

Dolgu Barajların Stabilit  Analizleri ve Bir Uygulama

Hakan Kılıç

YÜKSEK L SANS TEZİ

 n aat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2019

Stability Analysis for Embankment Dams and a Case Study

Hakan Kılıç

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

May 2019

Dolgu Barajların Stabilit  Analizleri ve Bir Uygulama

Hakan Kılıç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
 n aat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalında
YÜKSEK L SANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Hasan TOSUN

Mayıs 2019

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Hakan Kılıç'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Dolgu Barajların Stabilité Analizleri ve Bir Uygulama" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğın ilgili maddeleri uyarınca değérlendirilerek oybirliğı ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan TOSUN

İkinci Danışman : --

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Hasan TOSUN

Üye : Doç.Dr. İsmail ZORLUER

Üye : Doç.Dr. Volkan OKUR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Hasan TOSUN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Dolgu Barajların Stabilité Analizleri ve Bir Uygulama” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.
10/05/2019

Hakan KILIÇ

İmza

ÖZET

Barajlar; toprakların sulanması, elektrik enerjisi üretimi, sanayi ve içme suyu temini amacıyla inşa edilen yapılardır. Bu yapılar insanlık için fayda sağlarken mansap yaşamı için yüksek risk yaratmaktadır. Bu nedenle barajların tasarımı çok uygun yapılarak kamu güvenliği sağlanmalıdır.

Barajların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi üç ayrı aşamada yapılır: (1) birincil faktörlerin belirlenmesi, (2) depremlerin seçimi ve (3) sismik değerlendirme parametrelerinin belirlenmesi ve analizlerin yapılması. Bölgesel jeolojinin, sismik tarihçenin ve yerel jeolojik yapıların belirlenmesi birincil faktör olarak değerlendirilir. Depremlerin seçimi, tasarım mühendisinin en önemli görevlerinden biridir. En büyük güvenilir deprem, işletme esaslı deprem, en büyük tasarım depremi ve rezervuarın neden olduğu deprem tanımlamaları ikinci aşamada yapılır. En son olarak yakın kaynak etki analizi, sıvılaşma değerlendirmesi, Newmark deformasyon analizi, püsedo-statik analiz ve dinamik analiz yapılarak üçüncü değerlendirme aşaması tamamlanır.

Özetle, dolgu barajlar için deprem güvenliği çalışmaları; detaylı sismik tehlike analizlerinin yapılması, dolgu şevlerinin stabilite analizi ve sayısal modelleme ile dinamik analiz işlemlerini kapsar. Çalışmanın kapsamı; bölgenin depremselliği, yapı cinsi ve mansap güvenliğine göre farklılık arz edebilir. Bu çalışmada baraj yeri sismik tehlike esasına değinilmekte, ilgili yöntemler detaylı olarak sunulularak mukayeseli değerlendirme yapılmakta, şev stabilite analizi yöntemlerine değinilmekte ve sayısal yöntemlerle deformasyon analiz esaslarına değinilmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında Batı Akdeniz havzasında yer alan ve zonlu toprak dolgu şeklinde tasarlanan Kaş-Kasaba Kıbrıs Barajı için yapılan analizler sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kıbrıs barajı, baraj, deprem, toplam risk analizi, sismik tehlike,

SUMMARY

Dams are constructed to provide water for irrigating lands, for generating hydroelectric power, and for use in drinking water and industrial processes. They provide benefits for humanity, however they result to high risk for downstream life. Therefore, its design should be executed very well to provide public safety.

There are three main stages for evaluating earthquake safety of dams. These are (1) evaluation of primary factors, (2) selection of earthquake and (3) seismic evaluation parameter and analyses. Regional geological setting, seismic history and local geological setting are considered as primary factors. Selection of earthquakes is one of most important task for design engineers. Maximum credible earthquake, operating based earthquake, maximum design earthquake and reservoir induced earthquake should be defined at the second step of evaluation of dam structures. Finally, near source effect analysis, liquefaction evaluation, Newmark deformation analysis, pseudo-static analysis and dynamic analyses should be performed at the third stage of evaluation sequence.

Finally, the studies for earthquake safety of embankment dam require seismic hazard analysis in detail, slope stability analysis and numerical modelling for deformation analysis in dynamic loading condition. The content of study can be differentiated as based on site seismicity, dam type and downstream safety. This thesis mentions to main principles of hazard analysis for dam site, evaluates the related methods comparatively, introduces slope stability analyses for embankment dam and gives the outlines for numerical modelling analyses deformations under earthquake loading. In addition to evaluations mentioned above, the studies for a case study, namely Kas-Kasaba-Kıbrıs dam, which is under construction with zoned earthfill type, is discussed.

Key words: K1brıs dam, dam, earthquake, total risk analysis, seismic hazard,

TEŞEKKÜR

Sadece bu tezin hazırlanması değil yüksek öğrenim hayatımın tümünde bana yol gösteren ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren Prof. Dr. Hasan TOSUN'a, tezim süresince benden yardımlarını esirgemeyen ablam Arzu KILIÇ'a, beni manevi olarak destekleyen anne ve babam Sadet ve Halil KILIÇ'a, göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Fulya KILIÇ ve biricik kızım Ada Deniz KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Yüksek Lisans çalışmalarımı tamamlamam için, bana Kasaba Kıbrıs Barajı hakkında proje ve doküman desteği sağlayan DSİ 13.(Antalya) Bölge Müdürlüğü yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Sismik Tehlike Analizi	8
3.1.1 Probabilistik sismik tehlike analizi	10
3.1.2 Deterministik sismik tehlike analizi.....	12
3.1.3 DAMHA programı ile bilgisayar destekli çözüm	14
3.2. Şev Stabilize Analizleri	17
3.2.1 Fellenius (İsveç dilim) yöntemi	22
3.2.2 Dönüştürülmüş Bishop yöntemi.....	24
3.2.3 STEDwin 2,40/GSTABL7 programı ile bilgisayar destekli çözüm.....	26
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	27
3.2.1 Plaxis Programı ile bilgisayar destekli çözüm	28
4. DOLGU BARAJ DEPREMSELLİĞİ	29
4.1. Sismik Tasarımda Dikkate Alınan Başlıca Faktörler	29
4.2. Analiz İçin Depremlerin Seçimi	29

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.3. Pik Yer Hareketi Parametreleri.....	31
4.4. Sismik Değerlendirme Parametrelerinin Seçimini Etkileyen Faktörler	37
4.4.1 Belli alanların sismik tehlike oranlarının etkisi	37
4.4.2 Toplam risk analizi.....	38
4.4.2.1 <u>ICOLD yöntemi</u>	38
4.4.2.2 <u>Bureau yöntemi</u>	39
5. UYGULAMA:KIBRIS KASABA BARAJI	44
5.1. Baraj Özellikleri	44
5.2. Kıbrıs Kasaba Barajının Toplam Risk ve Sismik Tehlike Analiz Sonuçları.....	45
5.2.1 Sismo-tektonik yapı ve sismik tarihçe	45
5.2.2 Senaryo 1:Konvensiyonel model	49
5.2.2.1 <u>Olasıksal (probabilistik) yöntem (senaryo 1)</u>	51
5.2.2.2 <u>Deterministik yöntem (senaryo 1)</u>	56
5.2.3 Senaryo 2:Güncellenmiş Model.....	57
5.2.3.1 <u>Olasıksal (probabilistik) yöntem (senaryo 2)</u>	58
5.2.3.2 <u>Deterministik yöntem (senaryo 2)</u>	61
5.2.3 Kıbrıs barajı toplam risk analizi.....	63
5.3. Kıbrıs Kasaba Barajının Şev Stabilite Analiz Sonuçları	64
5.3.1 Analiz Esasları	64
5.3.2 Malzeme Esasları	65
5.3.3 Analiz Sonuçları.....	66

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.4. Kıbrıs Kasaba Barajının Sayısal Çözüm Sonuçları	79
5.4.1 Model ve Malzeme Tanımı	80
5.4.2 Analiz Sonuçları.....	85
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	93
6.1. Sismik Tehlike Analizi için Değerlendirme	93
6.2. Şev Stabilite Analizi için Değerlendirme	95
6.3. Sayısal Analiz için Değerlendirme	97
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR DİZİNİ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Probabilistik sismik tehlike analizi aşamaları	11
3.2. Deterministik sismik tehlike analizinin aşamaları.....	13
3.3. DAMHA akış şeması.....	14
3.4. DAMHA tarafından kullanılan altlık haritaların CBS ortamında oluşturulması.....	15
3.5. Bir şevde oluşan kayma yüzeyi ve dilimlerin oluşturulması (potansiyel).....	18
3.6. Bir dilime etkiyen kuvvetler	19
3.7. Fellenius yönteminde dilim kuvvetleri ve denge durumu	22
3.8. Dönüştürülmüş Bishop yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler	24
3.9. Bishop yönteminde kullanılan $m\alpha$ değeri.....	26
4.1. Farklı baraj tipleri için tahmin edilen hasar indeksi	42
5.1. Gölet yerini ihtiva eden eski deprem bölge haritası	46
5.2. Yeni deprem yönetmeliğine göre 475 yıllık dönüş periyodu için (a) ülke geneli sismik tehlike haritası (b) çalışma sahası sismik tehlike haritası.	48
5.3. Türkiye sismo-tektmik yapısı, enerji kaynakları ve oluşan depremler.....	49
5.4. Kıbrıs barajı enerji kaynakları (Senaryo 1)	50
5.5. Baraj yeri depremselliği ve depremlerin dağılımı	50
5.6. Analizde kullanılan sismotektonik model ve depremlerin dağılımı.....	51
5.7. Tehlike eğrilerine bir örnek ($t=0$) (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004).....	53
5.8. Probabilistik sismik tepki spektrumları: (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004).....	55
5.9. Baraj yeri temel zemini için oluşturulan tepki spektrumu	57
5.10. Kıbrıs barajı enerji kaynakları (senaryo 2).....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.11. Tehlike eğrilerine bir örnek ($t=0$) (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)	59
5.12. Probabilistik sismik tepki spektrumları: (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)	60
5.13. Yeni modele göre baraj yeri temel zemini için oluşturulan tepki spektrumu (Boore vd., 1997).....	63
5.14. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-inşaat sonu hali).....	68
5.15. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şevi-inşaat sonu hali).....	69
5.16. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-ani düşme hali-kapaktan).	70
5.17. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-ani düşme hali-kretten)	71
5.18. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şevi-işletme hali).....	72
5.19. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-işletme hali)	73
5.20. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şevi-inşaat sonu hali-depremli).....	74
5.21. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi- inşaat sonu hali-depremli).....	75
5.22. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şevi- işletme hali-depremli)	76
5.23. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi- işletme hali-depremli))	77
5.24. Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (kritik denge durumu-mamba şevi-depremli).....	78
5.25. Çalışmada dikkate alınan Kıbrıs Barajı için oluşturulan akım ağı	81
5.26. Çalışmada dikkate alınan Kıbrıs Barajı için işletme aşaması yükleme koşulları	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.27. Kayma birim deformasyonuna bağlı olarak kayma modülü ve sönüm oranının tipik değişimi.....	83
5.28. Hidrolik yükleme koşulları için toplam oturma değerleri dağılımı.....	86
5.29. Hidrolik yükleme koşulları için yatay oturma değerleri dağılımı	87
5.30. Hidrolik yükleme koşulları için toplam oturma değerleri dağılımı.....	88
5.31. İşletme hali MDE şartı düşey deplasman dağılımı.....	89
5.32. İşletme hali MDE yatay göçme biçimi (500 defa büyütülmüş)	90
5.33. MDE şartlarında batardo seviyesindeki yatay düzlemde oluşan düşey deplasman dağılımı (5000 defa büyütülmüş)	91
5.34. MDE şartlarında kret aksında düşey deplasman dağılımı (5000 defa büyütülmüş)..	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Değişik şev stabilite analiz yöntemleri ve yöntem esasları	21
4.1. Boore vd., (1993) azalım ilişkisine ait katsayılar	32
4.2. Boore, vd., (1997) azalım ilişkisine ait katsayılar	34
4.3. Gülkan and Kalkan (2002) azalım ilişkisine ait katsayılar	35
4.4. Kalkan and Gülkan (2004) azalım ilişkisine ait katsayılar	36
4.5. Çizelge 4.5. Ambraseys, vd., (2005) azalım ilişkisine ait katsayılar	36
4.6. Baraj tipine bağlı olmaksızın baraj yeri sismik tehlike oranı	37
4.7. Baraj karakteristikleri ve sosyo-ekonomik etkilerden oluşan toplam risk değerleri ..	39
4.8. Hesaplanmış toplam risk faktörüne bağlı olarak barajın risk sınıfı	39
4.9. Bureau metoduna göre baraj boyutuna bağlı risk faktörü	40
4.10. Bureau metoduna göre yaş risk faktörü	40
4.11. Bureau metoduna göre mansap risk faktörü	41
4.12. ABD ulusal baraj envanterine dayalı mansap tehlike faktörü	41
4.13. Baraj risk sınıfı tanımlamaları	43
5.1. Kıbrıs barajı özellikleri	44
5.2. Bölgede oluşan ve büyüklüğü (Mw) 5.5 ve daha büyük depremlerin listesi	46
5.3. Probabilistik esasta hesaplanan PGA değerleri	54
5.4. Kıbrıs Barajına etkileyen kritik kaynak zonu için deterministik yöntem ile belirlenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri	57
5.5. Probabilistik esasta hesaplanan PGA değerleri	61
5.6. Kıbrıs Barajına etkileyen kritik kaynak zonu için deterministik yöntem ile belirlenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri (senaryo 2)	62
5.7. Kıbrıs barajı toplam risk analizi	63

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.8. Tanımlanan malzeme özellikleri (inşaat sonu hali için).....	66
5.9. Farklı yükleme koşulları için elde edilen güvenlik sayısı değerleri	67
5.10. Analizde dikkate alınan malzeme özellikleri.....	84
6.1. İki ayrı senaryoya göre deterministik sismik tehlike analizi sonuçları özeti.....	93
6.2. İki ayrı senaryoya göre probabilistik sismik tehlike analizi sonuçları özeti.....	94
6.3. İki ayrı senaryoya göre toplam risk analizi sonuçları özeti	94
6.4. Risk sınıfına bağlı olarak sismik parametrenin seçimi	95
6.5. Sismik katsayı k-değerleri ile farklı öneriler	96

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyamızda artan insan nüfusuyla birlikte su ve enerji gereksinimi, hızla artmaktadır. Su ve enerji sorunu bütün ülkeleri ilgilendiren küresel bir sorun haline dönüşmüştür. Bu da ülkeleri, su kaynaklarını etkin kullanma adına büyük mühendislik projelerinin inşasına yönlendirmektedir. Bu mühendislik projelerinin dolgu barajlar yer almaktadır. Barajlar, ileri teknoloji gerektiren büyük yapılardır. Bu yapılar, setleri arkasında devasa su kütlesi barındırdığından, bu suyun kontrollü bir şekilde tutulması çok önemlidir. Günümüzde gerek teknoloji gerekse ekonomik bakımından gelişmiş birçok ülkede dahi baraj kazaları gerçekleşmiştir. Günümüzün yüksek teknolojileri, su yapılarının olası risklerinin tespitine ve bu risklerin ortadan kaldırılmasına olanaklar sağlamaktadır.

Bu çalışmada dolgu barajlarda sismik tehlike analizi, baraj şevlerin ve dolgusunda oluşabilecek tehlikelerin tespiti için stabilite analizleri ve barajlarda toplam risk analiz çalışmaları irdelenecektir.

Bir baraj yapısının toplam riski, baraj yeri sismik tehlike oranı ile baraj ve yardımcı yapıların risk oranına bağlı olarak tanımlanır. Baraj yeri sismik tehlike oranı, istatistiksel ve deterministik yöntemlerle hesaplanan en büyük yer ivmesi esasında tanımlanır. Baraj ve ilgili yapıların toplam riski ise, baraj yüksekliği, rezervuar kapasitesi, barajın yaşı, potansiyel mansap hasarı ve tahliye gereksinimi esasında belirlenir. Son yıllarda geliştirilen ve yaygın kullanımı olan analiz yöntemlerinde, toplam risk ve baraj yeri sismik tehlike oranı birleştirilerek dikkate alınmaktadır.

Sismik etkiler ile dolgu baraj kretlerinin kabul edilemeyecek seviyede fazla oturması veya memba ve mansap kaymalarının oluşarak yıkımın meydana gelmesi; mansapta çok büyük can ve mal kayıplarına sebep olur. Baraj yıkılmasa dahi, oluşabilecek tahribatın giderilme işi çok maliyetli olmaktadır. Bu nedenle, barajların alanının deprem riskine göre projelendirilerek şev stabilitesinin sağlanması, kalıcı kret ve şev deformasyonlarının doğru analiz edilmesi, deformasyon değerleri dikkate alınıp tasarımının bu hususlar uyarınca sağlıklı yapılması önem arz etmektedir.

Geoteknik bilim Dalı için Şev stabilitesi ile doğal Şevlerin kayma mekanizmalarının incelenmesi, mühendislik yapılarında yapay dolgu ve yarma Şevlerinin projelendirilmesi, stabilite dengesi yitirilmiş Şevlerin stabilitesinin tekrar sağlanması konularını inceler.

Bu çalışmada, dolgu barajlarda sismik tehlike ile stabilite analizi esasları ve sınırlamaları değerlendirilerek, örnek olarak zonlu toprak dolgu baraj olan Kaş Kıbrıs Barajı üzerinde stabilite analizi, toplam risk analizi ve sismik tehlike analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın 3 ve 4. bölümünde sismik tehlike analizi, Şev stabilite analizi ve toplam risk analizi konuları detaylı bir şekilde incelenecektir.

Kaş Kıbrıs Kasaba Barajı üzerinde PLAXIS ve GSTABL7 paket stabilite programı ile stabilite analizi çalışmaları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezinde sismik tehlike analizi için geliştirilen DAMHA adlı yazılım programı kullanılarak probabilistik ve deterministik tehlike analizi yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sismik tehlike analizi; yapıların, depremsel yükler bakımından projelendirilmeleri ile ilgili yapılacak seçimlerin rasyonel bir şekilde yapılmasının koşullarını yaratmaktadır. Sismik tehlike analizi; Deterministik ve Probabilistik olarak 2 farklı metod ile gerçekleştirilmektedir.

Deterministik ve probabilistik olarak da adlandırılan sismik tehlike analizlerinden yararlanılarak, yapıların dinamik yükler altındaki dizaynı için ihtiyaç duyulan parametreler elde edilmektedir (Seyrek ve Tosun, 2013).

Probabilistik sismik tehlike analizi (PSTA), sismik tehlikenin sayısal anlamda saptanabilmesi adına olasılıksal çıktıların analiz edildiği bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Deprem tehlike analizleri için literatürde çeşitli modeller önerilmiş ise de temel anlamda sismik tehlike analizleri Cornell (1968) tarafından oluşturulmuştur.

Her iki analizde de aktif faylarda gerçekleşebilecek en büyük depremin magnitüdü, şiddet veya maksimum yer ivmesi olarak belirlendikten sonra araştırmada kullanılması gereken sönümlenme bağıntılarının saptanması önem arz etmektedir. Araştırılma yapılan saha içerisinde değişik sismik kaynakların varlığı durumunda olasılıksal yaklaşım, alandaki tehlikeyi yalnızca bir kaynak oluşturuyor ise deterministik yaklaşım önerilmektedir. Krinitzsky'e (2003) göre birbirleri ile uyumsuz olan bu iki modelde Deterministik model, jeolojiye ve doğadaki fiziksel gerçekliğe uyma, probabilistik model ise deprem istatistikleri ve teori güdümlü sayısal hesaplamalara dayandığı ifade edilmiştir.

McGuire, (2001) ise deterministik ve probabilistik modelin analizlere yol gösterebilmesi adına birbirlerini tamamlayıcı olmaları gerektiğini ve alınacak kararın önemine, sismik aktiviteye ve projenin durumuna bağlı olarak bir yöntemin diğerine göre önceliği ortaya çıkabileceğini düşünmektedir.

Kayabalı (1995)'e göre deterministik yaklaşıma kıyasla çok daha zor olan probabilistik yaklaşım, sismik tehlike analizindeki bilinmeyenleri kantitatif açıdan dikkate alması açısından deterministik yöntemden daha fazla kullanılır. Deterministik modelin

olumsuz yönü, yapı alanını etkileyecek maksimum yer ivmesi değerin saptanmasında önem arz eden belirsizliklerin gerektiği kadar dikkate alınmamasıdır.

Kramer (1996), deprem magnetüdü, yeri ve tekrarlanma sıklığı ve bunlara bağlı olarak sismik yer hareketi özelliklerindeki belirsizlikleri dikkate alan probabilistik modellerin kullanımının sismik tehlikeyi daha gerçekçi sonuçlarla ortaya koyduğunu ifade etmiştir. Abrahamson (2006) sahaya özgü büyütme tesirinin probabilistik yöntem içerisinde modellenemesinin önemli bir avantaj olduğunu ve bu nedenle gelecekte kullanımının yaygınlaşacağını düşünmektedir.

Probabilistik model gibi deterministik modelinde avantajlarının olduğunu savunan çalışmalar mevcut olup, bu çalışmalarda yer hareketinin değerlendirilmesinde deterministik modellerin çok daha kullanışlı olduğu savunulmuştur.

Kramer (1996) aynı zamanda deterministik yöntemin baraj gibi yüksek riskli projelerde, en olumsuz senaryo görülebilmek ve yer hareketinin tahmininden yararlı sonuçlar sağlanmak için uygun bşr model olduğunu belirtmiştir.

Bommer (2000), düşük riskli bölgelerde projelendirilecek kritik olmayan yapıların tasarımında, probabilistik yaklaşım oldukça elverişli olmasına rağmen, zamana bağlı gerçek ivme kayıtlarından faydalanılmasının gerekli olduğu yüksek risk değerlerine sahip bölgede yapılacak yapılar için deterministik sismik tehlike analizini önermektedir. Yüksek öneme sahip baraj, nükleer santral gibi riskli yapıların tasarımı, acil durum planları, sakınım ve risk azaltma çalışmaları ve özellikle afet yönetimi gibi çok önemli konulara girdi hazırlayan sismik tehlike modelleri ve uygulanabilirlikleri ile ilgili bilimsel tartışmaların devam etmesi kaçınılmaz görülmektedir.

Bilim dünyasında deterministik yaklaşım kullanılarak hazırlanan makalelerin (Chandler vd., 2001; Hull ve Augello, 2003; Ding vd., 2004) yanı sıra probabilistik yaklaşım kullanarak yapılan çalışmalar da mevcuttur (Sokolov, 2000; Stewart vd., 2002; Fat-Helbary ve Tealb, 2002; Al-Homoud, 2003; Mantyniemi vd., 2003; Klügel vd., 2006; Nakajima vd., 2007; Parolai vd., 2007).

Konu hakkında benzer çalışmalar yerli bilim insanlarımızca da yapılmaktadır Erdik vd., 1985 ; Gülkan vd., 1993; Erdik vd., 1999; TEFER, 2001; Kayabalı, 2002; Kayabalı ve Akın, 2003; Ulusay vd., 2004; Tosun ve Seyrek, 2006; Tosun, 2007a; Tosun vd., 2007, 2008;

Tosun ve Seyrek, 2009; Seyrek vd., 2009, Orhan vd., 2007; Kalkan vd., 2008a, 2008b). Söz konusu araştırmalardan Tosun ve Seyrek (2006); Tosun (2007a); Tosun vd., (2007, 2008); Tosun ve Seyrek (2009); Seyrek vd., (2009), Türkiye'nin önemli havzaları ve baraj yerleri için sismik tehlike ve risk analiz çalışmaları mevcuttur.

Erdik ve arkadaşlarının 1985 yılında yaptıkları çalışmanın Türkiye için ilk kapsamlı istatistiksel çalışma olduğu; bu çalışmayı takiben 1993 yılında Gülkan ve arkadaşları tarafından istatistiksel yöntemler kullanılarak tamamlanan “En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” isimli projenin Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 1996 yılında yürürlüğe sokulan ve hali hazırda kullanımda olan Deprem Bölgeleri Haritası'nın da temelini oluşturduğu belirtilmelidir (Seyrek 2009).

Kayabalı ve Akın (2003) ve Ulusay vd. (2004) ise Türkiye için deterministik bir model tavsiye etmişlerdir. Bu çalışmalar neticesinde ülkemiz için ikinci bir deterministik sismik tehlike haritası kazandırılmıştır. Bu harita mevcut harita ile karşılaştırıldığında bazı bölgeler de göreceli farklılıkların olduğu görülmüştür.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 1996 yılında yürürlüğe sokulan mevcut Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiştir. Yeni Harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmek üzere 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanmıştır. Bu çalışma ile beraber deprem yönetmeliği revize edilmiş ve 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla birlikte kullanılmaya başlanmıştır.

Dolgu barajlar için sismik tehlike analizi, deprem yükü altında dolgunun ve temelin stabilitesinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen deformasyon ve sıvılaşma analizlerinin temelini ihtiva eder. Dolgu barajların dinamik analizinin yapılabilmesi için deprem büyüklüğü ve uzaklığı ile baraj yerine ait yer hareketi parametreleri (ana kayada ve zemin yüzeyinde) gereklidir. Dinamik analizin yapılması ile barajın ve temel zemininin sıvılaşması için potansiyel durumun ve depremin yarattığı salınımın bir neticesi olarak barajdaki kalıcı deformasyonların bulunması arzu edilir. Her iki analiz için iki temel aşama mevcuttur. Bunlar, dinamik respons hesaplaması ile boşluk basıncı ve deformasyon hesabıdır. ICOLD (1989), baraj ve temel zemininin deformasyon analizinin basitleştirilmiş yöntemlerle

yapılabileceğini ifade etmiştir. Ancak alternatif olarak sonlu eleman yöntemi ile de deformasyon analizi yapılabilmektedir (Tosun, 2002).

Yerleşim yerleri yakınına inşa edilen baraj ve rezervuarlar, mansaptaki doğal habitat için potansiyel riske oluşturur. Bu yüzden, barajlar ve yardımcı yapılar, risk oranı ve baraj yerinin sismik tehlike oranına ilişkili olacak şekliyle tehlike sınıflama sistemini dikkate alarak sınıflandırılmalıdır. Sismik tehlike ve risk oranı genellikle ayrı olarak tanımlanmaktadır. (ICOLD, 1989). Günümüzde, bu iki faktör baraj yapılarının toplam riskini tespit etmek için birlikte kullanılmaktadır (Bureau, 2003).

Şev stabilitesi analizleri geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından biridir. Bunun nedeni, şev stabilite bozukluklarının depremler, sel baskınları gibi doğal afetlere benzer olarak ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmesidir. Doğal ve yapay tüm şevlerin gerek kendi ağırlıkları, gerekse uygulanan yüklerin etkisi altında göçmeye karşı stabiliteleri, elastik teoriye dayanan limit denge yöntemleriyle analiz edilmektedir (İsveç Dilim, Bishop, Janbu, Morgenstern ve Price, Spencer vb). Bu yöntemler arasında uygulamada bazı farklılıklar olmasına rağmen, ortak özellik, bilinen veya kabul edilen bir kritik kayma yüzeyinde, kayma kütesinin dengesinin araştırılmasıdır.

Şevlerin analizi halen klasik limit denge yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde, dairesel veya kama tipi potansiyel bir kayma yüzeyi kabulü yapıp, kaydıran ve direnen momentler ya da kuvvetler arasındaki ilişki kullanılarak şevin güvenlik sayısı belirlenmektedir. Şevlerin limit denge yöntemleri ile analizine yönelik literatürde bir çok çalışma mevcuttur. (Duncan ve Wright, 2005).

Çok sık kullanılmasına rağmen, limit denge metodunun önemli eksiklikleri vardır. Metotta, kayma yüzeyinin şekli ve yeri, kayan zemin diliminin davranışı ile ilgili çeşitli kabuller yapılmaktadır. Ayrıca bu metotta gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve deplasmanlar göz ardı edilmektedir.

Bilgisayar kullanımının, tüm alanlarda olduğu gibi, geoteknik mühendisliğinde de yaygınlaşması ile şev stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi artan bir şekilde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımının diğer geleneksel limit denge yöntemlerine göre avantajı, şevin göçme yüzeyinin yeri ve şekli, dilimlerin şiddeti ve yönleri ile ilgili bir kabule ihtiyaç duyulmamasıdır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrileri, farklı

zemin, sınır ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm göçme mekanizması tiplerinde uygulanabilmektedir (Taşkıran vd., 2012).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Sismik Tehlike Analizi

Yerkabuğu içindeki kırılmalar sebebiyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayı deprem olarak ifade edilmektedir. Depremle ilgili olan felaketler çoğu zaman sismik tehlike olarak tanımlanmaktadır. Deprem mühendisliğinde ise sismik tehlikenin teşhisi ve azaltılması araştırılmaktadır. Zarar ve can kaybı oluşturabilecek şiddette bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde saptanması deprem tehlikesi olarak tanımlanır ve deprem riski konusunun önemli bir bileşenidir (Erdik vd., 2006).

Depremlerin neden olabileceği kaybın asgariye indirgenebilmesi adına yapı projelendirmelerinde deprem tehlike analizinin özenle gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Zeminin maruz kalacağı deprem yükünü saptamak önceliklidir. Bu alanda deprem risk analizinin birinci aşamasında sismik tehlike analizi yer almaktadır (Kayabalı, 1995).

Sismik tehlike yer sarsıntısı, sıvılaştırma, toprak kaymaları ve tsunami gibi depremlerle ilişkili potansiyel olarak zarar veren olaylara atıfta bulunmak için kullanılan geniş bir terimdir (Thenhaus ve Campbell, 2003).

Sismik tehlike ve risk temelde farklı kavramlardır. Sismik tehlike, depremlerin yarattığı zarar verme potansiyeline sahip fenomenleri tanımlamakta iken sismik risk ise belirli bir süre içerisinde belirli bir sismik tehlike seviyesinin yaşanma olasılığıdır (Wang, 2006). Bir başka ifade ile sismik risk depremin sebep olacağı öngörülen zararın meydana gelme olasılığı ifadesiyle de kullanılabilir.

Sismik açıdan aktif bir alanda ileride oluşabilecek depremlerin zamanı, konumu, şiddeti ve başka hususlar önceden bilinmemektedir. Belirli bir zamanda, meydana gelebilecek depremlerin proje alanında oluşturacağı etkilerin, özellikle zemin hareketi ile

ilgili değişkenler için beklenebilecek en büyük değerlerin saptanması deprem mühendisliğinin en önemli problemlerdendir (Ycemen, 2011).

Sismik risk tahmini, yer sarsıntısının beklentilerini ve de yapıların buna karşılık gelen performanslarının llmesine dayanmaktadır. Sismik riski belirleyebilmek adına sismik tehlike analizini oluşturup, değerlendirmek gerekmektedir. Sismik tehlike analizi, bir bölgenin belli bir yapı ömrü içinde yer sarsıntısı tehlikesinin nicel olarak hesaplanmasıdır. Bir başka deyişle; geçmiş dönemdeki depremlere ait mevcut verileri istatistiksel, jeolojik, sismolojik ve benzeri bilgilerle düzenli bir şekilde değerlendirerek, inşaat sahasında ileride beklenebilecek sismik olay için belirli olasılık değerlerini saptamak, sismik tehlike analizinin amacı olarak tanımlanabilir.

Sismik tehlike analizleri; tanımsal ve olasılıksal olmak üzere iki farklı metot ile gerçekleştirilmektedir. Deterministik ve probabilistik olarak da adlandırılan sismik tehlike analizlerinden yararlanılarak, yapıların dinamik yükler altındaki dizaynı için ihtiyaç duyulan parametreler elde edilmektedir (Seyrek ve Tosun, 2013). Deterministik yaklaşıma kıyasla çok daha meşakkatli olan probabilistik yaklaşım, sismik tehlike analizindeki belirsizlikleri kantitatif açıdan dikkate alması nedeniyle deterministik yöntemden daha fazla tercih sebebidir (Kayabalı, 1995). Her iki analizde de diri faylarda oluşabilecek en büyük depremin magnitüdü, şiddet veya en büyük yer ivmesi olarak belirlendikten sonra analizde kullanılması gereken sönümlenme bağıntılarının saptanması şarttır. Analiz edilen alan için değişik sismik kaynakların varlığı durumunda olasılıksal yaklaşım, alandaki tehlikeyi yalnızca bir kaynak oluşturuyor ise deterministik yaklaşım tercih edilmektedir.

Deterministik sismik tehlike analizi ve probabilistik sismik tehlike analizi birbirleriyle uyumsuz olan yöntemlerdir. Deterministik model, jeolojiye ve doğadaki fiziksel gerçekliğe uyma, probabilistik model ise deprem istatistikleri ve teori güdümlü sayısal hesaplamalara dayanmaktadır (Krinitzsky, 2003). Her iki yöntemin de analizlere ışık tutabilmesi için birbirlerini tamamlayıcı olmaları gerekir. Alınacak kararın önemine, sismik aktiviteye ve projenin konumuna bağlı olarak bir yöntemin diğerine göre önceliği ortaya çıkabilecektir (McGuire, 2001).

3.1.1 Probabilistik sismik tehlike analizi

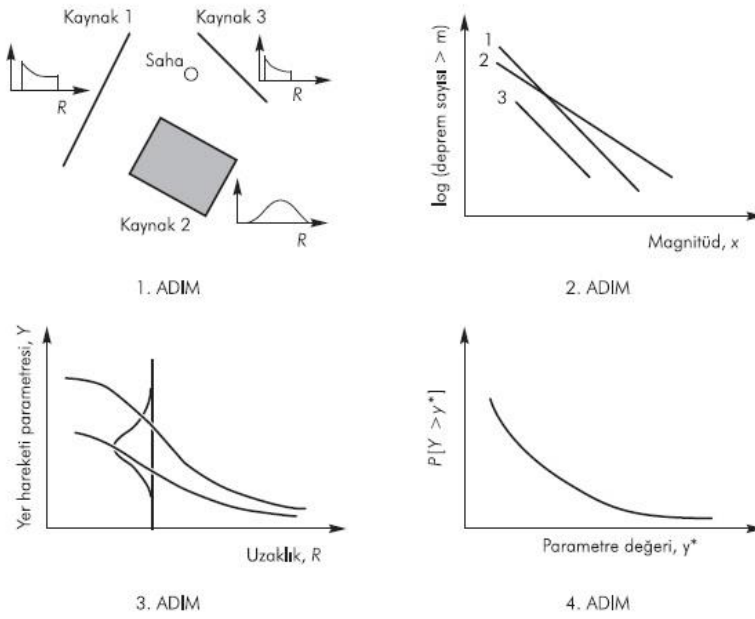
Probabilistik sismik tehlike analizini (PSTA), deprem tehlikesinin sayısal olarak saptanabilmesi adına olasılıksal sonuçların analiz edildiği bir yöntem olarak ifade edilebilir. Deprem tehlike analizleri için literatürde çeşitli modeller önerilmiş ise de temel anlamda sismik tehlike analizleri Cornell (1968) tarafından oluşturulmuştur.

Cornell (1968) tarafından oluşturulan probabilistik sismik tehlike analizi, daha çok değişkenin rastlantısallaştırılması gibi farklılaşmalara maruz kaldıysa da güncel hali itibariyle aynı çerçevede devam etmiştir (Çetin vd., 2004).

PSTA'ni gerçekleştirmek için hangi zemin sarsıntısı seviyesi kullanılmalı, sorusu önemlidir. Konum, boyut, gelecekteki depremlerin sarsıntı yoğunluğu hakkında büyük belirsizlikler mevcuttur. PSTA, bu belirsizlikleri ölçmeyi ve bunları bir bölgede oluşabilecek sarsıntı dağılımının açık bir tanımını üretmek için birleştirmeyi amaçlamaktadır (Baker, 2008).

Tehlikenin tamamen belirlenmesi için belirsizliklerin tanımlanabileceği bir çözümü öngören ve tüm ihtimalleri dikkate alan bu analiz yöntemi, dört aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir (Reiter, 1990: Kuehn vd, 2009). Bölgeye tesir edebilecek sismik kaynakların saptanması birinci adımdır. İkinci adımda, yinelenme ilişkileri, üçüncü adımda kaynağın bir noktasında meydana gelebilecek herhangi bir büyüklükteki yer sarsıntısının araştırma bölgesinde oluşturacağı hareketi, azalım ilişkilerinden yararlanılarak netleştirmektir. Son adım ise deprem oluşum modellerini oluşturmaktır.

Probabilistik sismik tehlike analizinin aşamaları Şekil 3.1' de sunulmaktadır (Kramer, 1996).



Şekil 3.1 Probabilistik sismik tehlike analizi aşamaları (Kramer,1996)

Probabilistik yaklaşımda, deprem kayıtlarına göre deprem etkilerinin tanımlanması ve tekrarlı model kullanılarak deprem azalım ilişkisinin ve belirsizlik hesaplamaları ile sismik tehlike eğrisinin çizimi gibi aşamalar gerçekleştirilir.

Sismik kaynakların konumlandırılması ve sismik kaynaklar için en büyük deprem büyüklüklerinin tespiti; probabilistik sismik tehlike analizinin basamaklarıdır. Bu basamakları uygularken; seçilen zemindeki sismik kaynakların ve aktif fayların konumları ve bunlara bağlı sismisite değişkenlerinin değerleri saptanır. Sismik veri tabanının oluşturulmasında deprem katalogları oldukça önem arz eden veri kaynaklarıdır. Sismik kaynak tanımlamasına ilişkin aşamalara aşağıda değinilmiştir.

