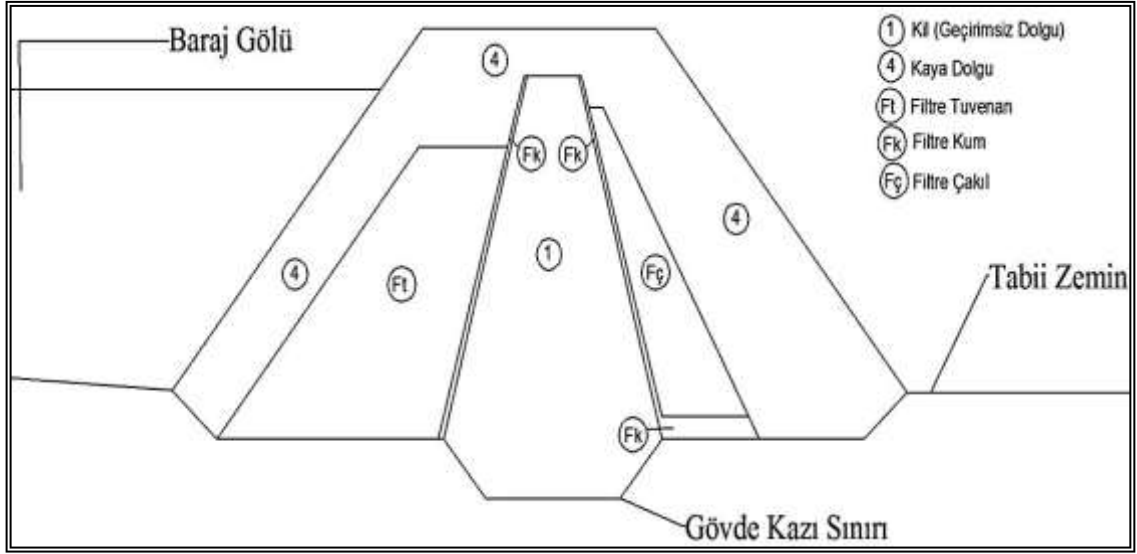
Helvacı'ya [24] göre, Şekil 1.5, Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de en kesitleri görünen ve zonlu gövde türleri başlığı altında irdelenen gövdelerde genel olarak kil gibi geçirimsiz doğal yapı malzemesi ile gövde çekirdeği, geçirimli doğal yapı malzemesi olan kaya, kum-çakıl vb. malzemeye de gövde memba ve mansap dolguları yapılmaktadır.



Şekil 1.5. Kum-çakıl dolgu gövde en kesit görünüşü



Şekil 1.6. Kaya dolgu gövde en kesit görünüşü

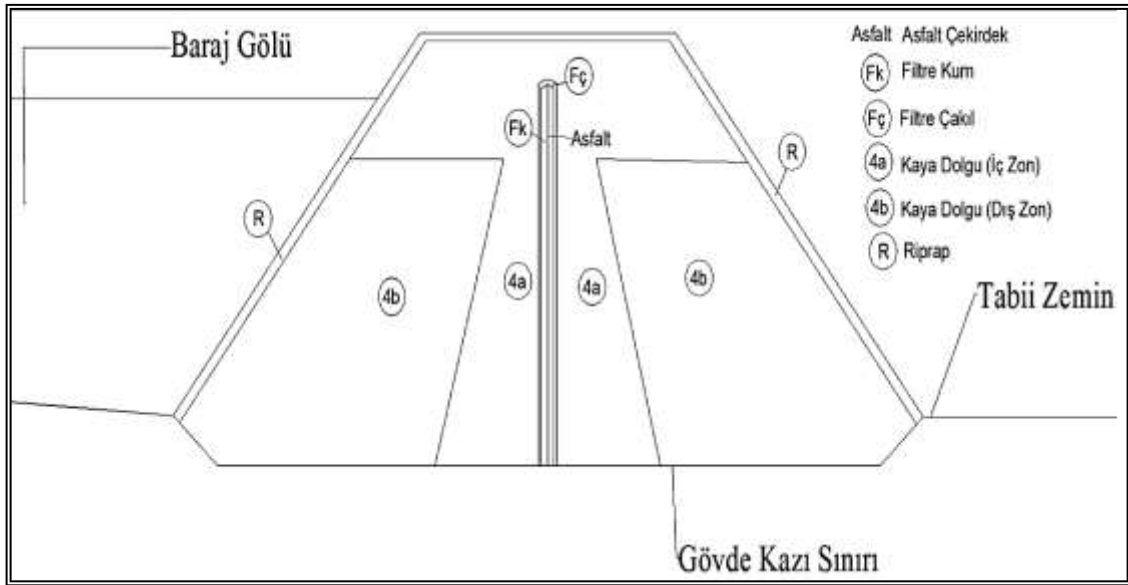


Şekil 1.7. Karışık zonlu dolgu gövde en kesit görünüşü

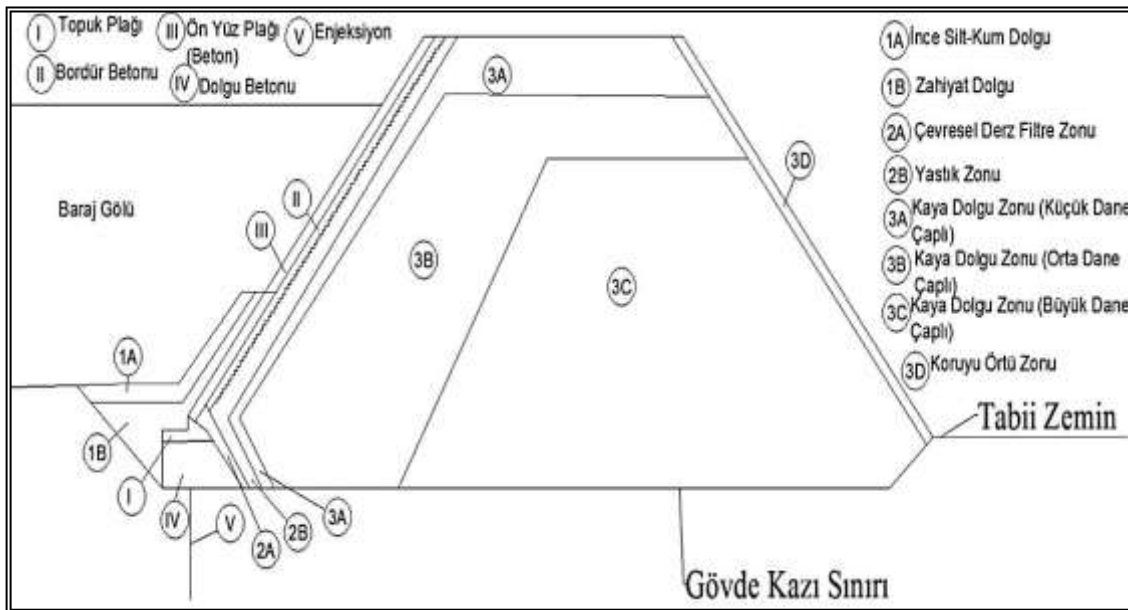
Şekil 1.8’de en kesiti yer alan asfalt çekirdekli zonlu dolgu tipi gövdelerde, geçirimsizlik gövde merkezine serilen asfalt malzemesi ile sağlanır. Gövdeye ait kabuk dolgu ise yine ince taneli malzemenin iri taneli malzemeye geçilerek yapılır. Ağırlioğlu’na [25] göre asfalt çekirdekli zonlu dolgu tipi gövdelerde, çekirdek olarak, ve 0.6–1.0 m kalınlığında gövdenin merkezine asfalt malzemenin serilmesi ile inşa edilen gövde türleri olduğunu ve çok tercih edilmeyen bir gövde türü olduğunu belirtmiştir. Creegan ve Monismith [26] de, bu gövde türünün ilk defa 1948 yılında kullanıldığını, gövde kabuk dolgusunun genellikle kaya olduğunu ve çekirdeğin ise genellikle gövde merkezinde düşey olarak inşa edildiğini belirtmiştir. Ayrıca bu gövde türünün bir hasar durumunda kendi kendini iyileştirme özelliğinin ve gövde inşa aşamasındayken bile su tutma işleminin yapılabileceği gibi avantajlarının olduğunu, bunun yanında da gövde inşasının tamamlanmasının ardından tamirat ve gözlem yapamama gibi dezavantajlarının olduğunu belirtmiştir.

Şekil 1.9, Şekil 1.10 ve Şekil 1.11’de en kesitleri görünen memba şevi geçirimsiz malzeme ile kaplı zonlu dolgu tipi gövdelerde önce dolgu imalatı yapılır, ardından geçirimsizliği sağlayacak tabaka memba şevi üzerine inşa edilir. Bu gövde tiplerinde genellikle dolgu imalatı kaya veya kum-çakıl malzemesi ile yapılır. Ancak ülkemizde, kullanılan dolgu malzemesinin karakteristik özelliklerinin düşük olması nedeniyle homojen dolgu tipi gövdelerinde geomembran malzeme ile kaplandığı baraj veya göletlere rastlanılmıştır. Memba şevinin geçirimsiz malzeme ile kaplanan gövde tiplerinin memba şevi topuğunda, beton malzemesi kullanılacak ise genellikle bir topuk

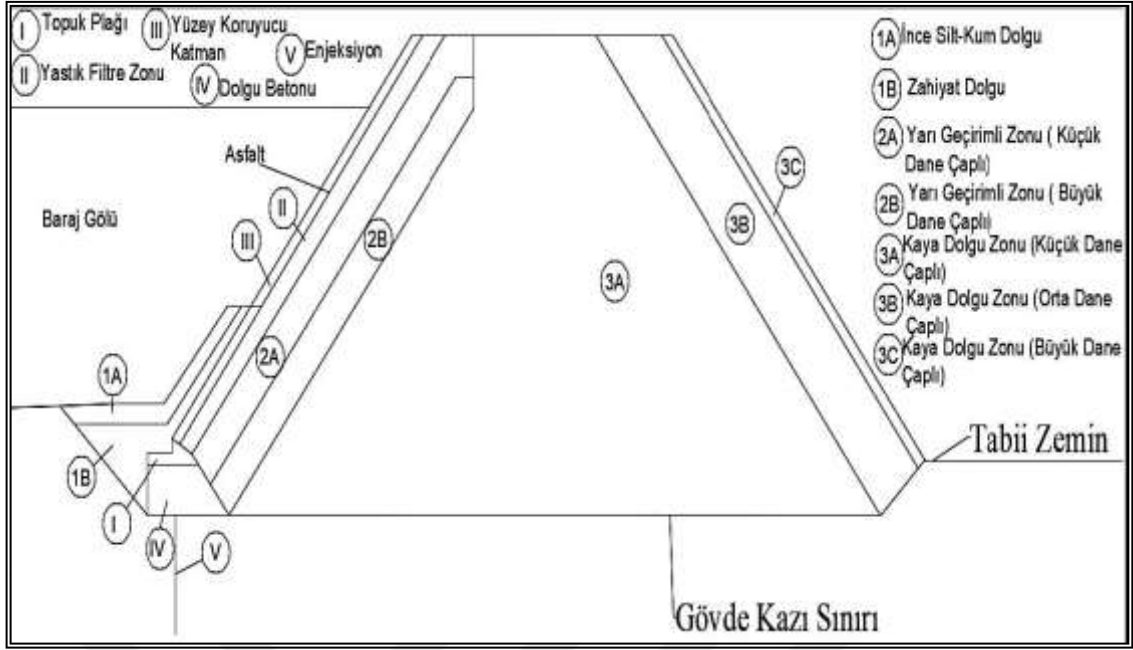
plağı teşkil edilir. Gövde altı zemine uygulanan enjeksiyonlar ise memba şevi topuğunun altına uygulanmaktadır. Orhon [20], beton, asfalt ve geomembran malzemelerinin, kaya dolgu veya kum-çakıl dolgu gövde üzerine inşa edilerek geçirimsizliğin sağlandığını belirtmiştir. Bu tür gövdelerde ise dolgu malzemesinin mambadan mansaba doğru, ince taneli malzemeden iri taneli malzemeye doğru kullanılarak inşa edildiğini belirtmiştir.



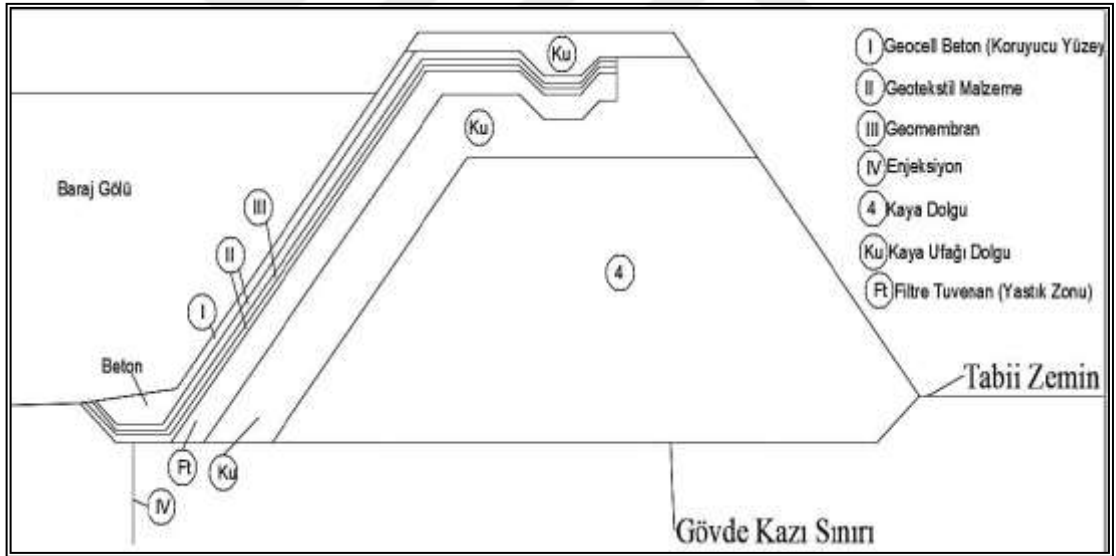
Şekil 1.8. Asfalt çekirdekli zonlu dolgu gövde en kesit görünüşü



Şekil 1.9. Ön yüzü beton kaplı gövde en kesit görünüşü



Şekil 1.10. Ön yüzü beton asfalt kaplı gövde en kesit görünüşü



Şekil 1.11. Ön yüzü beton geomembran kaplı gövde en kesit görünüşü

1.4. Baraj Gövdesinde Yer Alan Ölçüm Aletleri

Baraj gövdeleri projelendirilirken güvenlik amacı ile analizler yapılmaktadır. Ancak bu analizler inşa esnasında, su tutma anında, ani boşalma anında ve işletme halinde baraj gövdesinin davranışları hakkında ön fikir vermektedir.

Baraj gövdelerinde inşa esnasında, su tutma anında, ani boşalma anında ve işletme halinde ki davranışlarını gövde imalatlarında kullanılan malzemelerin karakteristik

özellikleri belirlemektedir. Ancak bu safhalardaki gövdeye ait davranışların tespiti de, gövdeye yerleştirilen ölçüm aletleri ile yapılabilmektedir.

Ertan [27] çalışmasında, baraj gövdesinde kullanılacak malzemeler için laboratuvar ortamında tespit edilen özellikler ile inşa esnasındaki özelliklerinin aynı olmadığını belirtmiştir. Bu nedenle inşası tamamlanmış baraj gövdesinin davranışlarını en iyi baraj ölçüm aletlerinden alınan verilerle takip edilebileceğine değinmiştir.

Çetin ve Bilge [10] çalışmasında, ölçüm aletlerinin, inşaat öncesi arazi koşullarının tanımlanmasında, proje safhasında yapılan analizlerin doğrulanmasında, su tutma ve işletme safhalarında gövde davranışının değerlendirilmesinde ve gelecekte yapılacak yapılara emsal teşkil ederek tecrübeler edinilmesine değinmiştir.

Bu çalışmada seçilen baraj gövdesi dolgu tipi gövdelerden kil çekirdekli kum-çakıl dolgu türü gövde olduğundan sadece bu gövde tipinde kullanılan ölçüm aletleri detaylı olarak irdelenmiştir.

Ertan [27] çalışmasında, dolgu tipi gövdeler için kullanılan ölçüm aletlerini, hidrolik piyezometreler, çapraz kollu çökme ölçerler, gözlem kuyuları ve harici çökme röperleri başlıkları altında irdelenmiştir.

DSİ Genel Müdürlüğü [28] şartnamesinde, dolgu tipi gövdelerden olan, kil çekirdekli toprak dolgu, kil çekirdekli kaya dolgu ve homojen toprak türü gövdeler için ölçüm aletlerini, piyozometreler, toplam basınçölçer, magnetic extensometer ve su basınçölçer başlıkları altında tanımlamıştır.

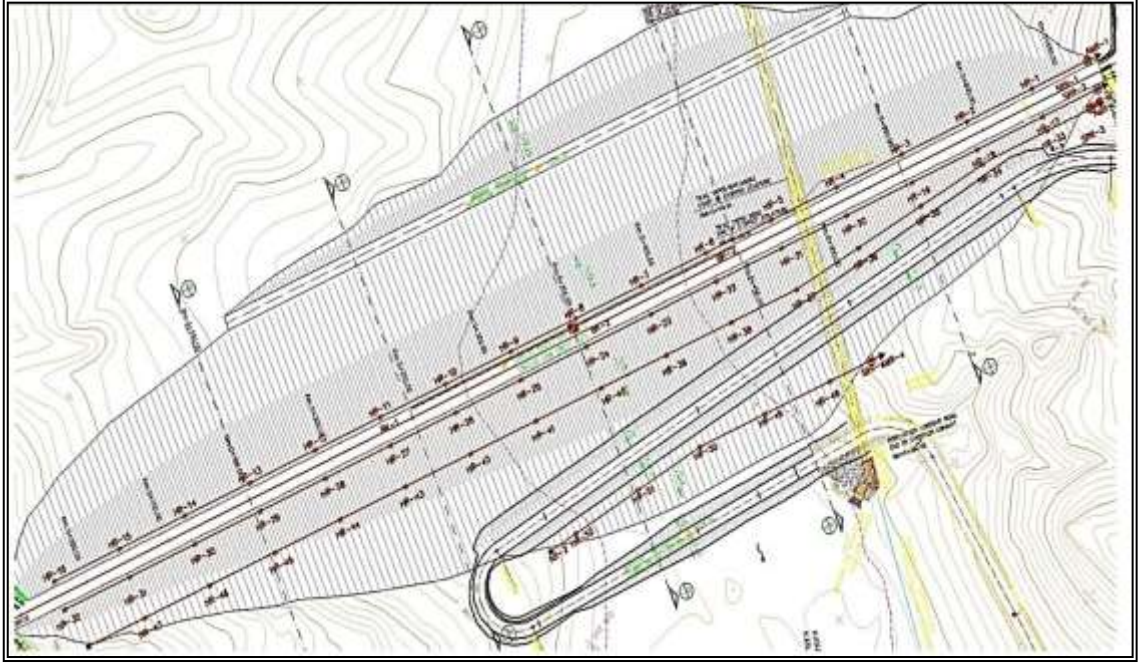
Çetin ve Bilge [10] çalışmasında, dolgu gövde türünde, piyezometreler, yüzey hareket nirengileri, oturma ölçer, inklinometre, içsel hareket nirengileri, sızıntı ölçerler, uzama ölçer, dönme ölçer, sıcaklık algılayıcılar, yük hücresi ve su seviye ölçer kullanıldığına değinmiştir.

Oral [29] ise çalışmasında, kil çekirdekli kum-çakıl dolgu türündeki gövdeye sahip Pamukçay Barajında, harici çökme röperleri, alet merkezleme röperleri, sigorta referans röperleri, titreşen telli piyezometre, bağlantı kutusu, manyetik ekstansometre, rasat kuyusu ve taşınabilir okuma cihazının kullanıldığını belirtmiştir.

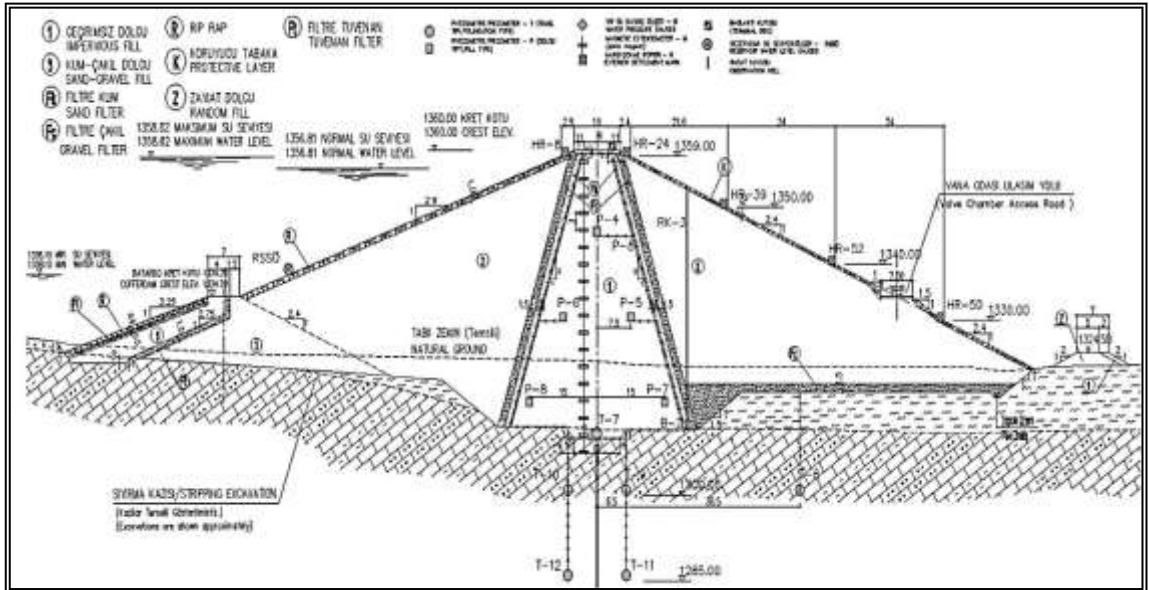
Bu çalışmada irdelenecek olan Kanak Baraj gövdesine ait ölçüm aletleri 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden alınan proje paftaları ve yapılan okumaları gösterir raporlardan yola çıkılarak saptanmıştır.

Şekil 1.12.'de görünen Kanak Baraj gövdesine ait genel vaziyet planında alet merkezleştirme röperleri (AMR), sabit referans röperleri (SRR), harici çökme röperleri

(HR), bağlantı kutusu (BK), nirengi röperlerinin (NR) lokasyonları görülmektedir. Şekil 1.13'te ise Kanak Baraj gövdesinin 0+350,00 km sindeki en kesitte temel tipi piyezometre (T), dolgu tipi piyezometre (P), su basınç ölçer (B), manyetik ekstansometre (M), harici çökme röperi (HR), bağlantı kutusu (BK), rezervuar su seviye ölçer (RSSÖ), rasat kuyusuna (RK) ait lokasyonlar görülmektedir.



Şekil 1.12. Kanak baraj gövdesi vaziyet planı



Şekil 1.13. Kanak baraj gövdesi 0+350,00 km sindeki en kesiti

Şekil 1.12, Şekil 1.13 (Ek-1) ve baraj gövdesine yerleştirilen aletlerde yapılan okumaları içerir raporlar incelendiğinde;

- Temel tipi piyezometre (T) ve dolgu tipi piyezometre (P)
- Su basınç ölçer (B)
- Manyetik ekstansometre (M)
- Harici çökme röperi (HR)
- Bağlantı kutusu (BK)
- Rezervuar su seviye ölçer (RSSÖ)
- Rasat kuyusu (RK)
- Alet merkezleştirme röperleri (AMR)
- Sabit referans röperi (SRR)
- Nirengi röperi (NR)

Kanak Baraj gövdesinde kullanılan ölçüm aletleridir.

1.4.1. Temel Tipi Piyezometre (T) ve Dolgu Tipi Piyezometre (P)

DSİ Genel Müdürlüğü [28] temel tipi ve dolgu tipi piyezometrelerin, temeldeki sızma, yer altı su seviyesinin tespiti, yapılan enjeksiyonun etkinliğini tespit etmek amacı ile barajın çekirdek hendeği olan katofa, katofa açılan hendeklere ve gövde çekirdeğine yerleştirilen cihazlar olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu cihazların %5 doğruluk ve %1 hassasiyet ile ölçüm alma kapasitesine sahip olduğunu belirtmiştir.

02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.14'te temel tipi piyezometre ve Şekil 1.15'te dolgu tipi piyezometre araziye yerleştirilirken fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.14. Temel tipi piyezometre



Şekil 1.15. Dolgu tipi piyezometre

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan temel tipi piyezometrelerin, dolgu tipi piyezometrelerin sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.2 ve Tablo 1.3'te gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Kanak baraj gövdesinde bulunan dolgu tipi piyezometrelere ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
P-1	0+250.00	0.00	1345
P-2	0+250.00	10.00	1330
P-3	0+250.00	-10.00	1330
P-4	0+350.00	0.00	1345
P-5	0+350.00	7.50	1330
P-6	0+350.00	-7.50	1330
P-7	0+350.00	15.00	1315
P-8	0+350.00	-15.00	1315
P-9	0+450.00	0.00	1345
P-10	0+450.00	10,00	1330
P-11	0+450.00	-10.00	1330

Tablo 1.3. Kanak baraj gövdesinde bulunan temel tipi piyezometrelere ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
T-1	0+250.00	0.00	1321.50
T-2	0+250.00	45.00	1315
T-3	0+250.00	6.50	1315
T-4	0+250.00	-6.50	1315
T-5	0+250.00	6.50	1300
T-6	0+250.00	-6.50	1300
T-7	0+350.00	0.00	1310
T-8	0+350.00	45.00	1300
T-9	0+350.00	6.50	1285.70
T-10	0+350.00	-6.50	1299.70
T-11	0+450.00	6.50	1300
T-12	0+450.00	-6.50	1285.70
T-13	0+450.00	0.00	1329
T-14	0+450.00	45.00	1319
T-15	0+450.00	6.50	1319
T-16	0+450.00	-6.50	1319
T-17	0+450.00	6.50	1304
T-18	0+450.00	-6.50	1304

1.4.2. Su Basınç Ölçer (B)

DSİ Genel Müdürlüğü [28] su basınç ölçerin, temel ve dolgu tipi piyezometrelerle aynı olduğunu, ancak filtre zonun tabanına yerleştirildiğini belirtmiştir. Temel ve dolgu tipinden farkının ise filtre zonuna yerleştirilmesi olduğunu belirtmiştir.

02.03.2018 tarih ve 15933 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.16'da su basınç ölçer araziye yerleştirilirken fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.16. Su basınç ölçer

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan su basınç ölçerlerin sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Kanak baraj gövdesinde bulunan su basınç ölçerlere ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
B-1	0+250.00	14.00	1328.60
B-2	0+350.00	17.00	1314.30
B-3	0+450.00	15.00	1328.60

1.4.3. Manyetik Ekstansometre (M)

DSİ Genel Müdürlüğü [28] manyetik ekstansometrenin, çökme ve kabarma gibi düşey deplasmanları ölçme amacıyla hem gövde inşası esnasında hem de bazı şartlar altında gövde inşasının tamamlanmasından sonrada gerek görülmesi halinde baraj gövdesinin çekirdek kısmına yerleştirilen ölçüm aleti olduğunu belirtmiştir.

02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.17'de manyetik ekstansometre araziye yerleştirilirken fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.17. Manyetik ekstansometre

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan manyetik ekstansometrelerin sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5. Kanak baraj gövdesinde bulunan manyetik ekstansometrelere ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
M-1.Plak	0+350.00	-6.50	1311.36
M-2.Plak	0+350.00	-6.50	1314.36
M-3.Plak	0+350.00	-6.50	1317.36
M-4.Plak	0+350.00	-6.50	1320.36
M-5.Plak	0+350.00	-6.50	1323.36
M-6.Plak	0+350.00	-6.50	1326.31
M-7.Plak	0+350.00	-6.50	1329.20
M-8.Plak	0+350.00	-6.50	1332.35
M-9.Plak	0+350.00	-6.50	1335.31
M-10.Plak	0+350.00	-6.50	1338.31
M-11.Plak	0+350.00	-6.50	1341.46
M-12.Plak	0+350.00	-6.50	1344.53
M-13.Plak	0+350.00	-6.50	1347.64
M-14.Plak	0+350.00	-6.50	1350.70
M-15.Plak	0+350.00	-6.50	1353.82

1.4.4. Harici Çökme Röperi (HR)

DSİ Genel Müdürlüğü [28] harici çökme röperlerini, dolgu imalatının yatay ve düşey deplasmanlarını ölçmek amacı ile gövde kretine veya mansap şevine yerleştirilen aletler olduğunu belirtmiştir. Sigorta referans röperlerine (SRR) ve alet merkezleştirme röperlerine (AMR) bağlı olarak dolgu imalatının dışında sağlam zemine yapılması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca harici çökme röperleri dolgu imalatı biter bitmez yapılması ve ilk okumaların alınması gerektiğini belirtmiştir. 02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.18'de harici çökme röperinin araziye yerleştirilmiş durumu fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.18. Harici çökme röperi

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan harici çökme röperlerinin sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.6'da gösterilmiştir.

Tablo 1.6. Kanak baraj gövdesinde bulunan harici çökme röperlerine ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
HR-01	0+633.20	-7.40	1359.00
HR-02	0+593.20	-7.40	1359.00
HR-03	0+553.20	-7.40	1359.00
HR-04	0+513.20	-7.40	1359.00
HR-05	0+473.20	-7.40	1359.00
HR-06	0+433.20	-7.40	1359.00
HR-07	0+393.20	-7.40	1359.00
HR-08	0+353.20	-7.40	1359.00
HR-09	0+313.20	-7.40	1359.00
HR-10	0+273.20	-7.40	1359.00
HR-11	0+233.20	-7.40	1359.00
HR-12	0+193.20	-7.40	1359.00
HR-13	0+153.20	-7.40	1359.00
HR-14	0+113.20	-7.40	1359.00
HR-15	0+073.20	-7.40	1359.00
HR-16	0+033.20	-7.40	1359.00
HR-17	0+633.20	7.40	1359.00
HR-18	0+593.20	7.40	1359.00
HR-19	0+553.20	7.40	1359.00
HR-20	0+513.20	7.40	1359.00
HR-21	0+473.20	7.40	1359.00
HR-22	0+433.20	7.40	1359.00
HR-23	0+393.20	7.40	1359.00
HR-24	0+353.20	7.40	1359.00
HR-25	0+313.20	7.40	1359.00
HR-26	0+273.20	7.40	1359.00
HR-27	0+233.20	7.40	1359.00
HR-28	0+193.20	7.40	1359.00
HR-29	0+153.20	7.40	1359.00
HR-30	0+113.20	7.40	1359.00
HR-31	0+073.20	7.40	1359.00
HR-32	0+033.20	7.40	1359.00
HR-33	0+633.20	14.65	1355.98
HR-34	0+593.20	15.10	1355.79
HR-35	0+553.20	19.63	1353.90
HR-36	0+513.20	24.40	1351.92
HR-37	0+473.20	29.00	1350.00
HR-38	0+433.20	29.00	1350.00
HR-39	0+393.20	29.00	1350.00
HR-40	0+353.20	29.00	1350.00
HR-41	0+313.20	29.00	1350.00
HR-42	0+273.20	29.00	1350.00
HR-43	0+233.20	29.00	1350.00

Tablo 1.6.'nın devamı

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
HR-44	0+193.20	29.00	1350.00
HR-45	0+153.20	29.00	1350.00
HR-46	0+113.20	29.00	1350.00
HR-47	0+073.20	29.00	1350.00
HR-48	0+473.20	77.00	1340.00
HR-49	0+433.20	77.00	1340.00
HR-50	0+393.20	77.00	1340.00
HR-51	0+353.20	77.00	1337.71
HR-52	0+313.20	77.00	1337.29

1.4.5. Bağlantı Kutusu (BK)

Ertan [27] çalışmasında ölçüm odasının (bağlantı kutusu) içerisinde bulunan su deposu, hava kapanı, su filtresi pompa, manifold sistem, manometreler ve piyezometre uçlarının üçlü vanalara bağlandığı kutudan oluştuğunu ve bunlar sayesinde okumaların alındığına değinmiştir. Ancak günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte tüm sistemlerin elektronik veya dijital olması ölçüm oldasında okuma yapmak için gerekli olan bunca aletin yerine sadece dijital aletlerin bulunduğu ve piyezometre uçlarının bağlı olduğu bu kutulardan okumaların yapıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 1.19. Bağlantı kutusu (Ölçüm odası)

02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.19'da ölçüm odasının (bağlantı kutusu) güncel durumu fotoğraflanmıştır.

