



DOLGU BARAJLARDA GÖVDE STABİLİTESİ VE ÇUKURCA BARAJI ÖRNEĞİ

Hasan COŞKUN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA**

**DOLGU BARAJLARDA GÖVDE STABİLİTESİ
VE ÇUKURCA BARAJI ÖRNEĞİ**

Hasan COŞKUN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Hasan COŞKUN tarafından hazırlanan “DOLGU BARAJLARDA GÖVDE STABİLİTESİ VE ÇUKURCA BARAJI ÖRNEĞİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr.Kasım YENİGÜN(KÜ)

.....

Üye : Prof. Dr.Tülay EKEMEN KESKİN(KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. ÜyesiFatih SAKA(KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hasan COŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOLGU BARAJLARDA GÖVDE STABİLİTESİ VE ÇUKURCA BARAJI ÖRNEĞİ

Hasan COŞKUN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi. Fatih SAKA

Haziran 2021, 58sayfa

Dolgu tipi barajlarda, barajın dengede kalabilmesi için minimum sınırların belirlenmesi amacıyla yapılan stabilite yöntemleri arasında; “şev stabilite analizi” yaklaşımı, en yaygın yöntem olarak kullanılmaktadır. Stabilite analizindeki en kritik kayma yüzeyinin belirlenmesinde, kaymaya neden olan kuvvetler ve bu yüzey boyunca kaymaya karşı koymaya çalışan kuvvetler ele alınarak değerlendirme yapılır. İnşaat sonu, işletme aşaması, deprem hali ve ani boşalma durumları gibi farklı yükleme koşulları için memba ve mansap şevlerinin stabilitesi değerlendirilmiş ve güvenlik sayıları hesaplanarak gövde analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada; elektrik üretimi, sulama ve içme suyu temini amaçları için inşa edilmesi planlanan Çukurca Barajı ve Hidroelektrik Santrali (HES) projesinin topoğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak Devlet Su İşleri (DSİ) teknik şartnamesine uygun şekilde; Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj (ÖYBK), Kil

Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj olmak üzere üç farklı alternatif açısından karşılaştırılmış, sızma, stabilite analizleri ve gövde hacimlerinin büyüklükleri de göz önüne alınarak yapılmasına karar verilen en ekonomik ve güvenli gövde tipinin çözümlemesi yapılmıştır. Stabilite ve sızma analizleri Rocscience-Slide programı ile baraj gövdesinin hacimlerinin bulunması ise Autocad Civil 3D programları yardımıyla yapılmıştır.

Tez çalışması sonucunda stabilite ve sızma tahkiklerinin tamamı olması gereken güvenlik katsayılarını sağlamıştır. Sadece işletme hali muhtemel maksimum deprem (EED) değeri ÖYBK ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj alternatifleri için olması gereken güvenlik katsayısını sağlayamamıştır. İşletme aşamasındaki EED baraj stabilite tahkikinde güvenlik katsayısını sağlayan Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj alternatifi seçilebilir, fakat mevcut durumun 2475 yılda bir gelebilecek depremden hesaplandığı ve Leps diyagram eğrilerinden minimum değerlerinin kullanıldığı düşünüldüğünde, sızma ve borulanma tehlikesinin büyüklüğü ve ekonomiklik açısından küçüklüğü sebebi ile ÖYBK gövdesinin seçilmesinin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Baraj Gövdesi, Şev Stabilitesi, Gövde Stabilitesi, Sızma, İnşaat Sonu, İşletme Aşaması, Deprem Hali, Ani Boşalma, Rocscience, Slide

Bilim Kodu : 91113, 91122

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DAM STABILITY IN FILLING DAMS AND EXAMPLES OF ÇUKURCA DAM

Hasan COŞKUN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor:
Assist. Prof. Dr.Fatih SAKA**

June2021, 58pages

Among the stability methods used in determining the minimum limits for the dam to remain in balance in embankment dams; The most common method is the "slope stability analysis" approach. In the stability analysis, an evaluation is made by considering the forces that cause the slip and the forces that try to resist the slip along this surface in determining the most critical slip surface. The stability of the upstream and downstream slopes was evaluated for different loading conditions such as the end of construction, operation phase, earthquake and sudden discharge conditions, and hull analyzes were performed by calculating the safety numbers.

In this study; in accordance with the Technical Specifications of The General Directorate of State Hydraulic Works (DSI), taking into account the topographical characteristics of the Cukurca Dam and Hydroelectric Power Plant (HEPP) project, which is planned to be built for electricity generation, irrigation and drinking water

supply; The front side of the concrete-covered rock filling dam (CRFD), clay core rock filling dam and asphalt core rock filling dam were compared in terms of three different alternatives, leakage, stability analyses and analysis of the most economical and safe body type decided to be made taking into account the size of the body volumes. Stability and leakage analyses were carried out with the help of Rocscience-Slide program and the discovery of volumes of the dam body with the help of Autocad Civil 3D programs.

As a result of the thesis work, all stability and leakage investigations provided the safety coefficients that should be. Only the maximum possible earthquake (EED) value in operation failed to provide the safety coefficient that should be for CRFD and Asphalt Core Rock Filling Dam alternatives. The Clay Core Rock Filling Dam alternative, which provides the safety coefficient in the EED dam stability investigation in the operation phase, can be selected, but considering that the current situation is calculated from the earthquake that may occur every 2475 years and the minimum values of leps diagram curves are used, it is concluded that it would be more appropriate to select the CRFD body due to the size and smallness of the leakage and piping hazard in terms of size and economics.

Key Words : Dam Body, Slope Stability, Dam Stability, Infiltration, End of Construction, Operation Phase, Earthquake, Sudden Discharge, Rocscience, Slide

Science Code : 91113, 91122

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
BARAJLAR VE KAYA DOLGU BARAJ	4
2.1 BARAJ YERİNİN SEÇİMİ	5
2.2 BARAJ YAPMA AMAÇLARI.....	6
2.3 BARAJLARIN ÇEVRE ETKİLERİ	6
2.4 BARAJLARIN SINIFLANDIRILMASI	6
2.5 DOLGU BARAJLAR	6
2.5.1 Toprak Dolgu Barajlar	7
2.5.2 Kaya Dolgu Barajlar	7
BÖLÜM 3	8
MATERYAL VE METOT	8
3.1 ÇUKURCA BARAJI	8
3.1.1 Genel Bilgiler.....	8
3.1.2 Baraj Sahası Jeolojik Özellikleri	11
3.2 MALZEME ÖZELLİKLERİ	13

	<u>Sayfa</u>
3.2.1 1A Zonu	14
3.2.2 2A Zonu (Çevresel Derz Filtre Zonu)	15
3.2.3 2B Zonu (Yastık Zonu).....	15
3.2.4 3A Zonu (Geçiş Zonu).....	15
3.2.5 3B Zonu	16
3.2.6 3C Zonu	16
3.2.7 3D Zonu (Riprap)	16
3.2.8 Kıl Çekirdek ve Kabuk Dolgu Zonları	16
3.2.9 Asfalt Çekirdek.....	17
3.3 TASARIM KRİTERLERİ.....	17
3.3.1 Dolgu Malzemelerinin Parametreleri	17
3.3.2 Sızma Parametreleri.....	20
3.3.3 Sismik Tasarım İvmeleri.....	21
3.4 STABİLİTE ANALİZİNDE KULLANILAN METOD	24
3.4.1 Rocscience Paket Programı	24
3.4.2 Slide Programı	25
3.4.3 Şev Stabilesi Çözümlemesi	25
3.4.4 Sızma Çözümlemesi	26
 BÖLÜM 4	 27
FARKLI DOLGU BARAJ TİPLERİNDE GÖVDE VE SIZMA ANALİZLERİ.....	27
4.1 FARKLI KAYA DOLGU BARAJ GÖVDELERİNİN TASARIMI	27
4.1.1 Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu (ÖYBK) Baraj	27
4.1.2 Kıl Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj	30
4.1.3 Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj.....	32
4.2 ŞEV STABİLİTE VE SIZMA ÇÖZÜMLEMELERİ	34
4.2.1 Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu (ÖYBK) Baraj	34
4.2.2 Kıl Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj	39
4.2.3 Asfalt Çekirdekli Dolgu Baraj	45
4.3 HACİM ANALİZİ	52

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	54
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Dolgu tipi bir barajın plan görünüşü [8].	4
Şekil 1.3 Dolgu baraj çeşitlerini gösterir tip kesitler [9].	7
Şekil 3.1 Hakkari Çukurca Barajı ve HES projesinin konumu [10].	8
Şekil 3.2 Çukurca Barajı kaskatına genel bakış [10].	9
Şekil 3.3 Çukurca Barajı ve HES plan görünüşü [10].	10
Şekil 3.4 Baraj sahası jeoloji haritası [10].	12
Şekil 3.5 ÖYBK Baraj tip kesiti [11].	13
Şekil 3.6 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj tip kesiti [11].	14
Şekil 3.7 Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj tip kesiti [11].	14
Şekil.3.8 Kaya dolgularda Gerilme - İçsel Sürtünme Açısı ilişkisi [14].	19
Şekil 3.9 Baraj yeri deprem bölgesi[16].	23
Şekil 4.1 Çukurca Barajı ÖYBK alternatifi tip kesiti.	29
Şekil 4.2 Çukurca Barajı Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Alternatifi Kesiti.	31
Şekil 4.3 Çukurca Barajı Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Alternatifi Kesiti.	33
Şekil 4.4 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi.	34
Şekil 4.5 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilite analizi.	35
Şekil 4.6 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.	35
Şekil 4.7 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	36
Şekil 4.8 ÖYBK Baraj İşletme Mansap Şevi Stabilite Analizi.	37
Şekil 4.9 ÖYBK Baraj İşletme Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	37
Şekil 4.10 ÖYBK Baraj İşletme Depremlı (EED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	38
Şekil 4.11 ÖYBK Baraj Sızma Analizi.	39
Şekil 4.12 Kil Baraj İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi.	40
Şekil 4.13 Kil Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilite Analizi.	40
Şekil 4.14 Kil Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.	41
Şekil 4.15 Kil Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	42
Şekil 4.16 Kil Baraj İşletme Mansap Şevi Stabilite Analizi.	42
Şekil 4.17 Kil Baraj İşletme Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	43

Sayfa

Şekil 4.18 Kil Baraj İşletme Depremli (EED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	44
Şekil 4.19 Kil Baraj Sızma Analizi.	44
Şekil 4.20 Kil Baraj Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analizi.	45
Şekil 4.21 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi.	46
Şekil 4.22 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilite Analizi.	46
Şekil 4.23 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Depremli (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.	47
Şekil 4.24 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Depremli (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.	48
Şekil 4.25 Asfalt Baraj İşletme Mansap Şevi Stabilite Analizi.	48
Şekil 4.26 Asfalt Baraj İşletme Depremli (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.	49
Şekil 4.27 Asfalt Baraj İşletme Depremli (EED) Memba Şevi Stabilite Analizi.	50
Şekil 4.28 Asfalt Baraj Sızma Analizi.	50
Şekil 4.29 Asfalt Baraj Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analizi.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Baraj gövde dolgusu malzeme özellikleri [10].	18
Çizelge 3.2 Leps Diyagramına Göre Normal – Kayma Gerilmesi min. Değerleri.	20
Çizelge 3.3 Baraj gövdesinde kullanılan malzemelerin geçirimsizlik değerleri [10]. .	21
Çizelge 3.4 Yükleme durumları ve emniyet katsayıları [13].	23
Çizelge 4.1 Sızma ve Stabilité Sonuçları.	52
Çizelge 4.1 Dolgu baraj alternatiflerinin gövde hacimleri.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

γ	: Birim Hacim Ağırlık
c	: Kohezyon
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
k	: Sismik Dizayn Katsayısı
Y/D	: Yatay / Düşey
MWe	: Elektriksel Kurulu Güç
MWm	: Mekaniksel Kurulu Güç

KISALTMALAR

HES	: Hidroelektrik Santrali
RCC	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj
EİE	: Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü
EED	: Muhtemel Maksimum Deprem
İED	: İşletme Esaslı Deprem
DSİ	: Devlet Su İşleri
ÖYBK	: Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj
ICOLD	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Comission on Large Dam)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Barajlar, su temini, sulama, taşkın kontrolü ve hidroelektrik enerji üretimi gibi belirli işlevler için inşa edilir. Dünyadaki büyük barajların çoğu yirminci yüzyılın ortalarında inşa edilmiştir. Dolgu baraj ve beton baraj olmak üzere iki tür modern baraj vardır. Dolgu barajlar, toprak dolgu barajlar ve kaya dolgu barajlar olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Dolgu barajlar, tüm dünyadaki barajların yaklaşık %85'ini temsil etmektedir. Topoğrafya, temel koşulları, çevresel etkiler, inşaat tesisleri ve sosyo ekonomik çalışmalar, uygulanabilir olması, yerel olarak mevcut malzemelerden yapılmış olması, tüm çalışma ve yükleme koşulları altında kararlı olması, sızıntıyı kontrol etmek için yeterince su geçirmez olması gibi faktörler toprak dolgu baraj tercihinde çok önemli olmaktadır [1].

Hidrolik yapıların tasarlama süreci genelde üç aşamada yürütülmektedir. İlk aşamada temel tasarım yapılarak; hidrolik yapıların tanıtılması, yaklaşık boyutlarını, işlerin kapsamını ve gerekli malzeme miktarını, gerekli ekipmanı, yapıların maliyetini belirtmek ve en önemlisi teknik yapılabilirliğini kanıtlamak amaçlanmaktadır. İkinci aşama, detaylı veriler ve yapılan çalışmalarla ön dizaynların yapılmasını içerir. Yapıların temel detayları ve tiplerine ek olarak su kullanım rejimleri de belirlenmektedir. Bu aşama, barajların daha doğrulukla hidrolik, sızma ve statik hesaplamaların yapılarak kontrol edilmesini içermektedir. Üçüncü aşama ise, ek araştırma çalışmaları ve daha doğru veriler temelinde; nihai hidrolik, sızıntı, statik ve dinamik hesaplamaların yapıldığı ve tüm yapılar ve yapısal elemanlar için ayrıntılı uygulama çizimlerinin hazırlandığı süreçtir. Fizibilite çalışmalarının yapıldığı, planlanan yapının inşasının gerekliliğini ortaya koyan ve farklı olasılıkları içeren araştırmalar 1-3 yıl sürer. Mevcut bilgileri, verileri ve ölçümlerden elde edilen sonuçları birleştiren ve yorumlayan ilk aşamanın bir sonucudur. Planlama aşamalarının teknik ve ekonomik gerekçesi ile ilgili tavsiyeleri verir. Barajın yeri,

yüksekliği ve tipi ile ilgili önerilen alternatifleri içerir. Maliyet, gerçekleşme süresi ve benzeri parametrelerle ilgili karşılaştırmalar yapılır. Bu çalışmalara dayanarak, opsiyonlu baraj yerleri, boyutu ve rezervuar değerleri ile, gerekli olan daha ayrıntılı araştırma çalışmaları hakkında bir karar verilir. Ardından, tasarımda hassas bir aşama olan baraj yerinin nihai seçimi ve değerlendirilmesi ile birlikte, ilgili yapıların seçimi, yerleşimi, teknik etkinliği ve ekonomisi üzerindeki etkisinin ayrıntılı bir incelemesi yapılır. Baraj yerinin seçimi yapıldıktan sonra çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi de söz konusudur. Bu aşamayı, baraj ve su tutma rezervuarının su geçirmezliğini ve stabilitesini doğrulamaya yönelik ek araştırma çalışmaları izlemektedir. Bu amaçla özellikle karst ve benzeri oluşumlarda kapsamlı bir jeolojik değerlendirme yapılması zorunludur. Bu aşamada hidrolojik çalışmaların genişletilmesi ve güncellenmesi de yapılmalıdır. Baraj tipinin belirlenmesi planlama aşamalarının tümüyle yakından ilgili olduğundan azami titizlikle gerçekleştirilmelidir. Bu adım, bir öncekiyle birlikte 2-4 yıl sürebilir. Ardından, bir sonraki adımda hem baraj hem de ilgili yapılar için nihai tasarımların yapılması mümkün olacak şekilde, özelliklerini ayrıntılı olarak belirleyecek olan baraj sahası araştırmalarının ikinci aşaması gelir. Bu aşama esas olarak teknik niteliktedir ve iki yıldan fazla sürmemelidir. Tasarımların kabulü ve gerekli izinlerin alınmasının ardından baraj ve buna bağlı yapıların yapımına geçilir. İnşaat çukurunun açılmasının ardından, temeldeki koşulların öngörülenden farklı olup olmadığı inceleme çalışmaları ile tespit edilmektedir. Bu, baraj ve ona bağlı yapılar için tasarımın revizyonunu zorunlu kılabilir [2].

Geçmişte ve günümüzde örnekleri yaşanan ve yaşanması muhtemel baraj kazaları, can ve mal emniyeti bakımından önemli bir tehdit unsurudur. Bir barajda meydana gelecek kazayı önleyebilmek veya bu mümkün olmuyorsa, kazanın verebileceği zararları en aza indirgeyebilmek için gerekli tedbirleri almak gerekir. Tedbir almak için ise tehlikeyi önceden kestirebilmek gerekir. Bu nedenle barajları gerek inşaatına başlamadan önce gerekse işletme ömrü boyunca emniyet açısından sürekli olarak denetlemek, muhtemel kazaları önceden tahmin edebilmek, mümkün ise önleyebilmek ve kazalardan etkilenmemek için hazırlıklı olmak gerekir. Bir dolgu barajın performansını belirleyen özellikleri, barajın gövdesinin ağırlığı ve rezervuardaki hidrostatik su yükünün neden olduğu deformasyon ve gerilme ile

barajın su tutabilme özelliğinin göstergesi olan sızma miktarı olarak açıklanabilir. Dolgu barajlarda yapılan denetim ve gözlemlerde amaç; baraj mekanizmasının genel stabilitesinin doğruluğunu kanıtlamak, sızıntı nedeniyle gövdede bir borulanma ve içsel erozyon olmadığından emin olmaktır [3].

Bir baraj, temeli ile birlikte, haznedeki su seviyesi ile mansap arasında hidrolik yük doğuran bir engeldir. Oldukça geçirimli temel zemini üzerine oturan ve az çok geçirimli malzemeden ibaret olan bir toprak dolgu barajda, haznedeki su, gerek gövde içinden ve gerekse temel zemini içinden sızarak mansap tarafına geçmeye çalışacaktır. Benzer sızmalar göletlerden ve seddelerden de meydana gelebilmektedir. Ayrıca baraj gövdesinin yamaçlarından da bu tür sızmalar meydana gelebilmektedir. Bu olay sonunda çözümü zor olabilecek sızma problemleri meydana gelebilmektedir. Bu problemlerden biri de borulanmadır. Borulanma, suyun zemin parçacıklarını korunmamış yöne doğru harekete geçirmesi ile oluşur ve dolgu içinde veya temel zemininde görülmeyen su kanalları halinde meydana gelir. Bu kanallar kısa sürede büyüyerek gövdede yarılmaya ve sonuçta göçmeye neden olur [4].

