

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARİDERESİ II GÖLETİ'NİN DİNAMİK ANALİZLERİNİN ANSYS
İLE İNCELENMESİ**

Tuba AYDIN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. E. Dilek TAYLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



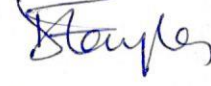
© 2017[Tuba AYDIN]

TEZ ONAYI

Tuba AYDIN tarafından hazırlanan "**Darıderesi-II Göleti'nin Dinamik Analizlerinin Ansys ile incelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd.Doç. Dr. E.Dilek TAYLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. M. Erol KESKİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd.Doç. Dr. Gülhan İNCE
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



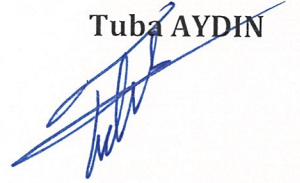
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Tuba AYDIN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. BARAJ GÖÇMELERİ.....	15
4. BARAJLARA AİT JEOLJİK PROBLEMLER	19
4.1. Temel Problemleri	20
5. BARAJ TASARIMI.....	23
5.1. Barajların Kısımları	23
5.1.1. Baraj gövdesi	23
5.1.2. Baraj gölü.....	23
5.1.3. Su alma yapısı.....	23
5.1.4. Dip savak	23
5.1.5. Dolu savak	24
5.1.6. Derivasyon tesisleri	24
5.1.7. Diğer tesisler	24
5.2. Baraj Yerinin Seçimi	24
5.2.1. Baraj yerinin özellikleri	24
5.2.2. Göl bölgesinin özellikleri	24
5.2.3. Yağış havzasının hidrolik ve hidrolojik özellikleri	25
5.2.4. İskan, istimlak ve yenileme ile ilgili maliyetler.....	25
5.2.5. Çevre etkisi	25
5.3. Baraj Yapma Amaçları	25
5.3.1. Şehirlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacı.....	25
5.3.2. Sanayi su temini.....	25
5.3.3. Sulama suyu.....	26
5.3.4. Hidroelektrik enerji üretimi	26
5.3.5. Su ürünlerinin üretimi	26
5.3.6. Mesirelik kullanım.....	27
5.4. Barajların Çevre Etkileri	27
5.5. Barajların Sınıflandırılması	27
5.5.1. Büyüklüklerine göre sınıflandırma	27
5.5.2. Yapılış amaçlarına göre sınıflandırma.....	28
5.5.3. Gövde dolgu malzemesi ve gövde biçimine göre sınıflandırma	28
6. BARAJ TİPİNİN SEÇİMİ	29
6.1. Baraj Yerinin Topoğrafik Durumu	29
6.2. Temel Zemini ve Jeolojik Yapı	29
6.3. Baraj İnşaatında Kullanılacak Uygun Malzemenin Yeri ve Cinsi	30
6.4. Ulaşım Olanakları.....	30
6.5. Çevirme (derivasyon) Koşulları	31
6.6. Dolu Savak Kapasitesi ve Yeri.....	31
6.7. Deprem	31
6.8. İklim Koşulları ve Yapım Süresi	31
6.9. Heyelan.....	32
6.10. Ülkenin Ekonomik Durumu	32

