



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AMBAR BARAJI DEPREM RİSK DURUMUNUN
DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ŞAYAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KABUL ve ONAY BELGESİ

Öğrenci Murat ŞAYAN'ın **AMBAR BARAJI DEPREM RİSK DURUMUNUN DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ** başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman	: Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)	
Üye	: Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)	
Üye	: Unvanı Adı Soyadı (Üniversite)	
Üye	: Unvanı Adı Soyadı (Üniversite) (Doktora İçin)	
Üye	: Unvanı Adı Soyadı (Üniversite) (Doktora İçin)	

Tezin Savunulduğu Tarih :

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

Unvan, Adı SOYADI

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışma kapsamında öncelikle henüz inşa aşamasında olan Ambar barajı için yapılmış olan jeolojik ve geoteknik veriler değerlendirilerek nümerik analizlerde kullanılmak üzere malzeme parametreleri türetilmiştir. Bu aşamadan sonra aşamalı inşa süreci modellenerek statik hesaplar yapılmıştır. Dinamik analizler için baraj bölgesinde yer alan fay hatları dikkate alınarak MDE, OBE deprem riskleri değerlendirilmiş ve olası bir deprem senaryosu uygulanmıştır. Oluşturulan nümerik model sözü edilen deprem senaryosuna en uygun olan gerçek zamanlı bir deprem verisi kullanılarak dinamik yükler altında çalıştırılmıştır. Deprem sonrası barajda deformasyon ve gerilme kontrolleri yapılmış, baraj gövdesinde olası çatlamlar nedeni ile doğacak olan sızıntı kayıpları ve boşluk suyu basınçları akım ağları yardımı ile saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için bana yol gösteren ve yardımcı olan Danışman Hocam Sayın Doç.Dr. Niyazi Uğur TERZİ (Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi)' ye teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda çalışmamda bana hep destek olan, ilgi ve sevgisini benden esirgemeyen eşime sonsuz teşekkür ederim.

Murat ŞAYAN
AKSARAY, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. BARAJLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	4
2.1. Barajların Amaçlarına Göre Sınıflandırılması.....	5
2.2. Barajların Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması.....	5
2.3. Barajların Gövde Tipine Göre Sınıflandırılması.....	5
2.3.1. Kil Çekirdekli Dolgu Barajlar.....	6
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	8
3.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması...	12
4. AMBAR BARAJI GENEL BİLGİLERİ.....	14
4.1 Projenin Yeri.....	14
4.2. Baraj Yeri Mühendislik Jeolojisi.....	15
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	17
6. SONUÇ.....	26
KAYNAKLAR.....	27
EKLER	29
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AMBAR BARAJI DEPREM RİSK DURUMUNUN DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Murat ŞAYAN

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Dünyadaki barajların çok büyük bir kısmı dolgu baraj olarak inşa edilmiştir. Barajların olası bir göçme durumunda çok büyük sosyo ekonomik yıkımlar meydana getireceği göz önünde tutulduğunda, tasarım aşamaları sürecinde dikkatli ve özenli analizler yaparak statik ve dinamik koşullar altındaki göçmeye karşı güvenliğinin sağlandığının ispat edilmesi gerekir. Bu çalışmada Diyarbakır’da halen inşa edilmekte olan Ambar barajının statik ve dinamik koşullar altındaki davranışı nümerik analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan olasılıksal deprem büyüklükleri değerlendirmelerinde 1 Mayıs 2003 Bingöl deprem kayıtları kullanılmıştır. Yapılan analizlerde barajın statik ve dinamik koşullar altında oldukça göçmeye karşı güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

2013, 33 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Baraj, Deprem, Sonlu elemanlar, Güvenlik

ABSTRACT

Master of Science Thesis

AMBAR TOPRAK DOLGU BARAJININ DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Murat ŞAYAN

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Most of the dams is earthfill dams in the world. The structural complexity of these dams and the high risk associated with the social and environmental consequences of failures require very reliable analyses of their performance, especially as regards seismic loading. In this paper, a dynamic analysis procedure for earthfill dams are proposed and described, using the Ambar earthfill dam as a case study. The acceleration time history of 1 May 2003 Bingol earthquake datas were used. According to the numerical results, earthquake-induced deformations of the dam are expected to be within the safety margins determined by the Ministry of Public Works and Settlement, Turkey. The results also indicate that a non-linear analysis capable of capturing dominant non-linear mechanisms can be used to assess the stability of such kind of dams.

2013, 33 Pages

Key Words: Earthfill Dam, Earthquake, Finite Element, Safety

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Dünya nüfus artışı	1
Şekil 2.1. Kil dolgu serim ve sıkıştırması –Ayvalı Barajı.....	6
Şekil 4.1. Projenin yeri.....	12
Şekil 5.1. Ambar Barajı Sonlu Elemanlar Ağ Modeli.....	15
Şekil 5.2. Ambar Baraj Gövde Kesiti.....	16
Şekil 5.3. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ivme kayıtları.....	16
Şekil 5.4. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi hız kayıtları.....	17
Şekil 5.5 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi yer değiştirme kayıtları.....	17
Şekil 5.6. Rezervuar dolu iken baraj gövdesinin toplam deformasyonu.....	18
Şekil 5.7. Rezervuar dolu iken toplam gerilme dağılımı.....	18
Şekil 5.8. Baraj gövdesindeki ivme-zaman değerleri.....	19
Şekil 5.9. Baraj gövde ve temelindeki toplam şekil değiştirmeler.....	20
Şekil 5.10. Baraj gövde ve temelindeki toplam yatay değiştirmeler.....	20
Şekil 5.11. Baraj gövde ve temelindeki toplam düşey değiştirmeler.....	21
Şekil 5.12. Baraj gövde ve temelindeki toplam ivme büyüklüğü.....	21
Şekil 5.13. Baraj gövde ve temelindeki toplam yanal ivme büyüklüğü.....	22
Şekil 5.14. Baraj gövde ve temelindeki toplam düşey ivme büyüklüğü.....	22
Şekil 5.15. Baraj gövde ve temelindeki toplam gerilme büyüklüğü.....	23

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 5.1. Nümerik Analizlerde Kullanılan Zemin Parametreleri.....	15
Çizelge 5.2. Memba ve Mansap Şev Güvenliği.....	19

SİMGELER DİZİNİ

C	Kohezyon
E	Elastite modülü
k	Permeabilite katsayısı
g	Birim hacim ağırlık
f	İçsel sürtünme açısı

KISALTMALAR DİZİNİ

DSİ	Devlet Su İşleri
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
ICOLD	The International Commission on Large Dams
RCCD	Roller Compacted Concrete Dams

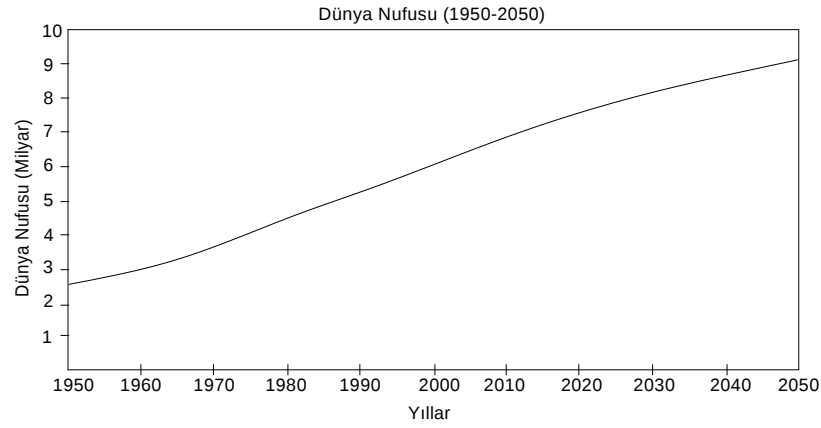
1.

GİRİŞ

Su döngüsü içerisinde her an, 577.000 km³ su yağmur ve kar olarak yeryüzüne yağmaktadır. Bu miktarın %79'u deniz ve okyanuslara, %19'u ise kıtalar üzerine %2'si ise göllere düşmektedir. Kara parçalarının üzerine düşen 110.000 km³'lük yağmur suyunun %59'u yeniden buharlaşırken, %38'i akarsular ile yeniden denizlere dökülmekte ve yalnızca %2'si süzülerek 2.200 km³ hacminde yer altı suyu olarak depolanmaktadır (Arctic Climatology and Meteorology, 2006). Akarsu ve göller yakınında bulunmayan yerleşim yerleri için kullanılabilecek tek su kaynağı söz konusu bu yer altı suyudur.

En düşük su kullanımı kriterlerine göre bir insan içme, temizlenme gibi temel ihtiyaçları için günde ortalama 50 litre suya ihtiyaç duymaktadır. Bu değer temel alınır, bir milyon nüfuslu bir şehir için günlük su ihtiyacı yaklaşık 50 milyon litre civarındadır. 2011 verilerine göre dünyada hâlihazırda 336 adet nüfusu milyonu geçen şehir bulunmaktadır. Köyden kente göç ve nüfus artışı ile bu rakamın çok yakın bir gelecekte 1000'lere ulaşacağını öngörmek mümkündür (ICOLD Paper, 2006). Son iki yüzyıl içerisinde dünya nüfusu her 54 yılda bir kat artmaktadır. Dünya nüfusunun yıllık artış oranı %1.3 civarındadır ve her yıl yaklaşık olarak 78 milyon nüfus artışı saptanmaktadır. Buna göre her yıl dünya nüfusu bir Türkiye büyüklüğündeki ülke kadar nüfus artışına sahiptir (Population Institute Report, 2011) artış oranı ile 2050 yılı nüfus tahmini Şekil 1.1.'de görülmektedir. Sulama ve hidroelektrik ihtiyaçlarını bir yana bırakırsak, yukarıda izah edilmeye çalışıldığı gibi suyun büyük depo alanlarında tutularak her an için kullanıma hazır bulundurulması hayati bir öneme sahiptir.

Bu gerçeğin gereği olarak son yüzyıl içerisinde bütün dünya genelinde on binlerce baraj inşa edilmiştir. 1950 ile 1970 yılları arasında dünyada her yıl ortalama 1000'in üzerinde orta ve büyük ölçekte barajın tamamlandığını görmekteyiz. 1970-2000 yılları arasında ise bu oran yaklaşık 260 civarında kalmıştır.