Bu sızmalar, yapının emniyetini bozmadıkça veya barajın vazifesine engel olmayacak şekilde belirli bir ölçüde kaldıkça tehlikeli değildir. Eğer gövde boyunca meydana gelen sızmalar malzemeyi sürükleyecek duruma gelirse, barajın tahribine sebep olan borulanma meydana gelmesi gecikmeyecektir. Bu da yıkımlara sebep olacaktır. Borulanma tehlikesi dışında sızmalar neticesinde mansap yüzünün su ile doygun hale gelerek mansap şevinin kayması da söz konusudur. Sedde arkasında biriken hazne suyunun çekirdek içindeki sızma hızı ve eğrisi bu suyun hazne arkasında belirli bir seviyede kalma süresine, malzemenin yatay ve düşey geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı değerlerine, seddenin sıkıştırılma derecesine, boşluk suyu basınçlarına ve suyun sızma süresine yani zamana bağlıdır. Sedde içinde oluşan sızmaların miktarı özellikle çekirdeğin ve diğer bölgelerin geçirimsizlik durumuyla ilgilidir. Toprak dolgu bir barajda gövdeden sızmalar, hem barajın sağlamlığı hem de sızan suyun kaybı açısından son derece önemlidir [5].

Sızma ve şev stabilite analizlerinin temeli, gözenekli ortam yaklaşımı kullanarak akışın temel yasasını oluşturan ve yön veren, 1856'da Henry Darcy tarafından kumla

dolu dikey bir boruda yürütülen bir dizi deneye dayanılarak elde edilen Darcy Yasası ile başlamıştır [1]. Darcy araştırmalarının sonunda, toprak gibi ince geçirgen ortamlarda hidrolik eğimin birinci dereceden etkili olduğuna bağlı olarak, eğimin etkisi altında su sızmalarının gerçekleştiği üzerine çalışmalar yapmıştır. Daha sonraları 1880'lerde Forchheimer; su basıncının yayılması ve suyun hızının, Laplace diferansiyel denklemleriyle bulunabildiğini göstermiştir. Birbirlerinden bağımsız olarak 1900'lerin başlarında Almanya'da Forchheimer, İngiltere'de de Richardson etkili bir grafik metot geliştirerek Laplace denkleminin hemen hemen doğru sonuçlar verdiğini kanıtlamışlardır. Fakat bu metot 1937'de Casagrande çok yönlü yazısını yayınlamaya kadar toprak barajlar için çok fazla kullanılmamıştır [5]. Fellenius 1936'da Felonious veya İsveç yöntemi olarak bilinen, herhangi bir dilimin kenarlarına etkiyen kuvvetlerin ihmal edildiği varsayılan, Sıradan Dilimler Yöntemini geliştirdi. Zienkiewicz ve Chung, 1967'de sabit yeraltı suyu sızıntısı için Laplace denklemini çözmek amacıyla ilk sonlu eleman simülasyonunu yayınladı. Taylor ve Chow, 1976'da potansiyel sızıntı akışlarını değerlendirmek için Sonlu Elemanlar Yönteminin kullanılabileceğini gösterdi. Kratutich 2004'de toprak barajlarda sabit serbest yüzey olmaması durumunu sayısal olarak simüle etmek için, drenaj ve termal dağılımın aynı prensipte olduğu sonucuna vararak, ANSYS bilgisayar programında termal modu kullandı. Günümüze kadar gelen bu süreçte artık çok sayıda bilgisayar programı sızma ve stabilite analizini yapabilmektedir [1].

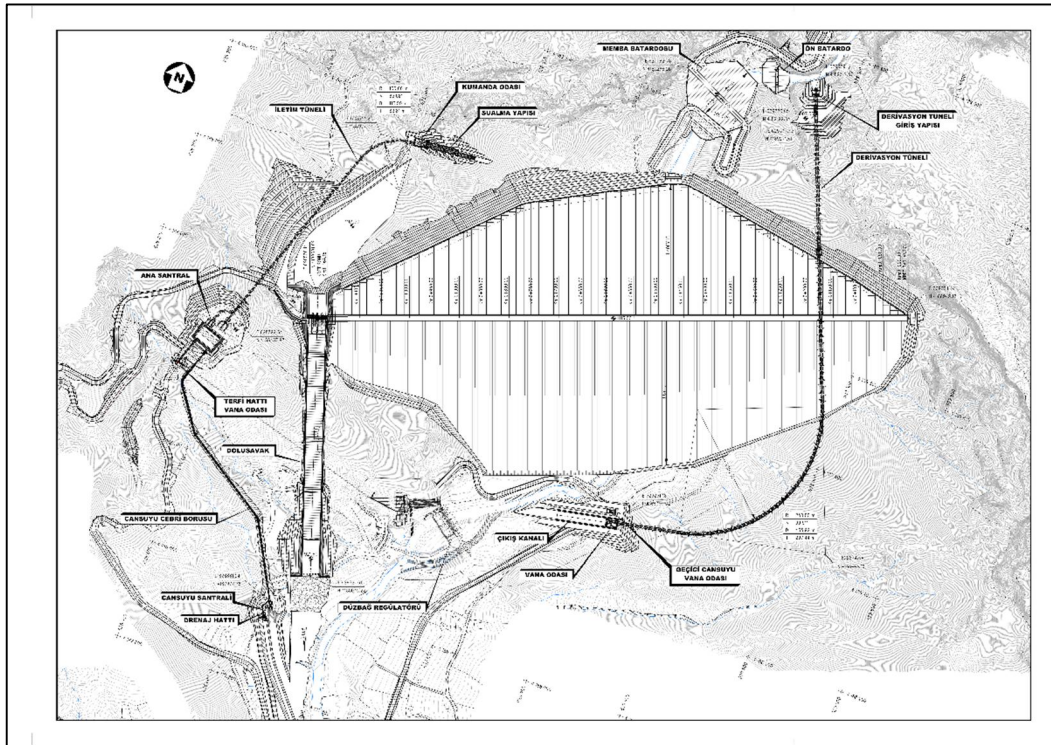
Gövde altından sızma problemleri bütün barajlarda göz önüne alınması gerekli bir konudur. Sızma miktarlarının beklenmeyen boyutlarda olması ve gerekli iyileştirmelerin zamanında veya hiç yapılmaması durumunda, önemli miktarlarda su kaybının yanında, baraj ve mansap bölgesinin emniyetini tehdit edecek sonuçlarla karşılaşılabilir. En uygun sızma kontrol metoduna karar verilebilmesi için sızmaların yerleri ve büyüklükleri iyi belirlenmiş olmalıdır. Bu durum detaylı jeolojik etütlerin yanında uygun sızma analiz metotlarının uygulanmasını da gerektirir. Barajlarda gerekli kontrol önlemleri uygulanmış olsa da, önceden tespit edilemeyen sebeplerle sızmalar ortaya çıkabilmektedir [6].

BÖLÜM 2

BARAJLAR VE KAYA DOLGU BARAJ

Baraj, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen yapıdır. Dünyada ilk barajın M.Ö. 4000 yıllarında Nil nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Uzunluğu 110 m ve yüksekliği 12 m olan bu baraj sulama ve içme su ihtiyacı için kullanılmıştır. Gene Nil nehri üzerinde Sadd-el-Kafara barajının M.Ö. 2950-2750 yılları arasında yapıldığı bilinmektedir. Çin’de ise M.Ö. 200 yıllarında yapılan Tu-Kiang barajı, 200 bin ha’lık pirinç tarlalarını sulamak için günümüzde hala kullanılmaktadır. İlk önemli kagir baraj 10 m yüksekliğinde ve Türkiye’de yapılan Kesis Gölü barajıdır [7].

Dolgu tipi bir baraja ait plan görüntüsü açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.1 Dolgu tipi bir barajın plan görünüşü [8].

Baraj kısımlarının açıklamaları şu şekildedir: [7]

- Baraj Gövdesi: Bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.
- Baraj Gölü: Baraj gövdesinin arkasında suyun depolandığı vadi kısmıdır. Baraj gölü, ölü hacim, faydalı hazne hacmi ve taşkın koruma hacminden oluşur.
- Su Alma Yapısı: Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.
- Dipsavak: Gerekğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan tesistir.
- Dolusavak: Taşkın sularının mansaba aktarılarak yapının emniyetini sağlayan tesistir.
- Derivasyon Tesisleri: Bir derivasyon sistemi baraj inşaatının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.
- Büro, atölye, laboratuvar, lojman, ambar, garaj, park yerleri gibi barajın özellik ve büyüklüğüne bağlı olarak ihtiyaçlara cevap verecek şekilde boyutlandırılmış yapılar.
- Diğer tesisler: Barajın hizmet ettiği amaca uygun olarak enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılar öngörülür.

2.1 BARAJ YERİNİN SEÇİMİ

Baraj planlama çalışmaları esnasında akarsu vadisinde baraj yapımına uygun yerler belirlenir. Daha sonra baraj yeri alternatifleri ayrıntılı olarak incelenir, üstün ve sakıncalı yönleri karşılaştırılarak en uygun baraj yeri belirlenir [7].

Baraj yerinin seçimi ile ilgili incelenmesi gereken durumların başında baraj yerinin özellikleri, göl bölgesinin özellikleri, yağış havzasının hidrolojik ve hidrolik özellikleri, iskan, istimlak ve yenileme ile ilgili maliyetler ile birlikte çevre etkisi gelir [7].

2.2 BARAJ YAPMA AMAÇLARI

Bir baraj şehirlerin içme ve kalkınma suyu ihtiyacını, sanayi su teminini, sulama suyu ihtiyacını, hidroelektrik enerji ve su ürünlerinin üretimini, mesirelik kullanımı gibi amaçlara hizmet etmesi için kullanılabilir [7].

2.3 BARAJLARIN ÇEVRE ETKİLERİ

Bir akarsu vadisinde yapılan baraj bölgenin ve çevrenin bazı özelliklerinde önemli değişimlere sebep olabilir. Bu etkilerin en önemlileri; ekonomi ve sosyal yaşam üzerindeki etkisi, bölge ekolojisi üzerindeki etkiler, bölgenin iklimine etkisi ve bitki örtüsüne etkisi, gaz emisyonları ile sera etkisi, balıkçılığa etkisi, memba ve mansap bölgesindeki yeraltı sularına etkisi, akarsu ulaşımına etkisi, mansap kesimindeki yatay oyulmalarına ve akış rejimine etkisi, rekreasyon ve turistik aktivitelere etkisi olarak sıralanabilir [7].

2.4 BARAJLARIN SINIFLANDIRILMASI

Barajlar büyüklüklerine, yüksekliklerine, yapılış amacına, fonksiyonlarına, statik projelendirilmesine, hidrolik özelliğine ve dolgu malzemelerinin çeşitlerine göre sınıflandırılabilirler.

2.5 DOLGU BARAJLAR

Dolgu barajlar çoğunlukla doğal malzemelerden yapılır. Nispeten geniş ve sığ rezervuarlar oluşturarak geniş vadileri ve sığ eğimleri olan alanlar için uygundur. Nispeten daha zayıf ve homojen olmayan zeminler üzerine inşa edilebilirler. Barajın üzerinden suyun taşması nedeniyle oluşan erozyona karşı savunmasız olduğu için su seviyesi çok yükseldiğinde rezervuardan su bırakacak bir dolusavak inşası gerektirir. Bu barajların iki ana tipi toprak dolgu barajlar ve kaya dolgu barajlardır. Malzemeler genellikle çevredeki bölgeden kazılır veya taş ocağından çıkarılır [9].

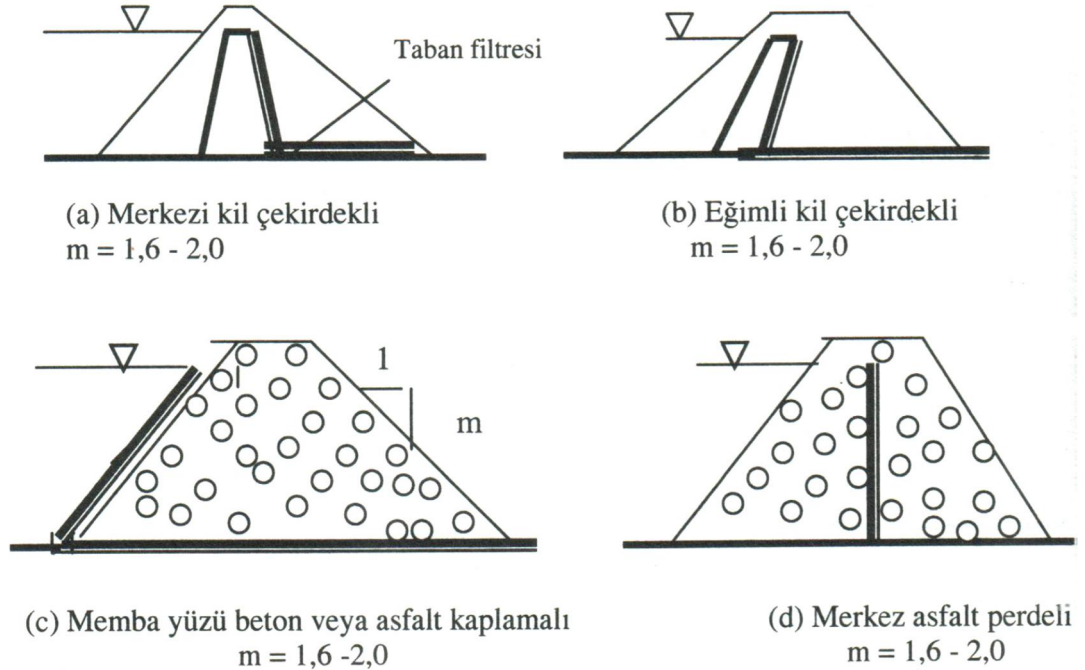
2.5.1 Toprak Dolgu Barajlar

Toprak dolgu barajlar çoğunlukla sıkıştırılmış topraktan oluşur. Çoğu dolgu barajın ortasında, düşük geçirgenliğe sahip malzemeden yapılmış çekirdek adı verilen bir bölge, çekirdeği kaplayan iki tarafta bir filtre adı verilen ve kademeli olarak dışa doğru büyüyen geçirgen bir kısım, akış yukarı ve aşağı akış topuklarında kabuk bulunur. Çekirdek, barajdan geçen suyu durdurmak için genellikle killi topraklardan yapılır[9].

2.5.2 Kaya Dolgu Barajlar

Kaya dolgu barajlar çoğunlukla dökülen ve sıkıştırılmış kaya dolgudan yapılır. Kaya dolgu barajlar geçirgendir. Gözenekli çekirdekten sızmayı önlemek için barajın memba yüzünde geçirimsiz bir çekirdek veya geçirimsiz bir katman bulunur. Geçirimsiz kısımlar genellikle betonarme, asfalt beton veya kilden yapılır [9].

Toprak ve kaya dolgu baraj tip kesitleri aşağıdaki Şekil 1.3 de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Dolgu baraj çeşitlerini gösterir tip kesitler [9].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1 ÇUKURCA BARAJI

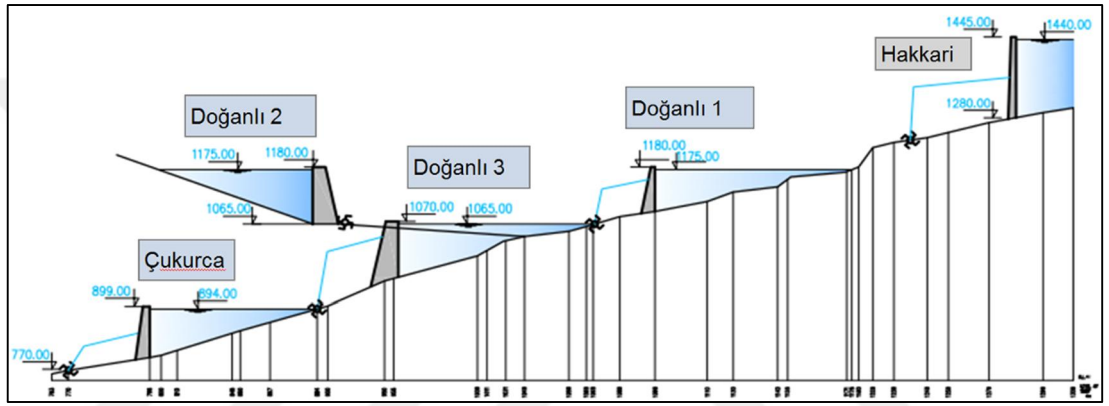
3.1.1 Genel Bilgiler

Çukurca Barajı, Hakkari İli-Çukurca İlçesi'ne bağlı Narlı Köyü'nün yaklaşık 3 km kuzeybatısında, Şort Deresi'nin Zap Suyu'na karıştığı yerin yaklaşık 500 m mansabında, Zap Suyu üzerinde ve 793 m talveg kotunda planlanmıştır. Proje alanı, Hakkari il sınırları içerisinde, Dicle Nehri'nin alt havzası olan Zap (Çığlı) Nehri'nde bulunmaktadır. Çukurca Barajı ve HES projesi Türkiye sınırındaki son hidroelektrik enerji projesidir.



Şekil 3.1 Hakkari Çukurca Barajı ve HES projesinin konumu [10].

Haziran 2010 tarihli fizibilite raporuna göre Çukurca Barajı ve HES Projesi ile Zap Nehri üzerinde 894 m ve 770 m kotları arasındaki düşünün değerlendirilmesi düşünülmüştür. Ancak, DC Hidro şirketi tarafından temin edilen santral yeri haritası incelendiğinde harita sınırındaki son kotun 773.85 m ve santral yerinde dere yatağı kotunun 776.70 olduğu tespit edilmiştir. 16.12.2014 tarihinde DC Hidro, Dolsar ve Pöyry şirketlerinin atılımları ile gerçekleşen video konferansta, DC Hidro tarafından nehir yatağında tarama yapılarak kuyruk suyu kanalı çıkışı eşik kotunun 776.70 m’ den 774.00 m’ ye düşürülmesi istenmiştir.