1.4.6. Rezervuar Su Seviye Ölçer (RSSÖ)

Baraj gölünde biriktirilen suyun seviyesini ölçmeye yarayan ve yapılan diğer oturma deplasman ve sızma ölçümlerinin de hangi su kotunda yardımcı olduğunu gösterir aletlerdir. Bu aletler baraj gövdesinin memba şevine yerleştirilir. 02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.20'de rezervuar su seviye ölçerin araziye yerleştirilmiş durumu fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.20. Rezervuar su seviye ölçer

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan rezervuar su seviye ölçerlerin sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.7'de gösterilmiştir.

Tablo 1.7. Kanak baraj gövdesinde bulunan rezervuar su seviye ölçerlere ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Kot (m)
RSSÖ	0+350.00	-66.46	1338.10

1.4.7. Rasat Kuyusu (RK)

Baraj gövdesinin mansap şevinde ve filtre zonlarında kapsayacak şekilde belli kesitlerine açılan bu kuyularda yapılan ölçümler ile freatik hattın (baraj gövdesinden sızan suyun izlediği yol) hangi seviyeden geçtiğini öğrenmeye yardımcı olmaktadır.

02.03.2018 tarih ve 159233 sayılı yazı ile DSİ Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü'nden alınan Şekil 1.21'de rasat kuyusunun arazi durumu fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.21. Rasat kuyusu

Ertan [28] çalışmasında gözlem kuyularının (rasat kuyusu), baraj gövdesi temelindeki su seviyesinin veya toprak dolgu baraj gövdesinin istenilen noktasında boşluk suyu basıncını ölçmeye yaradığını belirtmiştir.

Bu çalışmada incelenecek olan Kanak Baraj gövdesinde kullanılan rasat kuyularının sayısı ve lokasyonları DSİ Sivas 19. Bölge Müdürlüğü'nden 20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile alınan proje ve ölçüm okuma raporları doğrultusunda Tablo 1.8'de gösterilmiştir.

Tablo 1.8. Kanak baraj gövdesinde bulunan rasat kuyularına ait lokasyonlar

Sıra No	Kesit (km)	Gövde Aksına Uzaklık (m)	Uzunluk (m)
RK-1	0+150.00	11.00	22.15
RK-2	0+250.00	14.00	26.60
RK-3	0+350.00	16.50	33.10
RK-4	0+450.00	16.00	31.40
RK-5	0+550.00	11.00	21.34

1.4.8. Alet Merkezleştirme Röperi (AMR), Sabit Referans Röperi (SRR) ve Nirengi Röperi (NR)

Ertan [28] çalışmasında, baraj gövdesinde yapılan dolgu imalatının dışına sağlam zeminde kurulacak olan referans röperleri sağ ve sol sahile karşılıklı olarak ve topografya aletlerinin sağlıklı bir biçimde kullanılmasına ve harici röperleri görecektir şekilde yerleştirilmesi gerektiğine değinmiştir. Ayrıca sağ veya sol sahilden herhangi birine referans röperinin yerleştirilmesinin mümkün olmaması durumunda iki referans röperinin de aynı sahile yerleştirilebileceğini belirtmiştir.

Buradan, AMR, SRR ve NR'nin diğer ölçüm (harici çökme röperleri gibi topografik (ölçüm aletleri) aletlerinin montaj ve kullanımına referans teşkil ettiği anlaşılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Sivas ili Şarkışla ilçesinde bulunan Kanak Barajı'na ait kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipindeki gövde Plaxis v8.2 programında dinamik ve statik yükler altında stabilite ve sızma (oturma, gerilme, sızma hattı, sızma miktarı vb.) analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere ait sonuçlar baraj gövdesine Devlet Su İşleri tarafından yerleştirilen ölçüm aletlerinden alınan okuma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2.1. Kanak Barajı'nın Yeri ve Yapım Amacı

Kanak Barajı, Sivas ili Şarkışla ilçesi sınırları dahilinde bulunan Kızılırmak Havzası üzerinde yer alan Kanaközü deresi üzerinde bulunmaktadır [30]. Ayrıca barajın Sivas ili Şarkışla ilçesinin 12 km güneyinde Elmağacı mevki ile Ağıltepe arasında yer aldığı U-01/P3 arşiv nolu proje paftasında belirtilmiştir.

Devlet Su İşleri'ne ait Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) incelendiğinde UTM 6⁰ sisteme göre 37 N/X: 283977,99 Y: 4350413,10 konumunda yer almaktadır [31].

Google Earth Pro uygulamasından Kanak Baraj gövdesine ait aks yerinin koordinatları alındığında ise 04.04.2016 tarihinde uydudan alınan görüntüye göre 39⁰ 16' 28.08" K 39⁰ 29' 48.21" D koordinatlarında bulunduğu tespit edilmiştir [32].

Kanak Barajının 2313 ha tarım arazisi sulamayı, Şarkışla ilçesi, Gürçayır beldesi ve Cemel beldesinin içme suyu sorunlarının çözüleceğine değinilmiştir [33].

Devlet Su İşleri tarafından onaylanan kati proje paftalarından, U-01/P3 arşiv nolu proje paftasında 2270 ha sulama alanına sahip olduğu, içme suyu ve sulama suyu temini amacı ile inşa edileceği anlaşılmaktadır.

2.2. Kanak Barajı'nın İnşaa Tarihçesi

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan 27.03.2013 tarihli yazıda, Kanak Barajı Yapım İşine 2010 yılında başlanılmış olup, gövde dolgu imalatlarının Mayıs 2012 yılında başladığı ve 27.03.2013 tarihinde gövde dolgu imalatlarının tamamlandığı anlaşılmıştır [33].

Şekil 2.1'de 25.07.2006 tarihinde alınan görüntü incelendiğinde baraj gövdesinin bulunduğu aks yerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir [32].



Şekil 2.1. 25.07.2006 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü [32]

Şekil 2.2'de 12.08.2012 tarihinde alınan görüntü incelendiğinde baraj gövdesinin bulunduğu aks yerinde gövde imalatlarının başladığı ve kısmen imalatların yapıldığı gözlemlenmektedir [32].



Şekil 2.2. 12.08.2012 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü [32]

Şekil 2.3'te 28.10.2013 tarihinde alınan görüntü incelendiğinde baraj gövdesinin bulunduğu aks yerinde gövde imalatlarının tamamlandığı gözlemlenmektedir [32].



Şekil 2.3. 28.10.2013 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü [32]

Şekil 2.4'te 04.04.2016 tarihinde alınan görüntü incelendiğinde baraj gövdesinin bulunduğu aks yerinde gövde imalatlarının ve baraja ait tüm kısımların tamamlandığı gözlemlenmektedir [32].



Şekil 2.4. 04.04.2016 tarihinde Google Earth Pro'dan alınmış baraj aks yeri görüntüsü [32]

19 Temmuz 2013 tarihinde barajın su tutmaya başladığı ve açılışının yapılmasına hazır olduğu belirtilmiştir [34].

Kanak Barajı'na ait gövde ve diğer tesisleri gösterir Devlet Su İşleri tarafından çekilmiş fotoğraf Şekil 2.5'te görülmektedir [35].



Şekil 2.5. Kanak Barajı'na ait görüntü [35]

2.3. Kanak Barajı'nın Bulunduğu Bölgenin ve Ocak Sahalarının Jeolojik Özellikleri

Arslan ve Karacan [36] çalışmalarında, Kanak Barajı'nın bulunduğu bölge ve baraj gövde aksının bulunduğu konumlarda değerlendirme yapmışlardır. Çalışmalarında ayrıca baraj tasarımlarında jeolojik faktörlerin göz ardı edilmesinin veya önemsenmemesinin telafisi olmayan sonuçlara neden olacağını belirtmişlerdir. Baraj gövdesine ait aks yerinin ve göl alanını Konakyazı formasyonunun Topraktaşdere üyesi ve Karataştepe Volkanit üyesinin oluşturduğunu belirtmişlerdir. Toraktaşdere formasyonunu kireçtaşı, tuf, aglomera ve paleojik şeyl ardalması ile Karataştepe Volkanit üyesini ise bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Karacan ve Arslan [37] çalışmalarını, Kanak Baraj gövdesinde geçirimsizliğin sağlanması amacıyla kullanılacak olan kil malzemesi üzerine yapmışlardır. Malzeme (ocak) sahalarında aldıkları numuneler üzerinde Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi ve MİPJAL laboratuvarı ve DSİ 19. Bölge Müdürlüğü laboratuvarında X ışını çözümleri, özgül ağırlık, tane boyutu dağılımı, hidrometre çözümleri, kıvam limitleri, kompaksiyon, kesme kutusu ve konsolidasyon deneyleri yapmışlardır.

Devlet Su İşleri tarafından onaylanan planlama raporu ve kati projelerde belirtilen A ve D malzeme sahaları Karacan ve Arslan'ın [37] yapmış olduğu çalışmada da aynı isimlerle anıldığı görülmüştür. Bu malzeme sahalarından alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarında;

- Genel olarak kil, kalsit, feldspet ve kuvars minerallerinden oluştuğunu ve egemen mineralin kil olduğunu belirtmişlerdir.
- Ortalama özgül ağırlığın 2.70'in üzerinde (2.71-2.72) olduğunu belirtmişlerdir.
- A malzeme sahasının %22 çakıl, %5 kum, %19 silt ve %54 kil malzemedan oluştuğu, D malzeme sahasının ise %4 çakıl, %17 kum, %12 silt ve %67 kilden oluştuğunu belirtmişlerdir.
- A malzeme sahasındaki toprağın %69'u düşük plastisiteli kil (CL), %31'i yüksek plastisiteli kil (CH), D malzeme sahasındaki toprağın %60'ı CH, %40'ı CL olduğunu belirtmişlerdir.
- A ve D malzeme alanındaki toprağın maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}), optimum su içeriği (w_{opt}) sırasıyla 16.35 kN/m³, %20 ve 14.92 35 kN/m³, %25.83 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca A alanındaki malzemeye ait değerlerin D malzeme alanındaki malzeme değerlerinden daha büyük olduğunu vurgulamışlardır.
- A malzeme alanındaki toprağın doğal haldeki kohezyon (C_u) 61.78 kN/m², içsel sürtünme açısı (ϕ) 14⁰ olduğuna sıkıştırılmış halde ise kohezyonun 73.55 kN/m² olduğuna değinmiştir.
- A malzeme alanındaki toprağın konsolidasyon basıncı (P_c) 473.68 kN/m² olduğuna değinilmiştir.
- A malzeme alanındaki toprağın konsolide olmuş özellikte olduğunu belirtmişlerdir.
- A malzeme alanındaki toprağın sıkışma indeksi (C_c) 0.322 orta derece sıkışabilir malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

➤ A malzeme alanından alınan doğal haldeki numunenin 5.8×10^{-8} cm/sn geçirimsizlik katsayısına sahip olduğunu ve bu değerin düşük olduğunu belirterek sıkıştırılmış numune için bu değerin daha da düşeceğini belirtmişlerdir.

Ayrıca dolgu imalatında kullanılacak malzemeye ait parametrelerin sınır değerlerini vererek A malzeme sahasında bulunan toprağın bu sınır şartlarını sağladığını D malzeme sahasındaki toprağın ise bu şartları sağlamadığını belirtmişlerdir.

Devlet Su İşleri tarafından onaylanan planlama raporu ve kati proje raporlarında ise;

- Baraj gövdesinin inşa edileceği alanda bulunan sondaj kuyularının yeri, kotu ve derinlikleri Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1. Baraj gövdesinin bulunduğu bölgede açılan sondaj kuyuları

Kuyu No	Yeri	Kotu (m)	Derinliği (m)
SK-1	Sol Sahil	1380.82	75
SK-2	Sol Sahil	1346.66	60
SK-3	Sol Sahil	1334.94	50
SK-4	Talveg	1323.61	36
SK-5	Talveg	1324.42	44
SK-5a	Talveg	1322.41	70
SK-6	Sağ Sahil	1326.17	80
SK-7	Sağ Sahil	1346.49	60
SK-8(Ds)	Sağ Sahil	1382.54	75
SK-9(Ds)	Sağ Sahil	1325.88	30
SK-14(Tn)	Sol Sahil	1342.38	22
SK-15(Tn)	Sol Sahil	1341.50	22
SK-16(Tn)	Sol Sahil	1341.35	22

Tablo 2.1.’de belirtilen sondaj kuyularından alınan numuneler incelendiğinde, sol yamaçta ince bir yamaç molozunun, sağ yamaçta ise 3 ile 4 m aralığında alüvyon bulunduğu belirtilmiştir. Aks yerinde bulunan ana kayada yapılan kaya kalite belirlenmesi (RQD) sonucunda ise orta, iyi ve yer yer çok iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Ayrıca yapılan standart penetrasyon deneylerinde (SPT) baraj aks bölgesinin taşıma gücünün 1.70-3.20 kg/cm² aralığında değiştiği belirtilmiştir.

- Açılan sondaj kuyularına göre baraj aks yerinin genel geçirgenliği için, SK-1’de 0-14 m arası, SK-2’de 0-8 m ve 14-18 m arası, SK-3’de 0-10 m ve 28-38 m arası, SK-4’de 0-12 m ve 28-30 m arası, SK-5’te 0-12 m, 28-32 m ve 34-42 m arası, SK-5a’da 0-32 ve 58-64 m arası, SK-6’da 0-12 m, 26-36 m, 40-42 m ve 74-76 m arası, SK-6a’da 66-74 m, 78-82 m ve 102-104 m arası, SK-7’de 0-8 m ve 14-22 m arası, SK-8’de 0-6 m arası geçirimli – çok geçirimli olduğu belirtilerek önlem alınması gerektiğine değinilmiştir.

- A geçirimsiz malzeme sahası için planlama raporunda, 91 adet araştırma çukuru açıldığı ve 30 numunenin DSİ laboratuvarlarında deneye tabi tutulduğu belirtilmiştir. Deneye tabi tutulan malzemenin %67.84 oranında kil, %28.02 oranında kum ve %4.14 oranında çakıl tespit edildiği belirtilmiştir. A malzeme sahasında 1900000 m³ malzeme alınabileceği belirtilmiştir. 085-BM-02/P2 arşiv nolu kati proje paftasında ise A malzeme sahasında bulunana toprak için yapılan deneyler Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4 de görülmektedir.

Çalışma kapsamında modeli oluşturulacak baraj gövdesinin çekirdek zonu (kil malzeme) parametreleri Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4.’den alınarak Plaxis v8.2 programına tanımlanmıştır.

Tablo 2.2. 085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait deney sonuçları

Örnek No	Elek Analizi				Attebeg Limitleri (%)			Birleştirilmiş Zemin Sınıfı (USCS)	Su Oran (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Dayanım		Proktor		Permabilite (cm/sn X 10 ⁻⁷)
	#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)				C (kg/cm ²)	Φ (°)	Maks. Kuru Brim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Optimum su içeriği (%)	
A-201	89	80	49	29	37	21	16	Killi Kum (SC)	12	2.66			1.840	14.1	
A-202	97	95	91	85	38	20	18	CL	17	2.63			1.592	18.9	

Tablo 2.2'ün devamı

Örnek No	Elek Analizi				Attebeg Limitleri (%)			Birleştirilmiş Zemin Sınıfı (USCS)	Su Oranı (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Dayanım		Proktor		Permeabilite (cm/sn X 10 ⁻⁷)
	#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)				C (kg/cm ²)	Φ (°)	Maks. Kuru Brim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Optimum su içeriği (%)	
A-204	99	97	93	76	36	19	17	CL	21	2.65	0.70	9	1.595	22.0	3.56
A-206	98	93	78	63	47	24	23	CL	20	2.63			1.639	21.7	
A-208	97	94	81	65	46	24	22	CL	18	2.62	0.77	8	1.672	19.5	2.8
A-209	100	99	91	76	41	22	19	CL	20	2.63			1.589	22.2	
A-210	95	86	57	35	38	22	16	SC	17	2.60	0.51	14	1.798	16.7	8.3
A-212	97	95	89	76	48	23	25	CL	23	2.62			1,520	25.0	
A-215	97	91	71	51	47	24	23	CL	19	2.65	1.11	15	1.680	19.20	1.37
A-217	98	93	76	58	43	22	21	CL	18	2.64			1.660	20.80	
A-218	99	97	84	69	40	19	21	CL	24	2.62	0.40	9	1.514	24.1	3.95
A-220	93	85	60	41	45	23	22	SC	16	2.71			1.753	18.1	

Tablo 2.3. 085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait dispersibilite deney sonuçları

Numune No	İğine Deliği Deney Sonucu	Dağılma Deney Sonucu
A-204	Dispersif değil	Dispersif değil
A-208	Dispersif değil	Dispersif değil
A-210	Dispersif değil	Dispersif değil
A-215	Dispersif değil	Dispersif değil
A-218	Dispersif değil	Dispersif değil

Tablo 2.4. 085-BM-02/P2 paftasında A malzeme sahasından alınan kil numuneye ait konsolidasyon deney sonuçları

Numune No	Doğal Boşluk Oranı (e_n)	Sonraki Boşluk Oranı (e_f)
A-204	0.60	0.43
A-208	0.52	0.34
A-210	0.47	0.38
A-215	0.52	0.45
A-218	0.64	0.59

• D malzeme sahası için 300000 m³ malzeme alınabileceği planlama raporunda belirtilmiştir. Ancak D malzeme sahasına ait kati proje paftası bulunamamıştır. Bunun nedenin ise A malzeme sahasının baraj gövdesinde kullanılacak geçirimsiz malzemenin tümünü karşılayabilecek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

• E yarı geçirimli malzeme alanı planlama raporunda %2.53 kil-silt, %21.64 kum, %75.83 çakıl olduğu ve E malzeme sahasında 2150000 m³ malzeme olduğu belirtilmiştir. 085-BM-03/P2 arşiv nolu kati proje paftasında E malzeme sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları Tablo 2.5'te görülmektedir.

• Kaya-1 malzeme sahasının planlama raporunda baraj gövde imalatlarında kullanılmasının uygun olduğu ve 200000 m³ malzeme bulunduğu belirtilmiştir. 085-BM-01 arşiv nolu kati proje paftasında Kaya-1 malzeme sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları Tablo 2.6'da görülmektedir.

085-Bİ-11 arşiv nolu Malzeme Dağılım Şeması konulu kati proje paftası incelendiğinde diğer A, E ve Kaya-1 malzeme sahaları dışında diğer malzeme sahalarından malzeme alınmasına gerek olmadığı görülmüştür. Bu nedenle planlama raporunda belirtilen diğer malzeme sahaları irdelenmemiştir.

Bu çalışma kapsamında da gövde imatları için malzeme sahalarında tespit edilen değerler kullanılmaya özen gösterilmiştir. Ancak malzeme parametrelerin bulunamaması halinde RocLab 1.0 programı ve bazı kaynaklardan faydalanılarak malzeme parametreleri tespit edilmiştir.

Tablo 2.5. 085-BM-03/P2 paftasında E malzeme sahasından alınan yarı geçirimli numune deney sonuçları

Özgül Ağırlık (gr/cm ³)						Birleştirilmiş Zemin Sınıfı (USCS)	Elek Analizi (%)							Kuyu No			
İri Agregata			İnce Agregata				Kum	Çakıl	Cr	Cu	#200	#40	#10		#4		
Su Emme	Görülen	DKY	Kuru	Su Emme	Görülen											DKY	Kuru
1.40	2.81	2.74	2.70	1.60	2.77	2.70	2.66	GP	37	59	0.5	43	4	11	31	41	E-601
2.26	2.72	2.62	2.56	1.60	2.75	2.67	2.63	GP	32	66	0.9	32	2	6	23	34	E-603
1.68	2.71	2.63	2.59	1.70	2.76	2.69	2.64	GM-GW	32	61	2.8	70	7	13	25	39	E-606
1.92	2.74	2.65	2.60	1.40	2.60	2.55	2.51	GM-GW	34	61	1.3	61	5	12	27	39	E-608
1.72	2.69	2.62	2.57	0.90	2.68	2.64	2.62	GW	32	64	1.7	60	4	12	24	36	E-609
1.87	2.67	2.59	2.55	1.40	2.71	2.65	2.61	GM-GW	28	67	2.4	96	5	14	25	33	E-610
2.17	2.69	2.60	2.54	1.89	2.80	2.71	2.66	GP	33	63	0.4	58	4	10	29	37	E-611
1.93	2.69	2.61	2.56	1.20	2.73	2.67	2.64	GW	35	61	1.4	26	4	9	23	39	E-614
2.52	2.69	2.59	2.52	1.40	2.76	2.69	2.66	GW	42	54	1.1	33	4	13	33	46	E-616
1.46	2.81	2.74	2.74	2.42	2.89	2.77	2.70	GP	37	60	0.8	40	3	10	28	40	E-617
1.55	2.73	2.66	2.62	1.79	2.73	2.65	2.60	GP	34	62	0.9	47	4	12	31	38	E-619
1.86	2.71	2.62	2.58	1.40	2.73	2.67	2.63	GM-GW	31	64	1.6	71	5	12	24	36	E-621
1.34	2.70	2.64	2.61	1.60	2.56	2.50	2.46	GW	36	60	1.3	22	4	9	24	40	E-623
1.99	2.81	2.71	2.66	1.72	2.71	2.66	2.62	GW	38	58	1	58	4	13	31	42	E-624
1.93	2.75	2.66	2.61	1.50	2.76	2.69	2.65	GW	31	67	1	25	2	6	20	33	E-627
1.70	2.73	2.65	2.61	1.40	2.76	2.69	2.66	GP	33	64	0.9	28	3	8	23	36	E-629
1.82	2.74	2.66	2.61	0.60	2.78	2.75	2.73	GP	35	63	0.6	38	2	7	27	37	E-632
1.96	2.73	2.65	2.59	1.60	2.77	2.70	2.66	GW	34	62	1	50	4	11	26	38	E-634
1.65	2.75	2.68	2.63	1.79	2.69	2.61	2.56	GM-GP	44	51	0.7	45	5	16	38	49	E-636
1.79	2.74	2.65	2.61	1.79	2.62	2.54	2.50	GM-GW	33	60	1.4	89	7	16	30	40	E-638
2.23	2.66	2.56	2.51	1.79	2.69	2.61	2.56	GM-GW	37	56	1.5	37	7	12	29	44	E-639
1.97	2.71	2.63	2.57	2.39	2.73	2.62	2.56	GM-GP	32	62	0.5	139	6	18	33	38	E-640
2.06	2.75	2.65	2.60	1.60	2.74	2.67	2.63	GW	31	66	1.7	61	3	11	24	34	E-641
2.26	2.71	2.61	2.55	2.59	2.74	2.63	2.56	GW	35	62	1.2	46	3	11	26	38	E-644

Tablo 2.5'in devamı

Sodyum Sülfat Don Kaybı (%)							Los Angeles (% kayıp)				Kuyu No
25-37,5	19-25	12,7-19	9,5-12,7	4,76-9,5	2-4,76	İri Malzeme		İnce Malzeme			
						500 Tur	100 Tur	500 Tur	100 Tur		
1.50	1.60	1.50	1.40	1.90	3.30	25.70	5.40	27.50	6.10	E-601	
0.50	0.80	0.70	1.10	0.60	1.50	25.90	5.50	27.50	4.70	E-603	
1.30	1.00	0.80	0.90	1.20	1.40	24.80	4.70	27.00	4.10	E-606	
1.30	0.80	1.30	1.10	1.40	13.00	26.80	5.60	27.50	5.90	E-608	
1.70	1.00	1.30	1.40	1.80	1.70	25.70	5.50	27.60	4.90	E-609	
1.00	1.00	1.00	1.90	1.10	0.90	25.90	5.10	26.60	4.90	E-610	
1.20	1.00	1.30	0.90	1.60	1.30	23.90	5.70	27.90	4.60	E-611	
1.30	1.00	1.50	1.40	1.60	1.30	25.50	4.50	27.40	4.50	E-614	
1.80	1.60	1.70	1.50	1.40	1.90	26.10	6.00	27.50	5.70	E-616	
1.20	1.60	1.50	2.00	1.80	1.30	24.90	4.90	24.90	4.30	E-617	
1.20	1.30	1.50	1.70	1.20	1.30	26.50	5.30	27.10	5.30	E-619	
										E-621	
										E-623	
										E-624	
										E-627	
										E-629	
										E-632	
										E-634	
										E-636	
										E-638	
										E-639	
										E-640	
										E-641	
										E-644	

Tablo 2.6. 085-BM-01 paftasında Kaya-1 malzeme sahasından alınan kaya numune deney sonuçları

Örnek No	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	DKY	Su Emme (%)	Los Angeles		Görünür Porozite (%)	Sodyum Sülfat Don Kaybı (%)				
				100 Devir (%)	500 Devir (%)		4,76-9,5	9,5-12,7	12,7-19	19-25	25-37,5
1	2.63	2.68	1.71	6.10	27.70	2.76	1.60	2.40	2.00	0.80	0.20
2	2.76	2.77	0.38	6.20	27.60	2.79	3.50	3.70	2.40	0.60	0.60

2.4. Kanak Baraj Gövde Gövde İmalatları ve Ölçüm Aletlerinden Alınan Okuma Değerleri

Devlet Su İşleri tarafından onaylanan planlama raporunda 671.85 m kret genişliğine 1/3 memba şevine, 1/2.5 mansap şevine sahip baraj gövdesinin temelden 49 m talvegten 39.09 m yüksekliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yine planlama raporunda dolgu imalatlarında 349427 m³ kil, 1246383 m³ yarı geçirimli, 79129 m³ riprap + koruyucu örtü zonuna ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

085-Bİ-11 arşiv nolu kati proje paftasında 368387 m³ kil, 55473 m³ riprap + koruyucu örtü, 1322002 m³ yarı geçirimli malzemeye ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada numerik model oluştururken baraj gövdesinin maksimum yükseklikteki en kesiti olan 0+350,00 km deki kesit alınmıştır.

Baraj gövdesine yerleştirilen ölçüm aletleri ve bulunduğu konumlar ise Bölüm 1.4'te detaylı şekilde incelenmiştir. Bu ölçüm aletlerinden sadece modeli oluşturulacak olan 0+350,00 km kesite ait olan okumalar incelenecektir.

20.01.2017 tarih ve 47884 sayılı yazı ile Devlet Su İşleri 19. Bölge Müdürlüğü'nden alınan ve 0+350,00 km li kesite yerleştirilen M-5, M-9, M-13 ve M-15 kodlu manyetik ekstansometrelere ait okumalar Tablo 2.7'de, P-4 ve P-8 arasında olan tüm dolgu tipi piyezometrelere ait okumalar Tablo 2.8'de, T-7 ve T-10 arasında olan tüm temel tipi piyezometrelere ait okumalar Tablo 2.9'da görülmektedir. Ölçüm aletlerindeki okumalar 2012, 2013, 2014 ve 2015 yıllarının hemen hemen her günü yapıldığından incelemeye esas alınan okuma değerleri yaklaşık 15 gün ara ile alınan okumalardır.

Tablo 2.7. Manyetik ektansometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Dolgu Kotu	Boru Üst Kotu	Okuma (m)	Plakanın Bulunduğu Kot	Oturma (m)
M-5 (Montaj Kotu 1323,36)	0+350	06.11.2013	1360.0	1360.6	32.99	1327.61	-4.25
		26.11.2013	1360.0	1360.6	32.99	1327.61	-4.25
		06.03.2014	1360.0	1360.6	32.89	1327.71	-4.35
		31.03.2014	1360.0	1360.6	32.89	1327.71	-4.35
		16.04.2014	1360.0	1360.6	32.89	1327.71	-4.35
		15.05.2014	1360.0	1360.6	32.89	1327.71	-4.35
		24.06.2014	1360.0	1360.6	32.90	1327.70	-4.34
		18.02.2015	1360.0	1360.6	32.81	1327.79	-4.43
		18.03.2015	1360.0	1360.6	32.81	1327.79	-4.43
		01.04.2015	1360.0	1360.6	32.81	1327.79	-4.43
		09.04.2015	1360.0	1360.6	32.79	1327.81	-4.45
		28.05.2015	1360.0	1360.6	32.77	1327.83	-4.47
		18.06.2015	1360.0	1360.6	32.76	1327.84	-4.48
		06.07.2015	1360.0	1360.6	32.75	1327.85	-4.49
		21.07.2015	1360.0	1360.6	32.59	1328.01	-4.65
		04.11.2015	1360.0	1360.6	32.59	1328.01	-4.65
		24.03.2016	1360.0	1360.6	32.56	1328.04	-4.68
		01.04.2016	1360.0	1360.6	32.55	1328.05	-4.69
		19.04.2016	1360.0	1360.6	32.54	1328.06	-4.70
		06.05.2016	1360.0	1360.6	32.53	1328.07	-4.71
		06.06.2016	1360.0	1360.6	32.53	1328.07	-4.71
		16.06.2016	1360.0	1360.6	32.51	1328.09	-4.73
01.07.2016	1360.0	1360.6	32.50	1328.10	-4.74		
02.08.2016	1360.0	1360.6	32.49	1328.11	-4.75		
10.10.2016	1360.0	1360.6	32.49	1328.11	-4.75		
M-9 (Montaj Kotu 1335,33)	0+350	06.11.2013	1360.0	1360.6	21.01	1339.59	-4.26
		26.11.2013	1360.0	1360.6	21.03	1339.57	-4.24
		06.03.2014	1360.0	1360.6	20.93	1339.67	-4.34
		31.03.2014	1360.0	1360.6	20.92	1339.68	-4.35
		16.04.2014	1360.0	1360.6	20.92	1339.68	-4.35
		15.05.2014	1360.0	1360.6	20.92	1339.68	-4.35
		24.06.2014	1360.0	1360.6	20.95	1339.65	-4.32
		18.02.2015	1360.0	1360.6	20.88	1339.72	-4.39

Tablo 2.7'nin devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Dolgu Kotu	Boru Üst Kotu	Okuma (m)	Plakanın Bulunduğu Kot	Oturma (m)
M-9 (Montaj Kotu 1335,33)	0+350	18.03.2015	1360.0	1360.6	20.88	1339.72	-4.39
		01.04.2015	1360.0	1360.6	20.89	1339.71	-4.38
		09.04.2015	1360.0	1360.6	20.87	1339.73	-4.40
		28.05.2015	1360.0	1360.6	20.85	1339.75	-4.42
		18.06.2015	1360.0	1360.6	20.85	1339.75	-4.42
		06.07.2015	1360.0	1360.6	20.84	1339.76	-4.43
		21.07.2015	1360.0	1360.6	20.70	1339.90	-4.57
		04.11.2015	1360.0	1360.6	20.70	1339.90	-4.57
		24.03.2016	1360.0	1360.6	20.67	1339.93	-4.60
		01.04.2016	1360.0	1360.6	20.65	1339.95	-4.62
		19.04.2016	1360.0	1360.6	20.65	1339.95	-4.62
		06.05.2016	1360.0	1360.6	20.63	1339.97	-4.64
		06.06.2016	1360.0	1360.6	20.59	1340.01	-4.68
		16.06.2016	1360.0	1360.6	20.59	1340.01	-4.68
		01.07.2016	1360.0	1360.6	20.59	1340.01	-4.68
		02.08.2016	1360.0	1360.6	20.59	1340.01	-4.68
10.10.2016	1360.0	1360.6	20.59	1340.01	-4.68		
M-13 (Montaj Kotu 1347,64)	0+350	06.11.2013	1360.0	1360.6	8.70	1351.90	-4.26
		26.11.2013	1360.0	1360.6	8.70	1351.90	-4.26
		06.03.2014	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		31.03.2014	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		16.04.2014	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		15.05.2014	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		24.06.2014	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		18.02.2015	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		18.03.2015	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		01.04.2015	1360.0	1360.6	8.68	1351.92	-4.28
		09.04.2015	1360.0	1360.6	8.69	1351.91	-4.27
		28.05.2015	1360.0	1360.6	8.68	1351.92	-4.28
		18.06.2015	1360.0	1360.6	8.68	1351.92	-4.28
		06.07.2015	1360.0	1360.6	8.67	1351.93	-4.29
		21.07.2015	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
		04.11.2015	1360.0	1360.6	8.61	1351.99	-4.35
24.03.2016	1360.0	1360.6	8.57	1352.03	-4.39		