6.11. Makine Parkı Alanı Varlığı, Makinelerin Tip ve Kapasiteleri.....	32
7. BARAJLARA ETKİ EDEN Kuvvetler	33
7.1.Barajın Kendi Ağırlığı.....	33
7.2.Hidrostatik Su Basıncı.....	33
7.3.Taban ve Boşluk Suyu Basıncı.....	34
7.4.Deprem Kuvvetleri	35
7.5.Buz Basıncı.....	35
8.BARAJ TİPLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	36
8.1.Ağırlık Barajı.....	36
8.1.1.Devrilme emniyeti	38
8.1.2.Kayma emniyeti.....	38
8.1.3.Barajın kesme mukavemeti.....	38
8.1.4.Gerilme tahkikleri	39
8.2.Kemer Ağırlık Barajları.....	40
8.3. Payandalı Barajlar	41
8.4. Kemer Barajlar	43
8.4.1. Sabit yarıçaplı kemer barajlar	44
8.4.2. Bütün kemer yaylarında merkez açısı sabit olan kemer barajlar	44
8.4.3. Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer barajlar.....	44
8.5. Dolgu Barajlar	46
8.5.1. Toprak dolgu barajlar.....	49
8.5.2. Kaya dolgu barajlar.....	49
9. BARAJ YIKILMA ANALİZLERİ	50
9.1. Gundlach ve Thomas Formülü	50
9.1.1. Hagen formülü	50
9.1.2. Mcdonald ve langridge – monopolis formülü	51
9.1.3. Costa formülü	51
9.1.4. SCS (TR-60) formülü	51
9.1.5. Froelich formülü	52
9.1.6. Maksimum gedik çıkış debisi formülü	52
9.2. Gedik Genişliği Hesabı	52
9.2.1. Johnson ve illes formülü.....	52
9.2.2. Singh ve snorrason formülü.....	53
9.2.3. Fereral energy regulatory commission formülü	53
9.2.4. US bureau of reclamation formülü	53
9.3. Yıkılma Süresi	53
9.3.1. Singh ve snorrason formülü.....	53
9.3.2. Fereral energy regulatory commission formülü	54
9.3.3. Froelich yöntemi	54
9.3.4. US brureau of reclamation formülü.....	54
9.3.5. Von thun ve gilette yöntemi	54
9.4. Gediğin Şev Eğiminin Bulunması.....	55
9.4.1. Fereral energy regulatory commission formülü	55
9.4.2. Froelich yöntemi	55
9.4.3. Singh ve scarlatos yöntemi	55
9.4.4. Von thun ve gilette yöntemi	55
10. MATERYAL VE METOD	58
10.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	58
10.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi.....	62
10.2.1. Tek tabakalı YSA ve işletme ilkeleri.....	63

10.2.2. Çok tabakalı YSA ve işletme ilkeleri	63
10.2.3. İşlemci fonksiyonlar	65
10.2.4. Yapay sinir ağları ile eğitime ve modelleme	67
11. BULGULAR VE ANALİZLER	69
11.1. Darıderesi-II Göletinin Özellikleri	69
11.1.1. Projenin yeri.....	69
11.1.2. Darıderesi-II göletinin karakteristik özellikleri	69
11.2 Dinamik Analize Giriş.....	72
12. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	88



ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DARİDERESİ-II GÖLETİ'NİN DİNAMİK ANALİZLERİNİN ANSYS İLE
İNCELENMESİ**

Tuba AYDIN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. E. Dilek TAYLAN

Barajlar, çok eski zamanlardan beri insanlığın su ihtiyacını karşılamak, elektrik üretmek, tarımsal faaliyetlerde sulama yapmak gibi amaçlarla inşa edilirler. Buldukları ülke ve bölge için, enerji üretimine katkı sağladıkları için büyük önem taşırlar. Barajların yapımı oldukça zor ve maliyetlidir.

Yapıldıkları bölgede, çoğunlukla taşkın önlemek amacıyla inşa edildiklerinden her türlü etkiye dayanıklı olması hayati önem taşımaktadır. Bu etkilerden en önemlisi ve en tehlikelisi deprem kuvvetleridir. Bu yüzden ki barajların depreme dayanıklı olarak tasarlanıp, buna göre inşa edilmesi çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında, Isparta'da yer alan, Darıderesi-II Göleti'nin çeşitli deprem yükleri altındaki dinamik davranışı, ANSYS programı kullanılarak incelenmiştir. Gölet'in davranış şeklinin gerçeğe uygunluk göstermesi için, sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Modelleme yapılırken, göletin malzeme özellikleri ve sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur. Deprem etkisiyle oluşan, deformasyon ve gerilmeler dikkate alınmıştır. Bu sonuçlar incelenerek, Darıderesi-II Göleti'nin deprem karşısında, nasıl bir davranış sergileyeceği yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, Darıderesi-II Göleti, Deformasyon, Dinamik Analiz, Gerilme.

2017, 88 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF DARİDERESİ-II RESERVOIR DYNAMIC ANALYSIS BY ANSYS

Tuba AYDIN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. E. Dilek TAYLAN

The dams are built to supply people's water need, to produce electricity and to make irrigation water in agricultural activities since ancient times. The dams are very important because they contribute to energy production. The construction of dams is very difficult and costly.

It is vital that they are resistant to all kinds of effects, since they are built to prevent flooding in the region where they are built. The most important and the most dangerous of these effects are earthquake forces. It is very important that the dams are designed to be durable and constructed accordingly.

In this thesis, the Darıderesi-II Reservoir located in Isparta was examined. Behavior of this reservoir under various earthquake loads has been observed. In order for the behavior of the pond to conform to the truth, the finite element method is used. In making this model, the material specifications and boundary conditions are taken into account. The Reservoir was modeled using ANSYS program and its behavior under earthquake accelerations was investigated. Deformation and stress forces under earthquake accelerations are taken into account. By examining these results, it is interpreted how the Darıderesi-II Reservoir will behave in the face of the earthquake.