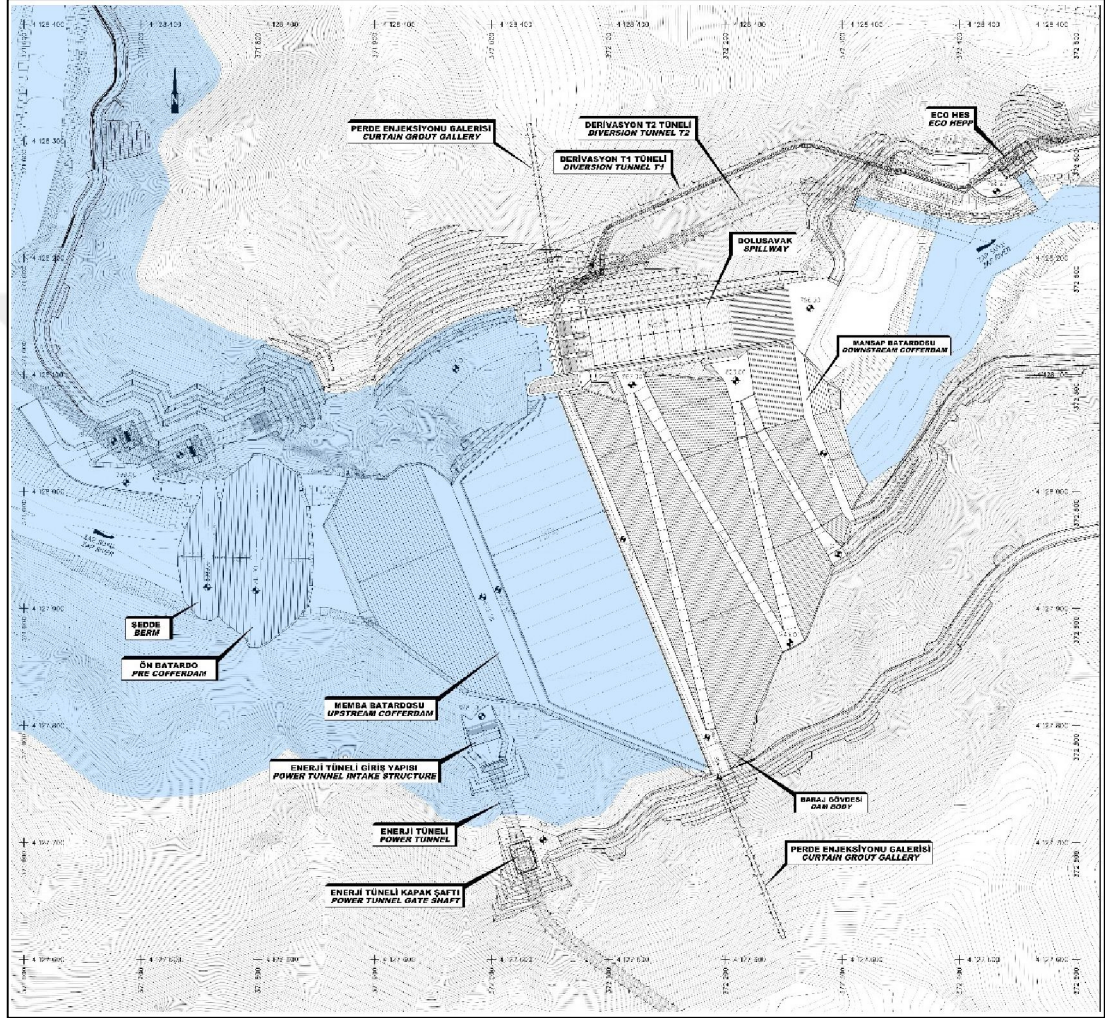


Şekil 3.2 Çukurca Barajı kaskatına genel bakış [10].

Çukurca Barajı, talvegden 106 m yüksekliğinde ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olarak tasarlanmıştır. Barajın talveg kotu 793.00 m ve kret kotu 899.00 m’ dir. Dolusavak sol sahile yerleştirilmiş olup suyun enerjisini kırabilmek için boşaltım kanalının sonuna bir sıçratma eşiği yerleştirilmiştir. Dolusavak 3 kapaklı olarak planlanmış olup, genişliği 12.00 m ve yüksekliği 15.00 m’dir. Bu aşamada orta ayakların genişliği 4.00 m kabul edilmiştir. Sonuç olarak dolusavağın genişliği 44.00 m olmaktadır. Dolusavak eşik yüksekliği 4.00 m, boşaltım kanalı uzunluğu 120.00 m ve eğimi 2.40Y (Yatay)/1D (Düşey) olmaktadır. Sıçratma ucunun yarıçapı ve sıçratma ucu sonundaki saptırma açısı sırayla 28.00 m ve 30 °’dir.

İnşaat aşamasında nehrin derive edilmesi için sol sahilde 2 adet birbirine benzer derivasyon tüneli planlanmıştır. Tünel giriş ve çıkış kotları baraj yerleşimi ve nehir yatağı kotlarına göre sırasıyla, 797.00 m ve 789.00 m alınmıştır. Bu kotlar dere yatağı kotlarından yaklaşık 2.0 m yukarisındadır. Bu kot farkı sayesinde büyük

blokların derivasyon tüneli içine girmesi engellenmiştir. Ayrıca bu kotlar derivasyon tüneli içerisindeki hidrolik şartların sağlanması içinde uygundur. Kısa ve uzun derivasyon tünellerinin eğimleri sırasıyla 0.0128 ve 0.0112'dir. Kısa ve uzun tünellerin boyları sırasıyla 622.80 ve 713.22 m'dir.



Şekil 3.3 Çukurca Barajı ve HES plan görünüşü [10].

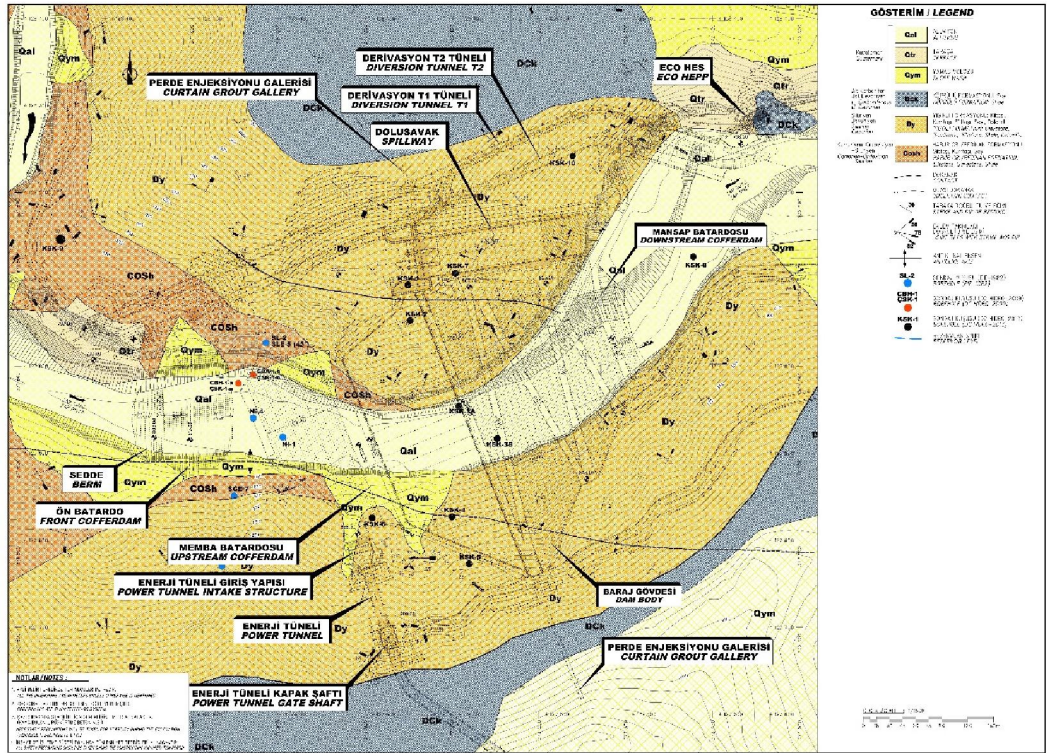
Çukurca Barajı ve HES projesi kapsamında enerji üretimi için iki adet santral bulunmaktadır. Ana santral enerji tünelinin sonunda ve Türkiye Irak sınırının yaklaşık 900 m membasında bulunmaktadır. Ana santralde 3 adet düşey eksenli Francis türbin bulunmakta olup, kurulu gücü 261 MWe (Kurulu Güç Elektriksel)/264.9MWm(Kurulu Güç Mekaniksel)'dir. Ayrıca, derivasyon tüneli çıkış kanalı mansabında Eko HES tasarlanmıştır. Eko HES'ten ekolojik yaşamın devamı ve mansap su hakkı için gerekli sular türbinlenerek nehir yatağına bırakılacaktır. Eko

santralde 2 adet düşey eksenli Francis türbin bulunmakta olup, kurulu gücü 21.2 MWe / 21.6MWm'dir [10].

3.1.2 Baraj Sahası Jeolojik Özellikleri

Zap Nehri baseninde bulunan proje alanı, aynı zamanda Arap Levhası üzerinde kıvrımlanmış kuşak bölgesinde yer alır. Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (Bitlis Bindirmesi) ile sürüklenen Hakkâri Karmaşığına ait birimler inceleme alanının kuzeyinde mostra verirler. Bu tektonizma nedeniyle inceleme alanındaki birimler; bu bölgede oluşan otokton birimler ve sürüklenimle bölgeye yerleşmiş allokton birimler olmak üzere iki ana bölümde incelenmiştir.

Çukurca Baraj yerinde, ana kayanın jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, 1982-1984, 2009 ve 2013 yıllarında temel araştırmaları yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmalar Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından 1982 ile 1984 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Planlanan baraj yerinde 7 farklı noktada toplam 612 metre düşey ve eğimli karotlu temel araştırma sondajı açılmıştır. 2009 yılında, DC-Hidro Enerji Üretim A.Ş. tarafından Çukurca Barajı ve çevresinde 10 adet toplam 550 m derinlikte temel araştırma sondajı yapılmıştır. 2013 yılında, DC-Hidro Enerji Üretim A.Ş tarafından Çukurca Barajı ve HES çevresinde 15 adet toplam 1.148 metre temel araştırma sondajı yapılmıştır.



Şekil 3.4 Baraj sahası jeoloji haritası [10].

Baraj yerinde ana kaya olarak Habur Grubu'nun Bedinan Formasyonu ile bunun üzerine uyumsuz olarak gelen Yığınlı Formasyonu yüzeylenmektedir. Bedinan Formasyonu, baraj eksenini dikine kesen Çukurca Antiklinalı'nın çekirdeğinde de gözlenmiştir.

Baraj yerinde açılan sondajlarda, Bedinan formasyonu içerisinde kuvarsit, metasilttaşı, metakumtaşı, silttaşı ve şeyller geçilmiştir. Formasyon içerisindeki egemen birimler, silttaşları ve kumtaşları olup yer yer metamorfize olmuşlardır. Baraj gövdesinin hemen hemen tamamının oturacağı Yığınlı formasyonu, kiltası, silttaşı, kumtaşı, dolomit-dolomitik kireçtaşı ve şeylden oluşmaktadır. Sondajlar incelendiğinde kaya türlerinin çoğunluğu ayırtlanabilmektedir. Yer yer sondajlar da kiltası-silttaşı-kumtaşları ile dolomit ve dolomitik kireçtaşları ardalanmalı olarak da geçilmiştir.

Bu formasyonların üzerinde vadi tabanının üst kotlarında yer yer taraçalar (eski alüvyon), nehir yatağında alüvyon ve yamaçlarda ise yamaç molozları ve kaya

İçerisinde 150 mm büyüklüğünde çakıl malzemelerin bulunduğu kohezyonsuz silt ve ince kum malzemeden oluşur. Bu zon, 20-30 cm katmanlar halinde yerleştirilip düşük basınçla sıkıştırılmalıdır. Bu zonun asıl amacı ön yüz beton kaplamasının çatlağının olması durumunda sürüklenme olmasını engellemesidir. Aynı zamanda çevresel derzlerin birleşiminde uçucu kül veya silt malzeme paketler halinde yerleştirilir [11].

3.2.2 2A Zonu (Çevresel Derz Filtre Zonu)

Çevresel derzin altında tahmini 1.5 m yüksekliğinde inşa edilen kum-çakıl malzemelerden oluşmuş filtre zondur. Bu zon su tutucularda sızıntı olduğunda sızan suyu tutmakla görevlidir. 2A filtresi 20-40 cm katmanlar halinde yapılan, iş makinesinin önüne takılan dikdörtgen şeklindeki sıkıştırma ucunun basınçlı şekilde preslenmesiyle teşkil edilir. 2A zon serilirken segregasyona maruz kalmasına ve inşaat sırasındaki sürüklenmeye uğramaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu zon 1A zonuna filtre oluşturacak, içsel stabilitesi ve borulanma oluşmaması için gözlem yapılacaktır [11].

3.2.3 2B Zonu (Yastık Zonu)

Bu zonun görevi ön yüz beonuna yastık görevi olmasıdır. 40 cm'lik tabakalar halinde sıkıştırılan bu zon yüksek basınçlı şekilde titreşimli silindirle sıkıştırılarak oluşturulmalıdır. Baraj gövdesinin kretinde bulunan parapet duvarının altından başlayan bu zon baraj yüksekliğine göre 2-4 m genişliğinde yapılacaktır. Bu zondaki malzeme kırmataş olmalı ve hem geçirimli malzeme alanından hemde kaya ocağından temin edilmelidir [12].

3.2.4 3A Zonu (Geçiş Zonu)

3A zon, 2B zonundan 3B zonuna geçiş katmanıdır. bu sebepten hem 2B zonuna filtre oluşturmalı hemde 3B zonuna geçişte borulanmama olmaması için gerekli filtre önlemleri alınmalıdır. 30-45 cm' lik tabakalar halinde serilen bu zon minimum 4

geçiş olacak şekilde silindirle sıkıştırılmalıdır. Baraj yüksekliğine bağlı olarak 2-4 m arası bir genişlikte imal edilecektir [12].

3.2.5 3B Zonu

Ön yüz beton kaplamasını önemli ölçüde etkileyen bu zonun sıkıştırılırken yeterli miktarda su kullanılmasına, kalitesine, en az 6 geçişli olacak şekilde sıkıştırılmasına özel olarak önem verilmelidir. Bu zonun malzemesi 60-90 cm genişliğindeki malzemelerden oluşmalı ve titreşimli silindirle iyi sıkıştırılmalıdır [12].

3.2.6 3C Zonu

Eksenin mansabında teşkil edilen bu zonun dane çapları maksimum 90cm aralığında ve 120 cm' lik tabakalar halinde serilmelidir. Orta seviyede sıkıştırma yeterli olacaktır ve bu sıkıştırma sırasında en az 4 geçiş uygulanmalı ve yeterince su ile yıkanmasına özen gösterilmelidir [12].

3.2.7 3D Zonu (Riprap)

Hem memba hem de mansapta uygulanabilen bu zon kaya gereç alanından alınan kaya malzeme ile inşa edilecektir. Bu zonun kalınlığı minimum 1m olmalıdır [12].

3.2.8 Kil Çekirdek ve Kabuk Dolgu Zonları

Barajın kabuk katmanları kaya malzemelerden yapılmıştır. Geçirimsizlik ise merkezi kil veya eğik kil ile sağlanmıştır. Bu kil çekirdeğin memba ve mansap kısımlarında filtre zonları mevcuttur. Çekirdeğin yanlarında sırasıyla kum filtre (Fk), çakıl filtrelerden (Fç) ve kaya ufağı adlı kabuk zonları bulunur. Bu tip barajları oluşturan malzeme kaya olduğu için herhangi bir örtü malzemesine ihtiyaç yoktur [12].

3.2.9 Asfalt Çekirdek

Asfalt çekirdek, 20 cm'lik tabakalar halinde sıkıştırılarak inşa edilecektir. 30 m'den büyük barajlarda asfalt çekirdeğin kalınlığı 50-150 cm arasında olacaktır. Bu kalınlık su yüküne göre değişkenlik gösterebilir. Pratik olarak çekirdeğin temeldeki kalınlığı baraj yüksekliğinin %1 i kadar olması yeterli olacaktır [13].

3.3 TASARIM KRİTERLERİ

Dolgu, sızma ve sismik parametrelerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

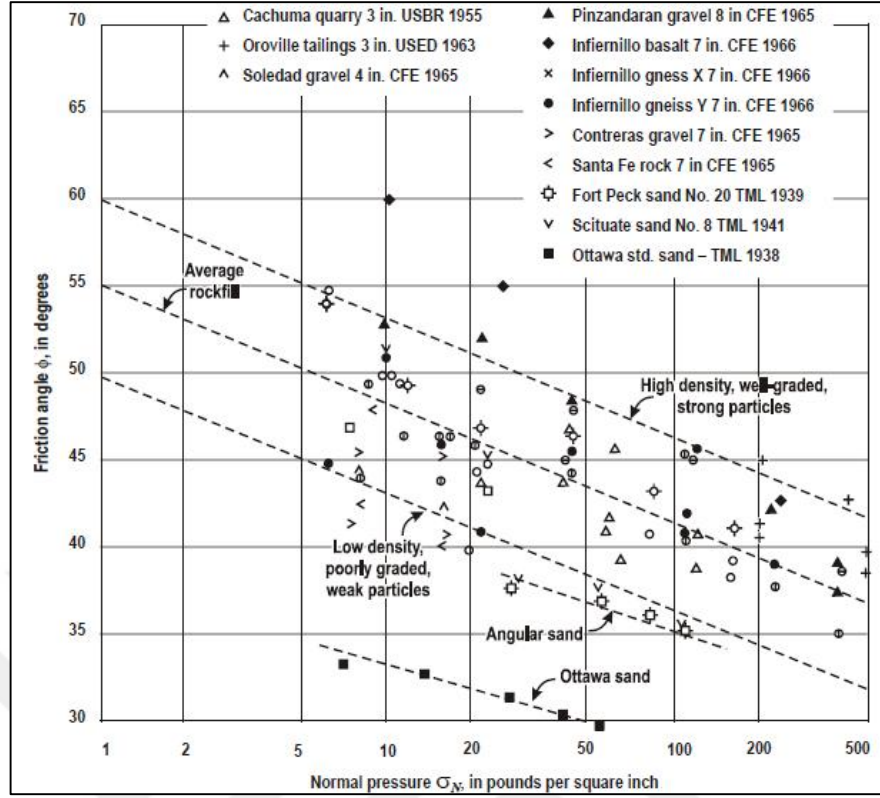
3.3.1 Dolgu Malzemelerinin Parametreleri

Yapılması planlanan Çukurca Barajı ve Hidroelektrik Santral (HES) projesinin gövdesinde kullanılacak malzemelerin özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Baraj gövde dolgusu malzeme özellikleri [10].

