



RECEP TAYYIP  
ERDOĞAN  
ÜNİVERSİTESİ

**T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOLGU BARAJLARDA ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Şeymanur ONAT**

**Danışman  
Doç. Dr. Murat YAYLACI**

**RİZE  
2023**

## KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Murat YAYLACI danışmanlığında, Şeymanur ONAT tarafından hazırlanan *Dolgu Barajlarda Şev Stabilitesi Analizi* adlı bu tez çalışması, 06/01/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

<b>Jüri Üyeleri</b>	<b>Unvanı, Adı SOYADI</b>	<b>İmza</b>
Başkan	: Doç. Dr. Erdal ÖNER	
Üye	: Doç. Dr. Murat YAYLACI	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI	

## ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Dolgu Barajlarda Şev Stabilitesi Analizi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve/veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılacak bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

06/01/2023

**Şeymanur ONAT**

## ÖN SÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Dolgu Barajlarda Şev Stabilitesi Analizi” isimli tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, öğrencisi olmaktan son derece onur duyduğum danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Murat YAYLACI'ya minnet ve şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca eğitim aldığım tüm hocalarıma ve Tez savunma jüri üyeliğini kabul eden Doç. Dr. Erdal ÖNER ve Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI'ya teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca yanımda olan aileme, tezimde ve hayatımın her alanında yardımcı olan Ümran ÖZTÜRK'e, tez çalışmam boyunca beni destekleyen eşim Ömer ONAT'a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Şeymanur ONAT

2023/ RİZE

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ÖZET .....	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	X
GİRİŞ .....	1
1. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2. DOLGU BARAJLAR.....	9
2.1. Toprak Dolgu Barajlar .....	11
2.2. Kaya Dolgu Barajlar .....	12
2.3. Barajların Yapı Elemanları .....	12
2.3.1. Derivasyon.....	12
2.3.2. Dolusavak .....	13
2.3.3. Su Alma Yapısı.....	13
2.3.4. İletim Kanalı .....	14
2.3.5. Yükleme Havuzu ve Denge Bacası .....	14
2.3.6. Cebri Boru .....	15
2.3.7. Santral Binası.....	15
2.3.8. Kuyruk Suyu.....	15
2.3.9. Şalt Sahası .....	16
2.4. Barajların Yapı Elemanlarının Tasarımı .....	16
2.4.1. Derivasyon-Dipsavak Tasarımı .....	16
2.4.2. Dolusavak Tasarımı.....	17
2.4.3. Su Alma Yapısı Tasarımı .....	18
2.4.4. İletim Kanalı Tasarımı.....	19
2.4.5. Yükleme Havuzu ve Denge Bacası Tasarımı .....	20

2.4.6. Cebri Boru Tasarımı .....	21
2.4.7. Kuyruk Suyu Tasarımı .....	21
2.4.8. Santral Binası Tasarımı .....	22
2.5. Barajlarda Depremsellik .....	22
2.5.1. Beton Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı.....	25
2.5.2. Dolgu Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı .....	28
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	31
3.1. Rocscience Slide Programı .....	31
3.2. Geometrilerin Tanımı ve Oluşturulması .....	31
3.3. Gövde Yapılarının Slide Programına Aktarılması.....	33
3.4. Malzeme Tanımlanması.....	34
3.5. Proje Özelliklerinin Tanımlanması .....	37
3.6. Deprem Yüklerinin Tanımlanması .....	40
3.7. Kayma Dairesinin Karelaj Üzerinde Görülmesi .....	41
3.8. Su Seviyesinin Tanımlanması.....	42
4. BULGULAR.....	43
4.1. Deprem Etkisi Olmadan Elde Edilen Sonuçlar.....	43
4.1.1. Gövde 1 için Elde Edilen Sonuçlar .....	43
4.1.2. Gövde 2 için Elde Edilen Sonuçlar .....	45
4.2. Deprem Etkisi Altında Elde Edilen Sonuçlar .....	47
4.2.1. Gövde 1 için Elde Edilen Sonuçlar .....	47
4.2.2. Gövde 2 için Elde Edilen Sonuçlar .....	53
4.3. Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması.....	59
5. SONUÇ.....	61
KAYNAKÇA.....	63

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Ana Bilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği

**Tez Türü** : Yüksek Lisans

**Danışman** : Doç. Dr. Murat YAYLACI

**Hazırlayan** : Şeymanur ONAT

**Yıl** : 2023

**Sayfa Sayısı** : 66

**ÖZET**

**DOLGU BARAJLARDA ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ**

Günümüzde artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamada yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan hidroelektrik santrallerin çevre dostu olması, enerji üretim kapasitesinin yüksek olması ve Türkiye'nin coğrafi özelliklerinin baraj yapımına elverişli olmasından dolayı oldukça fazla tercih edilmektedir. Türkiye'de inşa edilen barajların büyük çoğunluğu dolgu barajlar olup bu barajların gövde tasarımında şev stabilite analizinin yapılması oldukça önem arz etmektedir. Şev stabilite analizi dolgu barajların sınır şartlarını belirlemek için kullanılan bir yöntem olup kayma dairesi yöntemi kullanılarak yapıda oluşması muhtemel kayma dairesinin yeri ve o bölgede oluşacak minimum emniyet katsayı değeri bulunmaktadır. Türkiye'nin aktif fay hatları üzerinde olması sebebiyle deprem etkisinin dolgu barajlar üzerinde incelenmesini gerektirmektedir. Çalışmada kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj ile kil çekirdekli kaya dolgu barajın inşaat sonu, işletme ve ani boşalma hallerinin baraj gövdesinin şev stabilite analizi statik durumda ve deprem etkisi altında emniyet katsayıları karşılaştırılmıştır. Baraj gövdesinin geometrisi AutoCAD 2018 programı ile çizilmiş olup stabilite analizleri Rocscience Slide programında yapılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda stabilite analizlerinin statik durumda elde edilen emniyet katsayılarının istenen sınırlar arasında olduğu, deprem kuvvetlerinin dikkate alınması durumunda ise elde edilen emniyet katsayılarının bazı durumlarda istenen sınırlar arasında olduğu, bazı durumlarda ise olmadığı görülmüştür. İstenen değerlerin sağlanmadığı durumlar ise deprem ivme değerlerinin büyük olduğu haller ile işletme ve ani boşalma hallerinin çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu durum su kuvvetleri ile deprem kuvvetlerinin yapı üzerindeki etkisinin önemini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgu baraj, şev stabilite analizi, emniyet katsayısı, deprem ivme değeri

**Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies**

**Department** : Civil Engineering  
**Thesis Type** : Master Thesis  
**Supervisor** : Assoc. Prof. Dr. Murat YAYLACI  
**Author** : Şeymanur ONAT  
**Year** : 2023  
**Pages** : 66

**ABSTRACT**

**SLOPE STABILITY ANALYSIS IN FILLING DAMS**

Today, with the increasing population and developing technology, the need for energy is increasing. Hydroelectric power plants, which are among the renewable energy sources in meeting the increasing energy need, are highly preferred due to their environment-friendly nature, high energy production capacity and geographical features of Turkey being suitable for dam construction. Majority of the dams built in Turkey are embankment dams and it is very important to perform slope stability analysis in the body design of these dams. Slope stability analysis is a method used to determine the boundary conditions of embankment dams, and by using the slip circle method, the location of the possible slip circle to occur in the structure and the minimum safety factor value to occur in that region are found. Since Turkey is on active fault lines, it is necessary to examine the earthquake effect on the embankment dams. In the study, the slope stability analysis of the clay core sand-gravel fill dam and the clay core rock fill dam at the end of construction, operation and sudden discharge states of the dam body were compared with the safety coefficients under the static condition and earthquake effect. The geometry of the dam body was drawn with AutoCAD 2018 program and stability analyzes were made in Rocscience Slide program. As a result of the thesis study, it has been seen that the safety coefficients obtained in the static condition of the stability analyzes are between the desired limits, and when the earthquake forces are taken into account, the safety coefficients obtained are between the desired limits in some cases and not in some cases. In cases where the desired values are not met, it is seen that the earthquake acceleration values are high and the operation and sudden discharge situations are in the majority. This situation shows the importance of the effect of water forces and earthquake forces on the structure.

**Keywords:** Embankment dam, Slope stability analysis, Safety Factor, Earthquake acceleration value

## KISALTMALAR

cm	: Santimetre
CTP	: Cam takviyeli plastik
DSİ	: Devlet Su İşleri
EED	: Emniyete esas deprem
g	: Deprem İvme Değeri
GWh	: Gigawatt hour (saat)
HES	: Hidroelektrik santral
İED	: İşletmeye esas deprem
km	: Kilometre
LNG	: Liquefied natural gas(Sıvılaştırılmış doğalgaz)
m	: Metre
m <sup>3</sup>	: Metreküp
MW	: Megawatt
Pvc	: Poli vinil klorür
TSKB	: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TWh	: Terewatt hour (saat)

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Analizlerde yükleme durumları ve emniyet katsayıları.....	30
<b>Tablo 2.</b> Gövde 1'e ait malzeme özellikleri .....	37
<b>Tablo 3.</b> Gövde 2'ye ait malzeme özellikleri .....	37
<b>Tablo 4.</b> Gövde 1'in farklı hallerdeki emniyet katsayıları .....	44
<b>Tablo 5.</b> Gövde 2'nin farklı hallerdeki emniyet katsayıları .....	46
<b>Tablo 6.</b> Gövde 1'in farklı deprem ivmeleri karşısında emniyet katsayıları.....	48
<b>Tablo 7.</b> Gövde 1'in EED ivmesinde oluşan emniyet katsayısı.....	48
<b>Tablo 8.</b> Gövde 2'nin farklı deprem ivmeleri karşısında emniyet katsayıları.....	54
<b>Tablo 9.</b> Gövde 2'nin EED ivmesinde oluşan emniyet katsayısı.....	54

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Türkiye'nin 2001-2019 yılları arasında elektrik talebi ve elektrik talebindeki büyüme.....	2
Şekil 2. Türkiye'nin kurulu gücünün yıllara göre dağılımı .....	2
Şekil 3. Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.....	3
Şekil 4. Kil blanketli dolgu baraj tipi .....	9
Şekil 5. Kil çekirdekli homojen dolgu tipi .....	9
Şekil 6. Kil çekirdekli homojen dolgu tipi (30 m'den yüksek barajlar için) .....	10
Şekil 7. Kil çekirdekli yarı geçirimli kum-çakıl dolgu tipi.....	10
Şekil 8. Kil çekirdekli geçirimli kum çakıl dolgu tipi .....	10
Şekil 9. Eğik kil çekirdekli kum çakıl dolgu tipi .....	10
Şekil 10. Kil çekirdekli kaya dolgu tipi.....	11
Şekil 11. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu baraj tipi .....	11
Şekil 12. Karışık zonlu dolgu baraj tipi.....	11
Şekil 13. İhsu Barajı derivasyon tünelleri .....	12
Şekil 14. Atatürk Barajının dolusavak sistemleri .....	13
Şekil 15. Su alma yapısı .....	14
Şekil 16. İnşa halindeki santral binası .....	15
Şekil 17. Derivasyon-dipsavak sistemi.....	16
Şekil 18. Eğimli su alma yapısı .....	19
Şekil 19. Türkiye ve çevresinde bulunan tektonik plakalar.....	24
Şekil 20. Türkiye deprem tehlike haritası.....	24
Şekil 21. AutoCAD programında çizilen kil çekirdekli kaya dolgu baraj gövdesi ...	32
Şekil 22. AutoCAD programında çizilen kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj gövdesi.....	33
Şekil 23. Slide programına aktarılan Gövde 1.....	33
Şekil 24. Slide programına aktarılan Gövde 2.....	34
Şekil 25. Malzeme tanımlamasının yapıldığı sekme .....	35
Şekil 26. Malzeme tanımlanması.....	35
Şekil 27. Tanımlanmış malzemelerin çizim üzerinde görünüşleri (Gövde 1) .....	36

<b>Şekil 28.</b> Tanımlanmış malzemelerin çizim üzerinde görünüşleri (Gövde 2) .....	36
<b>Şekil 29.</b> Deprem yönünün girilmesi .....	37
<b>Şekil 30.</b> Metodlar .....	38
<b>Şekil 31.</b> Yeraltı suyunun birim hacim ağırlığının girilmesi .....	39
<b>Şekil 32.</b> Ani boşalma halinde yeraltı suyunun birim hacim ağırlığının girilmesi....	39
<b>Şekil 33.</b> Analize ait diğer bölümler .....	40
<b>Şekil 34.</b> Deprem yüklerinin tanımlanması .....	40
<b>Şekil 35.</b> Sismik yük katsayı değerinin tanımlanması .....	41
<b>Şekil 36.</b> Karelajın çizilmesi.....	41
<b>Şekil 37.</b> Su seviyesinin programa tanımlanması .....	42
<b>Şekil 38.</b> Su seviyesi ve sızma hattının gövde üzerinde görünümü.....	42
<b>Şekil 39.</b> Gövde 1'in inşaat sonu hali mansap yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri.....	44
<b>Şekil 40.</b> Gövde 1'in inşaat sonu hali memba yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri.....	44
<b>Şekil 41.</b> Gövde 1'in işletme halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri .....	45
<b>Şekil 42.</b> Gövde 1'in ani boşalma halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri .....	45
<b>Şekil 43.</b> Gövde 2'nin inşaat sonu hali mansap yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri.....	46
<b>Şekil 44.</b> Gövde 2'nin inşaat sonu hali memba yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri.....	46
<b>Şekil 45.</b> Gövde 2'nin işletme halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri .....	47
<b>Şekil 46.</b> Gövde 2'nin ani boşalma halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri .....	47
<b>Şekil 47.</b> Gövde 1'in inşaat sonu depremler mansap yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, .....	49
b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	49

<b>Şekil 48.</b> Gövde 1'in inşaat sonu depremlı memba yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	50
<b>Şekil 49.</b> Gövde 1'in işletme depremlı halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	51
<b>Şekil 50.</b> Gövde 1'in ani boşalma halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	52
<b>Şekil 51.</b> Gövde 1'in işletme depremlı halinde (EED) oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri (0.4 g deprem ivmesinde) .....	53
<b>Şekil 52.</b> Gövde 2'nin inşaat sonu depremlı mansap yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	55
<b>Şekil 53.</b> Gövde 2'nin inşaat sonu depremlı memba yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	56
<b>Şekil 54.</b> Gövde 2'nin işletme depremlı halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	57
<b>Şekil 55.</b> Gövde 2'nin ani boşalma (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde .....	58
<b>Şekil 56.</b> Gövde 2'nin işletme depremlı halinde (EED) oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri (0.4 g deprem ivmesinde) .....	58

## GİRİŞ

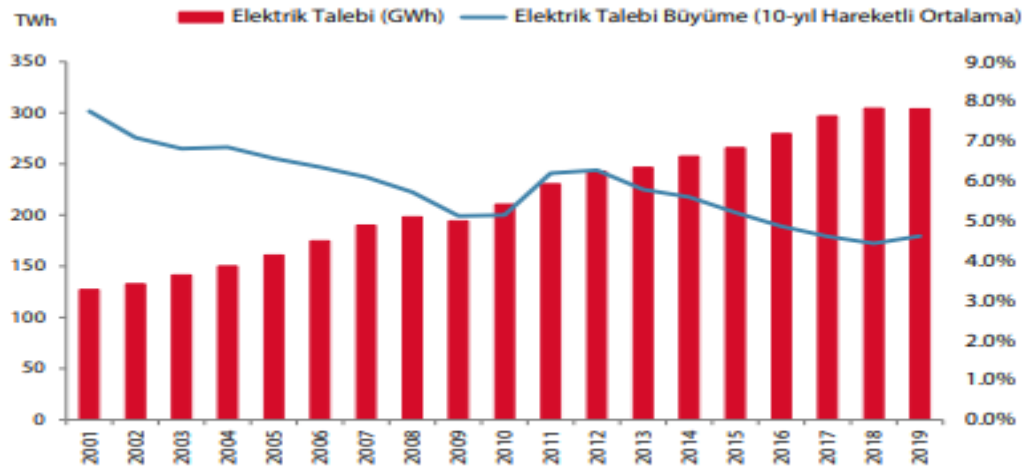
Geçmişten günümüze kadar olan süreçte susuz bir hayatın olmayacağı, suya olan gereksinimin yanı sıra yüzyıllar boyunca taşkınlar ve sellerin oluşumuyla suyun kontrol altında tutulması gerektiği görülmüştür. İnsanlık bu ihtiyaçlar doğrultusunda baraj mühendisliğini geliştirmişlerdir. Binlerce yıl önce Mezopotamya, Hindistan, Uzakdoğu, Mısır'da barajlar yapılmıştır. Yapılan barajlar ile birlikte ülkelerin tarıma dayalı ekonomileri gelişmiştir (Orhon, 1997). Türkiye coğrafi konumu nedeni ile birçok uygarlığa ev sahipliği yaptığından Türkiye'de antik su yapıları fazlaca bulunmaktadır. Buna paralel olarak su mühendisliği de gelişim göstermiştir (Baykan ve Baykan, 2015).

Türkiye'nin enerjiye olan ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacının artmasının başlıca sebepleri nüfusun fazlalaşması, teknolojik gelişmeler ve sanayi alanındaki gelişmelerdir. Artan enerji talebi farklı yöntemlerle karşılanmaktadır. 1999 yılından itibaren üretilen enerjinin %59,2'si öz kaynaklardan üretilmiş olup geriye kalan enerji açığı dışarıdan temin edilen petrol ve doğalgaz tarafından karşılanmaktadır. Türkiye'nin ihracat durumu gelişmekte ve ihracat gelirlerinin çoğu petrol alımında kullanılmaktadır. Bu durum ülke ekonomisini kötü etkilemekte ve dış kaynaklardan temin edilen enerji kaynakları ile enerji üretimi güvenilir değildir. Bu sebeplerden ötürü enerji ihtiyacı yenilenebilir kaynaklardan temin edilmelidir. Türkiye'nin hidrolik santral yapımına uygun coğrafi özelliklere sahip olması, çevre dostu olması, işletme ve bakım aşamasındaki masrafların az olmasından ötürü enerji ihtiyacını karşılamakta yenilenebilir kaynaklar arasında son zamanlarda hayli tercih edilmektedir (Ürker ve Çobanoğlu, 2012).

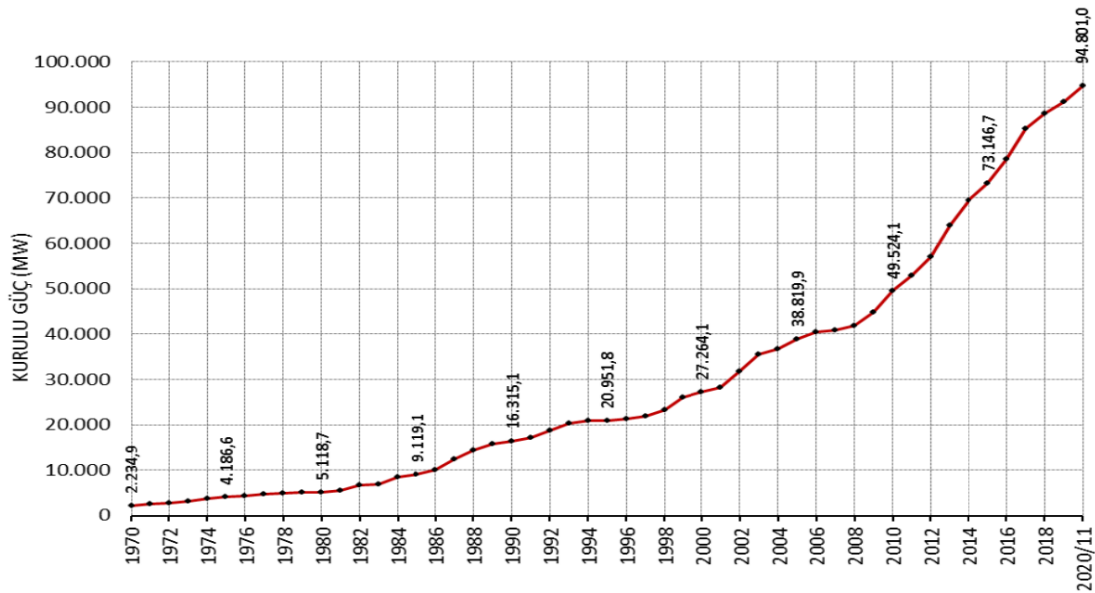
Tüm Dünyada sosyoekonomik gelişmenin anahtarı olarak görülen enerjinin önemi gün geçtikçe artarken toplumlar enerji kaynaklarını değerlendirmeye ve kendi öz kaynaklarını kullanmaya başlamıştır. Dünya enerji üretimi yılda yaklaşık olarak %2 artış göstermektedir. Dünya nüfusunda artış, ekonomik büyüme ve insanların yaşam kalitesinin yükselmesiyle birlikte enerji tüketimi artmış ve insanlar enerji tasarruflarından uzaklaşmışlardır (DSİ, 2011).

Şekil 1'de artan nüfus, teknolojik gelişmeler ile Türkiye'nin 2001-2019 yılları arasında elektrik talebi ve elektrik talebindeki büyüme gösterilmiştir (TSKB, 2020). Enerji talebi çoğunlukla bir önceki yıla kıyasla artarak devam etmiş fakat elektrik

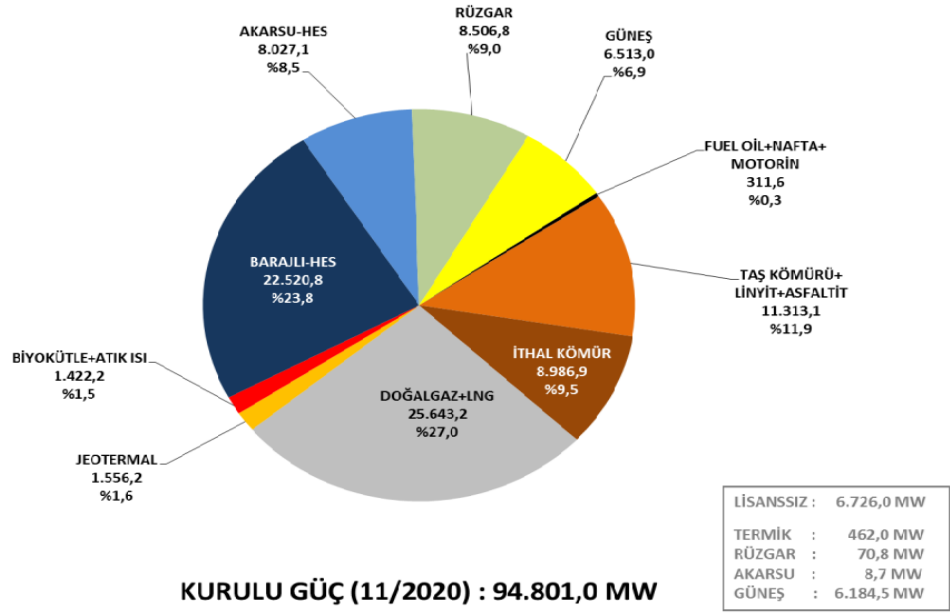
talebindeki büyüme azalışa geçmiştir. Şekil 2’de Türkiye’nin 1970-2020 yılları arasında değişen kurulu elektrik enerjisi gösterilmiştir (URL-1, 2021). Enerji ihtiyacını karşılamak için elektrik enerjisi üretimi her geçen yıl artmıştır. Şekil 3’de ise 2020 yılında kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı gösterilmiştir (URL-1, 2021). Barajlı hidroelektrik santral (HES) ve Akarsu HES toplamı kurulu gücün %32.3ü ile enerji talebini karşılamada oldukça büyük bir paya sahiptir.



**Şekil 1.** Türkiye'nin 2001-2019 yılları arasında elektrik talebi ve elektrik talebindeki büyüme



**Şekil 2.** Türkiye'nin kurulu gücünün yıllara göre dağılımı



**Şekil 3.** Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı

Hidroelektrik santraller büyük yapılar olabildiği gibi küçük yapılar da olabilmektedir. Genellikle baraj ve hidroelektrik santral olarak geçen su yapıları büyük yapılardır. Türkiye'de inşa edilen barajların birçoğu dolgu barajdır. Dolgu baraj tasarımında şev stabilitesi analizi oldukça önemli olup inşa edileceği bölgenin jeolojik ve topoğrafik özelliklerine göre de farklılık göstermektedirler. Türkiye Deprem Tehlike Haritalarına bakıldığında Türkiye'nin deprem açısından riskli birçok bölgesinin olduğu görülmekte olup bu durum depremin dolgu barajlar üzerinde etkilerinin dikkatlice incelenmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkartmaktadır. Dolgu barajların deprem etkileri altında incelenmesi için öncelikle yapının inşa edileceği bölgenin sismik raporu hazırlanarak analiz için gerekli olan veriler elde edilmektedir.

Dolgu baraj tasarımında sınır denge koşullarının belirleyebilmek için uygulanan stabilite yöntemlerinden en çok tercih edilen yöntemlerden biri şev stabilite analizi yöntemidir (Tosun, 2018). Dolgu baraj için sismik tehlike ile bu tehlikenin belirlenmesi için ilgili yöntemler ve şev stabilite analiz yöntemlerinin dikkatle incelenmesi gerekmektedir (Kılıç, 2019). Çalışma temel olarak 2 adet farklı tipte dolgu barajın gövdelerinin şev stabilite analiz yöntemi kullanılarak statik durumda ve deprem kuvvetleri etkisinde iken oluşan emniyet katsayı değerleri ile kayma daireleri bulunarak deprem kuvvetlerinin dolgu baraj üzerindeki etkilerinin araştırılması esasına dayanmaktadır.

## 1. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde dolgu barajlarının şev stabilitesi ve deprem etkisi altındaki davranışları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Barajların deprem etkisi altındaki davranışları genel olarak dolgu ve beton barajlar üzerinden çalışılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları sismik aktivitelerle programların kıyaslamasını incelemiş, bazıları barajların deprem altındaki davranışları için kullanılan yöntemleri ve programları kıyaslamış, bazıları geçmişten günümüze kadar olan süreçte deprem etkisi altında kalmış barajların hasarlarını incelemiştir. Bu çalışmaların sonunda depreme dayanıklı tasarım için nelere dikkat edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Ozkan (1998) çalışmasında, kaya ve dolgu barajların deprem kuvvetleri etkisindeki dinamik davranışı ve baraj güvenliği için geçmişten günümüze kadar kullanılan yaklaşım yöntemlerini irdelemiştir. Çalışmanın sonucunda büyük depremlerin oluşturduğu güçlü sismik sarsıntılara maruz kalan barajlardan tasarımı iyi yapılmış olanlarının hiçbirinde göçme veya ciddi hasarın oluşmadığını gözlemlemiştir.

Çetin ve Unutmaz (2004) tarafından yapılan çalışmada, deprem kuvvetlerinin etki ettiği dolgu barajlar ve dolgu barajların deprem etkisi altında davranışlarının tespiti için kullanılan sayısal analiz yöntemlerini göstermişlerdir. Dolgu barajların deprem kuvvetleri etki ettikten sonra yapıda oluşan hasar çeşitlerini incelemiştir. Deprem davranışları kayıt altına alınmış olan Kralkızı Barajı'nın sonlu farklar yöntemi ile analizini yapmışlar ve analizin gerçek kayıtlardaki değerler ile yakın olduğunu gözlemlemiştir. Son olarak barajlarda depreme dayanıklı tasarım için dikkate alınması gereken hususları paylaşmışlardır.