Şekil 1.1. Dünya nüfus artışı (Population Institute Report, 2011)

Oranın bu seviyelerde bulunmasının en büyük nedeni baraj ihtiyacının azalmasından değil, baraj inşasına uygun topografyanın kalmaması olarak değerlendirilmektedir. Hâlihazırda 45.000'i aşkın büyük ölçekteki barajlar; yüz ölçümünün %0,3'üne denk gelen 400.000 km² alanı sular altında bırakmıştır. Buna mukabil dünyada hidroelektrik üretiminin ancak %20'si barajlardan sağlanabilirken, toplam sulanabilir arazilerin ancak üçte birine su ulaştırılabilmektedir (ICOLD Paper, 2006)

Japonya'da meydana gelen son nükleer felaketten sonra temiz, güvenilir sürdürülebilir enerji kaynaklarının yeniden gündeme gelmesi noktasında, hidroelektrik santrallerin önemi bir kez daha görülmüştür. Sonuç olarak ekolojik dengenin bozulması adına, her ne kadar barajların bazı sakıncalar taşıyan problemleri olsa da barajların günümüz dünyasındaki önemi ve gerekliliği tartışılmaz bir değere sahiptir. ICOLD verilerine göre büyük barajların sayı bakımından sırasıyla, Çin Halk Cumhuriyeti %46, Amerika Birleşik Devletleri %14, Hindistan %9, Japonya %6, İspanya %3, Güney Kore %2, Türkiye ve Brezilya %1'ne sahiptir. Bu barajların inşasında; %48,6 oranı ile sulama, %17,4 ile hidroelektrik, %12,7 ile su temini, %10'u ile taşkın kontrolü, %5,3 ile spor ve %0,6 ile ulaşım amaçlanmıştır. Söz konusu bu büyük barajların %75'i ise toprak dolgu tipinde inşa edilmiştir.

Barajların inşasında; titiz ve uzun ön çalışmalar, çok yönlü planlamalar ve tecrübe gerektiren detaylı matematiksel analizlere gereksinim duyulmaktadır. Zira barajların inşası, diğer sanatsal yapılarla kıyaslandığında devasa hacimleri ve yapım

aşamalarındaki süreçler gereği çok yüksek maliyet ve zaman gerektirmelerindendir. Bunun yanında, olası bir göçme halinde büyük su baskınlarının ve can kayıplarının meydana gelmesi kaçınılmaz ve yıkıcı sonuçlara neden olabilir. Bu bakımdan projelendirmelerinde; barajların statik ve özellikle dinamik yükler altında yüksek güvenlik katsayıları ile tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada barajların statik ve dinamik koşullar altındaki davranışının çok boyutlu incelemesi nümerik yöntemler kullanılarak yapılacaktır. Nümerik yöntemler kapsamında iki boyutlu Plaxis 7.2 programı kullanılacak ve baraj dolgusu ve temelinde ortaya çıkacak olan şekil değişimi ve gerilme dağılışları inşa aşamasında, inşa sonrasında, boş rezervuar, tam dolu rezervuar ve dinamik yükler altında hesaplanacaktır. Barajın gerçekte olduğu gibi inşa süreci programda dikkate alınarak aşamalı inşa aşamaları bire bir modellenenecektir. Bu amaçla tez konusu olarak Diyarbakır ili sınırları içerisinde inşa edilecek olan Ambarlı Barajı verileri kullanılacaktır. Ambarlı Barajı temelden 45 m yüksekliğinde, kret uzunluğu 1160 m ve maksimum gl hacmi 154,00 hm³ olarak projelendirilmiştir. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yer alan ve “Batman-Silvan Projesi” ünitelerinden birisi olan Ambar Barajının inşa amacı öncelikli olarak sulama amaçlıdır.

2. BARAJLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ

Barajlar içme- kullanma suyu, sulama, taşkın koruma ve enerji amaçlarından biri veya bir kaç tanesi kapsayacak şekilde inşa edilmektedirler. Ülkemizde 15 metreden yüksek su depolayan yapılara baraj, 15 metreden düşük seviyelerde su depolayan yapılara ise gölet denilmektedir. Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi (ICOLD) ise yüksekliği 15 m’den büyük veya rezervuar hacmi 3 hm^3 ’ den az olmayan 5 m’ den büyük yüksekliğe sahip her depolama tesisini büyük baraj olarak değerlendirilmektedir.

Barajların başlıca faydaları kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İçme, kullanma ve endüstri için gerekli suyu düzenli ve sürekli sağlar,
- Hidroelektrik enerji üretir,
- Tarım alanlarının zamanında ve yeterli olarak sulanmasını sağlar,
- Yerleşim ve tarım alanlarını taşkınlardan korur.

Barajların yukarıda sayılan doğrudan faydaları yanında dolaylı faydaları da vardır:

- Su üzerinde ulaşım olanağı sağlar,
- Su ürünleri üretimi, özellikle balıkçılığın gelişmesini sağlar,
- Avcılığın gelişmesini sağlar,
- Mesire yerleri sağlar,
- Toprak erozyonunun önlenmesi veya azaltılması sureti ile toprak muhafazasını sağlar,
- Milli güvenlik üzerinde olumlu etki yapar,
- İklim üzerinde olumlu etkisi vardır,
- İstihdama olumlu etkisi vardır,
- Gelir dağılımının düzeltilmesine yardımcı olur,
- Su kalitesinin ve kirlenmenin kontrolü sağlanabilir,
- Su sporları yapılmasına olanak verir.

Bu belirtilen faydaların yanında;

- Doğal dengenin bozulması,
- Göl sahası içinde kalan tarım alanlarının ve doğal kaynakların kullanılamaması,
- Göl sahası içinde kalan yerleşim merkezlerinin nakli,
- Göl sahası içinde kalan yol, köprü vb. yatırımların yerine yeni yatırım yapma ihtiyacı,
- Yeraltı su seviyesinin yükseltilmesi dolayısı ile meydana gelen olumsuz etkiler,
- Su yükünün artması dolayısı ile meydana gelebilecek tehlikeli heyelanlar ve diğer jeolojik olaylar,
- Artan su buharlaşması dolayısı ile kullanılabilecek su miktarının azaltılması,

- Akarsuların taşkın mevsimlerinde birlikte getirdikleri toprak gücünü artıran besleyicilerden bilhassa delta ovalarının mahrum kalması,
 - Suyun içinde taşınan maddelerin azalması nedeni ile baraj mansabında daha fazla yatak oyulması,
 - Kıyı erozyonunun artması,
 - Göl alanında kalan tarihi eserler,
- gibi konulara da dikkat edilmesi gerekmektedir (Turfan, 2002).

Bir barajda depolama sağlayan baraj gövdesi ve baraj rezervuarı ile gerektiğinde boşaltımı sağlayan derivasyon, dipsavak ve dolusavak bulunur. Bu yapıların boyutlandırılması barajın amacına ve özelliklerine göre farklılık gösterir.

2.1. Barajların Amaçlarına Göre Sınıflandırılması

Barajlar; içme, kullanma, sanayi suyu temini, tarım için sulama suyu sağlama, hidroelektrik enerji üretme ve taşkın koruma amaçlarından biri veya birkaçı için inşa edilirler. Ayrıca atık depolama, başka bir barajın mansap koşullarını düzenleme, ulaşım, su kirliliğini önleme, su ürünleri yetiştirme ve rekreasyon gibi çevresel amaçlarına yönelik de barajlar mevcuttur (Orhon, 1997).

2.2. Barajların Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması

Barajları; büyüklüklerine göre kesin olarak ayırmak mümkün değildir ama ülkemizde DSİ'nin de kullandığı sınıflandırmada depolama tesisleri baraj ve gölet olarak ikiye ayrılmıştır. Buna göre, dere yatağının en düşük seviyesinden (talvegden) aks yüksekliği 15 m veya daha az, temel derinliği maksimum 5 m, toplam gövde hacmi 500 000 m³ veya daha az rezervuar hacmi 3 hm³ veya daha az olan depolama tesisleri gölet olarak tanımlanmıştır (DSİ Genelge 11.11.1996/4).

2.3. Barajların Gövde Tipine Göre Sınıflandırılması

Baraj gövde tipinin seçiminde rol oynayan ekonomik, jeolojik ve hidrolik birçok değişkenin yanı sıra baraj gövdesinin ve rezervuarının topoğrafyasına, depremselliğine, iklimine ve baraj yapımında kullanılacak malzemelerin teminine ve yakınlığına öncelik verilmelidir.

Barajlar gövdenin statik ve dinamik projelendirilmesinde baraj gövdesinde kullanılan malzemenin türü, baraj gövdesinin özellikleri ve şekline göre:

1) Beton Barajlar;

- Beton ağırlık barajlar,
- Payandalı beton barajlar,
- Beton kemer barajlar,
- Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (RCCD).

2) Dolgu Barajlar;

- Homojen gövdeli barajlar,
- Zonlu (toprak, kaya, karışık dolgulu) barajlar,
- Ön yüzü beton/asfalt kaplı toprak/kaya dolgu barajlar.

2.3.1. Kil Çekirdekli Dolgu Barajlar

Tez kapsamında değerlendirilecek olan Ambar barajının kil çekirdekli zonlu torak dolgu baraj tipinde olması sebebiyle bu baraj tipleri hakkında bilgiler ve fotoğraf (Şekil 2.1.) aşağıda verilmektedir.

Toprak dolgu gövdeli barajlarda kabuk zonları toprak, kum, çakıl (nehir alüvyonu, teras depozitleri) daha ince daneli malzemelerden oluşturulmuştur. Toprak dolgu gövdeler merkezi çekirdekli veya eğik çekirdekli olabilir. Kil çekirdeğin memba ve mansap yüzlerinde kabuk dolgularının belirlediği tipte filtreler öngörülür. Çekirdeğin her iki tarafında çekirdeği destekleyen kabuk dolguları yer almıştır. Eğer merkezi kil çekirdek ince olarak projelendirilmiş ise, mansap sevi biraz daha az eğimli düzenlenebilir.



Şekil 2.1. Kil dolgu serim ve sıkıştırması –Ayvalı Barajı

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Leclerc vd. (2003), kütle ağırlık metoduna dayalı, rijit denge denklemini ve kiriş teorisini kullanarak analiz yapan CADAM adlı bilgisayar programı yardımı ile beton ağırlık barajların statik ve sismik stabilite analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada barajların, CADAM programında matematiksel olarak modelleme esnasında çeşitli yük durumları, kırılma kriterleri ve kaldırma basınçları veri olarak kullanılarak ağırlık barajların güvenliği ile ilgili çeşitli bilgiler sunulmuştur.