Sismotektonik ve jeolojik olarak modellenebilen sismik kaynak bölgeleri, deprem kaynağın her alanında deprem oluşma ihtimalinin eşit olduğunun kabul edildiği kesimlerdir (Deniz ve Yüçemen, 2005). Bu aşamada sismisite tablosu ve araştırma yapılan sahanın tektonik rejimi iki temel unsurdur. Bir bölgedeki yer sarsıntısının tahmini için geçmişte depremlerin meydana geldiği ve gelecekte de deprem meydana gelebileceği varsayılan kaynak zonlarının belirlenmesi gereklidir.

Deprem kaynak özelliklerinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulan verilerde çeşitli belirsizlikler bulunmaktadır. Sismik kaynağın alansal özellikleri, depremlerin büyüklük ve zamansal dağılımı gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklerin her birinin belirlenmesinde sismik kaynaklarının geometrisi, tektonik süreçlerin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

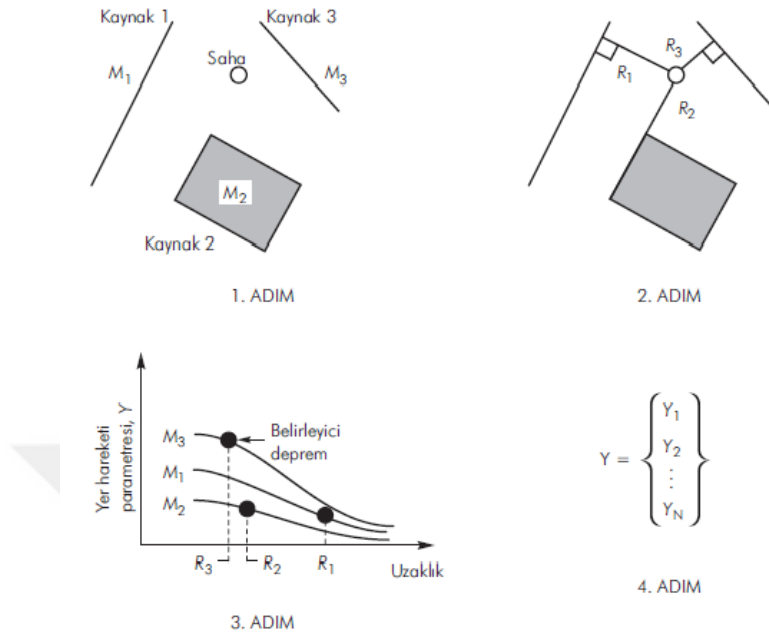
Depremlerin bölge içindeki oluşumu; nokta, çizgi ve alan başlıkları ile üç tür deprem kaynağına dayandırılmış olup, kaynağın kendisinin kaynağın etkileyebileceği alana olan mesafesine göre küçük olduğu bir alanı tanımlamak maksadı ile kullanılan nokta kaynak, kaynak türleri içinde en basiti olarak değerlendirilmesi nedeniyle çizgi ve alan kaynaklar da nokta kaynak olarak değerlendirilebilmektedir (Yüçemen, 2011).

Sismik tehlike analizinde en önemli değişkenlerden olan sismik kaynaklar için saptanacak deprem magnitüdü üst sınırının tahmini için değişik yöntemler mevcuttur. Oluşmuş en büyük deprem magnitüdünün bir oranda artırılarak hesaba katılması bu yöntemlerdendir. Maksimum deprem büyüklüklerinin belirlenmesi ve azalım ilişkilerinin uygulanması, Seyrek (2009)'da detaylı sunulmaktadır.

3.1.2 Deterministik sismik tehlike analizi

Deterministik sismik tehlike analizinde (DSTA), meydana gelmesi beklenen depremlerden en risklisinin seçilmesi olarak tanımlanan sismik senaryo ile depremsel tehlike değerlendirilebilmektedir. Yıkıldıklarında büyük zararlara neden olabilecek baraj gibi projelerde, DSTA sayesinde en olumsuz senaryo görülebilmekte, yer hareketinin tahmininden yararlı sonuçlar sağlanmaktadır (Kramer, 1996). Şekil 3.2' de deterministik sismik tehlike analizinin aşamaları gösterilmiştir. Ancak; DSTA'nın olumsuz yönü, yapı alanını etkileyecek maksimum yer ivmesi değerinin saptanmasında önem arz eden belirsizliklerin gerektiği kadar dikkate alınmamasıdır (Kayabalı, 1995).

Reiter'a (1990) deterministik sismik tehlike analizinin 4 aşamalı bir depremsel senaryo olduğunu vurgulamıştır.



Şekil 3.2 Deterministik sismik tehlike analizinin aşamaları (Kramer,1996)

1. Belirlenmiş proje alanında önemli derecede yer hareketi meydana getirebilecek tüm sismik kaynakların saptanması ve nitelendirilmesi.
2. Her kaynak için alan ile arasındaki mesafe parametresi belirlenir. Çoğu analizde kaynak ile proje sahası arasındaki en kısa uzaklık tercih edilir.
3. En güçlü seviyedeki yer hareketini oluşturması beklenen kontrol depremin seçilmesi çoğunlukla o bölgedeki yer hareketi parametreleri cinsinden açıklanır. 1. basamakta belirlenmiş olan depremlerin, 2. basamakta tercih edilen uzaklıklar için araştırma alanında ürettikleri yer hareketi seviyesi, tanımlanan parametreler cinsinden azalım ilişkilerine dayalı olarak belirlenir.
4. Projenin bulunduğu bölgedeki tehlike belirleyici depremin bölgede oluşturacağı yer hareketi türünden, kesin şekilde ifade edilir. Sismik tehlikeyi değerlendirmede en yaygın olarak kullanılan değişkenler en yüksek ivme, en yüksek hız ve tepki parametreleridir.

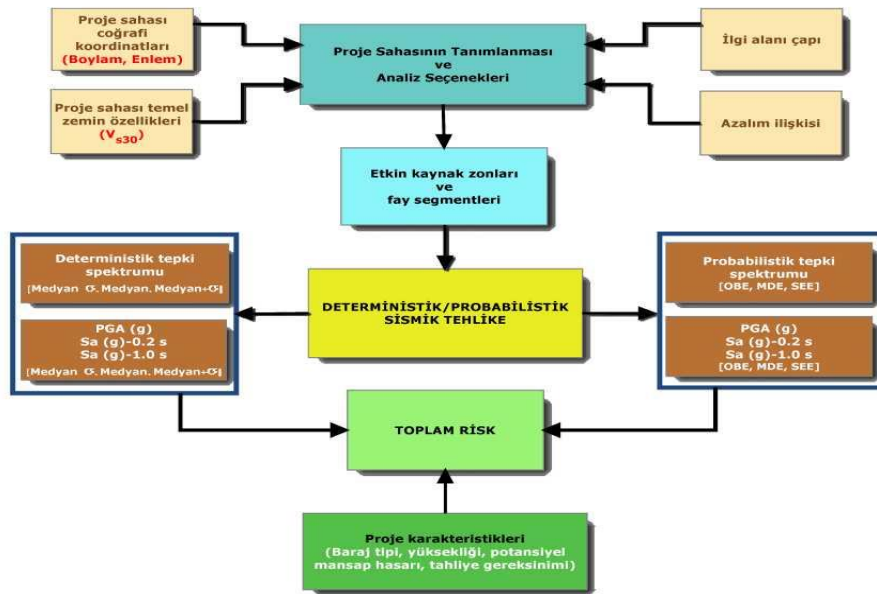
DSTA genellikle probabilistik çalışmanın akabinde yapılmaktadır. Deterministik sismik tehlike analizi neticesinde yer hareketi parametreleri ya da yapay kuvvetli yer hareketi akselerogramları elde edilebilmektedir (Erdik vd., 2003).

DSTA'deki en önemli adım olan potansiyel deprem tehlikesinin belirlenmesi üzerine sismoloji, jeoloji, mühendislik, iktisat gibi alanlarda çalışan bilim insanları kullandıkları yöntemlerin farklı olması nedeniyle ortak kararlar vermede zorluklar yaşamaktadırlar.

Yer hareketi parametresinin değeri ile deterministik sismik tehlike analizleri, sıklıkla asıl değerin % 50 ve/veya % 84 aşılma ihtimallerinin olduğu vaziyete karşılık gelecek şekilde kullanılmalıdır. Fakat yüksek depremsele aktiviteye sahip alanlarda barajlar için spesifik olarak %84 olasılık değeri kullanılması tavsiye edilmektedir (Fraser ve Howard, 2002; Idriss ve Archuleta, 2007).

3.1.3.DAMHA Programı ile bilgisayar destekli çözüm

OGÜ Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde ülkemizdeki su yapılarının deterministik ve probabilistik esasta sismik tehlike analizini ve toplam risk analizini gerçekleştirmek amacıyla DAMHA adlı bir yazılım geliştirilmiştir. DAMHA enformasyon ve analiz bölümlerinden oluşmaktadır. Delphi programlama dili ile yazılan bu programın algoritması Şekil 3.3 (Evren 2009)'de sunulmuştur.

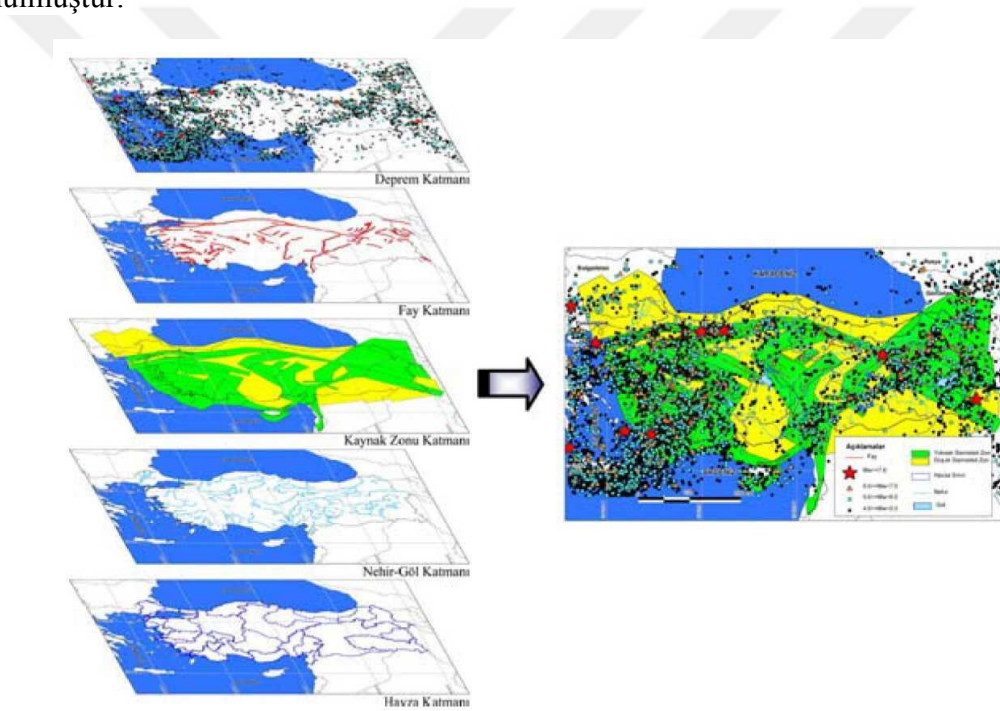


Şekil 3.3 DAMHA akış şeması (Evren 2009)

DAMHA yazılım programında haritalar, deprem kataloğu ve azalım ilişkisi olmak üzere 3 ayrı veri tabanı bulunmaktadır.

Haritalar

Programın veri tabanlarından haritalar; ana harita, deprem haritası, fay haritası, kaynak zonu haritası, nehir ve göl haritalarının MapInfo 8.0 isimli CBS programı kullanılarak birleştirilmesi ile oluşturulur. Toplam 136 fay segmenti ve 33 fay zonunu içeren veri tabanını içerir. Haritaların elde edilme biçimini gösteren görsel Şekil 3.4 de sunulmuştur.



Şekil 3.4 DAMHA tarafından kullanılan altlık haritaların CBS ortamında oluşturulması (Evren 2009)

Deprem kataloğu

Deprem büyüklüğü dörtten büyük olan ($M_w > 4.0$) olan 8 035 adet deprem büyüklüğün zamanı, koordinatları ve derinliği gibi parametre kayıtları Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden (KRDAE) alınarak veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler Enstitüden güncellenerek programa aktarılmaktadır.

Azalım ilişkisi

Programda, sekiz ayrı azalım ilişkisi (Campbell, 1981; Boore vd., 1993; Campbell ve Bozorgnia, 1994; Boore vd., 1997; Gülkan ve Kalkan, 2002; Kalkan ve Gülkan, 2004 ve Ambraseys vd., 2005) “azalım ilişkisi klasörü” içerisinde tanımlanmaktadır. Bunlara bağlı işlem yürütülmektedir.

Analiz Esasları

Baraj projesinin adı ve coğrafi koordinatlarının (boylam, enlem) programa girilmesi ile başlanan süreci takiben, ilgili proje alanının yarıçapı, zemin özellikleri ve tercih edilecek azalım ilişkisi belirlenerek programa veri girişi sağlanmaktadır. Programın temel özelliklerinin ve proje sahasının tanıtılmasından sonra, kullanılacak olan azalım ilişkisinin seçimi yapılırken etki daire alanının temas ettiği kaynak zonları önemle dikkate alınmalıdır. Belirlenen fay zonları ile fay segmentleri çizimi ve fay tipi seçimi yapılmalıdır.

Deterministik analizde kullanılan iki modelden biri olan çizgisel modelde; Hesaplanan maksimum deprem büyüklüğü ile deprem etki alanı ile belirlenen fay segmenti arasındaki minimum mesafe dikkate alınarak yapılmaktadır. Alansal modelde ise hesaplanan maksimum deprem büyüklüğü 0,5 magnitüd arttırılarak deprem etki alanı ile kaynak zonu arasındaki minimum uzaklık dikkate alınmaktadır.

Probabilistik analizde kullanılan üç ayrı modelden çizgisel modelde fay segmentleri ayrı ayrı hesaba katılarak oluşabilecek depremlerin çizgisel fay segmenti üzerinde gerçekleşeceği esasına göre işlem yapmaktadır. Bu modelde fay segmentleri çok küçük çizgisel doğru parçalarına bölündüğünden çok fazla sayıda noktasal deprem kaynağı irdelenmektedir. Alansal modelde ise maksimum deprem büyüklüğünün deprem etki alanının her yerinde deprem oluşma olasılığının eşit olduğu kabulüne dayanır. Kaynak zonu küçük parçalara kapalı poligon oluşturacak şekilde bölünerek yapılan program hesaplarında oluşacak depremin hangi zon alanına düşme olasılığı hesaplanır.

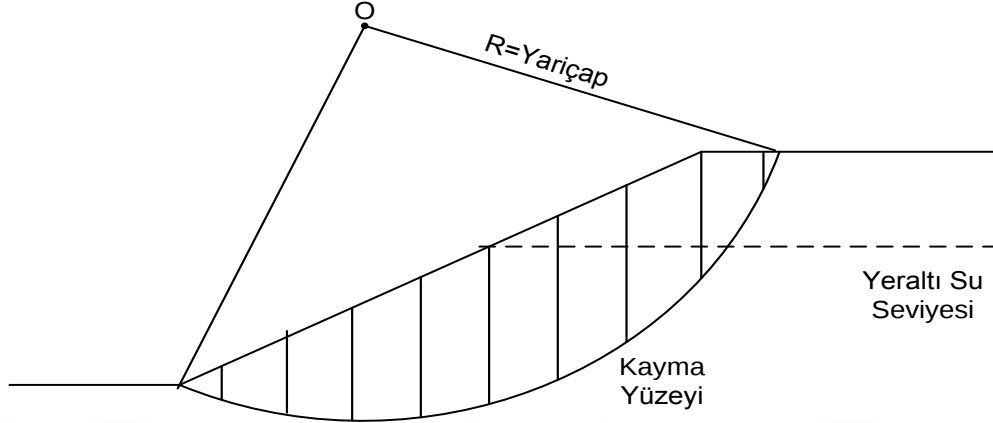
Probabilistik analizlerde adından da anlaşılacağı üzere Çizgisel-alansal modelde deprem kaynakları çizgisel ve alansal olarak birlikte hesaba katılmaktadır. Modelin analizinde alansal model için tahmini bir üst deprem büyüklüğü belirlenmektedir. Belirlenen deprem büyüklüğünün kaynak bölgesinde olabileceği, daha üst düzey büyüklükte bir depremin ise kritik fay segment üzerinde meydana gelebileceği kabulü esasına dayanır. Birçok segmentin varlığı söz konusu ise kritik segment, deterministik analiz ile belirlenir.

3.2 Şev Stabilite Analizleri

Şev ve yamaçların stabilite analizlerinin temel amacı inceleme yapılan kayma riski bulunan kütlenin (şevin) stabilitesini araştırmaktır. Stabilite analizlerinde ilk hedef stabilite yönteminin seçiminden önce, mevcut verilerin doğruluğu ve elde edilme şeklidir. Ayrıca zemin tanımının doğru yapılması çok önemlidir. Şev stabilite analizlerinde limit denge metodu ve bir sonraki konuda anlatacağımız gerilme ve deformasyon davranışlarını temel alan sonlu elemanlar yöntemi olmak üzere 2 türlü analiz yapılmaktadır.

Limit Denge Metodunun amacı zeminin kayma yüzeyi boyunca kuvvet ve moment durumunu analiz etmektir. Basit şekilli kayma yüzeyi kabulü yapılan bu yöntemde, zeminin potansiyel kaymaları hesaplanmaya çalışılır. Genel olarak limit denge metodu esasına dayanan şev stabilite analizlerinde, kuvvet ve moment dengesinin sağlandığı kabulü yapılır. Bu yöntemde tahmini kayma yüzeyi belirlenerek kaymanın bu yüzeyde olacağı kabulü yapılarak stabilite hesabına girilir. Stabilite hesabında kayma oluşturabilecek diğer kayma yüzeylerinin de kayma mukavemeti hesaplanır. Bu şekilde en tehlikeli kayma yüzeyi bulunur. Elde ettiğimiz sonuçlarda elde edilen güvenlik sayısının, şevin yapılış amacına göre tanımlanacak güvenlik katsayısından küçük yada büyük çıkması durumlarına göre şevin stabil olup olmadığı anlaşılır.

Dilimlere ayrılan kütlenin kayma yüzeyine nüfus eden bütün kuvvetler bulunarak, kuvvet dengesi ve moment dengesi hesaplanır (Şekil 3.5). Deterministik yaklaşım olarak da bilinen Limit denge metodunu kullanabilmek için bloğun ağırlığı (W), efektif kohezyon (c), zeminin açısı (θ), boşluk suyu basıncı (u), şevin geometrisi, sismik hareketler, gerilme çatlağının konumu ve dış yüklerin bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 3.5 Bir şevde oluşan kayma yüzeyi ve dilimlerin oluşturulması (potansiyel)

Dilim tabanlarının eğimli olmasına rağmen, Şekil 3.5 'de görüleceği üzere matematiksel hesabın daha rahat yapılabilmesi için doğrusal olduğu kabulü yapılmaktadır. Yeraltı suyu sızmasının olmadığı durumda boşluk suyu basıncının her dilimin orta noktasındaki değere tekabül ettiği kabulü yapılır. Yeraltı suyu sızması durumu oluşması halinde ise analiz için akım ağları kullanılır. Kütle hareketinin ortak olduğu varsayımı sebebiyle tüm dilimler için bir tek güvenlik sayısı hesaplanır.

Dilim ağırlığı hesabı , Denklem 3.1 'de sunulan formül ile hesap edilir.

$$W = \gamma * b * h \quad (3.1)$$

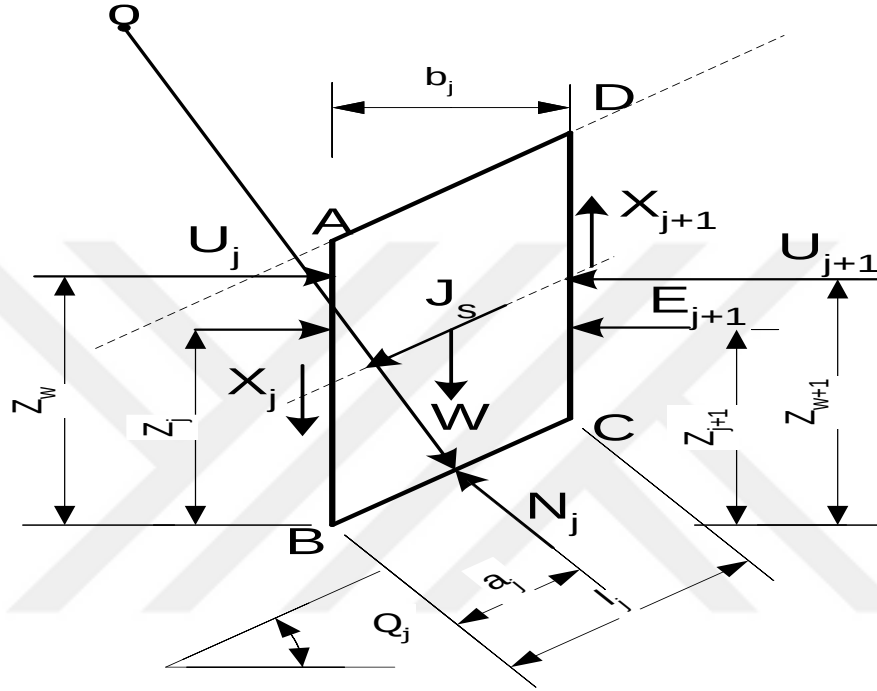
γ : Doygun birim ağırlık

b : Dilimin genişliği

h : Dilim yüksekliği

Şevlerin rasyonel tasarımında güvenlik sayısının etkisi doğru algılanmalıdır. Aslında güvenlik sayısı kavramı, analizde bilinmeyenlere karşı bir tolerans olarak görülmektedir. Genelde yapılan geoteknik araştırmaların kalitesi düştükçe, arzu edilen güvenlik sayısı

değeri yükselir. Özellikle tasarım mühendisinin konuyla ilgili deneyimi sınırlı ise, güvenlik sayısının daha yüksek olması beklenir. Ayrıca ekonomik sınırlamalar içinde düşük bir tolerans ile çalışma talebi de güvenlik sayısını etkilemektedir (Atkinson, 1993).



Şekil 3.6 Bir dilime etkiyen kuvvetler (Budhu, 2000)

Kayma dilimlerinin karşılıklı iki tarafına yüzeye dik etki eden kuvvetler E_1 ve E_2 ve kesme kuvvetleri ise X_1 ve X_2 olarak tanımlanır. Kayma dilimine etkiyen kuvvetler tümü Şekil 3.6'de gösterildiği üzere aşağıdaki gibi tanımlanır.

W_j : tüm dış yükler dahil dilime etkiyen toplam ağırlık

E_j : dilim birincil efektif kuvveti

J_s : dilim sızma kuvveti

N_j : kayma yüzeyi üzerindeki normal efektif kuvvet

T_j : kayma yüzeyindeki hareketli kayma kuvveti

X_j : dilim arası kayma kuvveti

U_j : boşluk suyu basıncının oluşturduğu kuvvet

- z_j : dilime etkiyen yanal efektif kuvvetin yeri
 z_w : boşluk suyu basıncı kuvvetinin yeri
 a_j : kayma yüzeyi üzerindeki normal efektif kuvvetin yeri
 b_j : dilim genişliği
 l_j : dilim kayma yüzeyi uzunluğu
 Q_j : dilim tabanındaki kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı

Kayma dilime etkiyen bütün kuvvetler hesaplandıktan sonra bu kuvvetlerin oluşturduğu kayma dairesine göre moment veya kuvvet dengesi göz önünde bulundurulur.. Dengeni sağlanabilmesi için devirme yönünde hareket eden kuvvetler/devirmeye karşı mukavemet gösteren kuvvetlerin hesabı ile güvenlik sayısı bulunur. Bu güvenlik sayısı belirlenen güvenlik sayısı ile kıyaslanır.

Çoğu sınır denge analizlerinde, kayma dayanımı hesaplandıktan sonra kayma dayanımı büyüklüğü ile kıyaslanır. Genelde, bütün kayma düzleminde güvenlik sayısının değişmediği varsayımı yapılır.

Kayma dayanımı toplam ve efektif gerilmeler;

$$\tau_{\text{req}} = \frac{S_u}{F} \quad (3.2)$$

$$\tau_{\text{req}} = \frac{c'}{F_c} + \frac{\sigma' \tan \phi'}{F_\phi} \quad (3.3)$$

- S_u : Toplam gerilme dayanımı
 c' ve ϕ' : Efektif kayma dayanımı parametreleri
 F : Toplam gerilme için güvenlik sayısı
 F_c ve F_ϕ : efektif gerilmeler için güvenlik sayısı

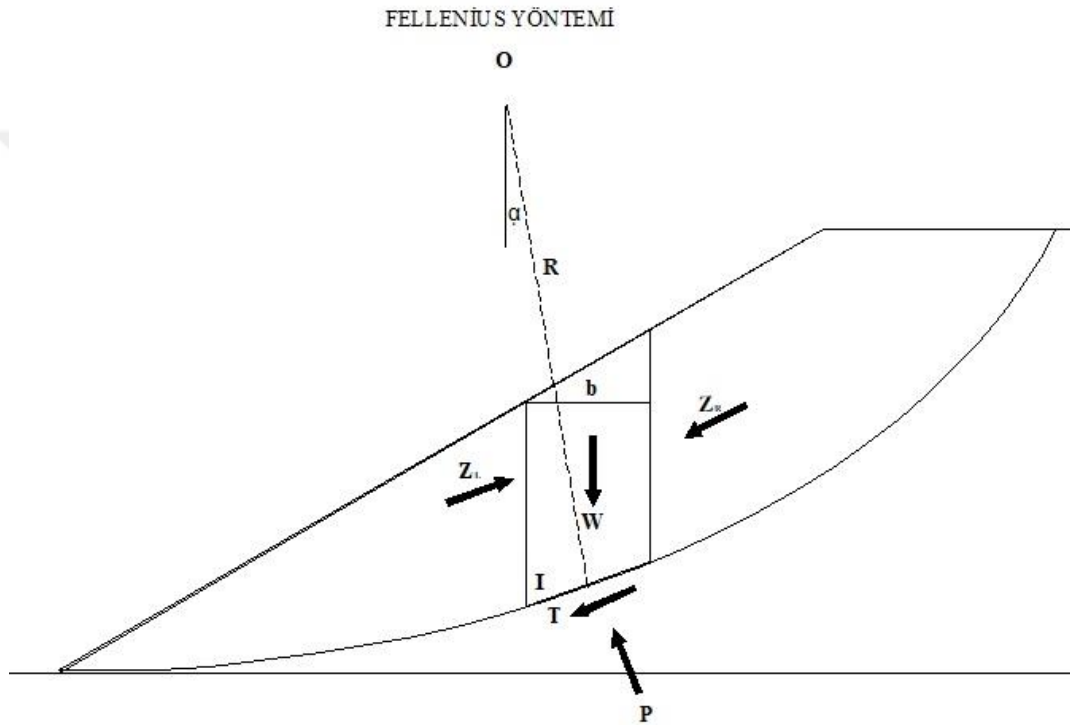
Budhu (2000) tarafından hazırlanan değişik şev stabilite yöntemleri ve bu yöntemlerin esasları Çizelge 3.1 de gösterilmiştir. Dolgu barajların stabilite analizinde bu tabloda verilen yöntemlerden, genellikle İsveç Dilim Yöntemi ile Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi kullanılmaktadır. Burada bu iki yöntemle ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Değişik şev stabilite analiz yöntemleri ve yöntem esasları (Budhu, 2000)

Yöntem	Varsayım	Kayma Tipi	Gerekli Denge Şartı
İsveç Dilim (Fellenius) (1927)	Ara kuvvetlerin toplamı sıfırdır. ($J_s=0$)	Dairesel	Moment
B. Bishop (1955)	E_j ve E_{j+1} eşdeğer, $X_j-X_{j+1}=0$ ve $J_s=0$	Dairesel	Moment
Bishop (1955)	E_j ve E_{j+1} eşdeğer ve $J_s=0$	Dairesel	Moment
Morgenstern-Price (1965)	$X=\lambda f(x)E f(x)\approx 1$ iken $J_s=0$	Herhangi	Tümü
Spencer (1967)	Dilim ara kuvvetleri paraleldir ve $J_s=0$	Herhangi	Tümü
Bell (1968)	Kayma yüzeyinde varsayılan gerilme dağılımı ve $J_s=0$	Herhangi	Tümü
Janbu (1973)	X_j-X_{j+1} bir düzeltme faktörü f_0 dikkate alınır ve $J_s=0$	Lineer olmayan	Düşey
Sarma (1976)	Düşey aradilim kuvvetlerinin dağılımı varsayılmaktadır ve $J_s=0$	Herhangi	Tümü

3.2.1. Fellenius (İsveç dilim) yöntemi

Göçme yüzeyi gerilmelerinin tespitine yönelik yapılan çalışmalarda İsveç Geoteknik Komisyonu ve Fellenius (Fellenius, 1936), kayan kütleli dilimlere ayırarak bir kayma yüzeyi oluşturmayı önermiştir. Bu yöntemle ayrıca "USBR Yöntemi" adı da verilir.



Şekil 3.7 Fellenius yönteminde dilim kuvvetleri ve denge durumu

USBR yönteminde göçmenin O merkezine sahip bir dairesel kayma dairesi boyunca olduğu kabulü yapılır. Bölünen zemin kütlelerine etki eden yatay ve düşey kuvvetlerin eşit olduğu ve dolayısıyla dengede olduğu varsayıldığından bu kuvvetler hesaplarda dikkate alınmaz. O Merkezine göre moment dengesi kurularak güvenlik sayısı hesaplanır. Gelen kuvvet bileşimlerinin dilim tabanına paralel olduğu varsayıldığı bu yöntemde, boşluk suyu basıncı, kayma gerilmesi ve toplam gerilmesi hesaplanır. Bu şekilde kayma dayanımı ve hareketli kayma dayanımı hesabı yapılabilir. Fellenius yöntemine göre dilim kuvvetleri ve denge durumu Şekil 3.7' de gösterilmiştir.

Sistem dışı başka kuvvetler de mevcut ise bu kuvvetlerde dikkate alınmak zorundadır. Dilim metodunda çözüm yaparken etkileşim kuvvetleri ile ilgili bazı kabuller yapıldığı göze alındığında elde edilen değerler yaklaşıktır.

Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu momentlerin birbirini dengeleyeceği ve kayma yüzeyine etkiyen dilimlerin ağırlıklarına bakarak aşağıdaki formülizasyon oluşturulabilir.

$$S = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (3.4)$$

$$\tau = \frac{S}{F} \quad (3.5)$$

$$P = \sigma \cdot l \quad (3.6)$$

$$T = \tau \cdot l \quad (3.7)$$

$$T = \frac{1}{F} (c' \cdot l + (P - u \cdot l) \tan \phi') \quad (3.8)$$

Dilime etkiyen kuvvetleri toplamının dilim tabanına paralel olduğu dikkate alınır;

$$P = W \cdot \cos \alpha \quad (3.9)$$

Göçme dairesi merkezine göre momentlerin dengesi dikkate alınır;

$$\Sigma WR \sin \alpha - \Sigma TR = 0 \quad (3.10)$$

$$\Sigma WR \sin \alpha = \frac{1}{F} (c' \cdot l + (P - u \cdot l) \tan \phi') \cdot R \quad (3.11)$$

$$F_m = \frac{(c' \cdot l + (P - u \cdot l) \tan \phi')}{W \cdot \sin \alpha} \quad (3.12)$$

$$F = \frac{\sum (c' l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.13)$$

Formülasyonda;

W = Dilim ağırlığını

R = Kayma dairesi yarıçapı

α = Dilim taban merkezinin yatayla yaptığı açığı

h = Dilimin ortalama yüksekliği

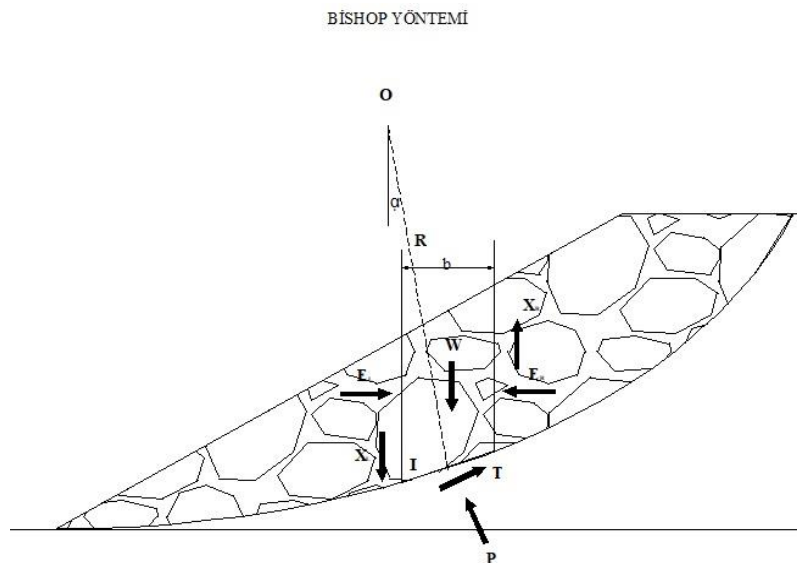
l = Dilim y uzunluğunu gösteren ifadelerdir.

3.2.2. Dönüştürülmüş Bishop yöntemi

Hiperstatik bir yöntem olan Bishop yöntemi, dilim kenarlarına nüfus eden kesme kuvvetleri toplamının sıfır olduğu kabulü üzerine geliştirilmiştir. Öncelikle kayan kütle dilimlere ayrılır. Sonra bütün sistemin güvenlik sayısı hesaplanır. Bu yöntemin, dilim yönteminden farkı efektif gerilmelerin hesaba katılmasıdır.

Bishop yönteminden kuvvetlerin sabit olduğu kabul edilerek "Dönüştürülmüş Bishop yöntemi" geliştirilmiştir. Bu yöntemde güvenlik katsayısının her iki tarafta da yer alıyor olmasından kaynaklı tekrarlayan bir çözümleme gerektirir.

Dönüştürülmüş Bishop Yöntemi dairesel kayma yüzeyinin yanı sıra küresel olmayan kayma yüzeyleri için de çevrim yapılarak kullanılabilir. Bishop yöntemine göre bir dilime etkiyen kuvvetler Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Dönüştürülmüş Bishop yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler.

$X_R - X_L = 0$ kabulü uyarınca;

$$P \cos \alpha + T \sin \alpha = W - (X_R - X_L) \quad (3.14)$$

$$P = \frac{W - \frac{1}{F} (c' l \sin \alpha - u l \tan \phi' \sin \alpha)}{m_\alpha} \quad (3.15)$$

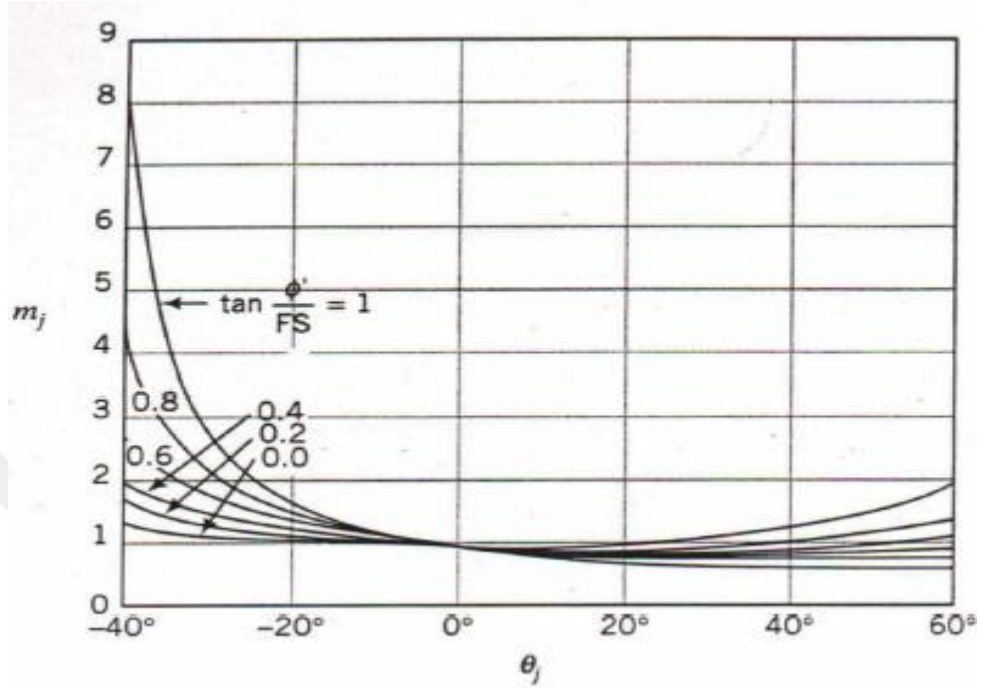
$$m_\alpha = \cos \alpha \left[1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{F} \right] \quad (3.16)$$

$$F_m = \frac{\sum c' l + (P - ul) \tan \phi'}{W \sin \alpha} \quad (3.17)$$

Öncelikle yaklaşık bir güvenlik sayısı belirlenir. Bütün dilimler için ayrı ayrı m_α değeri elde edilir. Buradan elde edilen m_α değerinden güvenlik sayısına ulaşılır. Belirlenen güvenlik sayısı ile ulaştığımız güvenlik sayısı eşitlenene kadar iterasyon işlemi yapılır.