Yıldız ve Gürdil (2011) tarafından yapılan çalışmada, silindirle sıkıştırılmış barajların deprem kuvvetleri karşısındaki davranışı ve barajın emniyeti için kullanılan hesap yöntemlerini incelemiştir. Çalışmalarında barajların deprem tasarımında kullanılan sismik tasarım kriterlerini ve bu kriterlerin kullanımında dikkat edilecek hususları irdelemiştir. Sismik katsayı metodu ve zaman tanım alanında analizler olmak üzere kullanılan iki tasarım yöntemini anlatmışlardır. Türkiye'de silindirle sıkıştırılmış beton barajın ilk örneği olan Cindere Barajının tasarımını kısaca anlatmışlardır. Pervari Barajının işletmeye esas deprem ve maksimum deprem ivmesi etki ederek dinamik davranışlarını incelemiştir.

Çalışma sonucunda barajda ortaya çıkabilecek iç kuvvetler doğrusal elastik sınırları aşmaması halinde barajların deprem etkisindeki tasarımları için sismik katsayı yöntemi kullanabileceğini göstermişlerdir. Fakat yapının inşa edileceği bölge deprem açısından riskli ve yapıya maksimum deprem ivmesi etki ettirilecekse betonda meydana gelen çekme gerilmeleri sınır şartlarına yakın ya da aşma durumunda zaman-tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanılması gerektiğini paylaşmışlardır.

Dalkır (2011) çalışmasında barajların deprem etkisi altında durumlarını incelemiştir. Türkiye'nin tektoniğine değindikten sonra deprem analizi için gerekli olan en büyük deprem yer ivmesinin bulunması için kullanılan yöntemler irdelenmiştir. Dolgu ve beton barajların deprem etkisi altındaki davranışlarını geçmişte meydana gelen depremler sonucunda oluşan hasarlar vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda depreme dayanıklı baraj yapımı için önemli bulgular paylaşılmıştır.

Kim vd. (2011) çalışmalarında toprak çekirdekli kaya dolgu baraj ve beton yüzlü kaya dolgu barajlarının deneysel simülasyonları ve dinamik santrifüj testlerini yaparak sismik aktivitelerinin barajlar üzerinde incelemesini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda farklı deprem ivme değerlerinin barajlar üzerinde etkilerini paylaşılmıştır.

Hasani vd. (2013) çalışmalarında Geo-Slope yazılımını kullanarak İran'da bulunan toprak dolgu baraj olan İlam Barajının sızıntı ve şev stabilite analizini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda ortalama sızıntısı debisini ve şev stabilitesinde kullanılan Bishop, Janbu ve Morgenstern yöntemleri ile emniyet katsayılarını bulmuşlardır.

Çetin (2014) çalışmasında, dolgu barajların dinamik tasarımında etkili olan aşamaları ve bu aşamaların benzer ve farklı yönlerini incelemiştir. Barajların deprem etkisi göz önüne alınarak tasarımın yapılmasının tarihsel gelişimi paylaşılmıştır. Barajın tasarımı için gerekli olan sismik tehlike seviyesinin belirlenmesinde kullanılan deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizleri incelenmiş, bu analizlerin karşılaştırılmalarında farklılıklar gözlenmiştir. Deprem etkisi altında kalan barajların tasarımında kullanılan işletmeye esas deprem (İED) ve emniyete esas deprem kavramları açıklanmıştır. Tasarımlarda işletmeye esas deprem parametrelerinin ulusal ve uluslararası standartlarda farklılıkların az olduğu fakat

emniyete esas deprem parametrelerinde farklılıkların fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sismik katsayının belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar ve dolgu barajların tasarımında izin verilebilir kalıcı deplasman değerlerinin işletmeye esas ve emniyete esas deprem durumlarına göre belirlendiği paylaşılmıştır.

Aldemir vd. (2015) çalışmalarında yapı-zemin-rezervuarın birbiri üzerindeki etkileri oldukça karışık olan beton barajların deprem etkisi altındaki davranışları ve analiz yöntemlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından hazırlanan “Beton Barajların Tasarım İlkeleri”nde verilen analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda barajın deprem etkisi altındaki davranışlarında dikkat edilmesi gereken hususlar, doğrusal olmayan analizlerin uygulama yöntemi, iki ve üç boyutlu analizlerin önemini göstermişlerdir.

Aydın vd. (2015) çalışmalarında silindirle sıkıştırılmış beton barajlar kısaca anlatılmış ve Manisa ilinde yapılması planlanan Kelebek Barajının iki boyutlu lineer elastik dinamik analizleri 3 farklı maksimum tasarım depremi ve bir adet emniyete esas deprem (EED) değeri ile analizleri incelenmiştir. Analizler sonucunda maksimum tasarım deprem değerlerinin baraj gövdesinde çekme gerilmeleri oluşturmadığı, EED değerinde çekme gerilmelerinin olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan çekme gerilmelerinin yapıya etkisi beklenen değerlerde olduğu ve yapının lineer elastik davranışa uygun olduğunu göstermişlerdir. Analiz sonucunda yüklenen deprem kuvvetleri karşısında barajın duyarlılığının bozulmadığı, yapıda hasar oluşmadığı tespit edilmiştir.

Aldemir (2018) çalışmasında, 6 farklı geometriye sahip beton ağırlık barajlarına 3 farklı deprem ivmesi etki ettirilerek geometri ile deprem kuvvetleri arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Deprem kuvvetleri ve geometri arasındaki etkileşimi farklı yüksekliklere sahip olan Andıraz, Naras ve Gündüzler Barajları üzerinden analizi yapılmıştır. Seçilen farklı geometrilerin her birinde eşit malzeme kullanılarak hangi geometrinin malzemeyi en yararlı şekilde kullanacağı gözlemlenmek istenmiştir. Analizler sonucunda maksimum kret deplasmanları, baraj gövdesinde oluşan maksimum asal gerilme değerleri kıyaslanarak en uygun geometri açıklanmıştır.

Opan (2018) çalışmasında, deprem etkisi altında kalan beton ağırlık barajların tepe ve topuk noktalarında meydana gelen deplasman ile devrilme ve kayma

durumlarına karşı güvenlik sayıları arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Çalışmasında yüksekliği  $h$ , taban genişliği  $b$  olan beton ağırlık barajın 0.1g-0.4g deprem ivme aralığına göre güvenlik sayıları Pseudo Analiz yöntemi ile çözümlenmiştir. Beton ağırlık barajların  $b/h$  oranını boşluk suyu basınç kuvveti için basınç azaltma katsayısı ile deprem ivmesine göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kayma ve devrilme durumlarına karşı olan güvenlik sayılarının boşluk suyu basınç kuvveti için basınç azaltma katsayısı ve deprem ivmesi artıkça azaldığını,  $b/h$  oranı artıkça güvenlik sayısının artıp deplasmanların azaldığı paylaşılmıştır.

Tosun (2018) çalışmasında, dolgu baraj tasarımında sınır denge koşullarının belirleyebilmek için uygulanan stabilite yöntemlerinden en çok tercih edilen yöntemlerden olan şev stabilite analizi yöntemini irdelemiştir. Çalışmasının sonucunda stabilite yöntemlerini, yükleme koşullarını, emniyet katsayısı ve sismik katsayı seçimi ile ilgili önemli noktaları saptamıştır.

Ateş vd. (2019) çalışmalarında, Muğla ili Milas ilçesinde bulunan ön yüzü beton kaplı kum çakıl dolgu baraj olan ve 2014 yılında kullanımına başlanan Derince Barajının deprem etkisi altındaki davranışlarını gövde ve anakaya üzerine ivmeölçer cihazı yerleştirilerek incelemiştir. Barajın bulunduğu bölgenin 1900 yılından günümüze kadar olan süreçteki depremselliği incelenerek bölgede meydana gelen depremlerin büyüklüklerine göre sıralaması paylaşılmıştır. Deprem büyüklüğü  $M_w=4.4$ 'ten büyük olan 9 deprem kaydının anakaya ve gövde üzerindeki ivmeölçerlerin kayıtlarına göre Standart Spektral Oran ve Yatay Düşey Spektral Oran yöntemi ile analizi yapılarak baskın salınım frekansları ve büyütme değerleri kıyaslanmıştır. İki yöntem arasında çok az farklılığın olduğunu ve her iki yöntemde kullanılabileceğini tavsiye etmişlerdir.

Selçuk (2019) tarafından yapılan çalışmada, dolgu barajların deprem etkisi altında davranışını Newmark kayan blok analizi, dinamik sonlu elemanlar yöntemi, yarı-statik yöntem ve kayma kirişi yöntemi olmak üzere dört yöntemle anlatmıştır. Bu dört yöntemin dolgu barajlar üzerinde çalışmaları incelenmiş, her bir yöntemin artı ve eksi yönleri belirtilmiştir. Deprem dolayısıyla zarar gören ve çokça incelenen dolgu barajların incelemesi yapılmıştır.

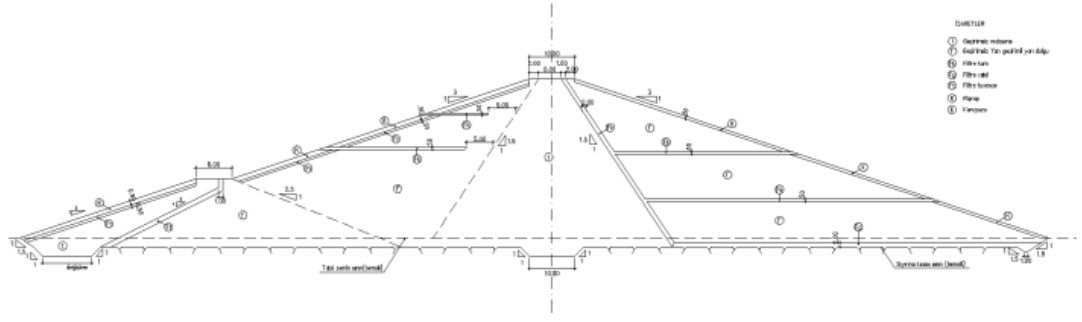
Kılıç (2019) çalışmasında, baraj için sismik tehlike ve bu tehlikenin belirlenmesi için ilgili yöntemleri, şev stabilite analiz yöntemlerini incelemiştir. Kaş

ilçesinde bulunan Kıbrıs Barajının şev stabilite analizi, sismik tehlike analizini ve sayısal analiz için değerlendirmede bulunmuştur.

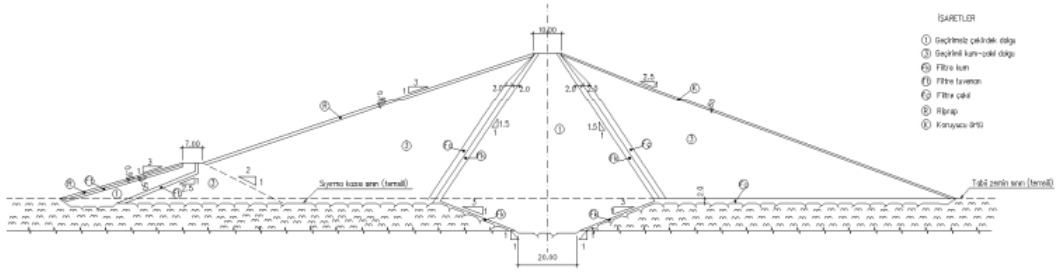
Chakraborty vd. (2020) çalışmalarında heterojen bir dolgu barajın sismik davranışını incelemek amacıyla 2 boyutlu çalışan yeni bir yöntem tasarlanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda tasarlanan yeni yöntemin birbirine bitişik farklı malzemeler arasında sertleşme ve zayıflama etkilerinin göz ardı ettiğini, barajın bölümlerinin sismik tepkisini bağımsız veriler olarak algıladığını paylaşmışlardır.



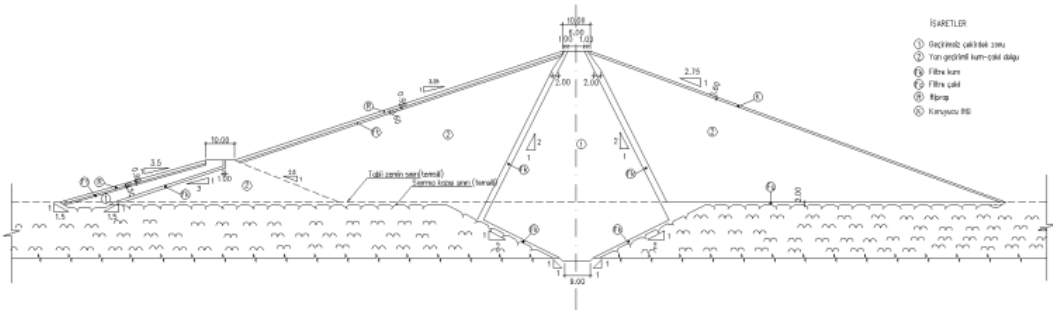




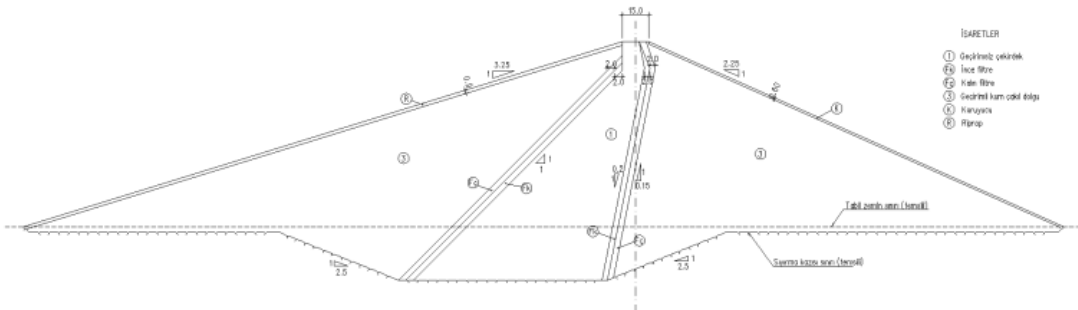
Şekil 6. Kil çekirdekli homojen dolgu tipi (30 m'den yüksek barajlar için)



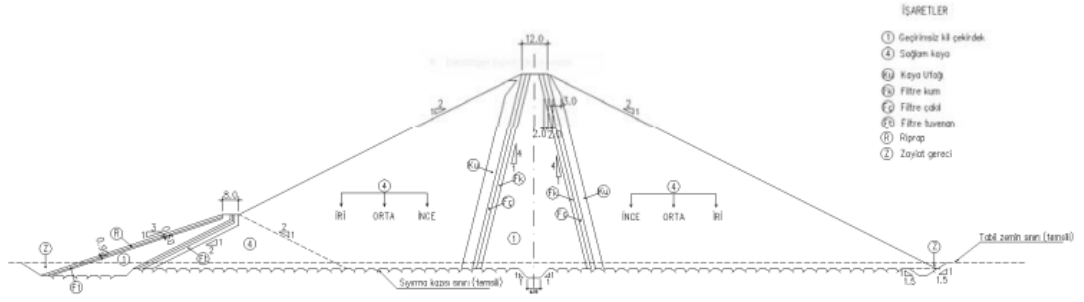
Şekil 7. Kil çekirdekli yarı geçirimli kum-çakıl dolgu tipi



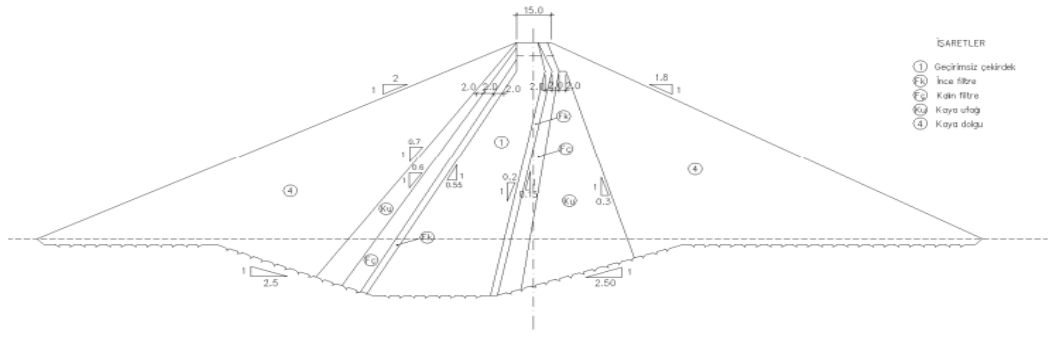
Şekil 8. Kil çekirdekli geçirimli kum çakıl dolgu tipi



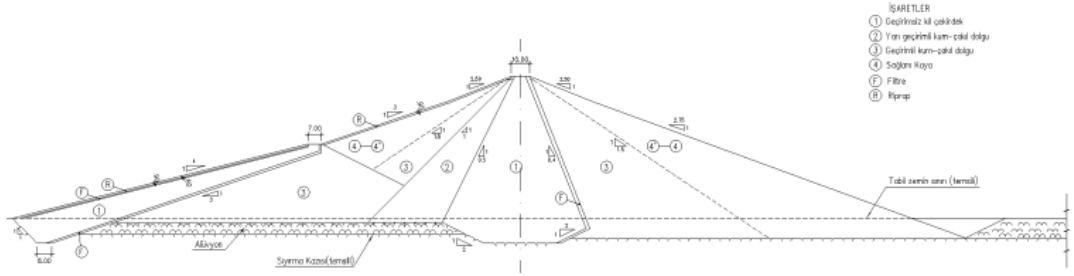
Şekil 9. Eğik kil çekirdekli kum çakıl dolgu tipi



Şekil 10. Kıl çekirdekli kaya dolgu tipi



Şekil 11. Eğik kıl çekirdekli kaya dolgu baraj tipi



Şekil 12. Karışık zonlu dolgu baraj tipi

## 2.1. Toprak Dolgu Barajlar

Toprak dolgu barajlar geçmişten günümüze kadar kullanılan en yaygın baraj çeşididir. Toprak dolgu barajlar yapılacağı bölgede doğal olarak bulunan malzemelerden inşa edildiği için oldukça ekonomiktir (Al-Janabi vd., 2020). Toprak dolgu barajlar temel olarak toprak ve diğer malzemelerin sıkıştırılmasıyla oluşmakta

olup malzemelerin yarısından fazlası toprak dolgudur. Malzemeler çekirdekten dış katmana kadar bir incelik derecesine göre sıralanır. (Al-Mansori vd., 2020)

## 2.2. Kaya Dolgu Barajlar

Kaya dolgu barajlar toprak dolgu barajlar ile oldukça benzemektedir olup temel farklılığı dolgu malzemesinin kaya dolgu olmasıdır. Sıkıştırılmış asfalt, kil veya beton malzemeler de kaya dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlamak için kullanılır. Kaya dolgu barajlarda kaya dolgunun kışın serilmesinde herhangi bir sakıncanın olmaması, kaya dolgu ile beton enjeksiyonun eş zamanlı yapılabilmesi, borulanma ve boşluk basıncının olmaması, kaya dolgu barajları toprak dolgu barajlara göre üstün kılan özellikleridir (URL-2, 2023).

## 2.3. Barajların Yapı Elemanları

### 2.3.1. Derivasyon

Derivasyon inşa edilecek su yapısının zeminin inşaata uygun hale gelmesi için suyun akış yönünün geçici olarak değiştiren yapılardır. Çoğunlukla derivasyon tünelleri ve batardo şeklinde inşa edilirler. Derivasyon tünelleri inşaat aşaması bittikten sonra dipsavak olarak kullanılabilir (Şekil 13, URL-6, 2022).



Şekil 13. Iısu Barajı derivasyon tünelleri

### 2.3.2. Dolusavak

Dolusavakların asıl amacı taşkın dönemlerinde rezervuar dolduğunda fazla gelen suyu mansaba aktarmaktır. Dolusavak barajları emniyetli hale getirmektedir. Dolusavaklar genellikle betondan yapılır ve su tahliyesi metal kontrol kapakları ile sağlanır (Şekil 14, URL-9, 2022).



Şekil 14. Atatürk Barajının dolusavak sistemleri

### 2.3.3. Su Alma Yapısı

Su alma yapıları suyu iletim kanalına aktarmakta görevli yapı elemanıdır. Su alma yapısında su geçici olarak depolanır, ihtiyaç durumunda iletim kanalına aktarılır. Baraj tipine göre su alma yapıları farklılık gösterir. Su alma yapılarında suyun içerisinde bulunan dal, taş ve buna benzer santrale zarar verecek maddelerin girişini engellemek için ızgaralar bulunur (URL-10, 2021) (Şekil 15, URL-6, 2022)



**Şekil 15.** Su alma yapısı

#### **2.3.4. İletim Kanalı**

Su alma yapısından baraja su girişi yapıldıktan sonra su yükleme havuzlarına veya denge bacalarına aktarımını sağlayan yapı elemanı su iletim kanalıdır. Su iletim kanalı tünel, boru hattı, kanal veya bunların karışımı şeklinde inşa edilir. Su iletim hattı jeolojik ve topoğrafik özelliklere göre inşa edilmelidir. İletim kanalları serbest veya basınçlı olarak inşa edilmektedir. Seçilen iletim kanalı tipine göre dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Örneğin uzun bir tünel inşa edilecekse aralıklı olarak havalandırma bacaları da inşa edilmelidir. Bir başka örnek de soğuk iklim bölgesinde bulunan kanallar donmaya karşı kapalı inşa edilmelidir (Cofcof, 2008).

#### **2.3.5. Yükleme Havuzu ve Denge Bacası**

Yükleme havuzu genel anlamda cebri boruyu su darbesinden koruyan depolama rezervuarlarıdır. Ani elektrik taleplerinde tesis üzerindeki yük artar, cebri boruda vakum veya negatif basınca neden olabilir. Bu durumda yükleme havuzundaki su ilave olarak tesise aktarılır. Yükleme havuzundaki su seviyesi düşer ve hızlanan bir basınç olur. Hızlanan basınç ile cebri boruya su akışı hızlanır. Bu şekilde su darbesi ve negatif basıncın azalmasına yardımcı olur (URL-7, 2021).

Denge bacası barajdaki basıncı kontrol etmek için cebri boruya bağlı üstü açık silindirik yapıdır. Denge bacaları yapıldığı alanın jeolojik özellikleri ve cebri borunun uzunluğuna göre farklılık gösterebilir (URL-11, 2021).

### 2.3.6. Cebri Boru

Cebri borular yükleme havuzu veya denge bacasından aldığı suyu trbirlere aktaran basınçlı borulardır (URL-11, 2021). Cebri borular normal hidrostatik basınca ve yükteki dalgalanmalar sonucu oluşan normalin altı veya üstü dalgalanmalara dayanıklı dizayn edilmelidir (URL-7, 2021).

Cebri boruların yapımında betonarme ve elik kullanılır. Cebri borunun boyutuna göre bir veya daha fazla cebri boru yapılabilir. Cebri borunun boyu kısaysa birden çok cebri boru yapılabilir ancak santral yüksek dşye sahipse bir cebri boru yapılır, borunun sonunda farklı dallara ayrılır (URL-11, 2021).

### 2.3.7. Santral Binası

Barajlarda elektrik üretimini yapıldığı yere santral binası denilmektedir. Santral binası barajın yapıldığı yerin arazi koşullarına göre farklılık göstermektedir. Santral binaları yer üstü, yer altı ve yarı gömülü olmak üzere 3 Şekilde inşa edilir (Şekil 16, URL-6, 2022).



Şekil 16. İnşa halindeki santral binası

### 2.3.8. Kuyruk Suyu

Barajlarda suyun çevrimi bittikten sonra akarsuya bırakılan suya kuyruk suyu denilmektedir. Barajlar akarsuya yakın inşa edilmelidir. Bunun tersi durumlarda su akışı türbini verimini düşürüp suyun sebep olabileceği kavitasyonla türbini kanatlarına

zarar verebilir. Akarsuya yakın inşa edilemeyen santraller için ise kuyruk suyunu aktarmak için kanal yapılması gerekmektedir (URL-11, 2021).

### 2.3.9. Şalt Sahası

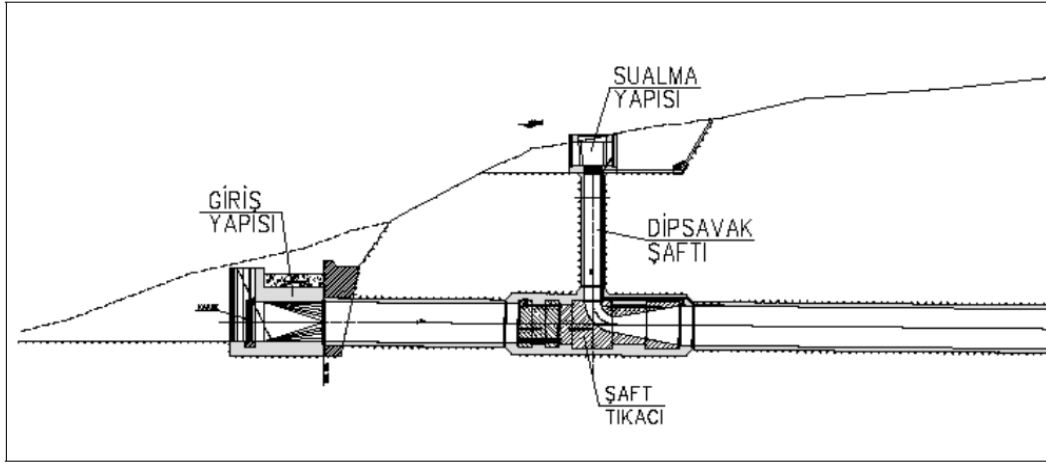
Barajlarda santral binasında üretilen elektrik enerjisinin aktarımını şalt sahaları yapmaktadır. Şalt sahalarında bulunan trafolar iletim seviyesine göre elektriği alçaltarak ya da yükselterek iletim hattına aktarırlar (URL-12, 2021).

## 2.4. Barajların Yapı Elemanlarının Tasarımı

### 2.4.1. Derivasyon-Dipsavak Tasarımı

Derivasyon tünelinin yapım amacı memba ve mansap batardolarının yapılarak batardolar arasında kalan akarsu yatağının kurutulup zeminin barajın inşasına uygun hale getirilmesidir.

Derivasyon-dipsavak tasarımında giriş yapısı, dipsavak ve su alma yapısı, tünel, tıkaç betonu, cebri boru, vana odası olmak üzere toplam altı yapıdan oluşmaktadır (Şekil 17, DSİ, 2012).



Şekil 17. Derivasyon-dipsavak sistemi

Derivasyon yöntemleri beş ana gruptan oluşmaktadır. İlki daha çok regülatör tipi yapılarda kullanılan açık kanal derivasyondur. Açık kanal yöntemi ile derivasyon yapılacaksa vadi bu yöntemin yapılması için mümkün olan genişliğe sahip olmalı ve derivasyon yapılırken aynı zamanda gövdenin inşaatı da yapılmalıdır. İkinci yöntem

olan Kondüvi (Aç-Kapa Tünel) yöntemi ise temeli sağlam olan zeminlerde ve üzerine yapılacak dolgunun 30 metreyi (m) geçmediği durumlarda yapımı uygundur. Aç-kapa yöntemi kazı emniyeti ile kazı ve dolgu maliyeti düşünülerek jeolojik ve topoğrafik özelliklerin uygun olduğu bölgelerde inşa edilmelidir. Üçüncü yöntem ise derivasyon kondüvisi veya çelik borunun öncelikli olarak derivasyon daha sonra dipsavak olarak kullanılmasıdır. Çoğunlukla beton barajlarda kullanılan kademeli derivasyon dördüncü yöntemdir. Son yöntem ise tünel yapılarak inşa edilen derivasyondur. Bu yöntem tünel açmak için uygun zemin özelliklerine sahip olan yamaçlarda kullanılmaktadır.