Day vd. (1998), yapmış oldukları çalışmada, kil zonlu dolgu baraj olan Thika Barajı'nın yapımı esnasında boşluk su basıncının beklenenden yüksek olmasının stabilite problemlerine neden olduğunu gözlemişlerdir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için sonlu eleman modelini ve analiz tekniklerini kullanmışlardır. Baraj zonlarında meydana gelen yüksek kesme kuvvetleri, gerilmeleri ve kayma yüzeyleri olduğu tespit edilmiş, ortaya çıkan problemlerin çözülmesi sağlanmıştır.

Konttenstette (1997), blok teorisi yardımıyla kemer barajların temellerinde farklı dış yüklerini ve kesme kuvvetlerini kullanarak kaldırma kuvvetlerini, kayma modlarını ve statik güvenlik sayılarını belirleyebilmek için, stabilite analizi yapmıştır. Yine bu çalışma ile Bartlett Barajı temelinin stabilite analizi yapılmış, barajın drenaj ve betonarme sistemlerinin dizaynında gerçeğe yakın bir boyutlandırma sağlanmıştır.

Yu vd. (2005), üç boyutlu analiz tekniklerini kullanarak barajın önemli faktörlerini de (barajın geometrik karakterleri, malzemelerin jeoteknik karakterleri ve vadinin topografyası) göz önüne alarak toprak-kaya dolgu barajların stabilite analizlerini yapmışlardır. Ayrıca yapmış oldukları çalışmada barajlarla ilgili bazı indekslerin iki ve üç boyutlu analize katkılarını ortaya koymuşlardır.

Calayir ve Karaton (2005), yapmış oldukları çalışmada, doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analizleri ile HHT- α (doğrusal elastik sistemlerde stabilitenin uygun olmadığı durumlarda sıklıkla kullanılan nümerik dağılım) zaman integrasyonu algoritması kullanarak depremin beton ağırlık barajlarına ve rezervuarlarına olan etkilerini araştırılmışlardır. Bu çalışmada, beton ağırlık barajı olan Koyna Barajı'nın iki boyutlu sismik analizi Koyna depreminin verileri alınarak yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır. Ayrıca Calayir ve Karaton (2005), Lagrangian ve Wetergaard

Barajlarının rezervuarında deprem sonucunda oluşan durumları yukarıdaki yöntemleri kullanarak karşılaştırmışlardır.

Palumbo ve Piroddi (2001), yapmış oldukları çalışmada doğrusal modelleme olan ARX ile doğrusal olmayan modelleme olan NARX'ı kullanarak küçük barajların sismik davranışlarını belirlemişlerdir. Bu arada sismik davranışlardan çıkarılan sonuçları grafiklendirerek, modellerin üstün yönlerini ortaya koymuşlardır.

Uddin (1999), önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların kuvvetli sismik etkilere dayanması için geliştirilen dinamik analiz prosedürlerini vurgulayıp, açıklamıştır. Yine bu çalışmada Uddin (1999), çeşitli parametreleri değiştirerek ve sonlu eleman modelini kullanarak önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda beton kalınlığını tespit etme, betonun kret seviyesindeki ve alt seviyedeki gerilmelerini ve sismik hareketlerini bulma yöntemlerini göstermiştir.

Espander ve Lotfi (2003), dikey olmayan kırılma metoduna dayalı iki yöntemi ve doğrusal durum yöntemi ile elastoplastik model yöntemini içine alan bilgisayar programını kullanarak beton kemer barajların dinamik analizlerini yapmışlardır. Shahid Rajae Kemer Barajında dört yöntemle analiz gerçekleştirmişler ve barajın çeşitli kısımlarında (kret, memba ve mansap) gerilme farklarının meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Uygulanan tüm yöntemlerle barajın birbirine yakın yerlerinde çekme bölgesi oluştuğunu vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmalarında elastoplastik modelin dinamik analiz yaparken daha güvenilir ve doğru sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir.

Azmi ve Paultre (2002), yapmış oldukları çalışmada beton ağırlık barajlarında dikey bileşen noktaların davranışlarını hesaplayan ve noktaların baraj stabilitesine etkisini inceleyen sonlu eleman modeli prensibine dayanan ADAP-88 adlı bilgisayar programını kullanarak barajların dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Big Tujunga kemer barajı ile Outardes III beton ağırlık barajının ADAP-88 adlı bilgisayar programı yardımı ile dinamik ve termal analizlerini yapmışlar ve meydana gelen değişimleri gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda soğuma ve ısınmanın baraj gövdesine etkisi grafiklerle gösterilmiştir.

Ahmadi vd. (2001), kuvvetli deprem etkilerini beton kemer barajların dinamik analizinde kullanan ve etkili sonuçlar bulan kırılma noktası modeli kullanarak doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmışlardır. Bu modelleme ile beton kemer barajların önemli parametrelerini kontrol etme imkânı sağlanarak barajların daha güvenli dizayn edilmesine yardımcı olunmuştur. Aynı zamanda bu çalışmada depremden oluşan sismik hareketlere karşı daha hassas çözümler sunulmuştur.

Liang vd. (1999), FORTAN 77 dilini kullanarak hazırlanan ve toplam stres ve efektif stres analizlerini ve göçme risklerini araştıran, birçok katmandan oluşan dolgu barajların şevlerinin dizaynını sağlayan RESLOP adlı bilgisayar programı yardımı ile analiz yapmışlardır. Zonlu kaya dolgu baraj olan King Talal barajında bu yöntemi uygulamışlar ve barajın memba ve mansap şevlerine yüklemeler yaparak şevlerin duraylılığını ölçmüşlerdir. Şevlerin birkaç parametreleri değiştirerek elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır.

Yu vd. (2005), elastoplastik sonlu eleman modeli ve blok teorisi yardımı ile ağırlık kemer baraj olan Houhe Barajı'nın gövdesinin yamaçlara dayanan kısımlarının stabilite analizlerini bu çalışmada yapmışlardır. Baraj gövdesinin vadiye dayanan iki kenarının yeteri kadar stabil olmaması nedeniyle barajın çeşitli yerlerinde beton destekleyiciler kullanılmıştır. Beton destekleyiciler yamaçların kaymaya karşı güvenlik katsayısını arttırmış ve yamaçları kaymaya karşı korumakla birlikte deformasyonları azaltmıştır. Sonuç olarak barajın kullanılan yöntemlerle güvenli olduğu anlaşılmıştır.

Li vd. (2005), yapmış oldukları çalışmada, üç boyutlu sonlu eleman metodunu kullanarak beton ağırlık baraj olan Three Gorges barajının sismik analizini yapmışlar ve deprem etkisi altında nasıl davranış sergilediğini araştırmışlardır. Barajın hidroelektrik santraline su taşıyan ve gövdenin içinden geçen kapalı kanalın değişik modellemeler yardımıyla sismik analizini yapmışlar, rezervuarın ve baraj temellerinin de stabilitelerini kontrol etmişlerdir.

Lotfi ve Espander (2004), sonlu eleman programlarından olan ayrı ve dikey olmayan kırılma metotları yardımı ile doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz modellemelerini ve beton kemer barajların sismik analizlerini yapmışlardır. Baraj gövdesinin maksimum çekme ve basma gerilmelerini, her iki yöntemle hem beraber

hem de ayrı ayrı kullanarak, bulup çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak her yöntemin kendine göre farklı üstünlükleri olduğunu gözlemişlerdir.

Cascone vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada, toprak dolgu baraj olan Marana Capacciotti barajının kreti ve mansap batardosu yapımları esnasında konulan sismik aletlerle barajın tamamlandıktan sonraki sismik analizini yaparak değerleri ortaya koymuşlar ve sonuçların benzer olduğunu gözlemişlerdir.

Al-Homoud ve Tanash (2004), dolgu barajların gövde, özellikle temel ve barajlarda kullanılan malzemelerin yükleme altındaki davranışlarını drenajsız kesme kuvveti analizi ve efektif stres analizi yardımıyla belirlemişlerdir. Bu yöntemleri kullanarak dolgu baraj olan Karameh barajının yapımı esnasında gövde, temel ve gövde malzemesi üzerine birtakım stabilite analizlerini yapmışlardır. Bu analizler sonucunda da barajın herhangi bir probleminin olmadığı, stabil olduğu vurgulanmıştır.

Javanmardi vd. (2005), deprem sırasında dinamik kaldırma basıncının beton ağırlık baraj gövdesi, rezervuarı ve temeli üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Depremden sonra baraj gövdesinde kılcal çatlaklar olduğu gözlenmiş ancak bunların herhangi bir stabilite problemi teşkil etmediği kanısına varılmıştır.

Acar ve Dinçer (2005), yapmış oldukları çalışmada çeşitli zemin parametreleri verilmiş olan şevlerde stabiliteyi sağlamak için gerekli yöntemleri kullanarak deprem yükleri altındaki Çatalan barajının sol tarafındaki memba şevlerinin dizaynını yapmışlar ve şevlerin davranışlarını incelemişlerdir. Baraj yapımı esnasında iyi dizayn edilmiş ve jeoteknik durumu iyi olan memba şevleri deprem süresince çok sayıda çekme çatlakları oluşmasına rağmen yapı kendini korumuş ve hasar oluşmamıştır.

Wang vd. (2006), iki boyutlu sonlu eleman analizi yapan bilgisayar programı (QUAD4M) ile doğrusal olmayan analiz yapan bilgisayar programını (FLAC) kullanarak deprem etkilerinin kaya dolgu barajların temellerinde meydana getirdiği sınılaşmayı ve bunun sonucunda da meydana gelen deformasyonu incelemişlerdir (Helvacı, 2009).

3.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması

Sonlu elemanlar yönteminin dolgu barajların sismik davranış çalışmalarında kullanılmasına 1960'lı yıllarda başlandı ve günümüze kadar birçok çalışmalarda kullanıldı. Sonlu elemanlar yönteminin diğer analizlere göre üstünlükleri;

- Çeşitli titreşim modlarının karmaşık etkileri hesaplara katılabilmekte, bu arada kayma modu dışındaki modların etkileri de incelenebilmektedir.
- Klasik yarı-statik limit denge analizinde hesaplanamayan oturma şekil değiştirme ve yer değiştirmeler belirlenebilmektedir.
- Karmaşık ve heterojen problemlerde kullanılabilmektedir.
- Barajın herhangi bir eleman veya bölgesinde gerilme şekil değiştirme davranışı zamana bağlı olarak belirlenebilmekte ve statik halde belirlenen değerler ile ortak değerlendirme yapılabilmektedir.
- Baraj ile temel zemininin dinamik etkileşimi probleminde davranış ve periyot ilişkileri belirlenebilmektedir.
- Zeminin lineer olmayan davranışı incelenebilmekte ve kalıcı dinamik şekil değiştirmeler hesaba katılabilmektedir (Akyüz, 1990).