Aynı zamanda Şekil 3.9'da sunulan grafik yardımı ile de m_α parametresine ulaşılabilir.

Bishop yönteminde dilim tabanına etkiyen kuvvetler ile boşluk suyu basıncının momente olan etkisinin olmadığı kabulü yapıldığından, dairesel olmayan kayma şeklerinde kullanılması uygun değildir. Dönüştürülmüş bishop yönteminin Fellenius yönteminden farklarından en önemlisi, efektif normal kuvvetin formülünde yer alan düzeltme faktörüdür.



Şekil 3.9 Bishop Yönteminde kullanılan m_α değeri

3.2.3.STEDwin 2,40/GSTABL7 programı ile bilgisayar destekli çözüm

Dönüştürülmüş Bishop, Basitleştirilmiş Janbu ve Spencer metodu kullanan bu program Purdue Üniversitesi ile FWHA kurumu tarafından yazılımı gerçekleştirilen PCSTABL6-1986 programının geliştirilmiş halidir. GSTABL7 sınır denge koşullarında 2 boyutlu şev stabilite analizi yapabilmekte olup, İngiliz ve SI ölçü sistemleri ile çalışmaktadır.

Program özellikleri

Genel olarak dolgu barajlar için kullanılan bu program, toprak yapıların stabilize analizlerinde büyük kolaylık sağlar. GSTABL7 program analizlerinde kayması muhtemel zemin dairesel-dairesel olmayan veya kayan blok yüzeylerinde tanımlanır. Dönüştürülmüş Bishop ve Basitleştirilmiş Janbu yöntemleri kullanılır. Her kayma yüzeyinde 10 adet kazık olmak üzere toplam analizde maksimum 20 zemin tipi ve 100 zemin profili dikkate alınır.

Şevde maksimum 10 sürşarj ve 10 ayrı piezometrik yüzey tanımlanabilir. Analiz yapılan şevde 40 tabakaya kadar geotekstil ve geogrid donatı elamanları ile Geofam gibi dolgu malzemeleri tanımlanabilir. Anizotropik zeminler, çekme çatlakları ile tabakalanma düzlemleri sistem içerisinde analiz edilebilmektedir. Deprem verileri ve kavitasyon basıncı değerleri ışığında püsödo-statik deprem analizi yapılabilir.

Analiz esasları

GSTABL7 analizlerinde sorunun türüne göre Bishop, Janbu ve Spencer yöntemlerini birlikte veya ayrı ayrı kullanabilmektedir. Kritik kayma yüzeyi hesaplanırken kullanılan dilimlere ait kuvvet ve moment değerlerine ulaşamaz.

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Zemin problemlerinde karmaşık sınır koşullarının belirlenmesi, homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümü, plastisite ve sünme gibi doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi gibi konular için nümerik esasa dayanan sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiştir. Zeinkiewicz (1977), tarafından, matematiksel sürekli problemlerin çözümü için tanımlanan bu yöntem günümüzde yalnız geoteknik anabilim dalında değil, termodinamik, akışkanlar mekaniği gibi mühendisliğin birçok konusunda uygulanabilmektedir.

Deformasyon analizi ile uygulanan yüklerin ve zeminin elastik parametrelerinin dikkate alınması ile bilinmeyen deplasmanlar hesap edilebilir ve elde edilen bu deplasmanlardan uzamalar ve gerilmeler hesaplanabilir. Sonlu elemanlar yönteminde zemin sonlu elemanlara ayrılır ve 2-3 boyutlu analiz yapılabilir. Bu sayede yükleme altında bulunan zeminin gerilmeleri, deplasmanları ve boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir. Sonlu eleman yöntemi ile kayması muhtemel kütlelerin sonlu sayıda küçük parçalar ayırıp bu elemanlar için kuvvet ve deformasyon arasındaki ilişkisi ile kütlelerin statik veya dinamik problemlerini incelenir. Sonlu eleman yöntemi, geometrik bir düzene sahip olmayan zemin kütlelerinin analizi yapılabilir.

Bu yöntemin, sınır denge yöntemlerinden bir diğer farkı olarak kritik kayma dairesinin şekli ve konumuyla ilgili varsayım yapılmamasıdır. Bunun yanında zeminde meydana gelen gerilmeler, yer değiştirmeler, boşluk basınçları ve yeraltı suyu sızıntıları elde edilebilmektedir. (Akçakal, 2009). Ancak tüm bu yöntem ile veri analizlerinin yapılması, hesaplamalar ile sonuçların bulunması, zeminin tanınarak davranışının belirlenmesi uzmanlık isteyen bir iş olduğu için kalifiye teknik personel ve zamana ihtiyaç bulunmaktadır. Modern teknoloji ile gelişen yüksek hızlı bilgisayarlar ile günümüzde sonlu elemanlar analizi için PLAXIS, STR5, QAAD-4, LUSH ve FLUSH gibi birçok özel programlar geliştirilmiştir.

3.2.1 Plaxis Programı ile bilgisayar destekli çözüm

Program özellikleri

Geoteknik Mühendisliği sorunlarının çözümünde sayısal analiz için sonlu elemanlar yöntemi esasına dayanan PLAXIS yazılım programı geliştirilmiştir. Program, grafiksel veri girişini barındıran bir giriş (input) programı, analizlerin yapıldığı bir hesap (calculation) programı, analizlerden grafik çıktı alınmasına olanak sağlayan çıkış (output) programı ve sonuç eğrilerinin çizildiği eğri (curve) programından oluşmaktadır. PLAXIS programı, deformasyon ve stabilite analizleri başta olmak üzere zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme- konsolidasyon, taşıma gücü hesabı, akım ağları hesabı, zemin dinamiği hesabı gibi Geoteknik Mühendisliği konularında çok sağlıklı veriler elde etmemizi sağlar

Analiz esasları

Plaxis Programında Hardening Soil Model (HS), Mohr-Coulomb (MC), Soft Soil Creep Model (SSC) ve Lineer Elastic Modeller üzerinden analiz yapılabilmektedir. Yapılan analizlerde ana yapının kademeli inşaat durumu dikkate alınabilmektedir.

Plaxis programında sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında 6 veya 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Gerilme ve deformasyonların daha sağlıklı bulunabilmesi için 15 düğümlü modelin kullanılması daha doğrudur.

4.DOLGU BARAJ DEPREMSELLİĞİ

Barajlar yüksek risk barındırdığından, proje aşamasında baraj yerleri sismik yönden detaylı incelemeye tabi tutulur. İncelemede maksimum deprem büyüklüğüne ve buna bağlı parametrelere ulaşılması çok önemlidir.

4.1.Sismik Tasarımda Dikkate Alınan Başlıca Faktörler

Baraj alanında yapılacak jeolojik ve sismik araştırma sadece baraj yerine değil projenin yapıldığı bölgeden baraja doğru tümünden gelim şeklinde yapılmalıdır. Geçmiş sismik aktivitelerin aynı bölgede tekrarlanabileceği savından yola çıkılarak; geçmişte yaşanmış depremler, depremin gerçekleştiği sahanın sismik paterninin belirlenmesine çok büyük katkı sunar. Bu amaçla Ülkemizde geçmişte yaşanmış depremlerin merkez üssü koordinatlarını, büyüklüğünü, derinliğini ve gerçekleştirme zamanını içeren deprem kataloglarını, Afet ve Acil Dairesi Başkanlığı ve Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsünden temin etmek mümkündür.

4.2.Analiz İçin Depremlerin Seçimi

Gelecekte olması beklenen maksimum depreme ait deprem parametreleri hakkında çıkarımda bulunmak deterministik veya bir istatistiksel deprem risk analizi ile mümkündür.

Deterministik yöntemde, belirlenen bir sismik kaynaktan oluşabilecek depremler için büyüklük ve uzaklık incelemesi yapılır ve metodolojiye uygun parametreler seçilir. İstatistiksel sismik tehlike değerlendirmesi ise kaynak bölgesinde kayda giren en düşük büyüklük değerinden ($M=4$ veya $M=5$) büyük depremlerin, değerlendirmeye tabi tutulması esasına dayanır.

Bir yapının tasarımı için, deprem hareket seviyelerinin tahmininde kullanılacak değişik depremlerin tanımlanması amacıyla yapılan çalışmaların birçoğunda deprem seçimi konusunda ICOLD (1989) 'un yapmış olduğu tavsiyelere uyulmaktadır.

MCE (En büyük güvenilir deprem)

Tanımlanan deprem kaynak bölgesi içerisinde bulunan bir fay boyunca veya kaynak bölgesinde oluşma ihtimali olan büyük depremdir.

CMCE (Kontrol eden en büyük güvenilir deprem)

Baraj yapısına eden eden tüm MCE' lerin en kritik olanıdır.

MDE (En büyük tasarım depremi)

Barajın beklenen deprem yüklerine göre proje tasarımında kullanılan depremin en büyük seviyesidir. Can ve mal kaybına sebep olacak barajlarda en büyük tasarım depremi kontrol eden en büyük güvenilir deprem büyüklüğüne eşit ($MDE=CMCE$) kabul edilerek projelendirilir. Hasara ve can kaybı riski barındırmıyorsa en büyük tasarım depremi kontrol eden en büyük güvenilir deprem büyüklüğünden daha düşük büyüklükte bir depreme göre projelendirilir.

OBE (İşletme esaslı depremler)

Baraj tasarımında barajın 100 yıllık ekonomik ömründe %50 aşılma riskini barındıran deprem seviyesi olarak tanımlanır. İşletme esaslı istatistiksel yöntemler ile belirlenir.

RIE (Rezervuarın yarattığı deprem)

Baraj Rezervuarlarında bulunan rezervuar memba suyunun ani su dolması ve düşmesinin nedenleri ile oluşabilecek depremin en büyük seviyesini olarak tanımlanır. Yüksekliği 100 m' den büyük ve büyük rezervuar hacmine ($>500 \text{ hm}^3$) sahip barajlarla Baraj Rezervuarının yarattığı deprem (RIE) önemle dikkate alınmalıdır.

4.3. Pik Yer Hareketi Parametreleri

Pik yer ivmesi (PGA); baraj analizinde deprem değerlendirme parametrelerinin tanımlanması için en sık kullanılan parametre verilerindendir.

Yer hareketi; ivme, hız ve deplasman değerlerinin pik ve efektif değerleri ile karakterize edilir. Azalım ilişkileri olarak bilinen ampirik bağıntılar; yer hareketi parametrelerinin, enerji boşalım kaynağından uzaklığı ve deprem büyüklüğünü ilişkilendirir. Bu eşitlikler; özellikle yakın ilgi alanında uzaklığın ve büyüklüğün tahmininde hassas sonuçlar verir.

Pik yer ivmesi (PGA); tahmin edilmesindeki bazı eksikliklere rağmen, baraj alanında sismik parametrelerin tanımlanabilmesi için en sık kullanılan elemandır. Bu parametreyi doğru tahmin edebilme amacıyla son yıllarda birçok azalım eşitlikleri geliştirilmiştir. (Tosun 2002)

Erdik vd., (2006) ise, 1999 Marmara depremi verilerine bağlı olarak geliştirilmiş Özbey, et al., (2004) azalım ilişkisinin tek bir depreme bağlı olması sebebi ile sadece o depremin özelliklerini yansıttığını ve diğer azalım ilişkilerinin çok daha altında değerlere sebep olduğunu vurgulamıştır.

Bu tez kapsamında yukarıda anlatılan vurgular nedeni ile gerek yurt dışı gerekse yurt içinde geliştirilen ve aşağıda bahsedilecek sekiz azalım ilişkisinden beş ayrı azalım ilişkisi kullanılacaktır.

Campbell (1981)

Batı Amerika'da kırım zonuna 50 km mesafede kaydedilmiş magnetüdü 5.0 - 7.7 arasında belirlenen 27 depreme ait 116 yatay ivme değerlendirilerek geliştirilen azalım ilişkisi bağıntısı Denklem 4.1 ile verilmektedir.

$$PGA = 0.0185e^{1.28M} (R + 0.147e^{0.732M})^{-1.75} \quad (4.1)$$

PGA: Yer çekimi ivmesi (g) esasında maksimum yatay yer ivmesi

M: Richter ölçeğinde deprem büyüklüğü

R: Kırılma zonuna olan mesafe (km)

Boore, vd., (1993)

Büyüklüğü 5.0 - 7.7 arasında belirlenen Kuzey Amerika depremlerine ait kayıtları değerlendirilerek geliştirilen ve yerel zemin durumunu da dikkate alan bu azalım ilişkisi bağıntısı Denklem 4.2 'de sunulmaktadır.

$$\text{Log} Y = b_1 + b_2 (M - 6) + b_3 (M - 6)^2 + b_4 R + b_5 \log R + b_6 G_B + b_7 G_c \quad (4.2)$$

Y = Spektral ivme (g)

M = Moment deprem büyüklüğü

$$r = \sqrt{d^2 + h^2} \text{ (km)}$$

d = Yüzey kırığına en yakın mesafe (km)

$V_{s,30} > 750$ m/s ise $G_B = 0$ ve $G_C = 0$, $360 < V_{s,30} \leq 750$ m/s ise $G_B = 1$ ve $G_C = 0$, $180 < V_{s,30} \leq 360$ m/s ise $G_B = 0$ ve $G_C = 1$ 'dir. Azalım ilişkisine ait diğer katsayılar Çizelge 4.1 'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Boore vd., (1993) azalım ilişkisine ait katsayılar

Periyot	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	h (km)
0.000	-0.038	0.216	0.000	0.000	-0.777	0.158	0.254	5.480

Campbell ve Bozorgnia (1994)

Campbell ve Bozorgnia; 1994 yılında tüm dünyada deprem magnetüdü 4.7 - 8.1 arasında olan depremlerin akselerogramları baz alarak ve gerek fay çeşidinin gerekse yerel zemin durumunun etkisini göz önüne alarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir (Denklem 4.3).

$$\begin{aligned} \ln A_H = & -3.512 + 0.904M - 1.328 \ln \sqrt{\{R^2 + [0.149 \exp(0.647M)]^2\}} \\ & + (1.125 - 0.112 \ln R - 0.0957M)F + (0.440 - 0.171 \ln R)S_{SR} \\ & + (0.405 - 0.222 \ln R)S_{HR} \end{aligned} \quad (4.3)$$

A_H = Maksimum yatay yer ivmesi (g)

R = Sismik yırtılmaya en yakın mesafe (km)

Sert kaya için $S_{SR} = 0$ ve $S_{HR} = 1$; yumuşak kaya için $S_{SR} = 1$ ve $S_{HR} = 0$ alüvyon için ise $S_{SR} = 0$ ve $S_{HR} = 0$ alınacaktır. F ise faylanma türünü gösteren bir katsayı olup doğrultu atım ve normal faylanma için 0; ters, ters-verrev ve bindirme türü faylanma için 1 değerine sahiptir.

Ambraseys (1995)

Ambraseys (1995); Avrupa ve Ortadoğu’da oluşmuş ve magnetüdü 4.0 - 7.3 arasında değişen depremleri baz alarak en büyük yer ivmesinin tahmini için çalışmalar neticesinde Denklem 4.4 ‘deki bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntıda odak derinliği hesaba katılmamıştır.

)

$$\log(a_h) = -1.09 + 0.238M - 0.00050r - \log(r) \quad (4.4)$$

a_h = Maksimum yatay yer ivmesi (g)

M = Yüzey dalgası esasında deprem magnetüdü

$$r = \sqrt{d^2 + 6.0^2} \text{ (km)}$$

d = Kaynak uzaklığı (km)

Boore, et al., (1993) tarafından faylanma türü ve yerel zemin durumlarındaki kayma dalga hızları göz önünde bulundurarak yeniden değerlendirilmiştir (Denklem 4.5).

$$\ln Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln \frac{V_s}{V_A} \quad (4.5)$$

Y = Spektral ivme (g)

M = Moment esasında deprem büyüklüğü

$$r = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2} \text{ (km)}$$

r_{jb} = Joyner-Boore mesafesi (km)

V_s = Üst 30.0 m'deki ortalama kayma dalga hızı (m/s)

“ b_1 ” katsayısı; doğrultu atımlı faylarda -0,313, ters faylarda -0,117 ve mekanizması belli olmayan faylarda -0,242 değeri alınır. Diğer katsayılar aşağıda sunulmuştur. (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Boore, vd., (1997) azalım ilişkisine ait katsayılar

Periyot	b_2	b_3	b_5	b_v	V_A (m/s)	h (km)
0.000	0.527	0.000	-0.778	-0.371	1396	5.570

1976-1999 yılları arasında ülkemizde gerçekleşmiş 19 depreme ait 93 yatay ivme kullanılarak ve Boore, et al., (1997) azalım ilişkisinin genel şekli baz alınarak geliştirilen bağıntı, Denklem 4.6'da, ve bu ilişkiye ait katsayıların değerleri ise Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

$$\ln Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln \frac{V_s}{V_A} \quad (4.6)$$

Y = Spektral ivme (g)

M = Moment esasında deprem büyüklüğü

$$r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2} \text{ (km)}$$

r_{cl} = En yakın yatay mesafe (km)

V_s = Üst 30.0 m'deki ortalama kayma dalga hızı (m/s)

Çizelge 4.3. Gülkan and Kalkan (2002) azalım ilişkisine ait katsayılar

Periyot	b_1	b_2	b_3	b_5	b_v	V_A (m/s)	h (km)
0.000	-0.682	0.253	0.036	-0.562	-0.297	1381	4.480

Kalkan ve Gülkan (2004a)

Kalkan ve Gülkan (2004a) tarafından, ülkemizde 1976-2003 yılları arasında gerçekleşmiş, 250 km'lik bir mesafede kaydedilmiş, magnetüdü 4.0 - 7.4 arasında değişen 57 depreme ait 223 ivme kaydı kullanılarak Denklem 4.7 'de sunulan bağıntı geliştirilmiştir. Bağıntıya ait katsayı değerleri Çizelge 4.4'de sunulmaktadır.

$$\ln Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln \frac{V_s}{V_A} \quad (4.7)$$

Y = Spektral ivme (g)

M = Moment esasında deprem büyüklüğü

$$r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2} \text{ (km)}$$

r_{cl} = En yakın yatay mesafe (km)

V_s = Üst 30.0 m deki ortalama kayma dalga hızı (m/s)

Çizelge 4.4. Kalkan and Gülkan (2004) azalım ilişkisine ait katsayılar

Periyot	b ₁	b ₂	b ₃	b ₅	b _V	V _A (m/s)	h (km)
0.000	0.393	0.576	-0.107	-0.899	-0.200	1112	6.910

Ambraseys, vd., (2005)

Avrupa’da ve Ortadoğu’da 1973-2003 yılları arasında gerçekleşmiş depremlerden en çok 100 km mesafede kaydedilmiş ve magnetüdü 5.0 - 7.6 arasında değişen 135 deprem verileri irdelenmiş, faylanma türü ve yerel zemin durumları da göz önüne alınarak Denklem 4.8 geliştirilmiştir. Denkleme ait katsayı değerleri Çizelge 4.5 ‘de gösterilmiştir.

$$\log Y = a_1 + a_2 M_w + (a_3 + a_4 M_w) \log \sqrt{d^5 + a_5^2} + a_6 S_5 + a_7 S_A + a_8 F_N + a_9 F_T + a_{10} F_0 \quad (4.8)$$

Y = Spektral ivme (g)

M_w = Moment esasında deprem büyüklüğü

d = Joyner-Boore mesafesi (km)

Çizelge 4.5. Ambraseys, vd., (2005) azalım ilişkisine ait katsayılar

Periyot	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀
0.0000	2.522	-0.142	-3.184	0.314	7.6	0.137	0.0050	-0.084	0.062	0.044

Gevşek zeminler için S_S = 1 diğer koşullar için 0; sıkı zeminlerde için S_A=1 diğer koşullar için 0 olacak şekilde yerel zemin koşullarının etkisi dikkate alınmıştır. Denklemden faylanma etkisini ise; normal faylar için F_N=1 diğer tipler için 0, bindirme tipi faylar için F_T=1 iken diğerleri için 0, ve fay tipi bilinmeyenler için ise F₀=1 değerleri kullanılmıştır.

PGA’ya ait bir eşitliği kullanmak yerine değişik eşitlikler kullanılarak bulunan ortalama değerlerin kullanımı daha uygundur (Tosun, 2002).

4.4.Sismik Değerlendirme Parametrelerinin Seçimini Etkileyen Faktörler

4.4.1.Belli alanların sismik tehlike oranlarının etkisi

Barajların sismik tehlikesi pik zemin ivmesi (PGA) ve baraj bölgesinde bulunan aktif faylar göz önünde bulundurularak belirlenir. Baraj tipi değerlendirilmeden, baraj alanının sismik tehlikesini belirlemek için ICOLD, 1989 'un hazırlamış olduğu Çizelge 4.6 kullanılabilir.

Çizelge 4.6 Baraj tipine bağlı olmaksızın baraj yeri sismik tehlike oranı (ICOLD, 1989)

Zemin Şartları	Tehlike Sınıfı (Tehlike Oranı)
$PGA < 0.10g$	I (Düşük)
$0.10 < PGA < 0.25g$	II (Orta)
$PGA > 0.25g$ (*) (Baraj yerinin 10 km yakınında aktif fay yok ise)	III (Yüksek)
$PGA > 0.25g$ (Baraj yerinin 10 km yakınında aktif fay var ise)	IV(Çok Yüksek)

(*)PGA : En Büyük Yer İvmesi.

ICOLD (1989)'un hazırlamış olduğu Çizelge 4.6'e göre;

- I.Tehlike sınıfı içindeki baraj sahasında yasanmış tecrübelerle göre, MDE büyüklüğündeki bir deprem gerçekleşmesi durumunda barajın hasar görmesi beklenilmemektedir. MDE' ye göre yapılacak değerlendirmede işletme esaslı (OBE) veya rezervuar kaynaklı (RIE) oluşabilecek depremler dikkate alınmayabilir.
- II.Tehlike sınıfı içindeki sahalarda yapılacak barajlar MDE büyüklüğündeki bir depreme dayanıklı olmalıdır. İşletme esaslı oluşabilecek deprem (OBE) göz ardı edilebilir.
- III.Tehlike sınıfı içindeki sahalar içinde yapılacak barajlarda MDE, OBE veya RIE' nin ayrı olarak önemle irdelenmesi gerekmektedir.
- IV.Tehlike sınıfı içinde yer alan alanlar için III.Tehlike sınıfı içindeki sahalarda olduğu gibi MDE, OBE, RIE 'ye göre detaylı analiz yapılarak potansiyel kritik koşullarının önemle irdelenmesi esastır.

4.4.2. Toplam risk analizi

Yerleşim yerleri yakınına inşa edilen baraj ve rezervuarlar, mansaptaki doğal habitat için potansiyel riske oluşturur. Bu yüzden, barajlar ve yardımcı yapılar, risk oranı ve baraj yerinin sismik tehlike oranına ilişkili olacak şekliyle tehlike sınıflama sistemini dikkate alarak sınıflandırılmalıdır. Sismik tehlike ve risk oranı genellikle ayrı olarak tanımlanmaktadır. (ICOLD, 1989). Günümüzde, bu iki faktör baraj yapılarının toplam riskini tespit etmek için birlikte kullanılmaktadır (Bureau, 2003).

4.4.2.1 ICOLD yöntemi

Barajlar yapısal ve sosyo-ekonomik sonuçlar doğuran büyük ölçekte risk barındırırlar. Yapısal etkiler barajın rezervuar depolama alanı ile barajın yüksekliği ile ilişkilidir. Sosyo-ekonomik etkiler ise tehlike anında tahliye edilecek insan sayısı ve mansap bölgesi sonrası oluşabilecek maddi hasarla ilişkilidir. Nicel bir risk olan potansiyel riskin tanımlanması için, çeşitli ülkeler tarafından kendi şartlarına göre çeşitli ayırım yöntemleri geliştirmişlerdir. Fakat ICOLD, 1989 tarafından geliştirilen tanımlama ve değerlendirme genel anlamda geoteknik bilimciler tarafından tercih edilmektedir. (Tosun, 2002).

ICOLD, 1989 un hazırlamış olduğu Çizelge 4.7 'de, risk faktörlerinden kapasite, yükseklik, tahliye gereksinimleri, potansiyel mansap hasarlarının durumuna göre risk faktörü derecelendirilmesi gösterilmiştir.

Barajın toplam risk faktörü Denklem 4.11'de sunulan risk faktörlerine göre Çizelge 4.7 'den hesaplanır. Hesaplanan değer Çizelge 4.8 'deki değerler ile karşılaştırılarak risk sınıfı belirlenir.

$$\text{Toplam Risk Faktörü} = \text{Risk Faktörü (kapasite)} + \text{Risk Faktörü (yükseklik)} + \text{Risk Faktörü (boşaltma gereksinimleri)} + \text{Risk Faktörü (potansiyel mansap hasarı)} \quad (4.9)$$

Çizelge 4.7 Baraj karakteristikleri ve sosyo-ekonomik etkilerden oluşan toplam risk değerleri (ICOLD, 1989)

Baraj Karakteristiği	Risk Faktörü			
	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Kapasite (hm ³)	>120 (6)	120-1 (4)	1-0.1(2)	<0.1(0)
Yükseklik (m)	>45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15(0)
Tahliye Gereksinimleri (İnsan Sayısı)	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	Yok (0)
Potansiyel Mansap Hasarı	Yüksek (12)	Orta (8)	Düşük (4)	Yok (0)

Çizelge 4.8 Hesaplanmış toplam risk faktörüne bağlı olarak barajın risk sınıfı (ICOLD, 1989)

Toplam Risk Faktörü	Risk Sınıfı (Risk Oranı)
(0-6)	I (Düşük)
(7-18)	II (Orta)
(19-30)	III (Yüksek)
(31-36)	IV (Çok Yüksek)

Barajın risk sınıflaması; sismik değerlendirme parametrelerinin seçimi için gereklidir. Yüksek risk barındıran barajlarda yapılacak değerlendirmede hata payının ve bilinmeyen öğelerin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Yüksek riskli barajlar için ivme-zaman tarihçesinin kullanılarak detaylı bir analiz yöntemi geliştirilmesi lazımdır. Düşük veya orta seviye riskli barajlarda ise pik zemin hareketi parametreleri veya respons spektrumu değerleri ile işlem yapan daha kolay değerlendirme yöntemleri uygulanabilir.

4.4.2.2 Bureau yöntemi

Bureau and Ballantine, (2002) tarafından önerilen baraj güvenliğinin analiz edildiği Bureau yönteminde, baraj tipi, rezervuar kapasitesi, baraj yüksekliği, sismik hassasiyet ve mansap risk faktörü tek tek değerlendirmeye tabi tutularak toplam risk faktörü elde edilir. Bureau (2003), baraj tehlike faktörünün bulunması için bir sınıflama kartı önermiştir. Sismik hassasiyeti bulabilmek için ise baraj tipine bağlı bir değerlendirme metodu geliştirmiştir.

Yapısal etki

Yapısal etki yaş risk faktörü (ARF) kapasite risk faktörü (CRF) ve yükseklik risk faktörü (HRF)’nün toplanmasıyla bulunur. CRF ve HRF taşkın riski barındıran büyük rezervuarlı veya yüksek barajlarda önemlidir. ARF ise muhtemel bozulma, bakımsızlık, eski inşaat teknikleri, yetersiz kompaksiyon, rezervuardaki siltasyon veya yetersiz temel sistemi gibi nedenlerden kaynaklı eski barajların yeni barajlara oranla daha hassas olduğunu işaret etmektedir (Bureau, 2003).

Bureau metoduna göre kapasite ve yükseklik risk faktörleri Çizelge 4.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 Bureau metoduna göre baraj boyutuna bağlı risk faktörü

Risk faktörü	Toplam risk faktörüne katkı			
	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Kapasite risk faktörü, CRF (hm ³)	>62 (6)	62-1.25 (4)	1.25-0.125 (2)	<0.125 (0)
Yükseklik risk faktörü , HRF (m)	>25 (6)	25-12 (4)	12-6 (2)	<6.0 (1)

Bureau metoduna göre yaş risk faktörü Çizelge 4.10’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. Bureau metoduna göre yaş risk faktörü

Risk faktörü	Baraj Tamamlanma Yılı					
	<1900	1900-1925	1925-1950	1950-1975	1975-2000	>2000
Yaş risk faktörü, ARF	6	5	4	3	2	1

Mansap hasarı etkisi

Bureau metodunda, mansaptaki canlı habitatı üzerinden bulunan riski tanımlayan mansap tehlike faktörü (DHF) Denklem 4.10’dan bulunmaktadır. Denklem 4.10 da “ERF” tahliye ihtiyacı için risk faktörünü, “DRI” ise mansap hasarı risk faktörü olarak tanımlanmaktadır.

$$DHF = ERF + DRI \quad (4.10)$$

Tahliye ihtiyacı için risk faktörü, mansap arkasındaki tehlikeli altındaki insan sayısına bağlı bir değer iken, mansap hasarı risk faktörü ise taşkın ihtimali bulunan alan içerisinde yer alan devlet arazisi ile özel, ticari, endüstriyel araziler ile ilişkilidir.

Bureau (2003), bu faktörlerin her yeni bilgi ile birlikte, baraj onarıldığında veya iyileştirildiğinde mansap tehlike faktörünün güncellenmesini sağlamak üzere, detaylı baraj yırtılması, taşkın haritaları ve ekonomik çalışmalar ile elde edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Konu ile ilgili değerler Çizelge 4.11 'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.11. Bureau metoduna göre mansap risk faktörü

Risk faktörü	Toplam risk faktörüne katkı			
	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Tahliye gereksinimi, ERF (insan sayısı)	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (1)
Mansap hasarı risk indeksi, DRI	Yüksek (12)	Orta (8)	Düşük (4)	Yok (1)

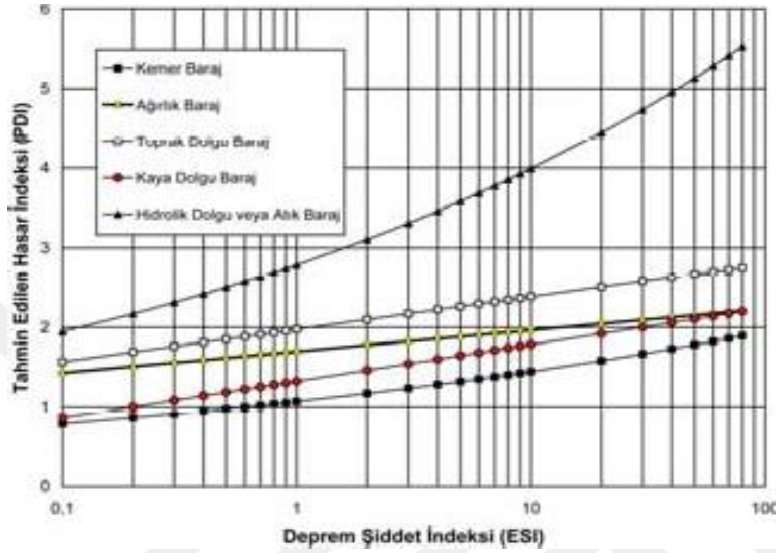
Mansap koşullarını belirlemek için çok detaylı çalışma yapmanın imkanı olmadığı durumlarda, mansap tehlike faktörünün tanımlanması için ABD Ulusal Baraj Envanterinden yararlanılır. (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. ABD ulusal baraj envanterine dayalı mansap tehlike faktörü

Potansiyel risk oranı	İnsan kaybı	Ekonomik, çevresel kayıplar	Mansap tehlike faktörü (DHF)
Düşük	Beklenmiyor	Düşük, genellikle sahibinin arazisi ile sınırlı	2
Orta	Beklenmiyor	Evet	12
Yüksek	Muhtemelen, bir veya daha fazla bekleniyor	Evet veya muhtemelen. Fakat kesinlikle gerekli değil.	24

Sismik hassasiyet oranı

Bureau ve Ballentine (2002) tarafından bir barajın sismik hassasiyet oranını bulabilmek için eğriler geliştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Farklı baraj tipleri için tahmin edilen hasar indeksi

Bu eğriler, tahmin edilen hasar indeksi (PDI) ile Denklem 4.11’de verilen deprem şiddet indeksi (ESI) kullanılarak çizilmiştir. Daha doğru sonuçlar için moment büyüklüğü kullanılmalıdır.

$$ESI = PGA \times (M - 4.5)^3 \quad (4.11)$$

İlgili denklemde;

PGA: maksimum yer ivmesi

M: Richter veya moment büyüklüğüdür.

Denklem 4.12 ‘de ise tahmin edilen hasar faktörü (PDF) hesap edilmektedir.

$$PDF = 2.5 \times PDI \quad (4.12)$$

Toplam risk faktörü (TRF)

Toplam risk faktörü (TRF) yukarıda hesaplamış olduğumuz faktörler kullanılarak Denklem 4.15'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$TRF = [(CRF+HRF+ARF)+DHF] \times PDF \quad (4.13)$$

Toplam risk faktörünü takiben barajlar, Çizelge 4.13'de verilen esasa göre derecelendirilmekte ve risk sınıfı atanmaktadır.

Çizelge 4.13. Baraj risk sınıfı tanımlamaları (Bureau, 2003)

Toplam risk faktörü (TRF)	Risk Sınıfı
(2 –25)	I (Düşük)
(25-125)	II (Orta)
(125-250)	III (Yüksek)
>250	IV (Çok yüksek)

Bureau (2003), risk sınıflama sisteminin, baraj güvenliği çalışanlarının uygun sismik değerlendirme parametreleri seçmeleri için bir rehber olacağını ve en riskli barajların güvenlik analizlerinde öncelik sağlayacağını belirtmiştir.

5. UYGULAMA:KIBRIS BARAJI

5.1. Baraj Özellikleri

Kıbrıs barajı, Türkiye'nin Batı Akdeniz Havzası içinde Antalya-Kaş ilçesi yakınlarında ve Kıbrıs çayı üzerinde “zonlu toprak dolgu” tipinde tasarlanmıştır. Baraj, talvegden 62.2 m yüksekliğe sahip olup rezervuar kapasitesi 38.96 hm³ ve kret uzunluğu 340 m'dir (Çizelge 5.1). Esas dolgunun inşaatına 2017 yılında başlanmış olup halen inşaat devam etmektedir. Çok amaçlı olarak projelendirilmiş Kıbrıs barajı, 3.517 ha alanın sulanması ve mansaptaki yaşamın taşkınlardan korunması amaçlarına sahiptir. Gelecekte bölgenin içme ve kullanma suyu temini için kullanılabilecektir.

Çizelge 5.1 Kıbrıs barajı özellikleri

Özelik	Değer
Havza	Batı Akdeniz
Nehir	Kıbrıs
Yer	Güney-batı Anadolu
Tamamlanma yılı	İnşaat Halinde
Tipi	Toprak dolgu
Amaç	Sulama
Dolgu hacmi	2 717 753 m ³
Kret uzunluğu	340 m
Yükseklik (talveg)	62.2 m
Şev Eğimleri	
- Mansap	2.5/1 (Yatay/Düşey)
- Memba	3.0/1 (Yatay/Düşey)
Kret Seviyesi	317.2 m
Normal Su Seviyesi	313.6 m
Reservuar Alanı	1.99 km ²
Toplam rezervuar kapasitesi	38.96 hm ³
Aktif rezervuar kapasitesi	4.53 hm ³
Sulama Alanı	3 517 ha

Kıbrıs barajı merkezi kil çekirdekli zonlu toprak dolgu tipinde projelendirilmiştir. Dolgu esas itibariyle merkezde geçirimsiz kil ile kabuk olarak tasarlanan kumlu çakıl malzemeden oluşmaktadır. Dolgudaki kil ve geçirimli zon arasında kum malzemeden oluşan filtre mevcuttur. Esas dolgunun eğimleri memba için 3.0H: 1V ve mansap için 2.5H: 1V olarak projelendirilmiştir. Merkezdeki kil çekirdeğin eğimleri daha dik olup memba ve

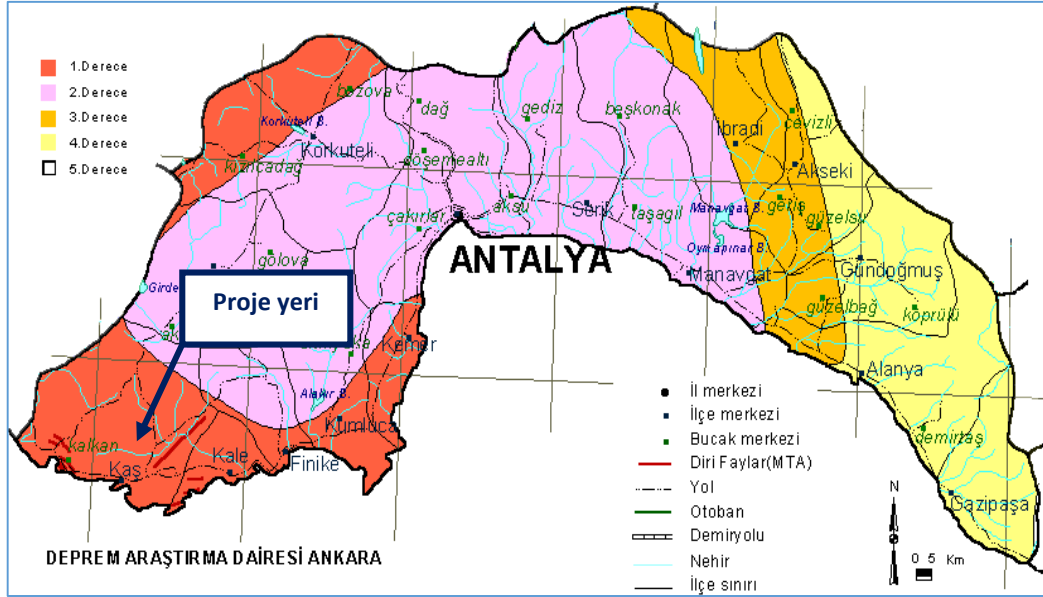
mansapta aynı değere sahiptir (1H: 1V). Dolgunun esas elamanı geçirimli kumlu çakıl malzemeden oluşmaktadır. Bu malzeme aşınma ve don direnci yönünden uygun değerlere sahiptir. Merkezi kil çekirdek malzemenin Likit Limit (LL) ve Plastisite İndisi (PI) değerleri sırasıyla 42 ve 20 değerlerine sahiptir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine göre “düşük plastisiteli kil” olarak sınıflandırılmıştır. Mansap sevi daha iri taneli malzeme ile kaplanmıştır. Nehir yatağında bulunan ve kum, çakıl ve killi silt malzemenin karışımında oluşan alüvyon Zemin, dolgu başlamadan önce kaldırılmıştır.