Derivasyon yöntemleri feyezana debisi, baraj yerinin topoğrafik ve jeolojik yapısı, baraj tipi, barajın inşa süresi, dipsavak, dolusavak ve boşaltım tesislerinin konumuna ve inşa sırasına göre belirlenir. Derivasyonun maliyeti, riskleri ve uygulama aşamasında en çok verimin hangi yöntemden alınacağı düşünülerek seçilmelidir (DSİ, 2012).

#### **2.4.2. Dolusavak Tasarımı**

Barajın rezervuarın istenen doluluk oranı sağlandıktan veya taşkın durumlarında fazla gelen suyun kontrollü olarak memba kısmından mansap kısmına aktarımı dolusavak sayesinde olur. Dolusavak yapıları yaklaşım kanalı, eşik yapısı, deşarj kanalı ve enerji kırıcı olmak üzere toplam dört yapıdan oluşmaktadır. Bu dört yapının tasarımı için hidrolik hesaplamalar yapılmaktadır (Bağatur, 2006).

Dolusavağın tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlardan ilki dolusavağın genişliği ve derinliğinin maksimum tasarım debisini güvenli şekilde aktaracak yapıda tasarlanmasıdır. Dolusavağın genişliği ve derinliği tasarlandıktan sonra yapıda yaklaşım kanalı ve su alma ağızı inşa edildiyse bunların etkileri de göz önünde bulundurulur. Dolusavaktan alınan suyun mansaba güvenli şekilde aktarılması için suyun enerjisinin kırılması amacıyla şütler ve çıkışına dinlendirme havuzu yapılmalıdır. Su yapılarının her birinin tasarımının o projeye has olduğu unutulmamalıdır (Dündar, 2009).

Baraj güvenliği için önemli yapılardan biri olan dolusavakların tasarımı için çeşitli modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu modellemelerden biri fiziksel modellemedir. Barajın inşaat aşaması bittikten sonra kullanılmaya başlandığında

projede eksik veya hatalı yapıların düzeltilmesi işletme aşamasında oldukça zordur. Barajın belirli boyutlarla küçültülerek fiziksel model elde edilir. Fiziksel modelde projede olan hatalar ya da eksiklikler görülerek su yapısının tasarımında düzeltmeler yapılır. Bu yöntem oldukça iyi sonuçlar verse de zaman alıcı ve yorucudur. Fiziksel modellemenin yanı sıra sayısal modellemelerde hayli tercih edilmektedir. Sayısal modelleme çözülecek olan probleminin akışkanlar mekaniği denklem sistemlerinin matematiksel yöntemlerle bilgisayar ortamına aktarılması ile yapılır (Kumcu ve Uçar, 2020).

### **2.4.3. Su Alma Yapısı Tasarımı**

Su alma yapısı baraj ve regülatör gibi yapılardan veya direk akarsu kaynağından çeşitli amaçlar için suyun aktarılmasını sağlayan yapılardır. Su alma yapıları projelendirilirken yapının ihtiyaç duyacağı debi miktarını iletebilmeli, iletim sağlanırken suyun içerisinde istenmeyen maddeleri engellemeli, suyun yapı üzerinde oluşturacağı kuvvete dikkat edilmeli ve yapının verimli çalışması için yük kayıplarının en az seviyede olmalıdır. Yük kayıpları hesaplanırken ızgara, değişik geometrilere sahip geçiş yapıları, su alma ağzı, kurplar, daralma ve genişleme alanları, sürtünme kayıpları ve vanalar göz önünde bulundurulur. Yük kayıpları birçok uygulama ve deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkmış katsayılar ile hesaplanmaktadır. Proje tasarlanırken yapıdan beklenen verimin sağlanması için iletilmesi istenen suyun miktarı değişen çevre koşulları göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Yapının bulunduğu coğrafi koşullar ve iklim özelliklerine göre suyun debisi değişkenlik göstermekte olup su alma yapısı değişen debi miktarlarından etkilenmemesi için birden çok su alma ağzı inşa edilir (Şekil 18) (Kirişçi ve Çelik, 2015).



**Şekil 18.** Eğimli su alma yapısı

Su alma yapıları projeden projeye çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğin sebebi proje alanının fiziki özellikleri, projenin maliyeti, proje debisi, rezervuarda buzlanma ve benzeri faktörlerdir. Su alma yapısının giriş kısmındaki ağız yapısının geometrisi yapıda hasar oluşturacak akım durumlarına sebebiyet vermemelidir. Izgara önünde ve içinde su hızına dikkat edilmelidir. Su alma yapısının ağız kısmı yük kayıplarını aza indirmesi için çan ağız şeklinde yapılmalıdır. Suyun basınçla alındığı sistemlerde su alma yapısından tünel ve cebri boruya hava girişini engellemek için su yüksekliği belirli bir seviyede olmalıdır (DSİ, 2012).

#### **2.4.4. İletim Kanalı Tasarımı**

Çevirme yapısı ve yükleme havuzu arasında kalan bölge su iletim kanalıdır. Su iletim kanalı basınçlı veya serbest akımlı olmaktadır. Serbest akımlı kanallarda suyun kabarma ve sıkışması dikkate alınarak doluluk oranı hesaplanmalıdır. Serbest akımlı kanallarda inşa edilecek bölgenin jeolojik özelliklerine göre çoğunlukla klasik at nalı ya da değiştirilmiş at nalı şeklinde kesitler kullanılmaktadır. Basınçlı su iletim kanallarında dairesel kesitler kullanılmaktadır. Su iletim kanalının eğimi mümkün mertebe sabit tutulmalıdır. Su iletim kanalı kapalı ya da açık olarak inşa edilmektedir. Hava sıcaklığının düşük olduğu bölgelerde suyun donmasını engellemek için kapalı kanallar inşa edilmelidir. Su iletim kanalının enkesiti olabildiğince değiştirilmemelidir. Kanaldan geçebilecek maksimum debi ve eğimi, kanalın inşa edileceği bölgenin jeolojik özelliklerine ve projenin diğer

özellikleri göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Su, iletim kanalından yükleme havuzuna doğru iletilirken yük kayıplarının az olması için kanal en ve derinlik olarak büyümektedir (Cofcof, 2008).

#### **2.4.5. Yükleme Havuzu ve Denge Bacası Tasarımı**

Yükleme havuzları su seviyesini belirlerken aynı zamanda cebri boruların basınçla çalışmasını sağlayan yapılardır. Yükleme havuzlarının hacmi yapılan hidrolik hesaplar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yükleme havuzları enerji ihtiyacının fazla olduğu zamanlardaki ihtiyacı karşılamak için büyük hacimli inşa edilebilmektedir. Yükleme havuzunun genişliği santral binasının genişliği ile orantılı olup hidrolik hesapları diğer birçok faktör ile ilişkilidir. Bu yüzden hidrolik model çalışmaları yapıldıktan sonra yükleme havuzu için iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Yükleme havuzuna gelen suyun hızı azalacağından havuzun tabanında sediment birikmesi oluşur. Biriken sedimentin belirli aralıklarla basınçlı su ile dipsavaktan atılması sağlanmalıdır. Yükleme havuzun inşa edileceği bölgenin jeolojik ve topografik özelliklerine dikkat edilmeli ve belirlenen bölgenin santrale olan mesafesi ile cebri borunun boyu belirlenmektedir. Yükleme havuzunun su sızdırması engellenmeli ve havuz etrafında uygun bir drenaj şebekesi ile suyun miktarı istenilen seviyede tutulması sağlanmalıdır. Yükleme havuzu açık inşa edilebileceği gibi yeterli hava payının sağlanması ile kapalı olarak da inşa edilmektedir. Havuzun çevre duvarları yükleme havuzunda meydana gelecek ani su yükselme durumlarına göre inşa edilmelidir. Suyun azalması durumunda ise cebri boruya hava girişini engellemek için cebri borunun üstünde yeterli su seviyesinin kalması sağlanmalıdır (Cofcof, 2008).

Basınçlı çalışan sistemlerde bir anda oluşan kapanma ve açılmalarda meydana gelecek olan şok dalgalarının emilimi için inşa edilen yapılar denge bacalarıdır. Denge bacaları genellikle şaft şeklinde inşa edilmekte olup hacmin fazla olması durumunda farklı geometrilerde inşa edilmektedir. Denge bacaları farklı tasarım isteyen durumlar hariç dairesel olarak inşa edilirler. Denge bacasının boyutları hidrolik hesaplar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Denge bacaları çoğunlukla derin bölgelerde tünele bağlanırlar. Denge bacalarının yüksekliği yapılan salınım hesapları

ile belirlenip uygun olan proje alanı seçilir. Seçilen bu bölgenin jeoteknik ve jeolojik özelliklerine dikkat edilir (DSİ, 2012).

#### **2.4.6. Cebri Boru Tasarımı**

Su yükleme odasından ya da denge bacasından cebri boruya aktarılır. Cebri boru türleri font, ahşap, beton, poli vinil klorür (PVC), cam takviyeli plastik (CTP) ve çelik olmak üzere altı adettir. Hidroelektrik santrallerde çoğunlukla çelik cebri borular kullanılmaktadır. Cebri borunun çapının belirlenmesi, çelik boruların ağırlıkları, ekonomik boru sayısı, boruların dış basınca mukavemeti, mesnet aralıklarının belirlenmesi, farklı su sıcaklıklarının cebri boru üzerindeki etkileri ve tespit kütlelerinin hesabı cebri boru tasarımında dikkatle incelenmesi gereken hususlardır (DSİ, 2012).

Cebri boruların tasarım hesapları iki yöntem ile yapılmaktadır. İlki çeşitli projelerde kullanılmış cebri boruların istatistiksel analizi yapıp bu verilerle bağlantılı ampirik çözümler, ikincisi ise yıllık cebri boru maliyetinin sürtünme kuvveti sonucu oluşan kayıpları dahil edilerek hesaplanan analitik çözümlerdir. Cebri boru tasarımında yük kaybı önemli bir rol oynamaktadır. Küçük çaplı cebri borunun yapım maliyeti daha az fakat yük kaybı fazla olacak, büyük çaplı cebri borunun yapım ve bakım maliyeti fazla yük kayıpları az olacaktır. Burada önemli olan ise projeye en uygun cebri boru çapının seçiminde yük kayıpları, yapım, bakım maliyeti ve bunlara ilişkin bütün unsurların irdelenerek projeye en uygun cebri boru çapının seçilmesidir (URL-3, 2022).

#### **2.4.7. Kuyruk Suyu Tasarımı**

Dolgu barajlarda çevirimi yapılan suyun santral binasından çıkarak akarsu yatağına ulaşır. Santral binası ile akarsu yatağı arasındaki bu kısım kuyruk suyu kanalıdır. Kuyruk suyu kanalının tasarımında kanal vasıtasıyla akarsu yatağına bırakılacak suyun hızı, pürüzlülük katsayısı ve buna benzer suyun özelliklerine dikkat edilmelidir. Kuyruk suyu kanalının boyutları yapılan hidrolik hesaplar sonucunda tasarlanır. Hidrolik hesaplar sonucunda bulunan kanal boyutlarının stabilite ve statik analizleri yapılır (DSİ, 2012).

#### **2.4.8. Santral Binası Tasarımı**

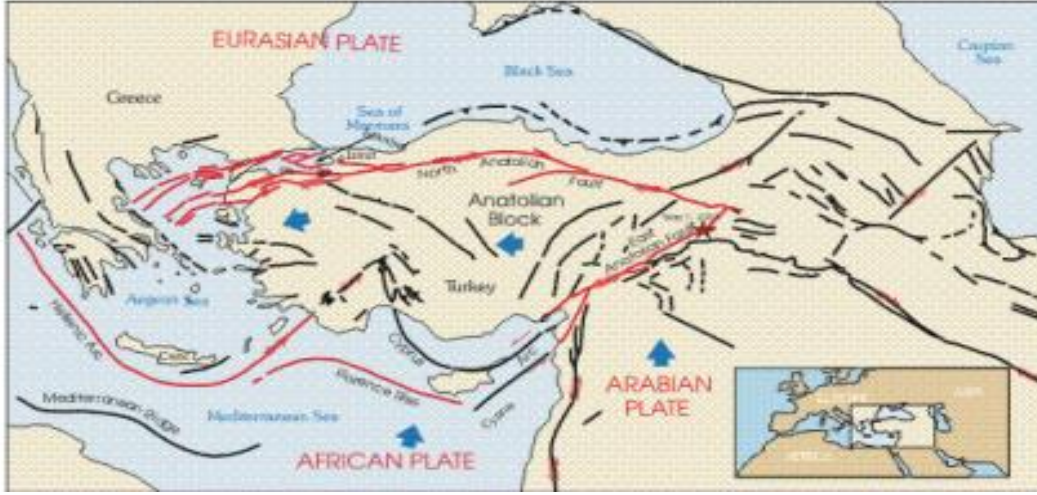
Santral binası Türbin\Jenaratör, Montaj Sahası, Kumanda\Kontrol yapıları olmak üzere 3 ana yapıdan oluşur. Bu 3 yapının her biri ayrı inşa edileceği gibi bir arada da inşa edilebilir. Santral binasının inşa edileceği alanı seçerken dikkat edilmesi gereken kritik durumlar söz konusudur. Bunlardan ilki brüt düşüdür. Brüt düşü belirlenirken reaksiyon tipi türbinlerde baraj işletme kotundan kuyruk suyu kotu çıkarılarak elde edilir. Türbin tipi çarpma olan barajlarda ise işletme kotundan türbin eksen kotu çıkarılarak brüt düşü hesaplanmalıdır. Diğer önemli husus ise santral binasının inşa edileceği alanın jeolojik özellikleridir. Santralin temeli şartların uygun olduğu her koşulda sağlam kayaya oturtulmalıdır. Temelin sağlam kayaya oturtulamadığı durumlarda temelin rijit davranabilmesi için kot seviyeleri aynı olmalıdır. Diğer önemli husus vadi genişliğidir. Dar vadilerde taşkın, sel gibi durumlarda su seviyesinin ani yükseliş durumu göz önünde bulundurularak santral binası inşa edilmemelidir. Diğer bir husus ise santral binasına ulaşımın kolay olacağı alanların seçilmesidir. Santrala ulaşım için ekstra yol, köprü vb. yapılara ihtiyaç duyulmayacak bölge seçilmelidir. Santral binasına ulaşan elektrik enerjisinin aktarımının yapılacağı enerji nakil hattının santral binasına uzak olmaması diğer bir husustur (DSİ, 2012).

#### **2.5. Barajlarda Depremsellik**

Türkiye aktif fay hatları üzerinde bulunmaktadır. Bu durumda Türkiye'nin depremlerle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Türkiye'de meydana gelen şiddetli depremlerde bunun en büyük kanıtıdır. Büyük su kütlelerine sahip olan barajların deprem anındaki davranışları da hayli önemlidir. Barajların deprem anındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla 1970'li yıllarda birçok ülke tarafından çeşitli araştırma ve çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda baraj-zemin-hidrokinamik etkileşimleri göz önünde bulundurularak deprem yüklerine dayanıklı baraj inşası için gerekli olan tasarım rehberleri ve analiz programları oluşmuştur. Ülkemizde ise geçmiş yıllardan bu yana baraj tasarımı için kil çekirdek kaya dolgu baraj tasarımında kullanılan basitleştirilmiş stabilite analizleri yapılmaktadır. Gelişen teknoloji ve bilgi birikimleri sayesinde genelleştirilmiş hesaplama yönteminden ziyade barajın inşa edileceği bölgeye yönelik deprem tehlikesi daha detaylı olarak

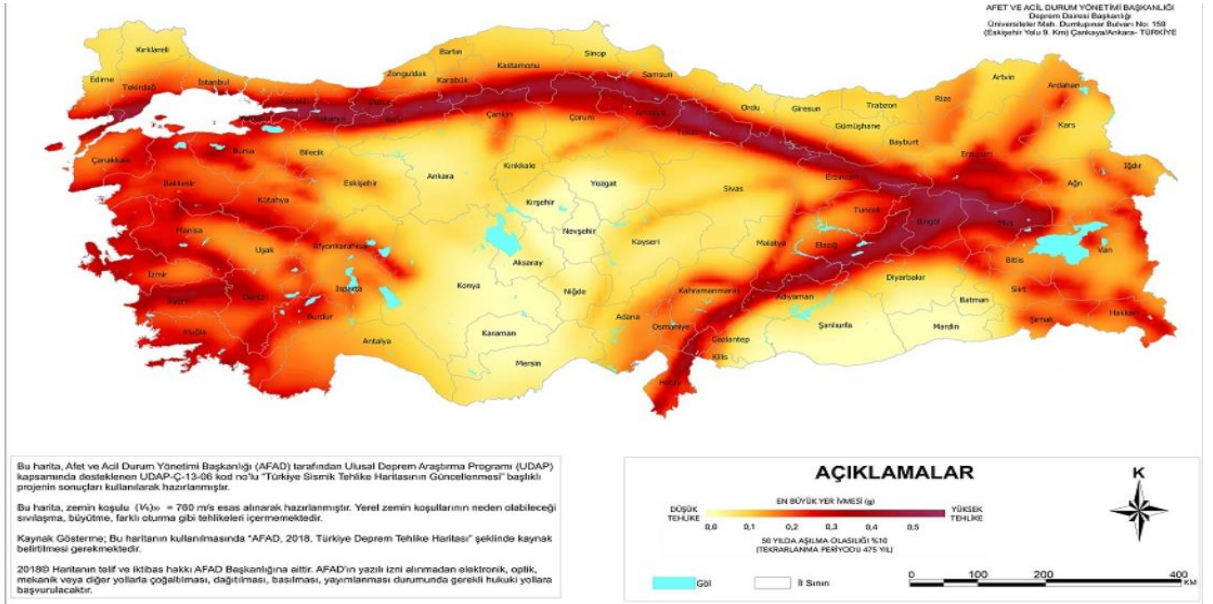
incelenmektedir (Aldemir vd., 2015). Dolgu barajların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemek için öncelikle santrallerin inşa edileceği alanların tektonik durumu incelenmelidir.

Baraj projelerinde sonlu elemanlara dayanan yazılımlar ile dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Yazılımları kullanırken projenin iyi tanınması ve programların düzgün çalışması için gerekli bütün işlemler özenle yapılmalıdır. Yazılımlar için uygun olan projelerin analizi yapılmalıdır. Fay hatlarının geçtiği alanlarda inşa edilen barajlarda deprem anında yapıya büyük kuvvetlerin etki edeceği beklenmektedir. İnşa edilen her baraj yapısında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Projenin analizi için deprem hareketlerinden elde edilecek parametrelerin seçimi önemlidir. Projenin emniyetli olması için bu parametrelerinin değerini çok büyük seçmek hatalı bir seçimdir. Dünya üzerinde meydana gelen büyük çaplı depremlere bakıldığında yıkılanlar olduğu kadar yıkılmayan barajların olduğu görülmüştür. Türkiye'nin tektoniğine bakıldığında Anadolu'nun çoğunluğu Türkiye plağı üzerinde bulunmaktadır. Güneyde bulunan Arap plağı ve Afrika plağı Türkiye plağının altına doğru hareket eğilimindedir. Arap ve Afrika plağını Ölü deniz Fayı ayırır. Arap plağının hemen kuzeydoğusunda bulunan Van plağı ile Bitlis-Zagros Bindirme Zonu ile ayrılır. Türkiye plağı ile Karadeniz plağının arasında bulunan Kuzey Anadolu Fayı yaklaşık 1500 km uzunluğunda olup doğu batı yönünde uzanır. Kuzey Anadolu Fayının Türkiye coğrafyası üzerindeki konumu ise Türkiye'nin doğusunda bulunan Karlıova'dan başlayıp Anadolu'yu kat ettikten sonra İzmit Körfezinden Marmara Deniz'inin altına girerek Trakya'ya ulaşır. Trakya bölgesinin güney batı köşesini geçtikten sonra Ege denizinde son bulur. Kuzey Anadolu Fay hattının sağ doğrultu atımlı tipi echelôn fayıdır. Kuzey Anadolu Fayında kırılan bir parça diğer parçayı aktive eder. Fay üzerindeki parçaların bu hareketi ile Kaliforniya'da bulunan San Andreas Fayına benzerlik gösterir. Kuzey Anadolu Fayı aktif bir faydır. Aktif olan bu fay üzerinde Türkiye'de meydana gelen en büyük depremler meydana gelmiştir. Kuzey Anadolu Fayından sonra Türkiye'de bulunan diğer aktif fay Doğu Anadolu Fayıdır. Doğu Anadolu Fayı doğuda Karlıova'dan başlayıp güney batı yönünde uzanır ve Akdeniz'e ulaşır. Ölü deniz fayında yakın zamanlarda meydana gelen büyük şiddette deprem yoktur (Şekil 19) (Dalkır, 2011).



Şekil 19. Türkiye ve çevresinde bulunan tektonik plakalar

Türkiye'nin tektonik durumuna bakıldığında aktif fay hatlarının varlığı ve meydana getirdiği büyük çapta depremler olduğu görülmektedir. Bu durumdan Türkiye'nin sismik hareketlerinin fazlaca olduğu anlaşılmaktadır. Baraj ve HES'lerin inşa edilecekleri bölgelerde sismik hareketlerin doğru tespit edilip analizler yapılarak inşaat için gerekli parametreler bulunmalıdır (Şekil 20, URL-4, 2022).



Şekil 20. Türkiye deprem tehlike haritası

Baraj yapıları diğer inşaat yapılarından farklılık göstermektedir. Bu farklılık barajın sahip olduğu yayılı kütle dağılımıdır. Bu yayılı kütle barajlar üzerindeki sismik davranışlarının tespitinde yapı-zemin-rezervuar üçlüsünün birbiri üzerindeki etkileri dikkatle incelenmelidir. Deprem sırasında barajın membasında bulunan suyun oluşturduğu hidrodinamik kuvvetler, hidrostatik etkiler seviyesinde ve bu seviyenin üzerine çıkabileceğinden dikkatli hesaplanmalıdır. Hidrodinamik kuvvetler suyun sıkıştırılabilir olmasına, rezervuarın şekline, deprem hareketine ve barajın memba yüzü tarafında olan geometrisine göre farklılık gösterebilir (Aldemir vd., 2015).

Baraj tasarımı için gerekli olan yer hareketi parametreleri barajın potansiyel riskini göz önünde bulundurarak olasılıksal ve deterministik hesaplamaların sonuçlarına dikkat edilerek sismik tehlike seviyesi belirlendikten sonra parametre değerleri elde edilir. Yer hareketi parametreleri için gerekli olan deterministik sismik tehlike hesabında baraj sahasının çevresindeki faylardan yararlanır. Fayın geçmiş yıllarda yarattığı depremler ve muhtemelen yaratabileceği en büyük depremler belirlenir. Bu belirlenen depremlerin baraja en yakın uzaklıktan oluşacağı farz edilir. Sismotektonik yapıya ve barajın oluşturduğu zeminin özelliklerine uygun yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak en kritik yer hareketi parametreleri belirlenir (DSİ, 2012).

### **2.5.1. Beton Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı**

Barajlar büyük su kütlelerine sahip yapılardır. Barajlar deprem etkisi altında olası yıkılmalarında fazlaca can ve mal kaybına sebep olabilecek potansiyele sahiptir. Bu yüzden baraj tasarımı yapılırken barajın deprem etkisi altında davranışları dikkatle incelenmeli ve hesaplamalarda gerçekleşebilecek bütün senaryoların analiz edilerek en uygun tasarım seçilmelidir. Türkiye'de inşa edilen barajların birçoğu kil çekirdekli kaya dolgu barajlardır. Bu tipteki barajlar için basitleştirilmiş stabilite analizi kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve bilgi birikimiyle beton barajların sayısı artmıştır. Beton barajların sayısının artmasıyla DSİ 2012 yılında "Beton Barajların Tasarım İlkeleri" isminde tasarım rehberini oluşturmuştur.

Beton gerilme şekil değiştirme eğrisi hem basınç hem de çekme altında yumuşama göstermektedir. Bu sebeple beton yarı gevrek bir malzeme olarak kabul

edilebilir. Ayrıca beton agrega ve çimento pastasından oluşan kompozit bir malzeme olması sebebi ile çatlak ilerlemesi oldukça düzensiz ve karmaşık bir şekilde gerçekleşmekte ve tahmini zor bir hal almaktadır. Betonun basınç-kayma yüklemeleri altında basınç miktarına bağlı olarak deformasyon yapabilme yeteneği de bulunmaktadır. Malzeme kaynaklı bu doğrusal elastik olmayan davranışa ilave olarak depremin baraj gövdesi üzerinde oluşturduğu gerilme dağılımı da barajlarda oluşması beklenen doğrusal elastik olmayan davranış için belirleyicidir. Yüksek mod etkileri, gövde ve tabanda oluşan çatlakların iç gerilme dağılımını değiştirebilmesi gibi etmenler barajların deformasyon yapabilme yeteneği üzerinde etkindir. Barajlar için deprem performanslarının belirlenmesine ilave olarak havza bazında yapılacak risk çalışmaları için muhakkak baraj göçme şekilleri hakkında bilgi sahibi olunması gereklidir (Aldemir vd., 2015).