Son zamanlarda baraj gövde kesiti içerisindeki gerilme dağılımı ve deformasyonların belirlenmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Gerilme dağılımı ve deformasyonların belirlenmesi aşağıdaki olumsuz olaylara neden olmaması için gereklidir (Singh ve Varshney, 1995).

- 1) Baraj gövdesinin aşırı oturmaları emniyet için bırakılan hava payını azaltarak rezervuardaki suyun baraj kreti üzerinden aşması sonucu tehlikeler meydana gelebilir. Duncan barajında (Kanada) inşaat aşamasında ve inşaat bittikten sonra 4.2 m'lik oturma meydana gelmiştir (Singh ve Varshney, 1995).
- 2) Baraj dolgusunun aşırı ayrışması boyuna çatlakların oluşmasına neden olabilir. Oluşacak bu çatlaklar gövde dengesi üzerine olumsuz etkiler yapabilir ve bu tip olaylar kil çekirdekli dolgu barajlarda gözlenmiştir (Singh ve Varshney, 1995).
- 3) Baraj gövdesi boyunca dolgular arasındaki farklı oturmalar tehlikeli çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Bu durumda böyle oluşmuş çatlaklar içerisinden su akışı oluşacak ve borulanma ve erozyon ile yıkılma gerçekleşebilecektir (Singh ve Varshney, 1995).

4) Az sıkıştırılmış dolgu malzemelerine yükün bir kısmının aktarımı ile herhangi bir yükseklikteki su basıncından daha az değerlere bu yükseklikteki gerilmeler azalırsa, zonlu dolgu barajın çekirdeğindeki diferansiyel basınçlar hidrolik kırılma ile sonuçlanır. Özellikle dik eğime sahip vadiler için çekirdek ile yamaçlar arasındaki değme basınçları önemlidir. Böyle durumlarda gerilme ve yer değiştirme analizleri sonlu elemanlar metodu ile en iyi şekilde yapılabilir (Singh ve Varshney, 1995).

El İnfiernillo barajı (Meksika) yeterli derecede ölçüm aletlerinin gövdeye yerleştirildiği ilk olarak inşa edilen toprak ve kaya dolgu baraj örneklerindendir. Gövde de kil çekirdeği ve kaya dolgu ile merkezi çekirdek arasında filtre ve geçiş zonları kullanılmıştır. Barajı oluşturan malzemeler çekirdek için kil, filtre ve geçiş zonu için şartnamelere uygun malzeme, sıkışmış kaya dolgu ve gevşek kaya dolgu içerir. Üç akslı testle elde edilmiş daneli malzemeler ve konsolide olmuş kil için numuneler alınmıştır. Birçok toprak ve kaya dolgu barajlardan elde edilmiş ölçümlere göre büyük oturmalar, yatay hareketler ve çatlak oluşumları sık sık rezervuarın su ile dolmasından sonra meydana gelmiştir. Bu barajda yer değiştirmeler ilk olarak membada gözlenmiş daha sonra mansapta meydana gelmiştir. Baraj üzerindeki su yükleri, yıkanmadan dolayı dolgu malzemesinin zayıflaması bu deformasyonlarda etkilidir (Singh ve Varshney, 1995).

Singh ve Varshney tarafından sonlu elemanlar metodu yardımıyla Oroville barajındaki (ABD) hareketlerin hesaplanması ile rezervuar su ile dolduktan sonra meydana gelen etkileri araştırılmıştır. Rezervuarın su ile dolmasıyla çekirdek üzerindeki su yükü mansapta temel üzerindeki su yükü ise membada aşağıya doğru hareketlere, memba yüzündeki malzeme yıkanmadan dolayı yumuşamış ve zayıflamış olduğundan bu zon içerisinde alta doğru harekete neden olarak barajın membanda deformasyon meydana getirmiştir (Helvacı, 2009).

4. AMBAR BARAJI GENEL BİLGİLERİ

Tez kapsamında çalışılmak üzere jeolojik ve jeoteknik etüt sonuçları tamamlanmış olan Ambar barajı seçilmiştir. Bahse konu baraj hakkında bilgiler aşağıda verilmektedir. Ayrıca baraja ait karakteristik bilgiler ekler (EK 1) bölümünde yer almaktadır.

4.1. Projenin Yeri

Proje Diyarbakır ili sınırları içinde ve Diyarbakır'ın 45 km kadar kuzeydoğusunda yer almaktadır. Diyarbakır-Silvan karayolunun, Lice-Bingöl yol ayrımından itibaren, asfalt yolun 19 km'sinden batıya doğru 5 km'lik stabilize yol ile Değirmentepe Mahallesi varılmakta ve buradan da 2 km'lik toprak yolla baraj yerine ulaşılmaktadır. Baraj inşaatına 2012 yılının mayıs ayında başlanmış olup 2015 yılında bitirilmesi planlanmaktadır.

Ambar Barajı ve Sulaması, ülkemizin en önemli bölgesel kalkınma projesi olan ve 13 alt projeden oluşan GAP kapsamında yer alan “Batman- Silvan Projesi” ünitelerinden birisini teşkil etmektedir. Planlama çalışmaları 2001 yılında tamamlanmış olan “Batman-Silvan Projesi” kilit tesisi hüviyetindeki Silvan Barajı ile regüle edilecek Kulp çayı sularının isalesi ve Dicle nehrine katılan çaylar üzerinde düşünülen alçak barajlarla Dicle sol sahil ovalarında 245 372 ha alanın sulanmasını öngören ve henüz uygulamasına başlanmamış büyük bir projedir. Diyarbakır-Silvan karayolunun Ambar çayını kestiği noktanın 19 km kuzeyinde talvegden 40 m yüksekliğinde kil çekirdekli zonlu toprak dolgu tipinde inşa edilecek Ambar Barajında depolanacak suları değerlendirecek mansap kontrollü borulu sulama şebekesi, Ambar Çayı' nın sağ sahilinde 5740 ha ve sol sahilinde ise 7758 ha olmak üzere toplam olarak 13498 ha alanı kapsayacaktır. Projenin I.Merhalesinin öncelikli olarak gerçekleştirilerek 9578 ha'ı alanı kapsayacak I.Merhale sulamasının işletmeye açılması halinde, yörede sağlanacak tarımsal kazanımlar “Batman-Silvan Projesi” developmanın daha hızlı ve nitelikli olarak hayata geçmesini sağlayacak bir pilot uygulama niteliği taşıyacaktır.



Şekil 4.1. Projenin yeri

4.2. Baraj Yeri Mühendislik Jeolojisi

Baraj yerinde proje firması tarafından bulunan birimlerin yatay ve düşey yöndeki dağılımlarını tespit etmek, yerinde deneyler yapmak ve örnek almak amacı ile planlama aşamasında çalışılan aks yerinde 8 adet, göl alanında 4 adet olmak üzere 12 adet sondaj kuyusu açılmıştır. 2005 yılında 5 adet sondaj kuyusu açılarak pressiyometre deneyi yapılmıştır. Kati proje aşamasında aks yerinde 8 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan ASK-3 ve ASK-5 numaralı olanlarda 10 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır. Baraj yerinde yapılan jeolojik ve jeoteknik etütler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir.

-Ambar barajı aks yerinde Şelmo Formasyonuna ait konglomera, kumtaşı, kiltası, killi kumtaşı ve çakıllı kiltası yer almaktadır. Göl alanının büyük kısmında Şelmo formasyonuna ait birimler bulunmakla birlikte son kesimlerde Silvan kireçtaşları ve Midyat kireçtaşları yüzeylenmektedir.

-Temel sondaj kuyularından ASK-3 ve ASK-5 numaralı olanlardan pressiyometre deneyi yapılmıştır. Alınan örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Buna göre Ambar barajı aks yerinde bulunan kayalar zayıf- çok zayıf kaya kalitesindedir. Ancak kil çekirdekli kum-çakıl dolgu tipinde baraj için taşıma gücü yönünden sorun doğurmayacaklardır.

-Baraj bent yerinde ana kaya üzerinde yer alan alüvyon ve yamaç molozu tüm gövde altında sıyırma kazısı ile kaldırılacaktır. Sıyırma kazısı derinliği yamaçlarda 3,00 m, dere vadisinde alüvyonda 4,00 m derinlikte olacaktır. Sıyırma kazısı sonrası kil çekirdek altında 2,00 m derinlikte çekirdek hendeği kazısı yapılacaktır.

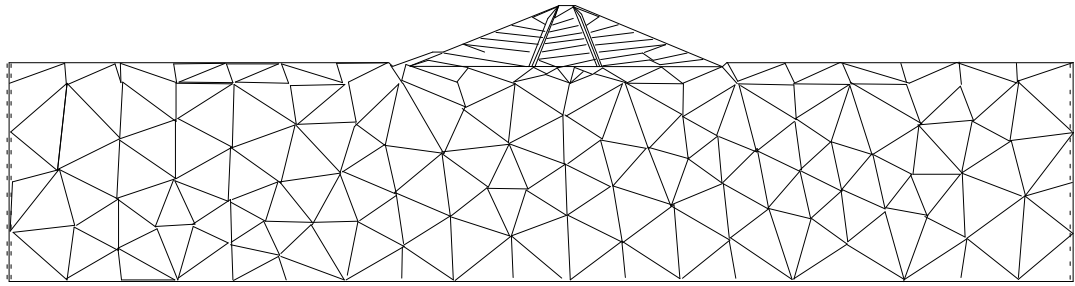
-Baraj aks yeri ve göl alanında özel bir araştırmayı gerektirecek herhangi bir kitle hareketine veya benzer bir olumsuzluğa rastlanmamıştır (Es Proje, 2010).

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), 1987 yılında Hollanda'nın Delft Teknik Üniversitesinde geliştirilmiş, geoteknik mühendisliği projelerinde kompleks problemleri sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile çözmeye yarayan, deformasyon analizleri, stabilite analizleri, dinamik analizler, zamana bağlı davranış analizleri yapan bilgisayar programıdır. İlk kez 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Zamanla, diğer geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünü de kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu çalışmada, PLAXIS 7.2 versiyonu kullanılmıştır.