5.2. Kıbrıs Kasaba Barajının Toplam Risk ve Sismik Tehlike Analiz Sonuçları

Baraj yeri sismik tehlike analizi iki ayrı model dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Birinci modelde konvansiyel ülke sismo-tektonik haritası dikkate alınmıştır. İkinci modelde ise, güncellenmiş yeni model esasında çözüm üretilmiştir. Baraj yeri ve yapı karakteristiklerine göre baraj toplam riski iki ayrı yöntemle yapılmıştır (ICOLD, 1989; Bureau, 2003).

5.2.1. Sismo-tektonik yapı ve sismik tarihçe

Kıbrıs Baraj yeri; 8 nolu Batı Akdeniz havzasında bulunmakta olup Antalya İli içindedir. Baraj Aks yeri, Kaş ilçe merkezinin 15 Km kuzeyinde ve Kıbrıs Deresi üzerindedir (36°20' 31.27" Kuzey ve 29°43' 27.51" Doğu). Bu bölümde konvansiyonel model dikkate alınarak, sulama amaçlı olarak kullanılması planlanan bu barajın temel zeminde oluşacak deprem karakteristikleri belirlenerek baraj temel birimlerine ait uygun deprem parametrelerinin seçimi yapılmaktadır. Baraj gölet yeri için dinamik modelde dikkate alınacak deprem büyüklükleri, deprem karakteristikleri ve maksimum yer ivmesi değerleri çıkarımda bulunmaktadır. Barajın bulunduğu bölge, eski ve yeni Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarında, 1.derece deprem bölgesinde kalmaktadır. (Şekil 5.1). Deprem kaynak bölgesinde 100 yıllık periyod içinde magnetüdü (M_w) 4.0'den büyük 1013 adet deprem meydana gelmiştir. Deprem kaynak bölgesinde magnetüdü 5.5 ve 5.5'dan büyük 71, magnetüdü (M_w) 6.5'den büyük 1 adet deprem meydana gelmiştir. Fakat kritik zon göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapıldığında deprem sayısı, oldukça yüksektir. Baraj sahasının güneyinin aktif bir sismo-tektonik yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bölgede meydana gelen ve deprem magnetüdü (M_w) 5.5 ve 5.5'den büyük depremlerin listesi, Çizelge 5.2'de sunulmaktadır.



Şekil 5.1 Gölet yerini ihtiva eden eski deprem bölge haritası

Çizelge 5.2 Bölgede oluşan ve büyüklüğü (Mw) 5.5 ve daha büyük depremlerin listesi

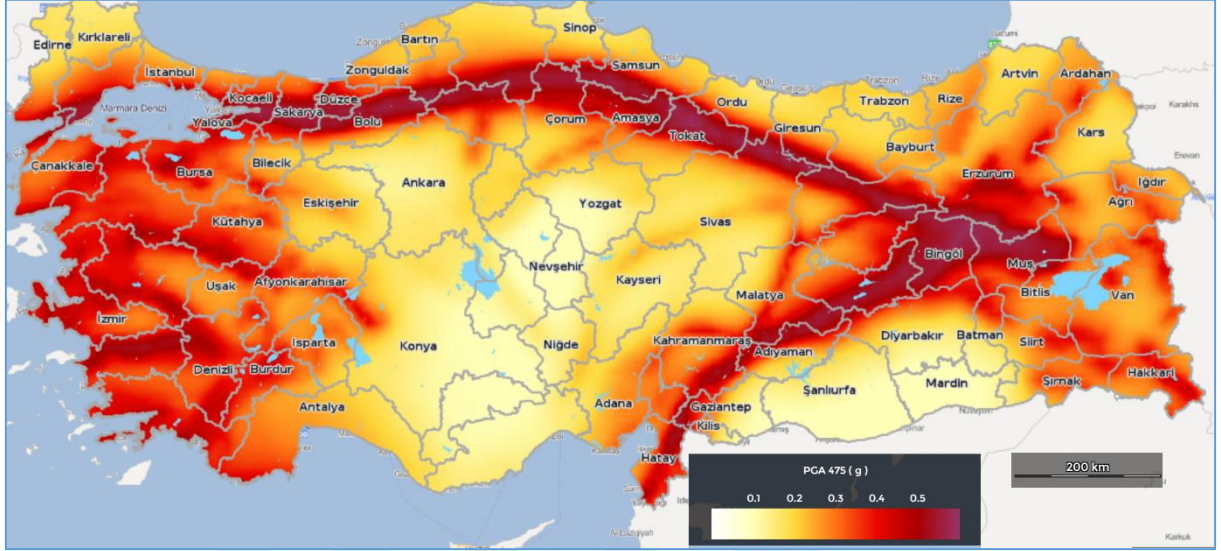
Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik	Ms	Mb	Md	MI	Mw
20.11.1988	35,29	28,7	13	4,8	5,2	4,8	5	5,5
19.06.1934	37,86	31,13	50	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
02.02.1942	35	28	15	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
02.05.1980	35,68	29,81	38	5,3	5,2	5	5,2	5,5
23.03.1926	35,8	29,5	10	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
18.03.1926	35,88	29,84	80	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5
09.09.1971	37,34	30,18	49	5,3	5,2	5,2	5,1	5,5
17.06.1949	34,4	28,5	80	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5
01.09.1925	37,56	29,17	130	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5
23.05.1941	37,13	28,38	40	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
21.09.1941	37,5	28,29	70	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
25.04.1959	36,92	28,6	40	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
27.01.1921	36	28	15	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5
26.08.1993	36,77	28,05	36	5,3	5,2	4,8	5,2	5,5
24.08.1919	36	28	15	5,4	5,3	5,3	5,3	5,5
26.07.2003	38,11	28,89	7	5,3	5,2	5,1	5,4	5,5
04.08.2004	37,13	27,74	2	5,3	5,2	5	5	5,5
07.08.1910	37,8	28,7	30	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
12.04.1908	38,2	27,7	9	5,3	5,2	5,2	5,2	5,5
30.05.1968	35,45	27,88	27	5,9	5,3	5,7	5,6	5,6
12.05.1971	37,58	29,6	33	5,2	5,3	5,1	5,6	5,6
30.01.1964	37,41	29,89	59	5,7	5,3	5,5	5,5	5,6
12.11.1975	36,28	28,15	64	5,5	5,3	5,4	5,3	5,6
20.11.1943	36,55	28,36	35	5,5	5,4	5,4	5,3	5,6
15.08.1976	37,84	28,77	11	5,4	5,3	5,3	5,3	5,6
12.05.1971	37,6	29,68	36	5,4	5,3	5,3	5,3	5,6
11.03.1963	37,96	29,14	40	5,5	5,4	5,4	5,3	5,6

Çizelge 5.2 Bölgede oluşan ve büyüklüğü (Mw) 5.5 ve daha büyük depremlerin listesi (devamı)

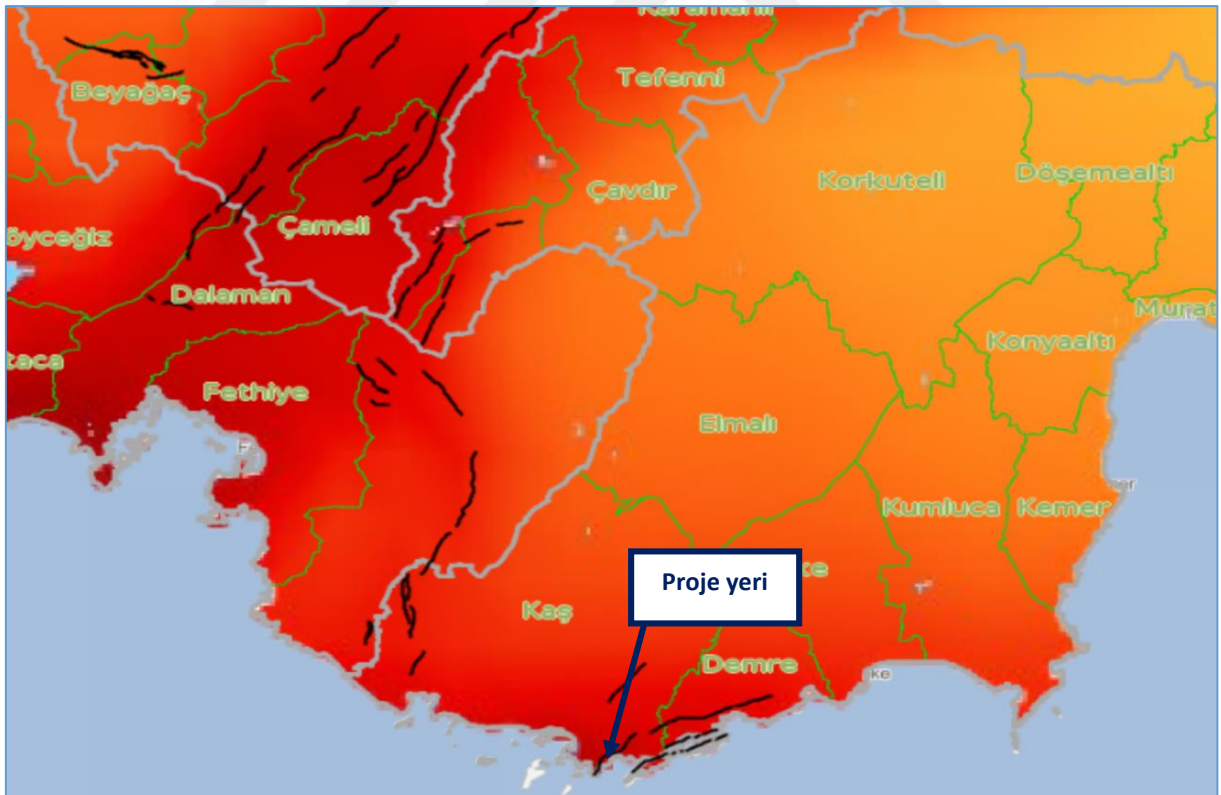
31.12.1979	36,22	31,49	93	4,9	5,3	4,8	4,9	5,6
26.04.1981	36,53	30,65	76	5,2	5,3	5,1	5,1	5,6
05.06.1927	36,19	31,08	10	5,5	5,4	5,4	5,3	5,6
24.03.1926	35,9	28,97	90	5,5	5,4	5,4	5,3	5,6
22.07.1985	34,37	28,27	29	5,4	5,3	5,1	5,3	5,6
27.04.1989	37,04	28,17	12	5	5,3	4,9	5	5,6
18.10.1991	35,76	28,46	52	5,4	5,3	5,1	5,4	5,6
23.06.2001	35,55	28,16	50	5,4	5,3	5	5,6	5,6
28.11.1977	35,96	27,79	81	5,6	5,4	5	5,2	5,7
02.10.1986	34,82	28,31	42	5,6	5,4	5,2	5,5	5,7
11.10.1986	37,94	28,56	5	5,4	5,4	5,1	5,5	5,7
05.04.1925	35,5	29	15	5,6	5,4	5,4	5,4	5,7
28.11.1977	35,96	27,79	81	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
12.05.1971	37,64	29,72	30	5,9	5,5	5,7	5,8	5,8
19.07.1903	35	30	20	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
16.10.1943	36,45	27,94	120	5,8	5,6	5,6	5,6	5,8
16.01.1918	38,34	29,48	10	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
28.09.1920	37,89	28,35	10	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
05.04.1925	35,06	29,34	150	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
30.04.1948	36,05	31,14	80	5,8	5,6	5,6	5,6	5,8
19.07.1933	38,19	29,79	40	5,7	5,5	5,5	5,5	5,8
07.08.1925	38,1	29,8	20	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
11.09.1930	37,39	31,18	80	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
01.06.1977	36,16	31,3	68	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
23.01.2005	35,79	29,58	22	5,8	5,6	5,3	5,8	5,9
26.04.1957	36,22	28,87	50	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
30.04.1975	36,19	30,74	61	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
25.04.1959	36,94	28,58	30	5,9	5,6	5,7	5,6	5,9
14.01.1969	36,11	29,19	22	6	5,6	5,8	6	5,9
30.04.1911	36	30	180	6,1	5,8	5,8	5,8	6
23.05.1941	37,07	28,21	40	6	5,7	5,8	5,7	6
01.10.1995	38,06	30,15	5	6,1	5,8	6	6	6
01.03.1926	37,03	29,43	50	6,1	5,8	5,8	5,8	6
23.05.1961	36,7	28,49	70	6,3	5,9	6	6	6,2
02.09.1945	34,43	28,61	62	6,4	6	6,1	6	6,2
11.08.1922	35,36	27,7	10	6,5	6,1	6,1	6,1	6,3
31.03.1928	38,18	27,8	10	6,5	6,1	6,1	6,1	6,3
13.12.1941	37,13	28,06	30	6,5	6,1	6,1	6,1	6,3
18.03.1926	35,84	29,5	10	6,8	6,3	6,4	6,3	6,5
24.04.1957	36,43	28,63	80	6,8	6,3	6,4	6,3	6,5
13.08.1922	35,51	27,98	10	6,9	6,4	6,5	6,4	6,6
03.10.1914	37,7	30,4	14	6,9	6,4	6,5	6,4	6,6
25.04.1957	36,42	28,68	80	7,1	6,5	6,6	6,6	6,7

Türkiye, 2019 yılından itibaren yeni bir deprem yönetmeliğine sahip olmuş ve probabilistik esaslarda farklı dönüş periyodlarına göre en büyük yer ivmesi dağılımını gösteren bir tehlike haritası uygulamaya girmiştir. Bu harita, 475 yıllık dönüş periyoduna göre ülke geneli için Şekil 5.2 a’da ve çalışma sahası için Şekil 5.2 b’de sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında dikkate alınan enerji kaynaklarını gösteren Türkiye sismo tektonik yapısına ait model Şekil 5.3’de sunulmaktadır.



(a)

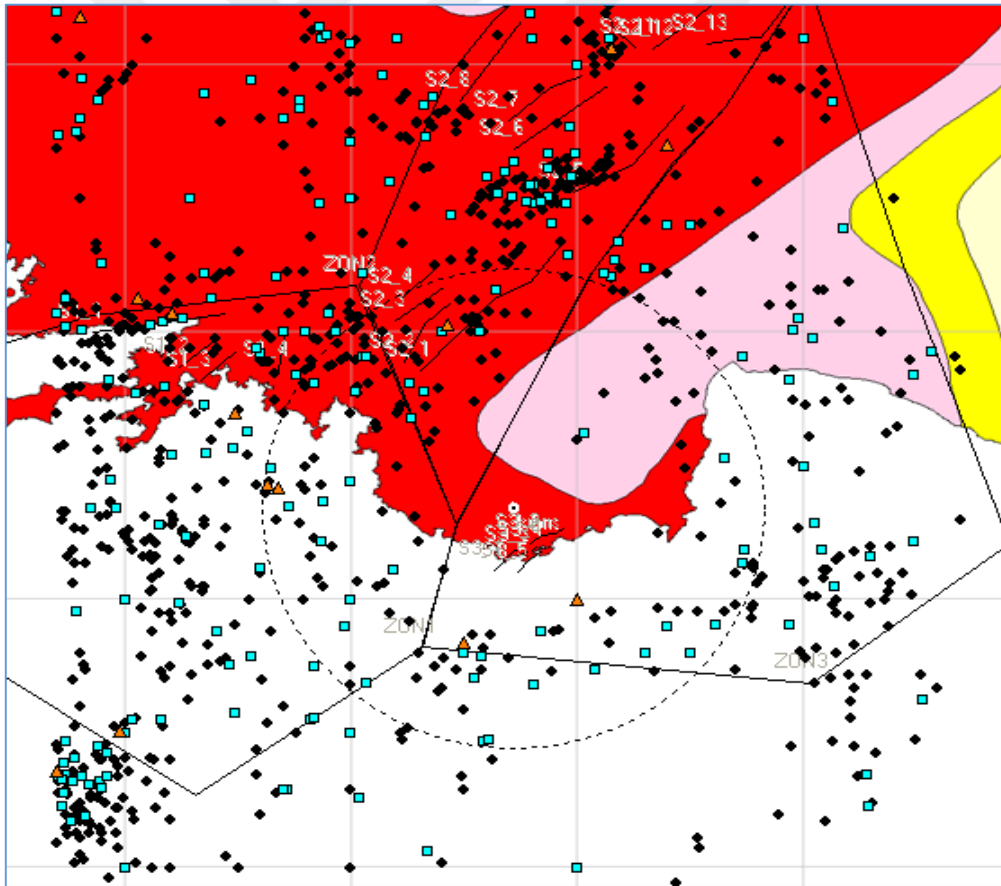


(b)

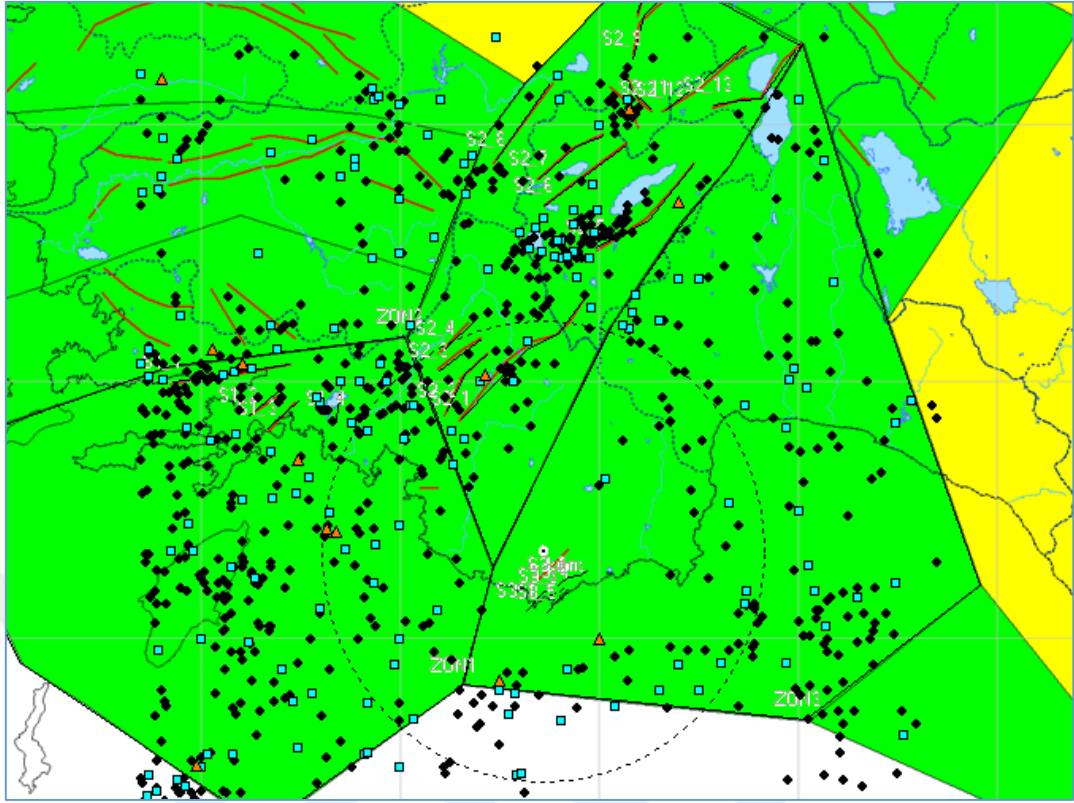
Şekil 5.2 Yeni deprem yönetmeliğine göre 475 yıllık dönüş periyodu için (a) ülke geneli sismik tehlike haritası (b) Çalışma sahası sismik tehlike haritası.



Şekil 5.4 Kıbrıs barajı enerji kaynakları (senaryo 1)



Şekil 5.5 Baraj yeri depremselliği ve depremlerin dağılımı



Şekil 5.6 Analizde kullanılan sismotektonik model ve depremlerin dağılımı

5.2.2.1. **Olasıksal (probabilistik) yöntem (senaryo 1)**

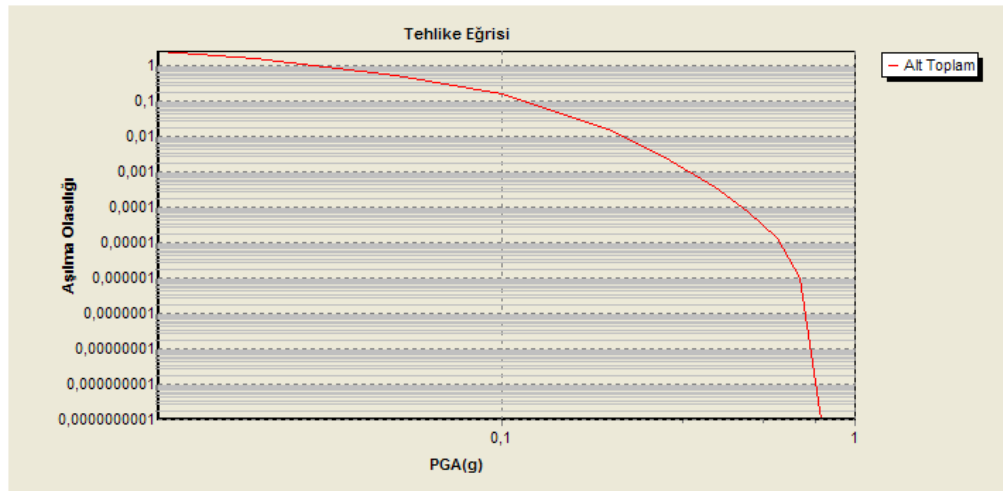
Bu değerlendirme esasında, deprem büyüklüklerinin tahmini dağılımı, magnitüdler ile bunların oluş sıklıkları arasındaki ilişkiyi gösteren tekerrür bağıntılarından çıkartılır. Olasıksal sismik tehlike analizi çalışmasında kullanılan magnitüd-tekerrür modelleri (Richter magnitüd-sıklık ilişkisi vb) tanımlanmaktadır. Projenin, Deprem Bölgeleri haritasındaki yeri ve bölgede oluşan depremlerin dağılımı, Şekil 5.5’de sunulmaktadır.

Baraj sahası için yapılan probabilistik değerlendirmede, magnitüdü (M_s) 4.0’dan büyük depremler göz önüne alınmıştır. Bir sahanın depremselliğinin önemli bir belirleyicisi olan sismik etkinlik, sismik yer hareketlerinin meydana gelmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bir bölgenin depremselliği o bölgenin sismik etkinliğinin fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Kıbrıs baraj yerini etkileyebilecek zonlara ait depremselliğin belirlenmesinde Gutenberg ve Richter (1942) tarafından önerilen temel eşitlik kullanılmıştır.

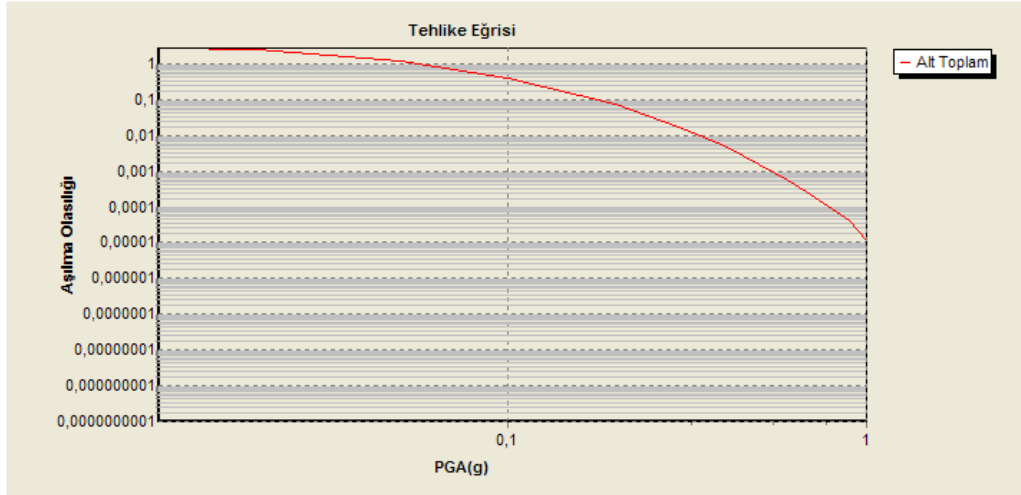
Tarihsel dönem içinde deprem dağılımının modellenmesi için farklı stokastik modeller uygulanmaktadır. Olasılıksal sismik tehlike analizi çalışmasında kullanılan depremlerin zaman içindeki oluşum modelleri (poisson modeli, yinelenme modeli vb) tanımlanabilmektedir.

Hesaplanmış değerler göz önüne alındığında en kritik kaynak, barajın da içinde bulunduğu Kaş fay zonudur. Bu tip incelemelerde genel yöntem, çok farklı belirsizliklerin bulunmadığı durumlarda tek bir tehlike eğrisi tanımlamaktır. Bunun için tüm deprem kaynak zonlarının etkisini tespit etmek için bir tehlike eğrisi ile belirlenmiştir. Her bir zon ve beş ayrı azalım ilişkisinden yararlanılarak gerçekleştirilen incelemeler neticesinde baraj sahası için en kritik senaryonun, Kaş Fay zonu bünyesinde olduğu görülmektedir.

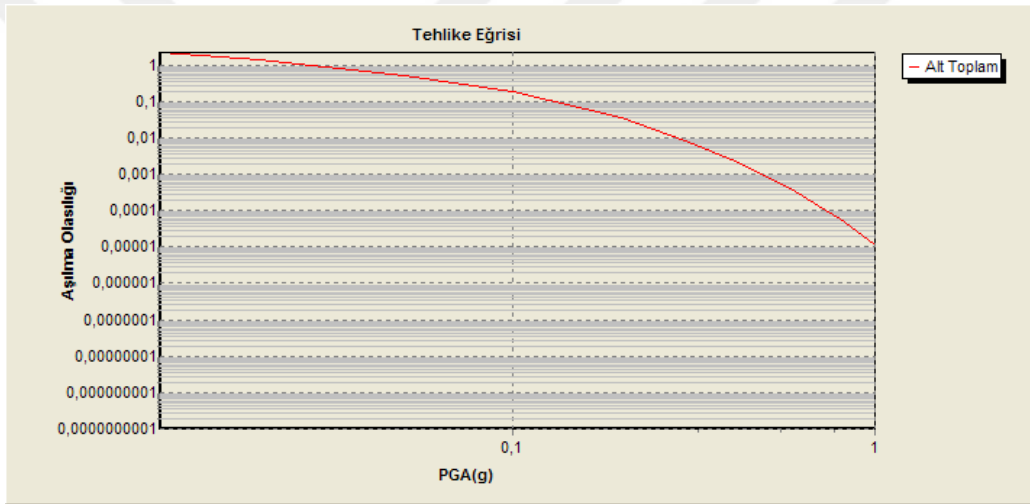
Güncel ve Ulusal esaslı azalım ilişkileri, sahanın sismo-tektonik yönünün tanımlanmasında başarılı olmaktadır. Bu sebeple bu ilişkilerden yararlanılarak detaylı tehlike eğrileri tanımlanmıştır. Şekil 5.7'deki toplam tehlike eğrileri kullanılarak karakterize edilmiş depremler için PGA değerleri bulunmuştur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.7 Tehlike eğrilerine bir örnek ($t=0$) (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)

Depremlerin baraj sahası içerisindeki dağılımı sismik kaynaklar yardımıyla belirlenmektedir. Çalışma alanı, baraj gölet yapısı merkez olacak şekilde 100 km yarıçapındaki dairesel kare alanı alacak durumda tanımlanmıştır. Geçmişte meydana gelmiş depremlerin coğrafi dağılımı, tektonik bilgiler ve jeolojik durum göz önüne alınarak baraj sahası çevresindeki deprem kaynakları tanımlanmıştır. Geometrik şekillerine bağlı olarak sismik hareketlerin saha içinde meydana gelmesi noktasal, çizgisel ve alan kaynak olmak üzere üç duruma dayandırılır. Analizde, bu kaynaklar harici kalan sismik hareketler arka plan kaynak olarak tanımlanır.

Probabilistik sismik tehlike analizlerinde sismik yer hareketi modeli, azalım ilişkileri ile bağıntılıdır. Sayıca çok fazla sismik hareketin meydana geldiği analizlerde farklı kaynak zonları için bu azalım ilişkileri yardımıyla rahatlıkla çözümlenir. Azalım ilişkilerinin genelinde yer hareketi seviyesi, deprem büyüklüğünün ve uzaklığının bir fonksiyonu olarak tarif edilmektedir. Bazıları ise, kaynak farkı konularak önerilmişlerdir. Bu çalışmada beş ayrı azalım ilişkisi kullanılmıştır.

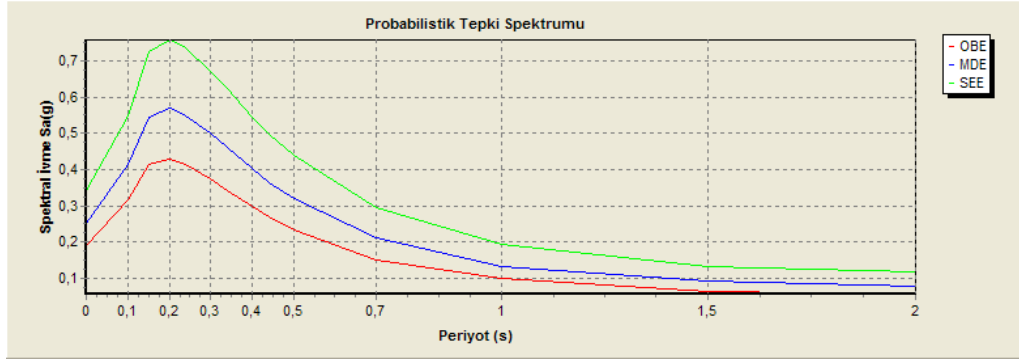
Probabilistik sismik tehlike analizi, sismik yer hareketlerinin yeri, büyüklüğü ve tekerrürü ile ilgili belirsizlikleri inceler. Genel olarak kullanılan probabilistik sismik tehlike analizi, tehlikenin tamamının irdelenmesi için belirsizliklerin bulunabilceği bir çözümü önermekte ve tüm ihtimalleri göz önüne almaktadır. Probabilistik yöntemde öncelikle kaynak modeli tanımlanır sonra ise yer hareketi modeli oluşturulur. En son aşamada ise probabilistik hesaplar yapılarak analiz sonuçlandırılır.

Kıbrıs baraj yeri için probabilistik metot ile yapılan çalışmalarda farklı zaman aralıklarına karşılık gelen aşılma ihtimalleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada toplam tehlike eğrisi ve beş farklı azalım ilişkisi göz önünde bulundurularak OBE ve MDE/SEE için PGA değerleri bulunmuştur. Çizelge 5.3’de bu değerler sunulmaktadır.

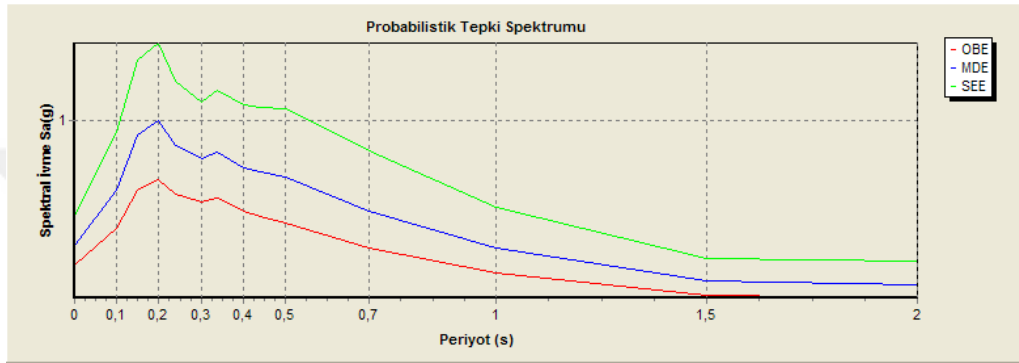
Çizelge 5.3 Probabilistik esasta hesaplanan PGA değerleri

Azalım İlişkisi	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
	OBE	MDE	SEE
Campbell (1981)	0,158	0,202	0,247
Boore vd., (1993)	0,287	0,359	0,461
Boore vd., (1997)	0,237	0,303	0,392
Gülkan and Kalkan (2002)	0,369	0,477	0,634
Kalkan and Gulkan (2004)	0,315	0,421	0,579
Ortalama	0,273	0,352	0,463

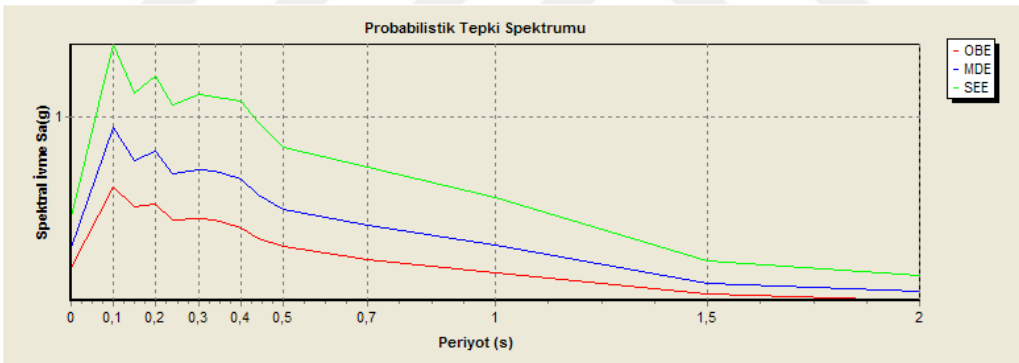
Probabilistik modelde OBE ve MDE için hesaplanan PGA değerlerinin çok geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Güncel ilişkiler göz önünde bulundurularak **bir değerlendirme yapıldığında, OBE için maksimum yer ivmesi değerleri ortalama olarak 0.273g ve MDE için maksimum yer ivmesi değerleri ortalama olarak 0.352g bulunmuştur.**



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.8 Probabilistik sismik tepki spektrumları: (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)

Kıbrıs baraj sahasında meydana gelen yakın sismik yer hareketinin büyüklüğünün küçük olmasına rağmen, deprem kaynak bölgesi çok bölünmüştür ve çok sayıda fay zonu ve segmentleri ile yüksek sayıda sismik yer hareketi oluşmuştur (ilgi sahası içinde 4.0'den büyük deprem sayısı 1013). Bu nedenle, ilgili değerlerin kullanımı için yapı toplam riskine göre değerlendirilme yapılmıştır (Bureau, 2003).

5.2.2.2. Deterministik yöntem (senaryo 1)

Deterministik sismik tehlike analiz metodunda, dört kademeli bir sismik senaryo tavsiye edilmektedir. Bu metod, çok basit işlemleri barındırır ve en kötü deprem şartının irdelenebilmesi için doğrusal bir yaklaşımı göz önünde bulundurur. (Kramer, 1996).

Deterministik metotta, sismik yer hareketi kaynağında oluşabilecek en büyük deprem büyüklüğü (M_{wmax}) ve bölgenin bu kaynağa göre en yakın konumu kaynak-saha mesafesi cinsinden tanımlanmalıdır. Maksimum büyüklük değeri belirlenirken, geçmişte yaşanmış depremlerden elde edilen bilgiler, aletsel deprem kataloğunda yer alan deprem kayıtları, fay geometrisi-özellikleri, jeolojik veriler ve bilimsel literatürde yayınlara dayalı ampirik veya teorik denklemlerden yararlanılmıştır. 100 km'lik yarıçapa sahip alan içindeki her kaynak zonu için, karakteristik değerler kullanılarak en büyük güvenilir deprem (MCE) tanımlanmıştır (FEMA, 2005).