Tablo 2.7'nin devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Dolgu Kotu	Boru Üst Kotu	Okuma (m)	Plakanın Bulunduğu Kot	Oturma (m)
M-13 (Montaj Kotu 1347,64)		01.04.2016	1360.0	1360.6	8.55	1352.05	-4.41
		19.04.2016	1360.0	1360.6	8.54	1352.06	-4.42
		06.05.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
		06.06.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
		16.06.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
		01.07.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
		02.08.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
		10.10.2016	1360.0	1360.6	8.53	1352.07	-4.43
M-15 (Montaj Kotu 1353,82)	0+350	06.11.2013	1360.0	1360.6	2.52	1358.08	-4.26
		26.11.2013	1360.0	1360.6	2.52	1358.08	-4.26
		06.03.2014	1360.0	1360.6	2.43	1358.17	-4.35
		31.03.2014	1360.0	1360.6	2.43	1358.17	-4.35
		16.04.2014	1360.0	1360.6	2.43	1358.17	-4.35
		15.05.2014	1360.0	1360.6	2.43	1358.17	-4.35
		24.06.2014	1360.0	1360.6	2.43	1358.17	-4.35
		18.02.2015	1360.0	1360.6	2.44	1358.16	-4.34
		18.03.2015	1360.0	1360.6	2.44	1358.16	-4.34
		01.04.2015	1360.0	1360.6	2.54	1358.06	-4.24
		09.04.2015	1360.0	1360.6	2.54	1358.06	-4.24
		28.05.2015	1360.0	1360.6	2.53	1358.07	-4.25
		18.06.2015	1360.0	1360.6	2.53	1358.07	-4.25
		06.07.2015	1360.0	1360.6	2.52	1358.08	-4.26
		21.07.2015	1360.0	1360.6	2.48	1358.12	-4.30
		04.11.2015	1360.0	1360.6	2.48	1358.12	-4.30
		24.03.2016	1360.0	1360.6	2.44	1358.16	-4.34
		01.04.2016	1360.0	1360.6	2.42	1358.18	-4.36
		19.04.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
		06.05.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
		06.06.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
		16.06.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
		01.07.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
		02.08.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37
10.10.2016	1360.0	1360.6	2.41	1358.19	-4.37		

Tablo 2.8. Dolgu tipi piyezometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınc (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)	
P-4 (İlk Okuma=6385,8)	0+350,00	15.09.2012	6387.4	16.9	-0.5	-0.1	
		15.10.2012	6388.8	17.0	-1.0	-0.1	
		15.11.2012	6389.4	17.1	-1.1	-0.1	
		15.12.2012	6390.8	17.3	-1.6	-0.2	
		15.01.2013	6388.2	17.6	-0.8	-0.1	
		15.02.2013	6391.9	17.5	-1.9	-0.2	
		15.03.2013	6392.4	17.5	-2.1	-0.2	
		15.04.2013	6392.5	17.7	-2.1	-0.2	
		15.05.2013	6392.5	17.8	-2.1	-0.2	
		15.06.2013	6391.9	17.8	-1.9	-0.2	
		15.07.2013	6392.5	17.8	-2.1	-0.2	
		15.08.2013	6392.0	17.9	-2.0	-0.2	
		15.09.2013	6392.7	17.9	-2.2	-0.2	
		14.10.2013	6391.8	17.9	-1.9	-0.2	
		26.11.2013	6392.0	17.9	-2.0	-0.2	
		04.12.2013	6391.9	17.9	-1.9	-0.2	
		17.01.2014	6390.5	18.0	-1.5	-0.2	
		21.03.2014	6390.3	18.0	-1.4	-0.1	
		16.04.2014	6391.3	18.0	-1.8	-0.2	
		15.05.2014	6394.8	18.1	-2.9	-0.3	
		24.06.2014	6393.3	18.1	-2.4	-0.2	
		11.07.2014	6391.8	18.1	-1.9	-0.2	
		12.12.2014	6388.8	17.8	-1.0	-0.1	
		24.01.2015	6393.3	17.8	-2.4	-0.2	
		P-5 (İlk Okuma=6302,4)	15.07.2012	6302.9	17.0	-0.2	0.0
			15.08.2012	6302.0	17.9	0.1	0.0
15.09.2012	6298.2		18.2	1.3	0.1		
15.10.2012	6296.9		18.5	1.8	0.2		
15.11.2012	6295.4		19.3	2.2	0.2		
15.12.2012	6296.0		19.6	2.0	0.2		
15.01.2013	6294.3		19.1	2.6	0.3		
15.02.2013	6297.4		19.1	1.6	0.2		
15.03.2013	6298.8		19.2	1.2	0.1		
15.04.2013	6298.8	19.2	1.2	0.1			

Tablo 2.8'in devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)
P-5 (İlk Okuma=6302,4)	0+350,00	15.05.2013	6299.0	19.2	1.1	0.1
		15.06.2013	6298.1	19.2	1.4	0.1
		15.07.2013	6298.0	19.2	1.4	0.1
		15.08.2013	6297.3	19.3	1.6	0.2
		15.09.2013	6298.2	19.3	1.3	0.1
		14.10.2013	6297.1	19.3	1.7	0.2
		26.11.2013	6297.0	19.3	1.7	0.2
		04.12.2013	6297.0	19.3	1.7	0.2
		17.01.2014	6296.0	19.3	2.0	0.2
		21.03.2014	6295.6	19.3	2.2	0.2
		16.04.2014	6297.6	19.3	1.5	0.2
		15.05.2014	6298.6	19.3	1.2	0.1
		24.06.2014	6297.6	19.2	1.5	0.2
		11.07.2014	6298.6	19.2	1.2	0.1
		12.12.2014	6298.1	14.9	1.4	0.1
		24.01.2015	6297.6	18.9	1.5	0.2
P-6 (İlk Okuma=6386,2)	0+350,00	15.07.2012	6383.5	16.8	0.9	0.1
		15.08.2012	6381.7	17.7	1.4	0.1
		15.09.2012	6379.9	18.2	2.0	0.2
		15.10.2012	6377.5	18.5	2.8	0.3
		15.11.2012	6375.7	18.7	3.3	0.3
		15.12.2012	6376.4	18.9	3.1	0.3
		15.01.2013	6380.5	18.6	1.8	0.2
		15.02.2013	6379.2	19.0	2.2	0.2
		15.03.2013	6375.5	19.0	3.4	0.3
		15.04.2013	6377.3	19.1	2.8	0.3
		15.05.2013	6375.7	19.1	3.3	0.3
		15.06.2013	6376.0	19.2	3.2	0.3
		15.07.2013	6376.7	19.1	3.0	0.3
		15.08.2013	6377.2	19.1	2.9	0.3
		15.09.2013	6376.9	19.1	3.0	0.3
		14.10.2013	6376.0	19.1	3.2	0.3
26.11.2013	6375.5	19.0	3.4	0.3		
04.12.2013	6375.3	19.0	3.5	0.4		

Tablo 2.8'in devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)
P-6 (İlk Okuma=6386,2)		17.01.2014	6362.8	19.0	7.5	0.8
		21.03.2014	6276.5	18.9	34.9	3.6
		16.04.2014	6255.0	18.8	41.8	4.3
		15.05.2014	6234.5	18.8	48.3	4.9
		24.06.2014	6211.6	18.6	56.3	5.7
		11.07.2014	6208.1	18.6	56.7	5.8
		12.12.2014	6091.5	18.2	93.9	9.6
		24.01.2015	5972.6	18.1	131.8	13.4
P-7 (İlk Okuma=6674,7)	0+350,00	15.06.2012	6546.3	13.1	44.5	4.5
		15.07.2012	6563.2	12.7	38.7	3.9
		15.08.2012	6565.7	12.4	37.8	3.9
		15.09.2012	6580.8	12.2	32.6	3.3
		15.10.2012	6592.7	12.2	28.4	2.9
		15.11.2012	6567.4	12.2	37.2	3.8
		15.12.2012	6553.6	12.3	42.0	4.3
		15.01.2013	6561.7	12.4	39.2	4.0
		15.02.2013	6560.8	12.4	39.5	4.0
		15.03.2013	6565.4	12.4	37.9	3.9
		15.04.2013	6568.7	12.5	36.8	3.7
		15.05.2013	6566.7	12.6	37.4	3.8
		15.06.2013	6568.1	12.6	37.0	3.8
		15.07.2013	6578.7	12.7	33.3	3.4
		15.08.2013	6600.1	12.7	25.9	2.6
		15.09.2013	6601.1	12.8	25.5	2.6
		14.10.2013	6599.8	12.9	26.0	2.6
		26.11.2013	6592.1	13.0	28.6	2.9
		04.12.2013	6588.5	13.0	29.9	3.0
		17.01.2014	6569.3	19.3	36.5	3.7
		21.03.2014	6557.7	13.2	40.6	4.1
		16.04.2014	6561.8	13.3	39.1	4.0
		15.05.2014	6558.2	13.3	40.4	4.1
		24.06.2014	6556.2	13.3	41.1	4.2
		11.07.2014	6554.6	13.4	41.6	4.2
		12.12.2014	6546.9	13.2	44.3	4.5

Tablo 2.8'in devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)
P-7 (İlk Okuma=6674,7)		24.01.2015	6551.6	13.2	42.7	4.3
		15.06.2012	6056.0	13.4	75.1	7.7
P-8 (İlk Okuma=6301,9)	0+350,00	15.07.2012	6024.0	13.5	84.9	8.6
		15.08.2012	6022.5	13.5	85.3	8.7
		15.09.2012	6022.8	13.6	85.2	8.7
		15.10.2012	6033.9	13.6	81.8	8.3
		15.11.2012	6012.4	14.3	88.4	9.0
		15.12.2012	6002.5	13.7	91.4	9.3
		15.01.2013	6001.6	13.7	91.7	9.3
		15.02.2013	5987.8	13.8	95.9	9.8
		15.03.2013	6003.4	13.7	91.1	9.3
		15.04.2013	6007.6	13.9	89.9	9.2
		15.05.2013	5979.7	13.9	98.4	10.0
		15.06.2013	6008.1	13.8	89.7	9.1
		15.07.2013	6008.6	14.0	89.6	9.1
		15.08.2013	5979.0	14.0	98.6	10.0
		15.09.2013	5963.6	14.0	103.3	10.5
		14.10.2013	5951.4	14.0	107.0	10.9
		26.11.2013	5911.2	14.0	119.3	12.2
		04.12.2013	5897.0	14.0	123.6	12.6
		17.01.2014	5835.7	13.9	142.4	14.5
		21.03.2014	5746.6	13.9	169.6	17.3
		16.04.2014	5721.6	13.9	177.2	18.1
		15.05.2014	5703.5	13.9	182.7	18.6
		24.06.2014	5680.1	13.8	189.9	19.3
11.07.2014	5674.9	13.8	191.5	19.5		
12.12.2014	5553.6	13.5	228.5	23.3		
24.01.2015	5431.7	13.6	265.7	27.1		

Tablo 2.9. Temel tipi piyezometre aletlerinden muhtelif tarihlerde alınan okuma değerleri

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)
T-7 (İlk Okuma=6309,5)	0+350,00	15.07.2012	6122.9	13.1	118.2	12.0
		01.09.2012	6118.3	13.1	121.1	12.3
		15.09.2012	6119.8	13.1	120.1	12.2
		15.10.2012	6124.7	13.1	117.0	11.9
		26.11.2013	6064.5	13.1	155.1	15.8
		04.12.2013	6057.3	13.1	159.7	16.3
		25.01.2014	6012.2	13.2	188.3	19.2
		21.03.2014	5991.7	13.3	201.2	20.5
		16.04.2014	5981.4	13.3	207.8	21.2
		15.05.2014	5975.1	13.3	211.8	21.6
		24.06.2014	5965.3	13.2	218.0	22.2
		11.07.2014	5964.3	13.1	218.6	22.3
		12.12.2014	5913.2	12.7	251.0	25.6
		24.01.2015	5866.1	12.8	280.8	28.6
T-8 (İlk Okuma=6309,5)	0+350,00	15.07.2012	6165.5	12.6	48.6	5.0
		01.09.2012	6184.1	12.6	36.5	3.7
		15.09.2012	6188.9	12.6	33.4	3.4
		15.10.2012	6189.5	12.6	33.0	3.4
		26.11.2013	6194.2	12.7	30.0	3.1
		04.12.2013	6192.1	12.7	31.3	3.2
		25.01.2014	6181.3	12.7	38.3	3.9
		21.03.2014	6176.7	13.1	41.3	4.2
		16.04.2014	6175.2	13.2	42.3	4.3
		15.05.2014	6174.7	13.3	42.6	4.3
		24.06.2014	6173.7	0.0	43.3	4.4
		11.07.2014	6174.7	0.0	42.6	4.3
		12.12.2014	6169.3	0.0	46.1	4.7
		24.01.2015	6166.3	0.0	47.7	4.9
T-9 (İlk Okuma=6513,8)	0+350,00	15.12.2011	6316.1	15.8	127.8	13.0
		15.01.2012	6320.0	15.8	125.3	12.8
		15.02.2012	6319.6	15.8	125.6	12.8
		15.03.2012	6316.9	15.8	127.3	13.0
		15.04.2012	6311.5	15.8	130.8	13.3
		15.07.2012	6210.4	15.8	196.2	20.0

Tablo 2.9'un devamı

Alet Adı	Aletin Yerleştirildiği Kesit	Okumanın Yapıldığı Tarih	Okuma Değeri	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Su Yüksekliği (mWe)
T-9 (İlk Okuma=6513,8)	0+350,00	15.09.2012	6232.0	15.8	182.2	18.6
		15.10.2012	6234.0	15.8	180.9	18.4
		26.11.2013	6237.4	14.6	178.7	18.2
		04.12.2013	6235.5	16.0	180.0	18.3
		25.01.2014	6222.8	19.3	188.2	19.2
		21.03.2014	6218.5	0.0	191.0	19.5
		16.04.2014	6217.5	0.0	191.6	19.5
		15.05.2014	6217.0	0.0	191.9	19.6
		24.06.2014	6215.5	0.0	192.9	19.7
		11.07.2014	6216.0	0.0	192.6	19.6
		12.12.2014	6209.1	0.0	197.0	20.1
		24.01.2015	6203.6	0.0	200.6	20.4
T-10 (İlk Okuma=6485,3)		15.12.2011	6333.6	12.4	101.0	10.3
		15.01.2012	6336.9	12.4	98.8	10.1
		15.02.2012	6330.9	12.4	102.8	10.5
		15.03.2012	6338.1	12.4	98.0	10.0
		15.04.2012	6335.7	12.4	99.6	10.1
		15.07.2012	6170.6	12.4	209.5	21.4
		15.09.2012	6169.0	12.4	210.6	21.5
		15.10.2012	6174.5	12.4	206.9	21.1
		26.11.2013	6117.8	12.4	244.7	24.9
		04.12.2013	6111.4	12.4	248.9	25.4
		25.01.2014	6070.1	12.5	276.4	28.2
		21.03.2014	6052.6	12.7	288.1	29.4
16.04.2014	6050.6	12.6	289.4	29.5		
15.05.2014	6048.6	6.5	290.8	29.6		
24.06.2014	6031.9	7.5	301.9	30.8		
11.07.2014	6022.6	3.8	308.1	31.4		
12.12.2014	5943.8	9.4	360.5	36.7		
24.01.2015	0.0	0.0	4317.8	440.0		

2.5. Sonlu Elemanlar Metodu

Baraja ait tesislerin en önemlisi olan baraj gövdesi inşa safhasının ardından işletme safhasına geçildiğinde birçok yüke maruz kalmaktadır. Bu yükler altında nasıl davranış sergileyeceğinin tespitini yapmak için yüklerin ne şekilde tesir edeceği tamamen proje safhasında projeci tarafından baraj gövdesine etki ettirilir. Projeci tarafından tercih edilen yöntemlerle analizler yapılır. Analizde 1965 yıllarında yaklaşık sonuçlar veren yöntemler kullanılmıştır. Ancak yapılan araştırmalar, baraj gövdesini ve gövde altı temeli oluşturan malzeme parametrelerini, deplasmanlarını, gerilmelerini ve kuvvetlerini de göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Bu parametreler ile sonlu elemanlar metodunun daha gerçekçi sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve bu metot kullanılmaya başlanılmıştır. Bu metot ile iki ve üç boyutlu analizler yapılabilmektedir [38].

Sonlu elemanlar metodu çözülmesi istenilen sisteme ait parametrik özellikleri göz önüne alarak diferansiyel yöntemler vasıtasıyla amaçlanan analizi gerçekleştirip gerçek sonuçlara yakın değerler veya çözümler vermektedir [39].

Sonlu elemanlar metodunun tercih edilme nedeni ise, farklı parametrik değerlere sahip malzemeler üzerinde işlem yapması ve baraj gövdesine gelen sismik yükü ve deplasmanları yaklaşık doğru göstermesidir. Bu metot da baraj gövdesinde oluşturulan elemanlara ait düğüm noktaları ve sınırlarında, sınır şartlarını sağlayan bir model oluşturulur. Böylelikle sonsuz serbestlikte olan model, sonlu serbestlikte olan bir modele dönüştürülür [40].

Sonlu elemanlar metodu sadece baraj gövde ve gövde altı temelini, deplasman veya gerilme analizlerinde değil ayrıca baraj gövdesinin elemanlara bölünerek, baraj gövdesinde diferansiyel denklemler yardımıyla bir ağ oluşturulup gövdenin ve gövde altı temelini hidrolik iletkenlik durumlarını, sızdırma miktarlarının kontrolü amaçlarıyla da analizler yapılabilmektedir [41].

Baraj gövde ve gövde altı temelinde yapılan analiz ve tasarımlar için oldukça yaygınlaşan sonlu elemanlar metodu günümüzde paket programlarda kullanılmaya başlanılmıştır [42].

Baraj gövdesi ve gövde altı temelini ait modelin analizlerinde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmesi ise model üzerinde oluşturulan düğüm noktalarının, üçgen, dörtgen vb. elemanların sayısının artması ile arttırılan diferansiyel denklem sayısına

bağlıdır. Fazla sayıda olan diferansiyel denklem çözümleri için paket programlar ile daha hızlı ve daha doğru çözüm ve sonuçlar sunmaktadır [24].

2.5.1. İki Boyutlu Modellerde Sonlu Elemanlar Metodu

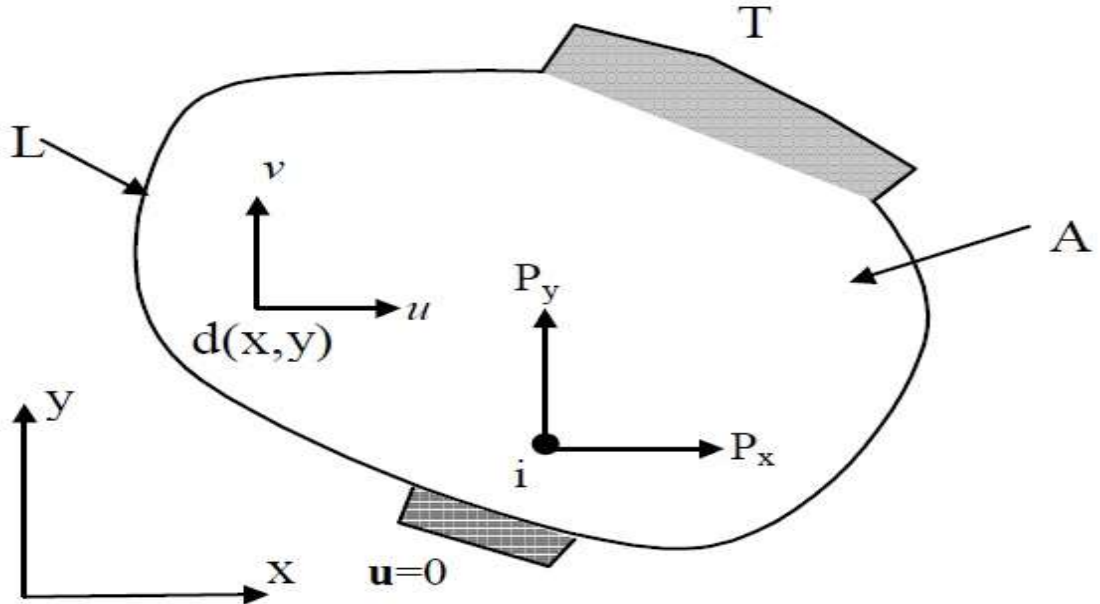
Topcu ve Taşgetiren [43] çalışmalarında iki boyutlu modeli Şekil 2.6'da ki gibi oluşturmuş, x ve y doğrultuları, u d noktasında deplasman vektörünün x yönündeki bileşenini, v d noktasında deplasman vektörünün y yönündeki bileşenini, T yüzey kuvvetini, d noktasında cismin z yönündeki kalınlığı ise t olarak belirtmiştir.

Buna göre yer değişme vektörü Denklem 2.1'de, gerilme bileşenleri Denklem 2.2'de, şekil değiştirme bileşenleri ise Denklem 2.3'te görüldüğü şekilde ifade edilmiştir:

$$\{u\} = [u, v]^T \quad (2.1)$$

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}]^T \quad (2.2)$$

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z]^T \quad (2.3)$$



Şekil 2.6. İki boyutlu cisim [43]

Ayrıca kütle kuvveti Denklem 2.4'te, yüzey kuvveti Denklem 2.5'de, diferansiyel hacim Denklem 2.6'da, deplasman ve şekil değiştirme ilişkisi Denklem 2.7'de, gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi Denklem 2.8 de ifade edilmiştir. Denklem 2.7'de D ile elastisite matrisi ifade edilmiştir [43].

$$\{f\} = [f_x, f_y] \quad (2.4)$$

$$\{T\} = [T_x, T_y]^T \quad (2.5)$$

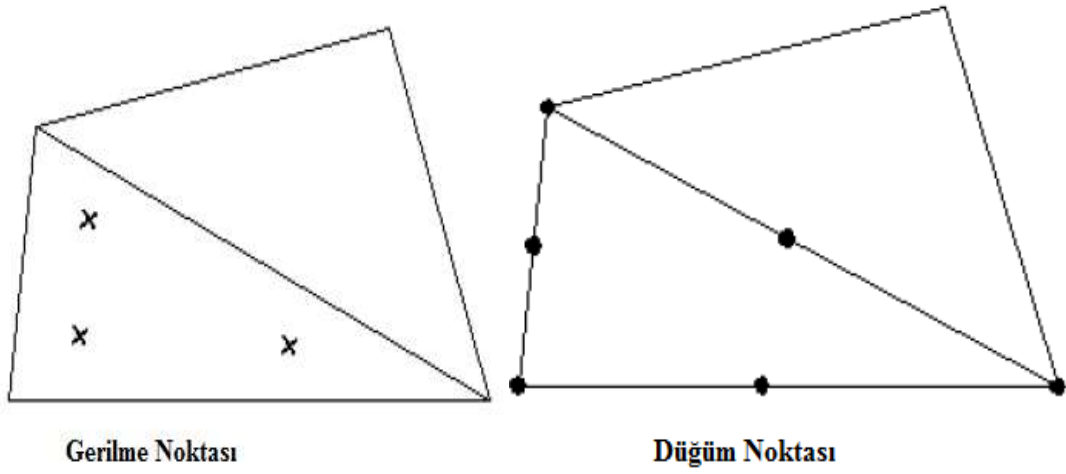
$$dV = t \cdot dA \quad (2.6)$$

$$\{\varepsilon\} = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{dv}{dy}, \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (2.7)$$

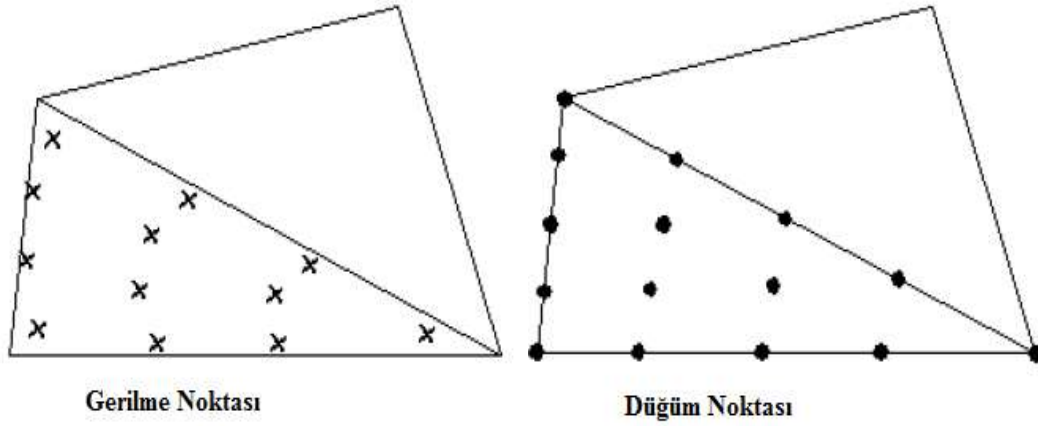
$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (2.8)$$

2.6. Plaxis v8.2. Paket Programı

Plaxis 2D, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak geoteknik muhtevaya sahip projelerin analizleri için tasarlanmış bir paket programdır. Plaxis programı ilk olarak Hollanda'da nehir setlerindeki analizler için kullanılmış olsa da sonraki yıllarda daha yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Plaxis programı, jeolojik malzemelerin ayrı ayrı tanımlanması sonucu oluşturulan projelerde sonlu elemanlar yöntemi ile birçok analizi yapabilmektedir. Programda yapılan analizlere ait sonuçları grafik olarak alınabilmektedir. Programa baraj dolgu malzemelerine ve temel malzemelerine ait parametrelerin, tanımlanmasının ardından dinamik ve statik yükler altında geçirgenlik, deplasman analizleri yapıp sonuçlar elde edilebilmektedir. Program, sonlu eleman ağını üçgen eleman modellerinden oluşturmakta ve bu üçgen eleman modeli ise 6 veya 15 düğüm noktalı olarak oluşturabilmektedir. Programa ait kılavuzlarda 15 düğüm noktalı elemanın oluşturulmasını önermiştir. Çünkü 15 düğüm noktalı eleman modelinde Şekil 2.8'de görüldüğü üzere 12 adet gerilme noktası oluşmakta, Şekil 2.7'de görüldüğü üzere 6 düğüm noktalı eleman modelinde ise 3 adet gerilme noktası oluşmaktadır.



Şekil 2.7. 6 düğüm noktalı eleman [44] [46]



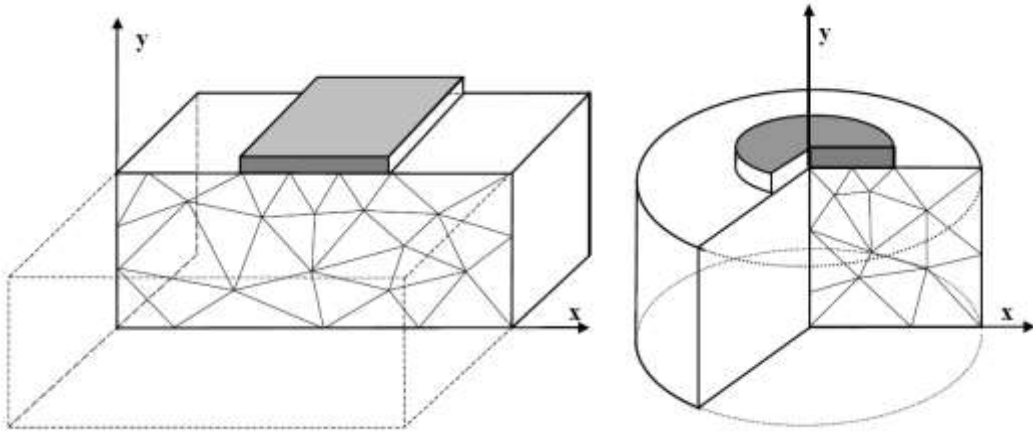
Şekil 2.8. 15 düğüm noktalı eleman [44] [46]

Programda düğüm noktaları yük deplasman eğrilerini oluşturmak için, gerilme noktaları ise gerilme-şekil değiştirme eğrilerini oluşturmak için kullanılır.

Ayrıca programda model oluşturmaya başlanılmadan önce Şekil 2.9'da görüldüğü gibi modelin düzlemsel model veya aksenal simetrik model olarak tanımlana bilinmektedir.

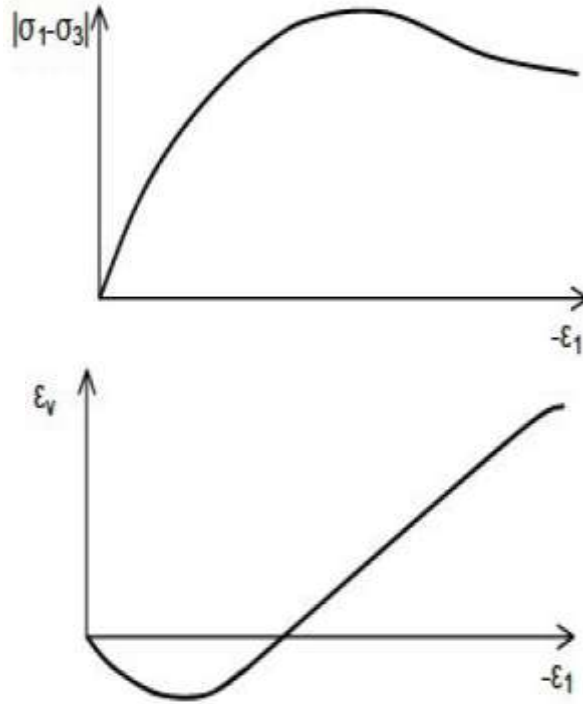
Program dört ara yüzden meydana gelmektedir. Bunlar;

- Input (Giriş ara yüzü)
- Calculations (Hesaplamalar ara yüzü)
- Output (Çıktı ara yüzü)
- Curves (Grafikler / eğriler ara yüzü)

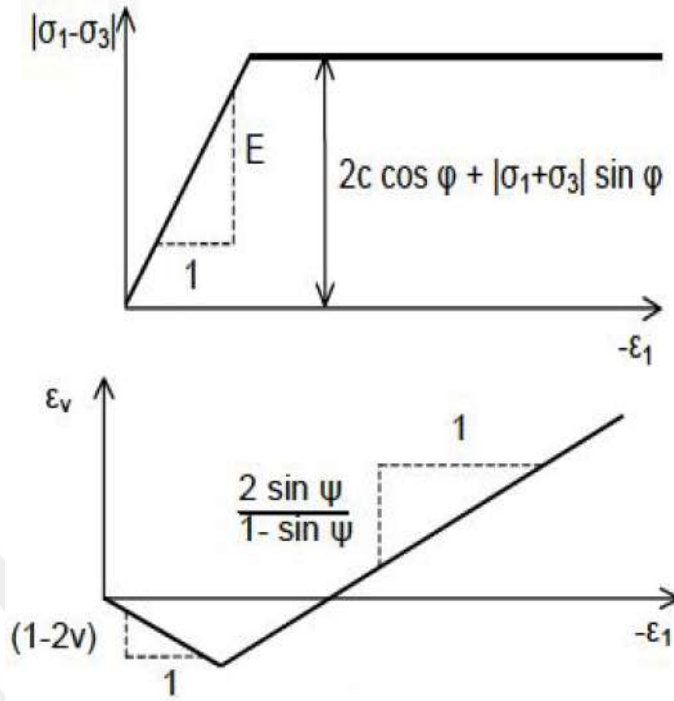


Şekil 2.9. Düzlemsel model ve eksenel simetrik model [44] [46]

Şekil 2.10’da drene edilmiş bir doğal malzemede üç eksenli basınç deneyinin sonuçlarına ait gerilme ve şekil değiştirme grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerin Plaxis programında kullanılan Mohr-Colomb Yöntemine göre idealize edilmiş hali ise Şekil 2.11’de verilmiştir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de eksenel gerilme (σ_1), sabit sınırlayıcı basınç (σ_3), eksenel yer değiştirme (ϵ_1), hacimsel yer değiştirme (ϵ_v), poisson oranı (ν), kohezyon (c), elastisite modülü (E), içsel sürtünme açısı (ϕ), dilatasyon açısı (ψ) yer almaktadır.



Şekil 2.10. Drene edilmiş malzemeye ait 3 eksenli basınç deneyi sonuçları [44]



Şekil 2.11. Mohr-Colomb yöntemine göre idealize edilmiş sonuçlar [44]

Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 incelendiğinde malzemenin, Plaxis programındaki ve üç eksenli basınç dayanımı deneyi altındaki gerçek davranışının yaklaşık benzer olduğu görülmektedir. Meydana gelen küçük farklılıkların ise kullanıcı tarafından malzeme parametrelerinde değişiklikler yapılarak düzeltilebileceği Plaxis v8.2 Reference Manual'da belirtilmiştir.

Plaxis programında dokuz farklı malzeme modeli seçeneği mevcuttur. Daha önce yapılan çalışmalara bağlı olarak bu modellerden Lineer Elastik Model ve Mohr-Colomb Modeli bu çalışmada kullanılacaktır. Bu nedenle bu iki model detaylı incelenmiş diğer modeller hakkında ise kısa bilgi verilmiştir.

2.6.1. Lineer Elastik Model

Plaxis programında yer alan bu model Hooke'un İzotropik Lineer Elastik Kanunu temsil eder. Genel olarak izotropik lineer elastik malzemede Hooke Yasası'na göre gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları Denklem 2.9 – 2.11'deki gibidir.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.9)$$

$$\tau = G\gamma \quad (2.10)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.11)$$

Denklem 2.9-2.11'de, G kayma modülünü, E elastisite modülünü, ν poisson oranını, γ birim hacim ağırlığını ifade etmektedir.

Hooke Yasasına göre sadece σ_x etkidiğinde x, y ve z yönlerindeki şekil değiştirmeler Denklem 2.12-2.14'te ki gibi olmaktadır.