Beton ağırlık barajlarda deprem etkisi altında oluşan en büyük tehlike deprem yükleri altında barajın kayma emniyetinin azalmasıdır. Bir diğer tehlike ise deprem kuvvetlerinin barajda çatlak oluşturma ihtimalidir. Bu durum bütün beton ağırlık barajlar için geçerlidir. Beton barajlar içerisinde yer alan payandalı barajların deprem ivmeleri baraj aksına paralel gelmesi durumunda diğer beton barajlara göre daha dayanıksızdır. Beton barajların deprem etkisi altındaki davranışları incelendiğinde 2001 yılına kadar birçok baraj yapılmış ve bu barajlar deprem etkisi altında kalmıştır. Bu beton barajlar içerisinde farklı tipte beton barajlar bulunmaktadır. Bu barajların hiçbiri deprem etkisi altında yıkılmamıştır. Sefid Rud Barajı 105 m yüksekliğinde olup payandalı beton barajdır. 1962 yılında inşası tamamlanan bu barajın rezervuarı 1.8 milyar metreküp ( $m^3$ ) büyüklüğünde, üretim kapasitesi 87.5 Mw'dır. Barajın tasarımında psödo-statik analiz yöntemi kullanılmış olup deprem ivmesi 0.10 g ve 0.25 g olarak alınmıştır. 1990 yılında baraja 32 km mesafede, büyüklüğü 7.5 şiddetinde deprem meydana gelmiştir. Depremde hayli fazlaca can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Rezervuar alanında yamacın sol tarafında 70 santimetre (cm) genişliğinde, 120 cm derinliğinde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu şiddetli depremde baraj hasar gördü fakat yıkılmadı. Payandaların hepsinde krete yakın kısımlarda çatlaklar meydana geldi. Yaşanan depremin hesaplarda kullanılan İnanılır En Büyük Deprem değerine denk olduğu için baraj mühendisleri için bu deprem hayli önemlidir. Hindistan'da bulunan 102.4 m yüksekliğindeki Koyna Barajı 1967 yılında

depremin merkezine 3 kilometre (km) mesafe 6.5 büyüklüğünde, Çin'de 104.2 m yüksekliğinde olan Hsinfengkiang Barajı 1962 yılında merkeze 1.1 km mesafede olan 6.1 büyüklüğündeki deprem etkisi altında kalmışlardır. Deprem etkisi altında kalan iki barajda beton ağırlık baraj tipinde olup hasar almış fakat yıkılmamışlardır. Romanya'da 1977 yılında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem 2 baraja etki etmiştir. Bu barajlardan ilki 126 m yüksekliğinde ağırlık baraj olup deprem merkezine mesafesi 100 km idi. Diğer baraj ise 80 m yüksekliğinde olup baraja 60 km mesafede idi. İki barajda hiç hasar görmedi. A.B.D.'de bulunan 38.5 m yüksekliğindeki Lower Crystal Springs Ağırlık Barajı 1906 yılında meydana gelen 8.3 şiddetindeki San Francisco Depreminin merkezine mesafesi 400 m idi. Baraj bu şiddetli depremde hiç hasar görmemiştir. Pacoima Barajı A.B.D'de 113 m yüksekliğinde olup 1929 yılında kemer baraj olarak inşa edilmiştir. Pacoima Barajı 1971 senesinde depremin merkezine 5 km mesafede, büyüklüğü 6.5 değerindeki San Fernando depreminin etkisi altında kalmıştır. Bu depremde kemer barajda herhangi bir hasar oluşmamıştır. Aynı baraj 1994 yılında 18 km mesafede, 6.7 büyüklüğündeki Northridge Depreminin etkisinde kalmış ve hasar miktarı az olmuştur. Ambiesta Barajı yüksekliği 59 m çift eğrilik kemer baraj 1956 yılında İtalya'da inşa edilmiştir. Barajın 0.75 g yatay ve 0.76 g düşey ivmeler en yüksek limit değerler olarak belirlenmiş ve bu ivmeler altında barajın güvenilir olduğu ifade edilmiştir. 1976 yılında depremin merkezine 22 km mesafe ve 6.5 şiddetindeki Friuli depremi baraja etki etmiştir. Barajda ölçülen en fazla yer ivmesi 0.33 g olarak tespit edilmiştir. Baraj bu depremde hasar almamıştır. Depremin etki alanında 13 tane daha beton kemer baraj bulunuyordu. 13 barajdan hiçbirisi hasar almadı. Büyük depremlerin etkisinde kalan kemer barajlar incelendiğinde birçok kemer barajın büyük depremler etkisi altında kaldığı anlaşılmaktadır. A.B.D'de bulunan Santa Anita Barajı 1927 yılında yapılmış olup 69 m yüksekliğindedir. A.B.D'de yapılan bir diğer kemer baraj Big Tujunga kemer barajıdır. Bu barajın yüksekliği 63 m olup 1931 yılında yapılmıştır. Zambia'da bulunan Kariba Barajı 128 m yüksekliğinde olup 1959 yılında inşa edilmiştir. Fransa'da bulunan Manteynard Barajı 1962 yılında 155 m yüksekliğindedir. Fransa'da bulunan bir diğer baraj Grandual Barajı 88 m yüksekliğinde olup 1959 yılında inşa edilmiştir. Japonya'da bulunan Kurobe Barajı 1956 yılında 186 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. Bu barajların hepsine etki eden

depremlerin büyüklüğü 4.9 ile 6.6 değerleri arasında olup deprem merkezleri barajlara 50 km'den yakın mesafe idi. Bu barajlardan hiçbirinde hasar meydana gelmemiştir (Dalkır, 2011).

### **2.5.2. Dolgu Barajların Deprem Etkisi Altında Davranışı**

Dolgu barajlar deprem kuvvetlerine karşı genel anlamıyla dayanıklıdır. Dolgu barajlar deprem anında elastik-plastik deformasyon yaparak esnek davranış sergilemektedir. Dolgu barajların deprem anında olası yıkılma risklerine bakıldığında; deprem etkisiyle oluşan kalıcı oturma hava payından daha büyük olursa barajın depoladığı su kreti aşarak yıkılır. Diğer bir durum ise depremde oluşan sismik hareketler sonucunda barajın gövdesinde ve temelinde bulunan kohezyonsuz, ince ve doymuş malzemelerin sıvılaşmasıdır. Bu sıvılaşma riski malzeme sıkıştırılmadıysa daha fazladır. Bir diğer durum ise kil çekirdekli dolgu barajlarda deprem etkisiyle oluşan yatay deplasman kum filtre tabakasının kalınlığından fazla ise çekirdek bazı katmanlarda filtre ve transisyon tabakaları görevini gerçekleştiremez. Kil çekirdek malzemesi sızıntı ile mansaba doğru hareket eder, borulanma nedeniyle baraj yıkılır. Dünyada deprem yüklerinin etkisiyle yıkılan dolgu barajlar çoğunlukla hydrolic fill yöntemi ile yapılmış eski tipte toprak barajlardır. Japonya'da 6.9 şiddetindeki 1995 yılında meydana gelen depremde fazlaca can ve mal kaybına neden olmuştur. Meydana gelen deprem 20'den fazla beton barajı ve 15'ten fazla dolgu barajda hasara neden olmuştur. Bu barajlardan sadece Niketo Toprak Barajı yıkılmıştır. Depremin merkez üstünde olan 3 toprak dolgu baraj büyük ölçüde zarar görmüş, fakat yıkılmamıştır (Dalkır, 2011).

Depreme dayanıklı baraj tasarımında öncelikli yapılması gereken proje alanının depremsellik açısından incelenmesidir. Mümkün mertebe aktif fay hattının geçtiği bölgelerde baraj yapılmamalıdır. Zeminin istenen yumuşaklık ve sertlik derecesi de barajın tipine göre farklılık göstermektedir. Örneğin dolgu tipi barajlarda çok sert olmayan zemin uygundur. İnce dane oranı yüksek kumlarda ya da ince daneli kum tabakasında, deprem esnasında sıvılaşma ihtimali fazladır. Bu zemin yapısına sahip olanların istenen zemin özelliğine getirilmesi zor olduğundan bu özelliklere sahip alanlar proje alanı olarak seçilmemelidir. Akarsu yatağına kaplama yapıldığı durumlarda baraj çekirdeği temel kayanın içinde kaldığında zemin ile

kaplama ya da çekirdek arasında rijitlik farkı oluşur. Bu rijitlik farkı da çatlamalara sebep olabilmektedir. Çatlama önlemek için bu bölgeler arasında geçiş bölgeleri yapılarak sertlik oranı kademeli olarak düşürülmelidir. Dolgu barajlarda çekirdek dolgunun orta kesimlerinde olması tavsiye edilmektedir. Bu yer seçiminin nedeni ise çekirdek bölgesi ortada olanlar ile çekirdek bölgesi eğimli olan barajlara göre oturmaları daha iyi ve çatlama, kabarma gibi sorunlarla karşılaşılmasıdır. Barajın üst kısmı oluşan sarsıntılarda alt kısmına oranla daha fazladır. Sarsıntılar fazla olduğundan bu bölgelerde kayma ve oturma olma olasılığı fazladır. Kayma ve oturmayı engellemek için dolgunun eğimi yeteri derecede sünek olmalıdır. Deprem sonrasında oluşabilecek sıvılaşma oranını küçültmek için filtrelerde uygun dolgu malzemesi seçilmeli ve sıkıştırılma işlemi dikkatli şekilde yapılmalıdır. Barajın gövdesinden farklı olarak inşa edilen barajın diğer kısımları ve gövde arasında rijitlik farkı olabilmektedir. Bu durumlarda zemine gömülü olarak inşa edilecek yapılar ve dolgu birbirine temas ettirilmemelidir (Çetin ve Unutmaz, 2004).

Dolgu barajların deprem etkisi altındaki davranışları statik şev stabilite analizi ile çözümlenir. Dolgu barajlarda gövde yedi farklı durum analizi yapılarak tasarlanır. Analizler kayma dairesi yöntemi ile yapılarak analiz sonucunda yedi farklı durum için istenen emniyet katsayı değerleri elde edilir ve deprem etkisi altındaki davranışları dört halin sonuçlarına göre belirlenmektedir. Bu dört hal içerisinde işletmeye esas deprem (IED) ve emniyete esas deprem (EED) senaryolarına göre analizler yapılmaktadır. Tablo 1’de yükleme durumları ve emniyet katsayı değerleri verilmiş olup olağan yükleme durumu barajın temel fonksiyonuyla alakalı yük ve yükleme hallerini içermektedir (DSİ, 2012). Bu yükleme altında barajın doğrusal elastik davranış sergilemesi beklenir. Olağan dışı yükleme durumu barajda oluşması az beklenen yük ve yükleme hallerini içermektedir. Bu yükleme halinde barajın bir miktar doğrusal olmayan davranış sergileyebileceği kabul edilir. İşletmeye esas deprem olağanüstü yük halidir. Ekstrem yükleme durumu barajda meydana gelmesi beklenmeyen yükleri içermektedir. Bu yükleme durumu baraj için acil durum halidir. Ekstrem yükleme durumu barajda meydana gelmesi beklenen olası deprem değerlerinden daha büyük depremlere maruz kalması ya da taşkınlar sonucunda oluşabilecek doğal afetleri içermektedir. Emniyete esas deprem ekstrem yük halidir.

**Tablo 1.** Analizlerde yükleme durumları ve emniyet katsayıları

<b>Hal</b>	<b>Emniyet Katsayısı</b>	<b>Yükleme Durumu</b>
İnşaat Sonu	1.3	Olağan Dışı
İnşaat Sonu Depremlı (İED)	>1.0	Ekstrem
İşletme	1.5	Olağan
İşletme Depremlı (İED)	1.2	Olağan dışı
İşletme Depremlı (EED)	>1.0	Ekstrem
Ani Boşalma	1.2	Olağan dışı
Ani Boşalma Depremlı (İED)	>1.0	Ekstrem



### 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Rocscience Slide v.6 ve AutoCAD 2018 programları kullanılarak farklı tipteki dolgu barajların gövde yapısına etki eden deprem kuvvetleri karşısında davranışları kayma dairesi yöntemi ile incelenmiştir.

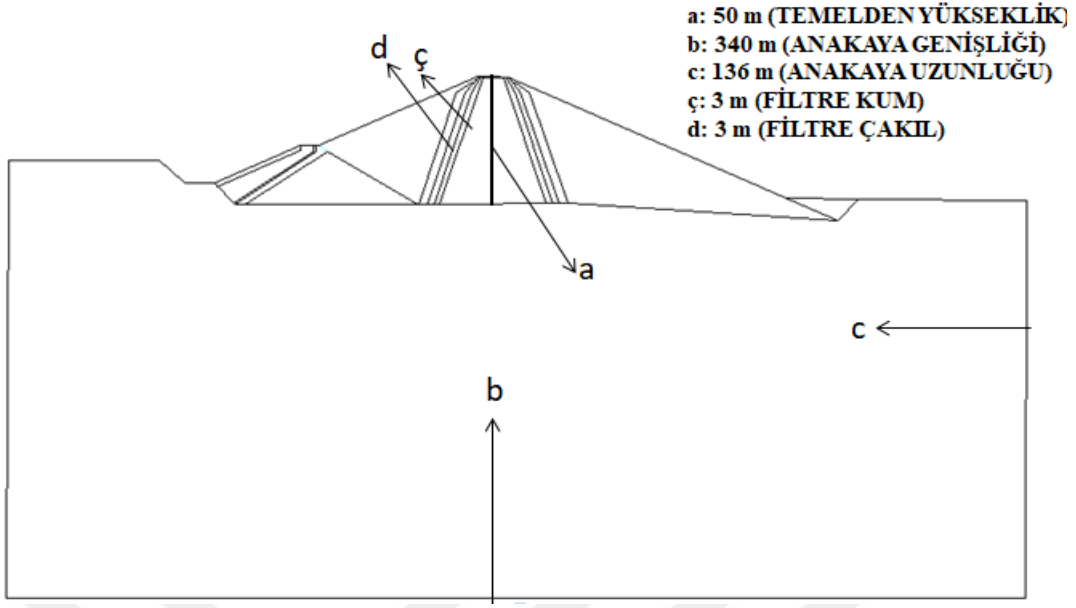
#### 3.1. Rocscience Slide Programı

Rocscience Slide programı 2 boyutlu bir limit denge şev analiz programıdır. Sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan programda analiz sonucunda kaya veya toprak eğimlerde meydana gelebilecek olası kayma daireleri ve bu kayma dairelerinde oluşan en küçük emniyet katsayı değeri elde edilmektedir (URL-5, 2023).

#### 3.2. Geometrilerin Tanımı ve Oluşturulması

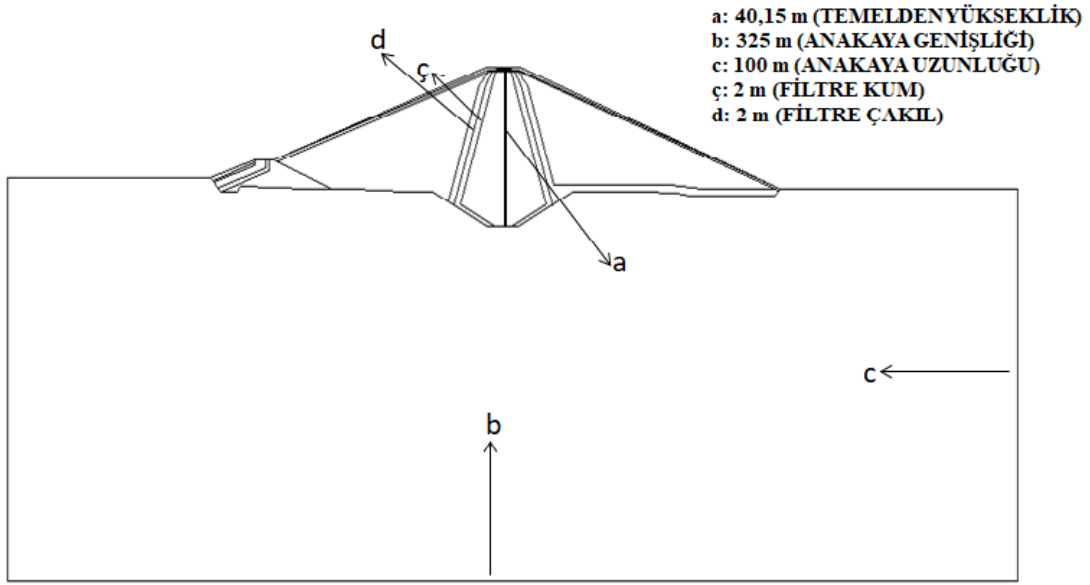
Çalışmada incelenen sistem kil çekirdekli kaya dolgu ve kil çekirdekli kumçakıl dolgu barajlarının gövde yapılarıdır. Gövdenin geometrik tasarımı AutoCAD programında çizilerek Slide programına aktarılmıştır. AutoCAD’de çizilen yapı ‘.dxf’ formatında dışa aktarılıp Slide programına yüklenmiştir.

Gövdenin tasarımı AutoCAD programında yapılmıştır. Slide programının gövdeyi algılayabilmesi için çizim polyline ile yapılmalıdır. Kil çekirdekli kaya dolgu barajın gövde yapısı çalışmada Gövde 1 olarak adlandırılmıştır. Gövde 1’in temelden yüksekliği 50 m olup şev eğimi yatayda 2.25- düşeyde 2.25’dir. Gövde 1’in kret kotu 500 m, talveg kotu 460 m, kret uzunluğu 177.90 m olan gövde, sol sahilde karşıdan alışı kontrolsüz dolusavak, sol sahilde derivasyon ve dipsavak yapılarından oluşmaktadır. Anakayanın genişliği 340 m, uzunluğu 136 m’dir. Filtre çakılın genişliği 3 m, filtre kumun genişliği 3 m’dir. Maksimum su seviyesi 498.15 m, normal su seviyesi 495.13 m, minimum su seviyesi ise 487.57 m’dir (Şekil 21).



**Şekil 21.** AutoCAD programında çizilen kil çekirdekli kaya dolgu baraj gövdesi

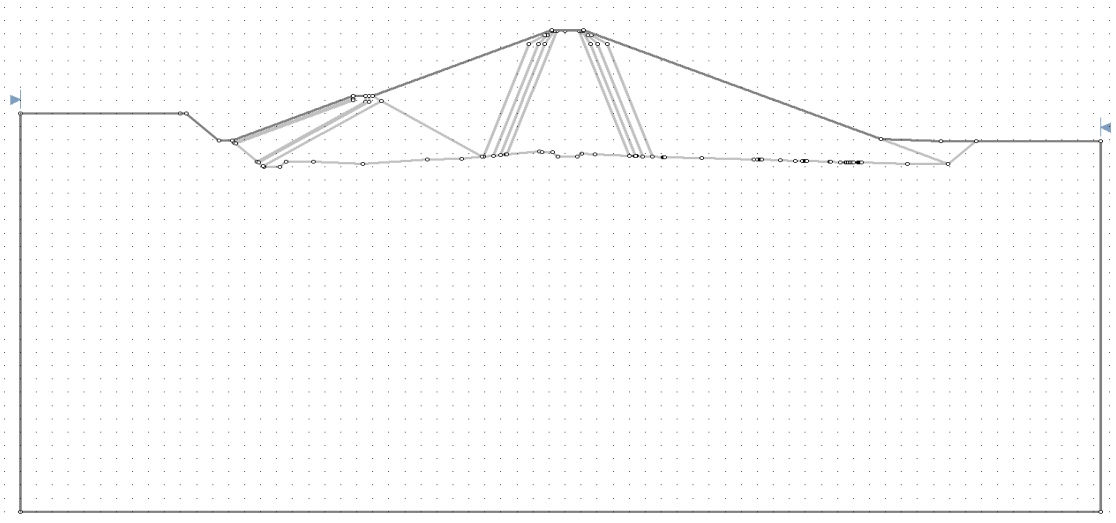
Gövdenin tasarımı AutoCAD programında yapılmıştır. Slide programının gövdeyi algılayabilmesi için çizim polyline ile yapılmalıdır. Kil çekirdekli kum-çakıl dolgu barajın gövde yapısı çalışmada Gövde 2 olarak adlandırılmıştır. Gövde 2'nin temelden yüksekliği 40.15 m olup şev eğimi yatayda 3, düşeyde 2.75'dir. Gövde 2'nin kret kotu 1096.5 m, talveg kotu 1065 m, kret uzunluğu 219.76 m olan gövde, sol sahilde karşıdan alışlı kontrolsüz dolusavak ve sağ sahilde derivasyon ve dipsavak yapılarından oluşmaktadır. Anakayanın genişliği 325 m, uzunluğu 100 m'dir. Filtre çakılın genişliği 2 m, filtre kumun genişliği 2 m'dir. Maksimum su seviyesi 1094.97 m, normal su seviyesi 1092.22 m, minimum su seviyesi ise 1079.08 m'dir (Şekil 22).



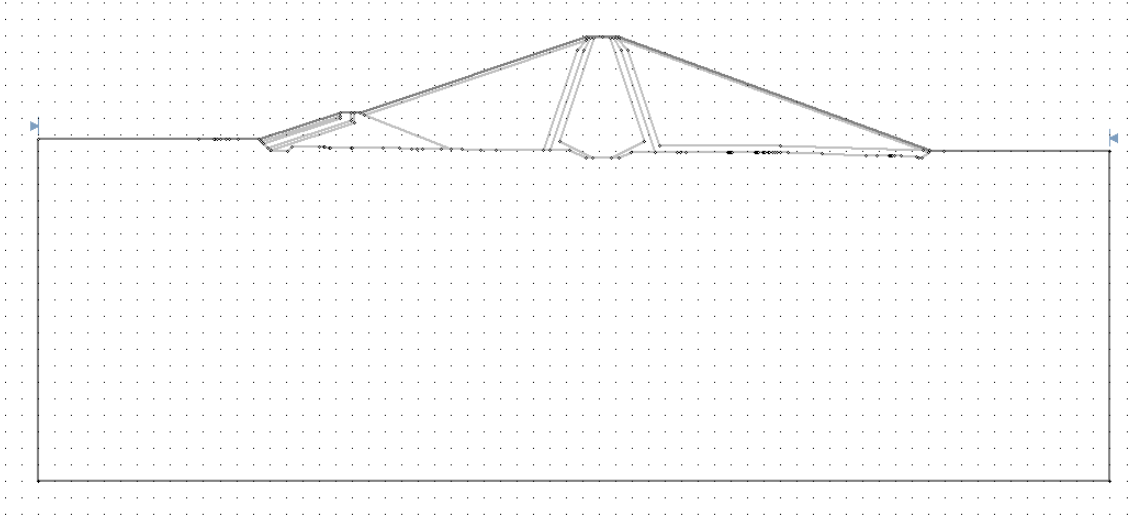
Şekil 22. AutoCAD programında çizilen kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj gövdesi

### 3.3. Gövde Yapılarının Slide Programına Aktarılması

AutoCAD programında polyline (çoklu çizgi) komutu ile çizilen gövde yapıları '.dxf' formatında Slide programına aktarımı yapılmaktadır. Slide programında File sekmesinden önce Import (içe aktarma) seçeneğini seçilip sonrasında açılan sekmede Import DXF seçilerek açılan dosyalar arasından '.dxf' formatlı çizimi seçtikten sonra çizim programda açılmaktadır (Şekil 23-24).



Şekil 23. Slide programına aktarılan Gövde 1

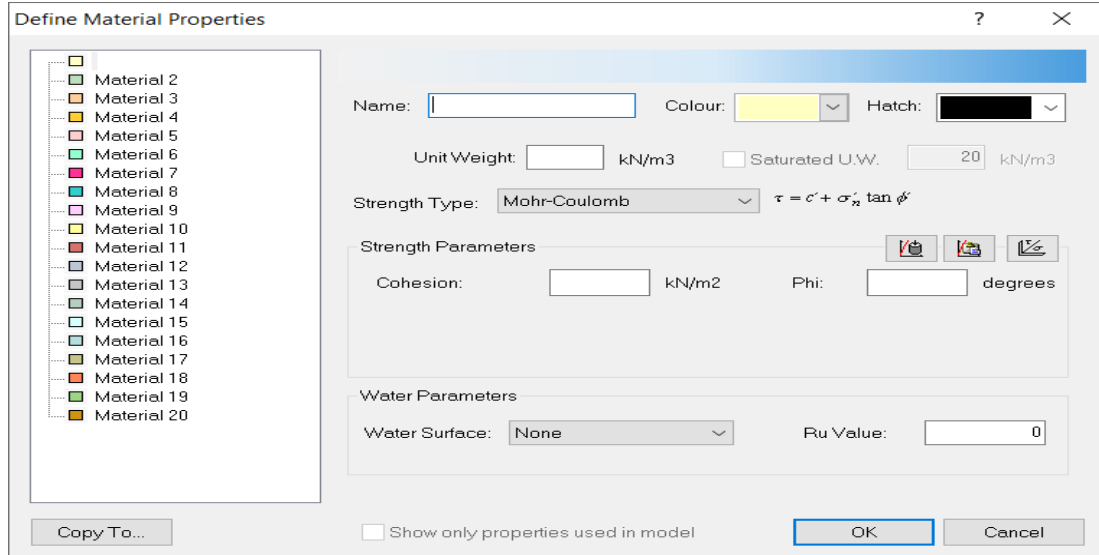


Şekil 24. Slide programına aktarılan Gövde 2

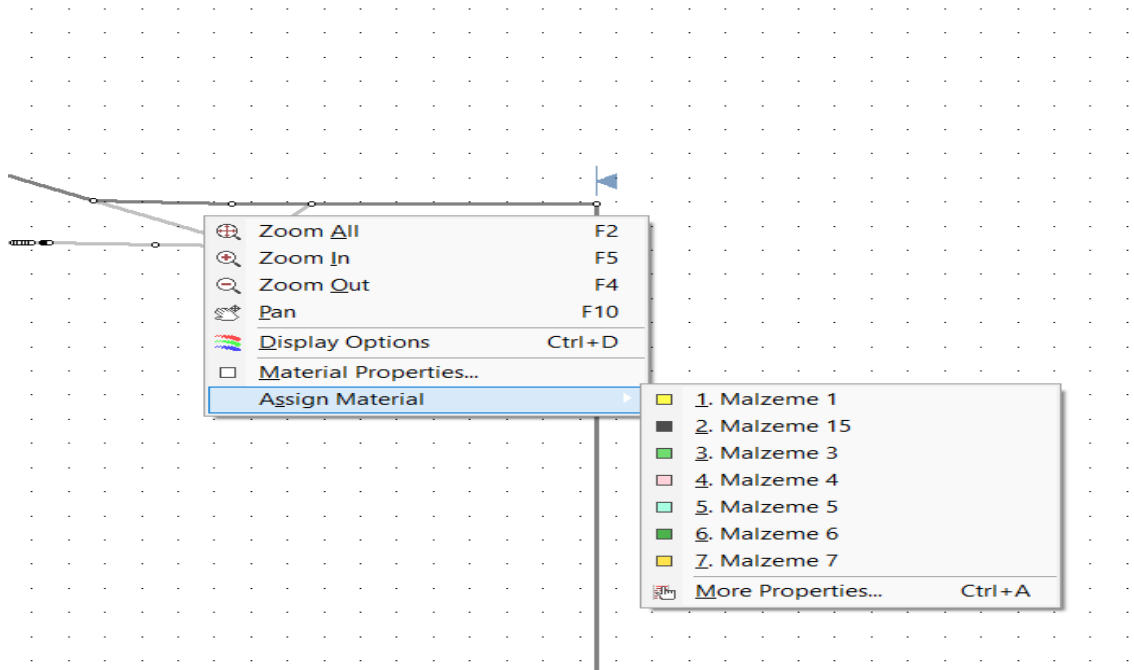
### 3.4. Malzeme Tanımlanması

Gövde yapıları aktarıldıktan sonra malzemelerin tanımlanması gerekmektedir. Malzeme özellikleri hazırlanan jeoteknik rapordan alınmaktadır. Malzeme tanımlaması Properties (özellikler) sekmesini seçtikten sonra Define Materials (malzemeleri tanımlama) seçeneğini tıklayarak çıkan tabloya malzeme özellikleri girilerek yapılır (Şekil 25). Name (isim) yazan seçeneğe malzemelerin isimleri ya da isteğe göre malzeme ve sayı olarak yazılabilmektedir. Colour (renk) seçeneğinde tanımlanacak malzemenin model üzerindeki rengi seçilmektedir. Unit Weight (birim ağırlık) seçeneğine malzemenin birim ağırlığı yazılmaktadır. Saturated U.W. (doygun birim hacim ağırlık) seçeneği işletme halinde seçilerek malzemelerin doygun birim hacim ağırlıkları girilir. Strength Type (dayanım tipi) seçeneği Mukavemet türünü göstermekte olup malzeme özelliklerine göre seçilmektedir. Gövde 1’de malzemelerinin hepsi Mohr-Coulomb mukavemet türüne göre yazılmıştır. Gövde 2’de malzeme 7’de kullanılan mukavemet türü Shear Normal Function dışında diğerleri hepsi Mohr-Coulomb mukavemet türüne göre yazılmıştır. Bu mukavemet türü malzemenin özelliğine göre seçilmekte olup kayma ve normal dayanımları girilerek programa tanıtılmaktadır. Cohesion (kohezyon) seçeneğine malzemelerin kohezyon değerleri girilir. Phi seçeneğine ise içsel sürtünme açısı girilmektedir. Water Surface (Su yüzeyi) kısmı ise gövdenin işletme halinde suyun tanımlaması yapıldıktan sonra aktif hale gelmektedir. Malzeme özellikleri girildikten

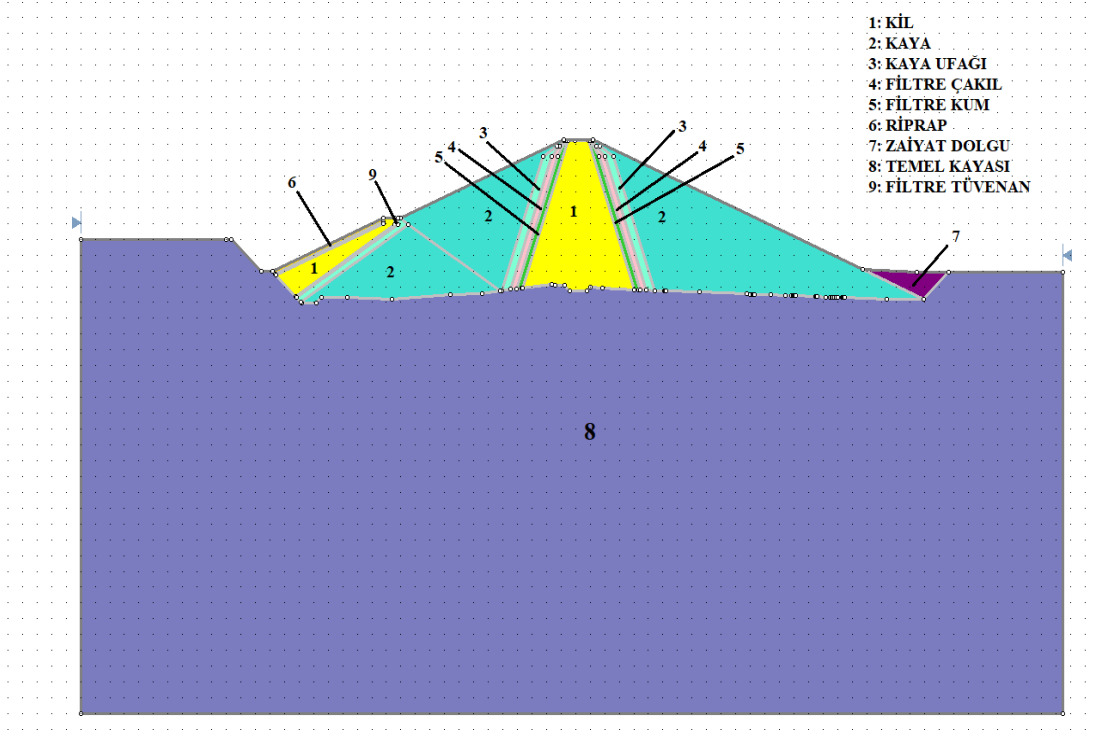
sonra malzemenin ait olduğu bölgede sağ tık yapıldıktan sonra Assign Material (materyal atama) seçeneğinden malzeme özellikleri tanımlanmaktadır (Şekil 26). Gövde 1'e ait malzeme özellikleri Tablo 2'de, Gövde 2'ye ait malzeme özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Programa tanımlanmış malzemelerin çizim üzerinde görünüşleri Şekil 27 ve Şekil 28'de gösterilmiştir.