Keywords: ANSYS, Darıderesi-II Reservoir, Displacement, Dynamic Analysis, Stress,

2017, 88 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez çalışmasını sürdürdüğüm dönemde, bana daima destek olan, çalışma disiplini aşıl原因, tavsiye, eleştiri ve düzenlemeleriyle çalışmanın içerik ve sunumundaki zenginliğine büyük katkıda bulunan, sevgili danışman hocam, Sayın **Yrd. Doç. Dr. E. Dilek TAYLAN**'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında, benden tecrübesini ve zamanını esirgemeyen saygı değer hocam **Yrd. Doç. Dr. İ. Devran ÇELİK**'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam sürecinde, benden desteğini çekmeyip, bana inancımı yitirmeyen **Arş. Gör. Melis TAŞKIN**'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında yanımda olup, beni destekleyen ailem, **Neriman AYDIN** ve **Mehmet AYDIN**'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, 4620-YL1-16 numaralı proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tuba AYDIN
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 7.1. Baraja etki eden kuvvetler.	34
Şekil 10.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile bölünmüş yapı elemanı gösterimi.....	59
Şekil 10.2. Koordinat sistemi üzerinde verilmiş eleman parçası	60
Şekil 10.3. Koordinat dönüşüm sistemi	61
Şekil 10.4. Ysa genel yapısı	63
Şekil 10.5. Çok tabakalı YSA modeli	64
Şekil 10.6. Hata eğitim devresi sayısı	68
Şekil 11.1. Baraj kesitinin malzeme özellikleri	72
Şekil 11.2. Ansys workbench ekranı.....	73
Şekil 11.3. Rezervuarın boş olması halinde, Kocaeli depremine ait yer değiştirme dağılımı.....	74
Şekil 11.4. Rezervuarın boş olduğunda, Kocaeli depremine ait gerilme dağılımı.....	75
Şekil 11.5. Rezervuarın dolu olması halinde Afyon-Dinar depremine ait yer değiştirme dağılımı.....	76
Şekil 11.6. Rezervuarın dolu olması halinde, Afyon-Dinar depremine ait gerilme dağılımı.....	77
Şekil 11.7. Rezervuarın dolu olması halinde, Düzce depremine ait yer değiştirme dağılımı.....	78
Şekil 11.8. Rezervuar dolu olduğunda, Düzce depremine ait gerilme dağılımı	79
Şekil 11.9. Maksimum yer değiştirme değerlerine ait grafik.....	80
Şekil 11.10. Maksimum gerilme değerlerine ait grafik.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Baraj yıkılmaları	16
Çizelge 4.1. Baraj kazalarındaki yetersizlikler	19
Çizelge 11.1. Darıderesi-II göletine ait hidrolojik bilgiler.....	69
Çizelge 11.2. Darıderesi-II göletine ait rezervuar bilgileri	70
Çizelge 11.3. Darıderesi-II göletinin dolusavak özellikleri	70
Çizelge 11.4. Darıderesi-II göleti, gölet gövdesi ve batardo özellikleri	70
Çizelge 11.5. Baraja ait malzeme özellikleri	71
Çizelge 11.6. Kocaeli depremine ait analiz sonuçları	74
Çizelge 11.7. Afyon-Dinar depremine ait analiz sonuçları.....	76
Çizelge 11. 8. Düzce depremine ait analiz sonuçları	78



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Deprem ivmesi
A	Temel yüzey alanı
A_x	Dolgu barajında gedik yerinde en kesit alanı
B	Barajın taban genişliği
B	Gedik kesitinin genişliği
B	Akarsu yatağı genişliği
c	Kohezyon
d	Baraj kalınlığı
d	Kayaya kadar olan zemin tabakasının kalınlığı
DSİ	Devlet Su İşleri
E_d	Deprem kuvveti
E_s	Deprem kuvveti
e	Bileşke kuvvetin simetri ekseninden uzaklığı
E	Betonun elastisite modülü
f	Temel ile beton yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı
F	Gedik faktörü
G	Barajın kendi ağırlığı
g	Yerçekim ivmesi
g_{ij}	Girdilerin, i. veri dizisinin j. bileşeni
h	Su yüksekliği
h_1	Mamba topuklarındaki su derinliği
h_2	Mansap topuklarındaki su derinliği
H	Barajın yüksekliği
$\sum H$	Toplam yatay kuvvetler bileşkesi
H	Gedik derinliği
H_w	Baraj yıkılma anında baraj haznesindeki su derinliği
H_w	Baraj haznesindeki su derinliği
ICOLD	International comission on large dam
L	Kiriş uzunluğu
L	Gizli tabakadaki toplam hücre sayısı
m	Taban su basıncı küçültme faktörü
$M_{koruyucu}$	Devirmeye karşı koyan momentler
$M_{devirici}$	Devirmeye çalışan momentler
n	Kayma sayısı
P	Hidrostatik su basıncı
P_d	Dalga kuvveti
P_b	Buz basıncı
P_s	Silt basıncı
r_a	Dış halka yarıçapı
r	Kemer yarıçapı
r_m	Halka eksenindeki yarıçap
R^2	Determinasyon katsayısı
S	Baraj yıkılma anındaki haznedeki su hacmi