PLAXIS programı geoteknik mühendisliği problemlerinin analizi için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Programda baraj kesiti iki boyutlu olarak ve elastoplastik zemin modeli olan hesaplamaların hızlı ve kısa zamanda yapılabilmesi nedeniyle, Mohr-Cloumb zemin modeli kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde dikkat edilen önemli bir nokta, inşa aşamalarının kademeli olarak tanımlanması gerekliliğidir. oturma ve düşey deplasman sonuçlarının doğru kestirimi için, baraj kesiti “stage construction” yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Kurulan baraj model kesiti Şekil 5.1.'de görülmektedir.

Baraj ile birlikte temel zemininin kademeli inşa aşamaları ile modellenmiştir.

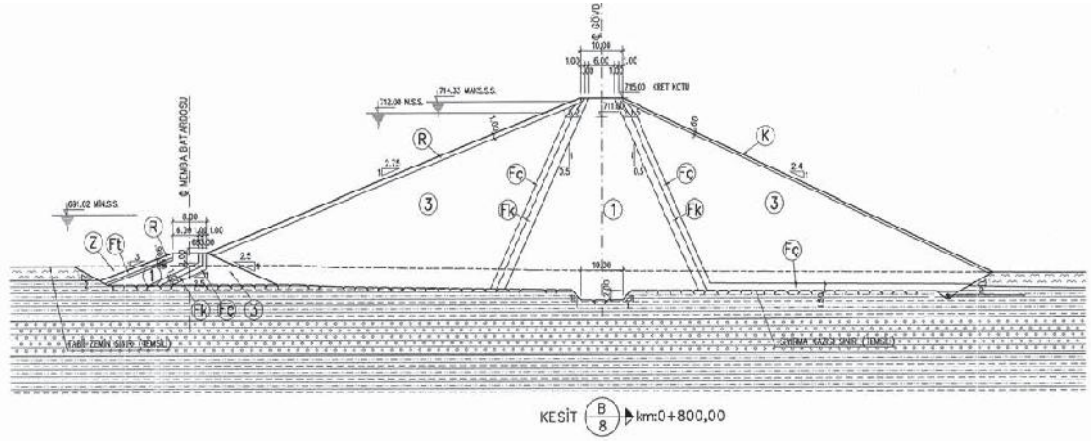


Şekil 5.1. Ambar Barajı Sonlu Elemanlar Ağ Modeli

Analizlerde M-C zemin modeli kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 4’de verilmektedir.

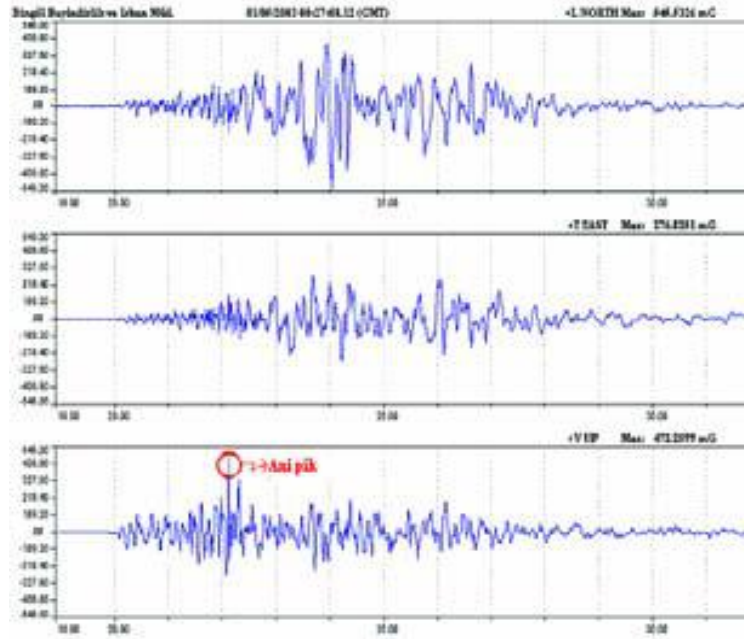
Çizelge 5.1. Nümerik Analizlerde Kullanılan Zemin Parametreleri

Parametre	Kil	3.Nolu	Şelmo	Filtre Kum	Filtre Çakıl
k(m/gun)	2.2×10^{-9}	2.2×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-5}	1×10^{-5}
γ (kN/m ³)	19	18	20	20.5	21
C (kPa)	80	15	500	0	0
ϕ	10	30	35	35	38
E (MPa)	5000	2000	500000	2000	2000

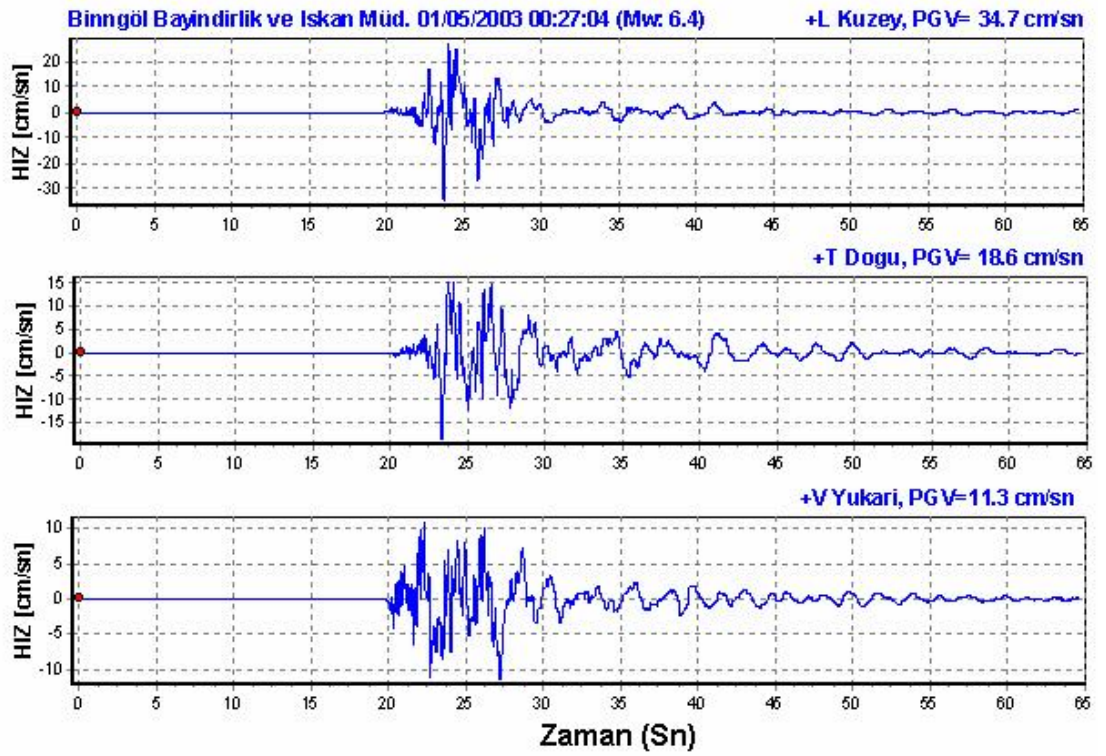


Şekil 5.2. Ambar Baraj Gövde Kesiti

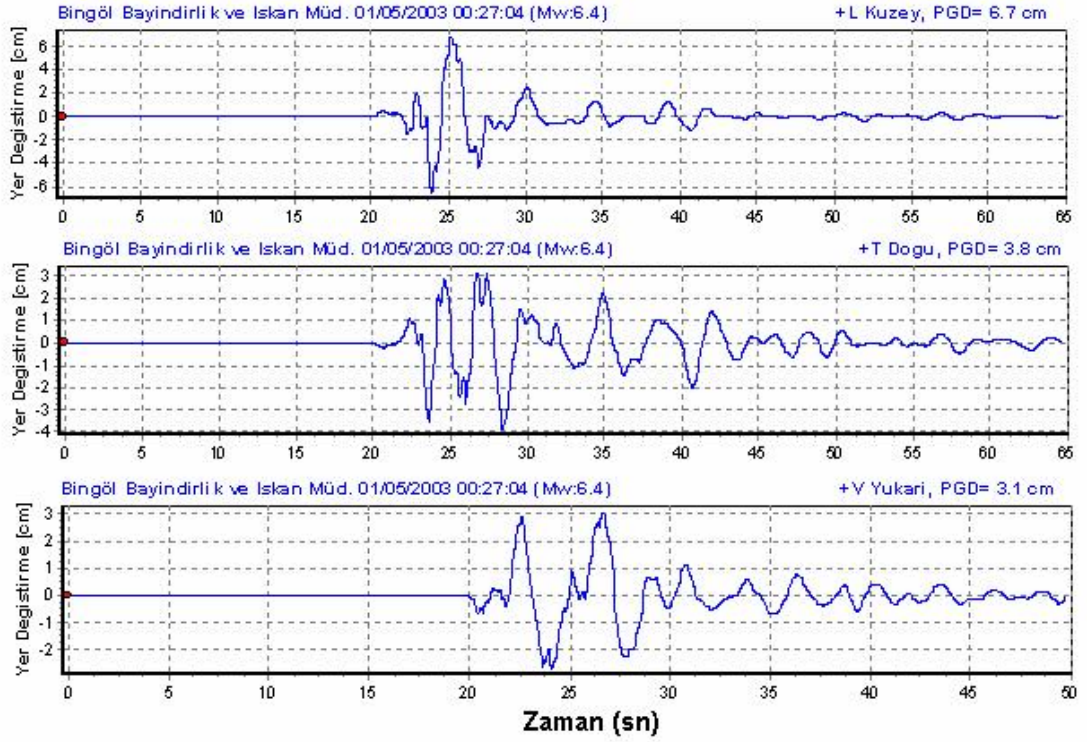
Yürütülen çalışmada dinamik analizler için 2003 Bingöl ivme-zaman deprem kaydı kullanılmıştır. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi, Bingöl ilinin yaklaşık 12 km kuzeyinde meydana gelmiş ve büyüklüğü, Deprem Araştırma Dairesi 6.1 (Md) ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından 6.4 (Mw) olarak belirlemiştir. 2003 Bingöl depremine ait BNG istasyonu ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.3. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ivme kayıtları

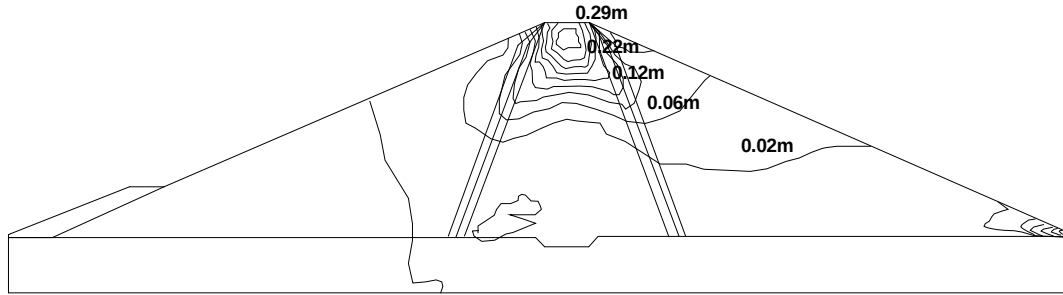


Şekil 5.4. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi hız kayıtları



Şekil 5.5. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi yer değiştirme kayıtları

Yapılan analizler kapsamında baraj gövdesi rezervuar tam dolu iken toplam deformasyon biçim ve büyüklüğü Şekil 5.6.'da görülmektedir.