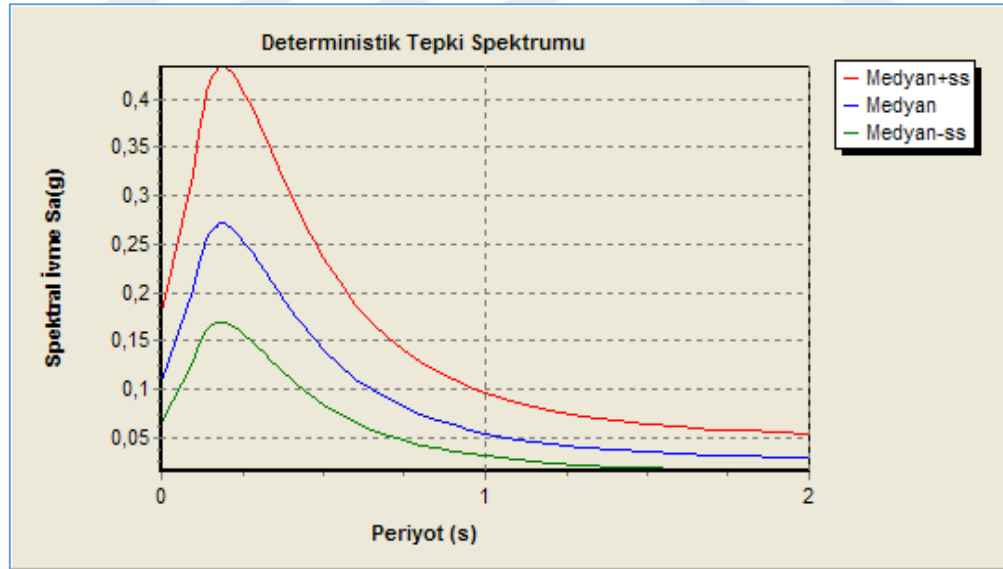
Baraj sahası, bölgesel ve yerel olarak sismik aktivite doğrultusunda irdelenmiştir. Barajın konumu, Türkiye sismo-tektonik haritasında gösterilmektedir. (Şekil 5.3). Deprem kaynak bölgesi içerisinde son yüz yılda meydana gelmiş magnetüdü 4.0'den büyük depremler irdelenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsünden temin edilen bu sismik yer hareketlerine ait büyüklüklerin, moment (M_w) doğrultusunda tanımlandığı vurgulanmalıdır. Deprem kaynak alanında ulusal ve uluslararası modellerle bütünlük taşıyacak şekilde 3 ayrı kaynak zonu tanımlanmıştır (Jimenez vd., 2001). Bölgedeki 3 ayrı zon için yapılan analizlerde en büyük tasarım depremi belirlenmiştir. Deterministik analiz sonuçları ise, özet halinde Çizelge 5.4'de sunulmaktadır.

Deterministik analiz çalışmalarında baraj yeri için kritik zonun, Kaş fay zonu olduğu görülmüştür (sismo-tektonik modeldeki 3-3 nolu kaynak zonudur). Bu deprem kaynak zonundaki segment, maksimum 5.8 büyüklüğünde sismik yer hareketi oluşturabilecektir. Bu çizelgeden anlaşılaacağı üzere bu kaynak zonu için bulunan en büyük yer ivmesi değerleri (PGA) 0.107g ile 0.137g arasında değişmektedir. Yapılan analiz çalışmalarında tüm azalım ilişkilerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm azalım ilişkilerine bağlı deterministik esasta ortalama PGA değeri, 0.120g bulunmuştur..

Çizelge 5.4 Kıbrıs Barajına etkileyen kritik kaynak zonu için deterministik yöntem ile belirlenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri

Azalım İlişkisi	Zon Adı	Segment	Mmaks	Rmin (km)	Tip	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
						Medyan -ss	Medyan	Medyan +ss
Campbell (1981)	Zon 3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,073	0,107	0,157
Boore vd., (1993)	Zon 3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,085	0,137	0,219
Boore vd., (1997)	Zon 3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,066	0,109	0,179
Gülkan and Kalkan (2002)	Zon3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,073	0,129	0,226
Kalkan and Gulkan (2004)	Zon 3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,064	0,117	0,216
Ortalama						0,072	0,120	0,199

Şekil 5.9’da güncel bir azalım ilişkisi esasında deterministik tepki spektrumu gösterilmektedir. Bulunan bu değerlere göre % 5 sönüm oranında elastik tepki spektrumları geliştirilmiş ve bu spektrumlara göre sentetik ivme kayıtları tanımlanmıştır.

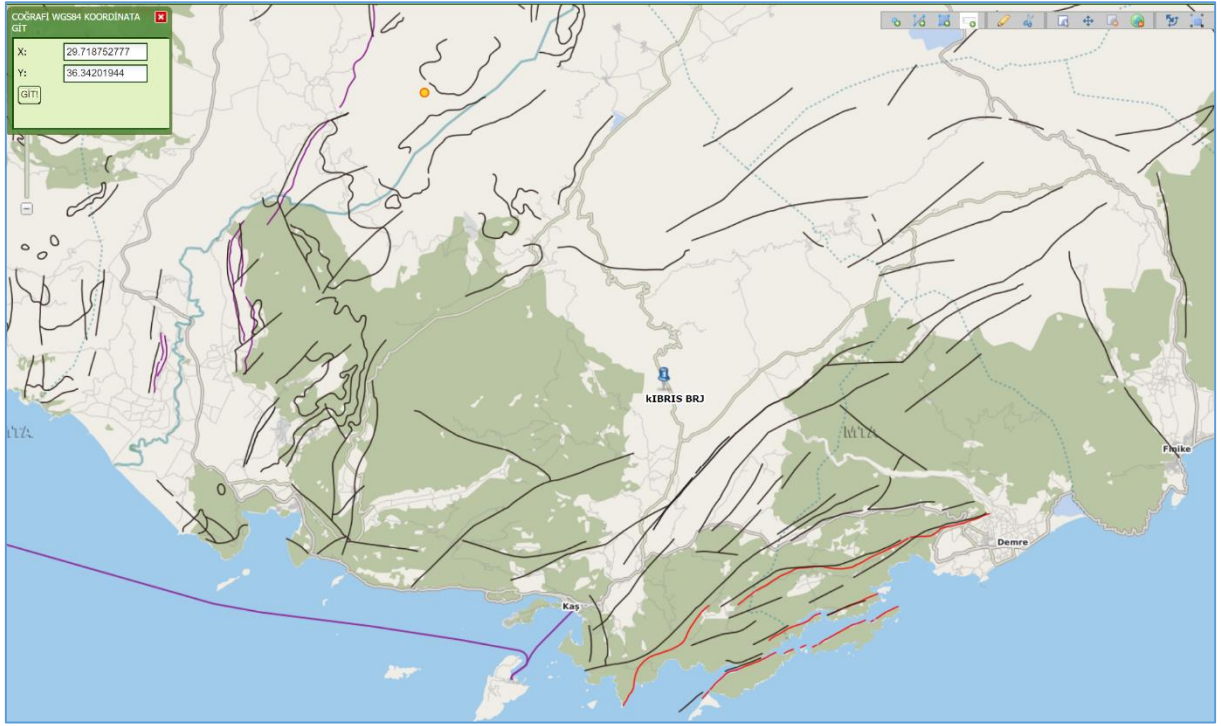


Şekil 5.9 Baraj yeri temel zemini için oluşturulan tepki spektrumu (Boore vd., 1997)

5.2.3. Senaryo 2:Güncellenmiş model

Çalışmada Sismik tehlike analizi için dikkate alınan ikinci alternatif, “güncellenmiş model” olarak adlandırılan ve son sismo-tektonic yapıyı dikkate alan çözümdür. Bu çalışmada uygulama projesi olarak seçilen Kıbrıs baraj yeri enerji kaynakları Şekil 5.10’de

verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi olası faylarda analizlerde dikkate alınmıştır. Sismik aktivite ile ilgili çalışma, ilk senaryo olduğu gibi probabilistik ve deterministik sismik tehlike analizlerini ihtiva etmekte olup yapılan sismik tehlike analiz sonuçları iki ayrı başlık altında değerlendirilmiştir. Birinci bölümde de istatistiksel esasa göre yapılan analiz sonuçları ve ikinci bölümde deterministik esasta yapılan analiz sonuçları aktarılmaktadır.



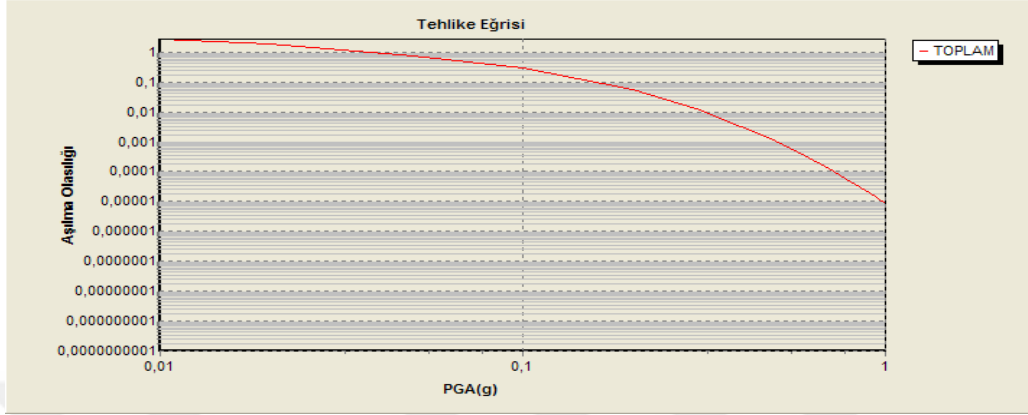
Şekil 5.10. Kibris barajı enerji kaynakları (senaryo 2)

5.2.3.1. Olasıksal (probabilistik) yöntem (senaryo 2)

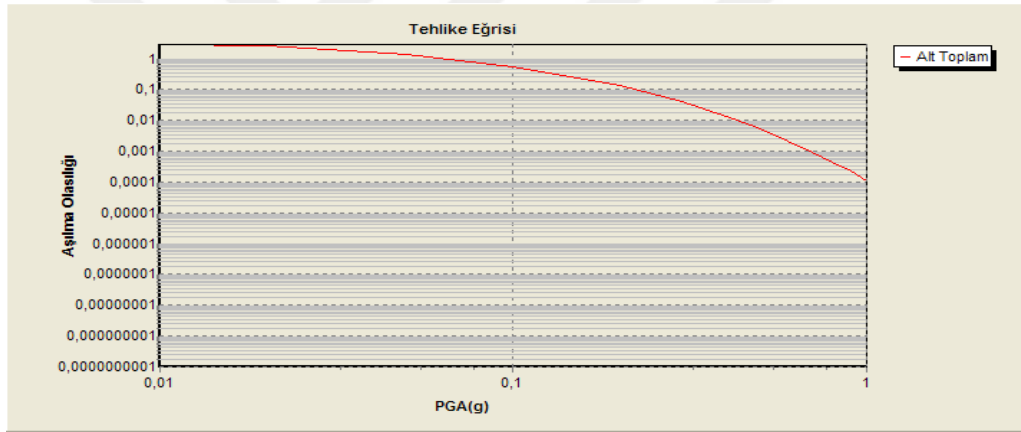
Olasılıksal sismik tehlike analizi çalışmasında kullanılan magnitüd-tekerrür modelleri (Richter magnitüd-sıklık ilişkisi vb) tanımlanmıştır. Olası kaynak zonlarının dikkate alınması ile daha aktif bir alan oluşmuştur. Baraj yeri için yapılan istatistiksel sismik değerlendirmede, büyüklüğü (M_s) 4.0'dan büyük depremler dikkate alınmıştır.

Depremlerin zaman içinde gösterdikleri rassal dağılımın modellenmesi için değişik stokastik modeller geliştirilmiştir. Hesaplanan değerlere göre en kritik kaynak, barajın yakında olan olası faydır. Güncel ve Ulusal esaslı azalım ilişkileri, bölgenin sismo-tektonik davranışının belirlenmesinde etkili tanımlamayı yapmaktadır. Bu nedenle bu üç ilişki kullanılarak detaylı tehlike eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 5.11'deki toplam tehlike eğrileri

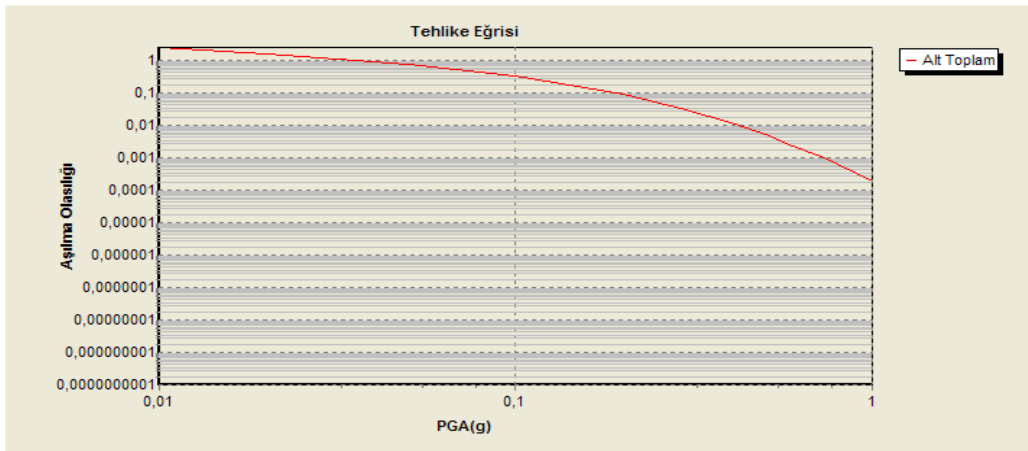
kullanılarak tanımlanmış depremler için PGA değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.12’de 3 ayrı yaklaşıma göre probabilistik sismik tepki spektrumları sunulmaktadır.



(a)

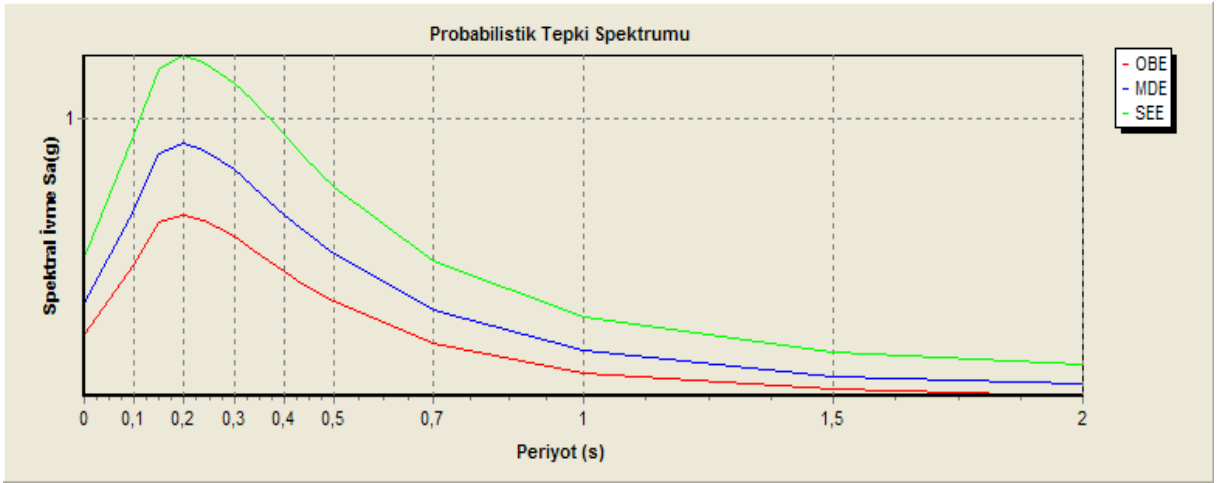


(b)

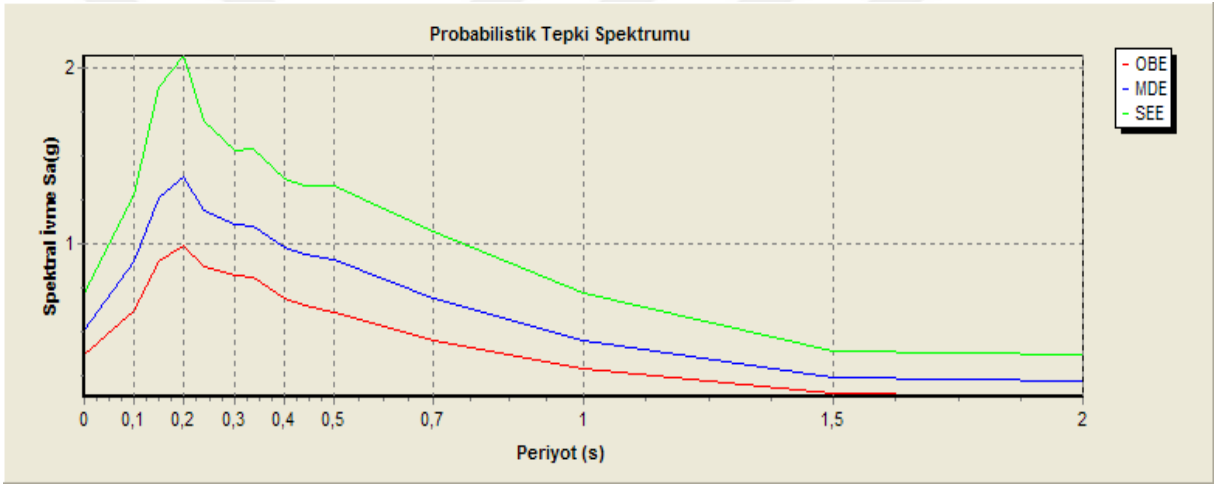


(c)

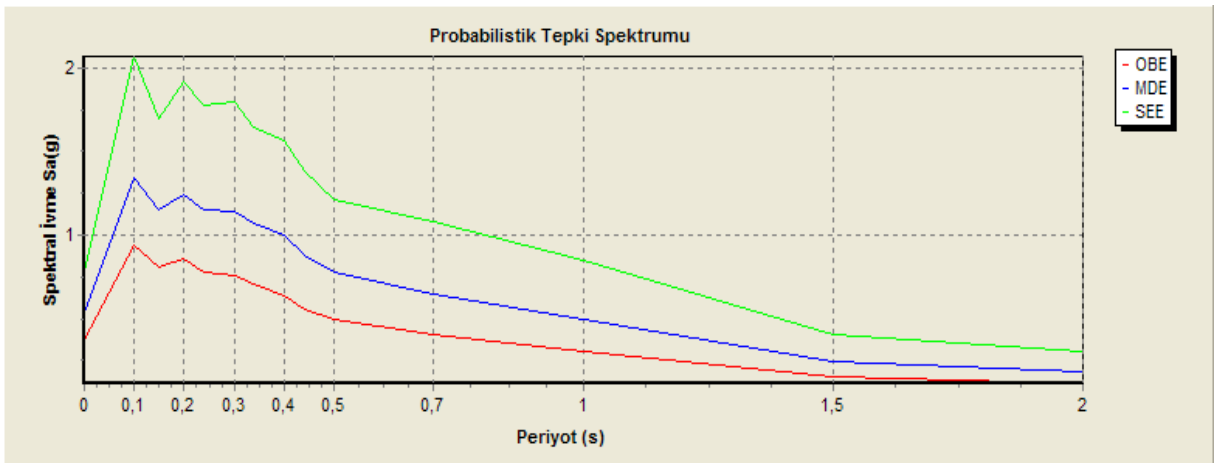
Şekil 5.11 Tehlike eğrilerine bir örnek ($t=0$) (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.12 Probabilistik sismik tepki spektrumları: (a) Boore vd (1997), (b) Gülkan ve Kalkan (2002) ve (c) Kalkan ve Gülkan (2004)

Kıbrıs baraj yeri için güncellenmiş model dikkate alınarak olasılıksal yöntemle yapılan çalışmalarda farklı tekerrürlere karşılık gelen aşılma ihtimalleri belirlenmiştir. Bu çalışmada toplam tehlike eğrisi kullanılarak ve sekiz ayrı azalım ilişkisi dikkate alınarak OBE ve MDE/SEE için PGA değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.5’de bu değerler sunulmaktadır.

Çizelge 5.5 Probabilistik esasta hesaplanan PGA değerleri

Azalım İlişkisi	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
	OBE	MDE	SEE
Campbell (1981)	0,323	0,410	0,523
Boore vd., (1993)	0,412	0,528	0,692
Boore vd., (1997)	0,340	0,440	0,584
Gülkan and Kalkan 2002	0,466	0,608	0,818
Kalkan and Gulkan 2004	0,457	0,621	0,870
Ortalama	0,399	0,521	0,697

Probabilistik yöntem ile yapılan analizde OBE ve MDE için bulunan PGA değerlerinin çok geniş bir değer aralığında olduğu görülmüştür. Güncel ilişkiler dikkate alınarak bir analiz yapıldığında, OBE için maksimum yer ivmesi değerleri ortalama olarak 0.399g ve MDE için maksimum yer ivmesi değerleri ortalama olarak 0.521g olarak bulunmuştur.

5.2.3.2.Deterministik yöntem (senaryo 2)

Deterministik sismik tehlike analiz metodunda, senaryo 2 için ayrıca çözüm üretilmiştir. Çalışmada ilk senaryoda olduğu gibi en büyük deprem büyüklük değeri belirlenirken, geçmişte yaşanmış depremlere ait bilgiler, aletsel deprem kataloğunda yer alan deprem kayıtları, fay geometrisi-özellikleri, jeolojik veriler ve bilimsel literatürde yayınlara dayalı ampirik veya teorik denklemlerden faydalanılmış ve 100 km’lik yarıçapa sahip alan içindeki her kaynak zonu için, karakteristik değerler kullanılarak maksimum güvenilir deprem (MCE) tanımlanmıştır.

Baraj sahası, bölgesel ve yerel olarak sismik aktivite yönünden yeni verilere göre irdelenmiştir. Baraj sahasında ulusal ve uluslararası modellerle bütünlük taşıyacak şekilde 3 farklı kaynak zonu belirlenmiştir. (Jimenez vd., 2001). Bölgedeki 3 ayrı zon için yapılan

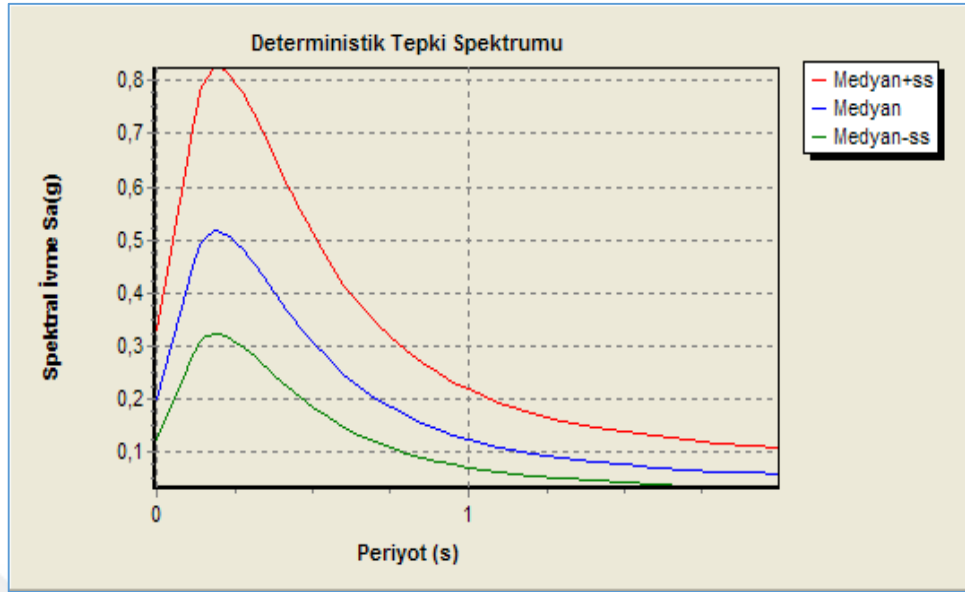
analizlerde en büyük tasarım depremi tespit edilmiştir. Deterministik analiz sonuçları ise, Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Kıbrıs Barajına etkileyen kritik kaynak zonu için deterministik yöntem ile belirlenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri (senaryo 2)

Azalım İlişkisi	Zon Adı	Segment	Mmaks	Rmin (km)	Tip	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
						Medyan -ss	Medyan	Medyan +ss
Campbell (1981)	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,174	0,256	0,376
Boore vd., (1993)	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,157	0,252	0,404
Boore vd., (1997)	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,122	0,200	0,329
Gülkan and Kalkan (2002)	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,118	0,206	0,362
Kalkan and Gulkan (2004)	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,118	0,219	0,403
Ortalama						0,138	0,227	0,375

Deterministik analiz çalışmalarında baraj yeri için kritik zonun, Kaş fay zonu olduğu görülmüştür (sismo-tektonik modeldeki 3-3 nolu kaynak zonudur). Bu kaynak zonundaki segment, en fazla 5.9 büyüklüğünde deprem oluşturabilecektir. Bu çizelgeden anlaşılabileceği üzere bu kaynak zonu için bulunan en büyük yer ivmesi değerleri (PGA) 0.206g ile 0.256g arasında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre tüm azalım ilişkileri benzer sonuçlar vermiştir. Tüm ilişkilere bağlı deterministik esasta ortalama PGA değeri, 0.227g bulunmuştur.

Şekil 5.13’de güncel bir azalım ilişkisi esasında deterministik tepki spektrumu verilmektedir. Hesaplanan bu değerlere göre, ilk modelde olduğu gibi % 5 sönüm oranında elastik tepki spektrumları geliştirilebilir.



Şekil 5.13 Yeni modele göre baraj yeri temel zemini için oluşturulan tepki spektrumu (Boore vd., 1997)

5.2.4. Kıbrıs barajı toplam risk analizi

Kıbrıs barajı toplam risk analizi, iki farklı metot göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Birinci çözümde ICOLD (1989) yaklaşımı, diğesinde de Bureau (2003) yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci yöntemde, sismik tehlike yalnız değerlendirilir. İkinci yöntemde ise sismik tehlike analizi sonuçlarına bağlı, bir risk analizi çalışması yapılmıştır. Çalışma sonuçları, Çizelge 5.7’de özetlenmektedir.

Çizelge 5.7 Kıbrıs barajı toplam risk analizi

#	Model	PGA (g)	M_{max}	Hazard Analysis		Total Risk (ICOLD,1989)			Total Risk (Bureau, 2003)		
				Sınıf	Tehlike Oranı	Risk Faktörü	Risk Sınıfı	Risk Oranı	Risk Faktörü	Risk Sınıfı	Risk Oranı
1	Senaryo 1	0.120	5.81	II	Orta	30	III	Yüksek	143.3	III	Yüksek
2	Senaryo 2	0.227	5.88	II	Orta	30	III	Yüksek	153.7	III	Yüksek

Yapılan analize göre; Baraj sahası Sismik Tehlike Sınıfı III ve Sismik Tehlike Oranı “yüksek” tir. ICOLD sınıflamasına göre Toplam Risk Faktörü ise 30 olarak bulunmuş ve risk Oranı “yüksek” olarak belirlenmiştir (ICOLD, 1989). Sismik Tehlike Analizi sonucunda hesaplanan maksimum yer ivmesi ve ilgili deprem magnetüdü göz önüne alınarak yapılan çalışmada, Toplam Risk Faktörü, 153.7 olarak bulunmuştur. Bu metoda göre Risk Sınıfı III ve Risk Oranı “yüksek”tir (Bureau, 2003).

5.3. Kıbrıs Kasaba Barajının Şev Stabilite Analiz Sonuçları

5.3.1. Analiz Esasları

Dolgu barajların stabilite analizleri; bir potansiyel göçme düzlemi boyunca yer alan malzemelerin kayma dayanımlarının belirlenmesini gerekli kılar. Efektif gerilme esasında Mohr-Coulomb göçme kriterlerine ait klasik eşitlik kullanılarak kayma dayanımı hesaplanır. Drenajsız kayma dayanımlarına bağlı olarak oluşan kayma dayanımı, zeminin göçme öncesi sahip olduğu efektif konsolidasyon basıncının bir fonksiyonudur. Şev stabilite analizinde dikkate alınan efektif konsolidasyon basıncı, göçme öncesi potansiyel göçme yüzeyine etkiyen normal efektif gerilme olarak değerlendirilir (Budhu, 2000).

Toprak ve kaya dolgu barajların stabilite analiz yöntemlerinde, genellikle dairesel ve düzlemsel göçme yüzeylerine göre hesaplamalar yapılır. Dairesel kayma düzlemi, çoğunlukla temelde ince taneli ve kalınlığı fazla bir zemin üzerinde yer alan toprak dolgu barajlarda dikkate alınır. Düzlemsel kayma ise, genellikle sıkı ve sağlam temel birimleri üzerine inşa edilen kaya dolgu barajlar ile çok ince zayıf temel birimleri üzerine yer alan toprak dolgu barajlar için uygundur. Barajların stabilite analizi, daima sınır denge yöntemleri kullanılarak yapılır. Bazı durumlarda sonlu eleman yöntemi ile de stabilite analizi yapılmaktadır. Çözüm için benzer esaslara sahip ve yaklaşık sonuçlar veren Basitleştirilmiş Bishop, Spencer, Janbu ve Sarma gibi yöntemler geliştirilmiştir (Bishop, 1955; Janbu, 1973; Morgenstern ve Price, 1965; Sharma,1996; Spencer,1967)

Bu raporda bahsi geçen yöntemlerin esaslarına değinilmeyecektir. Bu amaçla geliştirilmiş bir paket program kullanılarak farklı durumlar için analizler yapılmıştır. Analizlerin Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ile yapıldığı belirtilmelidir. Ancak malzeme özelliklerinin sonuca önemli ölçüde yansıdığı belirtilmelidir. Bu nedenle, programlara girilen malzeme özelliklerinin, uzman mühendislerin deneyimlerinden yararlanılarak yapılmasında yarar vardır. Ayrıca malzeme özelliklerinin yükleme koşulları ile çok yakın ilgisinin olduğu belirtilmelidir.

Dolguda ve dolgunun temel zemininde meydana gelen kayma gerilmeleri; dolgunun ağırlığı, rezervuardaki salınımlar, deprem kuvvetleri veya sızma nedeniyle meydana gelir. EM 110-2 (1970); stabilite analizinde birbirinden farklı durumların temsil edilmesi amacıyla yedi ayrı durum tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

Durum I: İnşaat sonu

Durum II: Dolu rezervuar koşullarında ani düşüm

Durum III: Dolusavak kapak kret seviyesinden ani düşüm

Durum IV: Kısmi dolu rezervuar

Durum V: En büyük rezervuar koşulları için kararlı akım

Durum VI: Sürşarj yüklü kararlı akım.

Durum VII: Deprem.

Durum I ve VII; barajda memba ve mansap şevinde uygulanırken, Durum II, III ve IV; sadece memba şevi için uygulanır. Durum V ve VI ise, mansap şevleri için değerlendirilir.

5.3.2. Malzeme Esasları

Bir dolgu barajın stabilitesini inceleyebilmek için, baraj temelini ve baraj dolgu yapısının arazideki mühendislik detayları ile baraj alanının jeolojik koşulları gözönünde bulundurularak değerlendirilir. Tavsiye edilen dolgu malzemesinin tanımlanmasında, malzeme ocağındaki farklılıklar ile malzemenin doğal su muhtevası önem taşır. Yüksek yanal basınçların dolgu malzemesi tanesi üzerine etkisi ve temel zemininde oluşan içsel sürtünme açısındaki azalma, yüksek dolgu barajların stabilitesinde önem arz etmektedir.

Kıbrıs barajı stabilite analizlerinde dolgu için 8 (sekiz) ayrı dolgu malzemesi tanımlanmıştır. Bu malzemeler, çekirdek zonunu oluşturan kil, kabuk zonunu oluşturan geçirimli dolgu, filtre zonları (filtre-kum ve filtre-tüvenan), riprap ve koruyucu zondan oluşmaktadır. Temel birimi olarak iki ayrı birim tanımlanmıştır (ana kaya ve alüvyon).

Gövdede ve aks yerinde yer alan malzemenin özellikleri, barajın planlama ve proje öncesi aşamalarında yapılan geoteknik çalışmalardan elde edilen arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına ve literatüre bağlı olarak belirlenmiştir. İnşaat sonu durum için belirlenen ve analizlerde kullanılan bu özellikler, toplu olarak Çizelge 5.8’de verilmektedir.

Çizelge 5.8 Tanımlanan malzeme özellikleri (inşaat sonu hali için)

Zemin no	Zemin tanımı	γ (kN/m ³) *	γ_s (kN/m ³) **	c (kN/m ²) ***	Φ (°)****
1	Kil çekirdek	17.5	18.0	86.0	0
2	Kum filtre	18.5	19.5	0.0	37
3	Çakıl filtre	19.0	20.0	0.0	38
4	Tüvenan filtre	18.0	18.5	0.0	37
5	Geçirimli	20.0	21.0	0.0	36
6	Riprap	21.0	22.0	0.0	42
7	Stabilize	19.0	19.5	0.0	25
8	Alüvyon	18.0	18.5	20.0	35
9	Anakaya	23.0	24.0	10 000	28
10	Koruyucu	18.0	19.0	0.0	30

(*) γ = ıslak birim ağırlık (**) γ_s = doymun birim ağırlık
 (***) c = kohezyon direnci (****) Φ = kayma dayanımı açısı

Barajın kil çekirdeği olarak kullanılacak malzeme, değişken özellikler arz etmektedir. Ancak çoğunlukla düşük plastisiteli kil (CL) özelliği taşımaktadır. Yer yer plastisite özelliği azalmaktadır (ML). Filtre kum, kötü derecelenmiştir (SP). Tüvenan filtre, doğal kum ve çakıl karışımı malzeme olarak tanımlanmıştır (SP-GP). Riprap, yüksek dayanımlı kayalarından oluşmaktadır. Ana kaya ise, diğer malzemelere göre oldukça yüksek kayma dayanımı parametrelerine sahiptir.

İşletme aşamalarını temsilen yapılan analizlerde, kil çekirdek malzemenin ve yarı geçirimli zonun efektif yükleme koşullarında elde edilen ve ortalama zarfa karşılık gelen değerleri kullanılmıştır. Ani düşme koşullarını temsilen yapılan analizlerde ise, efektif esasta elde edilen parametrelerin en düşük zarfa göre dönüştürülmüş değerleri dikkate alınmıştır (EM 1110, 1970; Tosun, 2018). Her iki durumu temsilen yapılan analizde yükleme esnasında kil dolgu içinde oluşacak boşluk suyu basıncı bir katsayı ile dikkate alınmıştır ($r_u=0.20$).

5.3.3. Analiz Sonuçları

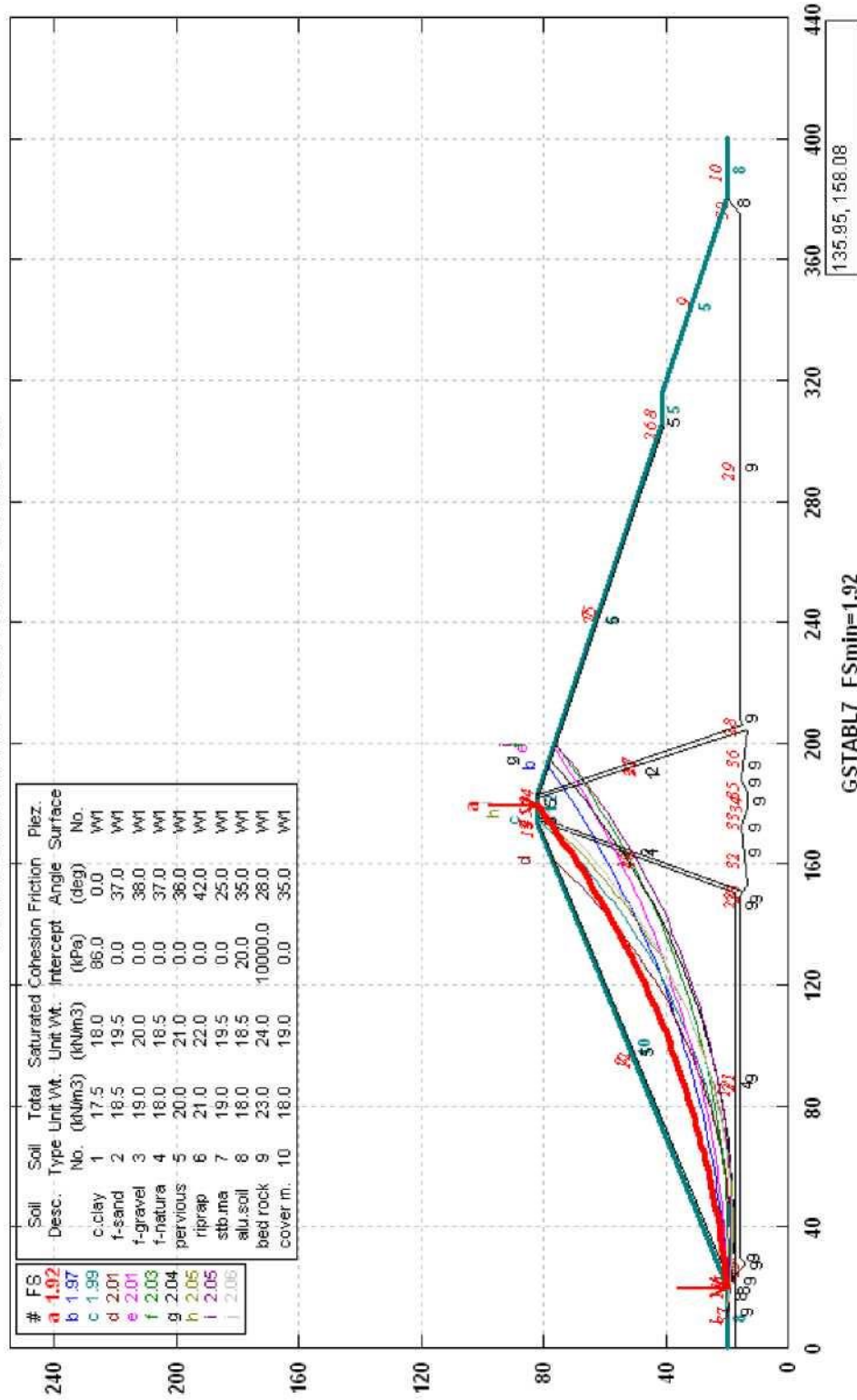
Kıbrıs barajı için şev stabilite analizleri, yukarıda tanımlanan malzeme özellikleri dikkate alınarak ve proje formülasyonuna uygun olarak yapılmıştır. Memba ve mansap şevlerinin, sırasıyla 3.0/1 ve 2.5/1 (yatay/düşey) olduğu dikkate alınmıştır. Bu analizler, inşaat sonu hali ve işletme halinde memba ve mansap şevleri için, ani düşme halinde iki ayrı durumu temsilen memba şevi için gerçekleştirilmiştir. Deprem durumu ise, memba ve mansap şevlerinin inşaat sonu ve işletme halleri için dikkate alınmıştır. Bu çalışmada sürşarjlı yükleme koşuluna ait analizler (Durum VI) gerçekleştirilmemiştir. Her durum için kritik güvenlik sayıları, ABD Ordu Mühendisleri Standardından alınmıştır (EM 1110, 1970). Analiz sonuçları, Şekil 5.14-5.24 arasında ve belirlenen güvenlik sayıları, özet halinde Çizelge 5.9’da sunulmaktadır.