Malzeme ismi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Dayanım Tipi	Kohezyon (kN/m ²)	İçsel Sürtünme Açısı (θ)
Temel Kayası	24	Mohr-Coulomb	500	40
Alüvyon Temel	20	Mohr-Coulomb	0	35
Beton	24	Mohr-Coulomb	520	35
Geçirimsizlik Duvarı	20	Mohr-Coulomb	0	35
1A Kuru	18	Mohr-Coulomb	0	30
1A Doygun	20	Mohr-Coulomb	0	24
2A Kuru	22	Mohr-Coulomb	0	36
2B Kuru	22	Mohr-Coulomb	0	36
2B Doygun	23	Mohr-Coulomb	0	30
3A Kuru	21.5	Mohr-Coulomb	0	44
3A Doygun	23	Mohr-Coulomb	0	38
3B Kuru	21.5	Kayma-Eksenel Gerilme Fonksiyonu	0	Leps Diyagramı
3B Doygun	23	Kayma-Eksenel Gerilme Fonksiyonu	0	Leps Diyagramı
3C Kuru	21.5	Kayma-Eksenel Gerilme Fonksiyonu	0	Leps Diyagramı
3D Kuru	21.5	Mohr-Coulomb	0	50
3D Doygun	23	Mohr-Coulomb	0	44
Kil Drene Olmadığı	17.5	Mohr-Coulomb	34	7
Kil Drene Olduğu	18.5	Mohr-Coulomb	15	25
Ku	20.5	Mohr-Coulomb	0	40
Ft	20	Mohr-Coulomb	0	35
Fç	20	Mohr-Coulomb	0	35
Fk	18	Mohr-Coulomb	0	33
Asfalt	24	Mohr-Coulomb	350	26

Kaya dolgular kohezyonsuz ($c=0$) olup, dolgu malzemesinin üzerindeki normal basınç arttıkça, içsel sürtünme açısı azalmaktadır. Bu durumu, kaya dolgu barajlardan alınan örnekler üzerinde yaptığı üç eksenli kesme deneyleri ile gösteren Leps Diyagramı tarafından önerilen, kayma eksenel gerilme / içsel sürtünme açısı ilişkisi Şekil 3.2 de verilmiştir [14].



Şekil.3.8 Kaya dolgularda Gerilme - İçsel Sürtünme Açısı ilişkisi [14].

Kaya dolgu kesme dayanımıyla ilgili çeşitli çalışmalar (Marsal 1973, Barton ve Kjaernli 1981, Charles ve Watts 1980, ICOLD 1993, vd.) kaya dolgunun gerçek davranışının lineer olmadığını doğrulamaktadır. Kayma gerilmesi ile normal gerilme arasındaki ilişki:

$$\tau = A * (\sigma')^b \text{ 'dir.}$$

Burada, τ kayma dayanımı, σ' efektif normal gerilme A ve b'de kaya tipine bağlı olan ampirik katsayılar olarak basitleştirilerek verilebilir. Görüldüğü üzere barajın değişik yerlerinde sargılama basıncına göre kaya dolgunun davranışı değişmekte, alt bölgelerde daha rijit, üst bölgelerde daha yumuşak bir davranışa rastlanmaktadır. Çalışmada olumsuz durumun ele alınması amacı ile yukarıdaki Şekil 3.2 de verilmiş olan eğrilerden minimum değerler alınarak Çizelge 3.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2 Leps Diyagramına Göre Normal – Kayma Gerilmesi min. Değerleri.

Normal Gerilme	Kayma Gerilmesi
0.00	0.00
6.89	7.93
13.79	14.82
34.47	33.59
68.95	62.63
137.90	116.78
344.74	264.62
689.48	489.08
1378.95	907.18
3447.38	2047.72

3.3.2 Sızma Parametreleri

Baraj gövdesinde sızma analizlerinin yapılmasının amacı; gövde ekseninden sızma kaybı miktarının belirlenmesinin yanında gövde şevlerinin stabilitesi ve gerilme deformasyon analizlerinde kullanılacak baraj-temel sistemindeki boşluk suyu basınçlarının tayin edilmesidir [10].

Sızma analizlerinde aşağıdaki durumlar incelenmiştir.

1. Minimum İşletme Su Seviyesi (855.00m)
2. Normal İşletme Su Seviyesi (894.00m)
3. Maksimum Taşkın Su Seviyesi (897.57m)

Malzemeler ile ilgili geçirimsizlik değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3 Baraj gövdesinde kullanılan malzemelerin geçirimsizlik değerleri [10].

Malzeme İsimleri	Geçirimsizlik (m/s)	Malzeme İsimleri	Geçirimsizlik (m/s)
Temel Kayası	1×10^{-6}	3B Kuru	1×10^{-2}
Temel Alüvyonu	1×10^{-3}	3B Doygun	1×10^{-2}
Beton	1×10^{-9}	3C Kuru	1×10^{-1}
Geçirimsizlik Duvarı	1×10^{-7}	3C Doygun	1×10^{-1}
1A Kuru	1×10^{-7}	3D Kuru	1×10^{-1}
1A Doygun	1×10^{-7}	3D Doygun	1×10^{-1}
2A Kuru	1×10^{-5}	Kil Çekirdek	1.6×10^{-9}
2B Kuru	5×10^{-4}	Ku	1×10^{-2}
2B Doygun	5×10^{-4}	Fç	5×10^{-3}
3A Kuru	1×10^{-3}	Fk	5×10^{-4}
3A Doygun	1×10^{-3}	Asfalt Çekirdek	1×10^{-10}

3.3.3 Sismik Tasarım İvmeleri

Tüm incelenecek durumlar için şev stabilitesi analizleri kayma daireleri yöntemi ile yapılacaktır ve istenen emniyet katsayılarının sağlanması aranacaktır. Kullanılacak yazılıma deprem durumu sabit ivme olarak girilecekse K katsayısı kullanılmalıdır. Yatay eşdeğer deprem katsayısı (K) seçilirken aşağıdaki eşitliklerden faydalanılabilir.

$$K=(0, 40 \sim 0, 60)a_{\max}$$

$a_{\max}$: Seçilen depremin pik ivmesi

Towhata (2008)'da ise Noda ve diğerlerinin topladığı datalar kullanılarak 0.22'den küçük ivmeler için PGA, 0.2g'den büyük yer ivmeleri için ise $((PGA)^{0.333})/3$ değerini önermektedir [13].

Bu değişken katsayı olası depremin frekans özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Deprem dalgalarının uzun periyot bileşenleri hakimse büyük değer, küçük periyot bileşenleri hakim ise küçük değer dikkate alınabilir. Ancak yarı-statik analizlerde kayan bir kütleye sabit bir ivme uygulanarak sistem çözüldüğünden şev stabilitesi ile

ilgili bilgi vermekle birlikte kretteki oturmalar ile ilgili bilgi vermemektedir. Bu sebeple gerilme - deformasyon analizleri ile hesaplanacak düşey ve yatay deplasmanlar dikkate alınarak ilgili zonların boyutları kontrol edilmeli ve gövde geometrisine nihai hali bundan sonra verilmelidir.

Çukurca Projesi barajının tanımlanmış sismik katsayılarının Çukurca, Barajı Proje Alanı Deprem Değerlendirme Raporu, Temmuz 2015’ de aşağıda elde edilmiştir [15].

1. 2475 yıllık tekerrür periyotlu, hizmet ömrü 50 yıl olan ve hizmet ömrü süresince aşılma olasılığı % 2 olan: Maks. yer ivmesi 461.0 cm / s^2 (0.470 g)
2. 144 yıllık tekerrür periyotlu, hizmet ömrü 100 yıl olan ve hizmet ömrü süresince aşılma olasılığı % 50 olan: Maks. yer ivmesi 200 cm/s^2 (0.204g)

M = 7.2 büyüklüğündeki deprem göz önüne alındığında EED değeri için $(k) = 0.18g$ kullanılması önerilir.

Bunlara göre sismik yükler aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

EED (Tekerrür periyodu: 2475 yıl):

$$k_h = 0.470^{(0.333)} / 3 \approx 0.26$$

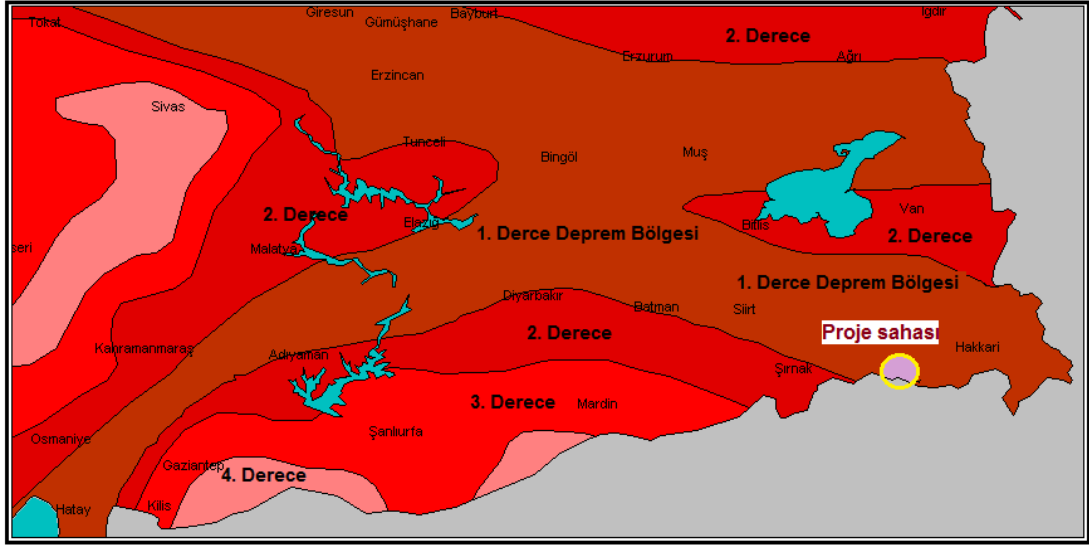
$$k_v = k_h / 2 = 0.13$$

İED (Tekerrür periyodu: 144 yıl):

$$k_h = 0.204 * 0.60 \approx 0.12$$

$$k_v = k_h / 2 = 0.06$$

Çukurca Barajı ve HES Projesinin deprem bölgesini gösterir harita aşağıda verilmiştir. Şekil 3.3’e göre proje sahası 1. Derece Deprem Bölgesi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9 Baraj yeri deprem bölgesi[16].

Barajın stabilite ve sızma çözümlemesi için yapılacak yükleme durumları ve bu durumları karşılaması gereken minimum şartlar Çizelge 3.4’ te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 Yükleme durumları ve emniyet katsayıları [13].

Hal	İncelenecek Şev	Emniyet Katsayısı	Yükleme Durumu
İnşaat Sonu	Memba / Mansap	1,3	Olağan Dışı
İnşaat Sonu Depremli (İED)	Memba / Mansap	>1,0	Ekstrem
İşletme	Mansap	1,5	Olağan
İşletme Depremli (İED)	Mansap	1,2	Olağan Dışı
İşletme Depremli (EED)	Mansap	>1,0	Ekstrem
Ani Boşalma*	Memba	1.2	Olağan Dışı
Ani Boşalma Depremli (İED)**	Mansap	>1,0	Ekstrem

* Ön yüzü kaplamalı barajlarda dikkate alınmayacaktır.

** Sadece pompajlı depolamalar için uygulanacaktır.

Yukarıda belirtilen şartlardan inşaat sonu barajın tamamen bitmiş fakat su tutma aşamasına geçmemesi durumudur. Bu durumda hem memba hem de mansap şevlerinin stabilite analizi yapılır.

İnşaat Sonu Depremlı (İED) analizinde inşaat sonu analizine ek olarak İşletme Esaslı Deprem (İED) sismik deprem itkisi yüklenerek çözümleme yapılır ve bu stabilite çözümlemesinde de hem memba hem mansap stabilite analizi değeri hesaplanır.

İşletme stabilite analizinde barajın bitmiş haline ek olarak baraj Normal İşletme Su Seviyesi 894.00 m' ye kadar su dolu iken stabilite analizi yapılır. Bu analizde memba yüzeyinde su yükü olduğu için memba stabilitesi yapılması uygun değildir. Mansap stabilite analizi yapılması yeterli olacaktır.

İşletme Depremlı (İED) ve İşletme Depremlı Olabilecek Maksimum Deprem (EED) baraj Normal İşletme Su Seviyesi 894.00 m' ye kadar su dolu iken İED ve EED deprem sismik katsayıları sırasıyla baraj gövdesine etki ettirilerek stabilite analizi yapılır. Bu analizde baraj rezervuarında su olduğu için, memba için gerekli stabilite analizinin yapılması yerine mansap stabilite analizini yapmak yeterlidir.

Ani boşalma çalışmasında baraj haznesindeki suyun Normal İşletme Su Seviyesi 894.00 m' den Minimum İşletme Su Seviyesi 855.00 m' ye düşmesi ve bu düşüşün baraj içerisindeki zonların stabiliteye etkisine bakılır.

3.4 STABİLİTE ANALİZİNDE KULLANILAN METOD

Bu bölümde Çukurca Barajı ve HES projesinin sızma ve stabilite analizlerinin hangi program ile yapılacağı hakkında bilgi verilmiştir.

3.4.1 Rocscience Paket Programı

Hakkari Çukurca Barajı ve HES projesinin alternatif çözümlemeleri ile bu çözümlemelerden alınan güvenlik sayılarının sonuçları Rocscience Paket Programının içerisinde bulunan Slide programı ile elde edilmiştir.

3.4.2 Slide Programı

Slide, toprak veya kaya eğimlerindeki dairesel veya dairesel olmayan göçme yüzeylerinin güvenlik faktörünü veya arıza olasılığını değerlendirmek için iki boyutlu bir limit denge şev stabilite programıdır. Slide, dikey dilim veya dikey olmayan dilim sınırı denge yöntemlerini kullanarak kayma yüzeylerinin stabilitesini analiz etmektedir. Ayrıca hem kararlı durum hem de geçici koşullar için programa doğrudan yerleştirilmiş sonlu elemanlı yeraltı suyu sızıntı analizi içermektedir [17].

Slide sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir programdır ve çözümleme koşulları ve açıklamaları ile ilgili bilgiler programın içerisinde bulunan Slide Tutorials kısmında açıklamalı olarak verilmektedir [18].

3.4.3 Şev Stabilitesi Çözümlemesi

Şev stabilitesi analizleri, Slide yazılımı içerisinde bulunan Slope Stability modülü kullanılarak yapılacaktır. Stabilite analizinde kullanılacak malzeme parametreleri için Mohr-Coulomb deneyi ile elde edilen birim hacim ağırlık (γ), kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri Slope Stability modülüne girilecektir. Mohr-Coulomb deneyi kalınlığı fazla olmayan malzemelerde doğru sonuç verebilir fakat barajın yüksekliği arttıkça zonlarda sıkıştırılan malzemelerin boşluğunun homojen olarak dağılmamasından ve bu zonların barajın alt kısımlarında daha fazla yüke maruz kaldığından değerlerin değişkenlik sağlamasından dolayı Mohr-Coulomb deneyi ile elde edilen bilgiler doğru sonuca ulaşmak için yeterli olmayabilir. Bu yüzden Çizelge 3.2 Leps Diyagramına Göre Normal – Kayma Gerilmesi Değerleri diyagramlarından minimum şartları sağlayan veriler elde edilerek kaya zonlarındaki modelleme tipinde Shear/Normal Function kullanılması normal gerilme / kesme gerilmesi değerleri tanımlanması daha doğrudur.

3.4.4 Sızma Çözümlemesi

Sızma analizleri Slide yazılımının içerisinde bulunan Steady State Groundwater modülü kullanılarak yapılacaktır. Analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu ile çalışılacak ve suyun birim ağırlığı, $\gamma = 9,81 \text{ kN/m}^3$ alınacaktır.



BÖLÜM 4

FARKLI DOLGU BARAJ TİPLERİNDE GÖVDE VE SIZMA ANALİZLERİ

Bu bölümde Çukurca Barajı ve HES projesi göz önünde bulundurularak Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj (ÖYBK), Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj alternatifleri için stabilite ve sızma analizleri yapılmıştır. Ayrıca ele alınan bu üç potansiyel gövde tiplerinin seçilmesi durumunda oluşan hacimler kıyaslanmıştır.

4.1 FARKLI KAYA DOLGU BARAJ GÖVDELERİNİN TASARIMI

Gerekli kısıtlamalar dikkate alınarak Çukurca Barajı ve HES projesi için tip kesitler ve çözümlenmesi yapılacak farklı kaya dolgu barajlar hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

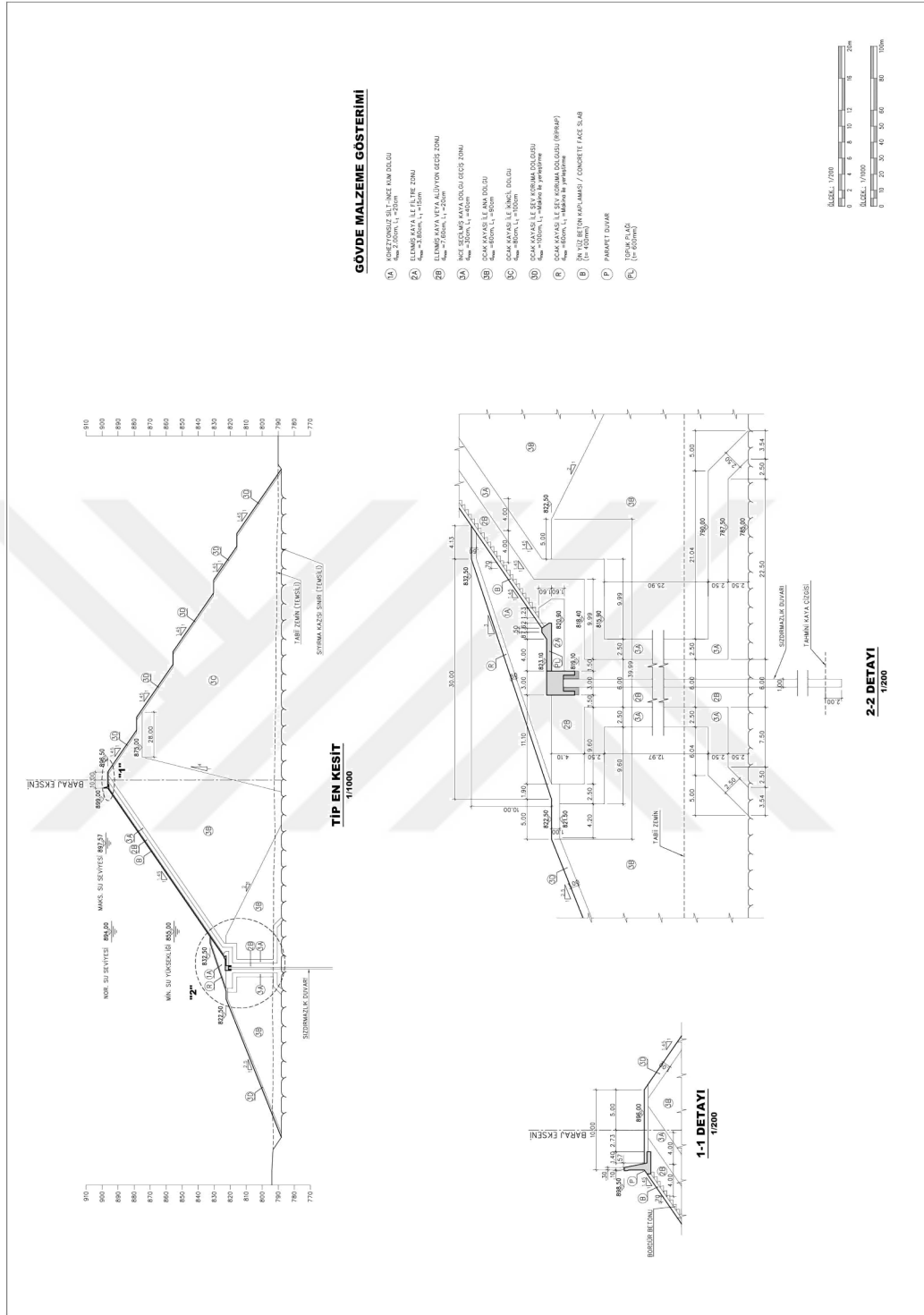
4.1.1 Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu (ÖYBK) Baraj

Kaya dolgu barajlar hakkında kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu (ÖYBK) barajlar; güvenli olmaları, büyük farklılıklar gösteren arazi koşullarına uyum sağlayabilmeleri, yapılarının pratik ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden dolayı çoğunlukla tercih edilmeye başlanmıştır. Kayanın yüksek dayanımından yararlanarak su tutucu ön yüz betonunun desteklenmesi prensibi ile çalışan ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar bugüne kadar dünyanın çeşitli yerlerinde çok büyük yüksekliklerde bile başarı ile inşa edilmiştir. Bu tip barajların daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu tür barajlarla ilgili olarak yapılan incelemelerde, sorunların büyük oranda ön yüz beton tasarımı ve beton işçiliği ile alakalı olarak karşımıza çıkmakta olduğu görülmektedir. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu

barajların tamamı kuru olduğundan deprem titreşimleri kaya dolgu boşluklarında boşluk suyu basıncı oluşturmaz. Bu özelliğinden dolayı da ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu baraj depreme karşı dayanıklı kabul edilebilmektedir. Kret oturmaları ise nispeten düşüktür ve ilk birkaç yıldan sonra bu oranda çok büyük düşme gözlenmektedir. Bu tip barajlardan ciddi deprem yüküne maruz kalındığı pek kaydedilmemiştir. Kısa ve orta yükseklikteki bu tip barajların küçük ve orta dereceli depremlerde sızma artışı göstermeleri normal karşılanmıştır. Yüksek deprem riskli yapılarda ise plak kalınlığının artırılması yoluna gidilmektedir [19].