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_y = -\nu \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_z = -\nu \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.14)$$

Ancak Şekil 2.12'de görülen üç boyutlu cisimde Hooke Yasasına göre şekil değiştirmeler Denklem 2.15 – 2.18 şeklini almaktadır.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (2.17)$$

$$\tau_{xy} = \gamma_{xy} G \quad (2.18)$$

Bu bağıntıları genel olarak Denklem 2.19'de ki matris ile ifade etmek mümkündür.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} \quad (2.19)$$

Lineer Elastik Model için Plaxis programında Denklem 2.20 ile analizler yapılmaktadır.

$$\begin{Bmatrix} \sigma'_{xx} \\ \sigma'_{yy} \\ \sigma'_{zz} \\ \sigma'_{xy} \\ \sigma'_{yz} \\ \sigma'_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E'}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2-\nu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2-\nu' \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

Toprak ve kaya malzeme modelleri için genellikle Denklem 2.21 kullanılmaktadır. Bu denklemde; M rijitlik matrisini göstermektedir.

$$\sigma' = M\varepsilon \quad (2.21)$$

Ayrıca Plaxis Manuals da kayma modülün Denklem 2.22 de, kütle modülünün Denklem 2.23 te, ödometre modülünün Denklem 2.24 te ki gibi olduğu belirtilmiştir.

$$G_{ref} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.22)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (2.23)$$

$$E_{oed} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (2.24)$$

2.6.2. Mohr-Colomb Modeli

Mohr-Colomb Modeli toprak malzemenin gerçekçi olan bazı özelliklerini içeren birinci dereceden bir modeldir. Mohr-Colomb modelin konsolide edilmiş kil gibi yumuşak topraklar, çok yoğun/sert veya aşırı konsolide edilmiş toprak için kullanılması tavsiye edilmektedir. Mohr-Colomb modelinde gerilme formülleri Şekil 2.12'te ki gibi

gerilme uzayında altıgen bir koniyi, bu altıgen koniyi oluşturan formüllerin ise Denklem 2.25 – 2.30’da ki gibi olduğu belirtilmiştir.

$$f_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.25)$$

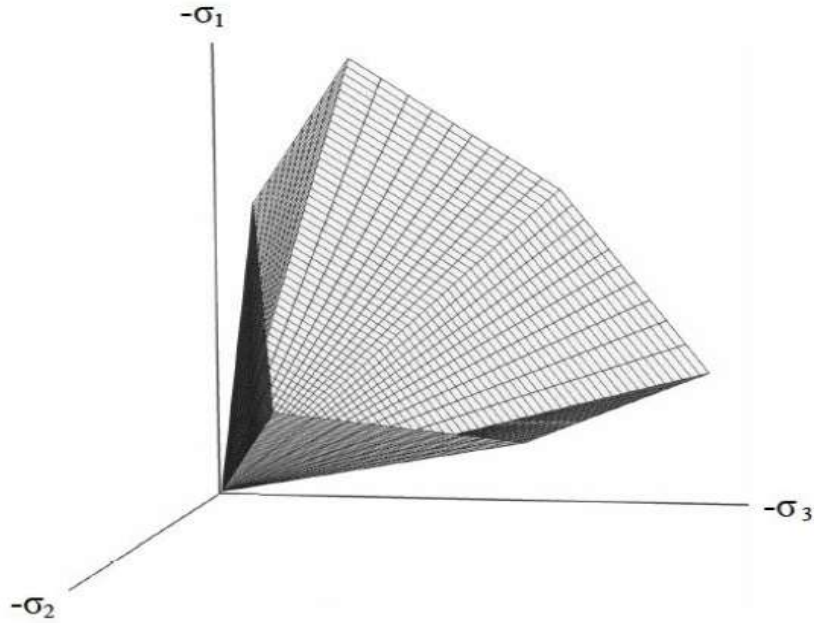
$$f_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.26)$$

$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.27)$$

$$f_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.28)$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.29)$$

$$f_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1) \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0 \quad (2.30)$$



Şekil 2.12. Mohr-Colomb modelinde gerilme uzayında görülen gerilmeler ($c=0$) [44]

Ayrıca Mohr-Colomb modeli için altı plastik potansiyel fonksiyonu Denklem 2.31 – 2.36’da ki gibi olduğu belirtilmiştir.

$$g_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3) \sin \Psi \quad (2.31)$$

$$g_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2) \sin \Psi \quad (2.32)$$

$$g_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1) \sin \Psi \quad (2.33)$$

$$g_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \Psi \quad (2.34)$$

$$g_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2) \sin \Psi \quad (2.35)$$

$$g_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1) \sin \Psi \quad (2.36)$$

Plaxis programında, Mohr-Colomb modeli tercih edildiğinde malzemeye ait elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c), ve genişleme (dilatasyon) açısı (Ψ) parametrelerinin istenileceği belirtilmiştir. Ayrıca, poisson oranı (ν) 0.3 ile 0.4 arasında bir değere denk geleceği, kohezyonun (c) sıfır alınması durumunda bazı hatalara yol açacağı bu nedenle $c_{min} > 0.2 \text{ kN/m}^2$ alınması gerektiği ve genişleme açısı için ise aşırı konsolide olmayan katmanlar, killi toprakların sıfır alına bilineceği, kumlar için ise Denklem 2.37'de ki gibi alınabileceği belirtilmiştir [44].

$$\Psi = \phi - 30^\circ \quad (\phi > 30^\circ \text{ olmak şartı ile}) \quad (2.37)$$

2.6.3. Joined Rock Model

Bu model tabakalı veya eklemeli kaya davranışını simüle etmek için kullanılmaktadır [44].

2.6.4. Hardening Soil Model

Sürtünme ile sertleşen plastisite çerçevesinde formüle edilen elastoplastik bir hiperbolik modeldir. Model sıkılaşıma altında malzemede geri dönülmez şekilde sertleşmesini sağlamaktadır. İkinci mertebeden bir model olan Hardening Soil Model, kum, çakıl kil ve silt gibi malzemelerin simüle edilmesinde kullanılır [44].

2.6.5. Hardening Soil Small Model (HS Small Model)

Hardening Soil Model de bahsedilen malzemelerden daha küçük daneye sahip malzemeleri simüle etmek için kullanılır [44].

2.6.6. Modified Cam-Clay Model

Yumuşak toprakların gerilme bağıntısını logaritmik olarak simüle eden bir model olduğu ve bu modelin pratik uygulamalarda kullanılmaması tavsiye edilmiştir [44].

2.6.7. Soft Soil Model

Bu model yumuşak toprak davranışını simüle etmek için kullanılan birinci sıkışma durumunda en iyi performansı veren cam-clay tipi bir modeldir [44].

2.6.8. Soft Soil Creep Model

Kil gibi malzemelerin zamana bağlı davranışını simüle etmek için birincil ve ikincil sıkışmalarda performans veren bir modeldir [44].

2.6.9. User-Defined Soil Model

Kullanıcı tarafından belirlenen malzeme modelidir [44].

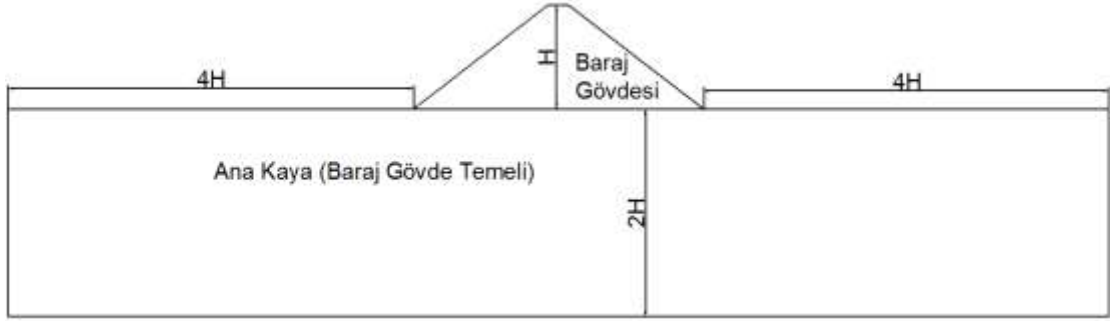
2.7. Kanak Baraj Gövdesinin Plaxis v8.2 Programında Modellenmesi

Kanak Baraj'ının gövde en kesit projeleri incelenmiş ve maksimum boyutlu kesit olan 0+350 km li kesit seçilmiştir. Plaxis v8.2 programında model oluşturulmadan önce Autocad 2015 programında model oluşturulmuş ve bu model üzerinden bütün çizimlere ait çizgi uç noktalarının x ve y koordinatları alınmıştır. Bu koordinatlara göre Plaxis v8.2 programında Kanak Baraj gövde modeli oluşturulmuştur.

Ayrıca Kanak Baraj gövdesinin 0+350 km sine ait en kesit incelendiğinde gövde temelinde bulunan alüvyon ve yamaç molozu Plaxis v8.2 programında oluşturulan modelde gösterilmemiştir. Çünkü DSİ Kazı İşleri Teknik Şartnamesinde [48], baraj gövdesinin inşa aşamasında gevşek ve oynak malzeme içermeyen zemine kadar kazının yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Baraj gövde temelinin modellenmesinde Aydın ve Aydın [48]'in çalışmasında belirtmiş olduğu ve Şekil 2.13'te görülen boyutlar dikkate alınmıştır. Bu şekilde H baraj

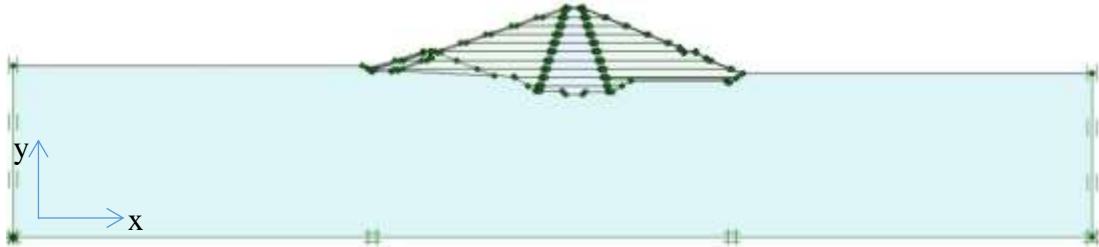
gövde yüksekliğini göstermektedir. Kanak Baraj gövdesinin yüksekliği yaklaşık 50 m'dir



Şekil 2.13. Baraj gövde temelini boyutlandırılması [48].

Sak [49] çalışmasında, gövde modellemesinin gerçeğe uygun şekilde kademeli olarak modellenmesi gerektiği aksi takdirde gövde dolgu ortalarında meydana gelecek maksimum oturmaların gövde kretinde meydana geleceğini belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında önce 5 m lik tabakalar alınarak analizler yapmış ve bu şekilde analizlerin uzun sürdüğünü belirterek 10 m lik tabakalar oluşturarak analizlerini devam ettirmiştir.

Bu çalışmada ise baraj gövde modeli Şekil 2.14'te görüldüğü gibi 5 m yüksekliğinde 10 tabakaya ayrılmış ve bu şekilde analizler yapılmıştır.



Şekil 2.14. Plaxis v8.2'de oluşturulan baraj gövde ve temel modeli (Model-1)

Şekil 2.14'te verilen modelde kil, filtre kum (fk), filtre çakıl (fç), kum-çakıl, filtre tuvenan (ft), koruyucu örtü, riprap, ana kaya, stabilize malzemelerinin bulunduğu 0+350 km li kesitten anlaşılmıştır. Bu malzemelere ait parametreler;

1. **Kil malzeme:** Baraj gövde çekirdeğinde geçirimsizliği sağlamak için DSİ Dolgu İşleri Teknik Şartnamesine uygun şekilde belirli bir sıklık ve usule göre inşa edilen kısımda kullanılan malzemedir. Bu malzemeye ait parametreler genel olarak Tablo 2.2'te verilen değerlerden yola çıkılarak elde edilmiştir. Kil malzeme için Mohr-Colomb modeli seçildiğinden $c, \phi, k, E, \nu, \Psi, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir.

- a. Kil malzemeye ait kohezyon (c) Tablo 2.2’te verilen kohezyon değerlerinin (0.70, 0.77, 0.51, 1.11 ve 0.40 kg/cm²) aritmetik ortalaması olarak yaklaşık 0.70 kg/cm² alınmıştır.
- b. Kil malzemeye ait içsel sürtünme açısı (ϕ) Tablo 2.2’te bulunan içsel sürtünme açısı değerlerinin (9⁰, 8⁰, 14⁰, 15⁰, 9⁰) aritmetik ortalaması olarak 11⁰ alınmıştır.
- c. Kil malzemeye ait permeabilite katsayısı (k) Tablo 2.2’te verilen permeabilite değerlerinin (3.56x10⁻⁷, 2.8x10⁻⁷, 8.30x10⁻⁷, 1.37x10⁻⁷ ve 3.95x10⁻⁷ cm/sn) aritmetik ortalaması olarak yaklaşık 3.996x10⁻⁷ cm/sn elde edilmiştir.
- d. Kil malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_{unsat}), Tablo 2.2’te verilen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin (1.84, 1.592, 1.595, 1.672, 1.589, 1.798, 1.520, 1.680, 1.660, 1.514, 1.753 ve 1.639 gr/cm³) aritmetik ortalaması olarak yaklaşık 1.654 gr/cm³ elde edilmiştir.
- e. Kil malzemeye ait doymuş birim hacim ağırlık (γ_{sat}), Tablo 2.2’te verilen kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri (w_s) göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama Denklem 2.38’de [50] ki formüle göre her örnek no için ayrı ayrı yapılmış ve doymuş birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{doymuş}}{1 + \frac{w_s}{100}} \quad (2.38)$$

Denklem 2.38 ile bulunan doymuş birim hacim ağırlıklarının (2.099, 1.893, 1.946, 1.995, 1.998, 1.942, 2.098, 1.90, 2.003, 2.005, 1.879 ve 2.070 gr/cm³) aritmetik ortalaması olarak yaklaşık 1.986 gr/cm³ çıkmaktadır.

- f. Kil malzemeye ait poisson oranı (ν), 0.3 olarak dikkate alınmıştır.
- g. Kil malzemeye ait dilatasyon açısı (Ψ), Plaxis v8 Manuals’da önerilen aralıklar dikkate alınarak 0⁰ olarak alınmıştır.
- h. Kil malzemeye ait elastisite modülü (E), Tablo 2.2’te verilen zemin sınıfı için 3 adet SC, 9 adet CL olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre

elastisite modülü 5000 kN/m^2 olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 52, 53].

2. Filtre kum (fk) malzeme: Bu malzemeye ait parametreler genel olarak Tablo 2.5’de verilen ince agregaya ait parametreler ve zemin sınıfı göz önünde bulundurulurak elde edilmiştir. Filtre kum malzeme için Mohr-Colomb modeli seçildiğinden $c, \phi, k, E, \nu, \Psi, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir.

a. Filtre kum malzemeye ait kohezyon (c) için Yağcı [54] çalışmasında, kum malzeme için kohezyon değerini 1 kN/m^2 olarak tercih etmiştir. Bu nedenle kohezyon değeri bu çalışmada da 1 kN/m^2 olarak kullanılmıştır.

b. Filtre kum malzemeye ait permeabilite katsayısı (k), Kanak Barajı’na ait kati projelerde bulunan malzeme ocağından kum malzemenin temin edilebileceği belirtilmiştir. Bu nedenle Tablo 2.5’den kum yüzdesi fazla olan E-616, E-636, E-624, E-639, E-601, E-617 olarak adlandırılan sondajlardan yola çıkılmıştır. Bu sondajlarda zemin sınıfları GW, GM-GP, GP şeklindedir. G harfi çakıl malzemeyi ifade etse de zemin sınıfının kalitesine göre değerler kum malzeme için alınmış ve bu değer $1.157 \times 10^{-13} \text{ m/gün}$ olarak modellere girilmiştir [55, 56, 57].

c. Filtre kum malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_{unsat}), Tablo 2.5’de bulunan ince agregaya ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin (2.66, 2.63, 2.64, 2.51, 2.62, 2.61, 2.66, 2.64, 2.66, 2.70, 2.60, 2.63, 2.46, 2.62, 2.65, 2.66, 2.73, 2.66, 2.56, 2.50, 2.56, 2.56, 2.63 ve 2.56 gr/cm^3) aritmetik ortalaması olarak yaklaşık 2.61 gr/cm^3 elde edilmiştir.

d. Filtre kum malzemeye ait doymuş birim hacim ağırlık (γ_{sat}), Tablo 2.5’de verilen ince agregaya ait kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri (w_s) göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama Denklem 2.38’de ki formüle göre yapılmış ve doymuş birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

Denklem 2.38 ile bulunan doymuş birim hacim ağırlıklarının (2.70, 2.67, 2.69, 2.55, 2.64, 2.65, 2.71, 2.67, 2.69, 2.77, 2.65, 2.67, 2.50, 2.66, 2.69, 2.69, 2.75, 2.70, 2.61, 2.54, 2.61, 2.62, 2.67 ve 2.63 gr/cm^3) aritmetik ortalaması yaklaşık 2.65 gr/cm^3 olarak elde edilmiştir.

e. Filtre kum malzemeye ait poisson oranı (ν), Plaxis v8.2 Manuals’da önerilen aralıklardan yola çıkılarak 0.3 modellerde kullanılmıştır.

- f. Filtre kum malzemeye ait içsel sürtünme açısı(ϕ), 34^0 derece olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 55].
- g. Filtre kum malzemeye ait dilatasyon açısı (Ψ), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak Denklem 2.37'e göre hesaplanmış ve 4^0 olarak modellerde kullanılmıştır.
- h. Filtre kum malzemeye ait elastisite modülü (E), Tablo 2.5'de gösterilen zemin sınıfı göz önünde bulundurularak 65000 kN/m^2 olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 52, 53].
3. Filtre çakıl (fç) ve stabilize malzeme: Filtre çakıl ve stabilize malzemenin aynı malzeme ocağından temin edildiği düşünülmüş ve bu nedenle stabilize malzeme ve filtre çakıl için aynı malzeme parametreleri kullanılmıştır. Bu malzemeler için Mohr-Colomb modeli seçildiğinden $c, \phi, k, E, \nu, \Psi, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir.
- a. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait kohezyon (c) için Yağcı [54] çalışmasında, kum malzeme için kohezyon değerini 1 kN/m^2 olarak tercih etmiştir. Bu nedenle kohezyon değeri bu çalışmada da 1 kN/m^2 olarak kullanılmıştır.
- b. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait permeabilite katsayısı (k), bu malzemeler için Tablo 2.5'te ki zemin sınıfının kalitesine göre değerler göz önünde bulundurulmuş ve permeabilite kat sayısının $5.787 \times 10^{-13} \text{ m/gün}$ olarak elde edilmiştir [55, 56, 57].
- c. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_{unsat}), Tablo 2.5'de verilen iri agregaya ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin (2.70, 2.56, 2.59, 2.60, 2.57, 2.55, 2.54, 2.56, 2.52, 2.70, 2.62, 2.58, 2.61, 2.66, 2.61, 2.61, 2.61, 2.59, 2.63, 2.61, 2.51, 2.57, 2.60 ve 2.55 gr/cm^3) aritmetik ortalaması 2.59 gr/cm^3 olarak elde edilmiştir.
- d. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait doymuş birim hacim ağırlık (γ_{sat}), Tablo 2.5'de verilen iri agregaya ait kuru birim hacim ağırlıklarının ve optimum su içerikleri (w_s) göz önüne hesaplanmıştır. Hesaplama Denklem 2.38'de ki formüle göre yapılmış ve doymuş birim hacim ağırlıkları 2.64 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

- e. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait poisson oranı (ν), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak 0.3 olarak dikkate alınmıştır.
 - f. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait içsel sürtünme açısı (ϕ), 35^0 derece olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 55].
 - g. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait dilatasyon açısı (Ψ), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak Denklem 2.37'e göre hesaplanmış ve 5^0 olarak modellerde kullanılmıştır.
 - h. Filtre çakıl ve stabilize malzemeye ait elastisite modülü (E), Tablo 2.5'de verilen zemin sınıfı göz önünde bulundurularak 160000 kN/m^2 olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 52, 53].
4. Kum-çakıl ve filtre tuvenan (ft) malzeme: Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemenin aynı malzeme ocağından temin edildiği ve tuvenan malzemenin sadece batardo imalatında kullanıldığı ve bu nedenle her iki malzeme için aynı malzeme parametreleri kullanılmıştır. Bu malzemeler için Mohr-Colomb modeli seçildiğinden $c, \phi, k, E, \nu, \Psi, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir.
- a. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait kohezyon (c) için Plaxis v8.2'e ait Manuals da kohezyon değerinin 0 kN/m^2 alındığında programda hatalar oluşa bileceği ve bu nedenle 0.2 kN/m^2 den büyük seçilmesi gerektiği önerilmiştir. Yağcı [54] çalışmasında, kum malzeme için kohezyon değerini 1 kN/m^2 olarak tercih etmiştir. Bu nedenle kohezyon değeri bu çalışmada da 1 kN/m^2 olarak kullanılmıştır
 - b. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait permeabilite katsayısı (k), Tablo 2.5'de 7 adet GP, 6 adet GM-GW, 9 adet GW ve 2 adet GM-GP olarak adlandırılan zemin sınıfının bulunduğu, bu malzemenin ocaktan iri ve ince daneli karışımı olduğundan tamamı göz önüne alınmıştır [55, 56, 57]. Bu değerler $4.63 \times 10^{-10} \text{ m/gün}$ olarak elde edilmiştir.
 - c. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait doygun birim hacim ağırlığı (γ_{sat}), Tablo 2.5'de verilen değerler ile Tablo 2.10'da bulunan değerlerin aritmetik ortalaması olarak 2.54 gr/cm^3 elde edilmiştir.

Tablo 2.10. Kum-çakıl ve tuvenan malzemeye ait doygun birim hacim ağırlık

Çakıl Yüzdesi (%) (A)	Kum Yüzdesi (%) (B)	İnce Agrega Özgül Ağırlık (gr/cm³) (C)	İri Agrega Özgül Ağırlık (gr/cm³) (D)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³) ((DxA/100)+(CxB/100))
59	37	2,70	2,74	2,62
66	32	2,67	2,62	2,58
61	32	2,69	2,63	2,47
61	34	2,55	2,65	2,48
64	32	2,64	2,62	2,52
67	28	2,65	2,59	2,47
63	33	2,71	2,60	2,53
61	35	2,67	2,61	2,53
54	42	2,69	2,59	2,53
60	37	2,77	2,74	2,67
62	34	2,65	2,66	2,55
64	31	2,67	2,62	2,50
60	36	2,50	2,64	2,48
58	38	2,66	2,71	2,58
67	31	2,69	2,66	2,62
64	33	2,69	2,65	2,58
63	35	2,75	2,66	2,64
62	34	2,70	2,65	2,56
51	44	2,61	2,68	2,52
60	33	2,54	2,65	2,43
56	37	2,61	2,56	2,40
62	32	2,62	2,63	2,47
66	31	2,67	2,65	2,58
62	35	2,63	2,61	2,54
TOPLAM				60.85 gr/cm³

- d. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait kuru birim hacim ağırlığı (γ_{unsat}), Tablo 2.5’de verilen değerler ile Tablo 2.11’de bulunan toplam değerlerin aritmetik ortalaması alındığında 2,49 gr/cm³ elde edilmiştir.

Tablo 2.11. Kum-çakıl ve tuvenan malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık

Çakıl Yüzdesi (%) (A)	Kum Yüzdesi (%) (B)	İnce Agrega Özgül Ağırlık (gr/cm³) (C)	İri Agrega Özgül Ağırlık (gr/cm³) (D)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³) ((DxA/100)+(CxB/100))
59	37	2.66	2.70	2.58
66	32	2.63	2.56	2.53
61	32	2.64	2.59	2.42
61	34	2.51	2.60	2.44
64	32	2.62	2.57	2.48
67	28	2.61	2.55	2.44
63	33	2.66	2.54	2.48
61	35	2.64	2.56	2.49
54	42	2.66	2.52	2.48
60	37	2.70	2.70	2.62
62	34	2.60	2.62	2.51
64	31	2.63	2.58	2.47
60	36	2.46	2.61	2.45
58	38	2.62	2.66	2.54
67	31	2.65	2.61	2.57
64	33	2.66	2.61	2.55
63	35	2.73	2.61	2.60
62	34	2.66	2.59	2.51
51	44	2.56	2.63	2.47
60	33	2.50	2.61	2.39
56	37	2.56	2.51	2.35
62	32	2.56	2.57	2.41
66	31	2.63	2.60	2.53
62	35	2.56	2.55	2.48
TOPLAM				59.79 gr/cm³

- e. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait poisson oranı (ν), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak 0.3 olarak kullanılmıştır.
- f. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait içsel sürtünme açısı(ϕ), Tablo 2.5'de 7 adet GP, 6 adet GM-GW, 9 adet GW ve 2 adet GM-GP olarak adlandırılan zemin sınıfının bulunduğu, bu malzemenin ocaktan iri ve ince daneli karışımı olduğundan tamamı göz önüne alınmıştır. GP zemin sınıfı için 37^0 , GM-GW zemin sınıfı için 35^0 , GW zemin sınıfı

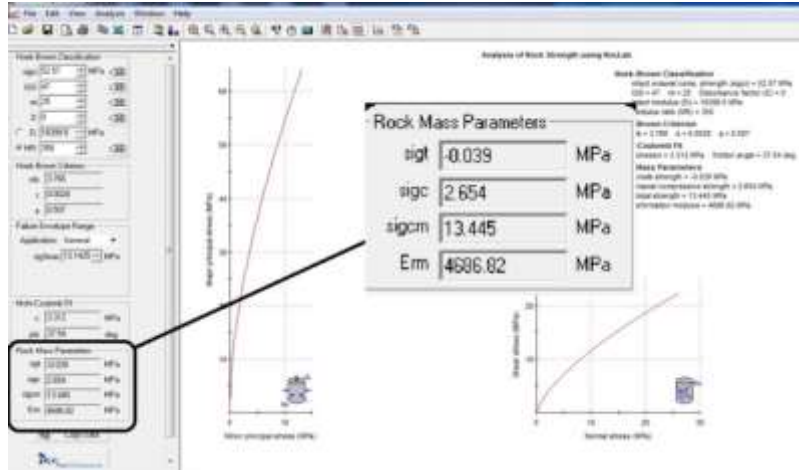
için 37⁰ ve GM-GP malzeme sınıfı için 50⁰ olarak kabul edilmiştir [51, 55, 57]. Bu değerlerin ortalaması 37,50⁰ olarak bulunmuş ve modellerde kullanılmıştır.

- g. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait dilatasyon açısı (Ψ), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak Denklem 2.37'e göre hesaplanmış ve 7.5⁰ olarak kullanılmıştır.
- h. Filtre tuvenan ve kum-çakıl malzemeye ait elastisite modülü (E), filtre kum ve filtre çakıl malzemenin karışımından oluşmasından ve aynı ocaktan alınmasından dolayı, filtre malzemelerine ait elastisite modüllerinin aritmetik ortalaması alındığında $160000+65000/2= 112500$ kN/m² olarak çıkmaktadır. Ancak çalışmada bu değer 120000 kN/m² olarak tercih edilmiştir

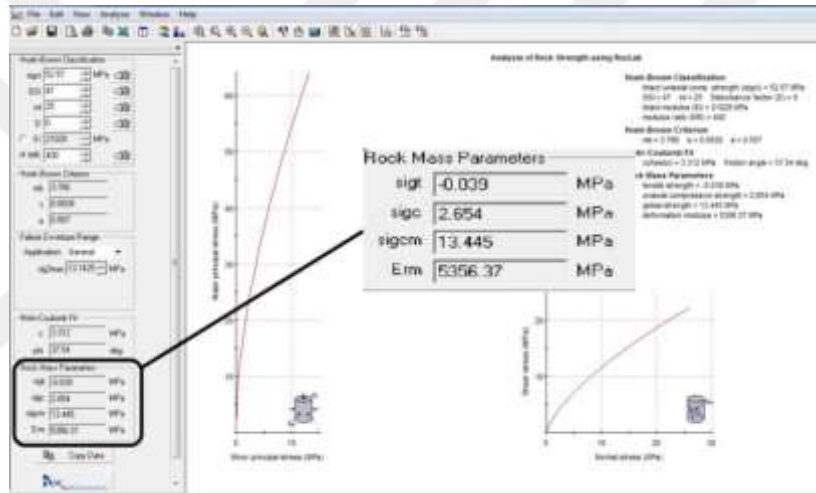
5. Ana kaya: Ana kaya için Lineer Elastik model seçildiğinden $k, E, \nu, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir. Alınan numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneylerine ait sonuçların (87.9, 347.8, 550.1, 1585.1, 488.2, 782.3, 578.6, 235.8, 738.2, 279.6, 323.8, 435.7 kg/cm²) ortalaması 536.09 kg/cm² çıkmış olup, bu değer 52.57 MPa olarak kabul edilmiş ve Roclab Version 1.033 programında kullanılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi sonucu, ana kayanın genel durumu ve malzeme alanlarına ait proje paftalarında ana kayanın bazalt, andezit ve kireç taşından oluştuğu göz önüne alınarak veriler Roclab Version 1.033'e girilmiştir.

- a. Ana kayaya ait poisson oranı (ν), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak 0.3 dikkate alınmıştır.
- b. Ana kayaya ait elastisite modülü (E), bazalt için Şekil 2.15'te görüldüğü gibi Roclab Version 1.033'den 4686.82 MPa olarak alınmıştır. Andezit için Şekil 2.16'da görüldüğü gibi Roclab Version 1.033'den 5356.37 MPa olarak alınmıştır. Kireç taşı için Şekil 2.17'de görüldüğü gibi Roclab Version 1.033'den 9373.64 MPa olarak alınmıştır.

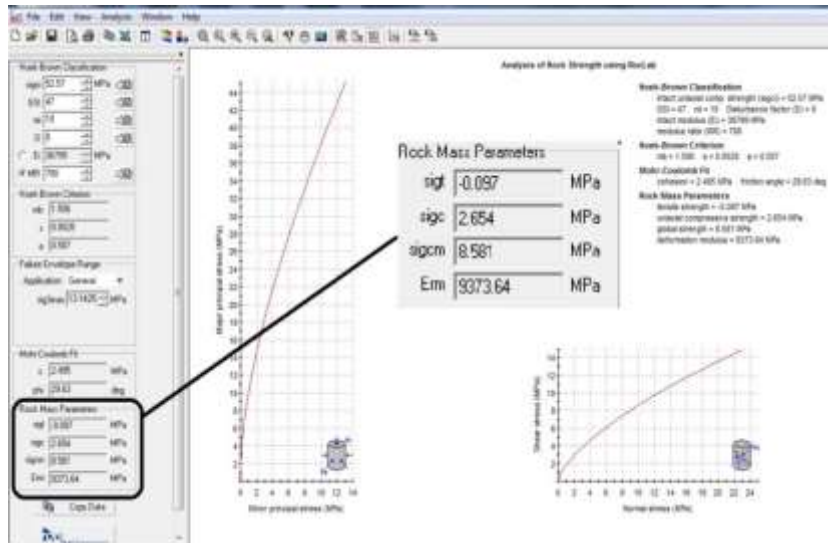
Ancak Plaxis v8.2 programına bu üç değer ve üç değer aritmetik ortalaması ayrı ayrı tanımlanmış analizler yapılmıştır, sonuçlar yaklaşık eşit çıktığından bu üç değere ait aritmetik ortalaması olan 6.472×10^6 kN/m² alınmıştır.