Çizelge 5.9 Farklı yükleme koşulları için elde edilen güvenlik sayısı değerleri

Durum	Tanım	Gereken G.S	Hesaplanan G.S	Not
I	İnşaat Sonu	1.3	1.92	Mansap şevi
		1.3	2.43	Memba şevi
II	Ani Düşme (M.S.S'den)	1.0	2.07	Memba şevi
III	Ani düşme (kapak seviyesinden)	1.2	2.07	Memba şevi
IV	İşletme	1.5	2.08	Memba şevi
V	İşletme	1.5	1.86	Mansap şevi
VII	Depremli hal	1.1	1.35	k= 0.14g
	Durum I-mansap		1.62	
	Durum I-memba		1.23	
	Durum IV-memba		1.01	
	Sınır Denge Hali-Memba şevi		1.0	k= 0.23g

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY DOWNSTREAM SLOPE-END OF CONSTRUCTION

D:\STABIL~1\KIBRISKIMA1.PL2 Run By: Username 24.01.2005 8:12



Şekil 5.14 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı çevre stabilite analizi (mansap seviyesi inşaat sonu hali)

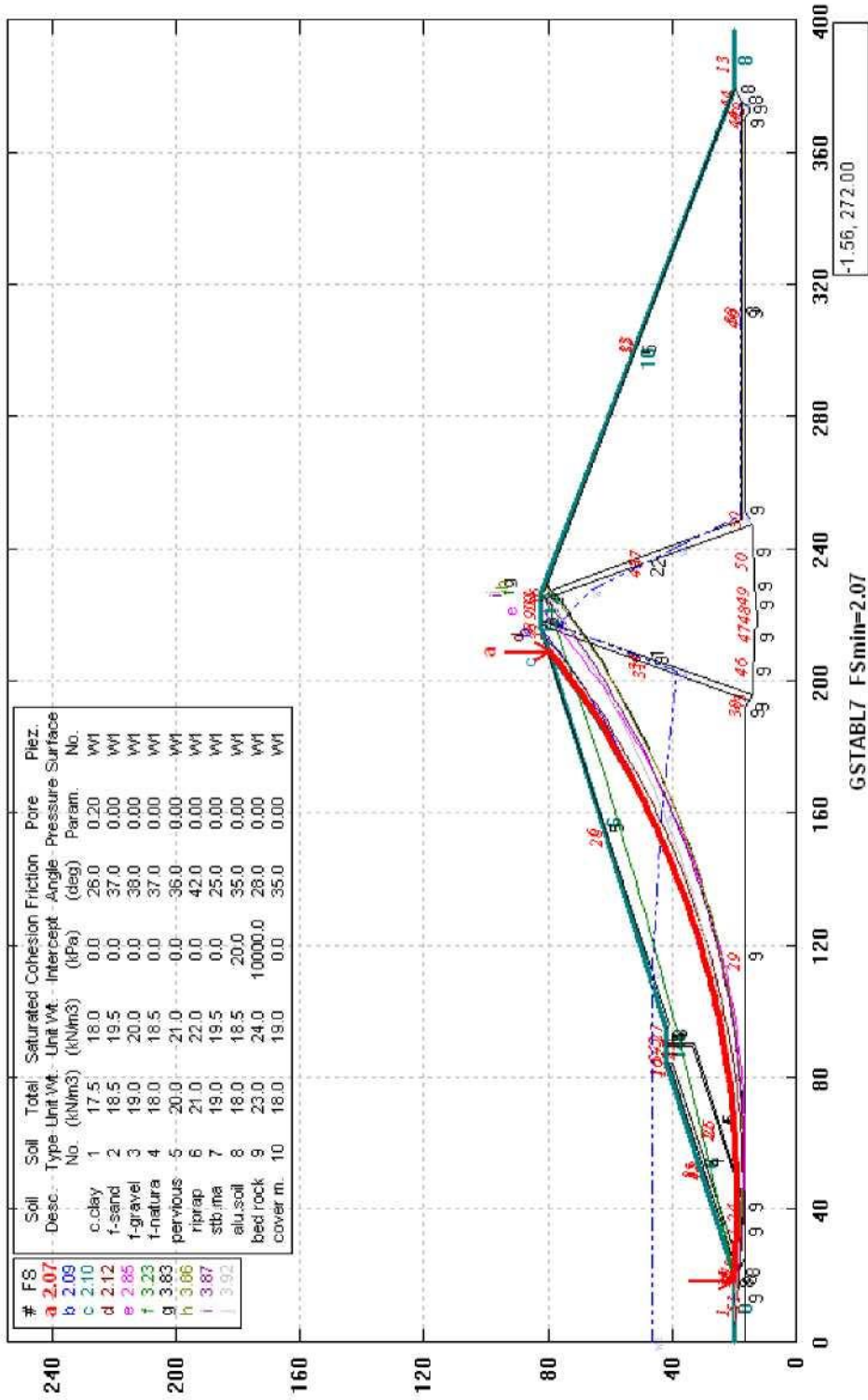
D:\STABIL~1\KIBRIS\KIME1.PL2 Run By: Username 24.01.2005 8:05



Şekil 5.15 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-inşaat sonu hali)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-R/D FROM MAKŞ.W.I.

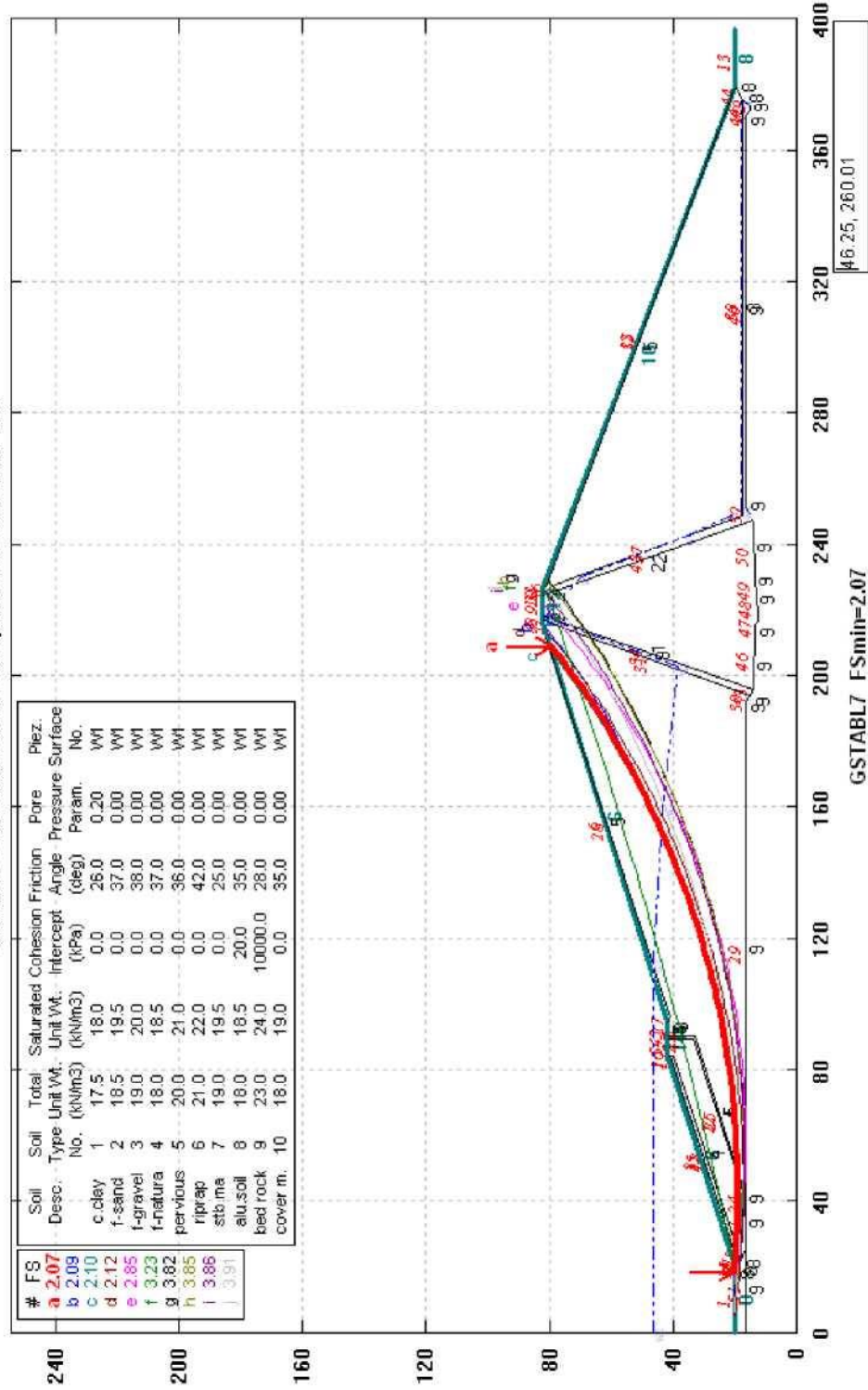
D:\STABIL\1\KIBRIS\KIME2 PL2 Run By: Userame 24.01.2005 6:22



Şekil 5.16 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-ani düşme hali-kapaktan)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-R/D FROM GATE

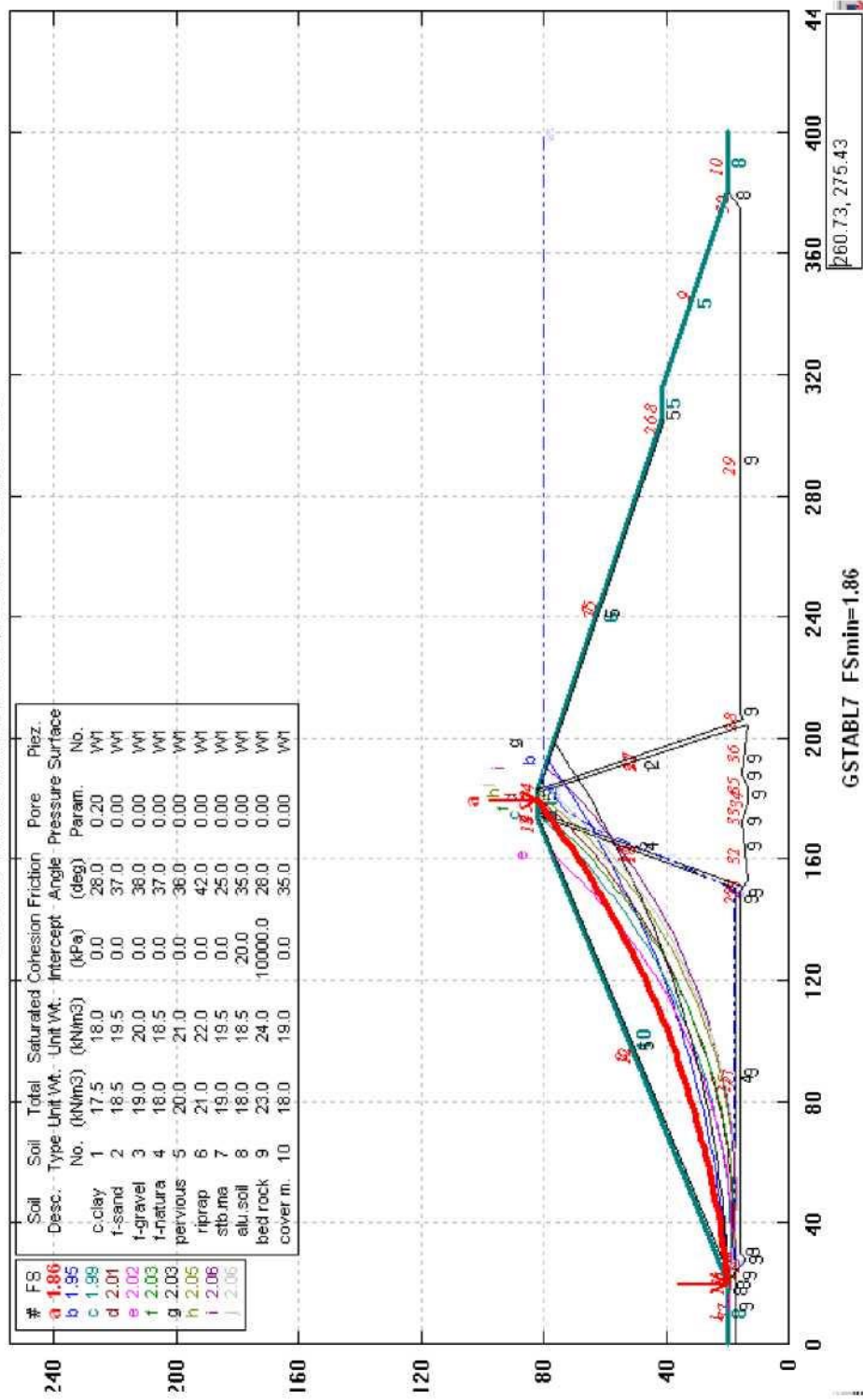
D:\STABIL\1\KIBRISKIME3.PL2 Run By: Username 24.01.2005 6:25



Şekil 5.17 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-ani düşme hali-kretten)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY DOWNSTREAM SLOPE-OPERATION STAGE

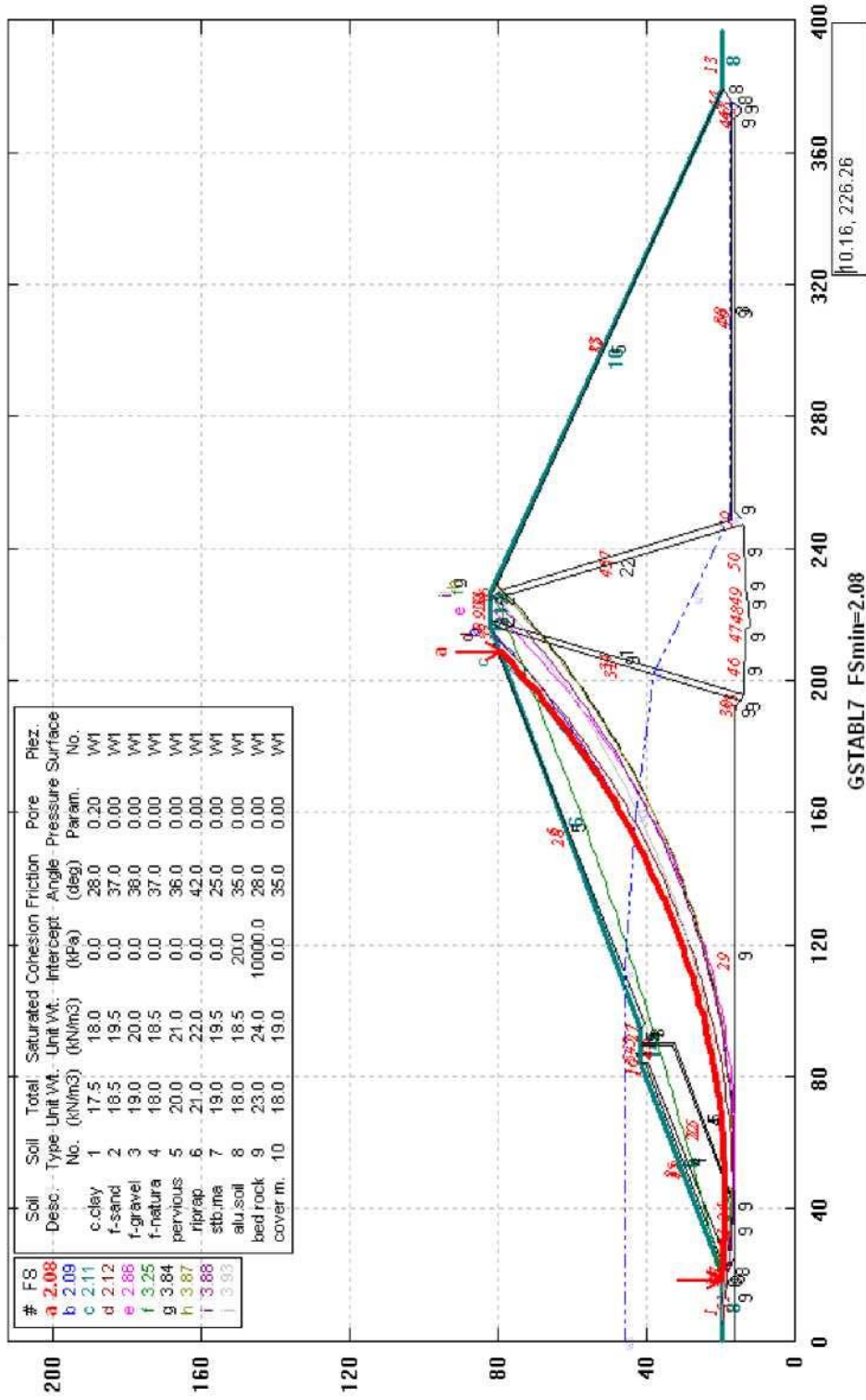
D:\STABIL~1\KIBRIS\KIMA4.PL2 Run By: Username 24.01.2005 5:10



Şekil 5.18 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap sevi-işletme hali)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-OPRETATION

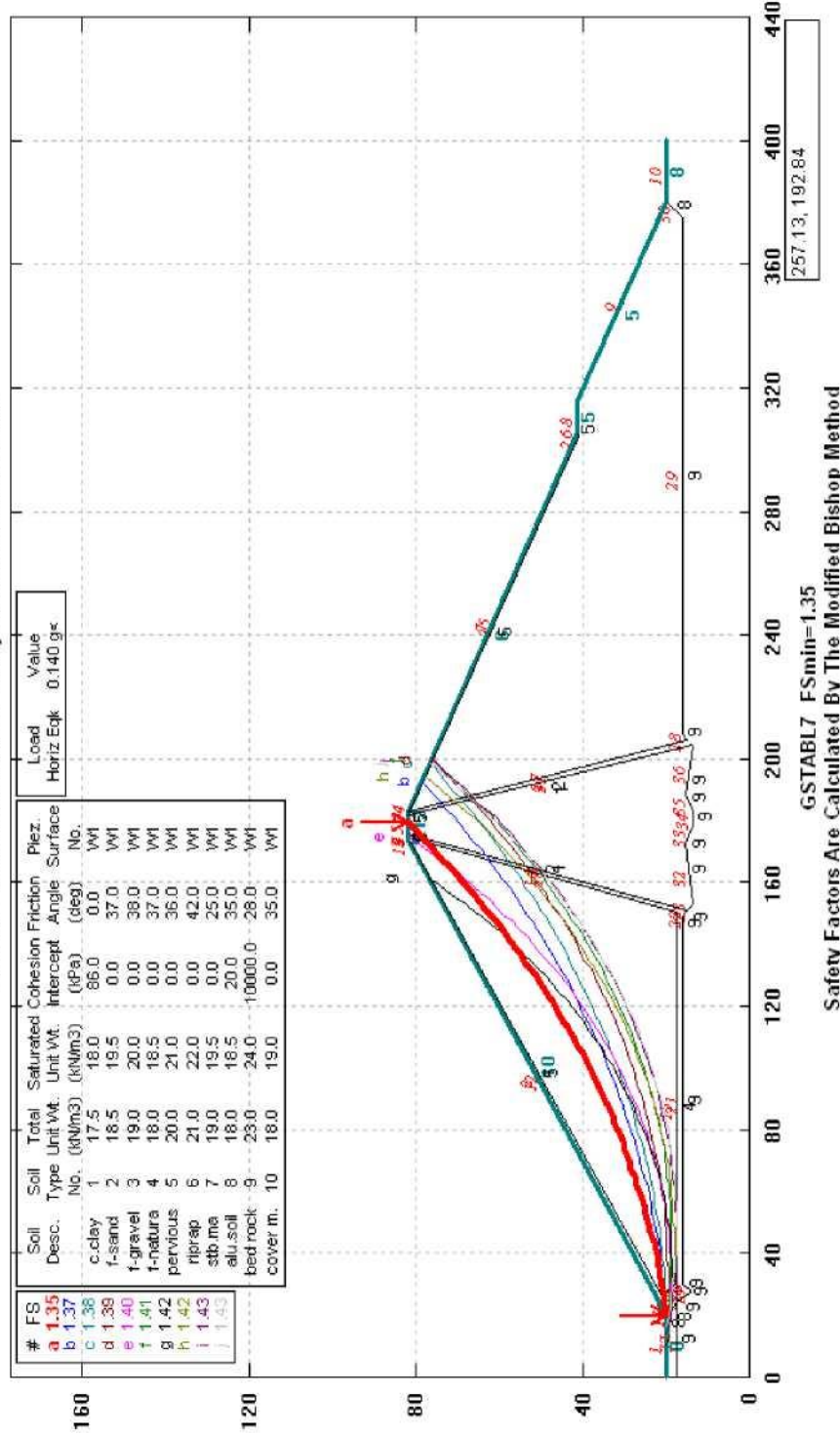
D:\STABIL\1\KIBRIS\KIME5\PL2 RunBy: Username 24.01.2005 6:04



Şekil 5.19 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi-işletme hali)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY DOWNSTREAM SLOPE-END OF CONSTRUCTION-EAR

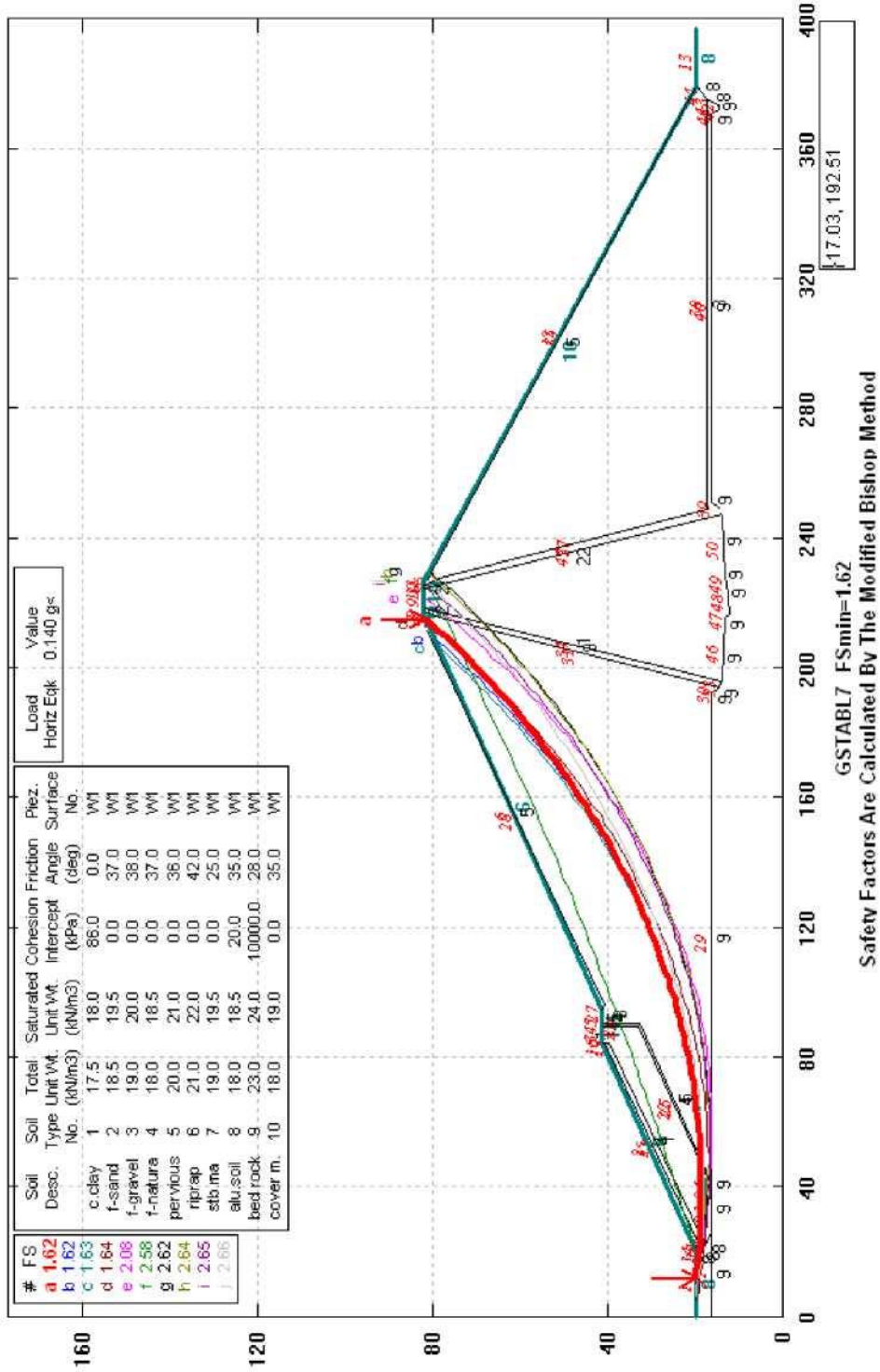
D:\STABIL\T\KIBRIS\KIMATDK.PL2 RunBy: Username 26.01.2005 6:05



Şekil 5.20 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şev-i-inşaat sonu hali-depremli)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-END OF CONST. EARTHQUAKE

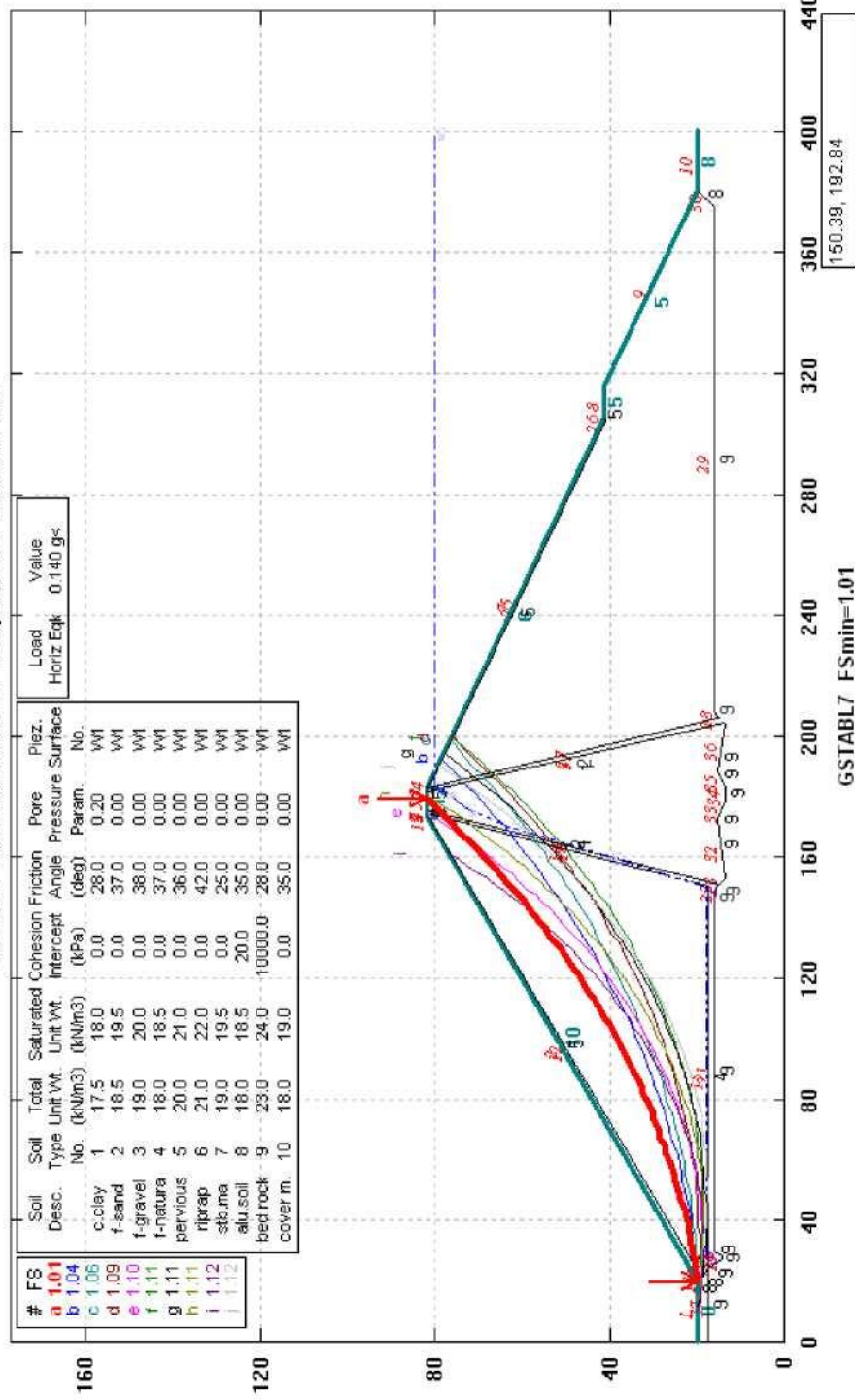
D:\STABIL\1\KIBRIS\KIME1DK.PL2 RunBy: Username 26.01.2005 8:06



Şekil 5.21 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba sevi- inşaat sonu hali-depremli)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY DOWNSTREAM SLOPE-OPERATION STAGE-EARTHQUAKE

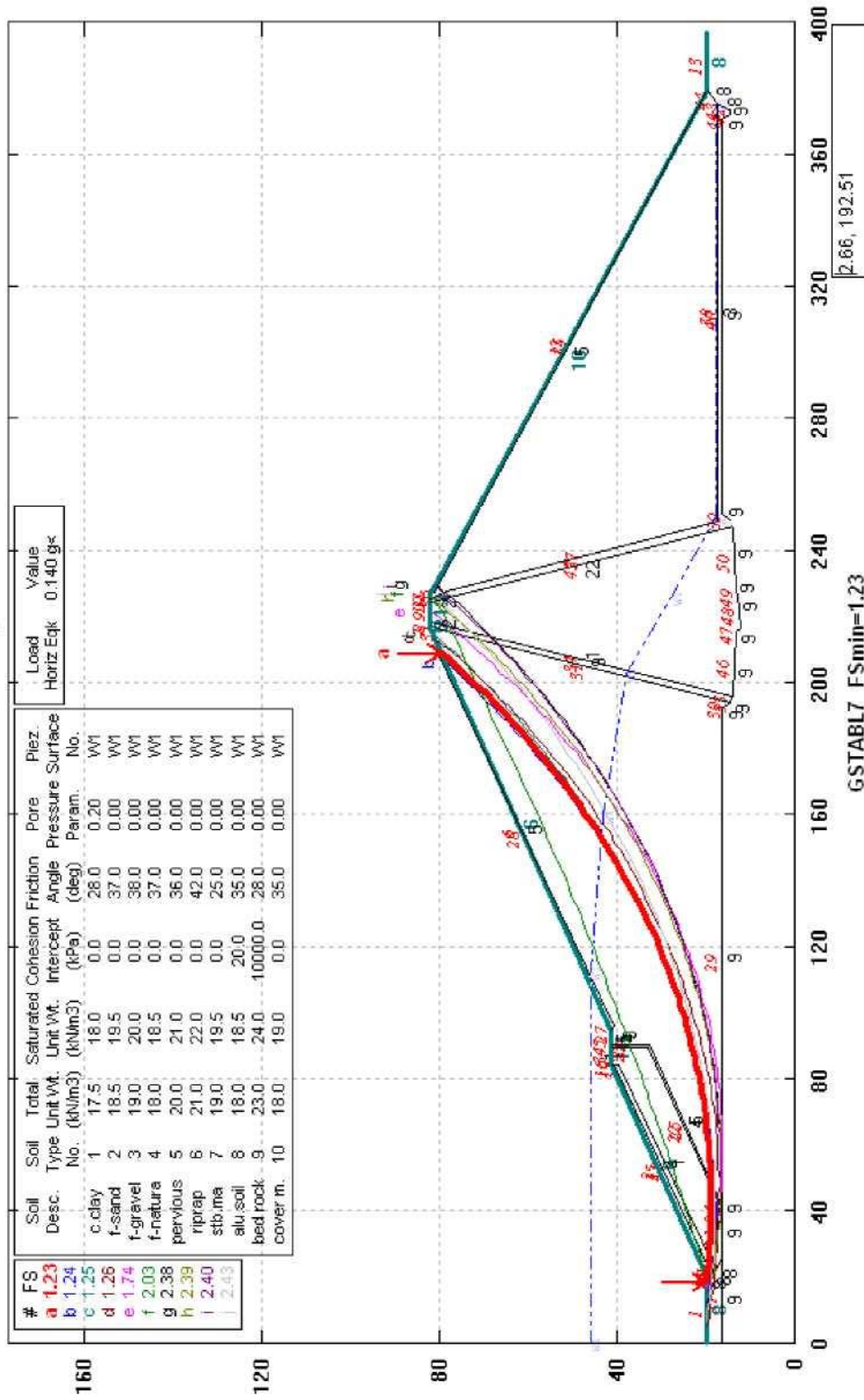
D:\STABL\1\KIBRIS\KIMA4DK.PL2 Run By: Username 26.01.2005 6:07



Şekil 5.22 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mansap şevi- işletme hali-depremli)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-OPERETATION EARTHQUAKE

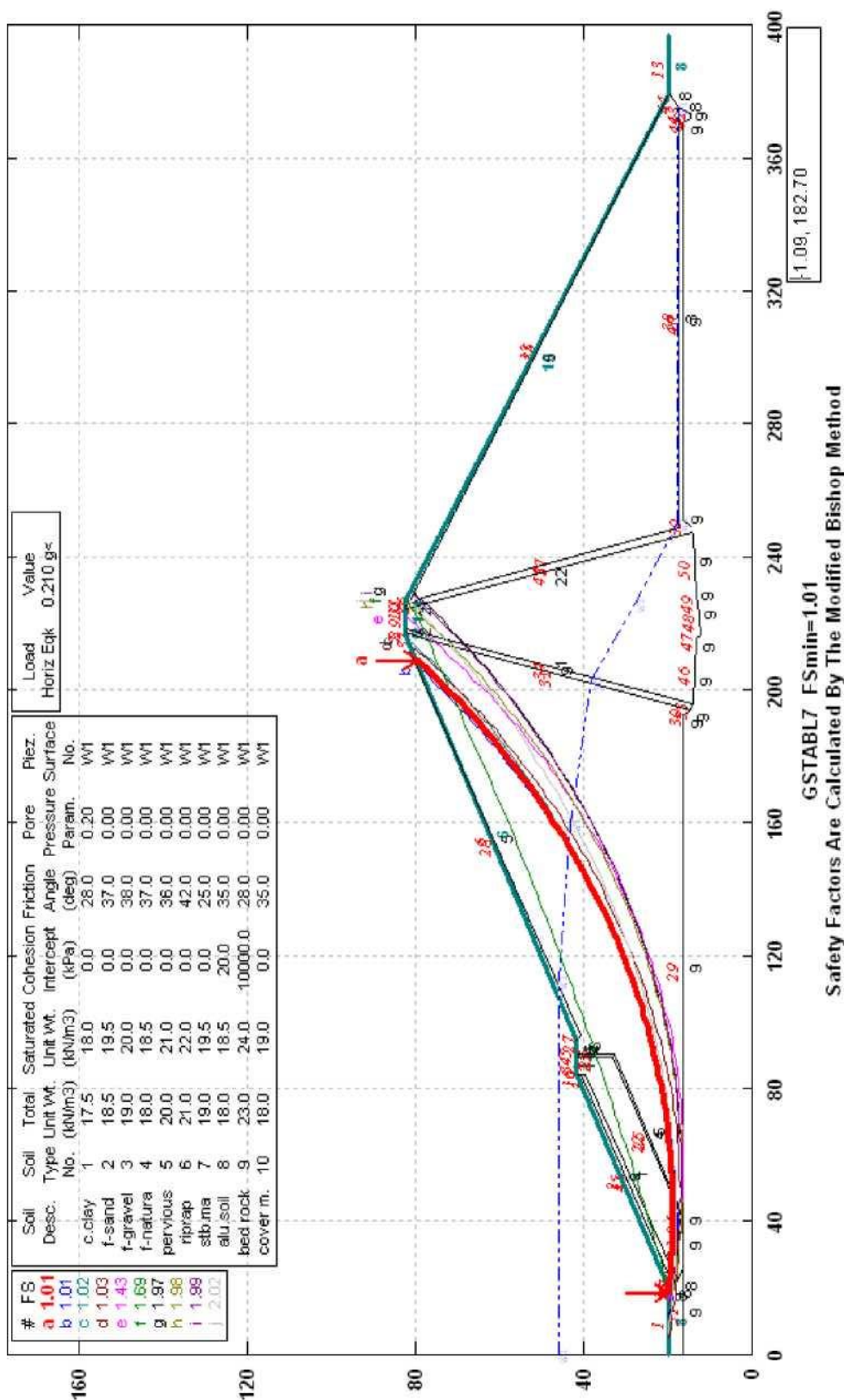
D:\STABIL~1\KIBRIS\KIME5DK.PL2 Run By: Username 26.01.2005 6:09



Şekil 5.23 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (mamba şevi- işletme hali-depremli)

KAŞ-KASABA KIBRIS DAM- SLOPE STABILITY UPSTREAM SLOPE-OPER- EARTHQUAKE-kritic

D:\STABL~1\KIBRIS\KIME5DK.PL2 Run By: Username 16.02.2005 6:40



Şekil 5.24 Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı şev stabilite analizi (kritik denge durumu-memba şev-i-depremli)

İnşaat Sonu Hali

Bu durumda güvenlik sayıları oldukça büyük elde edilmiştir. Nispi olarak memba şevine ait güvenlik sayısı daha yüksektir. Gereken güvenlik sayıları sağlanmaktadır. Mansap ve memba şevlerinde kritik kayma dairesi şev üzerinde gelişmiştir.