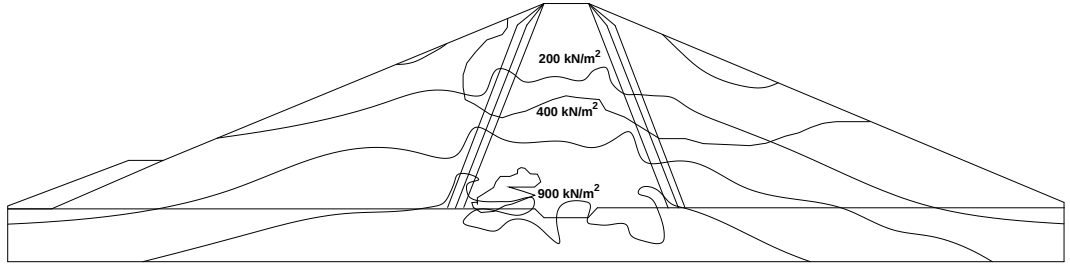


Şekil 5.6. Rezervuar dolu iken baraj gövdesinin toplam deformasyonu

Şekilden görüldüğü gibi en büyük deformasyon beklendiği gibi baraj kretinde ortaya çıkmıştır. 0.22 m civarında ortaya çıkan düşey şekil değişimi miktarı baraj yüksekliği ile oranlandığında güvenlik kriterleri bakımından kabul edilebilir bir deplasman olduğu görülmektedir.

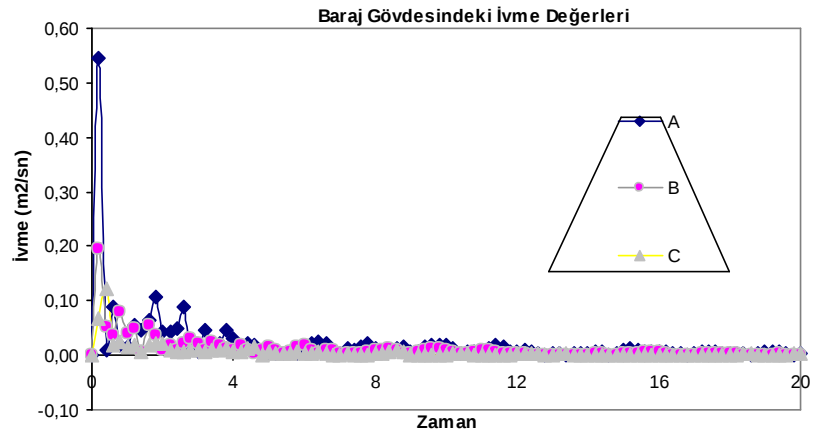
Şekil 5.7.'de ise baraj gövdesinde toplam gerilmeler cinsinden ortaya çıkan gerilme dağılımı görülmektedir. Baraj temelının hemen altında 1000 kN/m^2 civarında bir

gerilme artışı hesaplanmıştır. Bu değer kullanılan dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı ve baraj yüksekliği ile uygun bir gerilme artışı mertebesinde dir.



Şekil 5.7. Rezervuar dolu iken toplam gerilme dağılımı

Baraj gövdesi temel, orta ve kret noktalarında meydana gelen ivme-zaman değerleri Şekil 5.8.'de görülmektedir. Bingöl deprem kayıtları kullanılarak yapılan dinamik analizlerde beklendiği üzere en büyük ivme büyüklüğü (0.55g) kret noktasında ortaya çıkmıştır. Ancak bu ivme değeri altında baraj kesitinde bir göçme mekanizmasının meydana gelmediği görülmüştür.



Şekil 5.8. Baraj gövdesindeki ivme-zaman değerleri

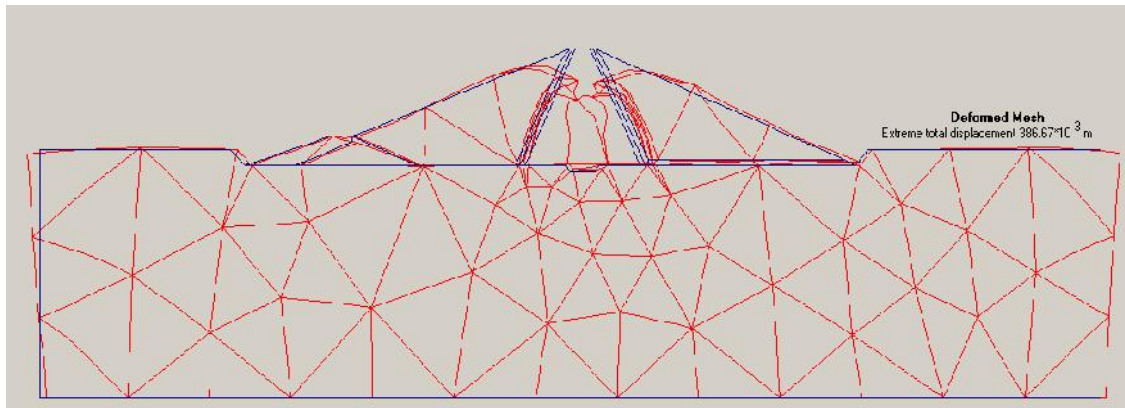
Nümerik analizler kapsamında barajın rezervuarı dolu ve boş durumlarında şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bishop yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin güvenlik sayıları, Çizelge 5.2.'de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Memba ve Mansap Şev Güvenliği

Baraj Durumu	Memba (G.S)	Mansap (G.S)
Rezervuar Boş (Statik)	2.16	1.93
Rezervuar Boş (Dinamik)	1.52	1.38
Rezervuar Dolu (Statik)	1.94	1.87
Rezervuar Dolu (Dinamik)	1.39	1.31

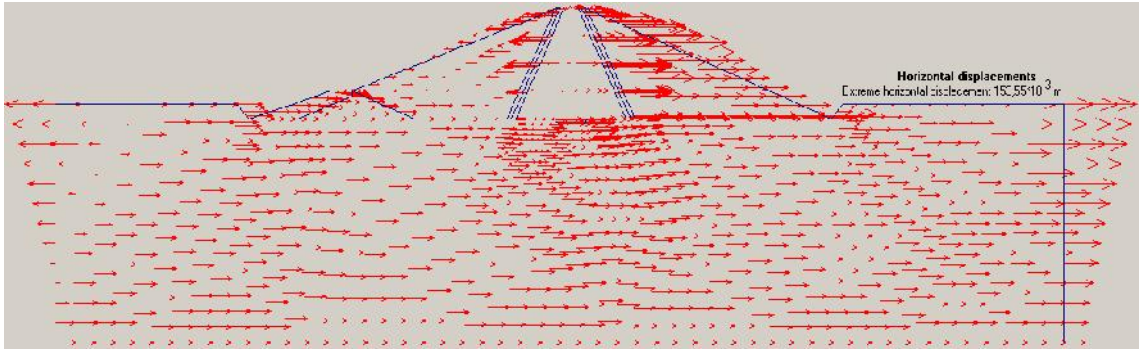
Çizelge 5.2.'de görüldüğü üzere baraj gövdesi boş ve dolu durumda, dinamik ve statik koşullar altında güvenlik kriterlerini sağlamaktadır. En kötü durum olan rezervuarın tamamen dolu ve yanal deprem etkisinin tatbiki ortamında baraj gövdesinin memba ve mansap güvenlik sayıları sırası ile 1.39 ve 1.31 olarak saptanmıştır. Bu değerler barajın şev stabilitesi yönünden gövde bütünlüğünü servis ömrü boyunca güvenle koruyacağını göstermektedir.

Şekil 5.9.'da baraj gövde ve temelindeki toplam şekil değiştirmeler deforme olmuş sonlu elemanlar ağı biçiminde gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere baraj gövdesindeki maksimum deplasman kret seviyesinde başlamış ve kısmi olarak azalma seyri ile temel tabakasına kadar devam etmiştir. Barajın memba ve mansap taraflarında göze çarpan bir kabarma oluşmamış buna mukabil şekil değiştirme barajın kret aksı boyunca düşey ekseninde meydana gelmiştir. Bu beklenen davranış baraj güvenliği açısından toplam oturmanın karmaşık bir düzende meydana gelmemesi bakımından olumlu bir şekil değiştirme davranışdır. Şekilden görüleceği gibi toplam şekil değiştirme miktarı 0.3 m civarında ortaya çıkmıştır.



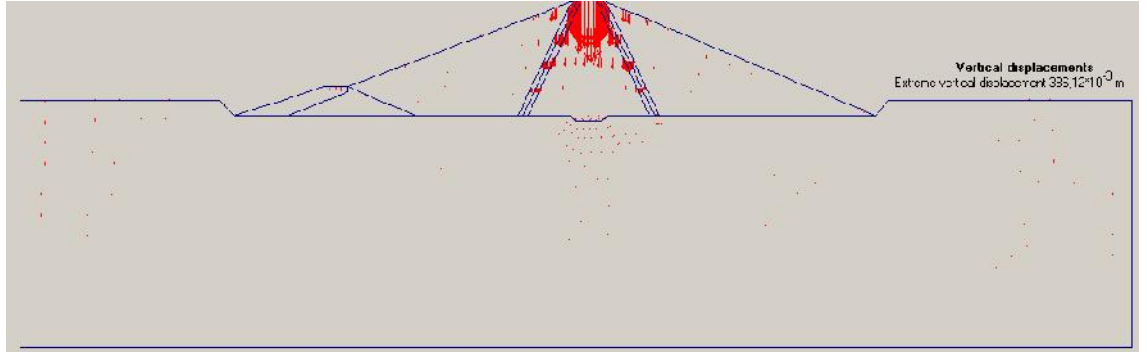
Şekil 5.9. Baraj gövde ve temelindeki toplam şekil değiştirmeler

Şekil 5.10.'da ise baraj gövdesinin toplam yanal yer değiştirmeleri görülmektedir. Deforme olmuş baraj kesitine bakıldığında görüleceği üzere yanal şekil değişimi en çok kret uç kısmında ve memba tarafına doğru ortaya çıkmıştır. Barajın dolu rezervuar koşulu dikkate alındığında bu davranışın anlamlı bir sonuç olduğu görülebilir. Yanal deplasmanı kontrol altında tutan riprap ve örtü tabakalarının baraj güvenliğine katkısı deplasman miktarının düşey deplasmana göre hemen hemen yarı mertebesinde meydana gelmesi ile anlaşılmaktadır.