Şekil 2.15. Ana kayanın bazalt olması durumunda elastisite modülü



Şekil 2.16. Ana kayanın andezit olması durumunda elastisite modülü

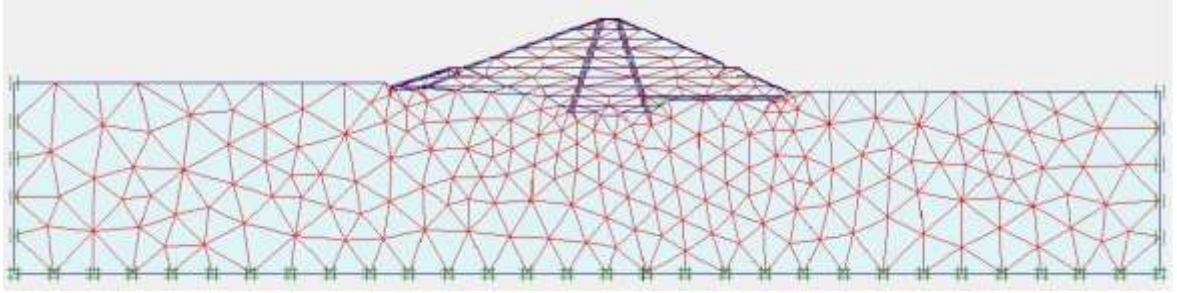


Şekil 2.17. Ana kayanın kireç taşı olması durumunda elastisite modülü

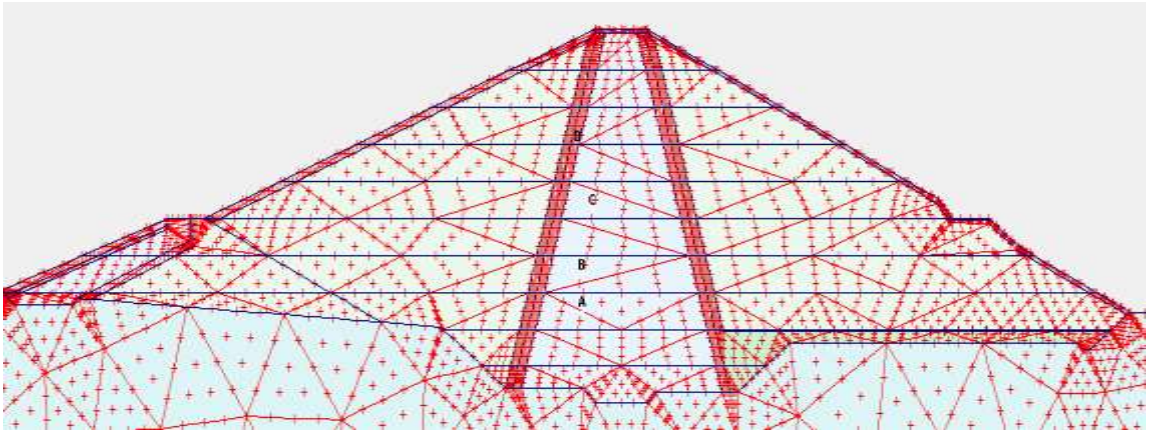
- c. Ana kayaya ait permeabilite katsayısı (k), baraja ait jeoteknik paftalar incelendiğinde, 10^{-3} m/sn olarak kabul edilmiştir. Bu değerlerin programda bulunan birime çevrildiğinde 1.157×10^{-8} m/gün olarak bulunmuş ve modellerde kullanılmıştır. Ayrıca x ve y yönü içinde aynı permeabilite katsayısı (k_x, k_y değerleri) aynı alınmıştır.
- d. Ana kayaya ait kuru birim hacim ağırlığı (γ_{unsat}) için tek eksenli basınç deneyi sonuçlarından alınan doğal birim hacim ağırlıklarının aritmetik ortalaması
 $(2.52+2.64+2.66+2.71+2.66+2.68+2.67+2.68+2.61+2.67+2.66+ 2.69 / 12 \text{ gr/cm}^3) = 2.65 \text{ gr/cm}^3$ ise 25.99 kN/m^3 e dönüştürülmüştür. Ancak Bu değer 26.00 kN/m^3 olarak kabul edilmiştir.
- e. Ana kayaya ait doymuş birim hacim ağırlık (γ_{sat}) için kuru birim hacim ağırlık olarak kabul edilen 26.00 kN/m^3 ve optimum su muhtevası % 7.69 olarak kabul edilerek Denklem 2.38'de hesaplanarak doymuş birim hacim ağırlığın yaklaşık 28.00 kN/m^3 olarak kabul edilmiştir.
6. Koruyucu Örtü ve Riprap: Baraj gövde memba ve mansap şevlerinde, şevlerin daha düzgün olması için inşa edilen malzemedir. Bu malzeme Mohr-Colomb modeli seçildiğinden $c, \phi, k, E, \nu, \Psi, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$ değerlerinin tespiti gerekmektedir.
- a. Malzemeye ait elastisite modülü (E), 160000 kN/m^2 olarak kabul edilmiş ve modellerde kullanılmıştır [51, 52, 53].
- b. Malzemeye ait poisson oranı (ν), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak 0.3 olarak dikkate alınmıştır.
- c. Malzemeye ait kohezyon (c) için Plaxis v8.2'e ait Manuals da kohezyon değerinin 0 kN/m^2 alındığında programda hatalar oluşabileceği ve bu nedenle 0.2 kN/m^2 den büyük seçilmesi gerektiği önerilmiştir. Bu nedenle bu değerlere yakın olarak modellerde 1 kN/m^2 kohezyon değeri tercih edilmiştir.
- d. Malzemeye ait permeabilite katsayısı (k), 4.32 m/gün olarak kabul edilmiştir [55, 56, 57].
- e. Malzemeye ait içsel sürtünme açısı (ϕ), zemin sınıfı göz önüne alınarak 40° olarak kabul edilmiştir [51, 55].

- f. Malzemeye ait dilatasyon açısı (Ψ), Plaxis v8.2 Manuals'da önerilen aralıklardan yola çıkılarak Denklem 2.37'e göre hesaplanmış ve 10^0 olarak modellerde kullanılmıştır.
- a. Malzemeye ait doymun birim hacim ağırlık (γ_{sat}), Tablo 2.6'da verilen değerlerin ortalaması alındığında, 2.73 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.
- b. Malzemeye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_{unsat}), Tablo 2.6'da verilen değerlerin ortalaması alındığında 2.70 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

Bu parametreler Şekil 2.14'e tanımlandıktan sonra, Şekil 2.18'te ki gibi modelin sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modelinde manyetik ekstansometrelerin bulunduğu koordinat ekseninde ve ölçüm aletlerinin ara bölgelerinde Şekil 2.19 da görünen dört gerilme noktası tanımlanmıştır.



Şekil 2.18. Model-1'in sonlu elemanlar ağı.



Şekil 2.19. Model-1'e ait gerilme noktaları

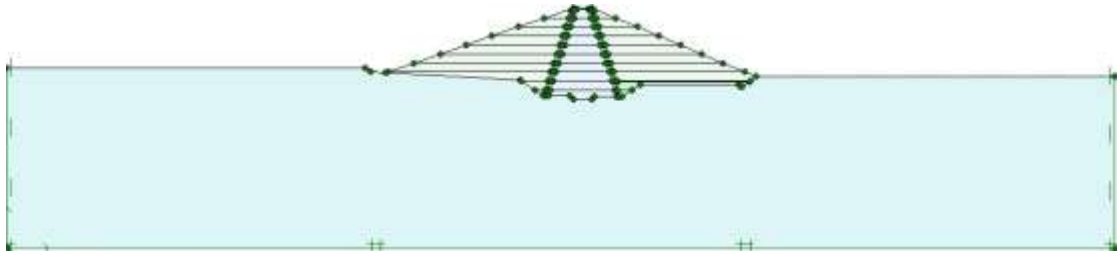
Programın analizleri yapacağı süre, T-7 ölçüm aletinin yerleştirildiği tarih dolgunun başlanıldığı tarih olarak kabul edilmiştir. Temmuz 2012 tarihinde bu ölçüm aletinden okuma yapılmıştır. Ancak P-7 ve P-8 daha yüksek kotlarda olmasına rağmen Haziran

2012 tarihinde okuma yapılmıştır. Gövde temelinde yer alan T-9 ve T-10 ölçüm aletlerinden ilk okumalar ise Aralık 2011 tarihinde alınmış bu da dolgunun 2011 yılının son ayları 2012 yılının ilk aylarında başlanıldığını göstermektedir. HR-8 ve HR-24 ölçüm aletlerinden alınan ilk okuma veya yerleştirilme tarihleri gövde dolgu imalatının tamamlandığı tarihi göstermektedir. Ancak harici çökme röperlerine ait okuma veya yerleştirilme tarihleri tarafıma verilmediğinden bu ölçüm aletleri değerlendirilmeye alınmamıştır. M-15 ölçüm aletinden yapılan ilk okuma gövde imalatının bittiği tarihi gösterdiği Aralık 2013 tarihi kabul edilmiştir. Ayrıca Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 incelendiğinde doğruluğunu göstermektedir. Bu nedenle 730 günlük senaryo programda kullanılmıştır.

Baraj gövdesinin tamamlandığı ve henüz suyun tutulmadığı 730 gün sonra baraj gövdesini statik yükler altında yatay ve düşey deplasman değeri bulunmuştur. Şekil 2.14'te görülen baraj gövdesinin deplasman değerleri Tablo 2.12'de verilmiştir.

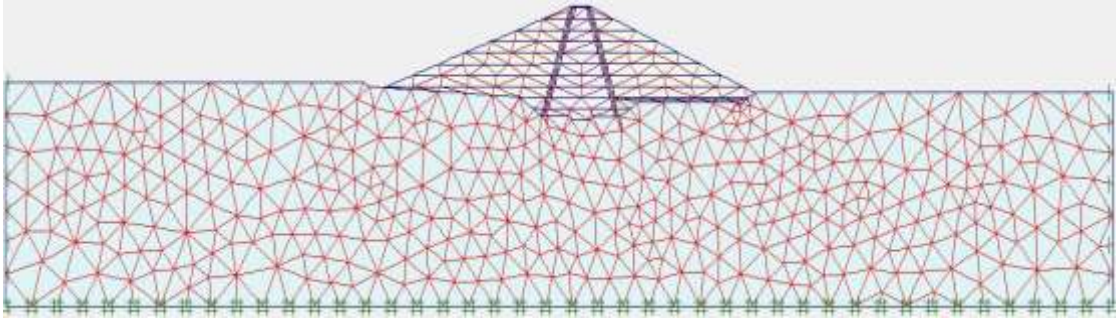
Tablo 2.12. Model-1'e ait deplasman değerleri.

Gerilme Noktası Adı	Yatay Deplasman (m)	Düşey Deplasman (m)
A	+ 0.011	- 0.103
B	+ 0.014	- 0,135
C	+ 0.017	- 0.176
D	+ 0.039	- 0.186



Şekil 2.20. Model-2.

Model-1'de bulunan gövde memba şev topuğunda yer alan batardo, mansap şevinde yer alan yol ve gövde şevinde yer alan koruyucu tabakaların (riprap, koruyucu tabaka) sonlu elemanlar ağı oluştururken düzgün bir ağ oluşmamasından dolayı kaldırılmış ve Şekil 2.20'de yer alan Model-2 oluşturulmuştur. Şekil 2.20'de görülen modelin Şekil 2.21'de ki gibi sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Model-1 için seçilen dört gerilme noktası Model-2 içinde aynı lokasyonlarda seçilmiş ve Model-2'nin inşaat sonu statik yükler altında yatay ve düşey deplasmanları Tablo 2.13'de ki gibi çıkmıştır.



Şekil 2.21. Model-2'e ait sonlu elemanlar ağı.

Tablo 2.13. Model-2'e ait deplasman değerleri.

Gerilme Noktası Adı	Yatay Deplasman (m)	Düsey Deplasman (m)
A	+ 0.009	- 0.124
B	+ 0.011	- 0.151
C	+ 0.017	- 0.199
D	+ 0.026	- 0.227

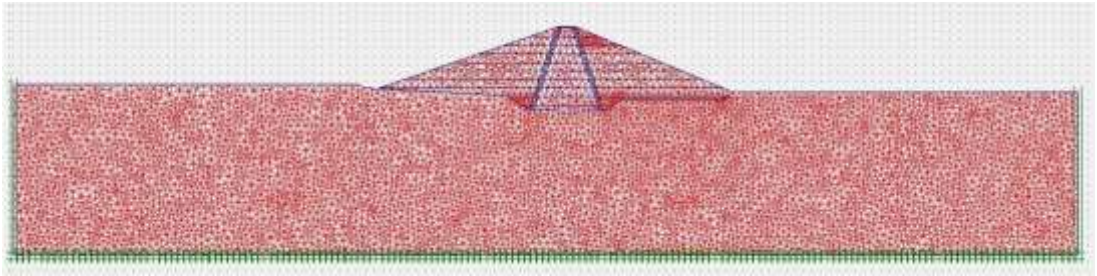
Elde edilen x ve y yönündeki deplasman değerleri birbirine yakın olduğundan bu çalışmada Model-1'in sadeleştirilmiş şekli olan Model-2 kullanılmıştır. Oluşturulan model ile daha düzgün bir sonlu elemanlar ağıda elde edilmiştir. Sonuçlar manyetik ekstansometre aletlerindeki okuma değerleri ile karşılaştırıldığında ise yaklaşık eşit sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

3. BULGULAR

Bu bölümde Model-2'nin oturma analizleri (inşaat sonu için), sızma analizi (maksimum su seviyesindeki durum için), şev analizi (gövde şevinin inşaat sonu durumu için) ve dinamik analizler (Model-2 ve yeni oluşturulan iki model için iki farklı deprem yükü altındaki durumları için) yapılmıştır. Daha önce Bölüm 2.7'de yapılan deplasman analizlerinde, Model-2'ye ait sonlu elemanlar ağı daha yoğun bir şekilde oluşturulmuş, analiz senaryoları ise gerçeğe yakın olarak tanımlanmış ve analizler bu doğrultuda yapılmıştır.

3.1. Kanak Baraj Gövdesine Ait Oturma Analizi

Baraj gövdesinde yapılacak oturma analizleri gövde inşaatının tamamlandığı su yükünün bulunmadığı durum (inşaat sonu) için yapılmıştır. Model-2'ye ait malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra Şekil 3.1'de görüldüğü gibi daha yoğun şekilde sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar ağı 13594 eleman ve 109581 düğüm noktasından meydana gelmektedir. Bu değerler daha da artırılarak yapılacak analizlerdeki hata payı minimuma indirgenebilir. Ancak daha yoğun sonlu eleman ağı, daha fazla bilgisayar hafızasına ve işletim kapasitesine ihtiyaç duyacaktır.

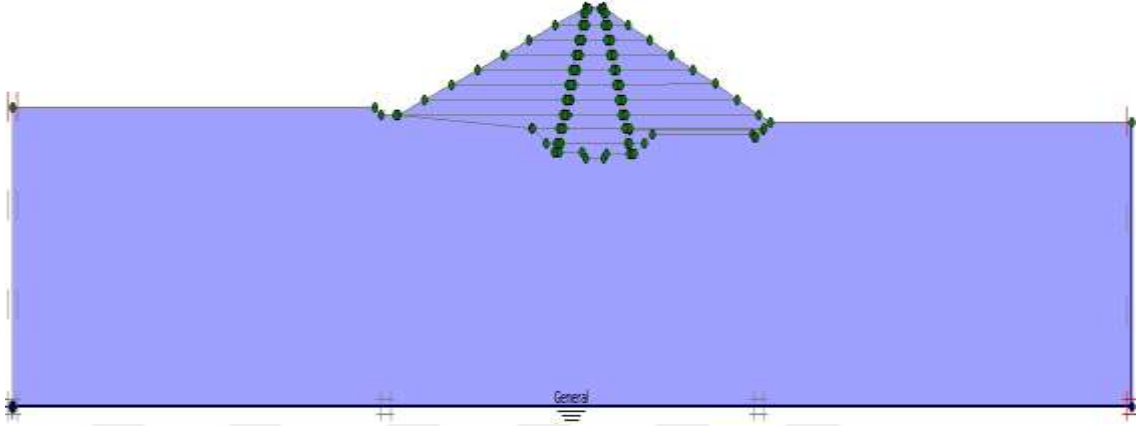


Şekil 3.1. Baraj gövde ve temel sistemin sonlu elemanlar ağı

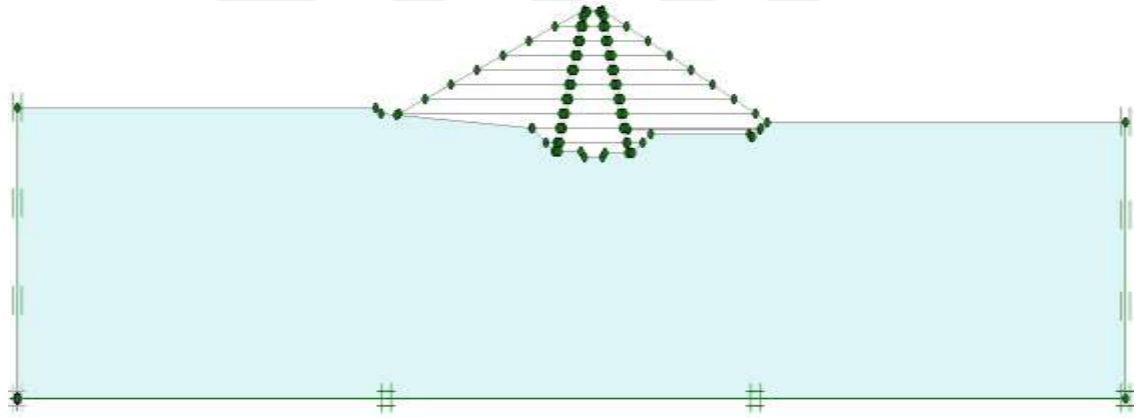
Palxis v8.2'de bulunan başlangıç şartları için Şekil 3.2'de görüldüğü gibi model tamamen kuruda ve Şekil 3.3'te görüldüğü gibi sadece modelde ana kayanın temel kazısı yapılmış hali tanımlanmıştır.

Programda başlangıç durumunun hatalı girişi oluşturulacak senaryoda büyük hatalara neden olmaktadır. Çünkü baraj gövdesinin aktif olduğu durum ile başlangıç şartı tanımlandığında senaryo içerisinde gerilmeler önce baraj gövdesinin bulunduğu

durum için oluşturulup akabinde kazılmış gibi düşünülebilir. Oysaki bu çalışmada temel kazısı yapılmış ve üzerine zamana bağlı baraj gövde inşaatının yapıldığı bir analiz senaryosu oluşturulmuştur.



Şekil 3.2. Oturma analizinde Model-2'nin su seviyesi

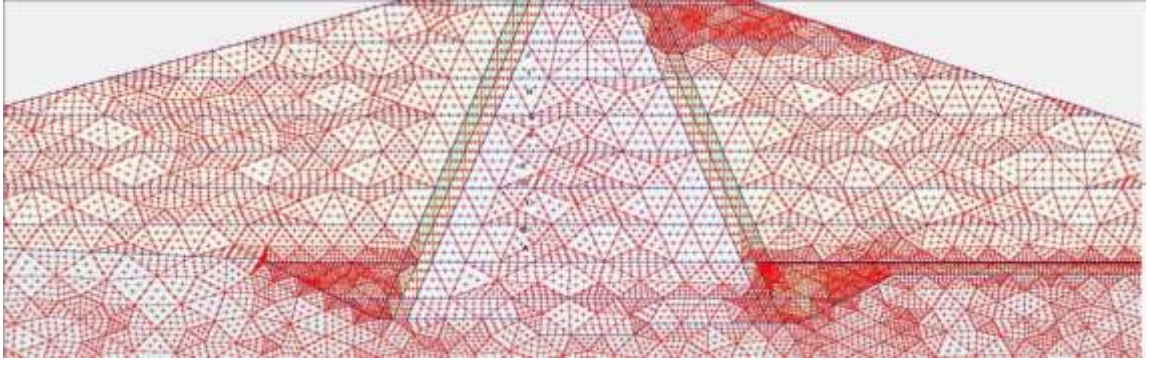


Şekil 3.3. Oturma analizinde Model-2'nin başlangıç durumu

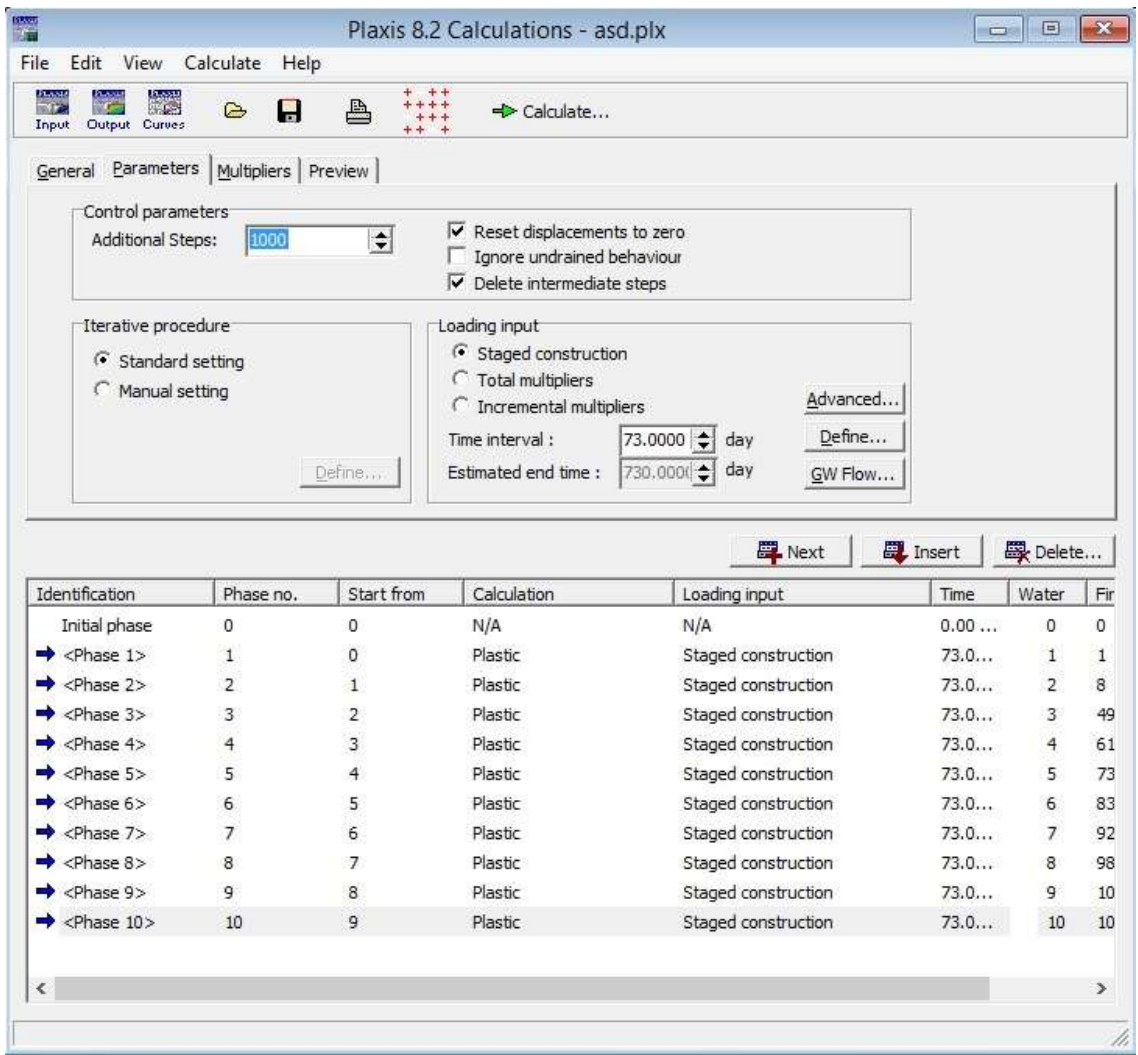
Baraj gövde inşaatına ait senaryo Bölüm 2.8'de belirtildiği gibi ölçüm aletlerinin durumu ve baraj gövde tarihçesi göz önünde bulundurularak 730 gün olarak alınmıştır.

Manyetik ekstansometre aletlerinin bulunduğu koordinatlara yakın lokasyonlara ise Şekil 3.4'te görüldüğü gibi sonuç alabilmek için gerilme noktaları tanımlanmıştır. Koordinatların yaklaşık aynı lokasyonda olmamasının sebebi ise program tarafından oluşturulan gerilme noktalarına ait lokasyonların seçilebilir olmamasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi baraj gövde inşaatına ait senaryo ve tanımlanmış yöntemler belirlendikten sonra inşaat sonu durumu için analizler yapılmıştır.



Şekil 3.4. Model-2’de seçilen gerilme noktaları



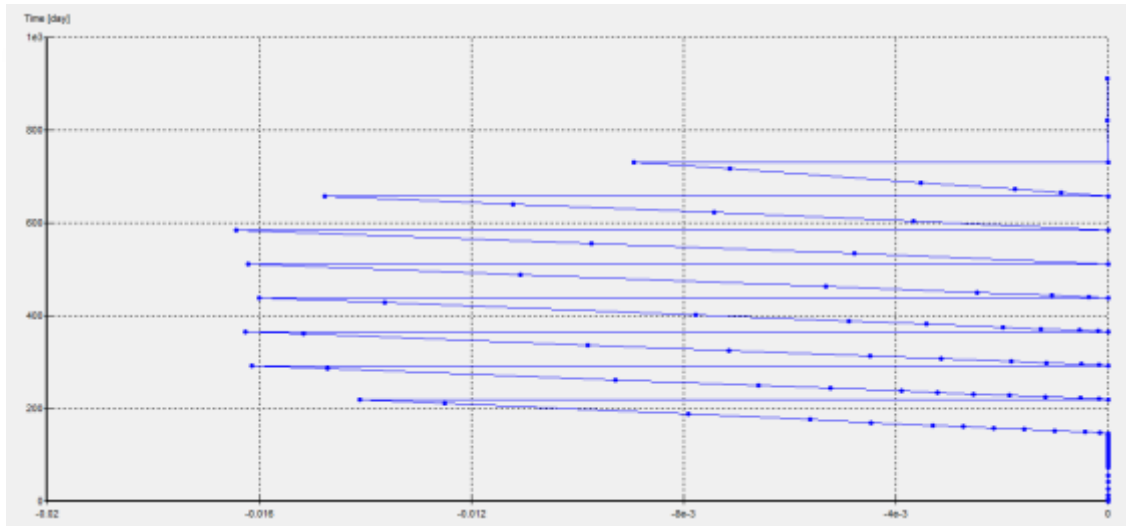
Şekil 3.5. İnşaat sonu durum için Plaxis v8.2’de oluşturulmuş senaryo

Analizler için manyetik ektasometreler ile yaklaşık aynı koordinatlarda seçilen 9 düğüm noktasından ara lokasyonlarda bulunan 3 düğüm noktasına ait sonuçların yorumlanması yeterli olacaktır. Bu nedenle, M-5 ölçüm aleti ile aynı lokasyonda olan B

noktası, M-9 ölçüm aleti ile aynı lokasyonda bulunan F noktası ve M-13 ölçüm aleti ile aynı lokasyonda bulunan J noktası analiz sonuçlarının yorumlanması için seçilmiştir.

Analizler yapılırken Plaxis v8.2 programında deplasmanları sıfırlayıp devam et seçeneği etkinleştirilmiş ve analizler sonucunda oluşan maksimum deplasmanlar toplanarak toplam deplasman bulunmaya çalışılmıştır.

B noktasına ait düşey deplasman-zaman grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'da bulunan grafikte oluşan ve maksimum düşey deplasman günleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde toplam düşey deplasmanın -11.79 cm olduğu tespit edilmiştir.

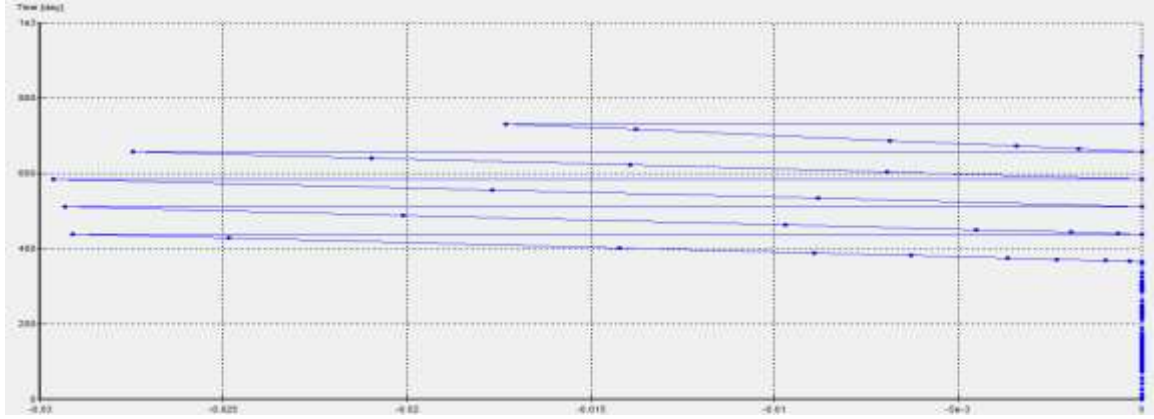


Şekil 3.6. B noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği

Tablo 3.1. B noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar

Zaman (gün)	Düşey Deplasman (m)	Toplam Düşey Deplasman (m)
219	-0.014	-0.1179
292	-0.016	
365	-0.016	
438	-0.016	
511	-0.016	
584	-0.016	
657	-0.015	
730	-0.0089	

F noktasına ait düşey deplasman-zaman grafiği Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Şekil 3.7'de bulunan grafikte oluşan ve maksimum düşey deplasman günleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Tablo 3.2 incelendiğinde toplam düşey deplasmanın -13.20 cm olduğu tespit edilmiştir.

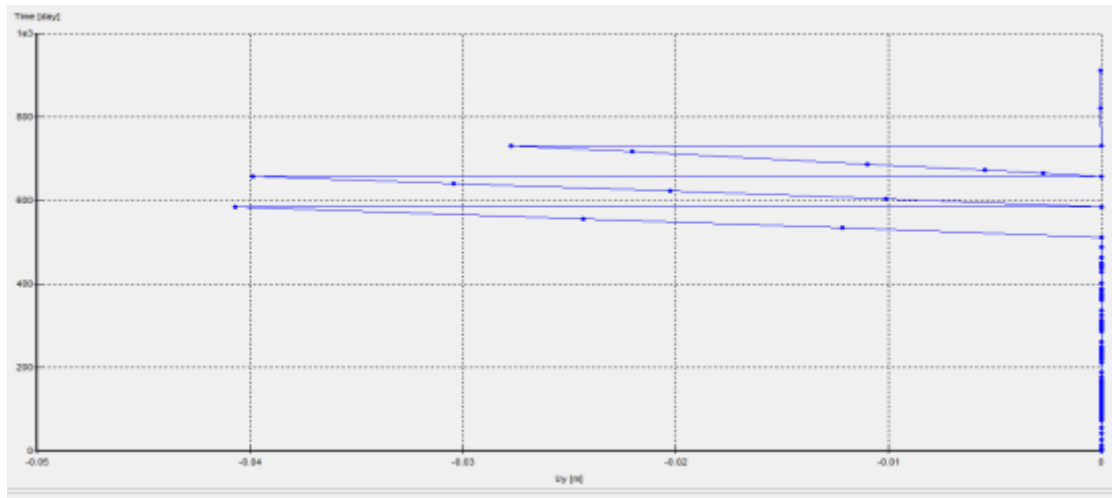


Şekil 3.7. F noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği

Tablo 3.2. F noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar

Zaman (gün)	Düşey Deplasman (m)	Toplam Düşey Deplasman (m)
438	-0.029	-0.132
511	-0.029	
584	-0.03	
657	-0.027	
730	-0.017	

J noktasına ait düşey deplasman-zaman grafiği Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Şekil 3.8’de bulunan grafikte oluşan ve maksimum düşey deplasman günleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Tablo 3.3 incelendiğinde ise toplam düşey deplasmanın -10.90 cm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. J noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiği

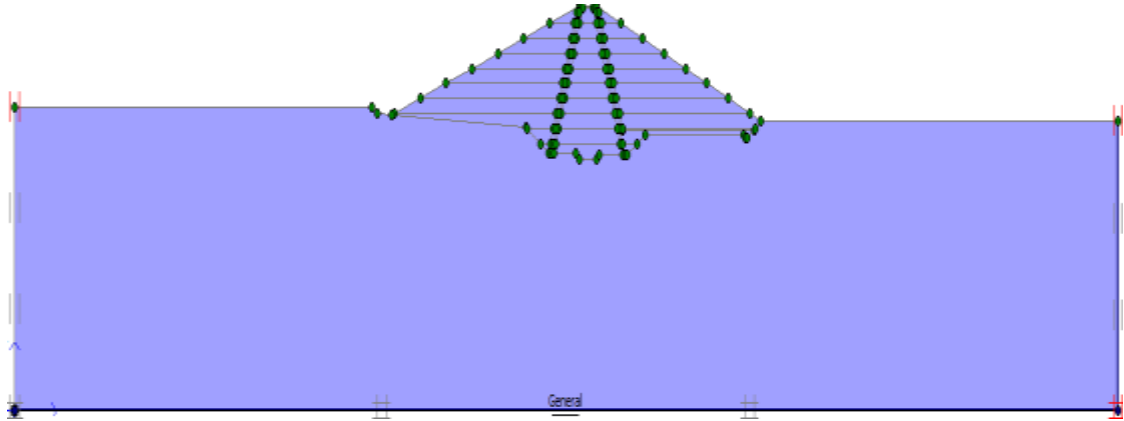
Tablo 3.3. J noktasında meydana gelen düşey deplasman-zaman grafiğine ait sonuçlar

Zaman (gün)	Düşey Deplasman (m)	Toplam Düşey Deplasman (m)
584	-0.041	-0.109
657	-0.04	
730	-0.028	

B (M-5 ölçüm aleti lokasyonunda) F (M-9 ölçüm aleti lokasyonunda) ve J (M-13 ölçüm aleti lokasyonunda) gerilme noktalarına ait sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar, B noktası için negatif yönde 11.79 cm, F noktası için negatif yönde 13.20 cm ve J noktası için negatif yönde 10.90 cm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar manyetik ekstansometrelerden alınan okuma sonuçlarına yaklaşık eşit çıkmıştır.