Çukurca Barajı için planlanmış ÖYBK alternatifi tip kesiti Şekil 4.1 de görülmektedir.



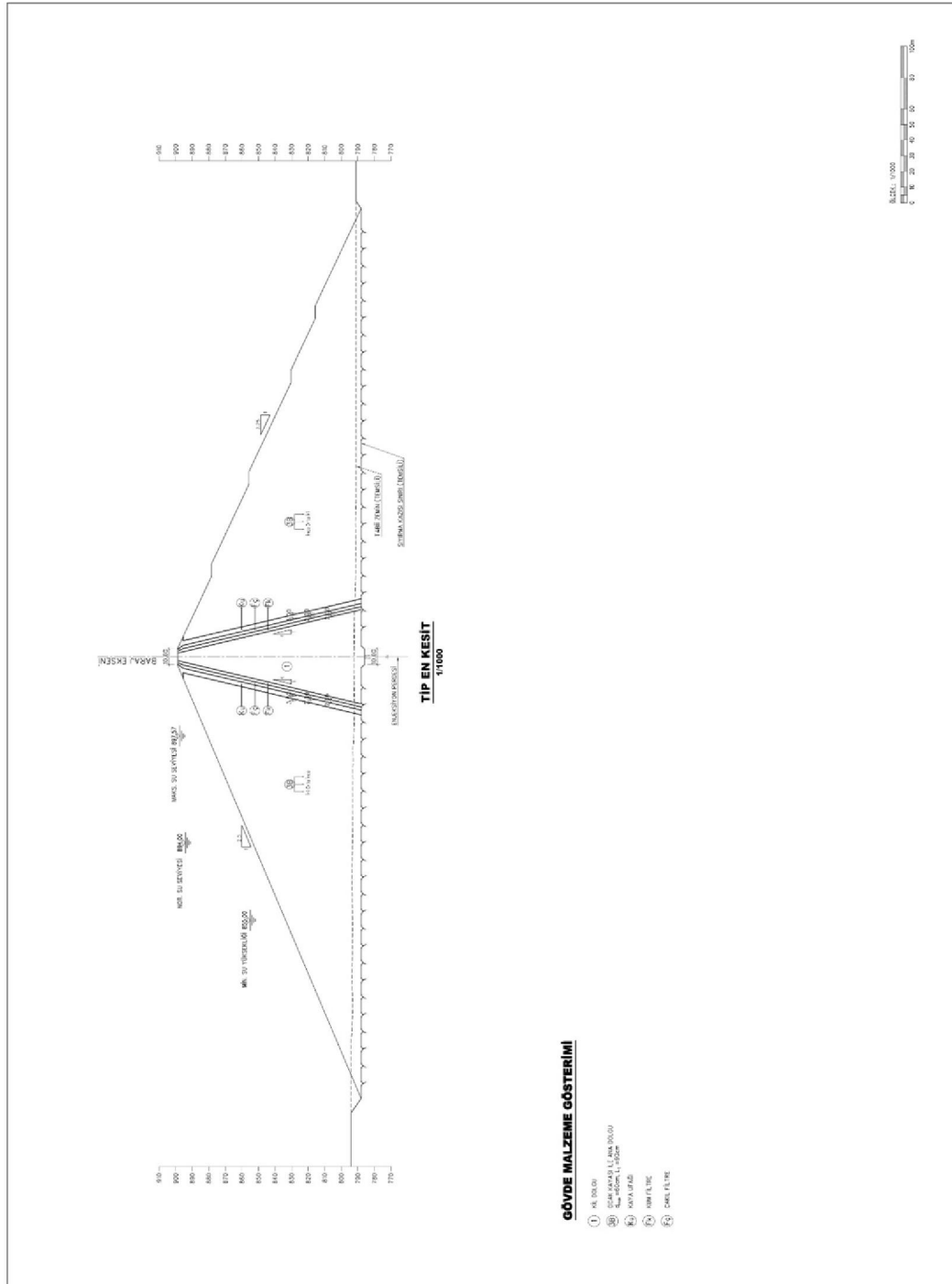


Şekil 4.1 Çukurca Barajı ÖYBK alternatifi tip kesiti.

4.1.2 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj

Kil çekirdekli dolgu barajlar dünyanın her yerinde en çok tercih edilen baraj tipidir. Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliği temin edecek kil malzeme, filtre için kum-çakıl ve kaya malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. 15 m ile 20 m den daha düşük yüksekliklerde baraj inşasında genellikle diğer tip barajlardan daha ekonomik olduğu görülmektedir. Bu gibi durumlarda yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj tipi yapılmaktadır. Uygulamada 335 m yüksekliğe kadar kaya dolgu baraj yapımı mevcuttur. Bu tip barajlarda kabuk zonlarının (kum filtre ve çakıl filtre) dolgusu kaya ile inşa edilir. Kil çekirdekle kabuklar arasında kum ve çakıl filtrelerle ilâveten, hem membada, hem mansapta kaya ufağından elde edilen 3.0 m kalınlığında birer tranzisyon tabakası oluşturulur. Memba şevi 1. derece deprem bölgelerinde 2.5 Y : 1.0 D, 2. derece deprem bölgelerinde 2.25 Y : 1.00 D , 3., 4. ve 5. derece deprem bölgelerinde 2.0:1.0 olarak alınır. Mansap şevi 1. derece deprem bölgelerinde 2.25, diğer deprem bölgelerinde 2.0 olarak alınır. Kum ve çakıl filtrelerin kalınlıkları, 1. derece deprem bölgelerinde 2.0 m diğer deprem bölgelerinde 1.5 m olarak alınır. Kil çekirdeğin üst genişliği 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde 5.0 m, diğer bölgelerde 4.0 m olarak yapılır. Kil çekirdeğin memba ve mansap şevleri aynı, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde 1.0 Y:4.0 D, diğer bölgelerde 1.0 Y:3.0 D olarak alınır. Bununla birlikte, kil malzemenin nispeten kıt olduğu yerlerde kil çekirdeğin üst genişliği 4.0 m'ye düşürülüp, şevler 1.0Y :4.0 D olarak yapılmaktadır [20].

Çukurca Barajının Deprem bölgesi Şekil 3.3'de belirtildiği üzere 1. Derece Deprem Bölgesi olarak belirlendiği üzere barajın önkoşullarını sağlayan minimum şartlar; memba şevi 2.5 Y: 1.00 D, mansap şevleri 2.25 Y: 1 D dir. Bu verilerle elde edilen baraj kesiti Şekil 4.2' de görülmektedir.

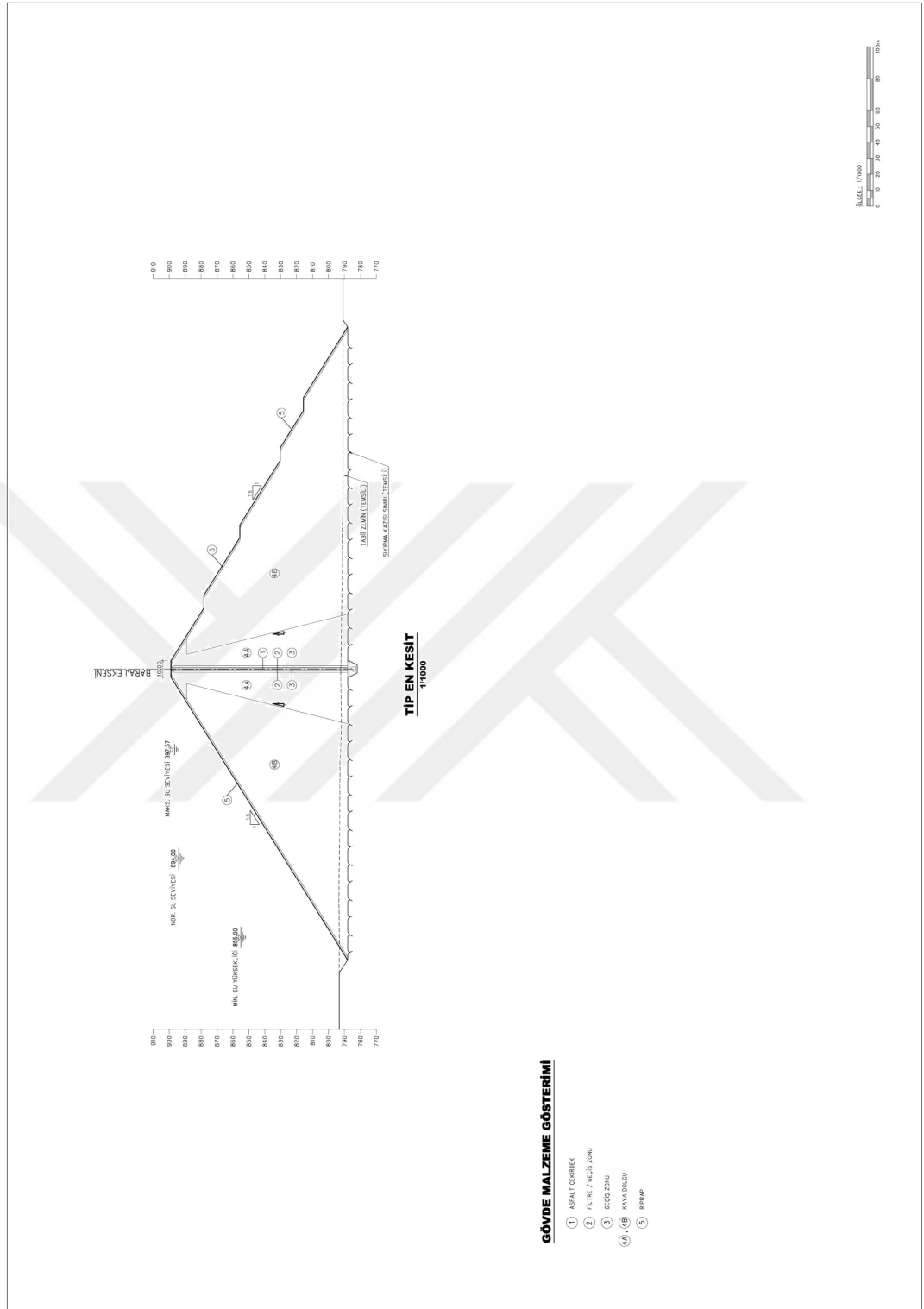


Şekil 4.2 Çukurca Barajı Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Alternatifi Kesiti.

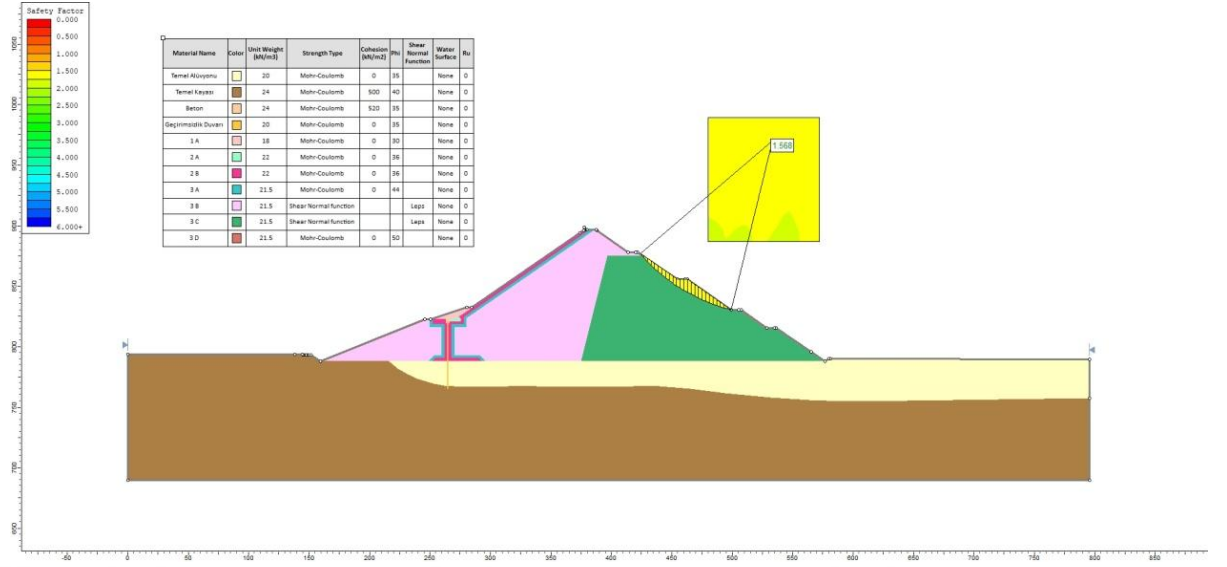
4.1.3 Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj

Asfalt çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliğin kil çekirdekli barajlarda olduğu gibi merkezde temin edildiği barajlardır. Geçirimsizliği sağlayacak malzemenin hem nitelik hem de nicelik olarak uygun olmadığı veya taşıma mesafesinin kabul edilebilir sınırlar dışında kaldığı durumlarda seçilebilecek en uygun baraj tipleri arasındadır. Kayanın yüksek geçirgenliği sızma meydana gelse bile borulanma tehlikesi yaşanmasını engeller. Asfalt çekirdek serme ve sıkıştırma işlemleri kil çekirdekli dolgu barajlarda olduğu gibi olumsuz hava şartlarına çok bağımlı olmadan yürütülebilmektedir. Yüksek dayanımlı dolgu kayası baraj gövdesinde duraylılığı sağlar ve deformasyonları engeller. Geçirimsizlik merkezde bulunan asfalt çekirdek ile sağlandığından, asfalt çekirdek imalatına özel itina gösterilmesi zorunludur. Özellikle dünyada şimdiye kadar çok yüksek asfalt çekirdekli bir baraj imalatı henüz gerçekleşmediğinden, asfalt çekirdeğin olası sızıntılara veya kendisini destekleyen dolgu malzemeleri ile birlikte sergileyeceği davranışa dikkat edilmelidir. Bu amaçla proje aşamasında sayısal yöntemler kullanılarak gerekli ve yeterli analizler yapılmalı, imalat safhasında şantiyede kontrollük hizmetleri ise özenle yürütülmelidir. [13]

Barajlar tasarım rehberi kriterlerine göre oluşturulan tip kesit Şekil 4.3' de verilmiştir.

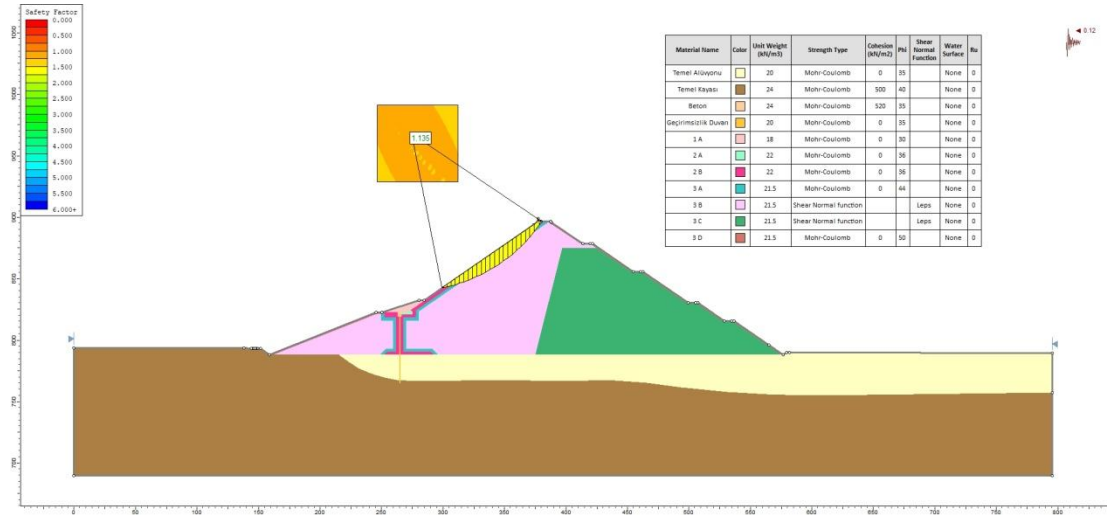


Şekil 4.3 Çukurca Barajı Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Alternatifi Kesiti.