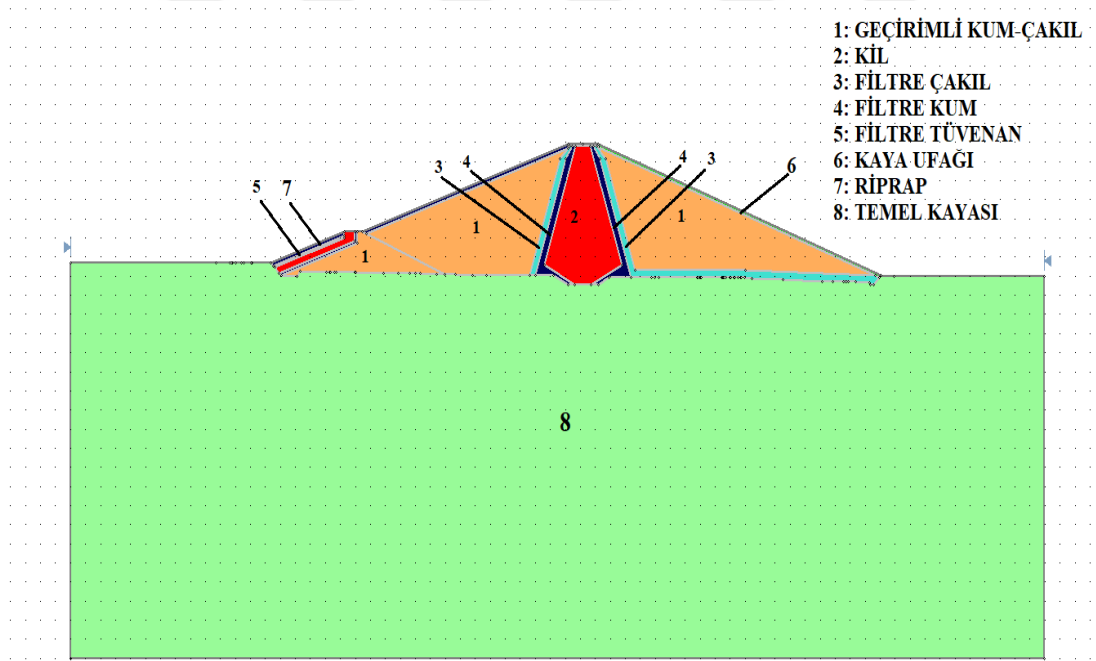
Şekil 25. Malzeme tanımlamasının yapıldığı sekme



Şekil 26. Malzeme tanımlanması



Şekil 27. Tanımlanmış malzemelerin çizim üzerinde görünümleri (Gövde 1)



Şekil 28. Tanımlanmış malzemelerin çizim üzerinde görünümleri (Gövde 2)

**Tablo 2.** Gövde 1'e ait malzeme özellikleri

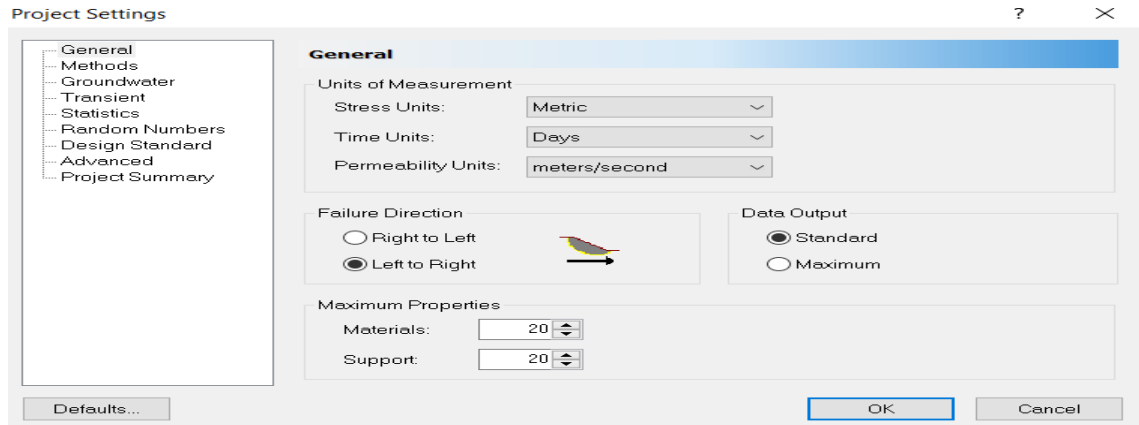
Malzeme İsmi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Dayanım Tipi (kN/m <sup>2</sup> )	Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı(Ø)
Kil	16.2	Mohr-Coulomb	15	20
Filtre Kum	18.5	Mohr-Coulomb	0	35
Filtre Çakıl	18.5	Mohr-Coulomb	0	35
Kaya Ufağı	25.2	Mohr-Coulomb	0	39
Filtre Tüvenan	18.6	Mohr-Coulomb	0	35
Riprap	25.2	Mohr-Coulomb	0	39
Zaiyat Dolgu	16	Mohr-Coulomb	1	25
Temel Kayası	26	Mohr-Coulomb	1344	32.7
Kaya	25.23	Mohr-Coulomb	0	39

**Tablo 3.** Gövde 2'ye ait malzeme özellikleri

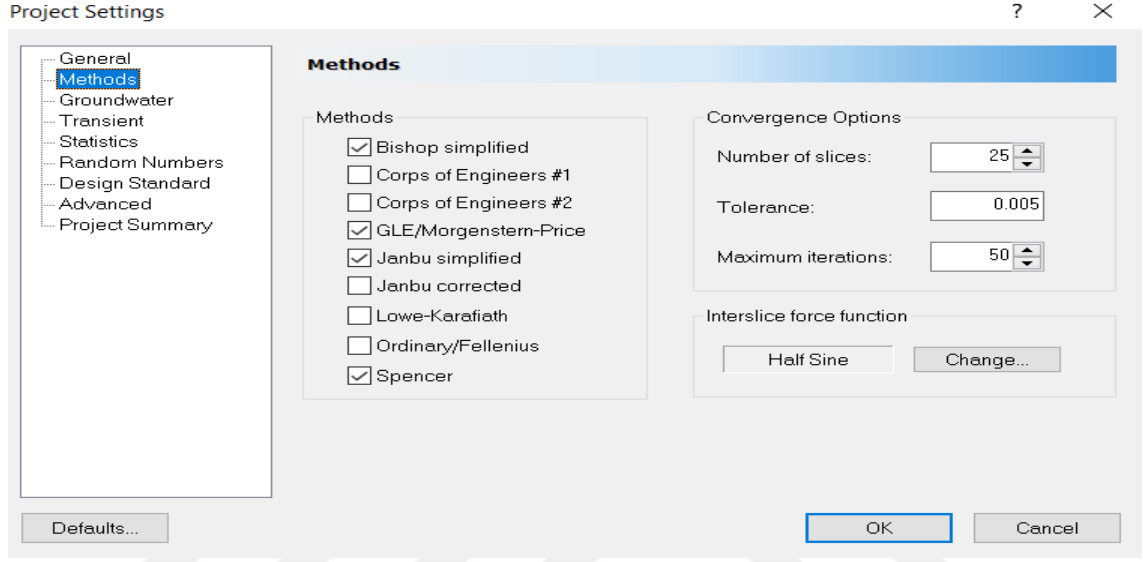
Malzeme İsmi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Dayanım Tipi (kN/m <sup>2</sup> )	Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı(Ø)
Kil	17.5	Mohr-Coulomb	15	20
Geçirimli Kum-Çakıl	17	Mohr-Coulomb	0	35
Filtre Kum	17	Mohr-Coulomb	0	35
Filtre Çakıl	17	Mohr-Coulomb	0	35
Kaya Ufağı	22.78	Mohr-Coulomb	0	40.2
Filtre Tüvenan	17	Mohr-Coulomb	0	35
Riprap	22.74	Shear-Normal Function	0	40
Temel Kayası	26	Mohr-Coulomb	1000	35

### 3.5. Proje Özelliklerinin Tanımlanması

Analizin yapılabilmesi için proje özelliklerinin programa tanıtılması gerekmektedir. Programın Analysis sekmesinden Project Settings (proje ayarları) seçildikten sonra açılan sekmeye özellikler girilmektedir. General (genel) sekmesinden genel özellikleri belirlenmektedir. Units of Measurement (ölçü birimleri) bölümünden ölçü birimleri seçilmektedir. Failure Direction (kusur yönü) bölümünden deprem kuvvetinin etki ettiği yön seçilmekte olup analizi yapılan hale göre depremin yönü seçilmektedir (Şekil 29).

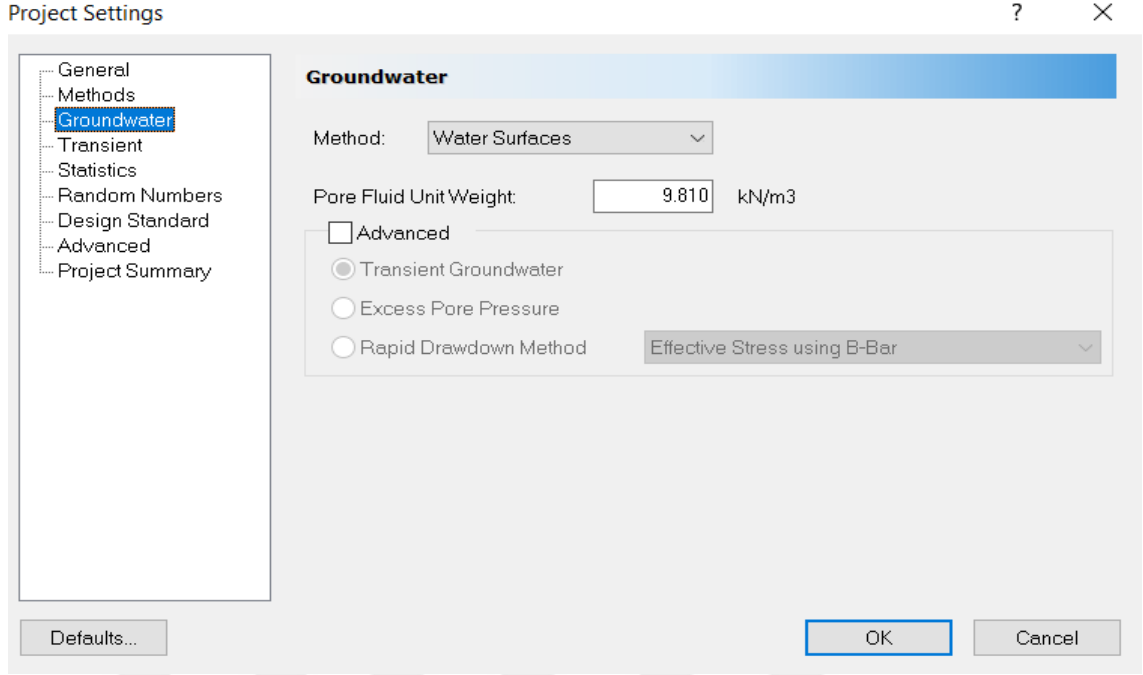
**Şekil 29.** Deprem yönünün girilmesi

Methods (yöntemler) bölümünden analiz içinde kullanılacak yöntemler bulunmaktadır. Analiz için en uygun metod seçimi yapıldıktan sonra Convergence Options (yakınsama seçenekleri) bölümünden tolerans, dilim sayısı ve maksimum tekrür değerleri girilir. Analiz için Janbu, Morgenstern ve Price, Bishop, Spencer metodları seçilmiştir (Şekil 30).

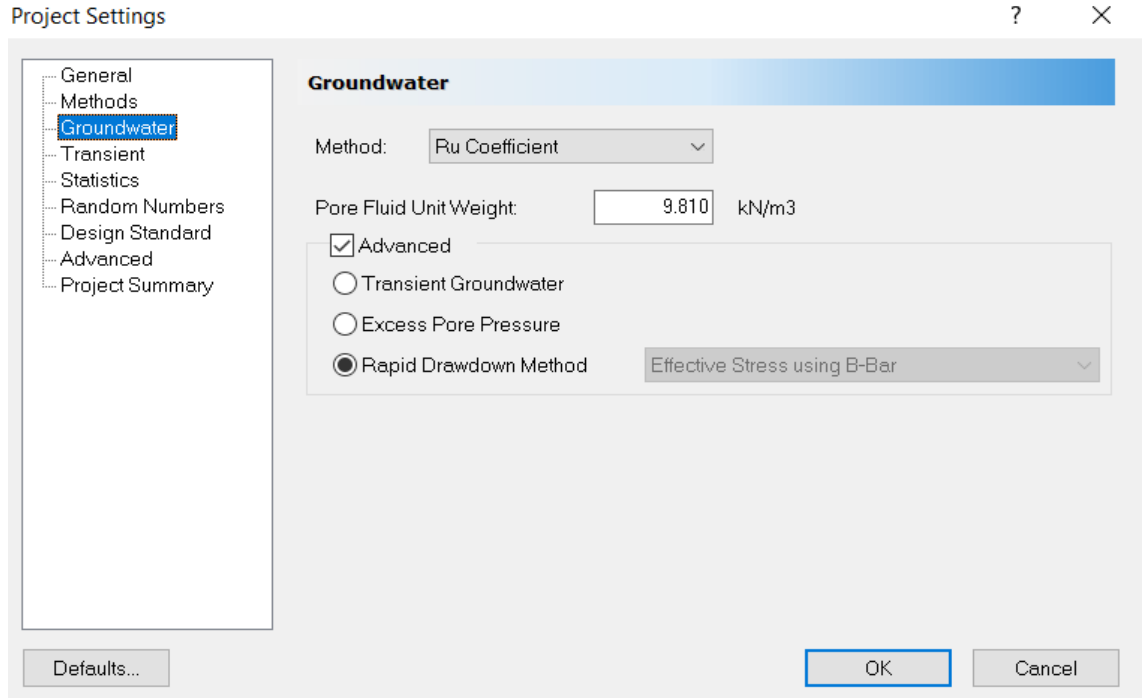


Şekil 30. Metodlar

Groundwater (yeraltı suyu) bölümünden yeraltı suyunun birim hacim ağırlığı girilmektedir. İnşaat sonu ve işletme hallerinde method seçeneğinden Water Surfaces (su yüzeyi) seçilerek suyun birim hacim ağırlığı girilir (Şekil 31). Ani boşalma halinde ise uygun metod seçilerek suyun birim hacim ağırlığı girilir. Metodunun seçilmesiyle Pore Fluid Unit Weight (gözenek akışkanı birim ağırlığı) bölümü aktif hale gelmekte olup buradan da Rapid Drawdown (ani boşalma) methodu seçilmektedir (Şekil 32).

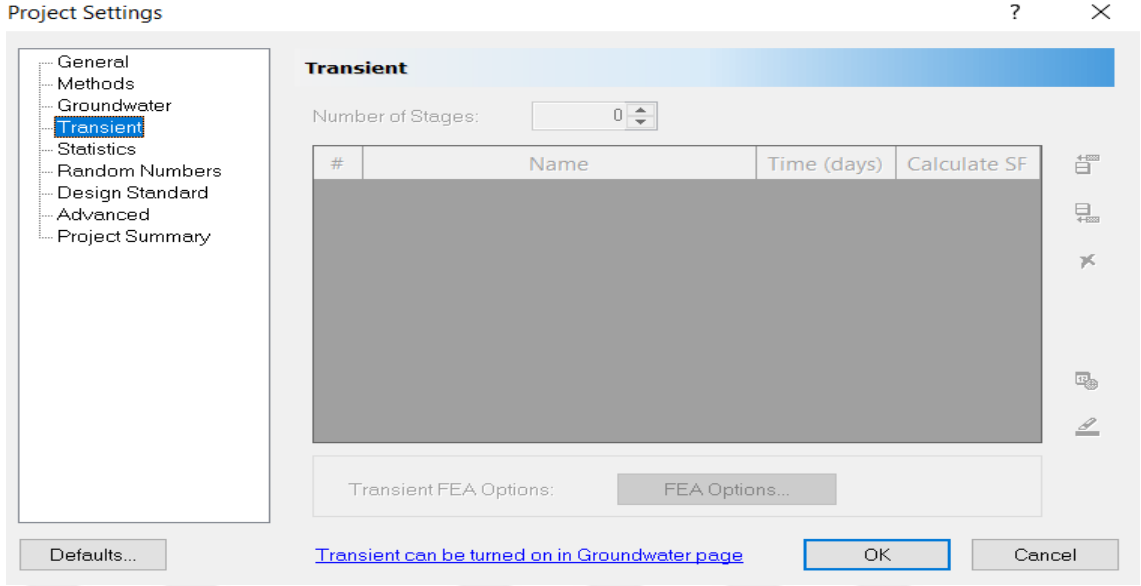


Şekil 31. Yeraltı suyunun birim hacim ağırlığının girilmesi



Şekil 32. Ani boşalma halinde yeraltı suyunun birim hacim ağırlığının girilmesi

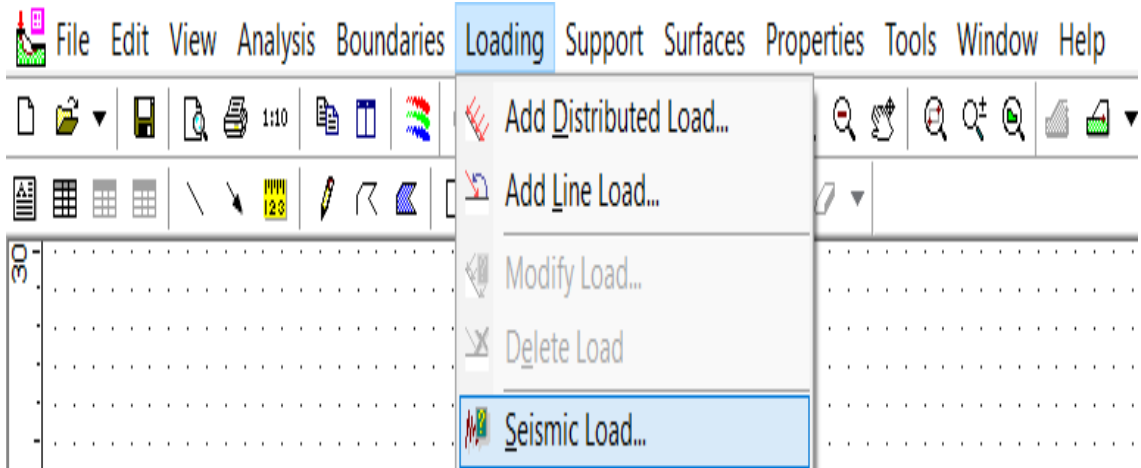
Project Settings bölümünde Transient, Statistic, Random Numbers, Design Standard, Advanced ve Project Summary sekmeleri genellikle programda tanımlı olan değerlere göre analiz yapılmakta olup projenin özelliklerine göre bu sekmelerden değişiklik yapılabilmektedir (Şekil 33).



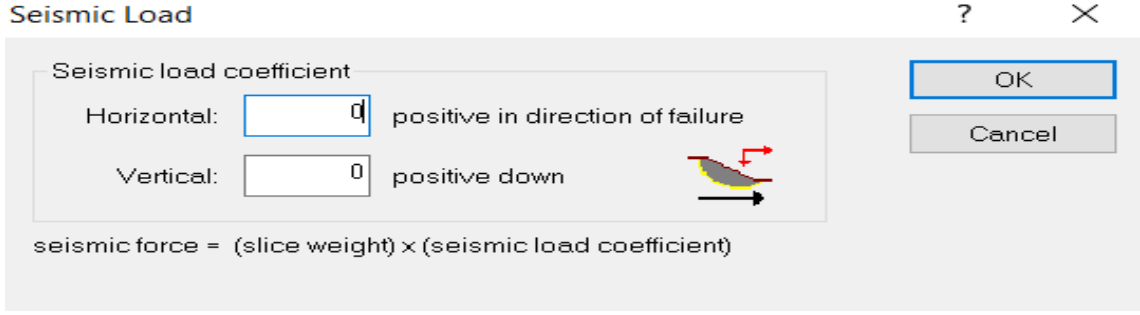
Şekil 33. Analize ait diğer bölümler

### 3.6. Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Deprem kuvvetleri Loading (yükleme) bölümünden Seismic Load (sismik yük) seçeneğinden programa tanımlanır (Şekil 34). Açılan sekmeden sismik yük katsayı değeri programa yatay veya düşey şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 34-35). Çalışmada deprem ivme değerleri programa horizontal (yatay) olarak tanımlanmıştır.



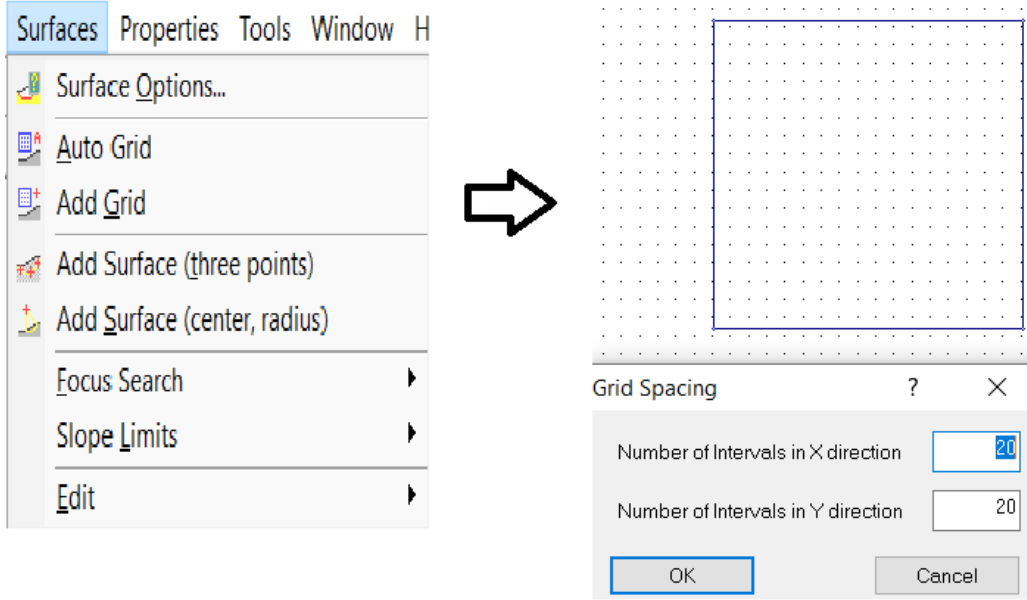
Şekil 34. Deprem yüklerinin tanımlanması



Şekil 35. Sismik yük katsayı değerinin tanımlanması

### 3.7. Kayma Dairesinin Karelaj Üzerinde Görülmesi

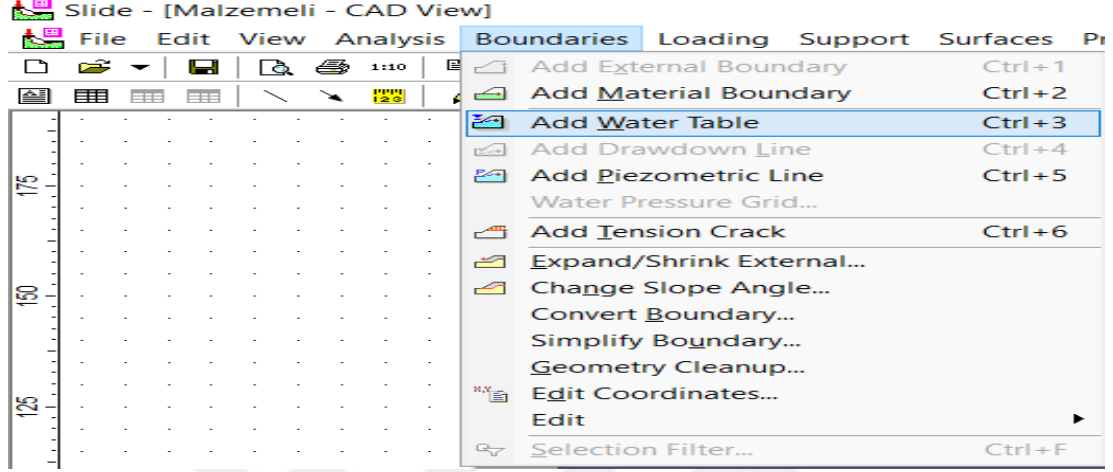
Programda analiz yapıldıktan sonrasında yapıda muhtemel kaymanın olacağı alan ve bu kayma dairesinde oluşan en küçük emniyet katsayısının yapı üzerinde yerini tespit etmek amacıyla bir dörtgen oluşturulur. Surfaces (yüzeyler) bölümünden Auto Grid seçeneğinden dörtgenin x ve y koordinatları girilerek dörtgen elde edilir (Şekil 36). Kayma yüzeyleri, genellikle düzlemsel, dairesel ya da her ikisinin birleşimi şeklinde olabilir.