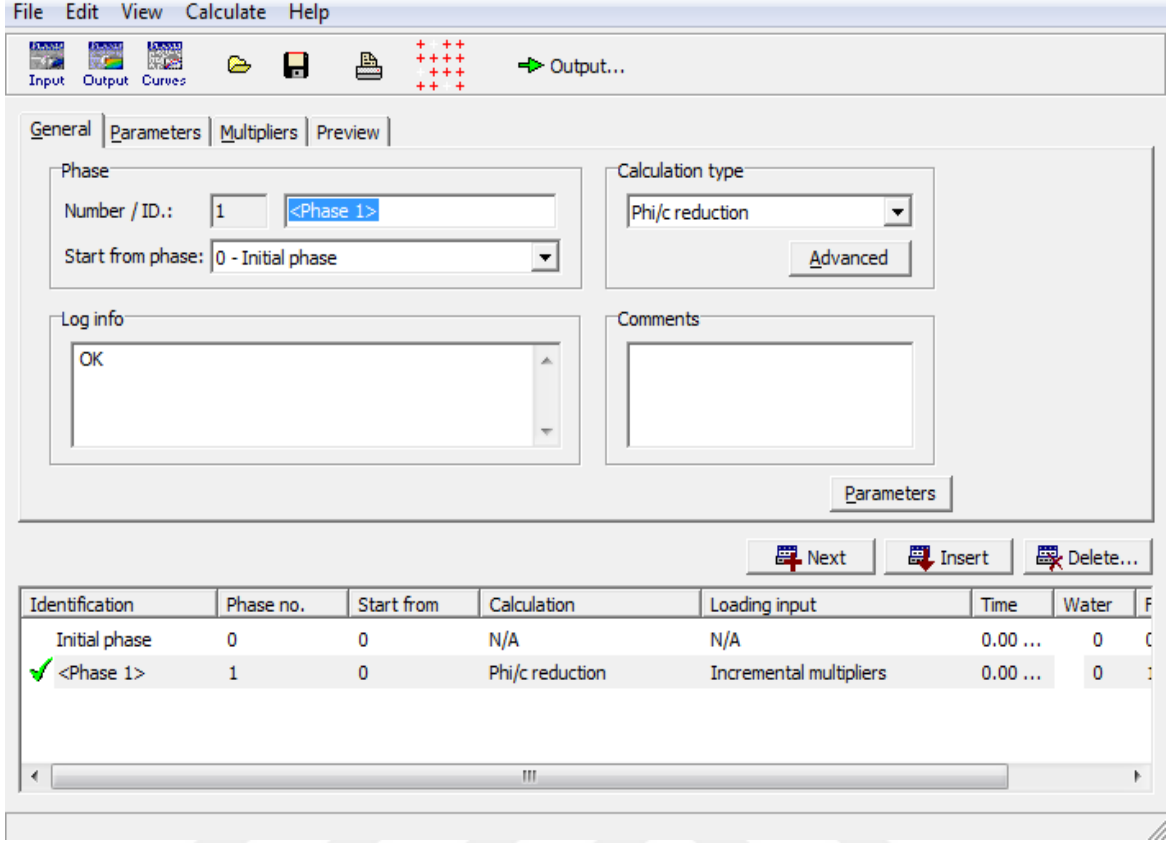
3.2. Kanak Baraj Gövdesine Ait Şev Analizleri

Baraj gövdesinde yapılacak şev analizi gövde inşaatının tamamlandığı su yükünün bulunmadığı durum (inşaat sonu) için yapılmıştır. Model-2'ye malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra Şekil 3.1'de verilen sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar ağı 13594 eleman, 109581 düğüm noktası bulunmaktadır.

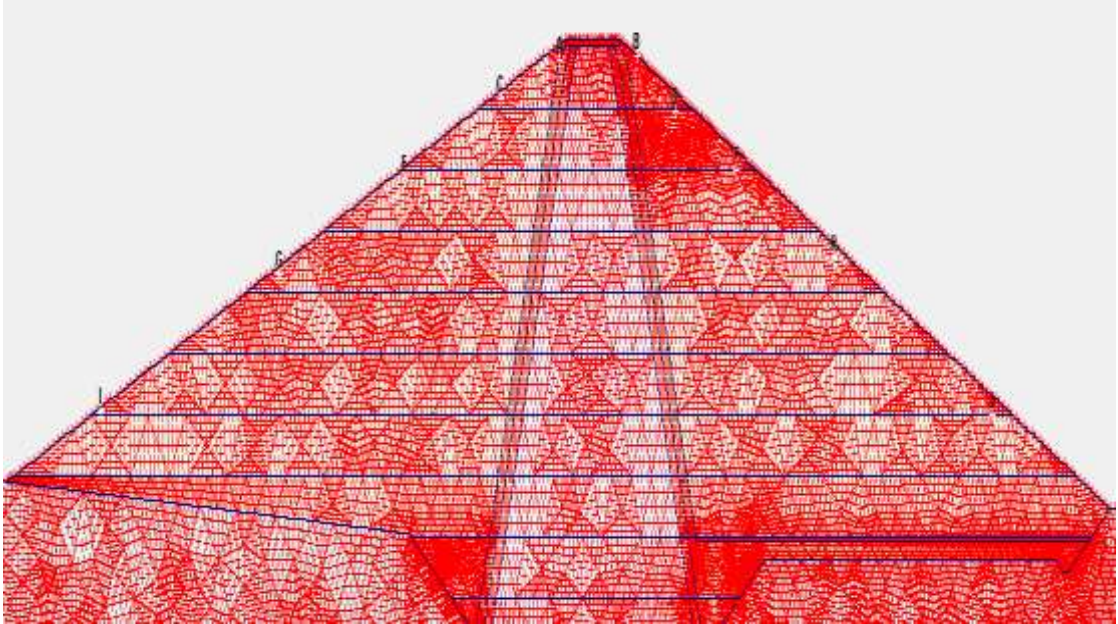


Şekil 3.9. Şev analizinde Model-2'nin su seviyesi

Plaxis v8.2'de bulunan başlangıç şartları için Şekil 3.9'da görüldüğü gibi model tamamen kurudur. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi senaryo oluşturulmuş ve ayrıca şev analizi yapılması için Phi/c reduction hesap yöntemi seçilmiştir. Ayrıca Şekil 3.11'de şevlere yakın bölgelerde gerilme noktaları seçilmiştir.

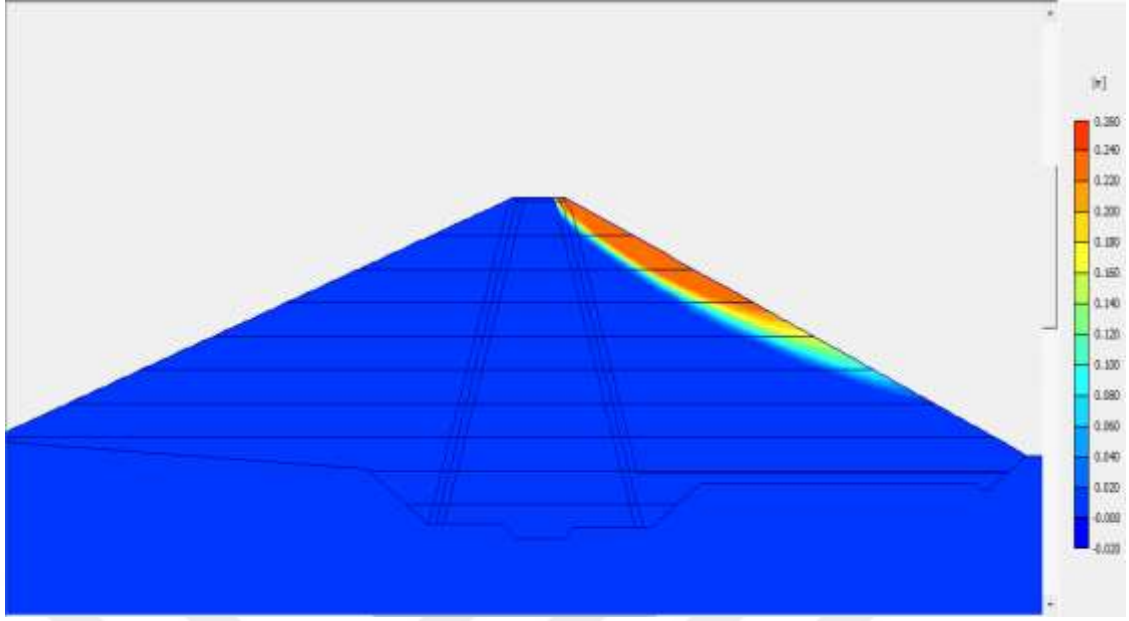


Şekil 3.10. Şev analizinde seçilen yöntemler ve çözüm senaryosu

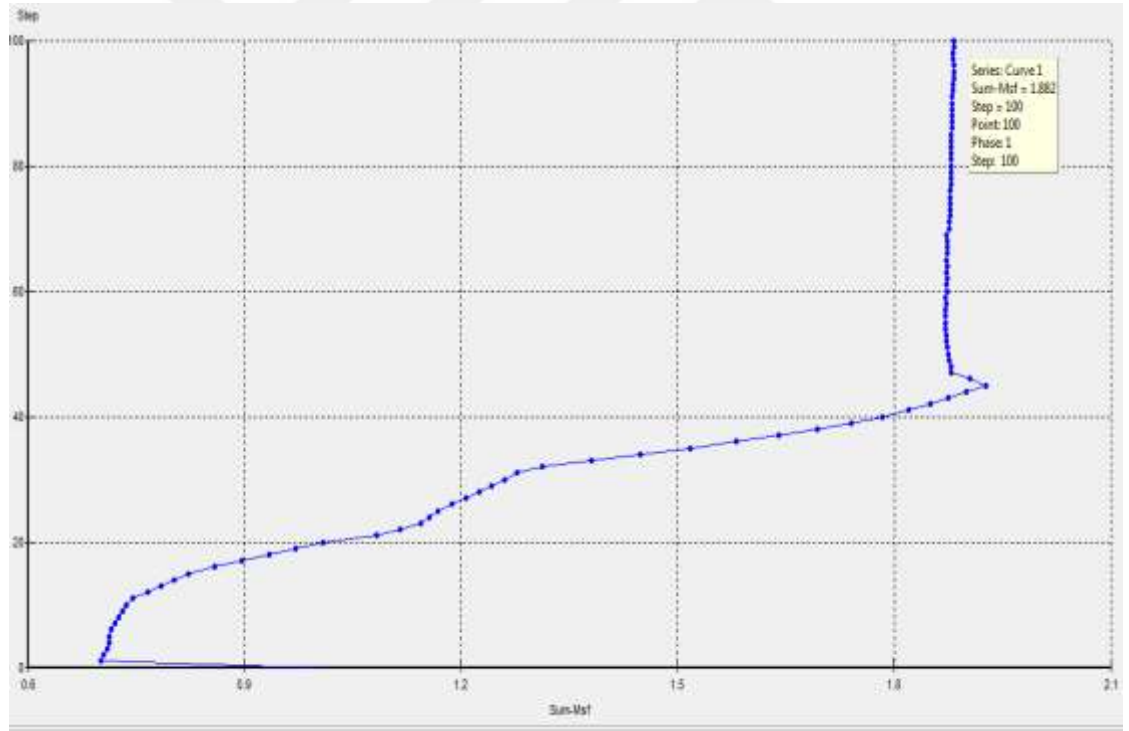


Şekil 3.11. Şev analizinde seçilen gerilme noktaları

Şekil 3.10'de görüldüğü gibi 100 adımda yapılan analiz sonucunda Şekil 3.12'de ki kayma dairesinin ve Şekil 3.13'te görülen 1.882 olan güvenlik katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 3.12. Şev analizi sonucunda elde edilen kayma dairesi

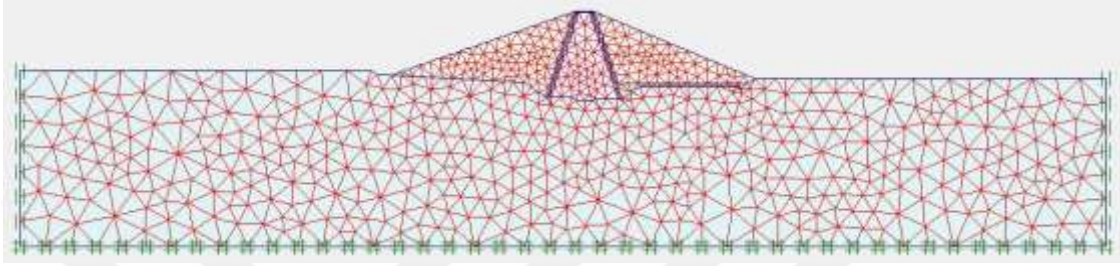


Şekil 3.13. Şev analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayısı

Dolgu barajlar için kabul edilen şev güvenlik katsayılarından inşaat sonu olağandışı durum için şev güvenlik katsayısını 1.30 olarak alınabileceği tavsiye edilmiştir [58]. Elde edilen güvenlik katsayısının (1.882) ise 1.30 dan büyük olduğu görülmüştür.

3.3. Kanak Baraj Gövdesine Ait Sızma Analizleri

Baraj gövdesinde ve gövde altı temelinde yapılacak sızma analizi gövde inşaatının tamamlandığı su yükünün bulunduğu durum (işletme hali) için yapılmıştır. Model-2'ye malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra Şekil 3.14'de görüldüğü gibi sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.



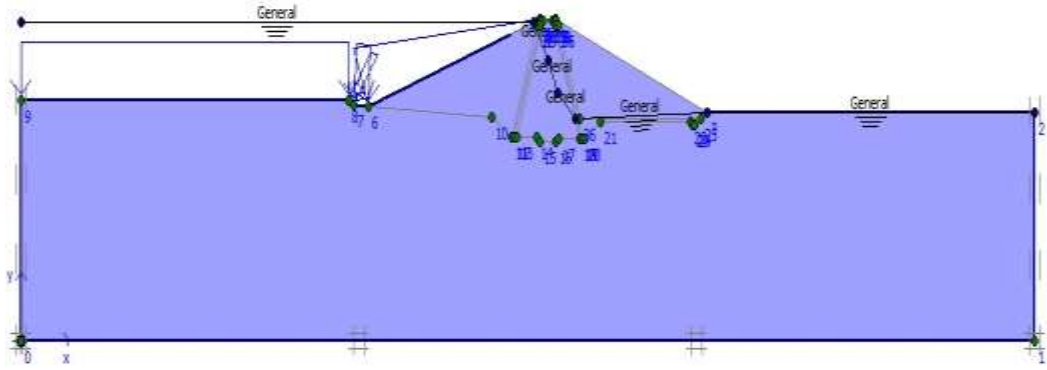
Şekil 3.14. Sızma analizi için baraj gövde ve temel sisteminin sonlu elemanlar ağı

Sızma analizi başlangıç durumunda maksimum su seviyesi için yapılmıştır. Suyun maksimum seviyede olduğu Bölüm 2.2 incelendiğinde 2016 yılının ilk aylarında olduğu görülmektedir. Ancak, temel ve gövde tipi piyezometre (T ve P) aletlerine ait okuma sonuçları incelendiğinde aletlerin 2014 yılının ilk ayları ve 2015 yılının ilk aylarında basınç artışları gösterdiği görülmektedir. Bu da çalışmada 300 gün olarak kabul edilmiştir. 300 günlük süre için Şekil 3.15'te görülen sızma hattı, ölçüm aletlerinin kotlarına bağlı olarak bulunmuştur. P-4, P-5 ve P-7 ölçüm aletlerine ait okuma sonuçları incelendiğinde basınç değerlerinde yüksek bir artışın olmadığı görülmektedir. P-6 ölçüm aletinde ise 21.03.2014 tarihinde yapılan okuma ile yüksek bir basınca yani ıslanmaya maruz kaldığı ve basınç değerinde %21.49 oranında bir artış gösterdiği görülmektedir. P-7 ve P-8 ölçüm aletlerinin ise basınç değerinin ilk ölçüm ile son ölçüm arasında artış gösterdiği ve bunun nedenin ise lokasyonlarından dolayı baz akımdan etkilendiklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

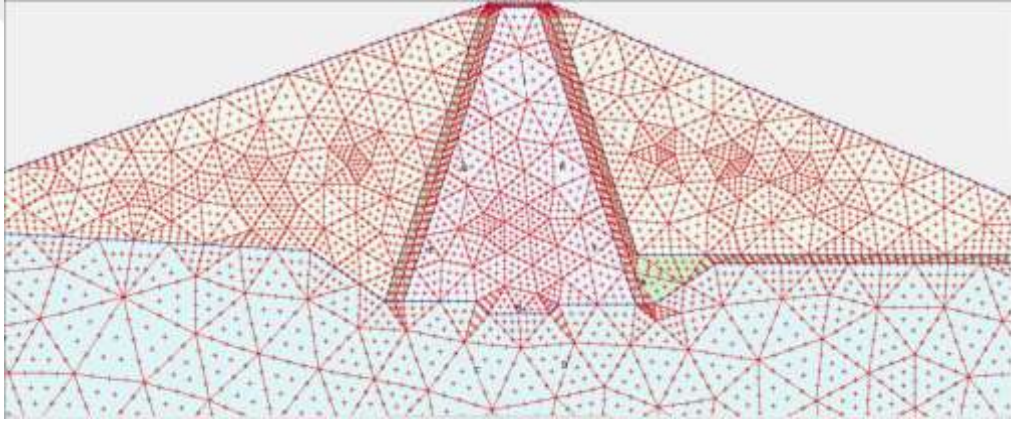
Sızma analizi yapılması için Consolidasyon hesap yöntemi seçilmiştir. Ayrıca Şekil 3.16'da gövde ve temel tipi piyezometrelerin bulunduğu lokasyonlara yakın bölgelerde gerilme noktaları seçilmiştir.

Analizler için gövde ve temel tipi piyezometreler ile yaklaşık aynı koordinatlar da seçilen 9 düğüm noktasından 1 düğüm noktası seçilmiştir. Bunlar, P-6 ölçüm aleti ile aynı lokasyonda olan G noktasıdır.

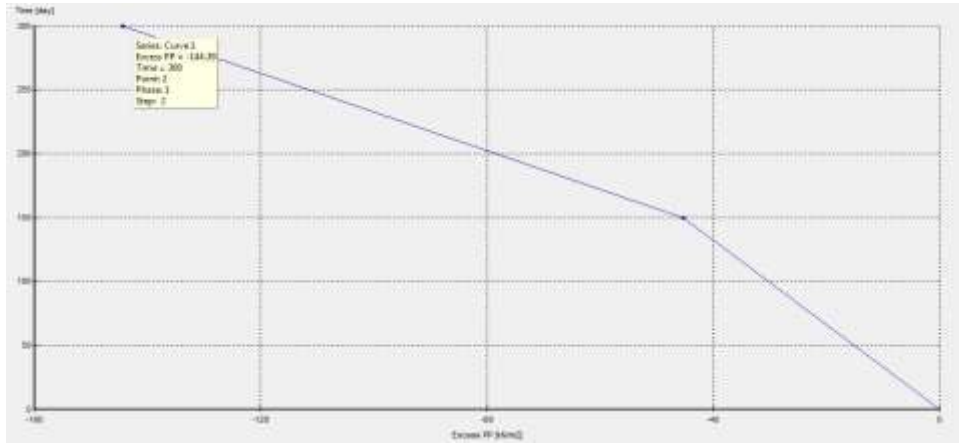
G noktasına ait boşluk basıncı-zaman grafiği Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Şekil 3.17’de bulunan grafikte oluşan maksimum basınç değeri 144.39 kN/m^2 dir.



Şekil 3.15. Sızma analizi için baraj gövdesinde oluşturulan sızma hattı ve su seviyesi



Şekil 3.16. Sızma analizinde seçilen gerilme noktaları



Şekil 3.17. Sızma analizi sonucunda G noktası için elde edilen basınç değeri

Baraj gövdesinde meydana gelen basınçlar için P-6 ölçüm aletinin bulunduğu noktada yer alan G noktasında 144.39 kN/m^2 basınç sonucu bulunmuştur. Bu P-6 ölçüm aletinde okunan basınç değerine yakın bir değerdir.

3.4. Kanak Baraj Gövdesine Ait Dinamik Analizler

Plaxis v8.2 programında dinamik analizlerde Denklem 3.1 eşitliği kullanılmaktadır. Bu eşitlikte M kütle matrisini, u deplasman vektörünü, C sönüm matrisini, K rijitlik matrisini ve F yük vektörünü ifade etmektedir [44,59].

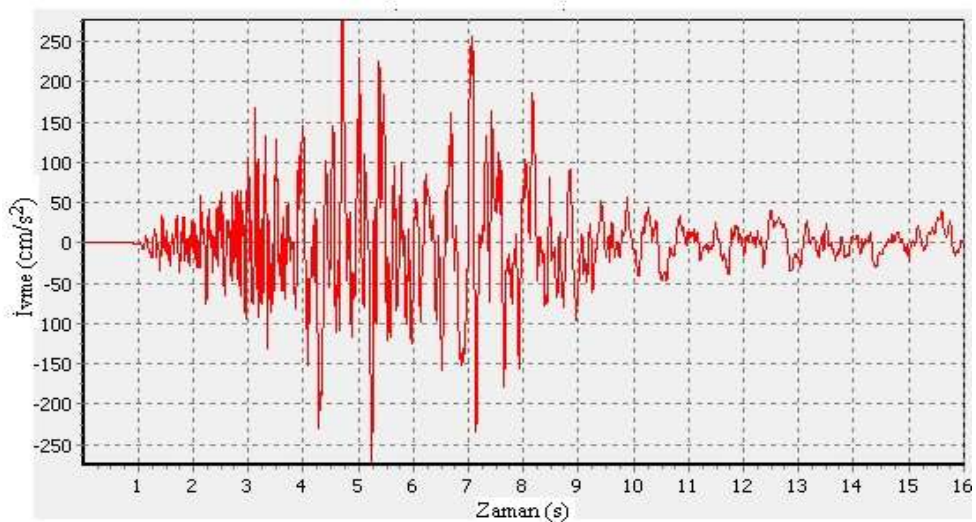
$$Mu'' + Cu' + Ku = F \quad (3.1)$$

Denklem 3.2'de görüldüğü üzere titreşim katsayı sonlu elemanlar yönteminde kütle ve rijitlik (Rayleigh Sönümü) matrislerine bağlıdır [44,59].

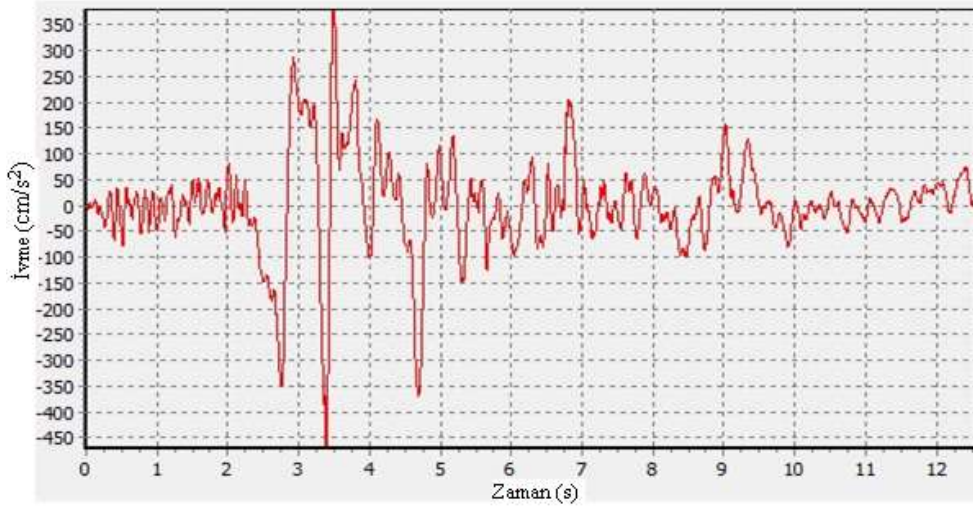
$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (3.2)$$

Bu çalışma kapsamında yapılacak dinamik analizler baraj rezervuarında su olmadan inşaat sonrası durum için yapılmıştır. Dinamik yük olarak 01.05.2003 tarihinde Bingöl Merkez Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'nde kayıt altına alınan Bingöl Depremi ve 13.03.1992 tarihinde Erzincan Merkez Meteoroloji Müdürlüğü'nde kayıt altına alınan Erzincan Depremi kullanılmıştır.

Bingöl depremine ait ivme kaydının etkin olduğu 19-33 saniyeleri arası Doğu-Batı bileşeni, Erzincan depremine ait ivme kaydının ise etkin olduğu 0-13 saniyeleri arası Doğu-Batı bileşeni dinamik analizlerde kullanılmıştır (Şekil 3.18, Şekil 3.19). Her iki deprem kaydı pozitif x doğrultusunda (membadan mansaba doğru) uygulanmıştır.



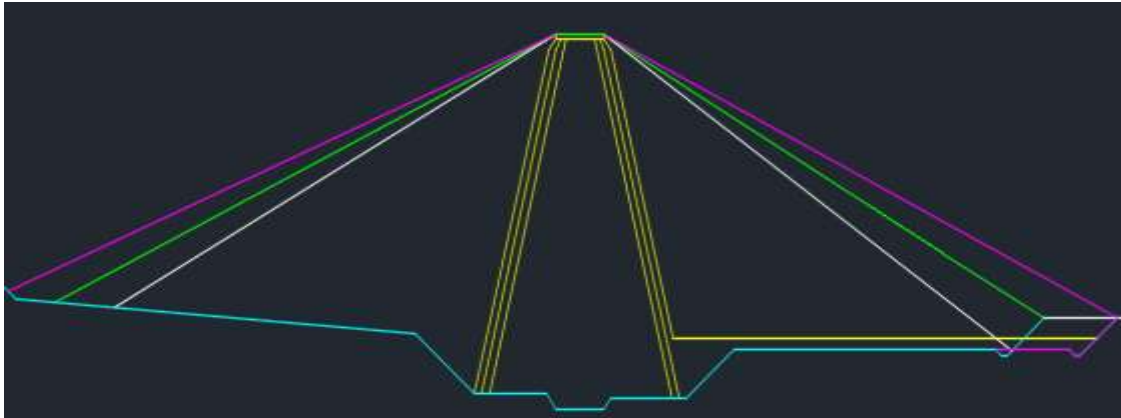
Şekil 3.18. Bingöl Depremi ivme-zaman grafiği



Şekil 3.19. Erzincan Depremi ivme-zaman grafiği

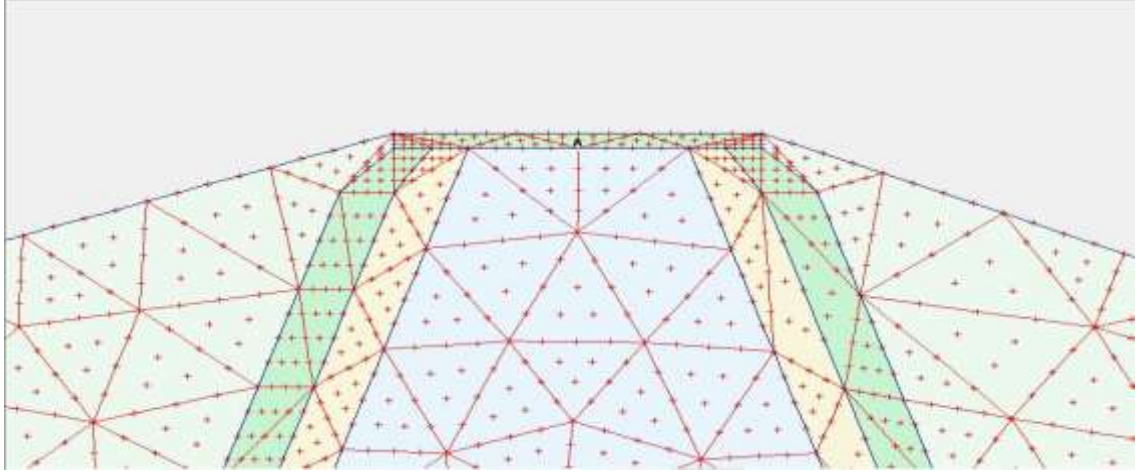
Kanak Baraj gövdesinin memba şevi 1/2.9 mansap şevi ise 1/2.4 dür. Kanak Baraj gövdesinin memba ve mansap şevleri arttırılıp azaltılarak elde edilen iki yeni model için dinamik analizler tekrarlanmıştır. Yeni oluşturulan modellerde memba şevi 1/3.3 ve 1/2.5, mansap şevi ise 1/2.8 ve 1/2 olarak dikkate alınmıştır.

Eğimin arttığı model mor renk (Model-3) ile eğimin azaldığı model ise beyaz renk (Model-4) ile gösterilmiştir (Şekil 3.20). Yeni oluşturulan modellerin temel boyutlarında ise değişiklik yapılmamıştır.



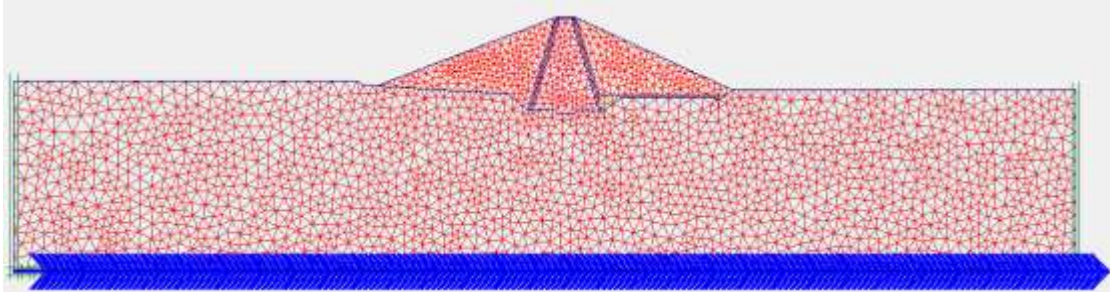
Şekil 3.20. Dinamik analizler için kullanılan modeller

Dinamik analizler başlatılmadan önce üç model (Model-2, Model-3 ve Model-4) için de eşit koordinatlarda bulunan (baraj gövde kreti) A noktasından analiz sonuçları alınacaktır (Şekil-3.21).



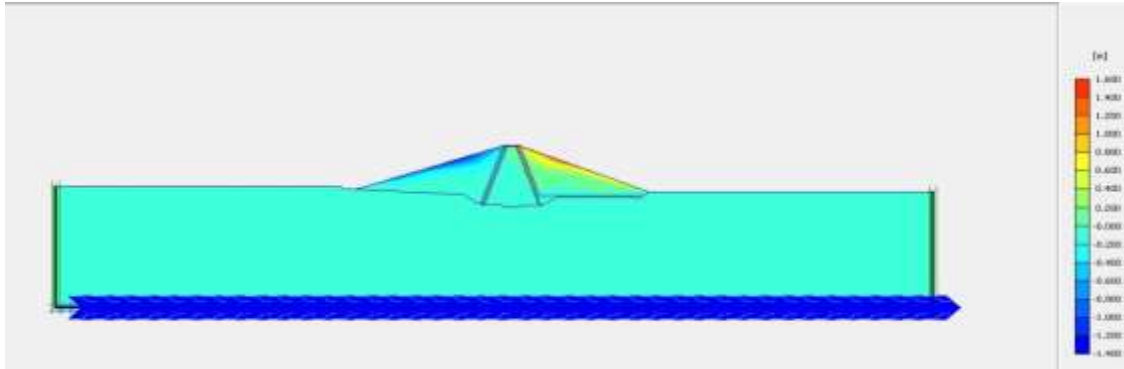
Şekil 3.21. Bingöl Depremi için oluşturulan Model-2'de seçilen gerilme noktası

Model-2'nin Bingöl Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.22'de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağında 4685 eleman ve 37971 düğüm noktası bulunmaktadır.