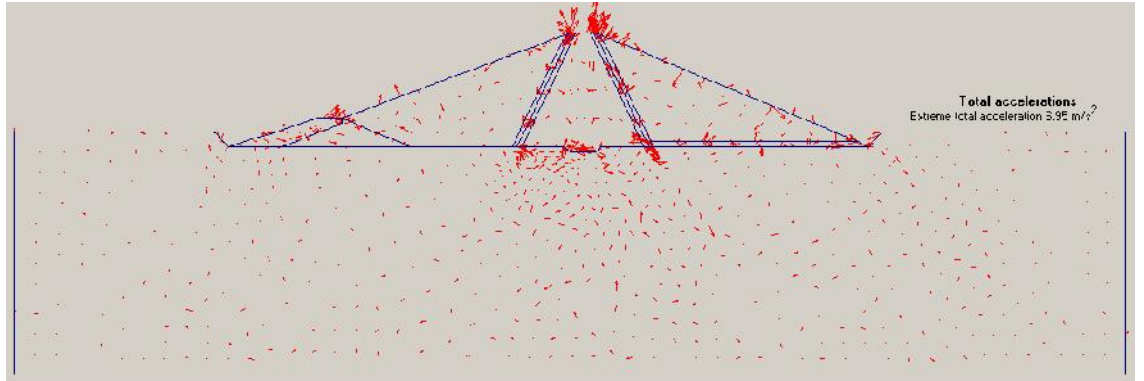
Şekil 5.10. Baraj gövde ve temelindeki toplam yatay değişimler

Şekil 5.11.'de baraj gövdesinde meydana gelen düşey deplasmanın deforme olmuş kesiti görülmektedir. Deplasmanların çok yoğun bir biçimde kret seviyesinde ortaya çıkmıştır. Oturma büyüklüğü yanal deformasyonun iki katından fazla meydana gelmiştir. Baraj gövdesinin orta mertebelerine kadar bu davranışın devam ettiği görülmüş, temel seviyesine yaklaşıldıkça deplasmanların hemen hemen sönümlendiği anlaşılmaktadır. Bu davranış; baraj kesitinin kademeli inşa yöntemi ile yapılmasının, zaman faktörünün oturmalar yönüyle dikkate alınmasının ve son olarak dolgu katmanlarına uygulanan sıkıştırma yönteminin başarısı ile doğrudan ilişkilidir.



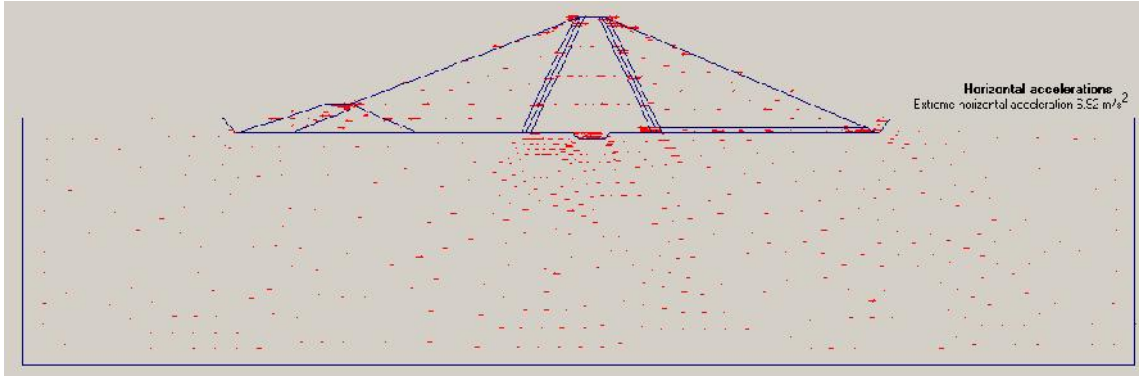
Şekil 5.11. Baraj gövde ve temelindeki toplam düşey değişimler

Şekil 5.12.'de ise baraj kesitinde Bingöl deprem ivmelerinin uygulanması akabinde meydana gelen maksimum ivmeler görülmektedir. Baraj kretinde maksimum ivmeler saptanmış ve bu ivme büyüklüğü 6.95 m/sn^2 mertebesinde oluşmuştur. Ana kayadan iletilen deprem ivmesinin beklendiği üzere baraj gövdesinde büyüyerek arttığı ve kret seviyesinde maksimum değerine ulaştığı görülmektedir. Ancak bu ivme büyüklüğünün oluşturduğu yanal ve düşey deplasman büyüklükleri baraj güvenliğini tehlikeye sokacak büyüklüklerde değildir.

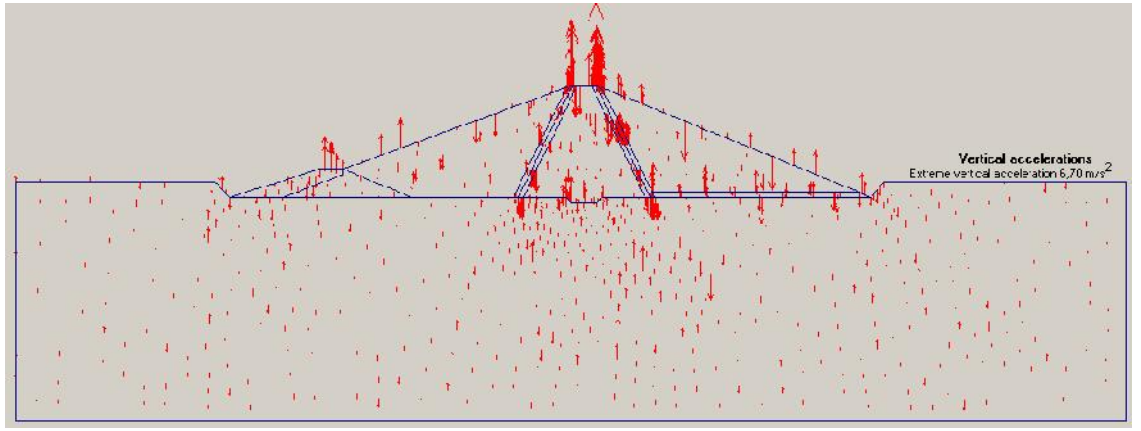


Şekil 5.12. Baraj gövde ve temelindeki toplam ivme büyüklüğü

Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'de baraj kesitinde meydana gelen toplam yanal ve düşey ivme büyüklükleri görülmektedir. Davranışın düşey ve yatay deplasmanlarda olduğu gibi aynı paternede meydana geldiği görülmektedir.

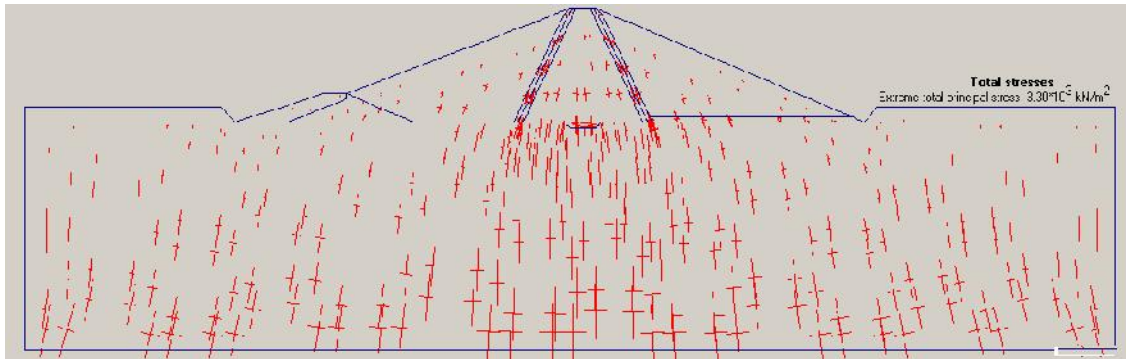


Şekil 5.13. Baraj gövde ve temelindeki toplam yanıl ivme büyüklüğü



Şekil 5.14. Baraj gövde ve temelindeki toplam düşey ivme büyüklüğü

Şekil 5.15.'de baraj dolgusunun meydana getirdiği toplam gerilme artışı görülmektedir. Beklendiği üzere gerilmeler baraj gövdesi ekseninde oluşmaktadır. Baraj dolgu malzemesinin temel tabakasında birim hacim ağırlığı miktarınca gerilme artışı meydana getirmiştir.