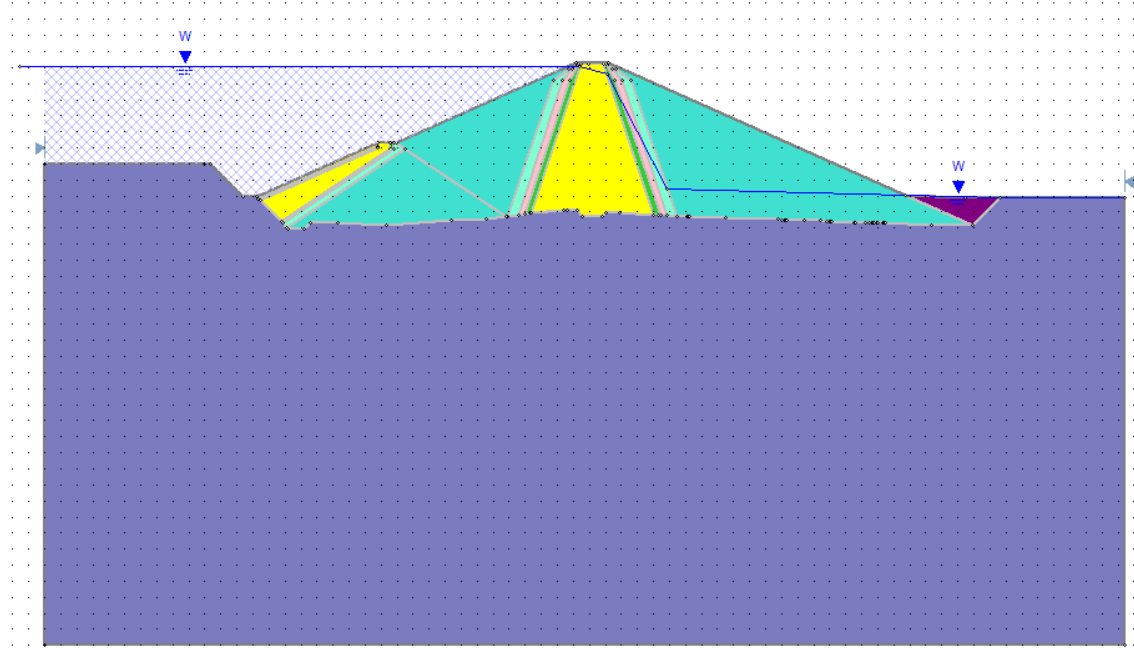
Şekil 36. Karelajın çizilmesi

### 3.8. Su Seviyesinin Tanımlanması

Programda işletme halinde analiz yapılması için normal su seviyesinin ve sızma hattının programa tanımlanması gerekmektedir. Boundaries (sınırlar) bölümünden Add Water Table (su seviyesi ekle) seçeneğini seçildikten sonra su seviyesi ve sızma hattı çizilir (Şekil 37-38).



Şekil 37. Su seviyesinin programa tanımlanması



Şekil 38. Su seviyesi ve sızma hattının gövde üzerinde görünümü

## 4. BULGULAR

Slide v.6'da yapılan analizlerde gövde yapısında meydana gelmesi beklenen olası kayma dairesi ve bu kayma dairesinde oluşan en küçük emniyet katsayı değeri elde edilmiştir. Oluşan kayma daireleri ve emniyet katsayı değeri Interpret sekmesinden görüntülenir.

Bu çalışmanın ilk kısmında gövde yapıların deprem etkisi altında kalmadığı dört farklı durum için analiz yapılmıştır. İkinci kısmında ise deprem kuvvetlerinin etkili olduğu durumlar için analizler yapılmıştır. Analizlerde etki ettirilen deprem ivmeleri 1.derece deprem bölgeleri için seçilmiş olan ortalama değerlerdir. Bu ortalama değerler 0.15-0.25-0.35 g deprem ivmeleri olarak belirlenmiştir. Son olarak da emniyete esas deprem ivmesi 0.4 g seçilerek analiz yapılmıştır. Analizlerde incelenen durumlardan olan inşaat sonu hali barajın inşasının tamamlandığını ve henüz yapıya suyun etki ettirilmediği hali ifade etmektedir. İşletme hali ise baraja su kuvvetlerinin etki ettirilmiş halidir. Ani boşalma durumu ise suyun hızlı bir şekilde tahliye halidir. İED kısaltması ise işletmeye esas depremi, EED ise emniyete esas depremi ifade etmektedir. İşletme ve ani boşalma hallerinde işletmeye esas deprem yükleri etki ettirilerek çözümlene yapılmakta olup bu çalışmada 0.15-0.25-0.35 g olarak seçilmiş olan deprem ivme değerleri İED hali için kullanılmıştır. Emniyete esas deprem değeri işletmeye esas deprem değerlerinden daha büyük olduğundan 0.4 g deprem ivmesi seçilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen emniyet katsayıları dolgu baraj tasarımında kullanılan emniyet katsayı limit değerlerine göre değerlendirilmiştir. Bu limit değerler 2.5.2. bölümünde Tablo 1'de gösterilmiştir.

### 4.1. Deprem Etkisi Olmadan Elde Edilen Sonuçlar

Gövde yapıları deprem kuvvetleri etki ettirilmeden inşaat sonu, işletme ve ani boşalma hallerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır.

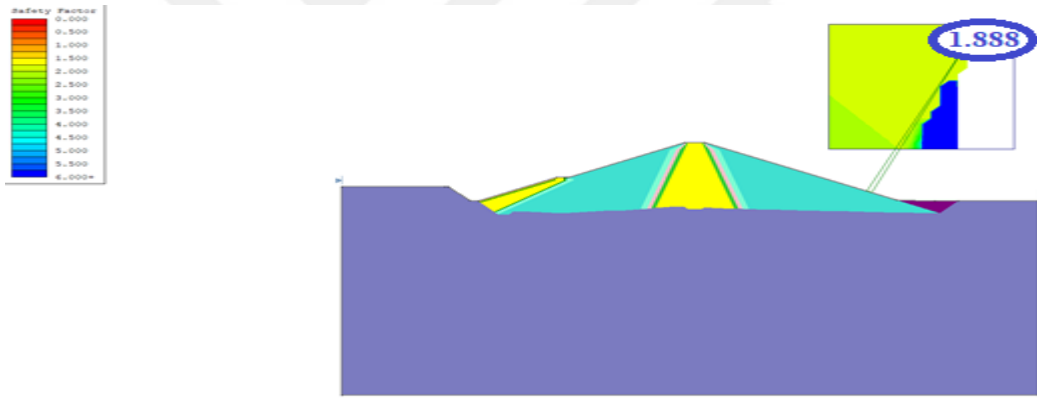
#### 4.1.1. Gövde 1 için Elde Edilen Sonuçlar

Gövde 1'de dört farklı durum için sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmıştır. Tablo 4'de verilen analiz sonuçlarına göre inşaat sonu halinde istenen emniyet katsayı değeri 1.3 olup inşaat sonu hali mansap ve memba yönlerinde

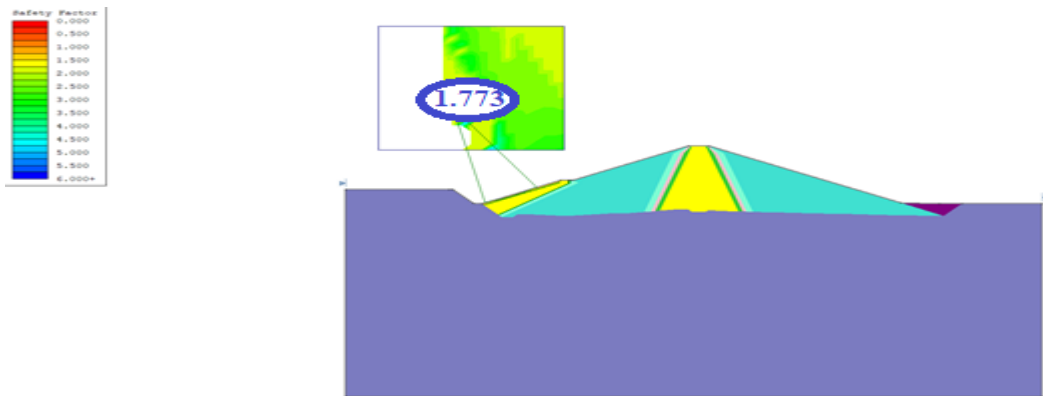
sırasıyla 1.89 ve 1.77 değerleri elde edilmiş olup istenen emniyet katsayı değerinin üzerinde kalmıştır. İşletme halinde istenen emniyet katsayı değeri 1.5 olup analiz sonucunda elde edilen 1.82 değeri ile istenen emniyet katsayı değeri sağlanmıştır. Ani boşalma halinde istenen değer 1.2 olup analiz sonucunda 1.68 değeri ile istenen emniyet katsayı değeri sağlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen emniyet katsayı değerleri ve oluşan kayma dairelerine ait bölgeler Şekil 39-42’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Gövde 1’in farklı hallerdeki emniyet katsayıları

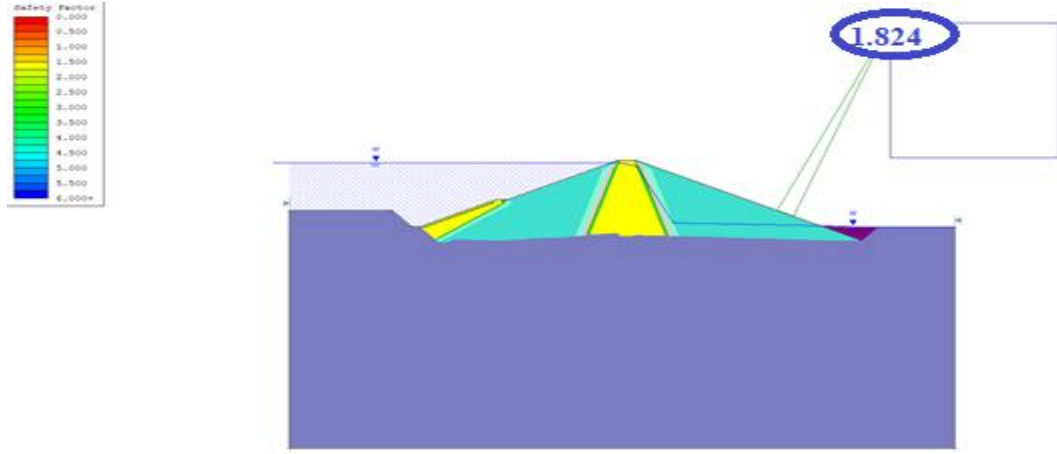
Hal (Gövde 1)	Emniyet Katsayısı	Sonuç
İnşaat Sonu Halinde Emniyet Katsayısı (mansap)	1.89	√
İnşaat Sonu Halinde Emniyet Katsayısı (membra)	1.77	√
İşletme Halinde Emniyet Katsayısı	1.82	√
Ani Boşalma Halinde Emniyet Katsayısı	1.68	√



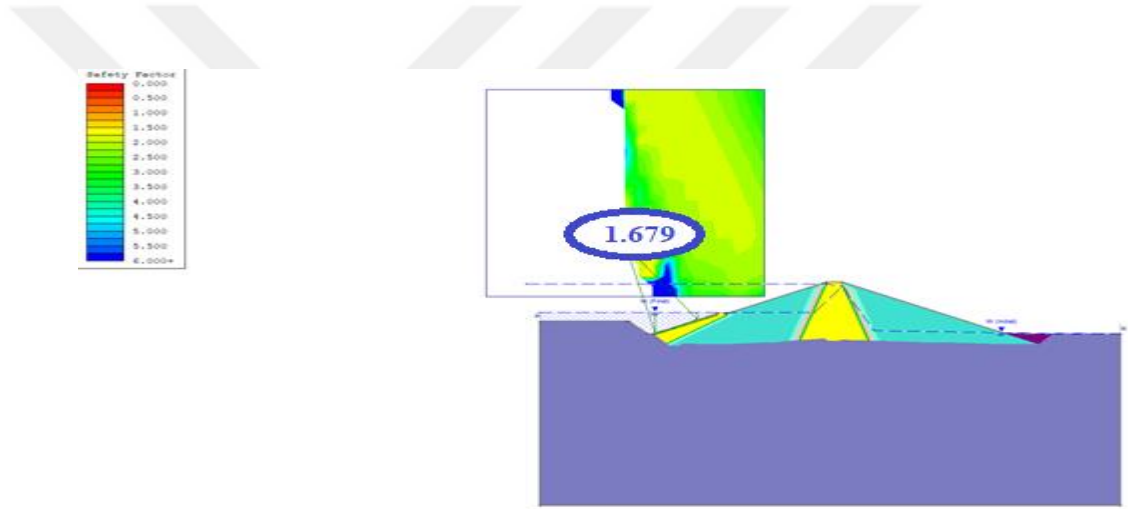
**Şekil 39.** Gövde 1’in inşaat sonu hali mansap yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 40.** Gövde 1’in inşaat sonu hali memba yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 41.** Gövde 1'in işletme halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 42.** Gövde 1'in ani boşalma halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri

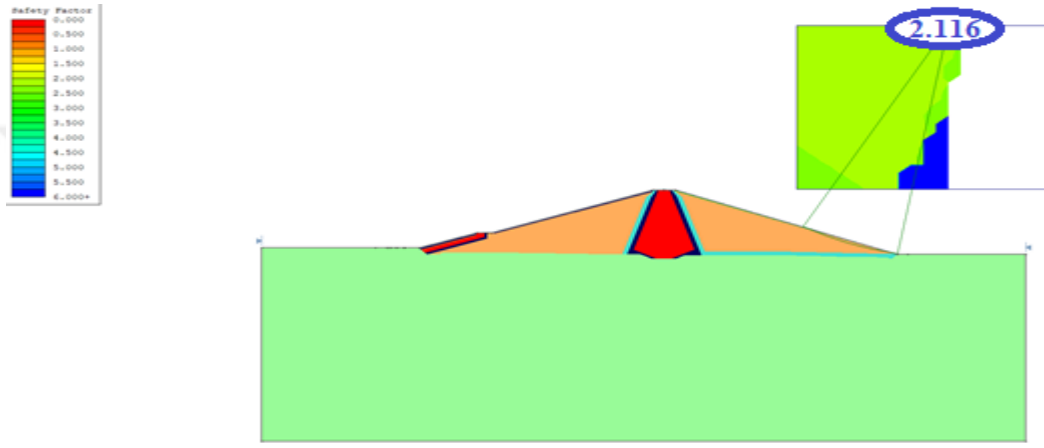
#### 4.1.2. Gövde 2 için Elde Edilen Sonuçlar

Gövde 2'nin dört farklı durum için sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmıştır. Tablo 5'de verilen analiz sonuçlarına göre inşaat sonu halinde istenen emniyet katsayı değeri 1.3 olup inşaat sonu hali mansap ve memba yönlerinde elde edilen sonuçlar sırasıyla 2.12 ve 2.39 değerleri ile istenen emniyet katsayı değerleri sağlanmıştır. İşletme halinde istenen emniyet katsayı değeri 1.5 olup analiz sonucunda elde edilen 1.95 değeri ile istenen emniyet katsayı değeri sağlanmıştır. Ani boşalma halinde istenen değer 1.2 olup analiz sonucunda 2.09 değeri ile istenen

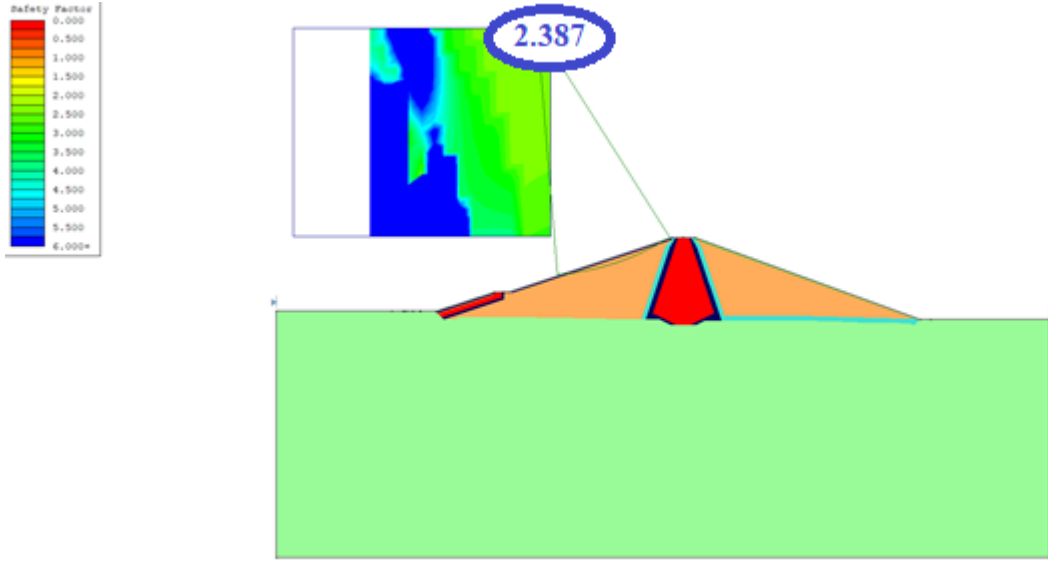
emniyet katsayı değeri sağlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen emniyet katsayı değerleri ile oluşan kayma dairesine ait bölgeler Şekil 43-46'da verilmiştir.

**Tablo 5.** Gövde 2'nin farklı hallerdeki emniyet katsayıları

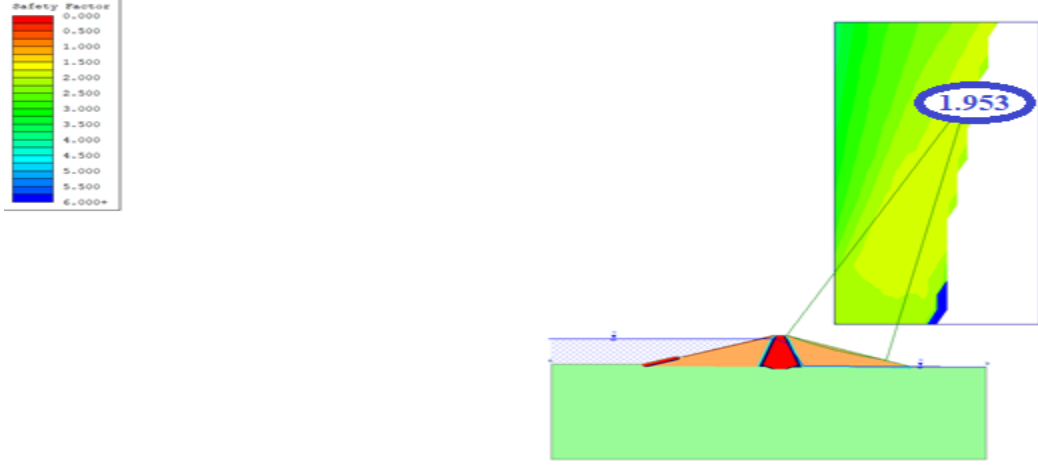
Hal (Gövde 2)	Emniyet Katsayısı	Sonuç
İnşaat Sonu Halinde Emniyet Katsayısı (mansap)	2.12	√
İnşaat Sonu Halinde Emniyet Katsayısı (membra)	2.39	√
İşletme Halinde Emniyet Katsayısı	1.95	√
Ani Boşalma Halinde Emniyet Katsayısı	2.09	√



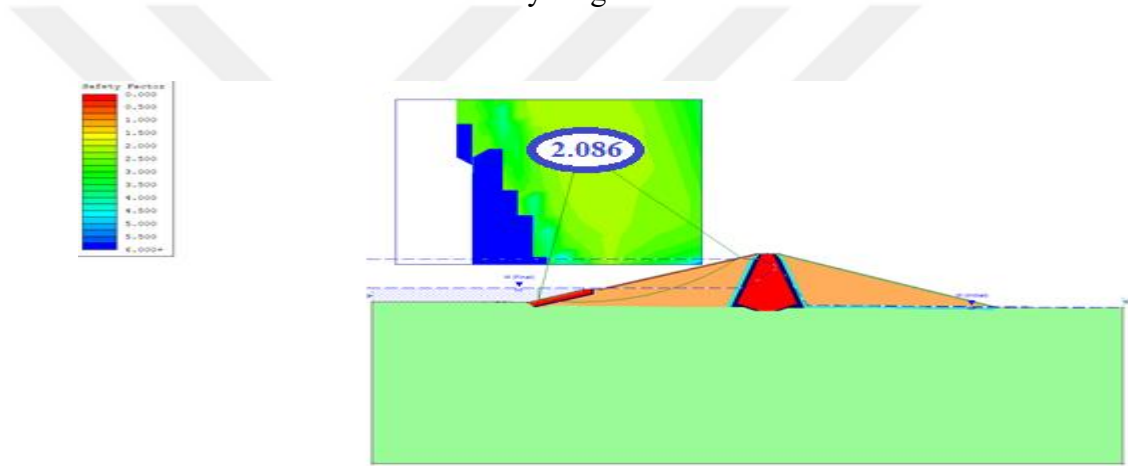
**Şekil 43.** Gövde 2'nin inşaat sonu hali mansap yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 44.** Gövde 2'nin inşaat sonu hali memba yönünde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 45.** Gövde 2'nin işletme halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri



**Şekil 46.** Gövde 2'nin ani boşalma halinde oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri

## 4.2. Deprem Etkisi Altında Elde Edilen Sonuçlar

Gövde yapıları emniyete esas deprem ivme değeri için tek, diğer durumlar için 3 farklı deprem ivme değeri etki ettirilerek sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmıştır.

### 4.2.1. Gövde 1 için Elde Edilen Sonuçlar

Gövde 1 için elde edilen analiz sonuçları Tablo 6-7'de verilmiştir. Tablo 6'da verilen analiz sonuçlarına göre inşaat sonu halinde mansap yönünde 0.15 ve 0.25 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.32 ve 1.07 değerleri elde edilmiş olup inşaat sonu depremli (İED) hali için istenen değer olan 1'den büyük emniyet katsayısı değerini

sağlamıştır. 0.35 g deprem ivmesinde 0.89 değeri elde edilmiş olup istenen değer sağlanamamıştır. İnşaat sonu halinde memba yönünde 0.15 ve 0.25 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.24 ve 1.01 değerleri elde edilmiş olup inşaat sonu depremlili (İED) hali için istenen değeri sağlamıştır. 0.35 g deprem ivmesinde ise 0.84 değeri elde edilmiş olup istenen değer sağlanamamıştır.

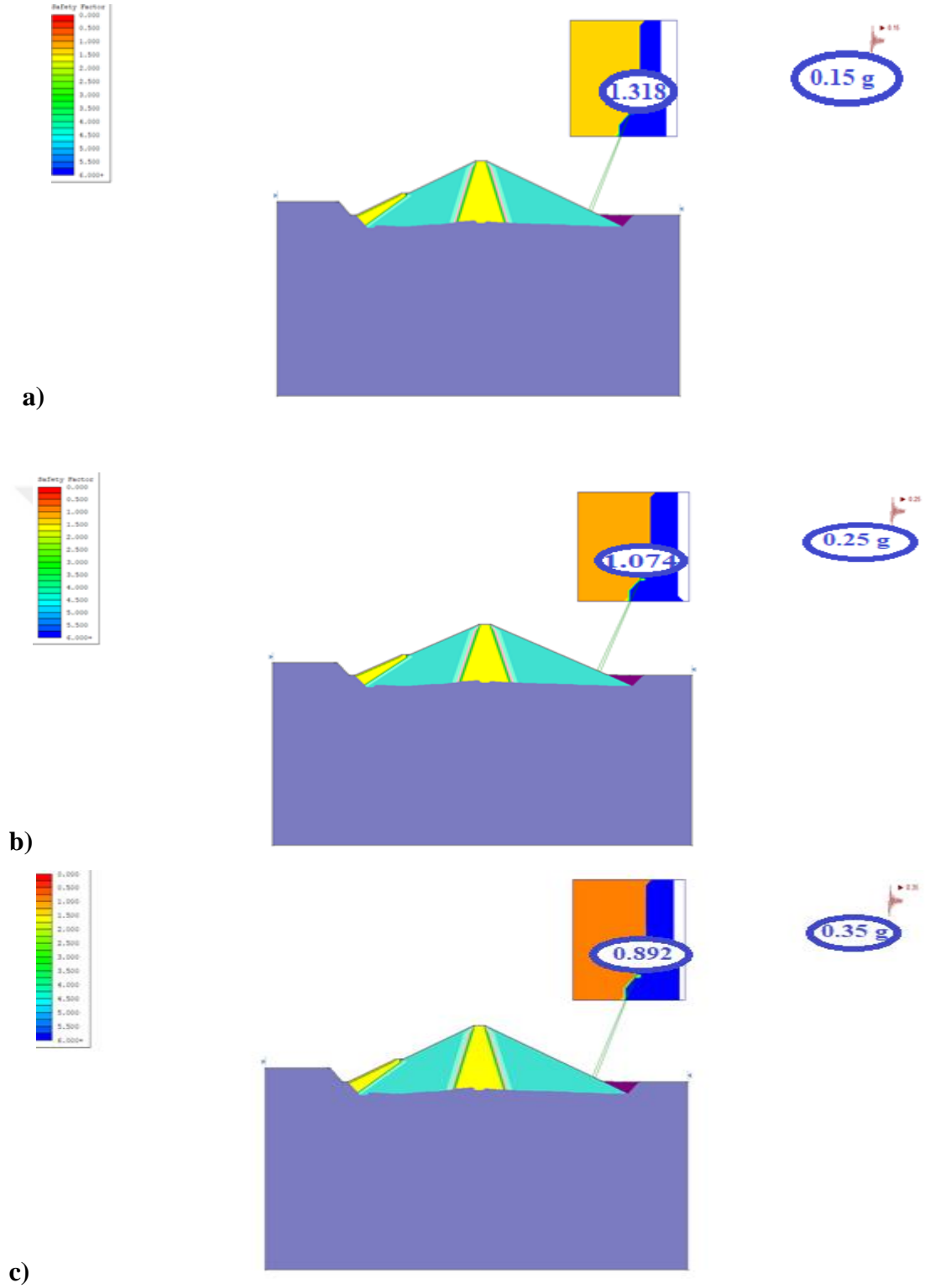
Tablo 6-7’de verilen analiz sonuçlarına göre işletme halinde 0.15 g deprem ivmesinde 1.27 değeri elde edilmiş olup işletme depremlili (İED) hali için istenen değer olan 1.2 değerinin üzerinde kalarak emniyet katsayısı değerini sağlamıştır. 0.25 ve 0.35 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.04 ve 0.86 değerleri ile istenen emniyet katsayısı değerleri elde edilememiştir. Ani boşalma halinde 0.15, 0.25 ve 0,35 g deprem ivmelerinde sırasıyla 0.96, 0.71 ve 0.55 değerleri elde edilmiş olup ani boşalma depremlili (İED) hali için istenen değer olan 1’den büyük emniyet katsayısı değerleri sağlanamamıştır. Emniyete esas deprem ivme değeri işletmeye esas deprem ivme değerleri için seçilmiş deprem değerlerinden daha büyük bir değer olan 0.4 g deprem ivmesi seçilmiştir. Emniyete esas deprem değeri sadece işletme hali için uygulanmıştır. İşletme halinde emniyete esas deprem ivmesi etki ettirildiğinden 0.79 değeri elde edilmiş olup bu durum için istenen değer olan 1.2 emniyet katsayısı değerini sağlamamıştır. Gövde 1 için elde edilen emniyet katsayısı değerleri ile oluşan kayma dairesine ait bölgeler Şekil (47-51)’de verilmiştir.