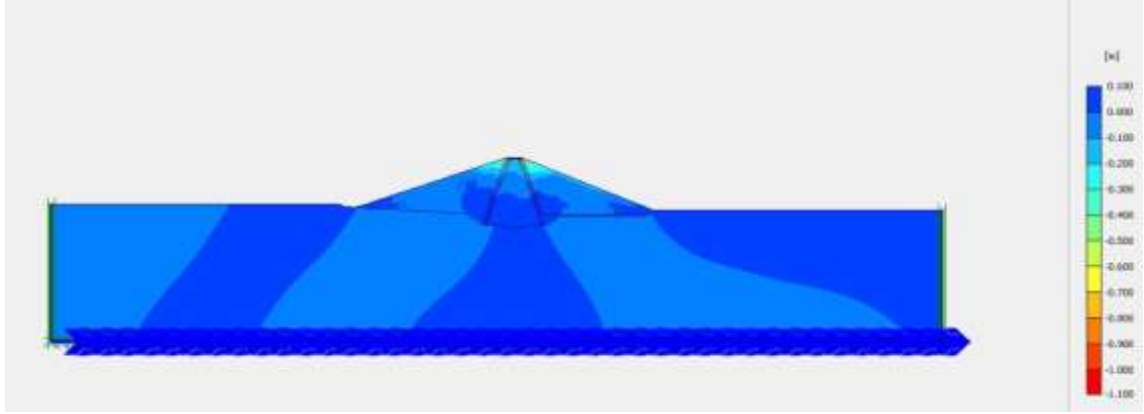


Şekil 3.22. Bingöl Depremi için oluşturulan Model-2'ye ait sonlu elemanlar ağı

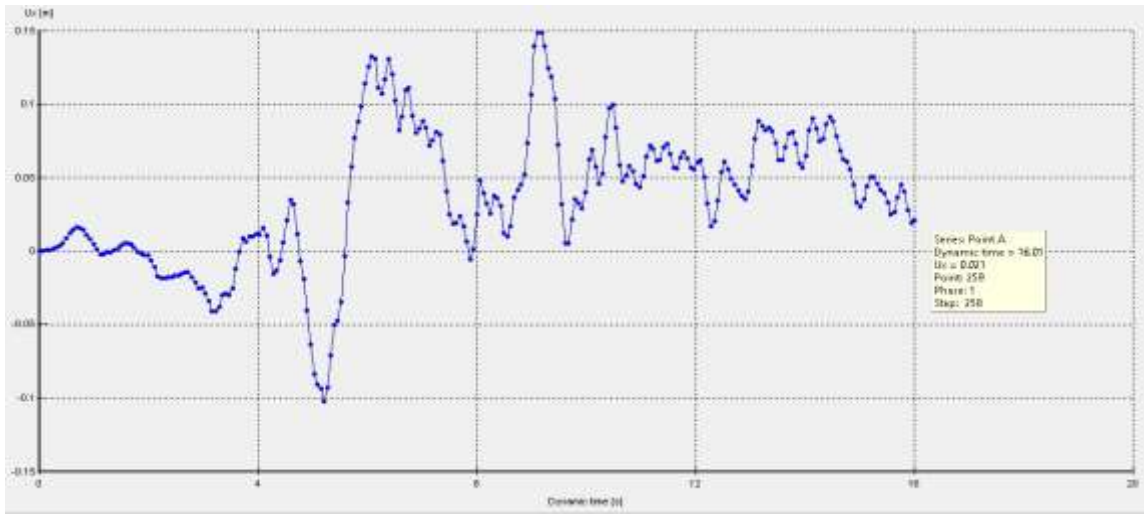
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.23'de, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.24'te, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.25'de, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



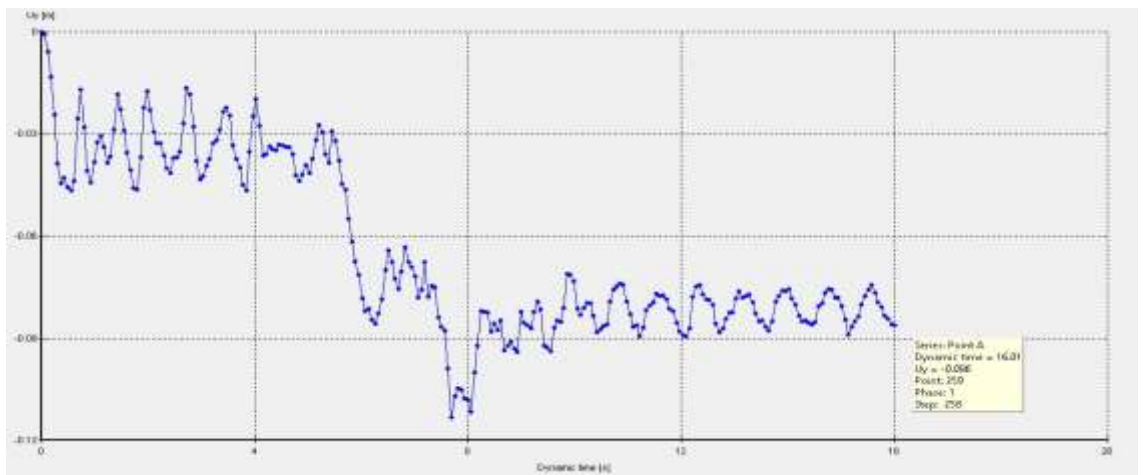
Şekil 3.23. Bingöl Depremi altında Model-2'de meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.24. Bingöl Depremi altında Model-2’de meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



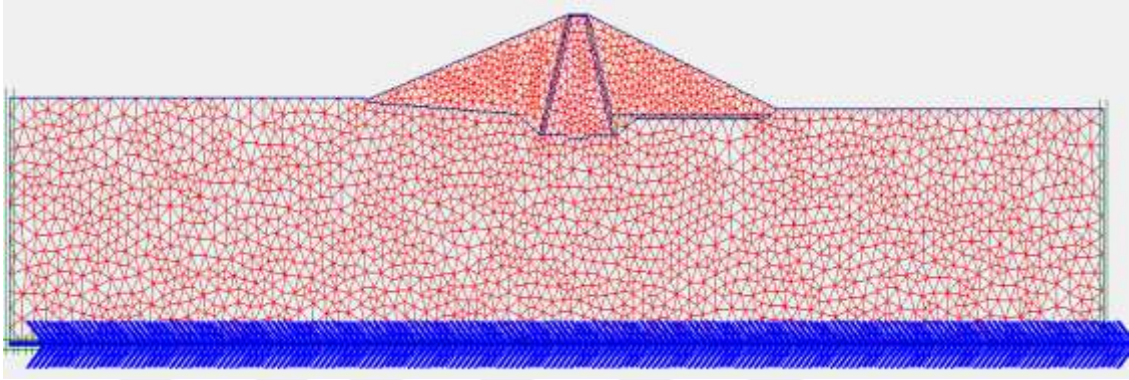
Şekil 3.25. Bingöl Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.26. Bingöl Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

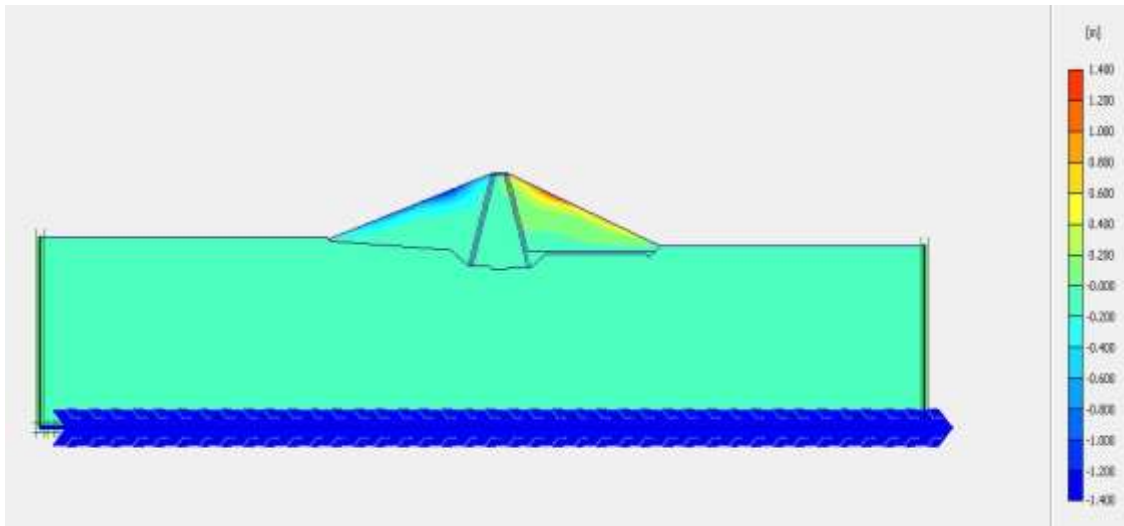
Bingöl Deprem ivme kaydı altında Model-2’de seçilen A noktasında 0.021 m yatay deplasman, -0.086 m düşey deplasman oluşmuştur.

Model-3’ün Bingöl Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.27’de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağında 4828 eleman ve 39117 düğüm noktası bulunmaktadır.

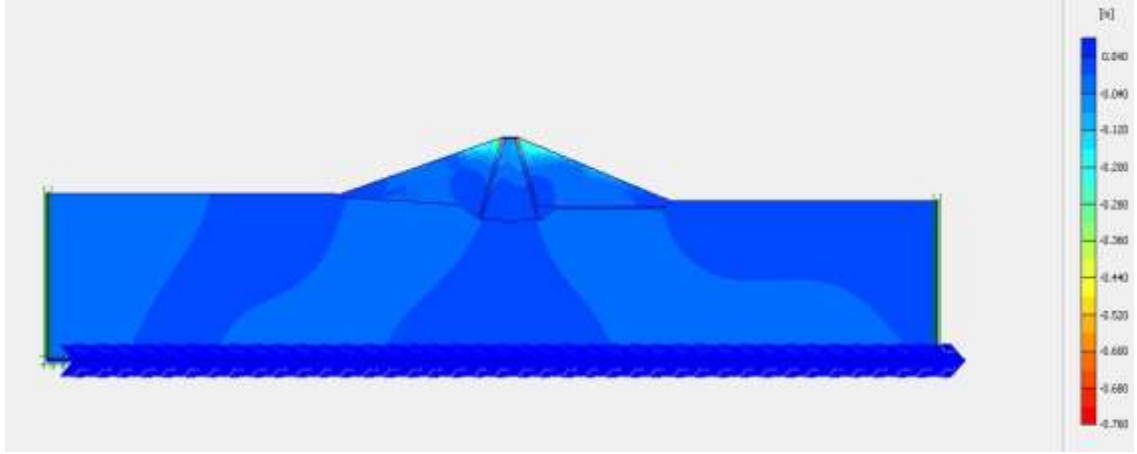


Şekil 3.27. Bingöl Depremi için oluşturulan Model-3’e ait sonlu elemanlar ağı

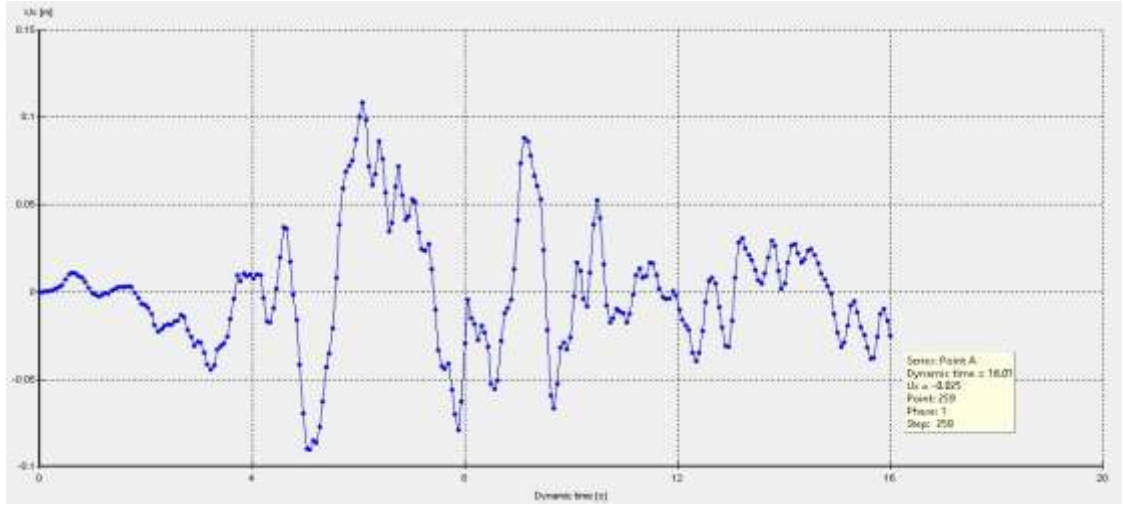
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.28’de, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.29’da, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.30’da, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.31’de gösterilmektedir.



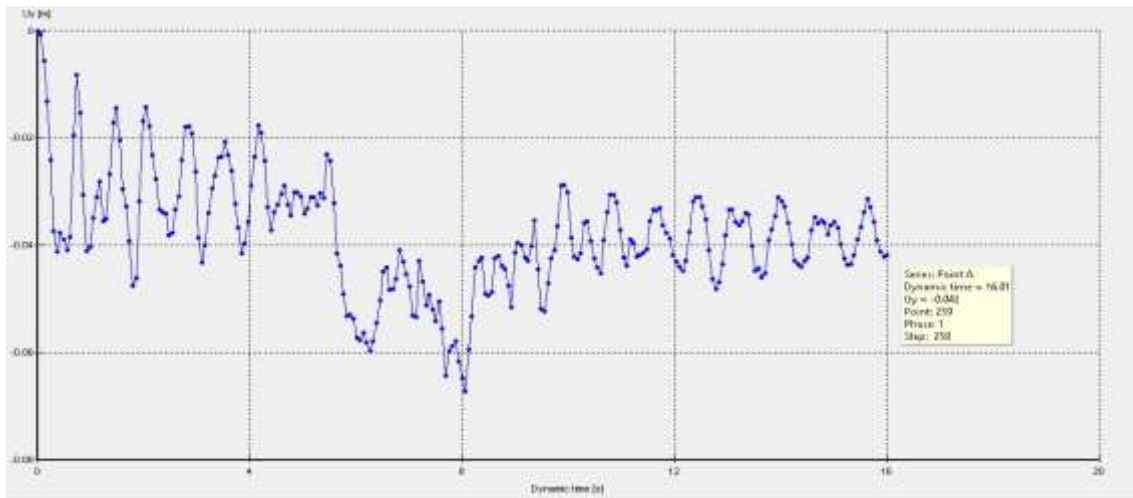
Şekil 3.28. Bingöl Depremi altında Model-3’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.29. Bingöl Depremi altında Model-3'te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



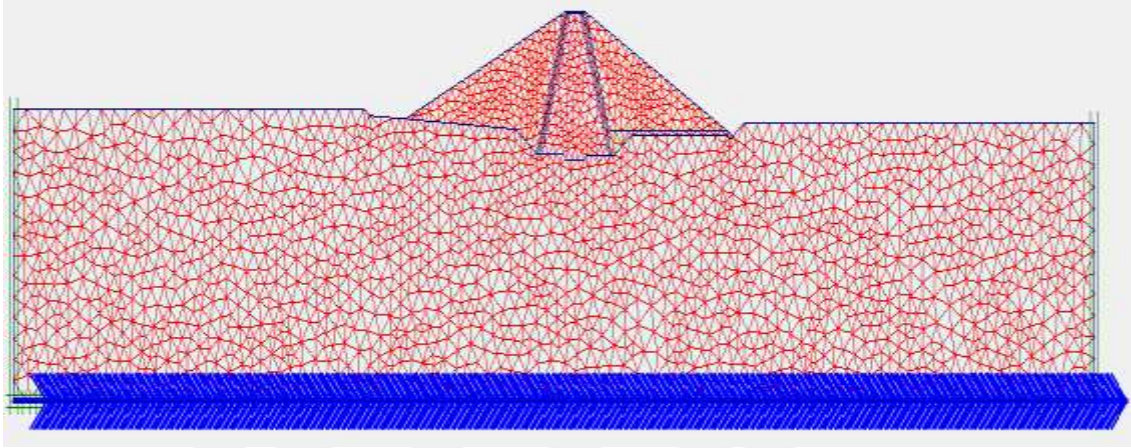
Şekil 3.30. Bingöl Depremi altında Model-3'te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.31. Bingöl Depremi altında Model-3'te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

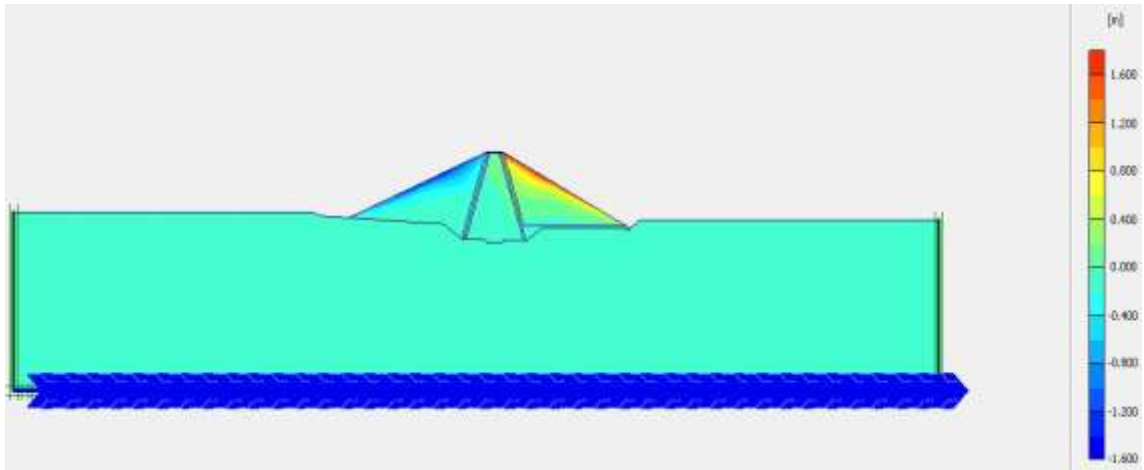
Bingöl Deprem ivme kaydı altında Model-3’de seçilen A noktasında 0.025 m yatay deplasman, -0.042 m düşey deplasman oluşmuştur.

Model-4’ün Bingöl Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.32’de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağında 4417 eleman ve 35803 düğüm noktası bulunmaktadır.

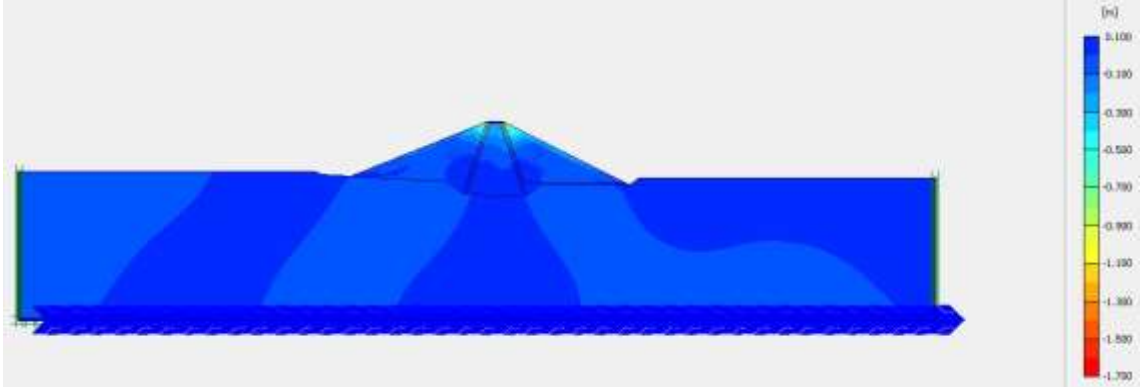


Şekil 3.32. Bingöl Depremi için oluşturulan Model-4’e ait sonlu elemanlar ağı

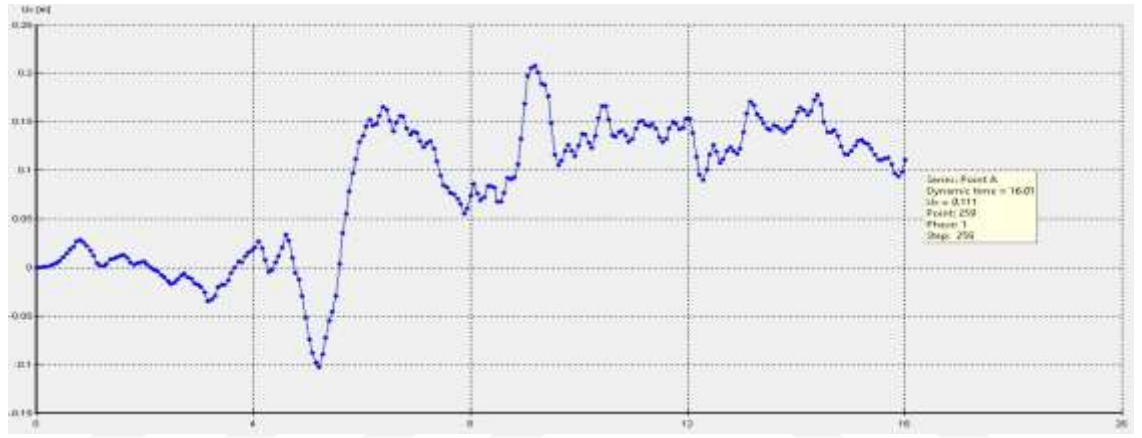
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.33’te, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.34’de, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.55’te, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.36’da gösterilmektedir.



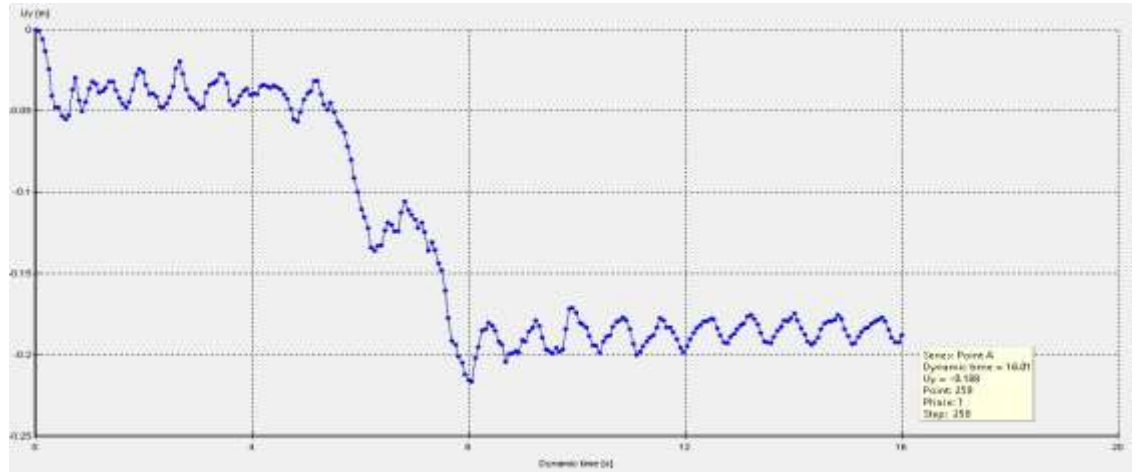
Şekil 3.33. Bingöl Depremi altında Model-4’te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.34. Bingöl Depremi altında Model-4'te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



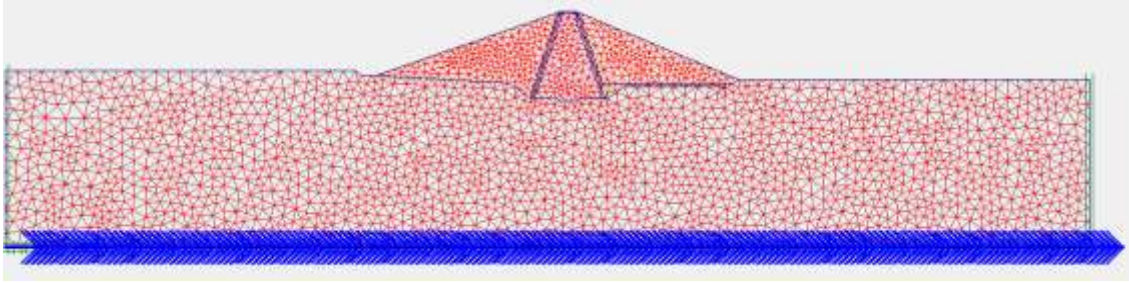
Şekil 3.35. Bingöl Depremi altında Model-4'te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.36. Bingöl Depremi altında Model-4'te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

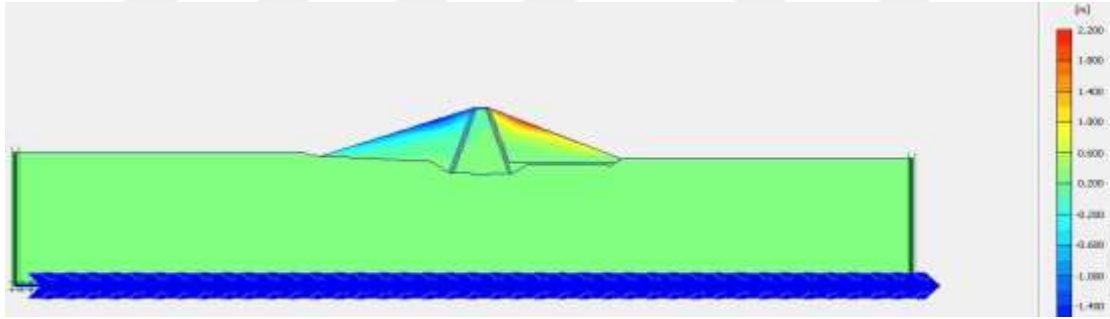
Bingöl Deprem ivme kaydı altında Model-4'te seçilen A noktasında 0.111 m yatay deplasman, -0.188 m düşey deplasman oluşmuştur.

Model-2'nin Erzincan Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.37'de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağına 4685 eleman ve 37971 düğüm noktası bulunmaktadır.

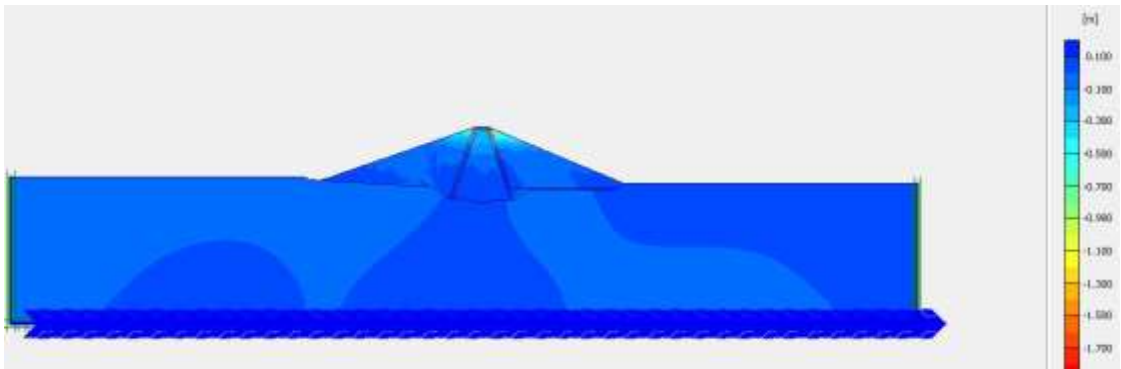


Şekil 3.37. Erzincan Depremi için oluşturulan Model-2'ye ait sonlu elemanlar ağı

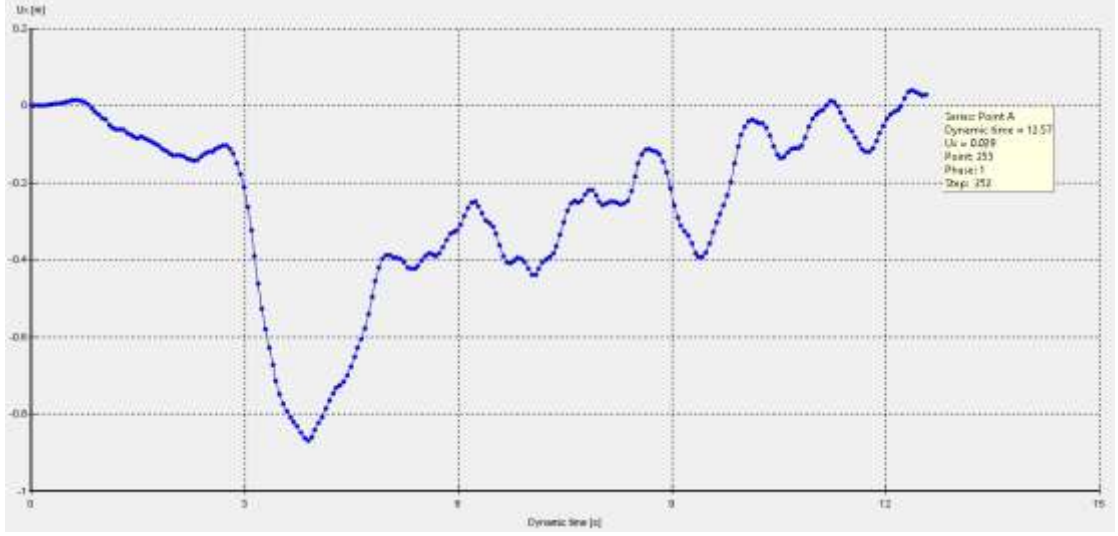
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.38'de, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.39'da, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.40'ta, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.41'de gösterilmektedir.



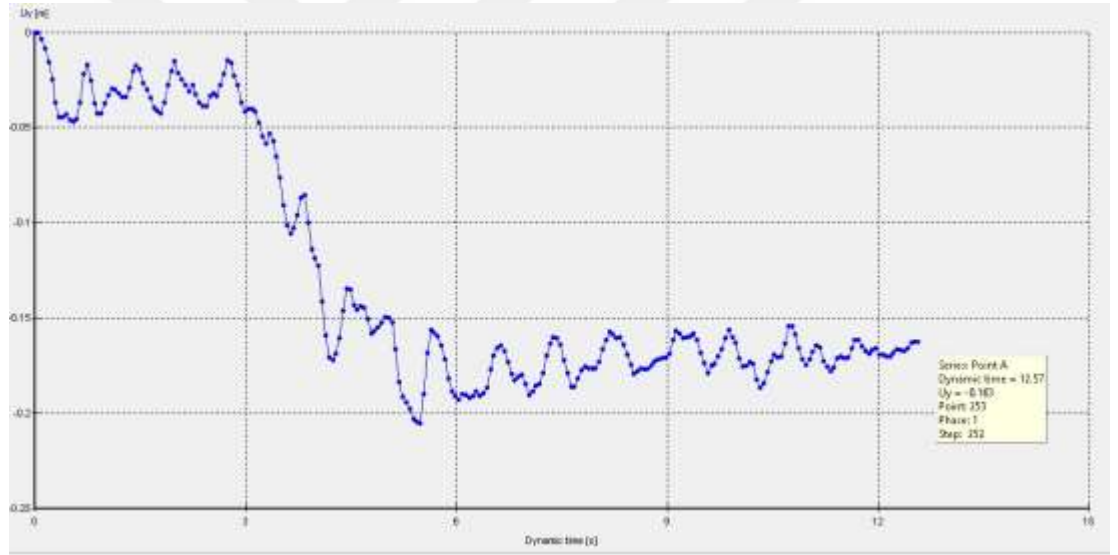
Şekil 3.38. Erzincan Depremi altında Model-2'de meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.39. Erzincan Depremi altında Model-2'de meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



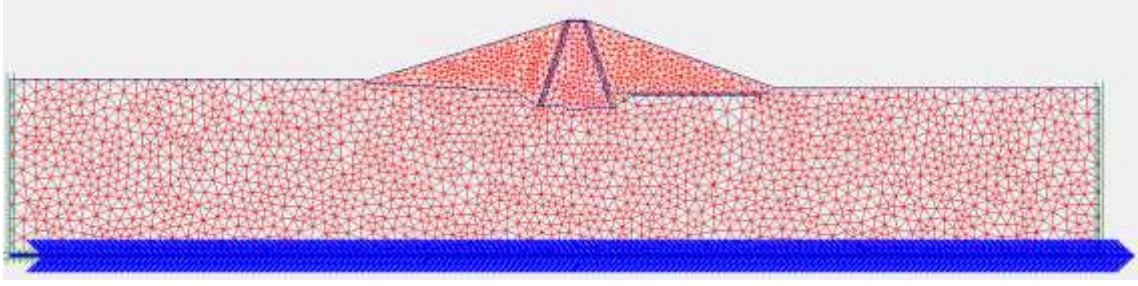
Şekil 3.40. Erzincan Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.41. Erzincan Depremi altında Model-2’de seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

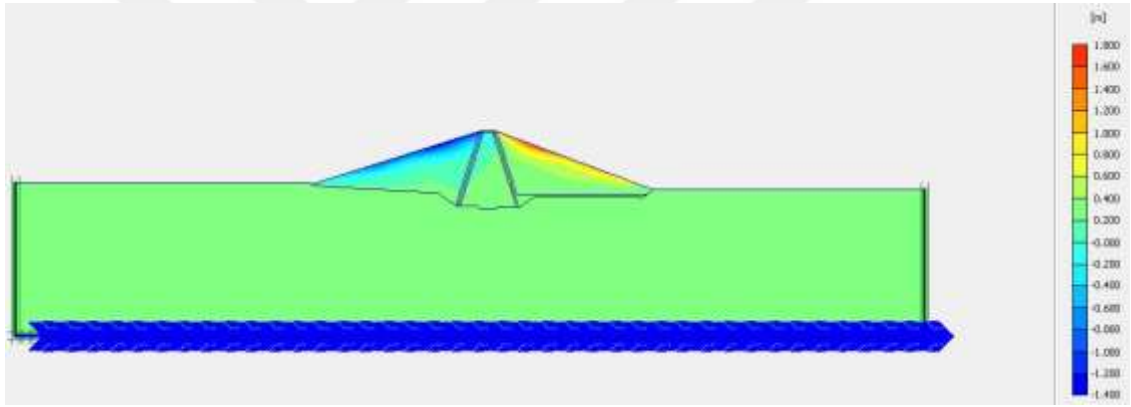
Erzincan Deprem ivme kaydı altında Model-2’de seçilen A noktasında 0.029 m yatay deplasman, -0.163 m düşey deplasman oluşmuştur.