İşletme Aşaması

İşletme halinde mansap şevi en büyük su seviyesi, memba şevi ise en düşük su seviyesi dikkate alınarak analiz edilmiştir. Mansap şevine ait güvenlik sayısı nispi olarak daha düşüktür (Çizelge 5.9). Memba ve mansap yüzlerine ait kritik kayma dairesi, topuktan geçecek şekilde oluşmuştur.

Ani Düşme Hali

Ani düşme halinde dolgu stabilitesi, suyun en büyük seviyesinden ve kapak üst seviyesinden en düşük su seviyesine düşmesi hali için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iki durumda belirtilen eşik seviyeleri birbirine çok yakın olduğu için benzer güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Deprem Hali

Deprem hali; durum I (İnşaat sonu) ve Durum IV ve V (işletme hali) için sismik değerlendirme raporunda belirtilen en büyük yer ivmesi değerine bağlı olarak tanımlanmış sismik katsayı (0.14g) dikkate alınarak incelenmiştir. Bu analizlerde işletme halinde mansap şevinin stabilitesi daha kritik bulunmuştur. Mansap şevi için inşaat sonu ve işletme hali için güvenlik sayıları, sırasıyla 1.35 ve 1.01 olarak belirlenmiştir ($k=0.14g$ alındığı durumda). Deprem yükü altında memba şevi için de benzer güvenlik sayıları elde edilmiştir (1.62 ve 1.23). Memba şevi için sınır denge hali için k -değeri, 0.23 olarak hesaplanmıştır.

5.4. Kıbrıs Kasaba Barajının Sayısal Çözüm Sonuçları

Kıbrıs barajı gövde dolgusu dinamik analizi, 2-B sonlu elemanlar yöntemi esasında çalışan bir programla (Plaxis) yapılmıştır. Analizler, statik ve dinamik koşullar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. Model ve Malzeme Tanımı

İlgili saha içinde yer alan farklı zemin tabakaları, küçük elemanlara ayrılarak, elemanı oluşturan düğüm noktalarında denge ve süreklilik eşitlikleri kullanılarak gövdenin statik ve dinamik koşullardaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışma için beş farklı malzeme tanımı yapılarak 3 776 düğüm noktası ve 63 347 gerilme noktası için çözüm üretilmiştir. Çalışma için kullanılan ve deprem sınır şartlarını da ihtiva eden sonlu elaman modeli Şekil 5.25 'de sunulmaktadır. Deprem öncesi hidrolik yükleme koşulları Şekil 5.26'da verilmektedir.

Statik koşullardaki analizler için ince tabakalar halinde dolgunun inşa edildiği durum dikkate alınarak çözüm yapılmıştır. Bu durumda her bir tabaka için bir aşama (stage) oluşturularak, her tabakadaki ve tüm sistemdeki deplasmanlar ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Çalışmada, değişik malzeme modelleriyle analizler tekrarlanmıştır. En uyumlu çözümlerin "Mohr-Coulomb" malzeme modeliyle olduğu görülmüştür. Malzemelerin en büyük kayma modülü tanımında Denklem 5.1 kullanılmıştır.

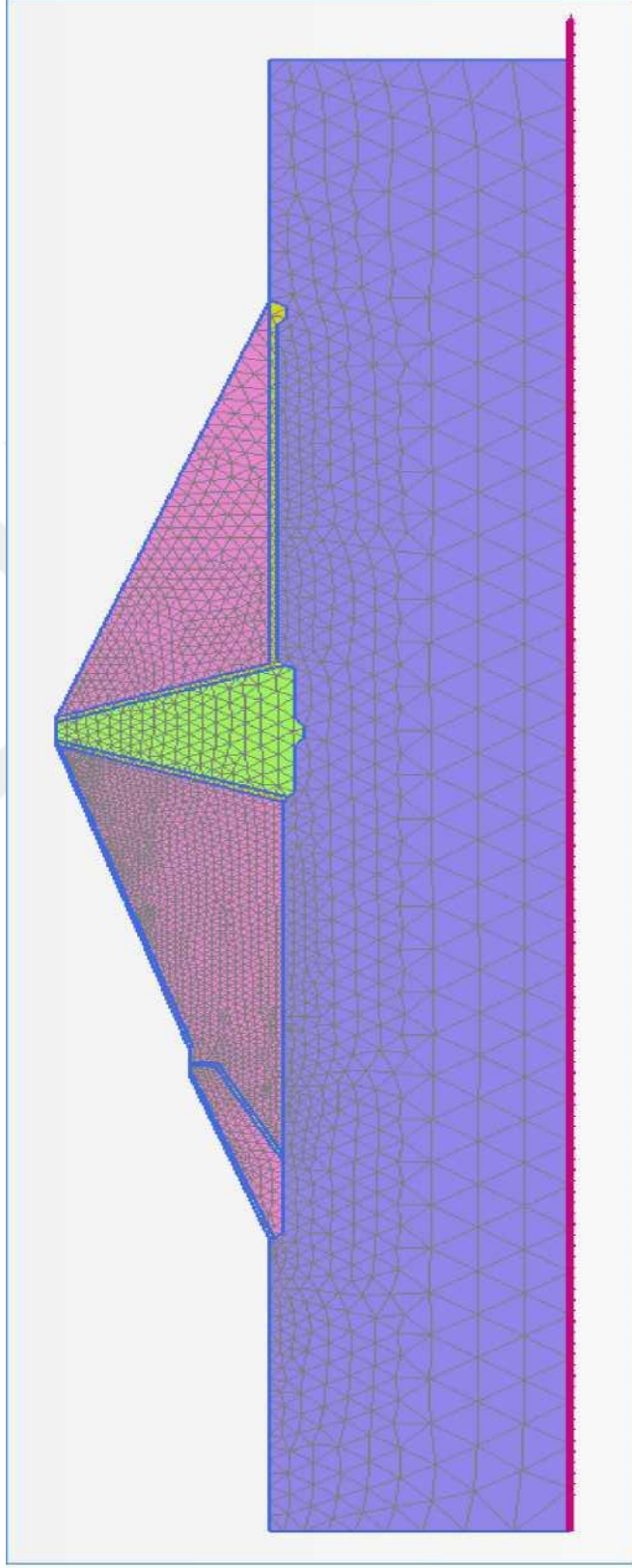
$$G_{maks} = 220 \times k_{zmaks} \times \sigma_m'^{0.5} \quad (5.1)$$

G_{maks} = en büyük dinamik kayma modülü

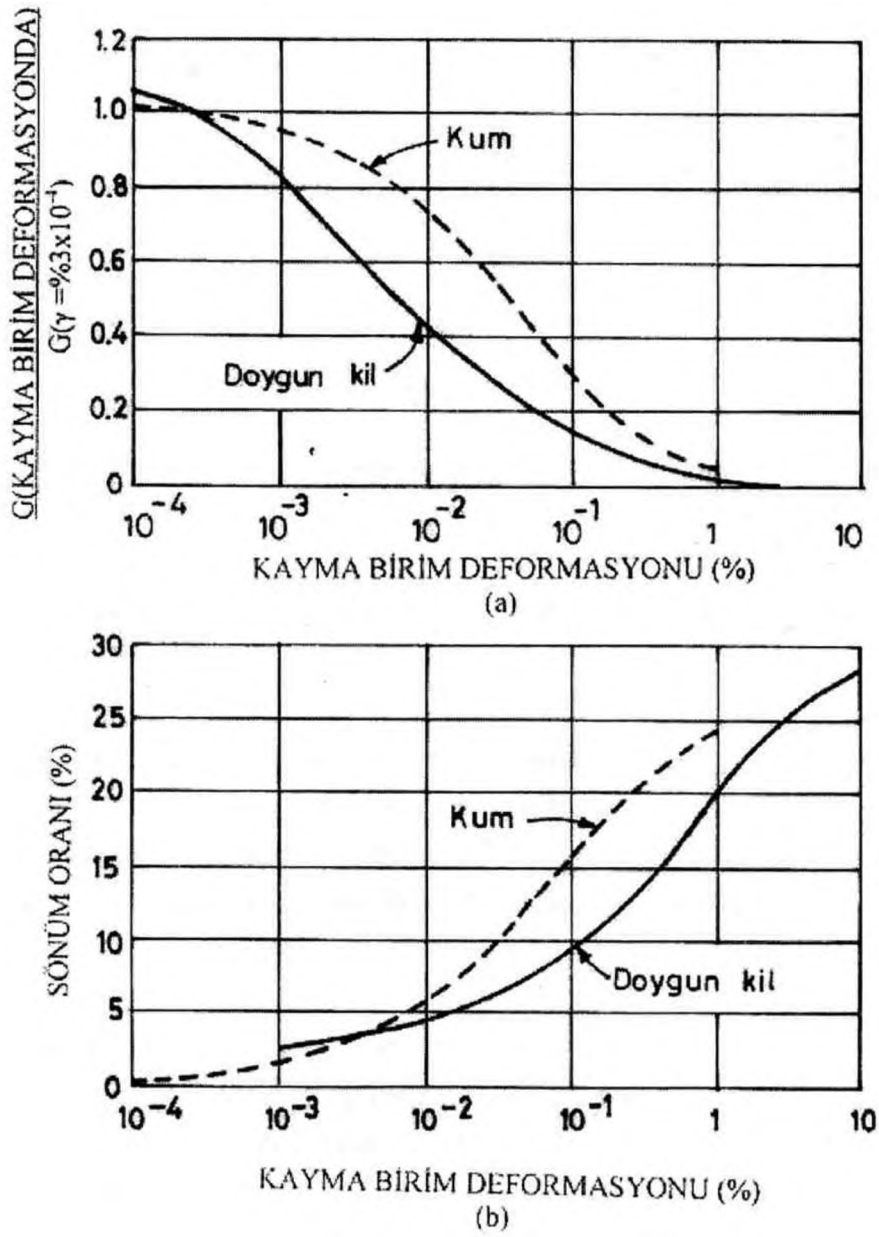
k_{zmaks} = malzeme katsayısı

σ_m' = ortalama efektif statik gerilme

Kayma birim deformasyonu, sönüm oranı ve kayma modülü, ilişkili parametreler olarak tanımlanmaktadır. Birim deformasyon artışına bağlı olarak sönüm oranındaki bir artış kayma modülünde bir azalmaya neden olur. Bu nedenle, analizlerde baraj dolgusunun maruz kalması beklenen senaryo depremdeki birim deformasyon aralığı önem arz etmektedir. Bu parametresel değişimler, Şekil 5.27 'de sunulmaktadır. İlgili şekilde doymuş kil ve kum zeminler için bu ilişki ayrı ayrı verilmektedir. Benzer ilişkinin değişik araştırmacılar tarafından da sunulduğu belirtilmelidir (Wieland ve Malla, 2005; Law vd, 2005 ve Özkan vd., 2006)



Şekil 5.25 Çalışma için kullanılan ve deprem sınır şartlarını da ihtiva eden sonlu elaman modeli



Şekil 5.27 Kayma birim deformasyonuna bağlı olarak kayma modülü ve sönüm oranının tipik değişimi (Tiedeman vd., 1984)

Analizlerde her malzeme için deformasyon modülü tanımlanmıştır. Deformasyon modülü, gerilmenin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Baba, 2002).

$$E = A (\sigma_y)^B \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte kullanılan A ve B, malzeme özelliklerine göre değişen katsayılardır. Deformasyon modülü tanımı, uygulanan çevre basıncının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Denklem 5.3)

$$E = k \times P_a [\sigma_3/P_a]^n \quad (5.3)$$

σ_3 = çevre basıncı

K= modül sayısı

n = katsayı

P_a =atmosferik basınç

Analizlerde önce Mohr-Coulomb modeli dikkate alınmıştır. Modelde kullanılan malzemeler için tanımlanan deformasyon modülü (E) ve Poison oranı (ν) değerleri Çizelge 5.10'da verilmektedir. Ancak sonradan sertleşen zemin modeli dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.10 Analizde dikkate alınan malzeme özellikleri

Malzeme cinsi	Elastik sabitler*	
	E (kN/m ²)	ν
Kil	60 000	-
Filtre	65 000	-
Geçirimli	65 000	-
Riprap	75 000	-
Anakaya	3 500 000	0.20

(*) E= deformasyon modülü ν = Poison oranı

Dinamik analizler için dolgu inşası ve su tutma aşamalarında oturmalarının bütünüyle tamamlandığı esasında bir değerlendirme ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bir başka ifade ile, dinamik analizler sonunda hesaplanan deplasmanlar yalnızca deprem etkisiyle oluşan değerlerdir. Analizlerde spektral verilere göre üretilen sentetik ivme-zaman kayıtları model temel seviyesine uygulanmış ve deprem sırasında bu kayıttan dolgunun değişik noktalarında nasıl değiştiği gözlenmiş ve oluşan deplasmanların etkisi belirlenmiştir.

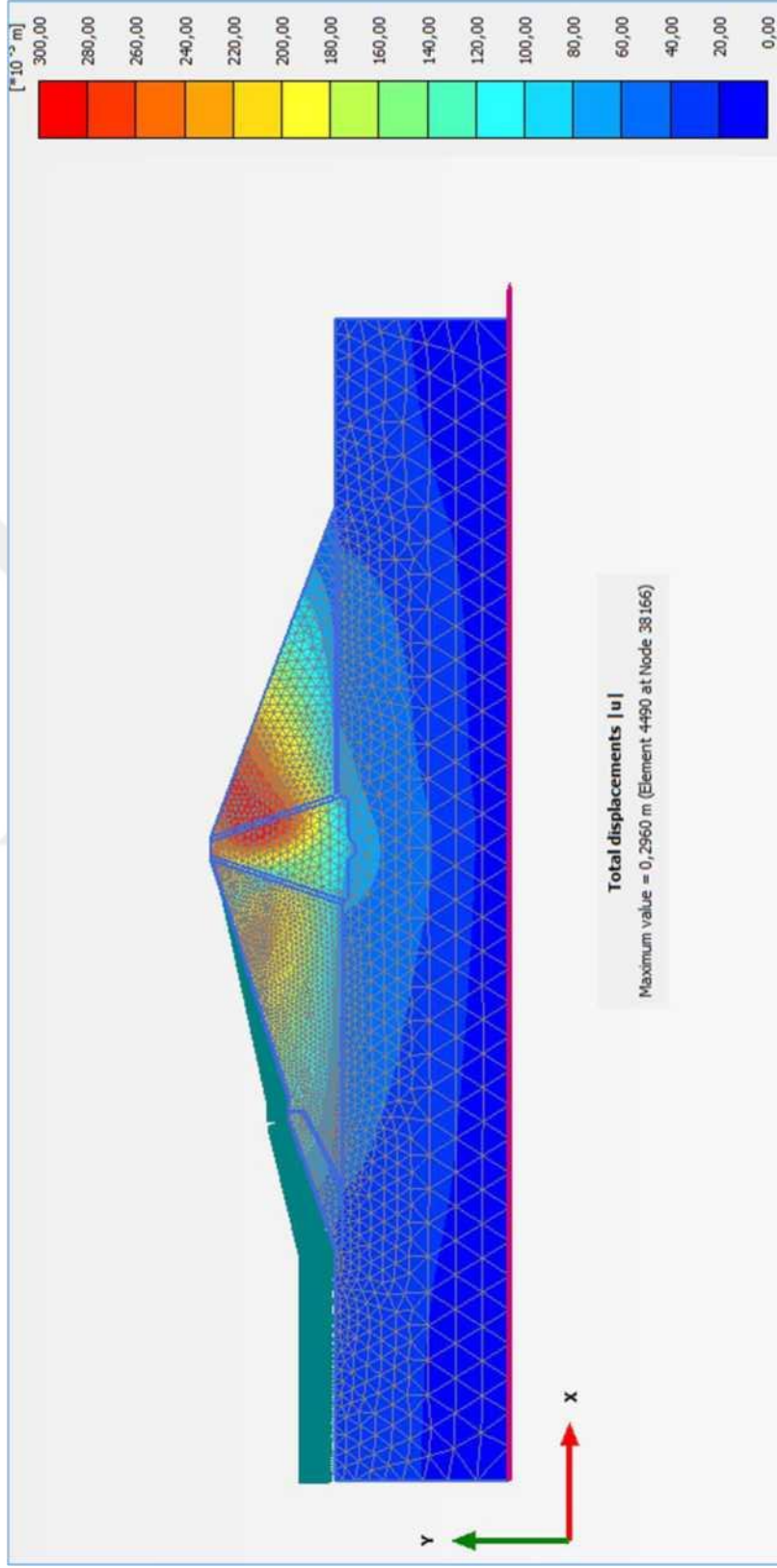
5.4.2. Analiz Sonuçları

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan dinamik analizlerde hesaplanan düşey ve yatay deplasman değerleri, yükleme koşulları için farklılık arz etmektedir. Analizler, baraj yeri risk analizine göre kritik olan MDE koşulları için yapılmıştır. Analizler, Mohr-Coulomb ve Sertleşen zemin için yapılmıştır. Sertleşen zemin güvenilir zemin özellikleri tanımlanamadığından çalışma kapsamında yalnızca Mohr-Coulomb çözümü esasında yapılan analizler sunulmuştur. Deprem analizleri bütünüyle kararlı akım koşullarının olduğu durum için gerçekleştirilmiştir.

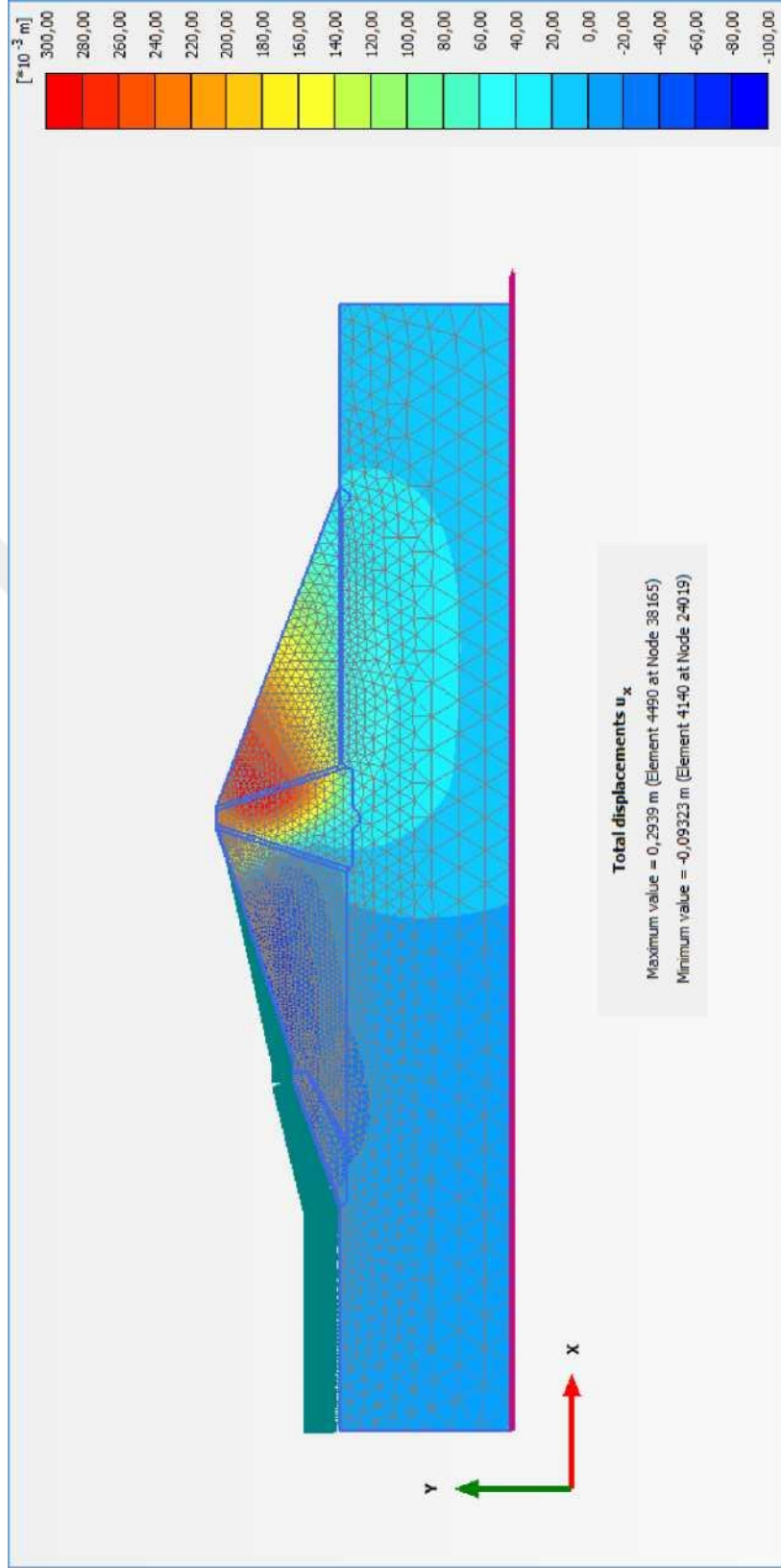
Dolgu inşası sonrası dolum süreci ayrı bir aşama kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçları, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 'da sunulmaktadır. Şekil 5.28'de vektörel bir büyüklük olarak bileşke toplam oturma, Şekil 5.29'da düşey deplasman ve Şekil 5.30'da yatay deplasman dağılımı sunulmaktadır. Analizler sonucunda en büyük düşey ve yatay deplasman değerleri, sırasıyla 29.39 cm ve 22.64 cm olarak bulunmuştur.

MDE şartlarında oluşacak düşey deplasmanların dağılımı ise Şekil 5.31 da verilmektedir. MDE koşulu için memba topuğunda ve kretin mansap yüzünde çekme çatlakları görülmektedir. Deprem sonrası krette yerel bir göçme oluşmuştur. Bu göçme biçimi, Şekil 5.32'de sunulmaktadır. OBE şartlarında oluşan deplasmanlar, MDE şartlarında oluşan değerlerden çok daha küçüktür. OBE şartları için yapılan analizler, göçme paterni yönünden MDE çözümleri ile benzerlik taşıdığı için ilgili sonuçlara burada değinilmemiştir. Ancak "sertleşen zemin" malzeme tipiyle yapılan analizler çok daha yüksek deplasman değerleri vermektedir.

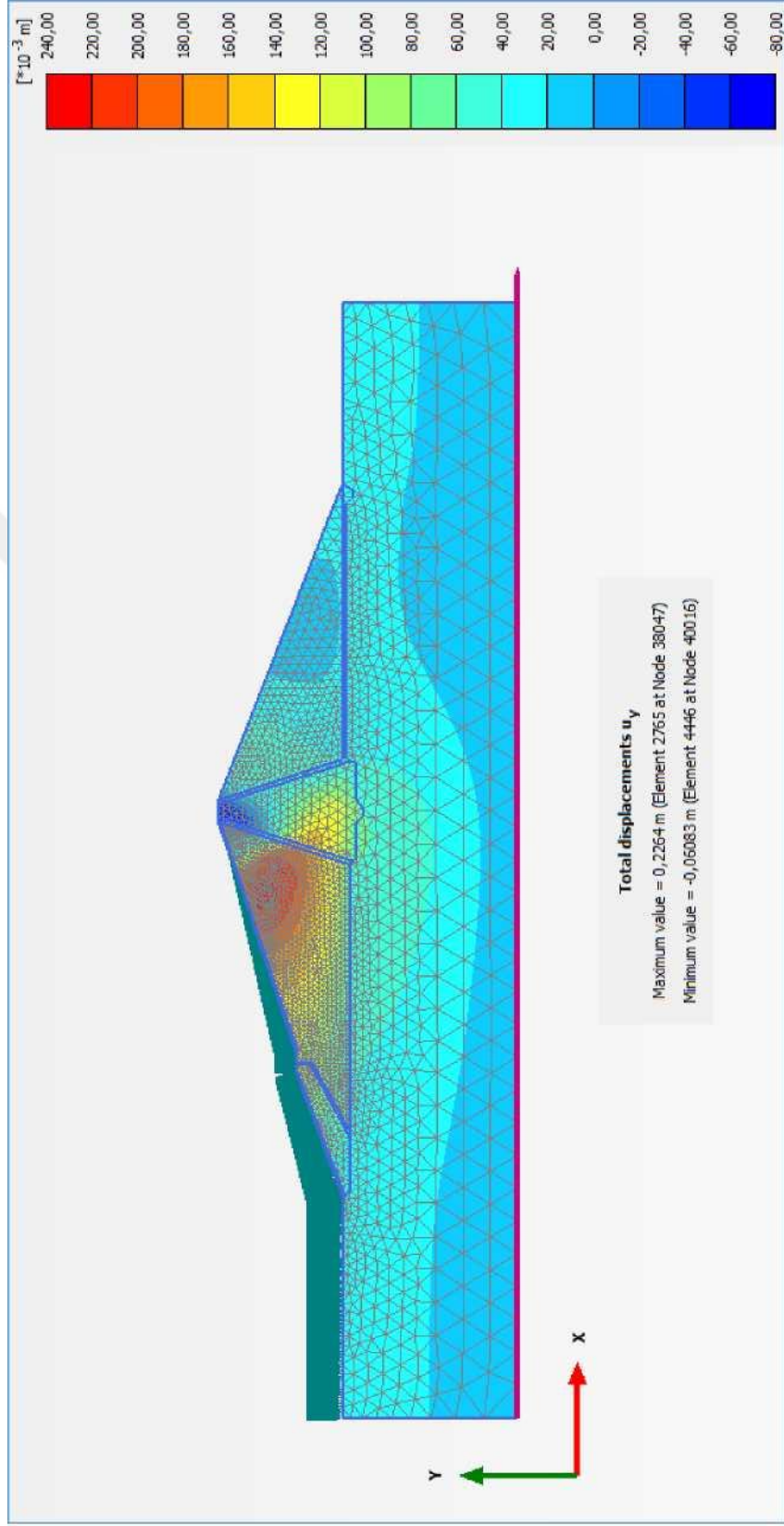
MDE yükleme koşulları için batardo seviyesinde ve kret aksında oluşan deplasmanların dağılımı, sırasıyla Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 de sunulmaktadır.



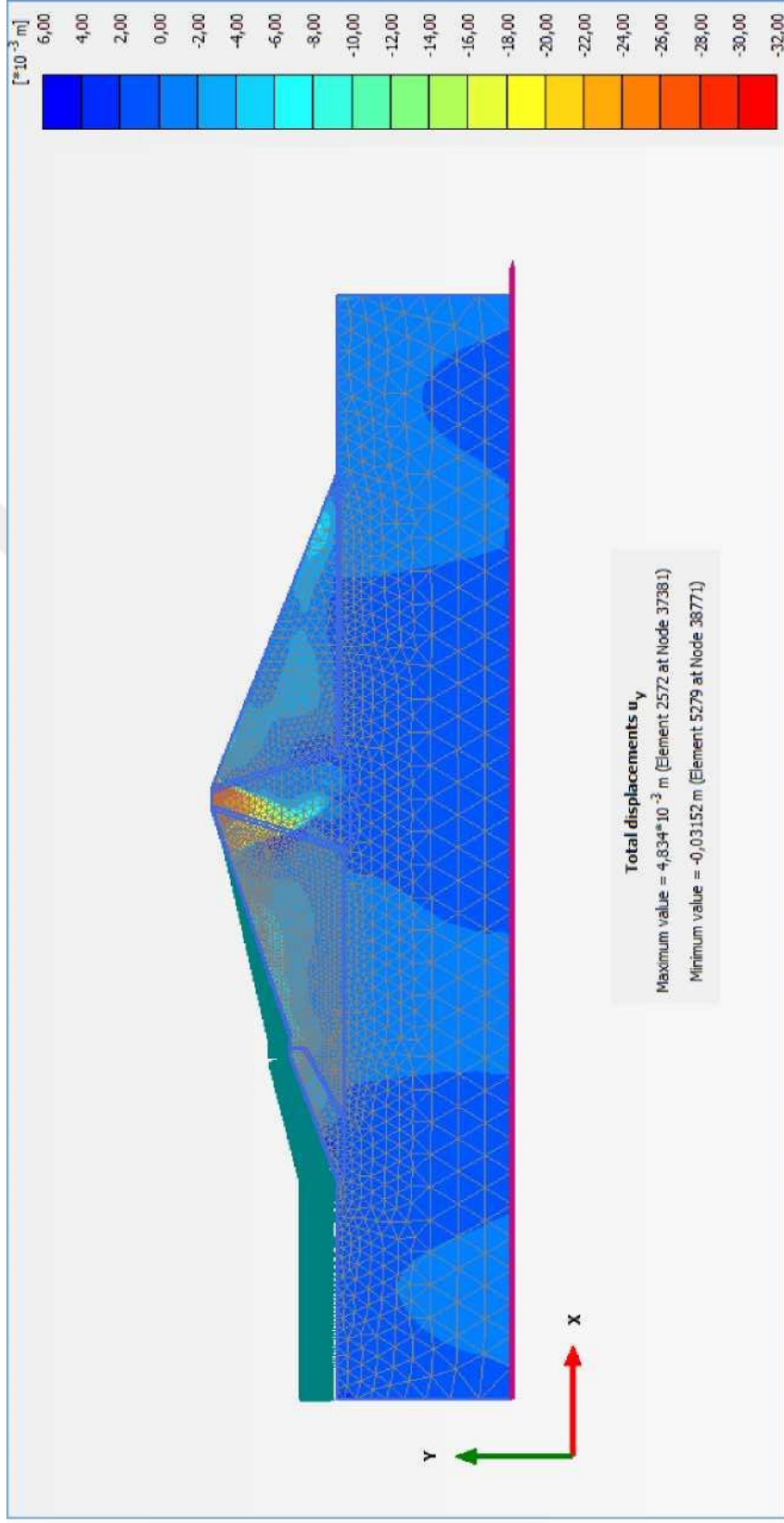
Şekil 5.28 Hidrolik yükleme koşulları için toplam oturma değerleri dağılımı



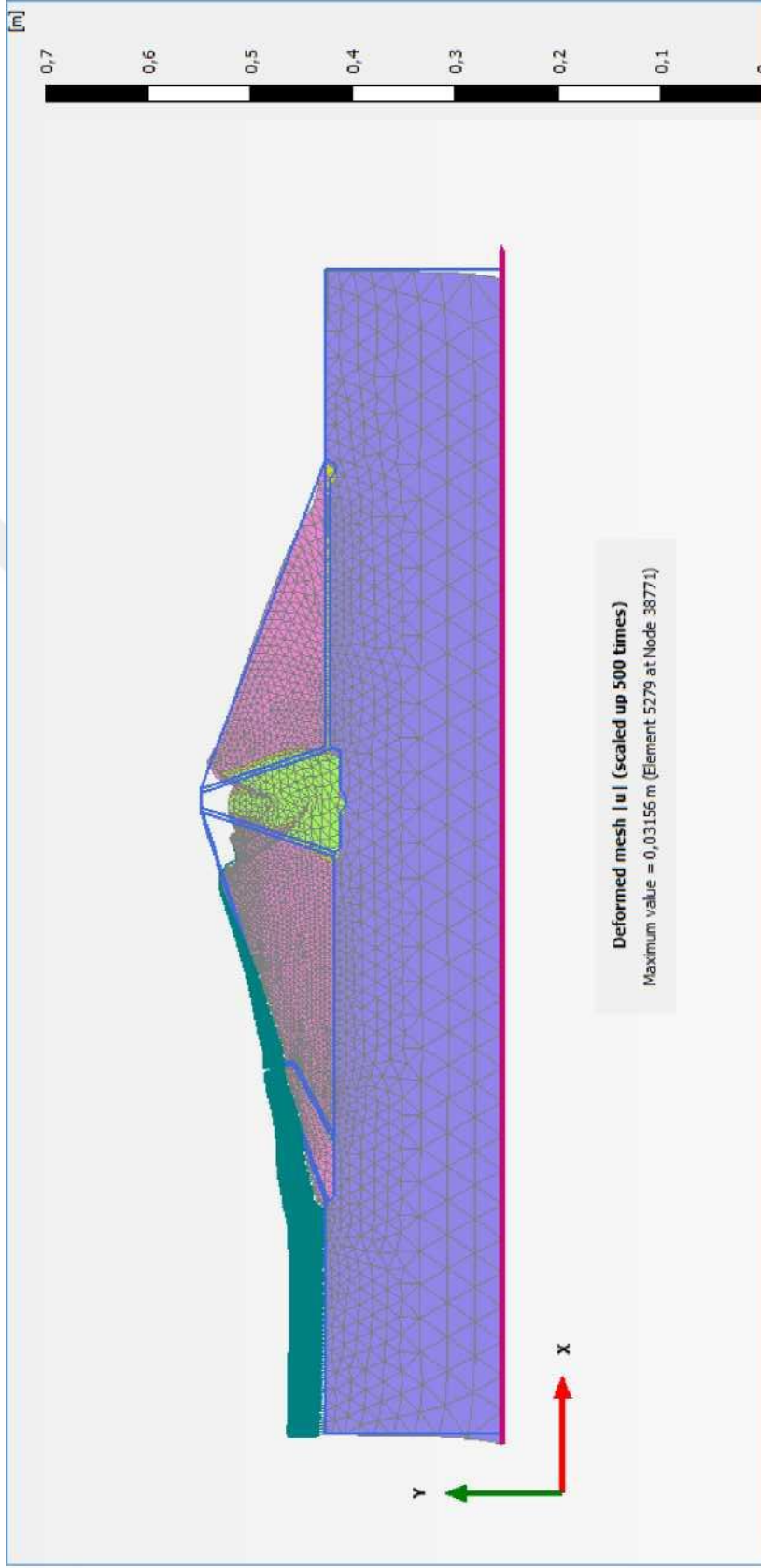
Şekil 5.29 Hidrolik yükleme koşulları için yatay oturma değerleri dağılımı