**Tablo 6.** Gövde 1’in farklı deprem ivmeleri karşısında emniyet katsayıları

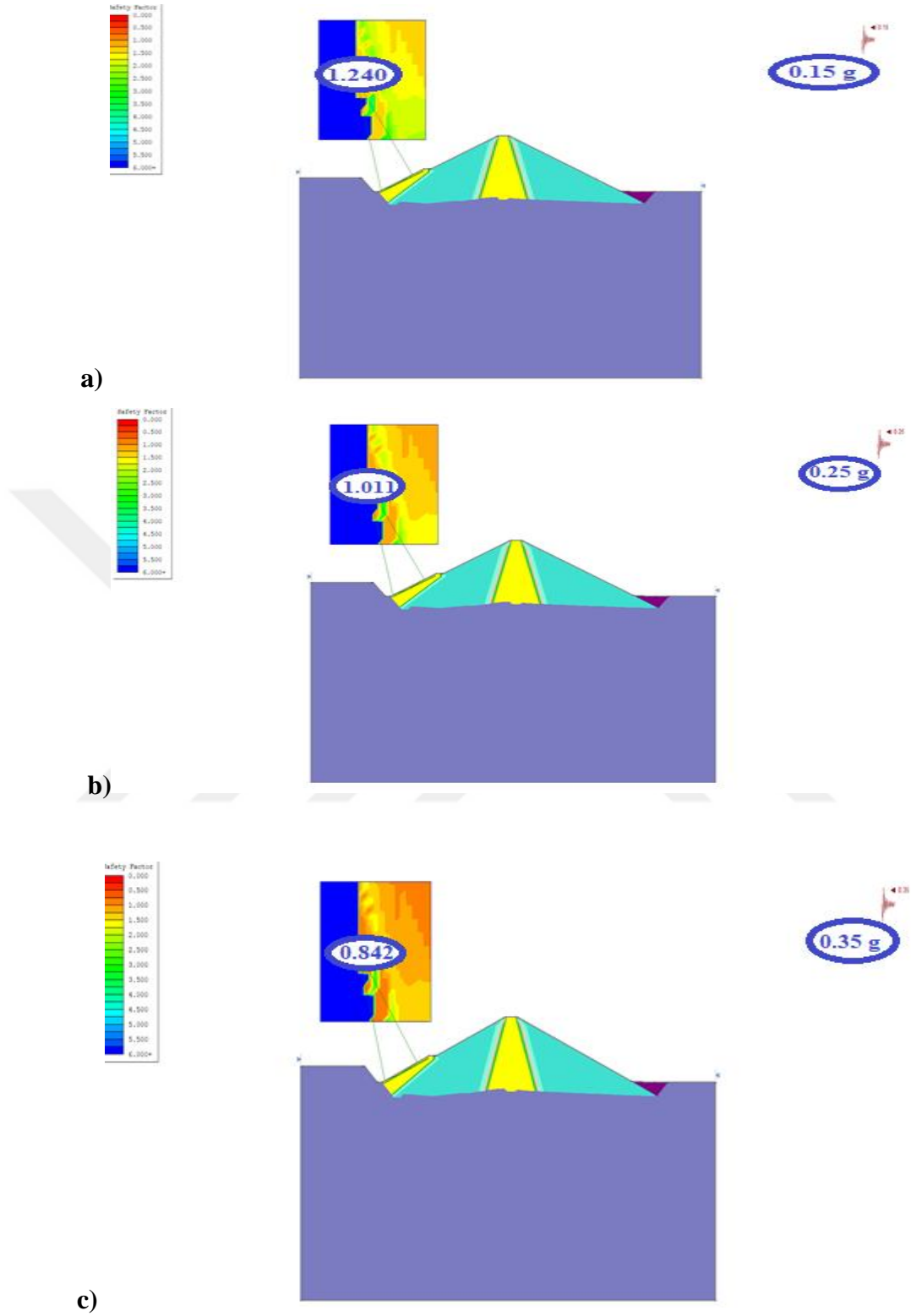
Deprem İvmeleri(g)/Hal	0.15	Sonuç	0.25	Sonuç	0.35	Sonuç
İnşaat Sonu Depremlili Halinde Emniyet Katsayısı (İED) (mansap)	1.32	√	1.07	√	0.89	x
İnşaat Sonu Depremlili Halinde Emniyet Katsayısı (İED)(membra)	1.24	√	1.01	√	0.84	x
İşletme Depremlili Halinde Emniyet Katsayısı (İED)	1.27	√	1.04	x	0.86	x
Ani Boşalma Depremlili Halinde Emniyet Katsayısı (İED)	0.96	x	0.71	x	0.55	x

**Tablo 7.** Gövde 1’in EED ivmesinde oluşan emniyet katsayısı

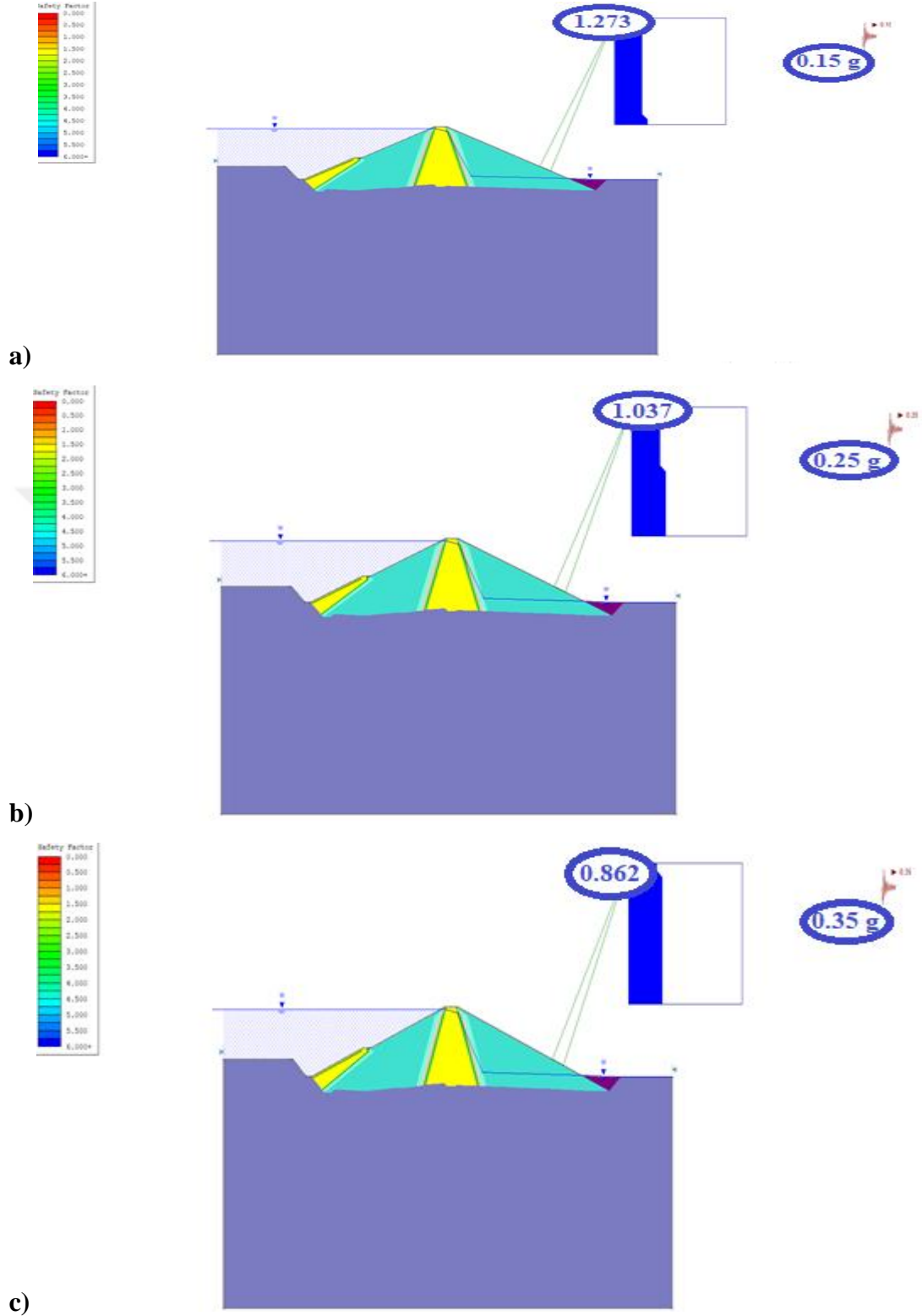
Deprem İvmeleri(g)/Hal	0.4	Sonuç
İşletme Depremlili Halinde Emniyet Katsayısı (EED)	0.79	x



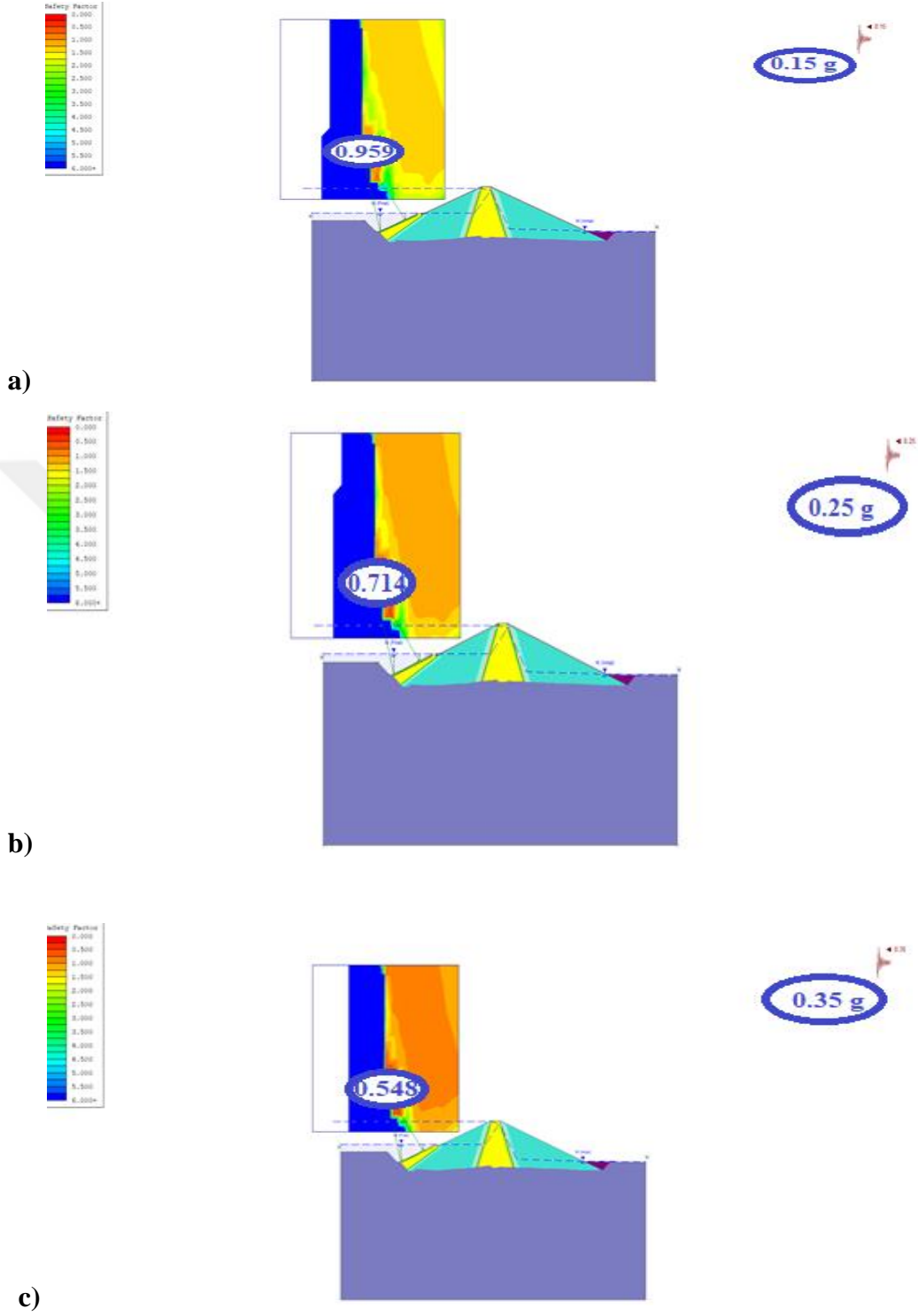
**Şekil 47.** Gövde 1'in inşaat sonu depremlı mansap yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c) 0.35 g deprem ivmesinde



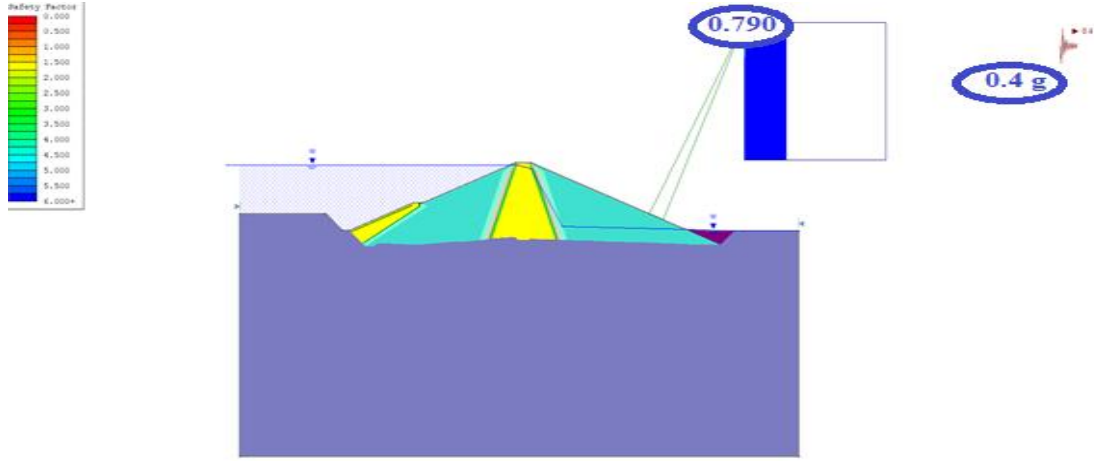
**Şekil 48.** Gövde 1'in inşaat sonu depremlı memba yönünde oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c) 0.35 g deprem ivmesinde



**Şekil 49.** Gövde 1'in işletme depremlili halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c) 0.35 g deprem ivmesinde



**Şekil 50.** Gövde 1'in ani boşalma halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde



**Şekil 51.** Gövde 1'in işletme depremlili halinde (EED) oluşun kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri (0.4 g deprem ivmesinde)

#### 4.2.2. Gövde 2 için Elde Edilen Sonuçlar

Gövde 2 için elde edilen analiz sonuçları Tablo 8-9'da verilmiştir. Tablo 8'de verilen analiz sonuçlarına göre inşaat sonu halinde mansap yönünde 0.15 g ve 0.25 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.42 ve 1.14 değerleri elde edilmiş olup inşaat sonu depremlili (İED) hali için istenen değeri olan 1'den büyük emniyet katsayısı değeri sağlanmıştır. 0.35 g deprem ivmesinde 0.94 değeri elde edilmiş olup istenen değeri sağlanamamıştır. İnşaat sonu halinde memba yönünde 0.15- 0.25-0.35 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.57 -1.26-1.03 değerleri elde edilmiş olup inşaat sonu depremlili (İED) hali için istenen değeri olan 1'den büyük emniyet katsayısı değeri sağlanmıştır. İnşaat sonu hallerinde suyun baraj üzerinde etkili olmadığı haller olup artan deprem ivme değerlerinde emniyet katsayısının düştüğü görülmüştür.

Tablo 8-9'da verilen analiz sonuçlarına göre işletme halinde 0.15 g deprem ivmesinde 1.31 değeri elde edilmiş olup işletme depremlili (İED) hali için istenen değeri olan 1,2 değerinin üzerinde kalarak emniyet katsayısı değeri sağlanmıştır. 0.25 g ve 0.35 g deprem ivmelerinde sırasıyla 1.05 ve 0.87 değerleri ile istenen emniyet katsayısı değeri elde edilememiştir. Ani boşalma halinde 0.15 g deprem ivmesinde 1.22 değeri elde edilmiş olup ani boşalma (İED) hali için istenen değeri olan 1'den büyük emniyet katsayısı değerinin üzerinde kalarak emniyet katsayısı değeri sağlanmıştır. Ani boşalma halinde 0.25 g ve 0.35 g deprem ivmelerinde sırasıyla 0.89 ve 0.69 değerleri elde edilmiş olup ani boşalma depremlili (İED) hali için istenen değeri olan 1'den büyük emniyet katsayısı değeri sağlanamamıştır. Emniyete esas

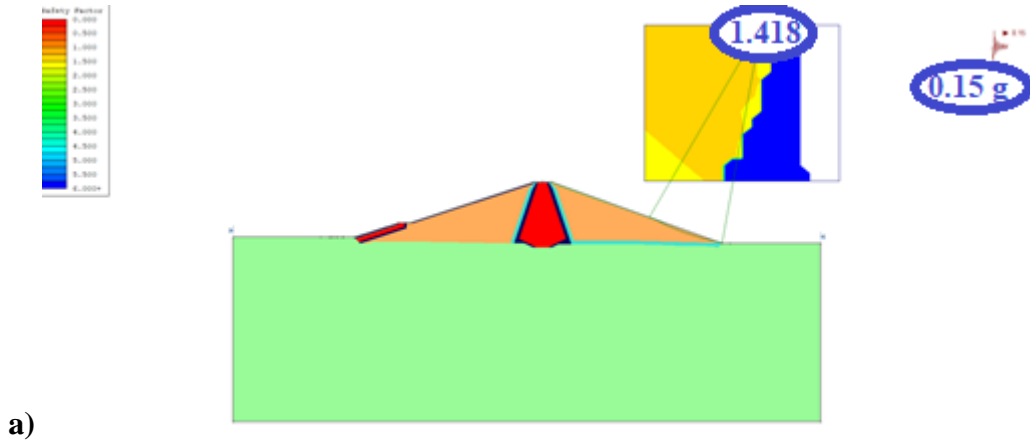
deprem ivme değeri işletmeye esas deprem ivme değerleri için seçilmiş deprem değerlerinden daha büyük bir değer olan 0.4 g deprem ivmesi seçilmiştir. Emniyete esas deprem değeri sadece işletme hali için uygulanmıştır. İşletme halinde emniyete esas deprem ivmesi etki ettirildiğinden 0.80 değeri elde edilmiş olup bu durum için istenen değer olan 1.2 emniyet katsayı değerini sağlamamıştır. İşletme halinde sadece 0.15 g deprem ivmesinde istenen katsayı elde edilmiş, ani boşalma halinde ise 3 deprem ivmesinde istenen emniyet katsayıları elde edilememiştir. Gövde 2 için yapılan analiz sonuçlarında oluşan emniyet katsayı değerleri ile oluşan kayma dairelerine ait bölgeler Şekil 52-56'da verilmiştir.

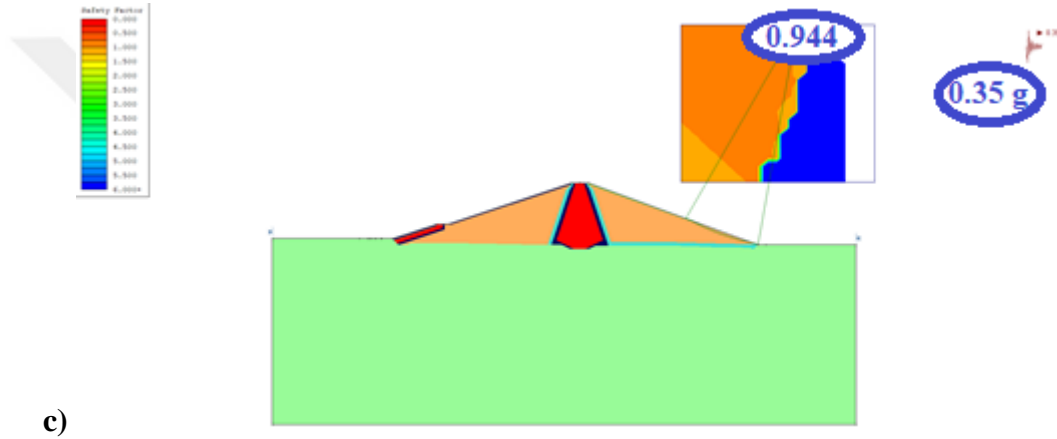
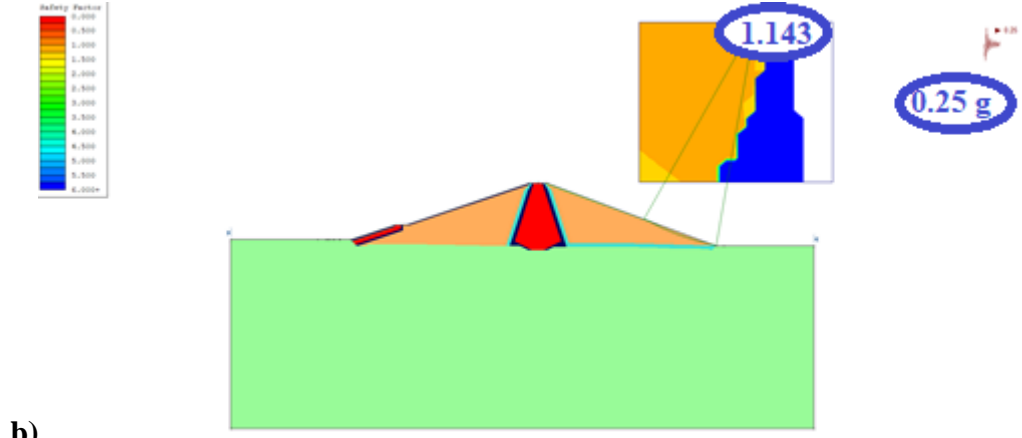
**Tablo 8.** Gövde 2'nin farklı deprem ivmeleri karşısında emniyet katsayıları

Deprem İvmeleri(g)/Hal	0.15	Sonuç	0.25	Sonuç	0.35	Sonuç
İnşaat Sonu Depremlı Halinde Emniyet Katsayısı (İED) (mansap)	1.42	√	1.14	√	0.94	x
İnşaat Sonu Depremlı Halinde Emniyet Katsayısı (İED)(membra)	1.57	√	1.26	√	1.03	√
İşletme Depremlı Halinde Emniyet Katsayısı (İED)	1.31	√	1.05	x	0.87	x
Ani Boşalma Depremlı Halinde Emniyet Katsayısı (İED)	1.22	√	0.89	x	0.69	x

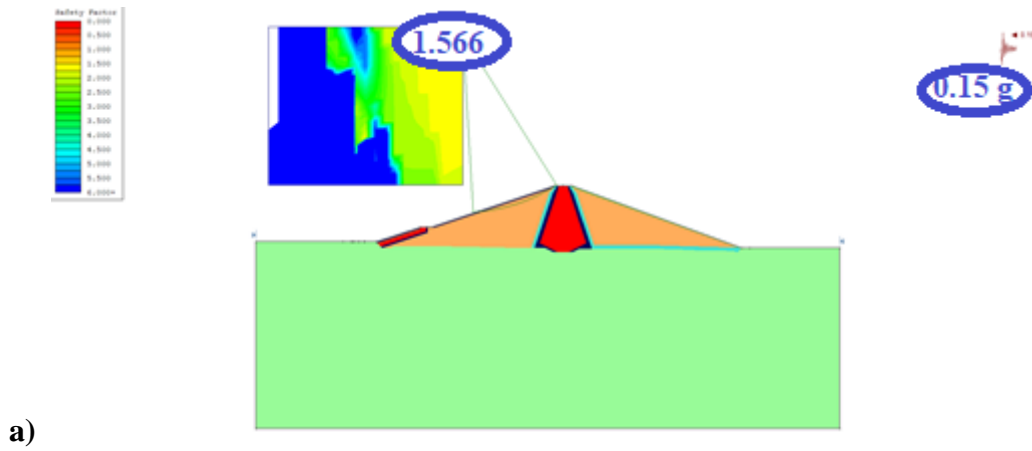
**Tablo 9.** Gövde 2'nin EED ivmesinde oluşan emniyet katsayısı

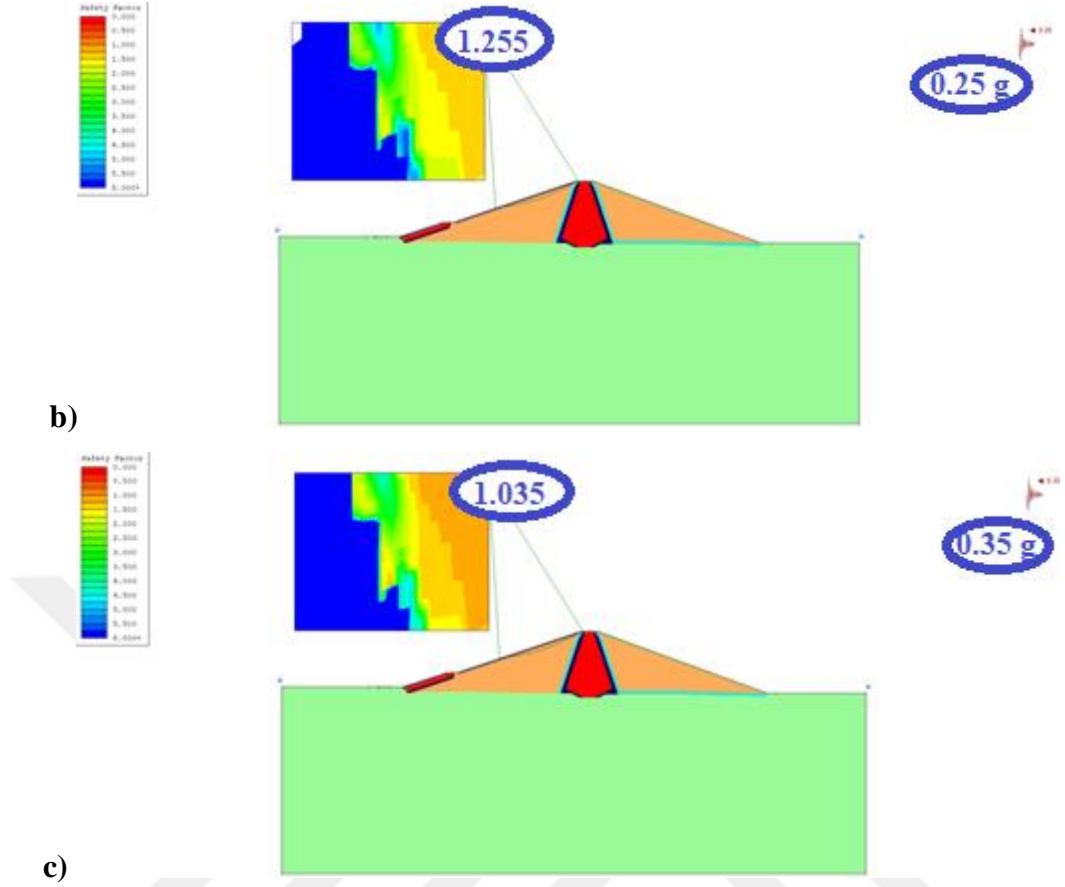
Deprem İvmeleri(g)/Hal	0.4	Sonuç
İşletme Depremlı Halinde Emniyet Katsayısı (EED)	0.80	x