Şekil 5.15. Baraj gövde ve temelindeki toplam gerilme büyüklüğü

7. SONUÇ

Çalışmada Ambar Barajının kademeli inşası Plaxis 7.2 sonlu elemanlar programında birebir modellenerek nümerik analizi yapılmıştır. Yürütülen çalışmada dinamik analizler için 2003 Bingöl ivme-zaman deprem kaydı kullanılmış ve baraj gövdesinin şekil değişimi irdelenmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi özellikle deprem etkisi ile baraj gövdesi deforme olmaktadır. Ancak bu deformasyon miktarı baraj stabilitesini ve güvenli servis kabiliyetini etkilemeyecek mertebede olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında limit denge yöntemi kullanılarak baraj gövdesinde şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Şev stabilitesi analizlerine göre baraj güvenliğinin en kötü koşullarda bile 1.39 gibi bir değerde olduğu belirlenmiştir. Yapılan OBE istatistiksel deprem analizlerinde 1 Mayıs 2003 Bingöl deprem kayıtları kullanılmıştır. Bu kayıtların ivme-zaman verilerine göre dinamik analizler gerçekleştirilmiş ve barajın olası deprem ivmeleri altında düşük deplasman aralıklarında kalarak güvenli tarafta bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan limit denge ve sonlu elemanlar nümerik analizlerinden elde edilen bir başka sonuç ise kullanılan zemin modelleri ve matematiksel yöntemlerin baraj davranışını modelleyebilmedeki başarısını göstermesidir. Plaxis 7.2 programı her ne kadar iki boyutlu baraj kesiti üzerinde bir analiz yapsa da baraj kesitinin 'z' eksenine boyunca homojen bir dolgu özelliğinde inşa edilmiş olması bakımından elde edilen sonuçların doğru olarak varsayılmasına imkan sağlamıştır. Kullanılan yöntemlerin ve paket programların göreceli olarak diğer paket programlara nazaran daha kolay bir veri girişi ve analiz prosesine sahip olması değerlendirildiğinde, özellikle baraj tasarımlarında kullandığımız yöntemlerin uygulayıcılar tarafından kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, A., Dinçer, İ., 2005. Left Upstream Slope Design For The Çatalan Dam, Adana, Turkey And Its Behaviour Under Actual Earthquake Loading. Engineering Geology, 82.
- Ahmadi, M.T., Izadinia, M., Bachmann, H., 2001. A Discrete Crack Joint Model For Nonlinear Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dam. Computers And Structures, 79.
- Akyüz, H., 1990. Dolgu Barajların Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Al-Homoud, A.S., Tanash, N., 2004. Modeling Uncertainty In Stability Analysis For Design Of Embankment Dams On Difficult Foundation. Engineering Geology, 71.
- Arctic Climatology and Meteorology. Precipitation. Retrieved on 2006-10-24.
- Azmi, M., Paultre, P., 2002. Three-Dimensional Analysis Of Concrete Dams Including Contraction Joint Non-Linearity. Engineering Structures, 24.
- Cascone, E., Rampello, S., Lotfi, V., Espander R., 2003. Decoupled Seismic Analysis Of An Earth Dam. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 23.
- Calayir, Y., Karaton, M., 2005. A Continuum Damage Concrete Model For Earthquake Analysis Of Concrete Gravity Dam-Reservoir System. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 25.
- Day, R.A., Hight D.W., Potts D.M., 1998. Finite Element Analysis Of Construction Stability Of Thika Dam. Computers And Geotechnics, 23.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 11.11.1996 tarihli Genelgesi.
- Espander, R., Lotfi, V., 2003. Comparison Of Non-Orthogonal Smeared Crack And Plasticity Models For Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dams. Computers And Structures, 81.
- Es Proje 2010, Ambar Barajı Proje Tanıtım Dosyası (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü).
- Es Proje 2010, Ambar Barajı Müh. Jeo. Kati Proje Rap. (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü).
- Helvacı D., 2009, DİM Barajının Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- ICOLD Paper 2006, – The Role of Dams in the XXI Century to Achieve Sustainable Development.
- Javanmardi, F., Leger, P., Tinawi, R., 2005. Seismic Structural Stability Of Concrete Gravity Dams Considering Transient Uplift Pressures In Cracks. Engineering Structures, 27.

- Leclerc, M., Leger P., Tinawi R., 2003. Computer Aided Stability Analysis Of Gravity Dams (CADAM). Advances In Engineering Software, 34.
- Liang, R.Y., Nusier, O.K., Malkawi, A.H., 1999. A Reliability Based Approach For Evaluating The Slope Stability Of Embankment Dams. Engineering Geology, 54.
- Li, Q.S., Li, Z.N., Li, G.Q., Meng, J.F., Tang, J., 2005. Experimental And Numerical Seismic Investigations Of The Three Gorges Dam. Engineering Structures, 27.
- Lotfi, V., Espander, R., 2004. Seismic Analysis Of Concrete Arch Dams By Combined Discrete Crack And Non-Orthogonal Smeared Crack Technique. Engineering Structures, 26.
- Orhon, M., 1997. Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri.
- Palumbo, P., Piroddi, L., 2001. Seismic Behaviour Of Buttress Dams: Non-Linear Modelling Of A Damaged Buttress Based On Arx/Narx Models. Journal Of Sound And Vibration, 239. Population Institute Report (September 2011).
- Singh, B., Varshney, R.S., 1995. Engineering For Embankment Dams. A.A. Balkema, Brookfield, 732s, Rotterdam.
- Turfan M., 2002 Özetle Baraj Nedir?. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi, Barajlar-I (391).
- Udin, N., 1999. A Dynamic Analysis Procedure For Concrete Faced Rockfill Dams Subjected To Strong Seismic Excitation. Computers And Structures, 72.
- Wang, Z., Makdisi, F.I., Egan, J., 2006. Practical Applications Of A Nonlinear Approach To Analysis Of Earthquake-Induced Liquefaction And Deformation Of Earth Structures. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 26.
- Yu, X., Zhou, Y.F., Peng, S.Z., 2005. Stability Analyses Of Dam Abutments By 3D Elasto-Plastic Finite-Element Method: A case Study Of Houhe Gravity –Arch Dam In China. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 42.

EK - AMBAR BARAJI KARAKTERİSTİK BİLGİLERİ

Drenaj Alanı	480,00	km ²
Yıllık Ortalama Yağış(Hani)	1 011,40	mm
İşletme yıl sayısı	30	
Yıllık Ortalama Akım		
Ambar çayı doğal akımları	133,93	hm ³ /yıl
Yukarı havza sulamalarından dönen sular	4,05	hm ³ /yıl
Silvan Barajından takviye	16,63	hm ³ /yıl
Toplam akımlar	154,60	hm ³ /yıl
Minimum Su Seviyesi	691,02	m
Normal Su Seviyesi	712,00	m
Maksimum Su Seviyesi	714,33	m
Minimum Su Seviyesinde Göl Alanı	2,60	km ²
Normal Su Seviyesinde Göl Alanı	9,08	km ²
Maksimum Su Seviyesinde Göl Alanı	9,80	km ²
Minimum Su Seviyesinde Göl Hacmi	15,36	hm ³
Normal Su Seviyesinde Göl Hacmi	131,97	hm ³
Maksimum Su Seviyesinde Göl Hacmi	154,00	hm ³
Aktif Göl Hacmi	116,61	hm ³
Regülasyon oranı		
Kendi suları ile	62,38	%
Takviye ile	76,16	%
Baraj Gövdesi		
Kret Kotu	715,00	m
Talveg Kotu	675,00	m
Talvegden Yüksekliği	40,00	m
Temelden Yüksekliği	45,00	m
Kret Uzunluğu	1185,00	m
Kret Genişliği	10,00	m
Kazı Hacmi	941 910	m ³
Kil Dolgu Hacmi	908 933	m ³
3 Nolu Zonlu Kabuk Dolgu Hacmi	2 167 454	m ³
Kum Filtre Dolgu Hacmi	149 786	m ³

Çakıl Filtre Dolgu Hacmi	202 523	m3
Tüvenan Fitre Dolgu Hacmi	65 26	m3
Koruyucu Dolgu Hacmi	56 344	m3
Riprap Dolgu Hacmi	96 584	m3
Zayıt Dolgu Hacmi	53 850	m3
Toplam Dolgu Hacmi	3 642 000	m3
Memba Şevi	2,75/1	(Y/D)
Mansap Şevi	2,40/1	(Y/D)
Dolusavak		
Yeri	Sol sahil	
Tipi	Yandan alıslı, kontrolsüz	
Kret Genişliği	500	m
Yaklaşım Kanalı Kotu	711,40	m
Eşik Kret Kotu	712,00	m
Taşkın Hidrografi Pik Debisi	761,00	m ³ /s
Proje Hesap Debisi	356,85	m ³ /s
Boşaltım Kanalı Uzunluğu	120	m
Boşaltım Kanalı Genişliği	14,00÷40,00	m
Enerji Kırıcı Havuz Tipi	Düşü Havuzu Tip II	
Enerji Kırıcı Havuz Taban Kotu	671,00	m
Enerji Kırıcı Havuz Uzunluğu	25,00	m
Derivasyon Kondüvisi		
Yeri	Sağ sahil	
Tipi	İki gözlü betonarme kondüvi	
Adedi	1	
Boyutları	2x4,50mx4,50	m
Uzunluğu	199,60	m
Derivasyon hesabı taşkın debisi (Q25)	223,56	m ³ /s
Kapasitesi	216,83	m ³ /s
Giriş Kotu	676,00	m
Çıkış Kotu	675,53	m
Eğimi	0,00236	
Dipsavak		
Yeri	Sağ sahil derivasyon kondüvisi içi	

Cebri Boru Çapı		
Sol sahil	1,80	m
Sağ sahil	1,60	m
Cebri Boru Uzunluğu		
Sol sahil	135,00	m
Sağ sahil	135,00	m
Kontrol Vanası		
Dere deşarjı (2 adet)	1200 Howell Bunger Vana	
Sol sahil sulama suyu kontrol	120x120cm kare vana	
Sağ sahil sulama suyu kontrol	120x120cm kare vana	
Dereye Deşarj Dipsavak Debisi	22 (2x11)	m ³ /s
Sulama Suyu Branşmanı Çapı		
Sol sahil	1,80	m
Sağ sahil	1,60	m
Sulama Suyu Bağlantısı Cebri Boru Uzunluğu		
Sol sahil	323	m
Sağ sahil	491	m
İhtiyaç Debisi		
Sol sahil	8,70	m ³ /s
Sağ sahil	6,50	m ³ /s
Su alma Yapısı Eşik Kotu	690,22	m
Ambar Sulaması Karakteristikleri		
Bitki su ihtiyacı	615,92	mm
Çiftlik İhtiyacı	969,65	mm
Sulama Suyu İhtiyacı	1042,63	mm
Modül	1,25	l/s/ha
Ana kanallar		
Sağ sahil		
Tipi	Trapez kesit, beton kaplama	
Başlangıç debisi	6,50	m ³ /s
Başlangıç taban kotu	683,52	m
Başlangıç su yüzü kotu	685,00	m
Eğimi	0,0002	

Uzunluğu	61450	m
Hizmet alanı (Brüt)	5740	ha
Sol sahil	Trapez kesit, beton kaplama	
Başlangıç debisi	8,70	m ³ /s
Başlangıç taban kotu	683,28	m
Başlangıç su yüzü kotu	685,00	m
Eğimi	0,0002	
Uzunluğu	48250,00	m
Hizmet alanı (Brüt)	7758	ha
Sulama Şebekesi		
Tipi	Mansap kontrollü borulu sistem	
Yedek kanallar		
Kapasite (maksimum)	5,0	m ³ /s
Toplam hizmet alanı (brüt)	13498	ha

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ŞAYAN

Doğum Yılı : 1977

Eğitim Bilgileri

Lisans : Niğde Üniversitesi Aksaray Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl.
(1995-1999)

İletişim Bilgileri

Adres : DSI Genel Müdürlüğü Devlet Mah. İnönü Bulvarı No:16
16100 Çankaya/ANKARA

Telefon : 0-312-417 83 00 / 2896

E-posta : msayan@dsi.gv.tr