Model-3’ün Erzincan Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.42’de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağında 4828 eleman ve 39117 düğüm noktası bulunmaktadır.

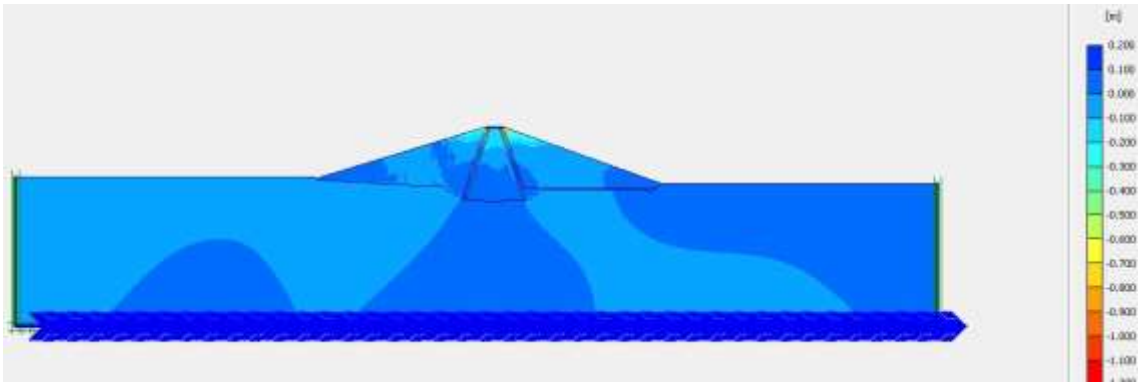


Şekil 3.42. Erzincan Depremi için oluşturulan Model-3'e ait sonlu elemanlar ağı

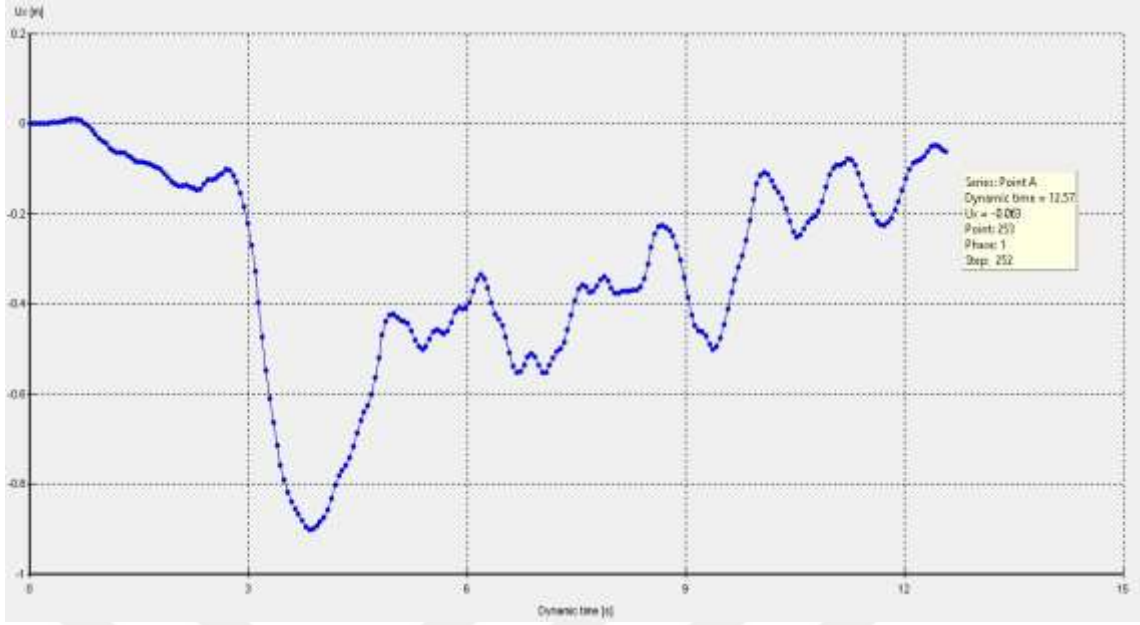
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.43'te, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.44'de, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.45'te, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.46'da gösterilmektedir.



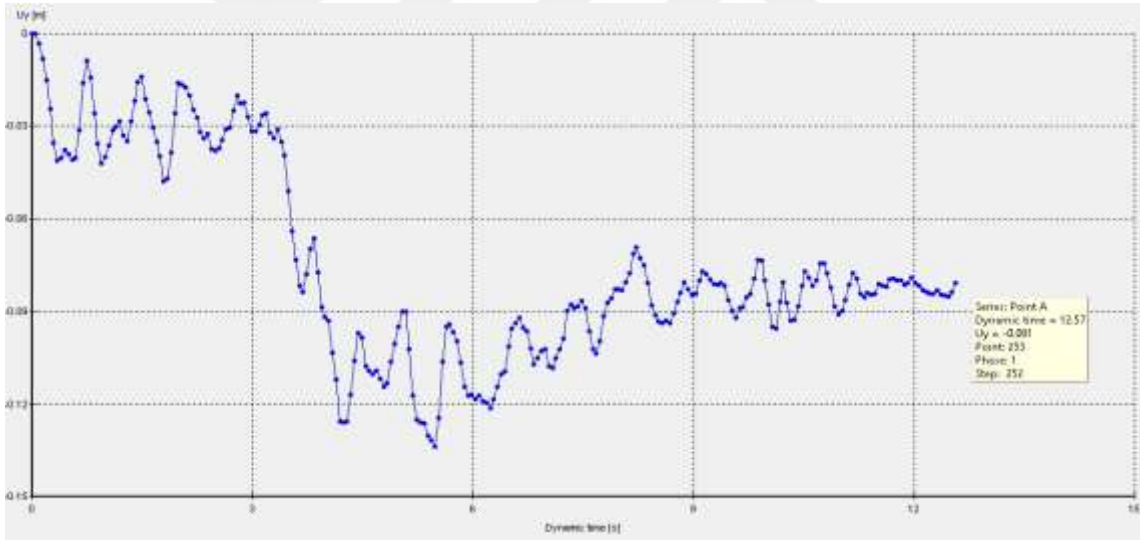
Şekil 3.43. Erzincan Depremi altında Model-3'te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.44. Erzincan Depremi altında Model-3'te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



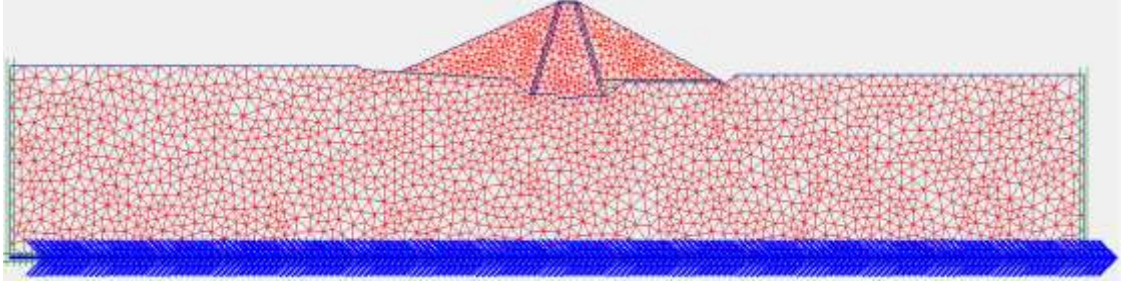
Şekil 3.45. Erzincan Depremi altında Model-3'te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.46. Erzincan Depremi altında Model-3'te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

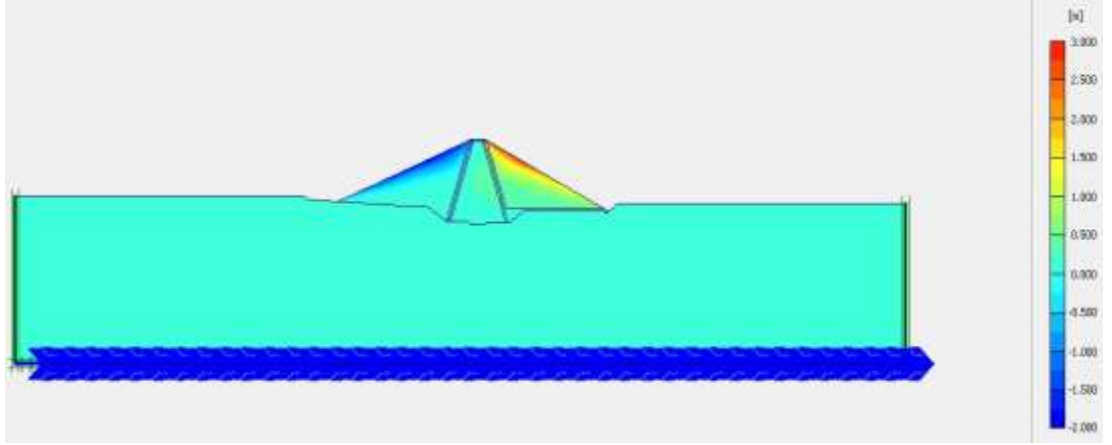
Erzincan Deprem ivme kaydı altında Model-3'te seçilen A noktasında 0.063 m yatay deplasman, -0.081 m düşey deplasman oluşmuştur.

Model-4'ün Erzincan Deprem ivme kayıtları altında analizi için oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı model Şekil 3.47'de verilmiştir. Bu sonlu elemanlar ağında 4417 eleman ve 35803 düğüm noktası bulunmaktadır.

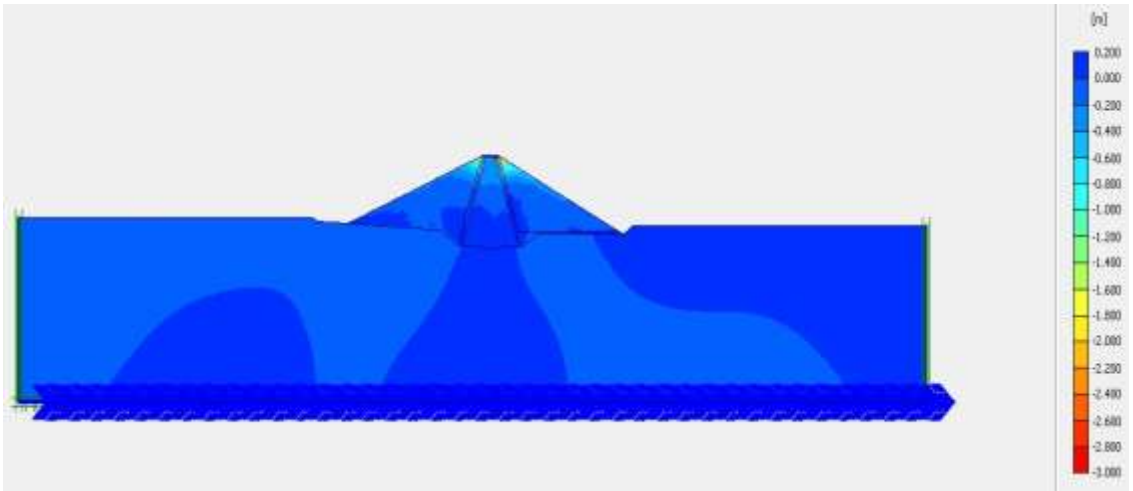


Şekil 3.47. Erzincan Depremi için oluşturulan Model-4'e ait sonlu elemanlar ağı

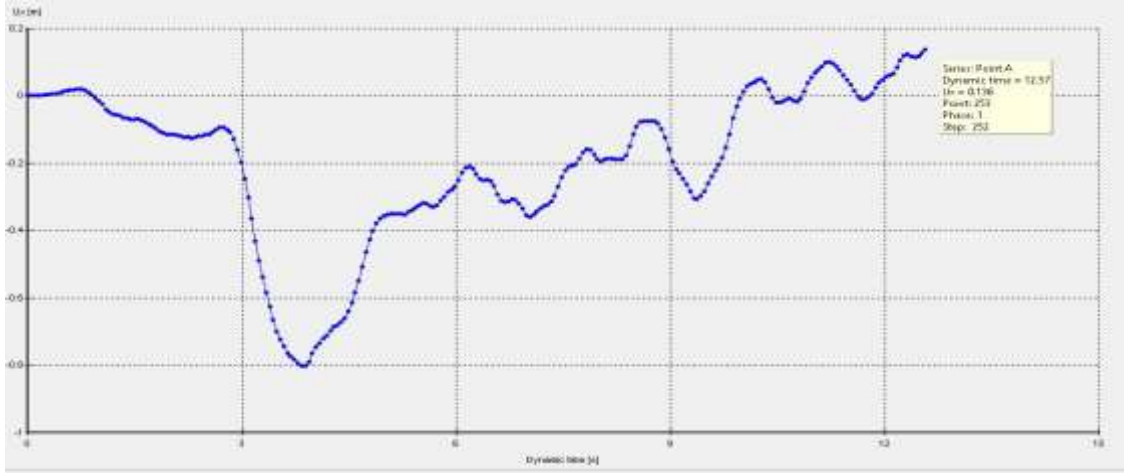
Analiz sonucunda toplam yatay deplasmanlar Şekil 3.48'de, toplam düşey deplasmanlar Şekil 3.49'da, A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği Şekil 3.50'de, A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği Şekil 3.51'de gösterilmektedir.



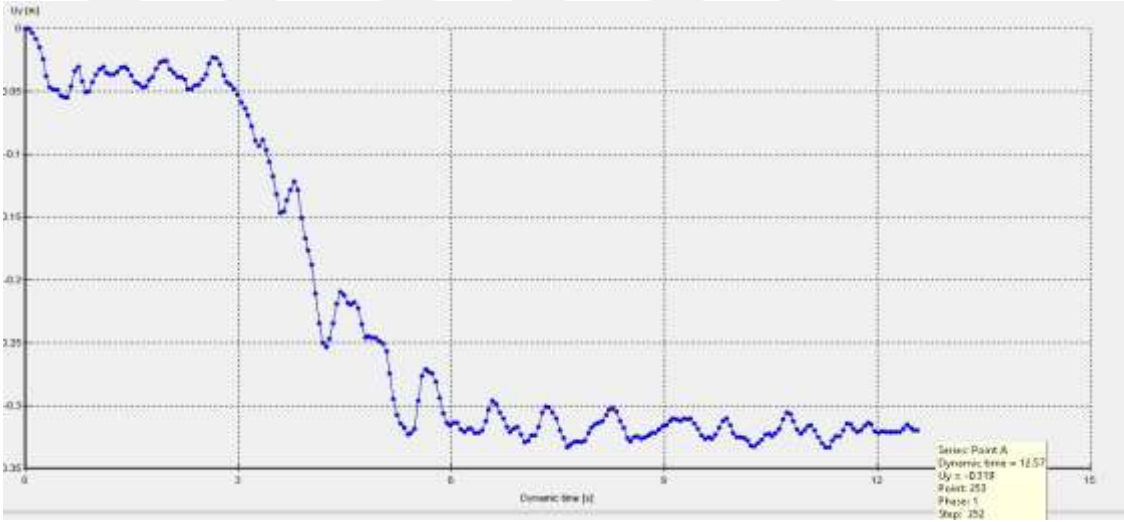
Şekil 3.48. Erzincan Depremi altında Model-4'te meydana gelen toplam yatay deplasmanlar



Şekil 3.49. Erzincan Depremi altında Model-4'te meydana gelen toplam düşey deplasmanlar



Şekil 3.50. Erzincan Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen yatay deplasman grafiği



Şekil 3.51. Erzincan Depremi altında Model-4’te seçilen A noktasında meydana gelen düşey deplasman grafiği

Erzincan Deprem ivme kaydı altında Model-4’te seçilen A noktasında 0.136 m yatay deplasman, -0.319 m düşey deplasman oluşmuştur.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

4.1. Kanak Barajı Gövdesine Ait Oturma Analiz Sonuçları

Yapılan oturma analizinde B (M-5 ölçüm aleti lokasyonunda) F (M-9 ölçüm aleti lokasyonunda) ve J (M-13 ölçüm aleti lokasyonunda) gerilme noktalarına ait sonuçlar; B noktası için -11.79 cm, F noktası için -13.20 cm ve J noktası için -10.90 cm olarak bulunmuştur.

B gerilme noktasında bulunan düşey deplasman değeri (11.79 cm) ve M-5 aletinde okunan düşey deplasman değeri (10 cm) yaklaşık eşit çıkmıştır. B gerilme noktasının 1.79 cm fazla çıkmasının nedenini ise ölçüm sonucu bulunmayan 2012 ve 2013 tarihi arasında meydana gelmiş oturma olabileceği ve B gerilme noktasının M-5 aleti ile %100 aynı koordinatta bulunmamasından kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır.

F gerilme noktasında bulunan düşey deplasman değeri (13.20 cm) ile M-9 ölçüm aletinde okunan düşey deplasman değeri (9.00 cm) yaklaşık eşit çıkmıştır. Ancak F gerilme noktasının 4.20 cm fazla çıkmasının nedeni ise 2012-2013 yılları arasında meydana gelmiş oturmanın, lokasyonların %100 aynı olmamasının ve programda kullanılan sonlu elaman ağındaki hassasiyetlerden kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

J gerilme noktasında bulunan düşey deplasman değeri (10.90 cm) ile M-13 ölçüm aletinde okunan düşey deplasman değeri (9.00 cm) yaklaşık eşit çıkmıştır. Ancak J gerilme noktasının 1.90 cm fazla çıkmasının nedeni ise 2012-2013 yılları arasında meydana gelmiş oturmanın, lokasyonların %100 aynı olmamasının ve programda kullanılan sonlu elaman ağındaki hassasiyetlerden kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Analiz sonuçlarından ve ölçüm aletlerinden alınan okunan düşey deplasman miktarlarının baraj gövdesinde dolgu imalatlarının yapılması esnasında dolgu üzerinde bulunan hareketli yüklerden dolayı, mevsimsel şartların da etkisinin olacağı da unutulmamalıdır. Ayrıca çok küçük de olsa yapılacak analizlerde hata paylı değerler bulunmaması için, programın hassasiyetinin doğruluğu ve en uygun senaryo ile sonuca ulaşılacağı görülmüştür.

4.2. Kanak Barajı Gövdesine Ait Şev Analiz Sonuçları

Şev analizi sonucunda bulunan kayma dairesi baraj gövdesi kret bölgesini ve baraj çekirdek zonunu (kil zonunu) tam olarak kesmediği ve çok geniş bir kayma dairesi oluşturmadığı sonucu görülmüştür. Ayrıca bu kayma dairesinin güvenlik kat sayısının 1.882 olduğu görülmüştür.

Elde edilen kayma dairesinin onarılabilen olması, kil imalatına zarar vermeyeceği ve 1.30 güvenlik katsayısı üzerinde bir güvenlik sayısı elde edilmiştir. Bu da gövde inşasında kullanılan dolgu malzeme parametresine göre Model-2'ye ait gövde şevlerinin uygun şekilde açıldırılarak şev stabilitesinin sağladığı sonucunu vermiştir.

4.3. Kanak Barajı Gövdesine Ait Sızma Analiz Sonuçları

Baraj gövdesi tamamen kuruda iken 300 gün sonra maksimum su seviyesine ulaştığı, maksimum su seviyesi altında meydana gelen basınçlar için P-6 ölçüm aletinin bulunduğu koordinatlarda yer alan ve model üzerinde G harfi ile ifade edilen noktada 144.39 kN/m^2 basınç sonucu bulunmuştur.

P-6 ölçümüne ait bu 300 günlük süre ise basıncın artış gösterdiği 17.01.2014 tarihi ve 24.01.2015 tarihleri arasında ki $131.8-37.5=124.30 \text{ kPa(kN/m}^2)$ 'lik basınç oluştuğu görülmüştür. Her ne kadar 17.01.2014 – 24.01.2015 tarihleri arasında yaklaşık 365 gün olsa bile 65 günlük süre baraj göl alanında suyun seviyesinin vanaların açılması ile ihtiyaca yönelik kullanılması durumları için göz ardı edilmiştir.

G noktasında bulunan sonuç, P-6 ölçüm aletinden alınan okuma değeri arasında $144.39-124.30=20.09 \text{ kN/m}^2$ 'lik basıncın ise bu 65 günlük göz ardı edilen süreden, yağışlardan dolayı baraj gövdesinde meydana gelen sızma basınçlardan kaynaklı olacağı sonucuna varılmıştır.

4.4. Kanak Barajı Gövdesine Ait Dinamik Analiz Sonuçları

Bingöl ve Erzincan depremlerine ait dinamik analiz sonuçları incelendiği zaman;

Her iki durumda A noktasında meydana gelen yatay ve düşey deplasmanların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Özellikle belli bir nokta seçilerek tespit edilen deplasman sonuçları karşılaştırıldığı zaman, sonuçların birbirine çok yaklaştığı görülmüştür.

Bingöl ve Erzincan Depremi İvme Kayıtları ile yapılan analizde, Model-2'e ait A noktası yatay deplasmanı Model-3'ün aynı nokta deplasmanı ile neredeyse birebir aynı çıkmıştır. Bu da söz konusu mevcut proje tasarımının doğruya en yakın şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Düşey deplasmanlarda ise Model-3'te meydana gelen deplasmanların Model-2'de meydana gelen deplasmanların yarısı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Model-4'e ait analiz sonuçları incelendiği zaman, Model-2 ve Model-3'e ait analiz sonuçlarından giderek uzaklaşıldığı tespit edilmiştir. Model-4'ün A noktasına ait yatay deplasmanların, diğer iki modelin deplasmanlarından büyük; düşey ve A noktasına ait düşey deplasmanların, diğer iki modelin aynı deplasmanlarından küçük olduğu görülmektedir.

Baraj gövde boyutlandırılmasında meydana gelen metraj artış ve azalışların yapım maliyetine olan etkisi de göz önüne alınarak, farklı deprem yükleri altında farklı boyutlarda incelenen baraj gövdelerinin kretinde meydana gelen kalıcı deplasmanlar doğrultusunda en uygun boyutlu modelin Model-2 olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. **Çilingir H., 2007.** Toprak Dolgu Barajların Gövdelerindeki Sızmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi: Büyükçekmece Barajı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2]. **Taşkıran T., Yavuz V. S. Ve Keskin M. S., 2015.** Şev Stabilitesinin İki Ve Üç Boyutlu Modeller İle İncelenmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, **1**, 1-8.
- [3]. **Bajlan F.G.F., 2016.** Sonlu Elemanlar Kullanılarak Bir Barajın Güvenliğinin Yeniden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [4]. **Kılıç H., 2000.** Yumuşak Zeminler Üzerine Oturan Dolgu Barajlarda Deformasyonların Nümerik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5]. **Raja M.A. And Maheshwari B.K., 2014.** Effect Of Nonlinearity On Dynamic Response Of Earthen Dam, *Proceeding Of Indian Geotechnical Conference IGC-2014*, Kakinada, India, December 18-20, 522-528.
- [6]. **Şayan M., Terzi N.U., Şengül T. Ve Selçuk M.E., 2012.** Ambarlı Toprak Dolgu Barajının Dinamik Davranışının İncelenmesi, III. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 10-12 Ekim, 555-562.
- [7]. **Maula B. H. And Zhang L., 2011.** Assesment Of Embankment Factor Safety Using Two Commercially Available Programs in Slope Stability Analysis, *The Twelfth East Asia-Pasific Conference On Structural Engineering And Construction*, Hong Kong, China, 26-28 January 2011, 559-566.
- [8]. **Hasani H., Mamizadeh J. And Karimi H., 2013.** Stability of Slope and Seepage Analysis in Earth Fills Dams Using Numerical Models (Case Study: Ilam DAM-Iran), *Word Applied Sciences Journal*, 21 (9), 1398-1402.
- [9]. **Kamanbedast A. And Delvari A., 2012.** Analysis Of Earth Dam: Seepage And Stability Using Ansys And Geo-Studio Software, *Word Applied Sciences Journal*, 17 (9), 1087-1094.
- [10]. **Çetin K. Ö, ve Bilge H.T., 2004,** Dolgu Barajlarda Ölçüm Sistemleri (351-361), 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [11]. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&view=bts&kategori=veritbn&kelimesec=34638 Türk Dil Kurumu. 02 Kasım 2017
- [12]. <http://dsi.gov.tr/dsi-sozlukler> DSİ Sözlükler. 02 Kasım 2017

- [13]. <http://www.dsi.gov.tr/sosyal-faaliyetler/dsi-cocuk> DSİ Çocuklar İçin. 02 Kasım 2017
- [14]. **Ulusoy, İ.C.**, 2015. Dolgu Barajların Güvenliğindeki Risk Analizi Atatürk Barajı Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15]. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=121&locale=tr> Türkiye İstatistik Kurumu. 02 Kasım 2017
- [16]. **Berkün M.**, 2005. Su Kaynakları Mühendisliği, Birsen Yayın Evi, İstanbul.
- [17]. **Ağırlioğlu N. ve Erkek C.**, 2002. Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Basım Yayım, İstanbul
- [18]. **Baykan N. O.**, 2008. Su Yapıları, Pamukkale Üniversitesi , Denizli
- [19]. Su Yapıları Cilt-1 Baraj ve Göletler (Su Biriktirme Yapıları) (Teknik Rehber), Yayın No: **978**, Ankara, 1989
- [20]. **Orhon M.**, 1997. Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, **391**, 12-16.
- [21]. **Akçalı E. ve Arman H.**, 2008. Baraj Dolgularında Kullanılan Doğal Malzemenin Seçim Kriteri ve Limit Aşımının Doğuracağı Tehditler. DSİ Teknik Bülteni, **103**, 1-9.
- [22]. **Dorum A., Akkaya U. Ve Polat H.**, 2010. Sürdürülebilirlik Açısından Baraj Gövde Tipinin Seçimini Etkileyen Faktörler, NWSA Engineering Sciences,5, 649-657.
- [23]. **Emiroğlu M.E.**, 1999. Barajların Tip Seçiminin Belirlenmesinde Uzman Sistem Kullanımı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [24]. **Helvacı D.**, 2009. Dim Barajının Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [25]. **Ağırlioğlu N.**, 2005. Baraj Planlama Ve Tasarımı Cilt-2, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [26]. **Creegan P. J. And Monismith C.L.**, 1996, Asphalt-Concrete Water Barriers For Embankment Dams, ASCE (American Society of Civil Engineers) Press
- [27]. **Ertan Y.**, 2002. Toprak Ve Kil Çekirdekli Dolgu Baraj Ölçüm Tesisleri, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [28]. **Baraj Ölçüm Cihazları Teknik Şartnamesi**, 2014. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

- [29]. **Oral İ. H.**, 2016. Pamukçay Barajının Ölçüm Değerlerinin Analiz Sonuçlarıyla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [30]. <http://bolge19.dsi.gov.tr/isletmedekitesisler/baraj-golet> 19. Bölge Müdürlüğü Sivas Baraj ve Göletler. 05 Mart 2018
- [31]. <http://barajlar.dsi.gov.tr> DSİ Barajlar Uygulaması V 1.4. 05 Mart 2018
- [32]. <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> Google Earth Pro. 05 Mart 2018
- [33]. <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2013/03/27/Kanak> Kanak Barajı ve Sulaması İnşaatları Tüm Hızıyla Devam Ediyor. 04 Mart 2018
- [34]. <http://www.haberler.com/sarkisla-kanak-bogazi-baraji-su-tutmaya-basladi-4851119-haberi/> 19 Temmuz 2013 Şarkışla Barajı Su Tutmaya Başladı. 14 Mart 2018
- [35]. <ftp://dsiftp.dsibim.local/bolgeler/sivas/11-12-3/sivas%20DEark%FD%FLa%20Kanak%20Baraj%FD/> DSİ Genel Müdürlüğü Paylaşım Sitesi. 14 Mart 2018
- [36]. **Arslan T. A. ve Karacan E.**, 1999. Kanak (Sivas-Şarkışla) Barajı ve Temel Jeolojik Özellikleri, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,1, 47-58.
- [37]. **Karacan E. ve Arslan T. A.**, 2001. Kanak Barajı (Sivas-Şarkışla) İnşaatında Kullanılacak Olan Geçirimsiz Toprak Malzemelerin Minerolojisi ve Jeoteknik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi,1-2, 15-26.
- [38]. **Kayıkçı N. S.**, 2001. Sonlu Elemanlar Metodunun Kullanılmasıyla Karacaören 1 Toprak Dolgu Barajında Gerilme ve Deplasmanların Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [39]. **Yılmaz S.**, 2008. Sonlu Elemanlar Yöntemini Kullanarak İki-Boyutlu Yapıların İleri Modellenmesi, İstanbul Yer Bilimleri Dergisi,21-1, 37-45.
- [40]. **Hacıfendioğlu K.**, 2000. Toprak Dolgu Barajların Drucker-Prager ve Eğri Tanımlama Yöntemleriyle Lineer Olmayan İki Boyutlu Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [41]. **Kesgin E.**, 2015. Kil Çekirdekli Toprak Dolgu Atık Barajlarında Sızmanın Nümerik Metotlarla Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42]. **Brinkgreve R. B. J. Ve Engin E.**, 2013. Volidation Of Geotechnical Finite Element Anaysis, Proceeding Of The 18th International Conference On Soil Mechanics And Geotechnical Engineering, Paris/France, 677-682.

- [43]. **Topcu M. ve Taşgetiren S.**, 1998. Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası , Denizli.
- [44]. **Plaxis Version 8.2 Manual**
- [45]. <https://www.plaxis.com/product/plaxis-2d/> . 01.02.2019.
- [46]. **Korkmaz M.**, 2010. Barajlarda Gerilme ve Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [47]. Devlet Su İşleri Kazı İşleri Teknik Şartnamesi, Ankara, 2006.
- [48]. **Aydın S., ve Aydın M.C.**, 2014. Akbaş Barajı Eşdeğer Lineer Dinamik Analizi ve Kalıcı Deformasyon Tahminleri, 4. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Elazığ, 23-25 Ekim, s. 247-261.
- [49]. **Sak İ.**, 2009. Akköprü Barajının Oturma Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [50]. **Naresh C. Samtani*, PE, PhD and Edward A. Nowatzki*, PE, PhD**, 2006. Soil Mechanics: Laboratory Testing Soils and Foundations Reference Manual Volume-1, National Highway Institute U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, USA.
- [51]. **Obrzud R. and Truty A.**, 2012. The Hardening Soil Model, A Pratical Guide Z Soil. PC 100701 Report Revised.
- [52]. **Kezdi A.**, 1974. The Hardening Soil Model, Elsevieri Amsterdam, Hollanda.
- [53]. **Prat M., Bisch E., Millard A., Mestat P. and Cabot G.**, 1995. La Modélisation Des Ouvrages, Hermes, Paris, Fransa.
- [54]. **Yağcı B.**, 2014. Yüzey Temellerin Sayısal Analizinde Zemin Özelliklerindeki Değişimin Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri, **482**, 51-55.
- [55]. **Carter M. and Bentley S.**, 1991. Cerrelations Of Soil Properties, Penetech Press Publishers, Londra, İngiltere.
- [56]. **Leonards G. A. Ed.**, 1962. Foundation Engineering, Mc Graw Hill Book Company.
- [57]. **Dysli M. and Steiner W.**, 2011. Correlations İn Soil Mechanics, PPUR.
- [58]. **Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi**, Şubat 2014. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

- [59]. **Gümüő M.**, 2009. Farklı Zeminlerdeki Boruların Dinamik Yükler Altında Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Veysel MEMİŞOĞLU, 1990 yılında Elazığ ilinin Kovancılar ilçesinde doğmuştur. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimlerini Kovancılar'da tamamlayarak, 2007 yılında başlamış olduğu Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun olmuştur. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekanik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

2011-2012 yılları arasında özel sektörde çalıştıktan sonra 2012 yılında Çakırkaş Belde Belediyesinde Fen İşleri Birim Sorumlusu olarak görev almıştır. 2014 yılında belediyenin kapanmasının ardından Elazığ İl Özel İdaresi bünyesinde görev almış ve 2015 yılında Devlet Su İşleri Elazığ 9. Bölge Müdürlüğü Barajlar ve HES Şube Müdürlüğüne tayin olmuş olup, hala burada çalışmaktadır.

Evli ve iki çocuk babasıdır.

EKLER

Ek 1