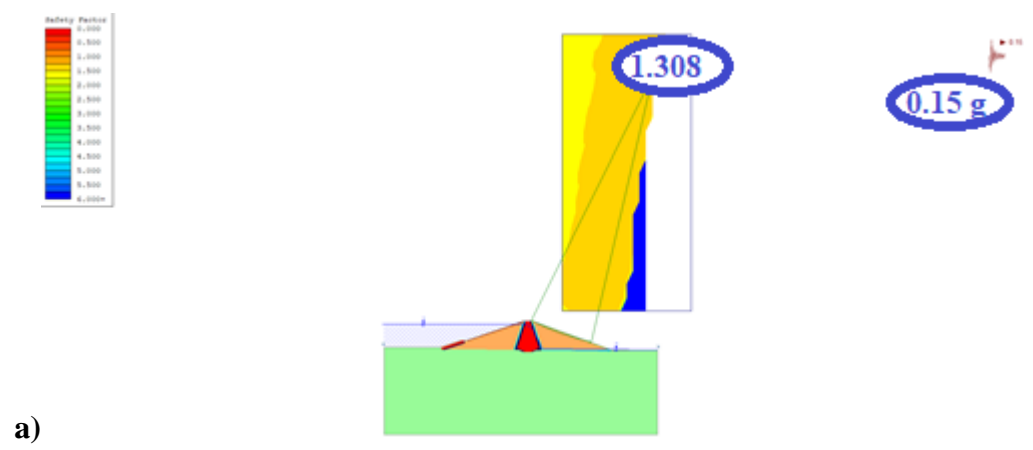


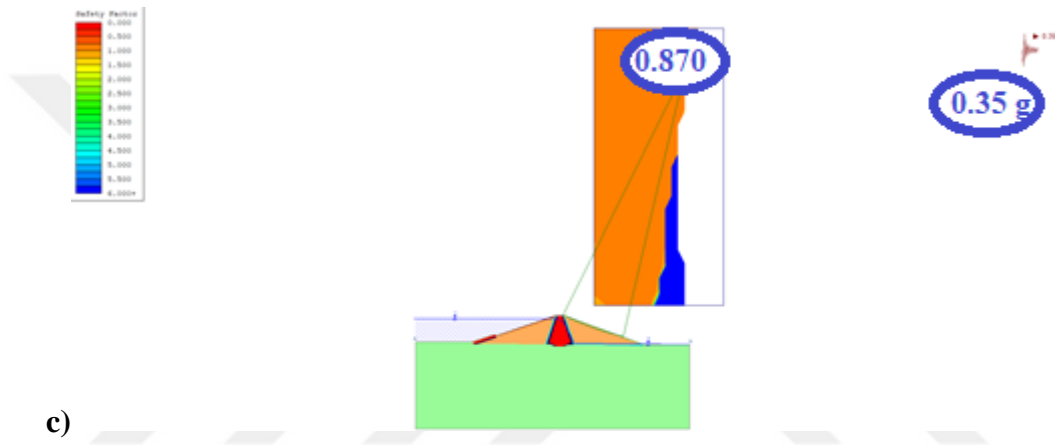
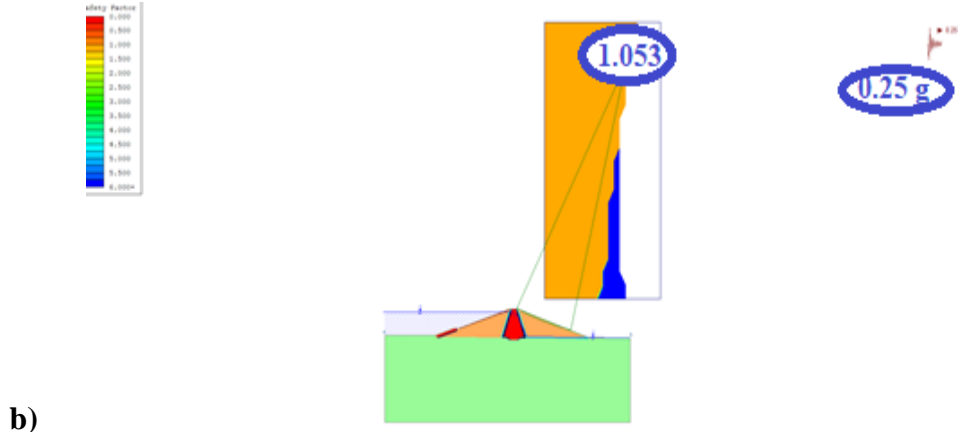
**Şekil 52.** Gövde 2'nin inşaat sonu depremlı mansap yönünde oluşın kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde



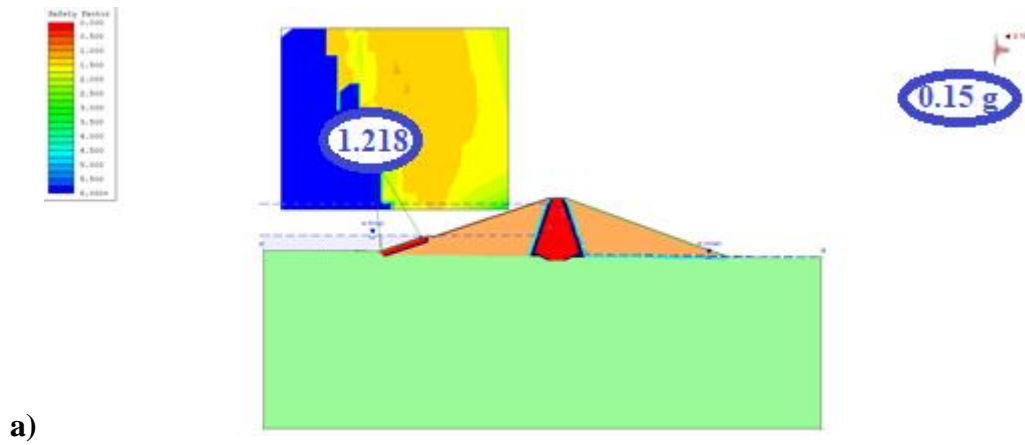


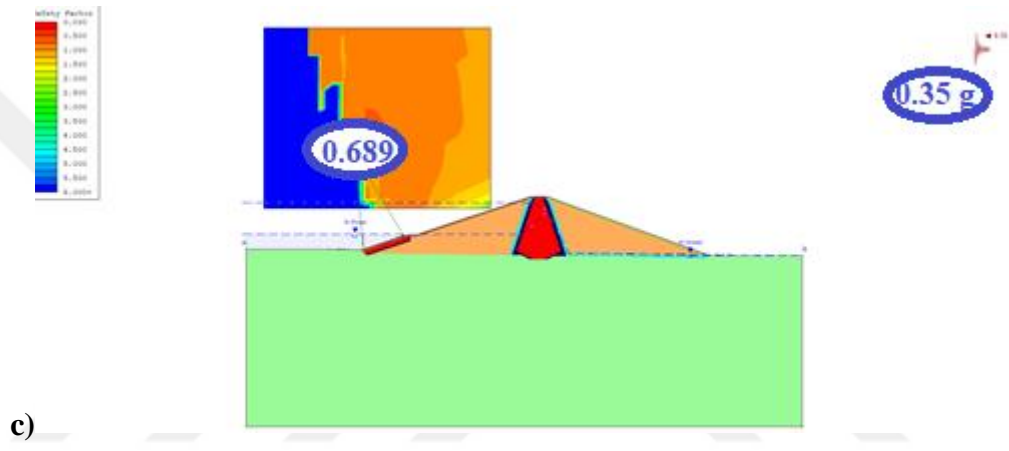
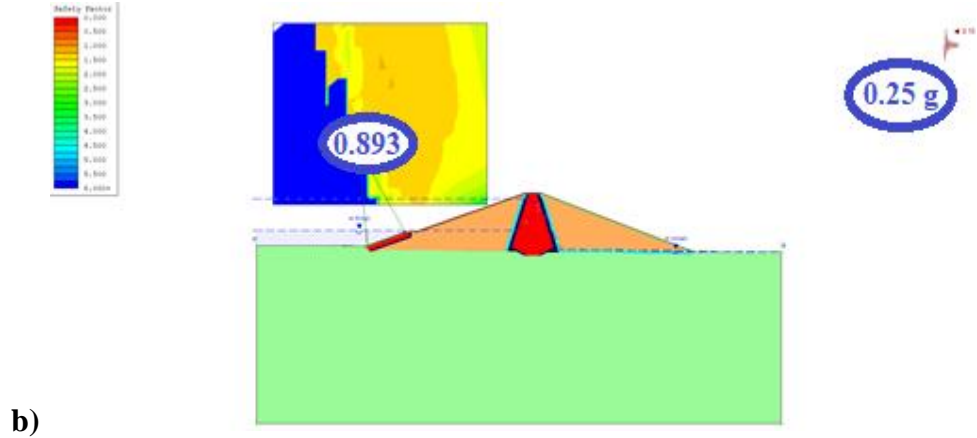
**Şekil 53.** Gövde 2'nin inşaat sonu depremlı memba yönünde oluşın kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c)0.35 g deprem ivmesinde



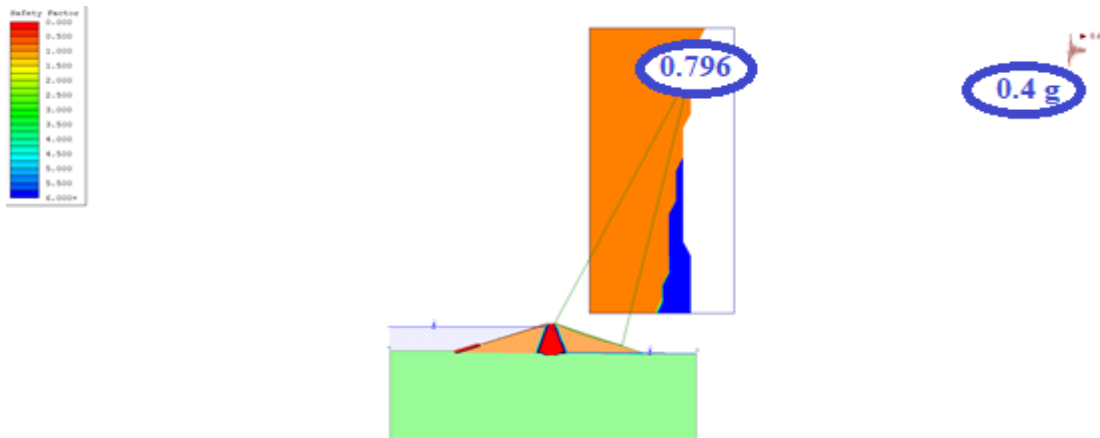


**Şekil 54.** Gövde 2'nin işletme depremleri halinde (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c) 0.35 g deprem ivmesinde





**Şekil 55.** Gövde 2'nin ani boşalma (İED) oluşan kayma dairelerine ait bölge ve emniyet katsayı değeri a) 0.15 g deprem ivmesinde, b) 0.25 g deprem ivmesinde, c) 0.35 g deprem ivmesinde



**Şekil 56.** Gövde 2'nin işletme depremleri halinde (EED) oluşan kayma dairesine ait bölge ve emniyet katsayı değeri (0.4 g deprem ivmesinde)

### 4.3. Analiz Sonuçlarının Kıyaslanması

Deprem kuvvetleri etki ettirilmeden yapılan analiz sonuçları Tablo 4-5’de verilmiş, istenen limit değerlerin sağlandığı görülmüştür. Gövde 1’in inşaat sonu (mansap) hali (membra) halindeki emniyet katsayısından daha büyüktür. Gövde 2’de ise bu durum tam tersidir. Bu farklılığın sebebi gövde yapıların farklı tipte olmasından kaynaklanmaktadır. Deprem kuvvetleri etki ettirilmeden yapılan analiz sonuçlarında elde edilen emniyet katsayı değerleri deprem kuvvetleri etki ettirildiği hallere kıyasla yüksektir.

Deprem kuvvetleri etki ettirildiğinde, Gövde 1 için elde edilen sonuçlar Tablo 6-7’de, Gövde 2’nin sonuçları Tablo 8-9’da verilmiştir. Her iki gövde de inşaat sonu (mansap) halinde 0.15 g ve 0.25 g deprem ivme değerlerinde istenen limit değerlerin sağlandığı, 0.35 g deprem ivmesinde ise istenen değerin sağlanamadığı görülmüştür. Her iki gövde de inşaat sonu (membra) halinde 0.15 g ve 0.25 g deprem ivme değerlerinde istenen limit değerlerin sağlandığı, 0.35 g deprem ivmesinde ise Gövde 1’de istenen değerin sağlanmadığı, Gövde 2’de değerin sağlandığı görülmüştür. İnşaat sonu hali (mansap) ve (membra) hallerinde yapılan analizlerde deprem ivme değerleri büyüdükçe emniyet katsayısının küçüldüğü görülmüştür.

İşletme halinde ise her iki gövde tipinde 0.15 g deprem ivme değerinde istenen emniyet katsayı değerinin sağlandığı görülmüştür. 0.25 g ve 0.35 g deprem ivme değerlerinde ise istenen emniyet katsayı değeri sağlanamamıştır. Aynı deprem ivme değerlerinde inşaat sonu halleri ile işletme hali kıyaslandığında inşaat sonu hallerinde elde edilen emniyet katsayı değerlerinin çoğunlukla daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum su kuvvetlerinin yapı üzerinde etkisini göstermektedir. Su kuvvetleri yapı üzerine etki ettirildiğinde elde edilen emniyet katsayı değerlerinin daha küçük olduğu görülmüştür. İşletme halinde emniyete esas deprem ivme değerinde her iki gövde de istenen limit değerlerin sağlanmadığı görülmüştür.

Ani boşalma halinde ise Gövde 1’de istenen limit değerlerinin sağlanmadığı, Gövde 2’de ise 0.15 g deprem ivme değerinde istenen değerin sağlandığı, diğer deprem ivme değerlerinde istenen değerlerin sağlanmadığı görülmüştür. Ani boşalma halinde elde edilen emniyet katsayı değerleri aynı deprem ivme değerlerinde diğer haller ile kıyaslandığında daha küçük emniyet katsayı değerlerinin çıktığı görülmüştür. Bu durum işletme halinde olduğu gibi suyun baraj üzerindeki etkisini

göstermektedir. Su kuvvetlerinin etki ettirilmediği inşaat sonu halinde emniyet katsayı değerleri büyük çıkarken su kuvvetlerin baraja etki ettirildiği haller olan işletme ve ani boşalma halinde ise emniyet katsayı değerleri daha küçük çıkmıştır.

Programda çözümlene yapıldıktan sonrasında elde edilen sonuçlar değerlendirilirken emniyet katsayısı kadar kayma dairesinin analizi de önemlidir. Gövde 1 ve Gövde 2'nin deprem etkisi olmadan ve deprem etkisi altında oluşan kayma daireleri incelenmiştir. Şekil 39-56'da görülen bu alanlar kayma oluştuğunda en az güvenli bölgeyi göstermekte olup gövde yapısında kayma meydana geldiğinde bu az güvenli bölgelerde kaymanın meydana geleceğini ifade eder. Oluşan kayma daireleri birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kayma dairelerinin bağlı olduğu başlıca faktörler malzeme parametresi ve şev eğimidir. Gövdelerde deprem kuvvetleri arttıkça emniyet katsayı değerinin küçüldüğü ve bu durumun iki gövde de benzer olduğu analizler sonucu görülmüştür. Ancak kayma daireleri incelendiğinde deprem ivme değeri arttıkça ya da azaldıkça kayma dairesinin oluştuğu bölge ve dairenin alanlarının neredeyse aynı oldu görülmüştür. Deprem kuvvetleri etkisinde iken oluşan kayma daireleri ile deprem etkisi olmadan yapılan analizler sonucunda çıkan kayma dairelerin birbirine çok benzer Gövde 2'ni ani boşalma halinde oluşan kayma daireleri dışında kalan neredeyse bütün kayma dairelerin aynı olduğu görülmüştür. Bu durum yapıda meydana gelebilecek muhtemel kayma dairelerin deprem kuvvetleri etkisinde çok farklılaşmadığını, kayma dairelerindeki en küçük emniyet katsayısı üzerinde değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Gövde yapıları toprak dolgu olduğundan oturmalara bağlı olarak kayma dairelerinin oluşması beklenmektedir, bu sebeple önemli olan kayma dairesinin oluştuğu alanın barajın kritik noktalarından biri olup olmadığı ve kayma dairesinde oluşan en küçük emniyet katsayısına dikkat edilmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada dolgu barajların deprem etkisi altındaki davranışları şev stabilite analizi ile incelenerek deprem kuvvetlerinin dolgu baraj tasarımındaki önemi incelenmiştir. Yapılan analizler sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmeler yapan Rocscience Slide v.6 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada iki farklı tipte dolgu baraj deprensiz ve farklı deprem kuvvetleri etkisi altındaki davranışları incelenerek farklı hallerde olması gereken emniyet katsayı değer aralığında olup olmadığı değerlendirilmiş olup sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Gövde yapılarına deprem kuvvetleri etki ettirilmediğinde istenen emniyet katsayı değerleri sağlanmıştır. Deprem kuvvetleri etki ettirildiğinde ise depremin büyüklüğü artıkça emniyet katsayı değeri küçülmüştür. Deprem etkisinde olmayan gövde yapısının emniyet katsayı değerlerinin deprem etkisindeki emniyet katsayılarına kıyasla daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durum ile birlikte deprem kuvvetleri artıkça emniyet katsayısının düşmesi deprem kuvvetlerinin dolgu baraj üzerindeki etkileri ortaya çıkarmıştır.

İşletme halindeki emniyet katsayı değerlerinin deprensiz ve deprem etkisi altındaki değerlerine bakıldığında deprem etkisi altında ortaya çıkan emniyet katsayılarının deprensiz durumdaki emniyet katsayısına kıyasla az olduğu görülmüştür.

İnşaat sonu depremleri ile işletme depremleri kıyaslandığında inşaat sonu hallerinde ortaya çıkan emniyet katsayı değerlerinin işletme hallerinde fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durum dolgu barajların deprenselliğinde su kuvvetlerinin önemini ortaya koymuştur.

Ani boşalma halinde ise diğer hallerde elde edilen emniyet katsayılarına kıyasla daha küçük değerler elde edilmiştir. Bu durum hem deprem kuvvetleri etki etmediği hallerde hem de etki ettiği hallerde de bu şekilde olmasına karşın deprem kuvvetleri etki ettirildiğinde elde edilen emniyet katsayı değerlerinin daha küçük olduğu görülmüştür. Böylelikle deprem anında yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin ani boşalma hali üzerindeki etkileri ortaya çıkmıştır.

Yapılan analizlerin genel sonucunda deprem ivmesi artıkça emniyet katsayıların azaldığı görülmüştür. Su kuvvetlerinin etkili olduğu durumlarda emniyet

katsayı değerleri daha küçük çıkmıştır. Bu durum su kuvvetlerinin deprem anında gövde üzerindeki etkisini ve dolgu barajların deprem anında emniyetli çalışması için su kuvvetlerinin baraja etkisinin incelenmesinin hayli önemli olduğu grlmştır.

Deprem ivme değerlerine göre yapılan analizlerin çoğunluğunda istenen emniyet katsayı değerinin sağlanmadığı grlmştır. Bu durum dolgu barajların tasarımı yapılırken deprem kuvvetlerinin yapı üzerinde etkilerinin dikkatle incelenmesi gerektiğini ve etki eden deprem kuvvetlerin doğru şekilde hesaplanmasının önemini ortaya koymuştur. Dolgu baraja etki edebilecek deprem kuvvetleri doğru bir şekilde belirlenmez ise baraja daha küçük deprem ivmesi etki ettirilerek projelendirme yapılır bu da deprem anında yapıda hasarlara belki de barajın yıkılarak can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilir. Tam tersi bir durumda da deprem kuvveti çok büyük seçildiğinde ise barajın daha emniyetli olması için baraj güçlendirilecek bu durumun sonucunda da baraj daha büyük yükler altında çalışacak ve maliyet artıracaktır. Bu iki durumun sonucunda dolgu barajlara etki edecek deprem kuvvetlerinin analizinin hayli önemli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bütün sonuçlar incelendiğinde deprem etkisi altında olmayan gövdelerinin analizi sonucunda elde edilen emniyet katsayı değerlerinin istenen aralıktaki olduğu, deprem etkisi altında kalan hallerinde çoğunda istenen emniyet katsayı değerinin elde edilemediği grlmştır.

## KAYNAKÇA

- Aldemir, A. (2018). Beton ağırlık barajların sismik performanslarına seçilen kesit geometrisinin etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3),81-92.
- Aldemir, A., Yılmaztürk, S. M., Yücel, A. R., Binici, B., Arıcı, Y. ve Akman, A. (2015). Beton barajların deprem davranışlarının incelenmesinde kullanılan analiz metotları. *İMO Teknik Dergi*, 6943-6968.
- Al-Janabi, A., Ghazali, A., Ghazaw, Y., Afan, H., Al-Ansari, N. ve Yaseen, Z. (2020). Experimental and numerical analysis for earth-fill dam seepage. *Sustainability*, 12(6), 2490.
- Al-Mansori, N., Al-Fatlawi, T., Othman, N. ve Al-Zubaidi, L. (2020). Numerical analysis of seepage in earth-fill dams. *Civil Engineering Journal*, 6(7), 1336-1348.
- Ateş, E., Kuru, T. ve Aydın, R. (2019). Deprem kayıtları kullanılarak Muğla-Milas Derince Barajının dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5,2;319-338.
- Aydın, S., Cihan, K. ve Akdemir, İ. (2015). SSB barajlar ve kelebek barajı deprem analizi. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. İzmir,14-16 Ekim.
- Bağatur, T. (2006). Dolusavak yapılarının tasarımında bazı pratik yaklaşımlar. *DSİ Teknik Bülteni*, 101, 37-50.
- Baykan, N. O. ve Baykan, N. (2015). Binyıllar boyunca anadoludaki su mühendisliği. *4. Su Yapıları Sempozyumu*, (pp. 144-156). Antalya,19-21 Kasım.
- Chakraborty, S., Bheemasetti, T., Das, J. ve Puppala, A. (2020). Seismic response analysis of a hydraulic fill dam. *Acta Geotechnica*, 15(11), 3095-3110.
- Cofcof, Ş. (2008, Kasım). *Kanal Santrallerinde Su İletim Hattı ve Yükleme Havuzları*. Ankara: Dolsar Müh.Ltd.Şti.
- Çetin , K. (2014). Dolgu barajlar için sismik tasarım ve performans kriterleri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, (pp. 1-22). 16-17 Ekim,Ankara.
- Çetin, K. ve Unutmaz, B. (2004, Ocak 28). *Dolgu barajların deprem davranışının belirlenmesinde mevcut yöntemler*. Retrieved from ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/259902537\\_C20\\_Seismic\\_performance\\_assessment\\_of\\_earthfill\\_dams](https://www.researchgate.net/publication/259902537_C20_Seismic_performance_assessment_of_earthfill_dams) (15 Şubat 2022)
- Dalkır, Ö. (2011). Barajlarda deprem riski. *5.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, (pp. 887-901). İstanbul.12-16 Eylül.

- DSİ. (2011). *Çevre ve Temiz Enerji:Hidroelektrik*. Ankara, Türkiye, 60s.
- DSİ. (2012). *Barajlar ve Hidroelektrik Santrallerin Yapısal Tasarım Rehberi*. Ankara, Türkiye,226 s.
- DSİ. (2012). *Dolgu barajların tasarım rehberi*. Ankara.
- Dündar, O. (2009). Dolusavak akımlarının modellenmesinde sayısal hesaplama yönteminin güvenli kullanımı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 457,52-59.
- Hasani, H., Mamizadeh, J. ve Karimi, H. (2013). S. *Stability of slope and seepage analysis in earth fills dams using numerical models (case study:Ilam Dam-İran)*, 21(9), 1398-1402.
- Kılıç, H. (2019). Dolgu Barajların Stabilité Analizleri ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 108.
- Kim, M., Lee, S., Choo, Y. ve Kim, D. (2011). Seismic behaviors of earth-core and concrete-faced rock-fill dams by dynamic centrifuge tests. *Soil dynamic and earthquake engineering*, 31(11), 1579-1593.
- Kirişçi, V. ve Çelik, A. O. (2015). Baraj göleti su alma yapısı sayısal modeli. *4.Su yapıları Sempozyumu*, (pp. 124-133). Antalya,19-21 Kasım.
- Kumcu, Y. Ş. ve Uçar, M. (2020). Dolusavak yapılarının fiziksel ve sayısal modelleme yöntemi ile analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1),350-357.
- Opan, M. (2018). Beton ağırlık barajında deprem durumunda oluşan kuvvetlerin baraj güvenliğine etkileri. *Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu*, (pp. 264-269). Sakarya, 6-4 Mayıs.
- Orhon, M. (1997). Baraj tipleri ve yapım kriterleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 391,12-16.
- Ozkan, M. (1998). A review of considerations on seismic safety of embankments and earth and rock-fill dams. *Soil Dynamics and Eartquake Engineering*, 17(7-8), 439-458.
- Selçuk, C. (2019). *Dolgu barajların deprem analizleri*, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,87.
- Tosun, H. (2018). Dolgu Barajların Şev Stabilité Analizi: Temel Yaklaşımlar ve Parametre. *5. Uluslararası Baraj Güvenliği Sempozyumu*, 27-31 Ekim 2018, İstanbul.
- TSKB. (2020). *Enerji Görünümü*. İstanbul, Türkiye, 92s.

- URL-1. (2021). Retrieved Şubat 14, 2021, from [https://www.emo.org.tr/ekler/aadc0d1acba9e2\\_ek.pdf?tipi=1&turu=X&sube=](https://www.emo.org.tr/ekler/aadc0d1acba9e2_ek.pdf?tipi=1&turu=X&sube=)
- URL-2. (2023). Retrieved Ocak 29, 2023, from <https://prezi.com/61wqqquynzzt/kaya-dolgu-barajlar/?frame=4234cb4c4ce0ca1b7f5b00f73dcca59a0b7f64e1>
- URL-3. (2022). Retrieved Ocak 18, 2022, from <https://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.ijepe.20150404.14.html>
- URL-4. (2022). Retrieved Şubat 22, 2022, from <https://depem.afad.gov.tr/depem-tehlike-haritasi>
- URL-5. (2023). Retrieved Ocak 9, 2023, from [https://www.roscience.com/downloads/slide/Slide\\_TutorialManual.pdf](https://www.roscience.com/downloads/slide/Slide_TutorialManual.pdf)
- URL-6. (2022). Retrieved Ocak 30, 2022, from <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/425/DosyaGaleri/1010/179.pdf>
- URL-7. (2021). Retrieved Haziran 9, 2021, from <https://www.engineeringenotes.com/power-plants-2/hydroelectric-power-plant/12-main-elements-of-hydroelectric-power-plant/29416>
- URL-8. (2023). Retrieved Ocak 10, 2023, from <https://www.britannica.com/technology/coffer>
- URL-9. (2022). Retrieved Ocak 15, 2023, from <https://www.gidahatti.com/haber/11587482/aturk-baraji-doldu-kapaklar-acildi>
- URL-10. (2021). Retrieved Haziran 7, 2021, from <https://theconstructor.org/structures/hydropower-plant-components-functions/19705/>
- URL-11. (2021). Retrieved Haziran 7, 2021, from <https://theconstructor.org/structures/hydropower-plant-components-functions/19705/>
- URL-12. (2021). Retrieved Haziran 2021, 2021, from <https://www.etmd.org.tr/5-soruda-salt-sahasi/>
- Ürker, 0. ve Çobanoğlu, N. (2012). Türkiye'de hidroelektrik santrallerin durumu(hes'ler) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2),65-88, DOI: 10.1501/sbeder\_0000000046.

Yıldız, E. ve Gürdil, A. (2011). Beton ağırlık veya SSB barajların sismik tasarımı ile ilgili değerlendirme ve örnekler. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, (pp. 1-9). Ankara, 11-14 Ekim.