T	Dolgu barajın yıkılma süresi
U	Taban basıncı
U	Alttan kaldırma kuvveti
V	Gövde hacmi
$\sum V$	Toplam düşey kuvvetler bileşkesi
YSA	Yapay sinir ağları
Z	Barajların yıkılmalarında ortaya çıkacak şev eğimi
X	Tahmin edilen X değişkeni için
X_{ort}	Ortalama hesaplanmış gerilme, deformasyon değeri
$X_{i(gerçek)}$	Sırasıyla hesaplanmış gerilme, deformasyon değeri
$X_{i(model)}$	Tahmin edilmiş gerilme, deformasyon değeri
Q	Yarığın en büyük debisi
Q_0	Yıkılmadan az önce dip savaktan çıkan debi
Q	Gediğin en büyük debisi
γ_b	Malzemenin özgül ağırlığı
γ	Suyun özgül ağırlığı
α	Deprem katsayısı
α	Üçgenin tepe açısı
γ_b	Betonun özgül ağırlığı
η	Devrilme emniyet katsayısı
τ	Betonun kesme gerilmesi
σ_{max}	Mansap uçlarındaki en büyük asal basınç gerilmesi
$\sigma_{S,H}$	Normal gerilme
σ_h	Halka basınç gerilmeleri
ϕ	Merkez açısı
δ	Kemer halkalarının anahtar noktasındaki yer değiştirme
τ_{max}	Maksimum kesme gerilmesi
γ_t	Dolgu malzemesinin birim ağırlığı
σ	Maksimum temel basıncı
ρ	İçsel sürtünme açısı
τ_h	Temel zemini tarafından alınabilecek maksimum yatay kesme gerilmesi
τ_m	En büyük kayma mukavemeti
σ	Zemin basınç gerilmesi
δ	Yer değiştirme
Θ_i	İçsel katkı sabit değer
σ	Varyans

1.GİRİŞ

Dağlardan gelen nehir suları aşağı doğru akıp gider, bir deniz veya göle ulaşırlar. Ya da yer altına sızıp kaynakları ve kuyuları beslerler. Bu hareketleri sırasında nehirler şehirlere, köylere, fabrikalara ve çiftliklere su sağlarlar. Ancak akarsuların taşıdığı su her yıl ya da yılın her mevsimi aynı miktarda değildir. Bazı kurak geçen yıllarda bazı akarsular tamamen kuruyabilir ya da bazı ıslak yıllarda akarsular yatağına sığmayarak taşabilir. Aynı şekilde yılın farklı mevsimlerinde farklı miktarda su gelebilir. Yazın suya en fazla ihtiyaç duyulan zamanda nehirlerde su miktarı çok azalabilir. Kışın ise suya fazla ihtiyaç duyulmayan mevsimde nehirler çok miktarda su taşıyabilir. Kurak zamanları atlama ve fazla suyu koruyabilmek adına BARAJ adını verdiğimiz yapılar inşa ederiz. Barajlar, arkalarında oluşan gölde tuttukları suyu biriktirirler. İhtiyaç duyulmayan zamanda gelen fazla suyu tutar ve ihtiyaç duyulan zamanda insanoğlunun hizmetine sunarlar. Barajlar aynı zamanda elektrik üretir ve taşkınlara karşı koruma sağlarlar. Barajların göllerinde biriken ve yükselerek potansiyel enerji kazanan suların bu enerjisi önce kinetik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştürülür. (Yenigün vd.)