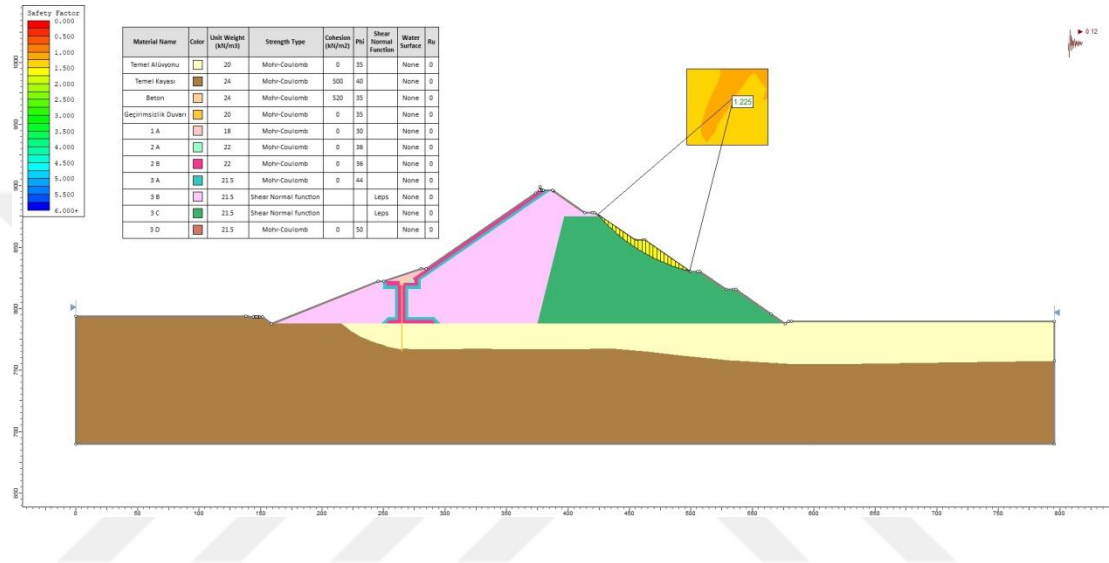
Şekil 4.5 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilite analizi.

İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.135 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



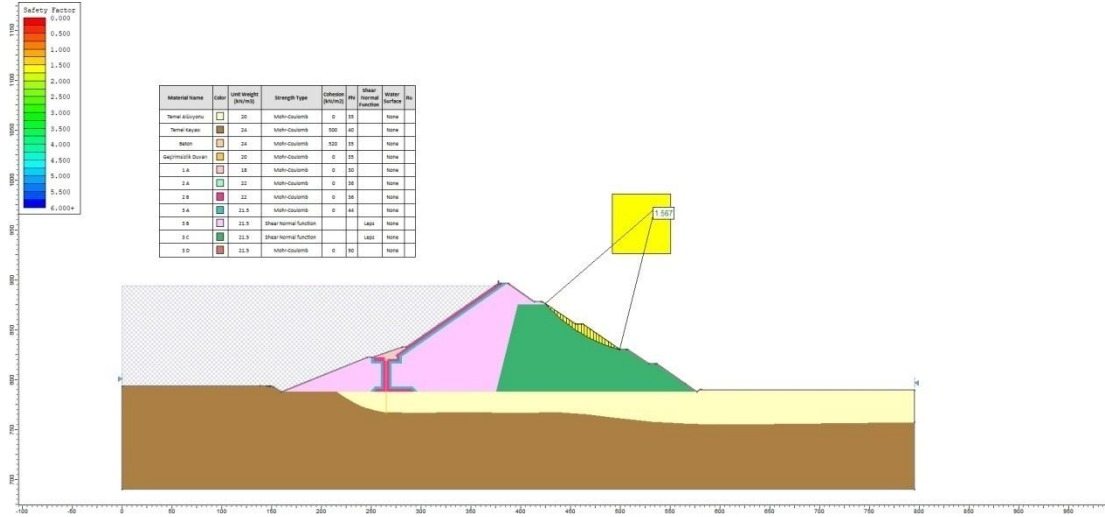
Şekil 4.6 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.

İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.225 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



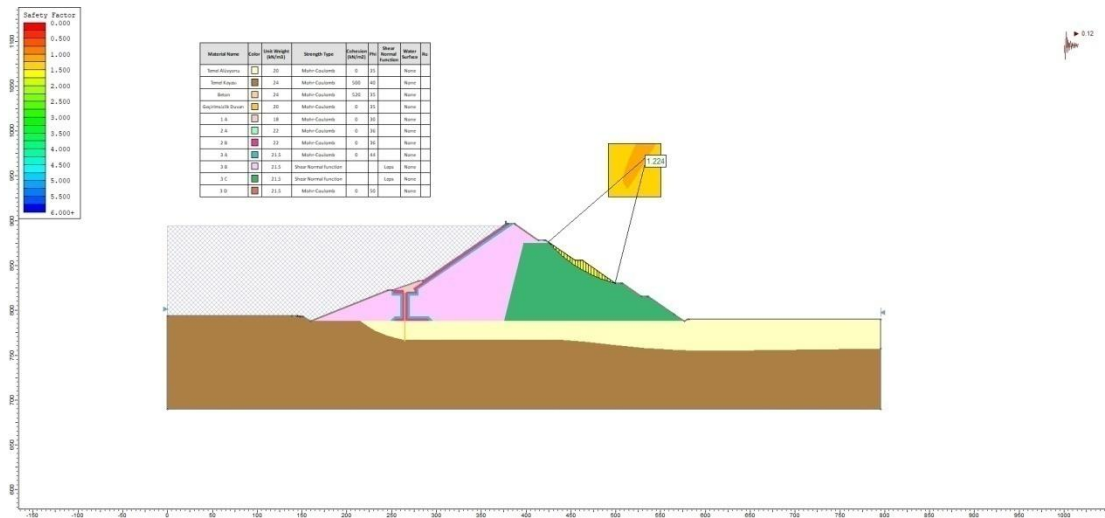
Şekil 4.7 ÖYBK Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.

İşletme Mansap Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Mansap Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.5 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.567 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Mansap Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



Şekil 4.8 ÖYBK Baraj İşletme Mansap Şevi Stabilité Analizi.

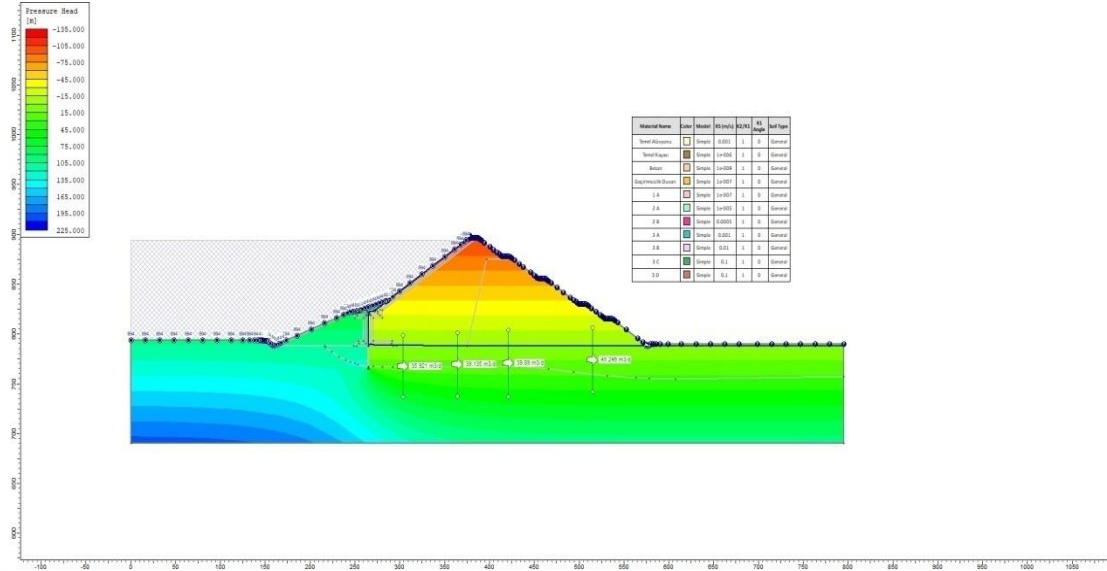
İşletme Depremli (İED) Mansap Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremli (İED) Mansap Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.2 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.224 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Depremli (İED) Mansap Şevi Stabilité Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değeri sağlanmıştır.



Şekil 4.9 ÖYBK Baraj İşletme Depremli (İED) Mansap Şevi Stabilité Analizi.

İşletme Depremli (EED) Mansap Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremli (EED) Mansap Şevi

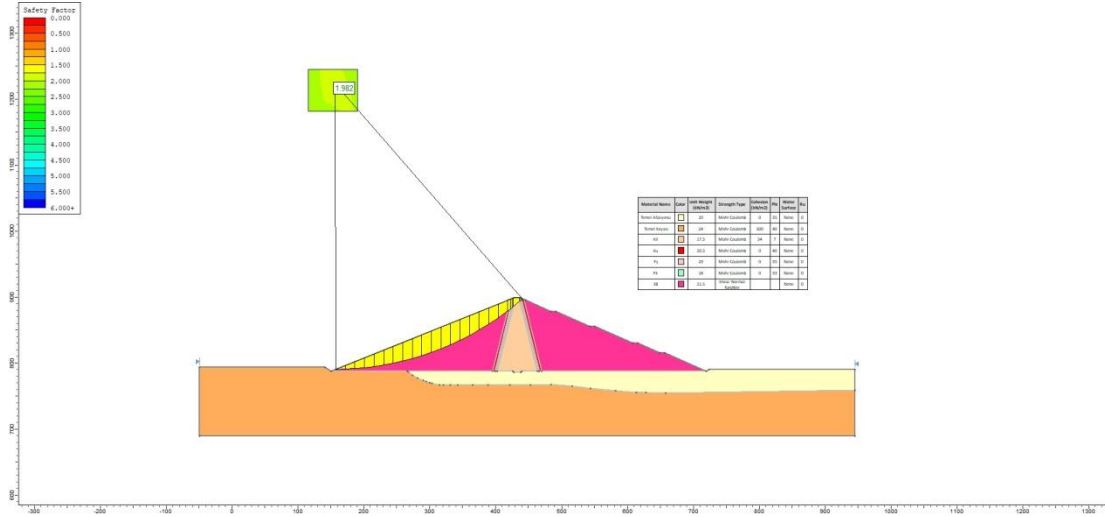
[illegible]



Şekil 4.11 ÖYBK Baraj Sızma Analizi.

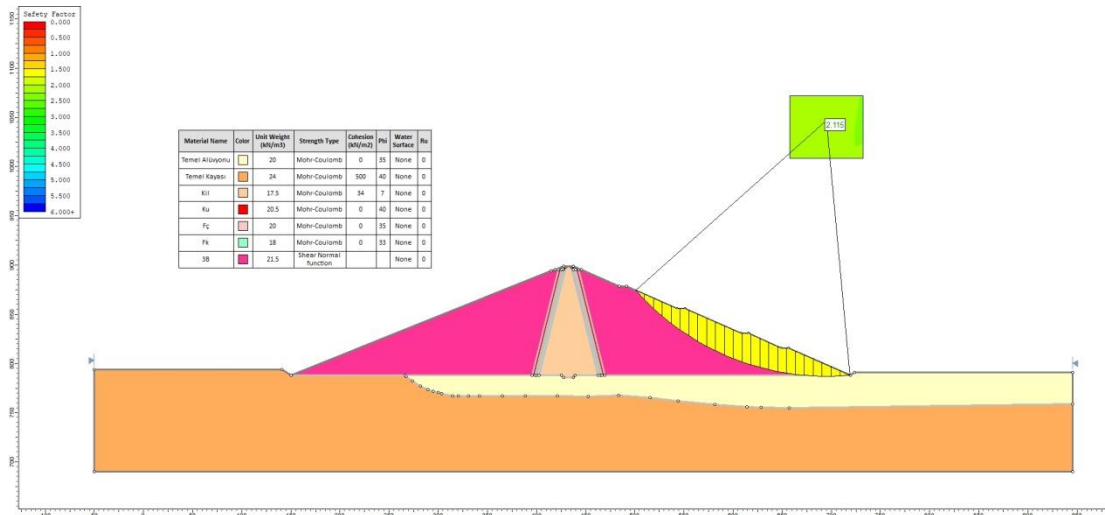
4.2.2 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj

İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.3 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.982 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



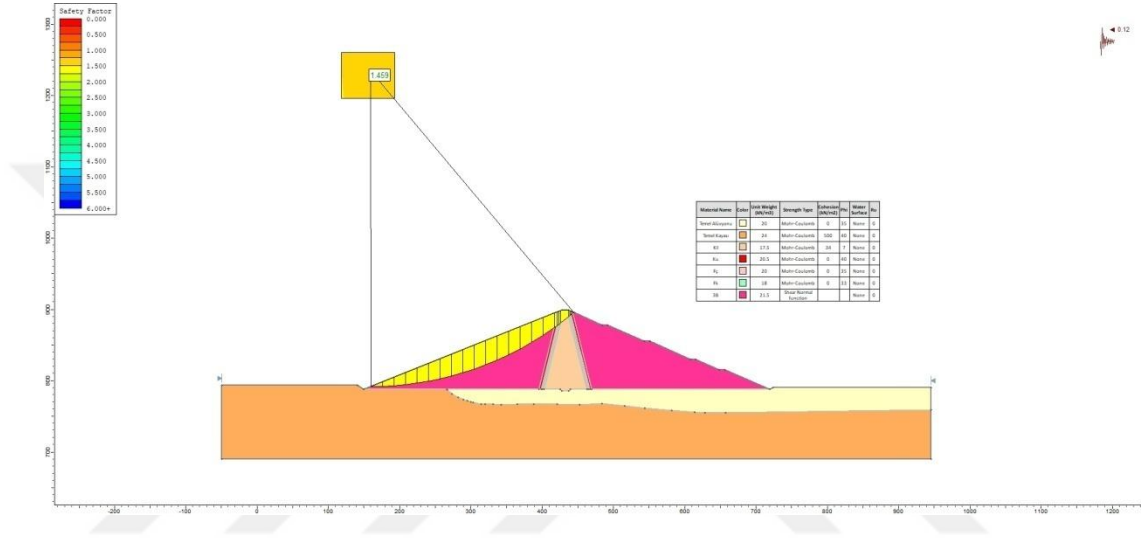
Şekil 4.12 Kıl Baraj İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilité Analizi.

İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.3 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 2.115 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



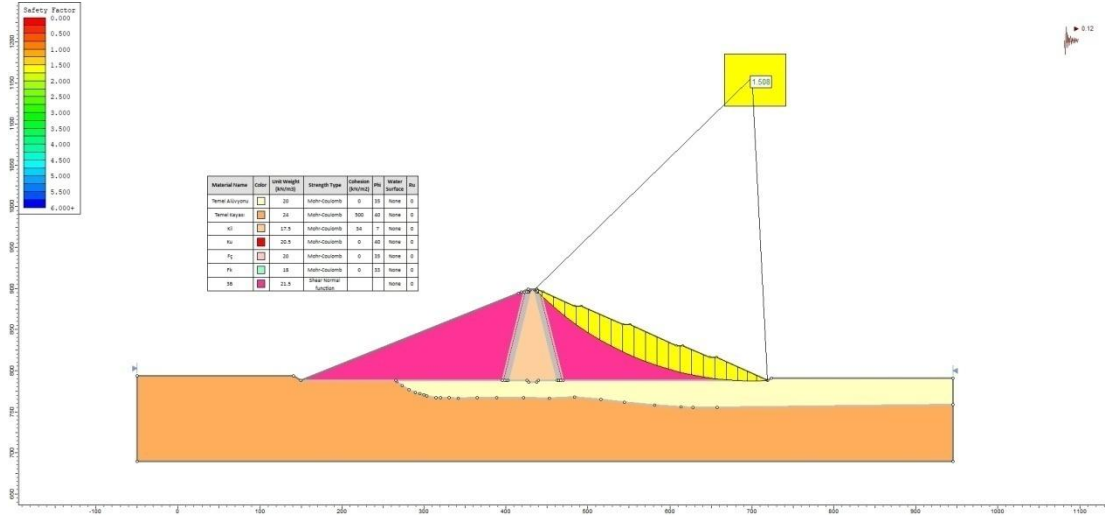
Şekil 4.13 Kıl Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi.

İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiğı gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.459 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerdan büyük olduğundan olması gereken değeri sağlanmıştır.



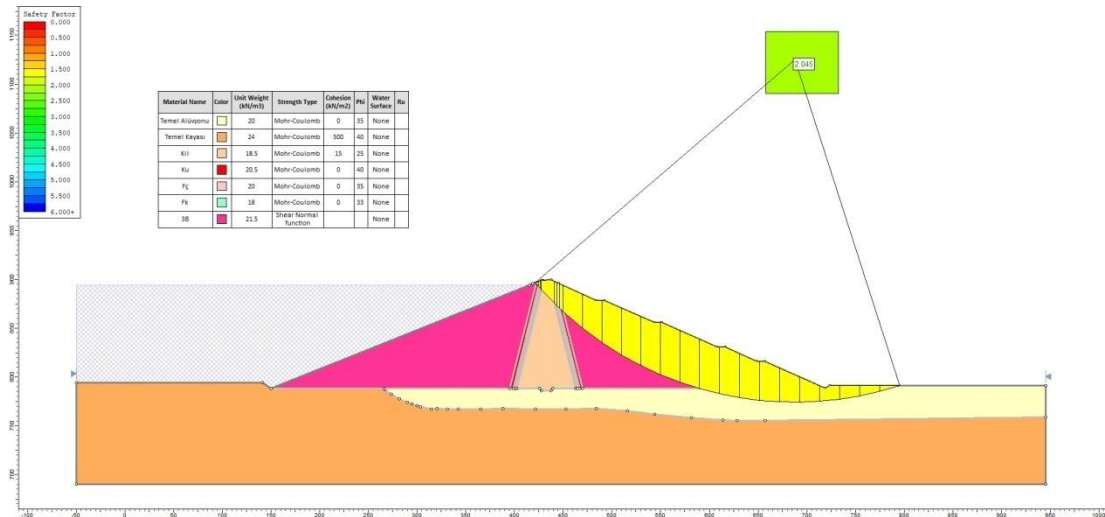
Şekil 4.14 Kıl Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.

İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiğı gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.508 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerdan büyük olduğundan olması gereken değeri sağlanmıştır.