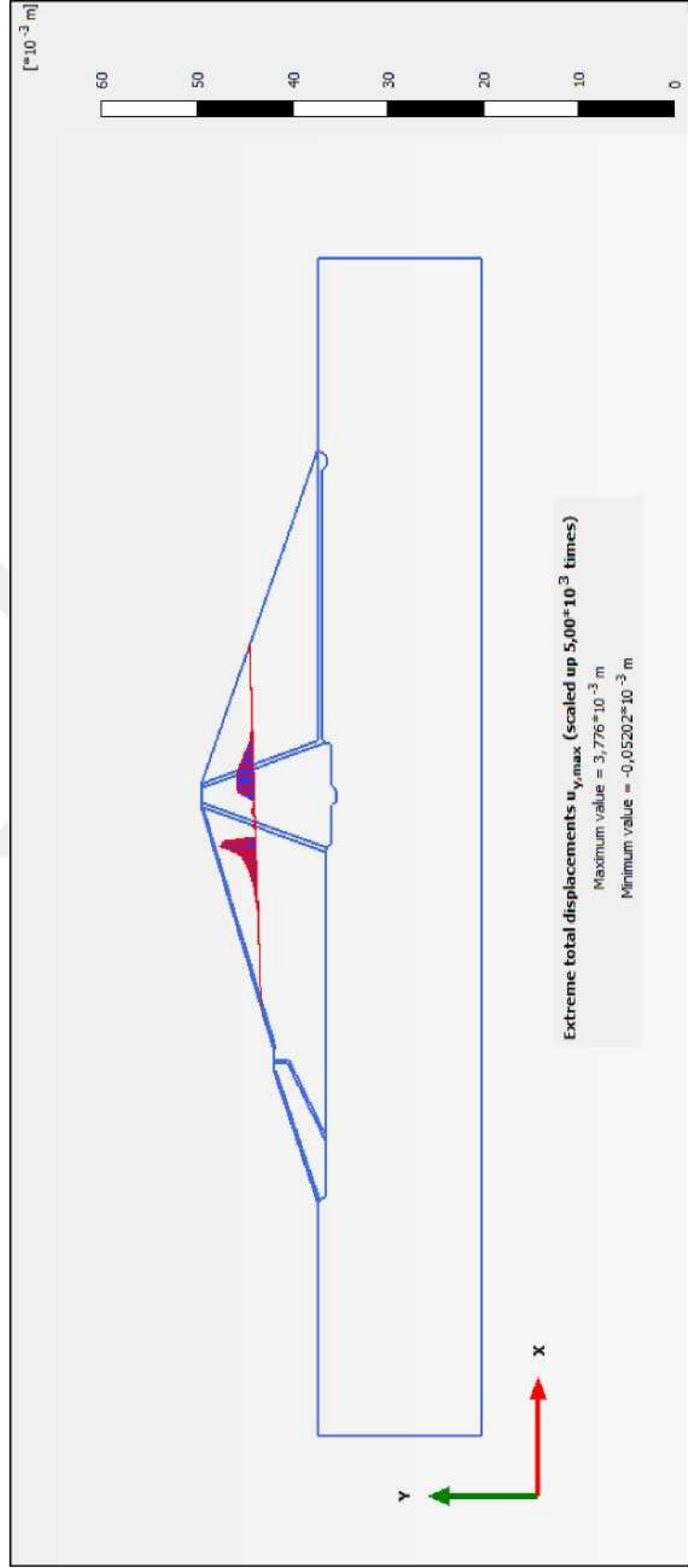
Şekil 5.30 Hidrolik yükleme koşulları için düşey oturma değerleri dağılımı



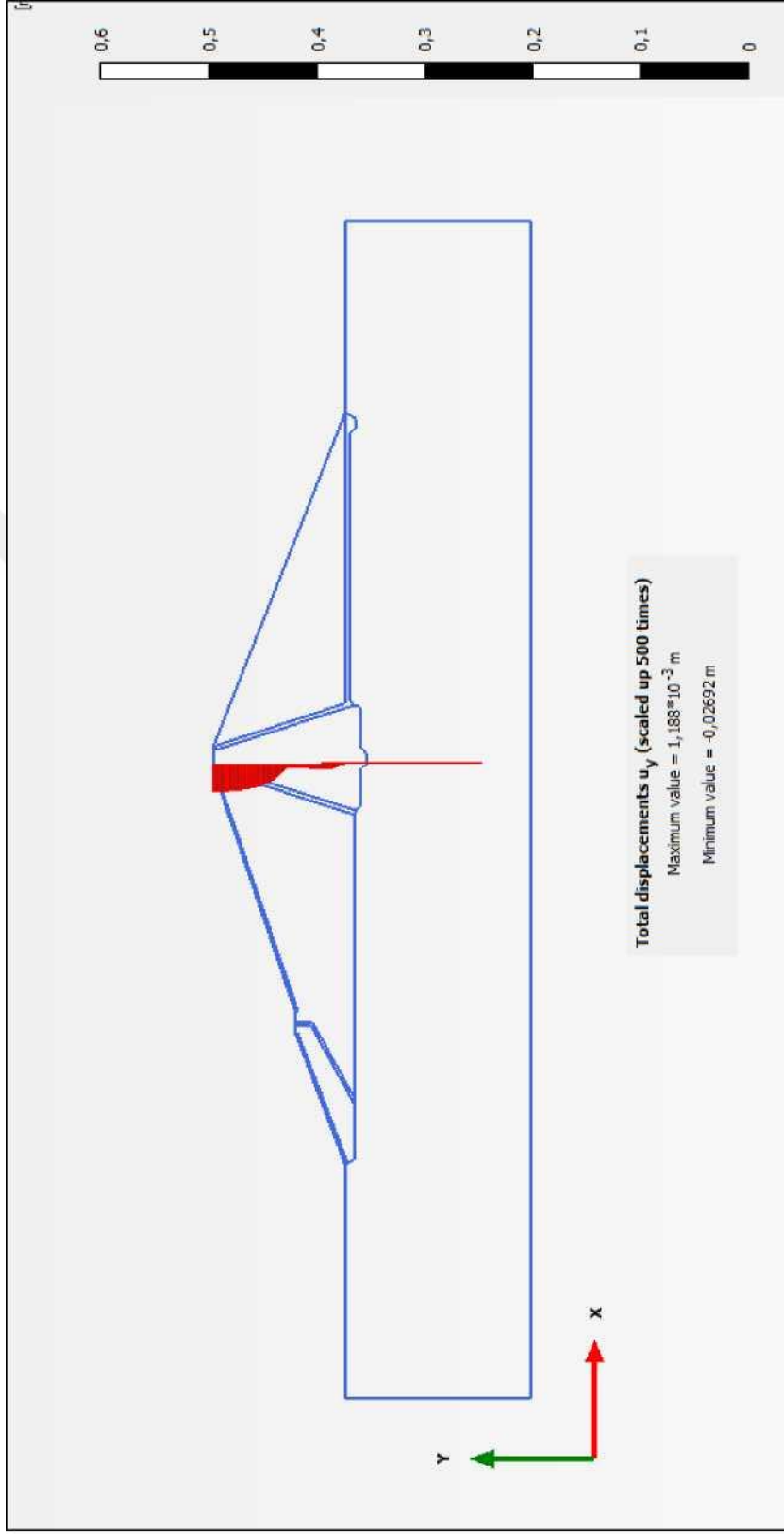
Şekil 5.31 İşletme hali MDE şartı düşey deplasman dağılımı



Şekil 5.32 İşletme hali MDE yatay göçme biçimi (500 defa büyütülmüş)



Şekil 5.33 MDE şartlarında batardo seviyesindeki yatay düzlemde oluşan düşey deplasman dağılımı (5000 defa büyütülmüş)



Şekil 5.34 MDE şartlarında kret aksında düşey deplasman dağılımı (5000 defa büyütülmüş)

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1.Sismik Tehlike Analizi için Değerlendirme

Çalışma kapsamında dikkate alınan baraj yeri, yerel ve bölgesel yapılan çalışmalara göre sismisite yönünden aktif bir alan içinde yer almaktadır. Baraj bölgesinde geçen 105 yıllık periyod içinde magnetüdü (Mw) 4.0'den büyük 1013 adet deprem tespit edilmiştir. Sahada büyüklüğü 5.5 ve 5.5'den büyük 71 adet deprem oluşmuştur. Magnetüdü 6.0 ve 6.0'dan büyük sismik yer aktivite sayısı ise 14 olarak belirlenmiştir. Büyüklüğü 6.5'den büyük 1 deprem oluşmuştur. Çalışma sahasında kritik zon göz önüne alınarak bir değerlendirme yapıldığında, büyük depremler oluşmamasına rağmen, sismik yer hareketi sayısının oldukça yüksek olduğu ve sahanın aktif bir sismo-tektonik yapıda olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında iki ayrı senaryo dikkate alınarak baraj yeri sismik tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda, konvansiyel model” olarak adlandırılan ve ilk sismo-tektonik yapıyı dikkate alan çözümde yeni sismik kaynaklar dikkate alınmamıştır. BU durumda baraj yeri “yakın kaynak zonu” etkisi altında değildir. İkinci senaryoda ise güncel veriler dikkate alınarak oluşturulan sismo-tektonik yapı esasında değerlendirme yapılmıştır. Bu sismo-tektonik yapıda baraj yapısına yakın geçen bir olası fay segmenti dikkate alınmıştır. Bu durumda baraj yeri “yakın kaynak zonu etkisi altındadır.

Her iki senaryo için deterministik esasta belirlenen sismik tasarım parametreleri Çizelge 6.1’de özet halinde sunulmaktadır.

Çizelge 6.1 İki ayrı senaryoya göre deterministik sismik tehlike analizi sonuçları özeti

Değerlendirme	Zon Adı	Segment	Mmaks	Rmin (km)	Tip	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
						Medyan -ss	Medyan	Medyan +ss
Senaryo 1	Zon 3	S3_2	5,812	15,441	Normal	0,072	0,120	0,199
Senaryo 2	Zon3	S3_1	5,885	5,575	Normal	0,138	0,227	0,375

Deterministik analiz çalışmalarına göre, baraj sahası için Kaş fay zonunun kritik olduğu görülmüştür. (sismo-tektonik modeldeki 3-3 nolu kaynak zonudur). Senaryo 1'e göre bu zondaki segment, en büyük 5.8 magnetüdünde bir sismik yer hareketi üretebilecektir. Bölüm 5'de değinildiği gibi bu kaynak zonu için bulunan maksimum yer ivmesi değerleri (PGA) 0.107g ile 0.137g arasındadır. Yapılan Analiz çalışmalarına göre bütün azalım ilişkilerinde birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur. Tüm azalım ilişkilerine bağlı deterministik esasta ortalama PGA değeri, 0.120g olarak bulunmuştur. Senaryo 2 için kritik kaynak zonu, baraj yakınından geçen olası faydır. Bu fay yakın kaynak zonu etkisi yaratmaktadır. Bu senaryoya göre deterministik esasta PGA değeri, ortalama 0.227g olarak hesaplanmıştır.

Probabilistik esasta OBE ve MDE için hesaplanan PGA değer aralığı çok geniştir. Senaryo 1'de OBE için hesaplanan PGA değerleri 0.158g ile 0.369g arasında yer almaktadır. MDE için aynı değerler 0.202g ile 0.477g arasında bulunmaktadır. Campbell (1981) ilişki oldukça düşük ve Gülkan-Kalkan (2002) ilişkisi oldukça yüksek değerler sunmaktadır. OBE ve MDE için ortalama maksimum yer ivmesi değerleri, sırasıyla 0.273g ve 0.352g olarak belirlenmiştir. Senaryo 2'de ise aynı deprem seviyeleri için en büyük yer ivmesi değerleri, ortalama olarak sırasıyla 0.399g ve 0.521g olarak belirlenmiştir. İlgili veriler, Çizelge 6.2'de toplu olarak sunulmaktadır.

Çizelge 6.2 İki ayrı senaryoya göre probabilistik sismik tehlike analizi sonuçları özeti

Değerlendirme	En Büyük Yer İvmesi, PGA (g)		
	OBE	MDE	SEE
Senaryo 1	0,273	0,352	0,463
Senaryo 2	0,399	0,521	0,697

Çalışma kapsamında toplam risk iki ayrı yöntem (ICOLD ve BUREAU) kullanılarak değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirme sonuçları, Çizelge 6.3'de toplu olarak verilmektedir. Bu sonuçlara göre her iki senaryoda da risk orsanı yüksektir.

Çizelge 6.3 İki ayrı senaryoya göre toplam risk analizi sonuçları özeti

#	Model	Total Risk (ICOLD,1989)			Total Risk (Bureau, 2003)		
		Risk Faktörü	Risk Sınıfı	Risk Oranı	Risk Faktörü	Risk Sınıfı	Risk Oranı
1	Senaryo 1	30	III	Yüksek	143.3	III	Yüksek
2	Senaryo 2	30	III	Yüksek	153.7	III	Yüksek

DSİ Genel Müdürlüğünün uygulamasında sismik parametrelerin seçimi ile ilgili olarak baraj yeri toplam riski ve sismik tehlike yöntemi esasında bir değerlendirme esası oluşturulmuştur. Bu değerlendirme esası özet olarak Çizelge 6.4’de sunulmaktadır.

Çizelge 6.4. Risk sınıfına bağlı olarak sismik parametrenin seçimi (DSİ, 2012)

Tehlike Analizi		Deterministik Yöntem	Probabilistik Yöntem
Sınıf	Tehlike Oranı		
I	Düşük	% 50	$T_R = 224$ yıl (*)
II	Orta	% 50	$T_R = 475$ yıl
III	Yüksek	% 84	$T_R = 975$ yıl
IV	Çok Yüksek	% 84	$T_R = 2475$ yıl

(*) T_R = dönüş periyodu

İlgili esasa göre, barajın yüksek risk oranına sahiptir ve bu durumda deterministik sismik tehlike analizi yöntemi ile analiz yapılması halinde PGA değeri % 84 percentil değeri kadar artırılarak kullanılmalıdır. Probabilistik yöntem esasından 2475 dönüş periyodlu deprem kullanılmadığı. Bu değerlendirme esasına göre PGA değeri deterministik yöntem esasına göre senaryo 1 ve senaryo 2 için sırasıyla 0.199g ve 0.375g alınmalıdır. Probabilistik yöntem esasına göre ilgili değer 0.463g (senaryo 1) ve 0.697g (senaryo 2) olarak belirlenmiştir. Baraj yerine göre probabilistik esasta elde edilen PGA değerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

6.2. Şev Stabilité Analizi için Değerlendirme

Şev stabilite analizlerinde inşaat sonu için toplam gerilme esasında ve işletme durumlarında ise efektif esasta tanımlanan kayma dayanımı parametreleri kullanılarak ve analizler yapılarak güvenlik sayıları hesaplanmış ve güvenlik sayısının 1.0’e eşit olduğu

durum için sismik katsayı değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan analiz sonuçları, bölüm 5’de sunulmaktadır. İşletme hali için kararlı akım koşullarının olduğu durumda efektif kayma dayanım parametreleri ($c'=0$ ve $\phi=28^\circ$) ve inşaat sonu hali için ($c=86 \text{ kN/m}^2$ ve $\phi=0^\circ$) dikkate alınarak çözüm üretilmiştir. İşletme aşaması durumlar için boşluk suyu basıncı katsayısı dikkate alınmıştır ($r_u=0.2$).

İnşaat Sonu Hali için güvenlik sayıları oldukça büyük elde edilmiştir. Nispi olarak memba şevine ait güvenlik sayısı daha yüksektir. Gereken güvenlik sayıları sağlanmaktadır. İşletme halinde mansap şevi en büyük su seviyesi, memba şevi ise en düşük su seviyesi dikkate alınarak analiz edilmiştir. Mansap şevine ait güvenlik sayısı nispi olarak daha düşüktür. Memba ve mansap yüzlerine ait kritik kayma dairesi, topuktan geçecek şekilde oluşmuştur.

Rezervuardaki suyun ani düşme halinde dolgu stabilitesi, suyun en büyük seviyesinden ve kapak üst seviyesinden en düşük su seviyesine düşmesi hali için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iki durumda belirtilen eşik seviyeleri birbirine çok yakın olduğu için benzer güvenlik sayıları elde edilmiştir.

Deprem hali; durum I (İnşaat sonu) ve Durum IV ve V (işletme hali) için sismik değerlendirme raporundan belirtilen en büyük yer ivmesi değerine bağlı olarak tanımlanmış sismik katsayı ($0.14g$) dikkate alınarak incelenmiştir. Bu analizlerde işletme halinde mansap şevinin stabilitesi daha kritik bulunmuştur. Mansap şevi için inşaat sonu ve işletme hali için güvenlik sayıları, sırasıyla 1.35 ve 1.01 olarak belirlenmiştir. (Deprem yükü altında memba şevi için de benzer güvenlik sayıları elde edilmiştir (1.62 ve 1.23). Memba şevi için sınır denge hali için k -değeri, 0.23 olarak hesaplanmıştır.

Püsoda-statik analizlerde kullanılan sismik katsayı k -değerinin seçimi, analizlere önemle etkiyen bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Tosun (2018); konuyla ilgili geniş bir değerlendirme yapmış ve bu parametrenin seçimi ile ilgili tüm yaklaşımları özet halinde Çizelge 6.5’de sunmaktadır.

Çizelge 6.5. Sismik katsayı k-değerleri ile farklı öneriler (Tosun, 2018)

Yatay Sismik Katsayı, k	Tanımlama	
0.05-0.10	ABD’de	
0.12-0.25	Japonya’da	
0.10	Ciddi depremler	Terzaghi (1950)
0.20	Tahrip edici depremler	
0.50	Katastrofik depremler	
0.10-0.20	$F_s > 1.15$	Seed (1979)
0.10	Belirgin Depremler	EM-1110-2 1902 (1970)
0.15	Büyük depremler	
PHA’nın $\frac{1}{2}$ ile $\frac{1}{3}$ ’ü arasında*	$F_s > 1.0^{**}$	Marcuson ve Franklin (1983)
PHA’nın $\frac{1}{2}$ ‘si	$F_s > 1.0$	Hynes-Griffin ve Franklin (1984)

Bu veriler ışığında baraj yeri sismo-tektmik özelliklerine göre k-değerinin 0.10 ile 0.20 arasında bir değer olarak seçilmesi gereklidir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bu proje için sismik katsayı değerinin 0.14 olarak seçilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Seçilen ilgili parametre, sınır koşullarda bir güvenlik sayısı vermektedir. Ancak DSİ (2012)’e göre bir ampirik eşitliğe bağlı olarak yapılan değerlendirme yüksek değerler elde edilmiştir. Özellik senaryo 2 için ilgili verilerin kullanılması halinde gereken güvenlik sayısı sağlanamamaktadır.

6.3. Sayısal Analiz için Değerlendirme

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan dinamik analizlerde farklı yükleme koşulları için düşey ve yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. Analizler, farklı deprek tanımları için yapılmış, ancak burada şartname gereği baraj yeri risk analizine göre kritik olan MDE koşulları için yapılan analiz sonuçlarına değinilmiştir. Analizler, Mohr-Coulomb ve Sertleşen zemin için yapılmıştır. Sertleşen zemin güvenilir zemin özellikleri tanımlanamadığından çalışma kapsamında yalnızca Mohr-Coulomb çözümü esasında yapılan analizler sunulmuştur. Deprem analizleri bütünüyle kararlı akım koşullarının olduğu durum için gerçekleştirilmiştir.

Dolgu inşası sonrası dolum süreci ayrı bir aşama kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda en büyük düşey ve yatay deplasman değerleri, sırasıyla 29.39 cm ve 22.64 cm olarak bulunmuştur.

MDE şartlarında oluşacak düşey deplasman değeri 3.12 cm oluşmuştur. MDE koşulu için memba topuğunda ve kretin mansap yüzünde çekme çatlakları görülmektedir. Deprem sonrası krette yerel bir göçme oluşmuştur. OBE şartlarında oluşan deplasmanlar, MDE şartlarında oluşan değerlerden çok daha küçüktür. Ancak “sertleşen zemin” malzeme tipiyle yapılan analizler çok daha yüksek deplasman değerleri vermektedir.

Dinamik analizlerde bulunan bu deplasman değerlerinin, ampirik yöntemlerle elde edilen değerlerle bütünlük taşıması beklenir. Bu amaçla Makdisi ve Seed (1978) yöntemindeki kritik dairelerin konumu belirlenmiştir. Toplam ve efektif koşullarda yapılan Püsoda-statik analizlerde kritik kayma daireleri, çoğunlukla dolgu topuklarından geçmektedir ($z/H=1.0$). Kayma daire topuğunun şevin üzerinde (yarı noktasında) olduğu durum için k_{maks}/a_{maks} değeri, 0.50 olarak belirlenmiştir. Bu parametre esasında yapılan analizlerde de ampirik yöntemle belirlenen deplasman değeri 3 ile 6 cm arasında değişmektedir. Bulunan bu değerler, sayısal modellerle bulunan değerleri doğrulamaktadır. Özetle MDE koşulu için oluşacak deplasmanlar, barajın genel göçmesine neden olmayacak seviyede düşüktür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, dolgu barajlar için sismik tehlike, şev stabilite ve sayısal çözüm yöntemleri ile Batı Akdeniz Havzası içinde yer alan Kaş-Kasaba Kıbrıs barajı ile ilgili gerçekleştirilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar özet olarak aşağıda sunulmaktadır:

- Çalışma sahasında; büyük depremler oluşmamasına rağmen, deprem sayısı oldukça yüksek olduğu ve sahanın aktif bir sismo-tektonik yapıda olduğu görülmüştür.
- Çalışma kapsamında iki ayrı senaryo dikkate alınarak baraj yeri sismik tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda, “konvansiyel model” olarak adlandırılan ve ilk sismo-tektonik yapıyı dikkate alan çözümde yeni sismik kaynaklar dikkate alınmamıştır. İkinci senaryoda ise güncel veriler dikkate alınarak oluşturulan sismo-tektonik yapı esasında değerlendirme yapılmıştır. Bu sismo-tektonik yapıda baraj yapısına yakın geçen bir olası fay segmenti dikkate alınmıştır. Bu durumda baraj yeri “yakın kaynak zonu” etkisi altındadır.
- Her iki senaryo için deterministik esasta belirlenen sismik tasarım parametreleri, yaklaşık iki kat farklı belirlenmiştir. Senaryo 1 için deterministik analiz sonuçlarına göre, PGA değeri, 0.120g olarak hesaplanmışken, senaryo 2 için yakın kaynak zonu etkisi olması nedeniyle daha büyük bir değer ($PGA = 0.227g$) elde edilmiştir (% 89.2).
- Probabilistik esasta OBE ve MDE için bulunan PGA değerleri geniş bir aralıkta değişmemektedir. Senaryo 1’de MDE için PGA değerleri 0.477g olarak belirlenmiş iken, Senaryo 2’de ise 0.521g olarak bulunmuştur. İki farklı senaryo arasındaki fark, yalnızca % 9.2 olarak gerçekleşmiştir.
- Analiz, başlangıçta sekiz ayrı azalım ilişkisi dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak analizde bazı azalım ilişkilerinin çok farklı sonuçlar sunması nedeniyle, azalım sayısı beş’e düşürülmüştür. Bu ilişkiler arasında da Campbell (1981) ilişkisi oldukça düşük ve Güllan-Kalkan (2002) ilişkisi oldukça yüksek değerler sunmaktadır.
- Şev stabilite analizlerinde inşaat sonu hali için güvenlik sayıları oldukça büyük elde edilmiştir. Nispi olarak memba şevine ait güvenlik sayısı daha yüksektir. İşletme halinde Mansap şevine ait güvenlik sayısı nispi olarak daha düşüktür. Memba ve

mansap yüzlerine ait kritik kayma dairesi, topuktan geçecek şekilde oluşmuştur. Rezervuardaki suyun ani düşme halinde dolgu stabilitesi, suyun en büyük seviyesinden ve kapak üst seviyesinden en düşük su seviyesine düşmesi hali için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- İlgili projenin şev stabilite analizi sonuçlarında kritik durumun deprem yükleme koşulu olduğu görülmektedir. Baraj, yüksek risk oranına sahiptir. DSİ (2012)'e göre PGA değerleri oldukça yüksek oluşmakta ve k-değerlerinin hesaplanmasında rasyonel olmayan sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu verilere göre yapılan şev stabilite analizlerinde dolgu deprem yükleme koşullarında güvensizdir.
- Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan dinamik analizlerde farklı yükleme koşulları için düşey ve yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. MDE şartlarında oluşacak düşey deplasman değeri 3.15 cm oluşmuştur. MDE koşulu için memba topuğunda ve kretin mansap yüzünde çekme çatlakları görülmektedir. Deprem sonrası krette yerel bir göçmenin oluşması tahmin edilmektedir. Ancak bu deplasman büyüklüğü ve oluşum biçimi, yapı güvenliği açısından risk oluşturmamaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abrahamson, N., 2006, Seismic hazard assessment: problems with current practice and future developments, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 17 p.
- Akçakal, Ö. (2009). Şev Stabilitesi Analizinde Geri Hesap Yöntemi Ve Bir Vaka Analizi.
- Al-Homoud, A., 2003, Evaluation of strong motion acceleration for embankment dam design considering local seismotectonics, Natural Hazards, 29, p: 37-56.
- Ambraseys, N.N., 1995, The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 24, 467-490.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Karma, S.K. and Smit, P.M., 2005, Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, Bulletin of Earthquake Engineering, 3, 1-53.
- Atkinson J., 1993, "Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations", England, 328p
- Baba, K., (2002) "On a Consideration for a Non-linear Analysis of Rockfill" 9th Regional Seminar on Earthquake, September 7-17, İstanbul.
- Baker, Jack W. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA). White paper, version, 2008, 1: 72.
- Bishop A.W., 1955, "The Use Of The Slip Circle In The Stability Analysis Of Slopes", Geotechnique, Vol 5, No1
- Bommer, J.J., Scott, S.G. and Karma, S.K., 2000, Hazard-consistent earthquake scenarios, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 19 (4), 219-231.
- Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E., 1993. Estimation of response spectra and peak accelerations from Western North American earthquakes: An interim report. Open file report 93-509.U.S.G.S.
- Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E., 1997, Equation for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of recent Work. Sesimological Reseach Letters, V.68, N.1, January /February, 128-153.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Budhu, M. 2000 (a), “Numerical and Visualization Techniques in Geotechnical Engineering”, Educational Issues in Geotechnical Engineering, Norman D. Dennis (Ed.) Geotechnical Special Publication No.109, ASCE.
- Budhu, M. 2000 (b), “A Virtual Triaxial Test Courseware”, Educational Issues in Geotechnical Engineering, Norman D. Dennis (Ed.) Geotechnical Special Publication No.109, ASCE.
- Budhu, M., (2000) “Soil Mechanics and Foundations” John Wiley and Sons, New York, 585 p
- Bureau, G.J., (2003) “Dams and Appurtenant Facilities” in Earthquake Engineering Handbook edited by Chenh, W.F and Scawthorn, C. CRS press, Bora Raton 26.1-26.47.
- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y., 1994, Near-source attenuation of peak horizontal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993, Proc. Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering 3, Chicago, Illinois, 283-292.
- Campbell, K.W., 1981, Near-source attenuation of peak horizontal acceleration. Bulletin Seism. Soc. Am., vol. 71, N.6, 2039-2070.
- Chandler, A.M., Chan, L.S. and Lam, N.T.K., 2001, Deterministic seismic hazard parameters and engineering risk implications for the Hong Kong region, Journal of Asian Earth Sciences, 20, 59-72.
- Cornell, C.A., 1968, Engineering seismic risk analysis, Bull. Seis. Soc. Am., 58, 1583-1606.
- Çetinkaya, N.N., Durgunoğlu, T., Kulaç, H.F. ve Karadayılar, T., 1993, İstanbul ve İzmir Bölgeleri deprem riski analizi karşılaştırmaları, 2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 539-546.
- Çetin, K. Ö., Yunatçı, A. A., Çağlı, S., Güllökar, T., Aktaş, R., Altınışık, F., ... & Çekmeceli, M. (2004). Bursa şehri için CBS destekli olasılıksal sismik tehlike analizi ve sivilaşma risk haritası oluşturulması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17.
- Deniz, A., & Yüçemen, M. S. (2005). Antalya yöresi için deprem tehlikesinin stokastik yöntemler ile tahmini. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-25.
- Ding, Z., Vaccari, F., Chen, Y.T. and Panza, G.F., 2004, Deterministic seismic hazard map in North China, in IUGG Special Volume (Earthquake Hazard, Risk and Strong Ground Motion) edited by Y.T. Chen, G.F. Panza and Z.L. Wu, 10 p.
- DSİ Kıbrıs Barajı Projesi Planlama Revize Raporu 2007 S.1-12

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- EM 1110, 1970, “Engineering and Design for Stability of Earth and Rockfill Dams”
Department of the Army Corps of Engineers, Washington.
- Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P. ve Akkaş, N., 1985, Türkiye’de deprem tehlikesinin istatistiki açıdan değerlendirilmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 116 s.
- Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., & Akman, H. (2003). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin Belirlenmesi. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 26-30.
- Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M. B., & Durukal, E. (2006). Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları. Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlenmesi, Report
- Fat-Helbary, R., Tealb, A.A., 2002, A study of seismicity and earthquake hazard at the proposed Kalabsha dam site, Aswan, Egypt, Natural Hazards, 25, p: 117-133.
- Fraser, W.A. and Howard, J.K., 2002, Guidelines for use of the consequence-hazard matrix and selection of ground motion parameters, Technical Publication, Department of Water Resources, Division of Safety of Dam, 7p.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1942. Earthquake magnitude intensity energy and acceleration. Bulletin of the Seismological Society of America 32 (3) (July).
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34(4), 185-188.
- Gülkan, P. and Kalkan, E., 2002, Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey, Journal of Seismology, 6, No. 3, 397-409.
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüçemen, M.S., Duyuran, V. ve Başöz, N., 1993, En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası, ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Rapor no:93-01.
- Hull, A.G. and Augello, A., 2003, Deterministic seismic hazard analysis in Northwest Oregon, U.S.A., 2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering, 9 p.
- ICOLD, 2004, “Working group on guidelines for the seismic assesment of dams-Final report (edited by N.Reilly)”, ICOLD European Club.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- ICOLD, 1989, Selecting seismic parameters for large dams- guidelines and recommendations: ICOLD Committee on Seismic Aspects of Dams Design, Bulletin 72.
- Idriss, I.M. and Archuleta, R.J., 2007, Evaluation of earthquake ground motions, Report for Divison of Dam Safety and Inspections Office Energy Regulatory Commission, 43 p.
- Janbu, N. (1973) "Slope Stability Computation" Embankment Dam Engineering, Casagrande Memorial Volume, Wiley, New York, 47-86
- Jiminez, M.J, Giardini, D. And Grünthal, G. (2001) "Unified Seismic Hazard Modelling throughout the Mediterranean Region" Bolettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol.42, N.1-2, Mar-Jun., 3-18.
- Joyner, W.B. and Boore, D.M., 1981, Peak horizontal acceleration and velocity from strongmotion records including records from the 1978 Imperial Valley, California earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 2011-2038.
- Kalkan, E. and Gülkan, P., 2004a, Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 4, 1111-1138.
- Kalkan, E. and Gülkan, P., 2004b, Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 3, 853-882.
- Kayabalı, K. and Akın, M., 2003, Seismic hazard map of Turkey using the deterministic approach, Engineering Geology, 69, 127-137.
- Kayabalı, K., 2002, Modeling of seismic hazard for Turkey using the recent neotectonic data, Engineering Geology, 63, 221-232.
- Kayabali K. (1995). Sismik tehlike analizi: Teori ve uygulama.
- Klügel, J.U, Mualchin, L. and Panza, G.F., 2006, A scenario based procedure for seismic risk analysis, Engineering Geology, 88, 1-22.
- Kramer, S.L., (1996) "*Geotechnical Earthquake Engineering*", Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ 653 p.
- Krinitzsky, Ellis L. 2003, "How to combine deterministic and probabilistic methods for assessing earthquake hazards." Engineering Geology 70.1-2 (2003): 157-163.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuehn, N., Riggelsen, C., & Scherbaum, F. (2009). Facilitating Probabilistic Seismic Hazard Analysis Using Bayesian Networks. In Seventh Annual Workshop on Bayes Applications (in conjunction with UAI/COLT/ICML 2009) (pp. 1-7).
- Law, K.T., and Refahi, K., Lam, T., Ko, P., and Hassan, P., (2005) “Seismic deformation of Waba dam” CDA Annual Conference, Calgary.
- Mantyniemi, P., Marza, V.I., Kijko, A. and Retief, P., 2003, A new probabilistic seismic hazard analysis for the Vrancea (Romania) seismogenic zone, Natural Hazards, 23, 371-385.
- Nakajima, M., Choi, I., Ohtori, Y. And Choun, Y., 2007, Evaluation of seismic hazard curves and scenario earthquakes for Korean sites based on probabilistic seismic hazard analysis, Nuclear Engineering and Design, 237, 277-288.
- McGuire, Robin K. "Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks." Soil Dynamics and Earthquake Engineering 21.5 (2001): 377-384.
- Morgenstern, N.R., and Price, V.E., (1965) “The Analysis of Stability of general Slip Surfaces” Geotechnique, Vol.15, No.1
- Özbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M. and Fahjan, Y., 2004, An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 115-125.
- Özkan, M.Y., Özyağcıoğlu, M. and Aksar, U.D., (2006) “An Evaluation of Güldürcek dam response during 6 June 2000 Orta Earthquake” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 26, 405-419.
- Parolai, S., Grünthal, G. and Wahlström, R., 2007, Site-specific response spectra from the combination of microzonation with probabilistic seismic hazard assessment-an example for the Cologne (Germany) area, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 49-59.
- Plaxis, 2004, “Plaxis V8 Professional Version-User Manual (edited by R.B.J.Brinkgreve and W.Broere)
- Reiter, L., 1990, Earthquake hazard analysis-issues and insights, Columbia University Press, New York, 254 p.
- Seyrek, E., Tosun, H. (2013). Sismik Tehlike Analiz Yöntemlerinin Ülkemizdeki Büyük Beton Barajların Toplam Riski Üzerindeki Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1).
- Seyrek, E., 2009 Dolgu Barajların Sismik Tehlike ve Toplam Risk Analizleri: İstanbul İçme Ve Kullanma Suyu Barajlarına Uygulanması syf 5

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Seyrek, E., 2009, Baraj Yeri Sismik Tehlike Analizlerinde Sayısal Çözümleme Modelleri ve Bir Uygulama, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 167s.
- Seyrek, E., Orhan, A. ve Tosun, H., 2009, Ceyhan havzası baraj yerleri deterministik sismik tehlike analizi, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Eskişehir, 575-582.
- Sharma, S. (1996) "Slope Stability and Stability Methods" England, 620 p.
- Spencer, E. (1967) "A Method of Analysis Assuming Parallel Interslices Technique" Geotechnique, 17(1),11-26.
- Stewart, J., Chiou, S., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A.,2002, Ground motion evaluation procedures for performance-based design, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 765-772.
- Sokolov, V.Y., 2000, "Site & region-specific" response spectra: a probabilistic approach, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 20, 273-281.
- Taşkıran, Yavuz, Keskin 2012 Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi syf2
- Tefer, 2001, The hazard of earthquake, Turkey Emergency Flood and Earthquake Recovery Project Final Report, Section 5, Başbakanlık Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı, 242p.
- Thenhaus, P. C., & Campbell, K. W. (2003). Seismic hazard analysis. Earthquake engineering handbook, 8, 1-50.
- Tiedeman, D.A., Kaufman, I.P. and Rosenfield, J., (1984) "Determining dynamic properties oor embankment dams from Laboratory Testing" USBR REC-ERC-84-17, 34 p.
- Tosun, H. 1991. "Tünel Destek Sistemi Analizi için Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanımı". Su Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, Şanlıurfa, Ekim 7-11. 1-28s.
- Tosun, H., (2002) "Dolgu Baraj depremselliği ve Tasarım Esasları" DSİ Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 208 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tosun, H (2004) “Baraj Mühendisliğinde Geoteknik-Geçirimli Zeminler ve İyileştirme Esasları” Türkiye Mühendislik Haberleri, N.430, 38-47.
- Tosun, H., Seyrek, E., 2006, “Seismic studies on Turkish dams”, International WaterPower&Dam Construction, February 2006, 20-23
- Tosun, H., 2007a, “Total risk analyses for large dams, Southeast Turkey” Hydro Review World , September 2008, 1-6.
- Tosun, H., Zorluer, İ., Orhan, A., Seyrek, E., Türköz, M., Savaş, H., 2007, “Seismic hazard and total risk analyses for large dams in Euphrates Basin in Turkey”, Engineering Geology, Volume 89, Issues 1-2 , 12 January 2007, 155-170.
- Tosun, H., Özoral, E., Şenol, S. and Seyrek, E. 2008, “Total risk analysis of dam structures for large dams of Yesilirmak basin, Turkey, 76th ICOLD Annual Meeting, Sofia, 11p.
- Tosun, H. ve Seyrek, E., 2009, Ülkemizdeki beton barajların toplam risk analizleri, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Eskişehir, 567- 574.
- Tosun, H (2018) “Dolgu Barajların Şev Stabilité Analizi: Temel Yaklaşımlar ve Parametre Seçimi” 5. Uluslararası Baraj Güvenliği Sempozyumu 27-31 Ekim 2018, İstanbul, syf 1044-1055
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. and Gökçeoğlu, C., 2004, An attenuation relationship based on Turkish syrong motion data and iso-acceleration map of Turkey, Engineering Geology, 74, 265-291.
- USBR, 1991, “Earth Manual” United States Bureau of Reclamation, Third Edition, Denver, 329p.
- USBR, 1987, “Static Stability Analyses” United States Bureau of Reclamation, Design Standards.13- Embankment Dams. Denver.
- USBR, 1987, “Design of Small Dams”, United States Bureau of Reclamation, Third Edition, Denver, 860p.
- Wang, Z. (2006, April). Understanding seismic hazard and risk assessments: An example in the New Madrid Seismic Zone of the central United States. In Proceedings of the 8th National conference on earthquake engineering (pp. 18-22). San Francisco, Calif.
- Wieland, M., and Malla, s., (2005) “Seismic Safety Evaluation of a 117 m High Embankment dam resting on a thick soil layer” 12th European Conference on Earthquake Engineering, paper no:128.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yüçemen M. S, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, ODTÜ Ankara. Yüçemen, Sismik Tehlike Analizinde Stokastik Modellerin Uygulaması (Tema Konuşması). "İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (TDMSK 2013)", (2013)