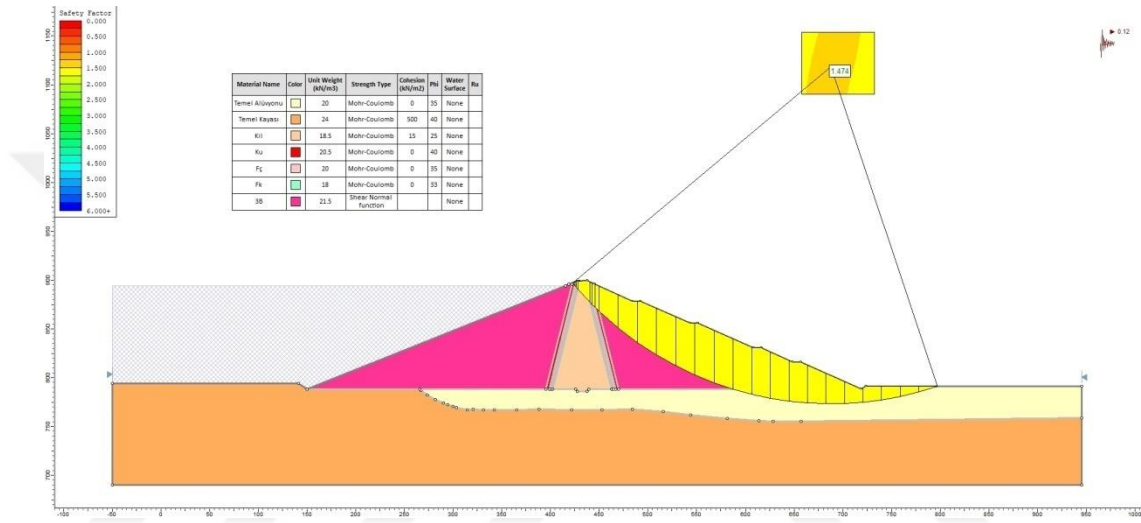
Şekil 4.15 Kil Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabılite Analizi.

İşletme Mansap Şevi Stabılite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Mansap Şevi Stabılite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.5 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabılıtesi değeri 2.045 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Mansap Şevi Stabılite Analizi olması gereken değerdan büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



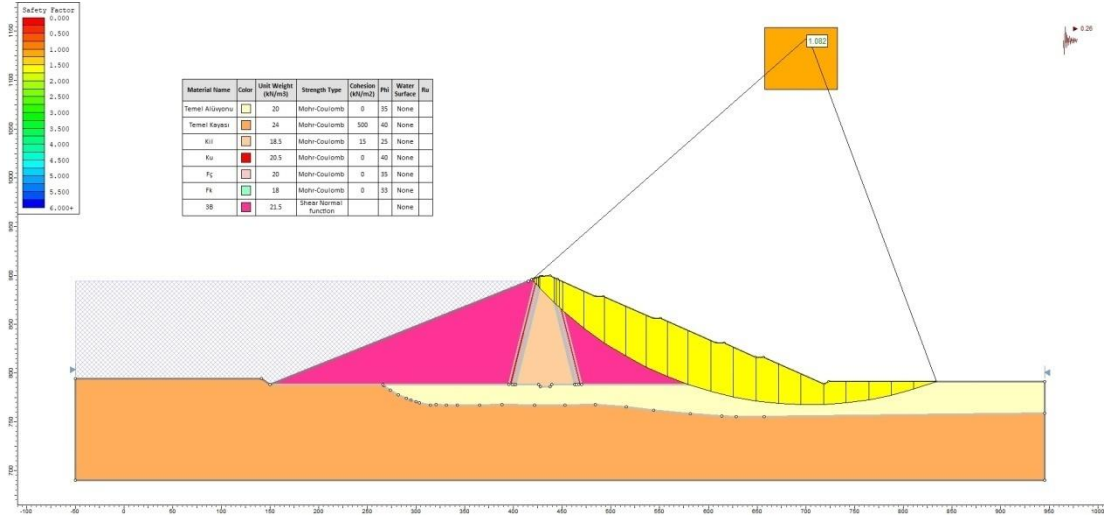
Şekil 4.16 Kil Baraj İşletme Mansap Şevi Stabılite Analizi.

İşletme Depremleri (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremleri (İED) Mansap Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.2 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.082 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Depremleri (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden küçük olduğundan olması gereken değer sağlanamamıştır.



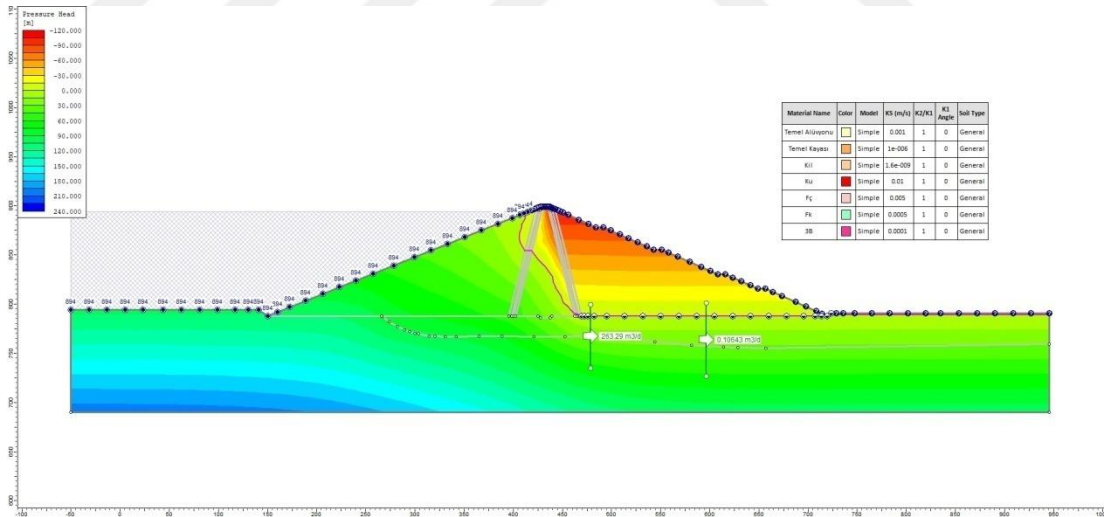
Şekil 4.17 Kıl Baraj İşletme Depremleri (İED) Mansap Şevi Stabilite Analizi.

İşletme Depremleri (EED) Mansap Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremleri (EED) Mansap Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.082 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Depremleri (EED) Mansap Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



Şekil 4.18 Kil Baraj İşletme Depremlı (EED) Mansap Şevi Stabilité Analizi.

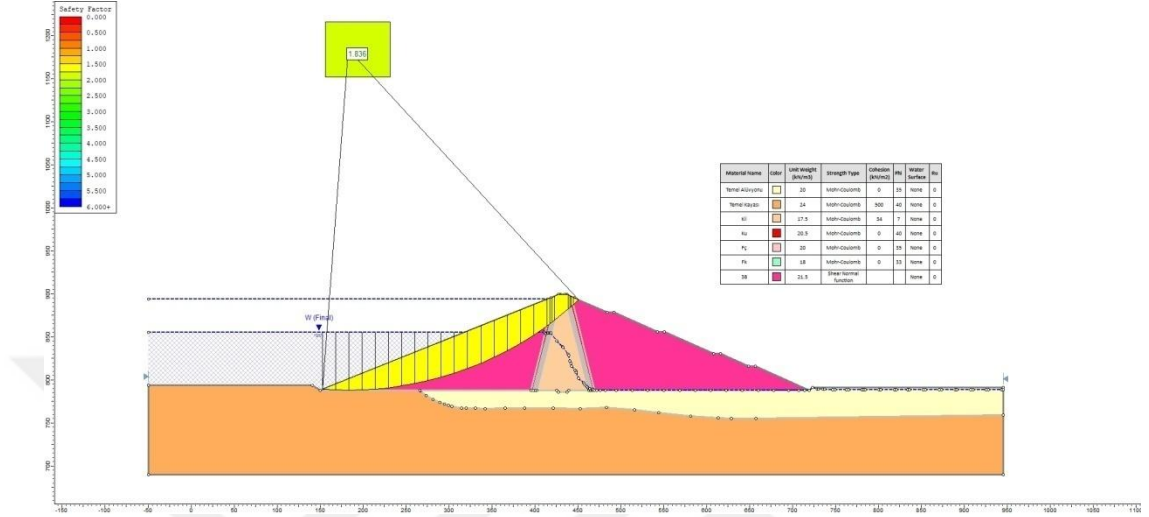
Sızma Analizi aşağıda verilmiştir. Yapılan Sızma Analiz sonucuna göre drenaj kesitlerinden geçen debi miktarları sırasıyla 263.290 m³/gün, 0.105 m³/gün olarak bulunmuştur.



Şekil 4.19 Kil Baraj Sızma Analizi.

Ani Boşalma Memba Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken Ani Boşalma Memba Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.2 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.836 olarak bulunmuştur. Bu durumda Ani Boşalma Memba Şevi

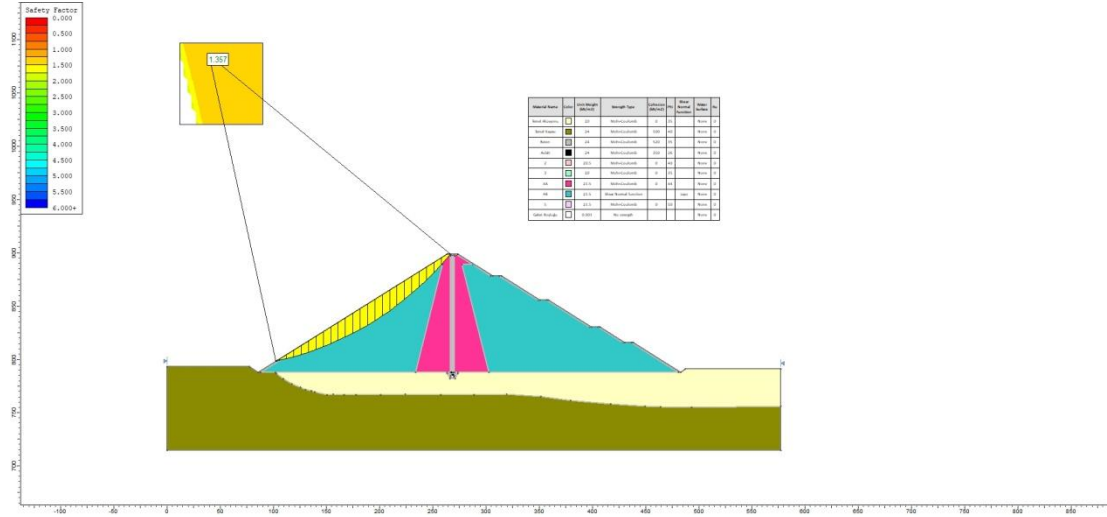
Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



Şekil 4.20 Kıl Baraj Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analizi.

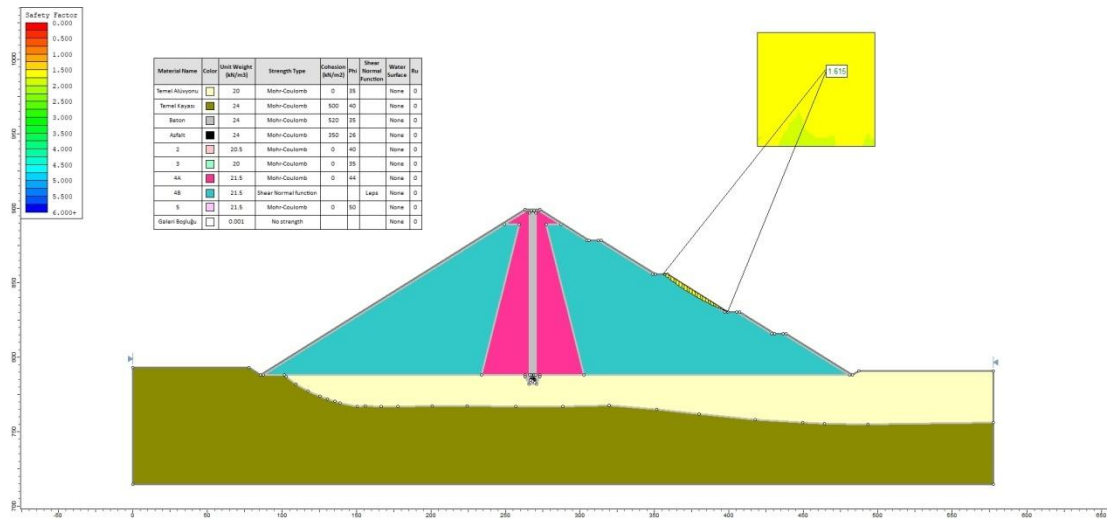
4.2.3 Asfalt Çekirdekli Dolgu Baraj

İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.3 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.357 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



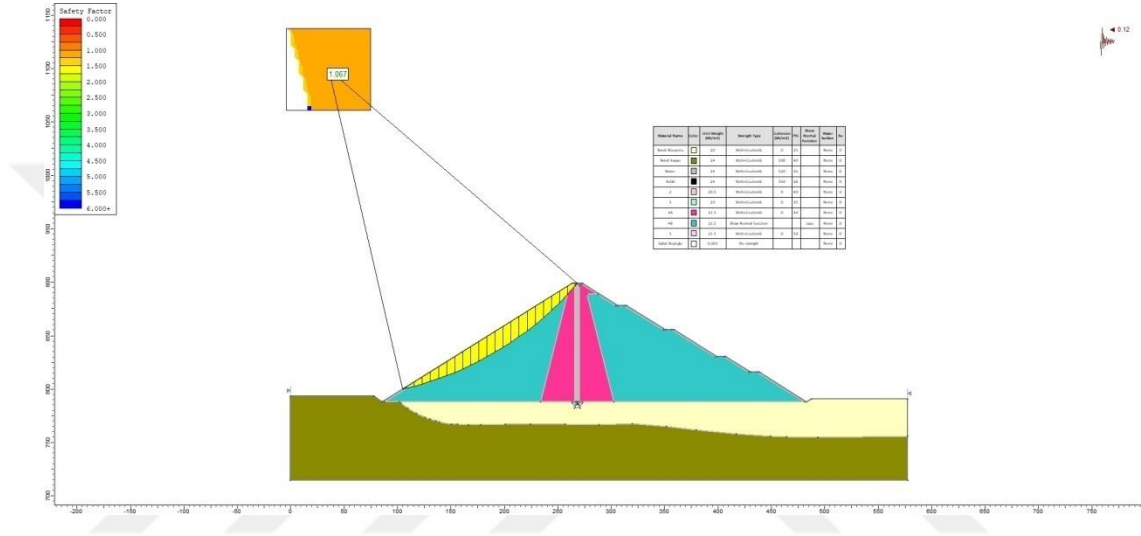
Şekil 4.21 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Memba Şevi Stabilité Analizi.

İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4’ de belirtildiği gibi 1.3 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.615 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



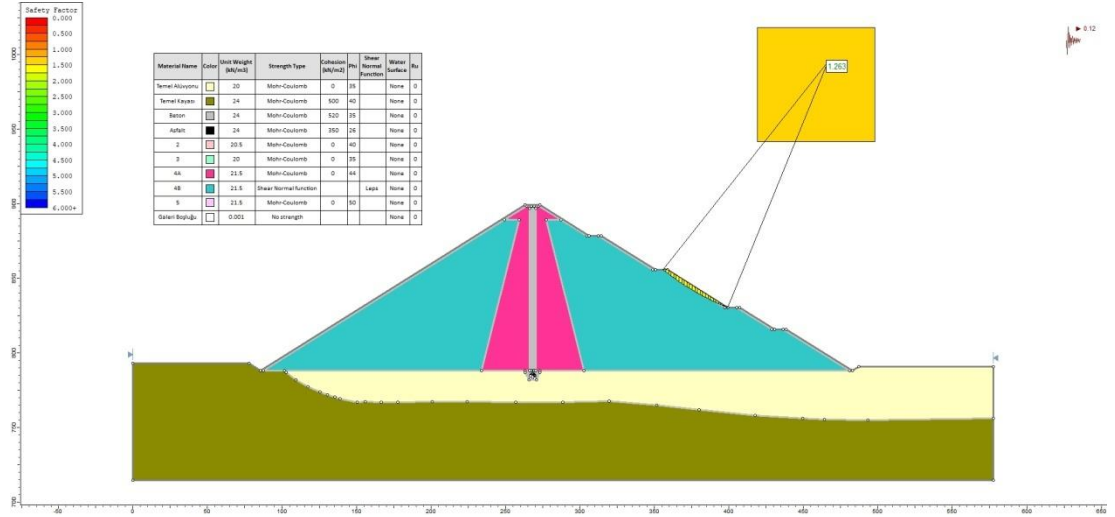
Şekil 4.22 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Mansap Şevi Stabilité Analizi.

İnşaat Sonu Depreml (İED) Memba Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depreml (İED) Memba Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.067 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Depreml (İED) Memba Şevi Stabilité Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



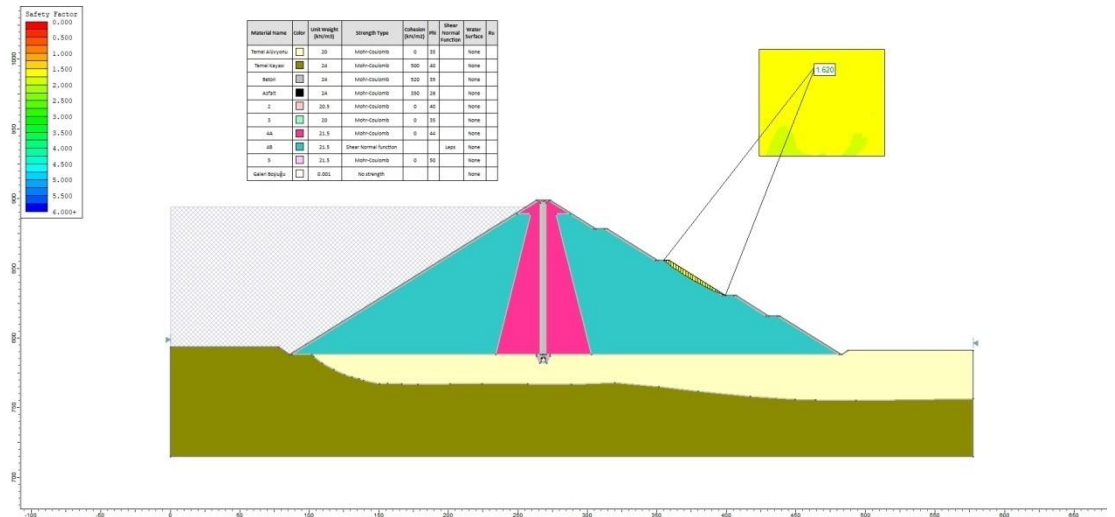
şekil 4.23 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Depreml (İED) Memba Şevi Stabilité Analizi.

İnşaat Sonu Depreml (İED) Mansap Şevi Stabilité Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İnşaat Sonu Depreml (İED) Mansap Şevi Stabilité Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.263 olarak bulunmuştur. Bu durumda İnşaat Sonu Depreml (İED) Mansap Şevi Stabilité Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



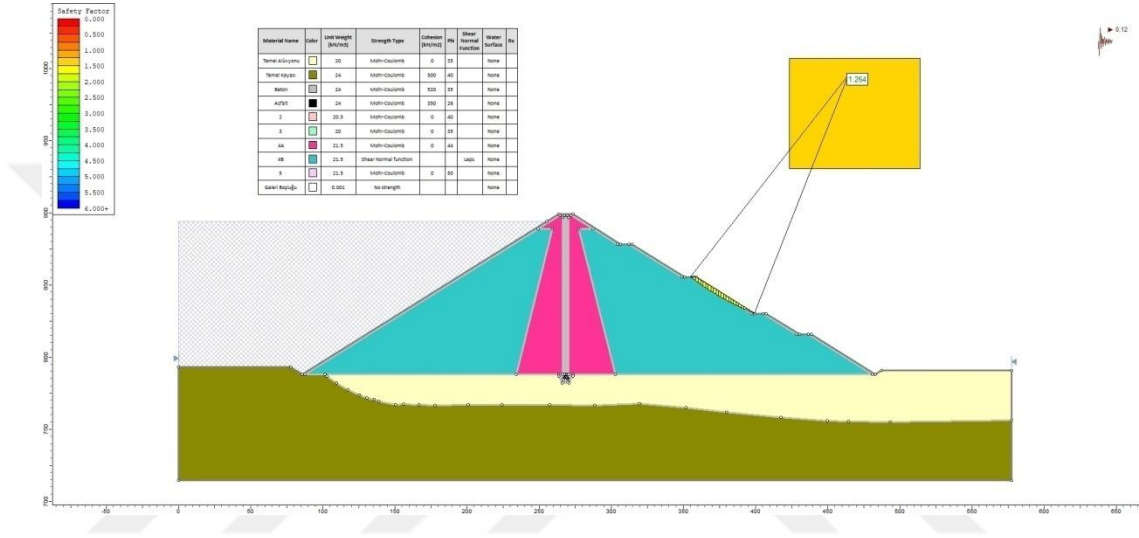
Şekil 4.24 Asfalt Baraj İnşaat Sonu Depremlı (İED) Mansap Şevi Stabilitate Analizi.

İşletme Mansap Şevi Stabilitate Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Mansap Şevi Stabilitate Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.5 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.620 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Mansap Şevi Stabilitate Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



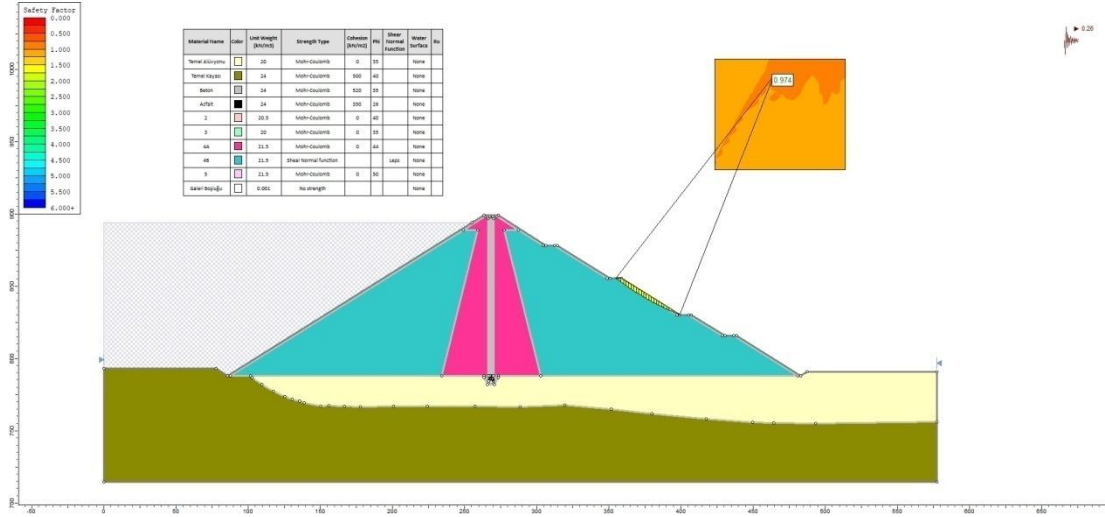
Şekil 4.25 Asfalt Baraj İşletme Mansap Şevi Stabilitate Analizi.

İşletme Depremleri (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremleri (İED) Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4’ de belirtildiği gibi 1.2 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.264 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Depremleri (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



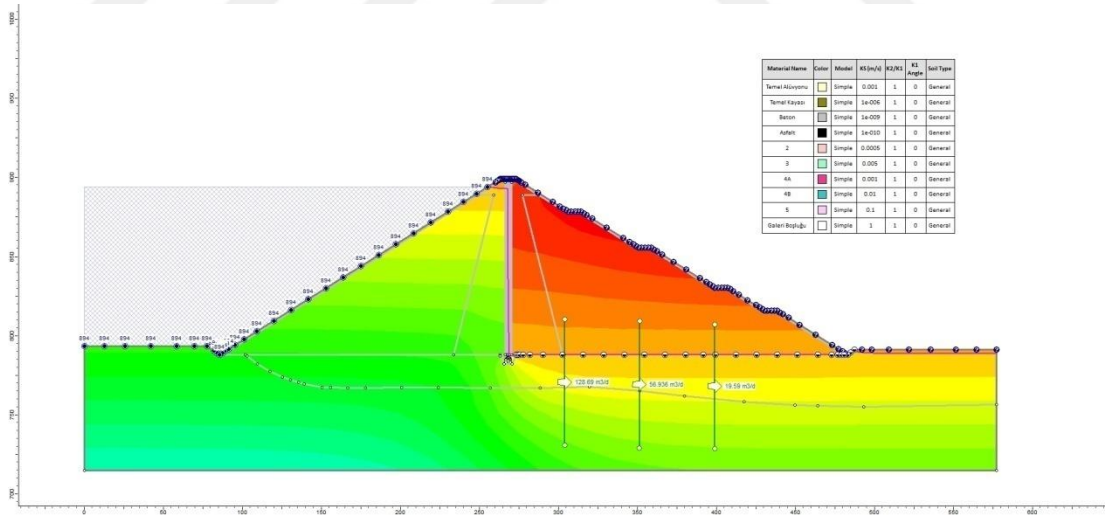
Şekil 4.26 Asfalt Baraj İşletme Depremleri (İED) Memba Şevi Stabilite Analizi.

İşletme Depremleri (EED) Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken İşletme Depremleri (EED) Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4’ de belirtildiği gibi >1 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 0.974 olarak bulunmuştur. Bu durumda İşletme Depremleri (EED) Memba Şevi Stabilite Analizi olması gereken değerden küçük olduğundan olması gereken değer sağlanamamıştır.



Şekil 4.27 Asfalt Baraj İşletme Depremli (EED) Memba Şevi Stabilite Analizi.

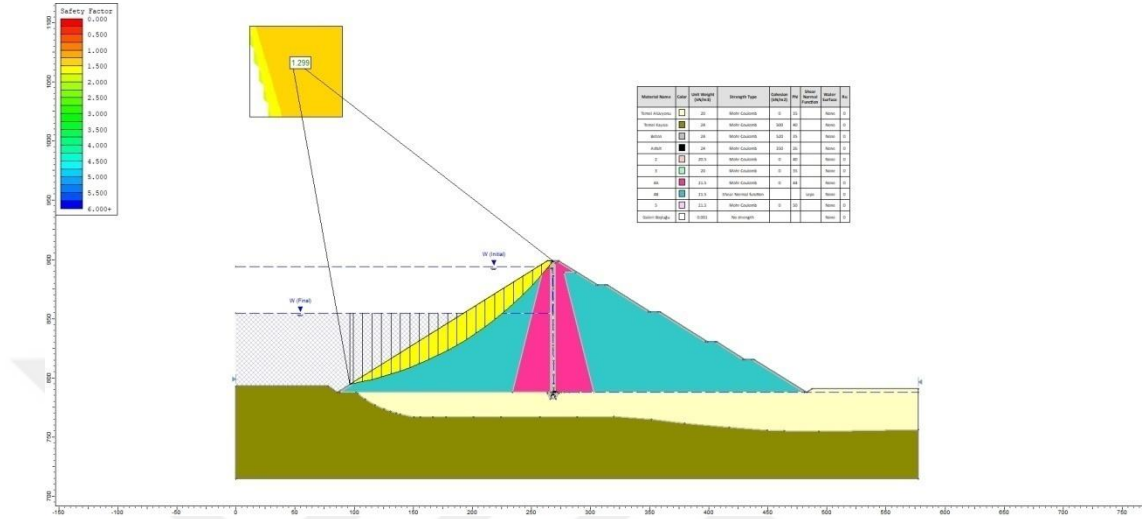
Sızma Analizi aşağıda verilmiştir. Yapılan Sızma Analiz sonucuna göre drenaj kesitlerinden geçen debi miktarları sırasıyla 128.690 m³/gün, 56.936 m³/gün, 19.590 m³/gün olarak bulunmuştur.



Şekil 4.28 Asfalt Baraj Sızma Analizi.

Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analizi aşağıda verilmiştir. Dsi dolgu barajlar rehberine göre olması gereken Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analiz değeri Çizelge 3.4' de belirtildiği gibi 1.2 olmalıdır. Yapılan analiz sonucunda şev stabilitesi değeri 1.299 olarak bulunmuştur. Bu durumda Ani Boşalma Memba Şevi

Stabilite Analizi olması gereken değerden büyük olduğundan olması gereken değer sağlanmıştır.



Şekil 4.29 Asfalt Baraj Ani Boşalma Memba Şevi Stabilite Analizi.

Çizelge 4.1 Sızma ve Stabilité Sonuçları.

	ÖYBK Baraj	Sonuç	Kil Çekirdekli Baraj	Sonuç	Asfalt Çekirdekli Baraj	Sonuç
İnşaat Sonu Memba	1.417	✓	1.982	✓	1.357	✓
İnşaat Sonu Mansap	1.568	✓	2.115	✓	1.615	✓
İnşaat Sonu Depremli (İED) Memba	1.135	✓	1.459	✓	1.067	✓
İnşaat Sonu Depremli (İED) Mansap	1.225	✓	1.508	✓	1.263	✓
İşletme Mansap	1.567	✓	2.045	✓	1.620	✓
İşletme Depremli (İED) Mansap	1.224	✓	1.474	✓	1.264	✓
İşletme Depremli (EED) Mansap	0.894	–	1.082	✓	0.974	–
Sızma (m ³ /gün)	35.921, 39.135, 45.246		263.290, 0.105		128.690, 56.936, 19.590	
Ani Boşalma Memba	-	-	1.836	✓	1.299	✓

4.3 HACİM ANALİZİ

AutoCAD Civil 3D ; güçlü işlevler içeren arazi ve inşaat mühendisliği tasarım yazılımıdır. AutoCAD Civil 3D bu konuda üretilmiş yazılımlardan en büyük farkı; nesneler arasında akıllı ilişkiler yaratmasıdır, tasarımda herhangi bir değişiklik olduğu anda nesneler de dinamik olarak güncellenir, tüm Civil 3D nesneleri birbirleri ile bağlantılıdır. Örneğin, güzergahta bir değişiklik yapıldığı anda profiller de otomatik olarak güncellenir. Kolay kullanımlı ara yüzü kullanıcılara projelerin üretimi, yönetilmesi ve paylaşılması aşamalarında büyük kolaylık sağlar. Tasarım, analiz, raporlama ve 3 boyutlu görselleştirme işlemlerinin tümü Civil 3D ile yapılabilir.

AutoCAD' in tüm işlevleri, yol, demiryolu, kanal gibi koridor tasarım araçları, güçlü 3 Boyut işlevleri, güçlü raporlama işlevleri, araziden veri alımı ve dengeleme, 3 Boyutlu arazi modeli yaratma, hafriyat hesaplamaları, tesviye işlemleri, parselasyon işlemleri, profiller, en kesitler, çok kullanıcıli proje ortamı, Autodesk'in Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı olan Autodesk Map 3D'nin tüm işlevleri AutoCAD Civil 3D paket programı ile yapılabilir [21].

Hacim analizleri AutoCAD Civil 3D paket programındaki grading modülleri kullanılarak Çukurca Barajı ve HES projesinin gövde alternatiflerinin surface modelleri oluşturulmuş ve harita alımındaki surface modelleri ile karşılaştırılması sonucunda baraj dolgularının hacimleri elde edilmiştir ve aşağıdaki Çizelge 4.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Dolgu baraj alternatiflerinin gövde hacimleri.

Baraj Tipi	Gövde Hacmi (m ³)
ÖYBK Baraj Gövde Hacmi	3 155 250
Kil Çekirdekli Dolgu Baraj Gövdesi	4 579 150
Asfalt Çekirdekli Dolgu Baraj Gövdesi	3 365 855

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çukurca Barajı ve HES projesinin yapılması için planlanan ÖYBK, Kil Çekirdek ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj alternatifleri için stabilite ve sızma analizleri yapılmış (İnşaat Sonu, İnşaat Sonu Depremlili (İED), İşletme, İşletme Depremlili (İED), İşletme Depremlili (EED), Sızma), bunlara ek olarak Kil Çekirdekli ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj için DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi'nde de belirtildiği gibi Ani Boşalma analizi yapılmıştır.

Baraj yapıları güçlü maddiyet gerektiren yapılar olduğundan ekonomik olması oldukça önemlidir. Yapılan alternatiflerden ÖYBK Baraj gövde hacmi 3 155 250 m³ ile Kil Çekirdekli Dolgu Baraj gövdesi hacmi 4 579 150 m³' e göre %45.13 daha az Asfalt Çekirdekli Baraj gövdesi hacmi 3 365 855 m³' e göre %6.67 daha düşüktür. Bu nedenle en ekonomik olan baraj tipi ÖYBK alternatifidir.

Sızma analizlerindeki verilerden ilk manometrelerin deşarj kesitleri baz alındığında ÖYBK Baraj sızma miktarı 35.921 m³/gün ile Kil Çekirdekli Dolgu Baraj sızma miktarı olan 263.290 m³/gün' e göre %632.97 daha az Asfalt Çekirdekli Baraj sızma miktarı olan 128.690 m³/gün' e göre %258.26 daha düşüktür. Alternatiflerdeki Kil Çekirdekli Dolgu Baraj ve Asfalt Çekirdekli Baraj altındaki sızma miktarları büyük olduğundan borulanma tehlikesine yola açabilirler. Asfalt çekirdekteki sızmanın azaltılması için çekirdek temelinin altına drenaj galerisi yerleştirilmiş ve yinede sızmanın çokluğuna müdahale edilememiştir.

Yapılan stabilite ve sızma tahkiklerinin tamamı olması gereken değerleri sağlamış, sadece İşletme Depremlili (EED) değeri ÖYBK Baraj (0.894<1) ve Asfalt Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj (0.974<1) alternatifleri için olması gereken seviyeyi sağlayamamıştır. İşletme aşamasındaki EED baraj stabilite tahkikinde daha büyük

boyutlu Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj gövdesinin seçilmesi muteberdir, fakat mevcut durumun 2475 yılda bir gelebilecek depremde hesaplandığı ve Leps diyagram eğrilerinden minimum değerlerinin kullanıldığı düşünüldüğünde, sızma ve borulanma tehlikesinin büyüklüğü, ekonomiklik açısından küçüklüğü sebebi ile ÖYBK gövdesinin seçilmesi daha uygundur.



KAYNAKLAR

1. Zeidan, Bakenaz A., Mohamed Elshemy, M. S., "Combined Seepage and Slope Stability Analysis of Reservoir Earth Dams", (june): 188 (2018).
2. Tanchev, L., "Dams and Appurtenant Hydraulic Structures", Dams and Appurtenant Hydraulic Structures, 2nd Edition, 1–1 (2014).
3. AŞIK, Y., "Barajların Kontrolü ve Denetiminin Önemi Importance of Control and Monitoring of the Dams", *Dergipark*, 6 (1): 33–40 (2016).
4. Zorluer, İ., "Toprak Dolgu Barajlarda Borulanma ve Bir Borulanma Göçmesi : Teton Barajı", 146 (1999).
5. Mesci, S. B., "Dolgu Baraj Üzerindeki Sızmaların ve Freatik Hatın İncelenmesi Seferihisar Barajı Uygulaması", *Global Shadows: Africa In The Neoliberal World Order*, 44 (2): 8–10 (2006).
6. Eynur, Z. and Zeynep, "Baraj Altındaki Sızmaların Analiz Ve Kontrolü: Sazlıdere Barajı Uygulaması", 110 (2004).
7. Gedik, D. N., "BAÜ Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl. Su Yapıları Ders notu", 1–57 .
8. Dolsar Mühendislik A.Ş., "Helete (Düzbağ) Barajı ve HES Ara Raporu", 256 (2021).
9. Internet: Earth-Rockfill_Dams, "https://www.Geoengineer.Org/Education/Dam-Engineering/Earth-Rockfill-Dams", .
10. Dolsar Mühendislik A.Ş., "Çukurca Barajı VE HES Fizibilite Raporu", 280 (2017).
11. ICOLD and DAMS, C. O. M. F. F., "Concrete Face Rockfill Dams Concepts for Design and Construction", *International Water Power And Dam Construction. Yearbook.*, (November): 304–310 (2009).
12. Halim, A., Takahashi, K., Power, E., and Kermanshahi, B., "Design of Small Dams", *A Water Resources Technical Publication*, 595–597 (1999).
13. Dsi, "Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi", *Barajlar Kongresi*, 225 (2014).
14. Thomas M. Leps, "Review of Shearing Strength of Rockfill", *Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Division*, 1171 (1970).
15. Dolsar Mühendislik A.Ş., "Çukurca Barajı Proje Yerinin Sismik Tehlike Analizi Raporu", 79 (2015).

16. Internet: Türkiye Deprem Bölgeleri Haritaları, "<https://Www.Afad.Gov.Tr/Turkiye-Deprem-Tehlike-Haritasi>", .
17. Internet: Rocscience, "https://Www.Rocscience.Com/Help/Slide2/#t=getting_", .
18. Rocscience, "Slide V 6.005 Kullanıcı Klavuzu", 286 (2010).
19. Yenigün, K. and Yüzgöl, F., "Baraj Güvenliği Açısından Tıp Seçimi: ÖYBK Barajlarda Etkin Faktörler ve Iılsu Barajı Örneği", **3. Bursa Uluslararası Su Kongresi Ve Sergisi 22-24 Mart 2013 Bursa**, 555–574 (2013).
20. Gültekin, E., "Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Alternatifinin Gövde Tıp Seçimi Çalışmalarında Değerlendirilmesi", 128 (2018).
21. Internet: Civil_3D, "<https://Www.Autodesk.Com.Tr/Products/Civil-3d/Overview>", .

ÖZGEÇMİŞ

Hasan COŞKUN ilk, orta ve lise eğitimini Samsun’da tamamladı. 2010 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü’nü bitirdikten sonra 2017 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği’nden mezun oldu. Halen özel bir şirkette iş hayatına devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