İnsanlar nehirler üzerine pek çok farklı sebepten baraj inşa ederler; arazilerini taşkından korumak için, sulama yapmak için, enerji üretmek için, nehir yataklarını değiştirmek için, yapay göller oluşturmak için ve su seviyesini yükseltip teknelerle ulaşım sağlamak için. Ne için inşa edildikleri önemli olmaksızın bütün barajlar, büyük miktardaki suyu tutacak kadar sağlam olmalıdır. Bu yüzden, barajların dışarıdan gelen bütün etkilere karşı dayanımının çok yüksek olması gerekir. Bu etkilerden en önemlisi ve insanlık için en çok tehdit oluşturana, deprem etkisidir.

Deprem sırasında, barajlarda meydana gelecek hasarlar öngörülen seviyelerde olmalıdır. Bu çalışmada, Darıdersi II Göleti için, deprem etkisinin nasıl sonuçlar doğuracağı incelenmiştir. Bu sonuçların elde edilmesinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, ANSYS programından faydalanılmıştır. Sonuçlar, üç farklı deprem etkisi altında gözlenmiştir; Gölcük Depremi, Düzce Depremi ve Afyon Dinar Depremi. Deprem etkilerinin yanında, rezervuarın tam dolu ve boş olması durumları için yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Deformasyon ve gerilme değerleri ise sonuç kısmında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, gerilme-

deformasyon değerleri arasındaki ilişki, farklı yüklemeler için, yapay sinir ağları ile modellenmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ahmadi vd.(2001), beton kemer barajların, genellikle masif düz betondan neredeyse hiç çekme direnci olmaksızın inşa edildiklerini söylemişlerdir. Beton çekmesinden dolayı oluşan gerilme kuvvetlerini, sıcaklık değişimlerini ve inşaat aşamasını basitleştirmeyi kontrol etmek için, kemer barajlar dikey daralma derzlerinden ayrılmış olarak tek parça şeklinde inşa edilirler. Bundan önce yapılan çalışmalardan alınan sonuçlara göre, bazı birleşim noktalarının modellenmesinin, kemer barajlar için sismik güvenlik değerlendirmesi üzerine önemli bir etkisi vardır. Bu durum, birleşim yerlerindeki, kesme ve çekmeden kaynaklı oluşan sorunlardan ötürü, büyük bir depremden sonra ve iç kuvvetlerin olduğu sırada, bu kuvvetlerin yeniden dağıtılmasına sebep olur. Bu çalışmada, baraj-rezervuar sisteminin gerçekçi sonlu elemanlar analizi için birleşik kesme-çekme davranışı ile doğrusal olmayan ortak eleman modeli sunulmuştur. Suyun sıkıştırılabilirliğinin yanı sıra, ses dalgalarının alt kısımda sönmelenmesi ve rezervuarın yukarı kısmında meydana gelen radyasyon da dikkate alınmıştır. Model, son derece aktif deprem bölgelerinde, kemer barajların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi için etkin ve uygun bir şekilde kullanılabilir.

Renkun vd.(2002), kemer barajı gerilme analizinde, geleneksel yöntemlerin başarılı olmakla birlikte, bazı dezavantajlarının da olduğunu öne sürmüşlerdir. Örnek vermek gerekirse, karşımıza çıkan karmaşık temeller ve topografik özellikler ile başa çıkmak zordur. Bu yönden, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışmak daha etkilidir. Xiluodu Kemer barajı, sonlu elemanlar analizinde, yazarlar ANSYS 5.5.2 programını kullanmış ve baraja ait gerilme ve deformasyon analizini tamamlamışlardır. Hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesinde, yazarlar, kemer baraj analizinde uzmanlaşmış ADAP paket programı ve mesh yoğunluğu duyarlılık analizi ile karşılaştırmalı analiz gerçekleştirdiler.

Kayıkçı (2003), Karacaören I toprak dolgu barajının sonlu elemanlar metodunun kullanılmasıyla stabilite (denge) analizini gerçekleştirmiştir. Analizler iki farklı bilgisayar programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bilgisayar programları sap 90 (1992) ve sap 2000 (2001)'dir. Elde edilen neticeler karşılaştırılmış ve 1976 yılında meydana gelen Çaldıran depreminin spektrum değerleri modelde kullanılmıştır. İki boyutlu analizlerde dört düğüm noktalı izoparametrik elemanlar,

üç boyutlu analizlerde sekiz düğüm noktalı izoparametrik elemanlar oluşturulmuştur. Bu araştırma, barajın Çaldıran depremi spektrum değerlerine eşdeğer bir depreme maruz kaldığında yapının davranışını anlamak için gerçekleştirilmiştir.

Dumanoğlu vd. (2003), toprak dolgu barajların, iki boyutlu, malzeme bakımından lineer olmayan dinamik analizlerini, rezervuar ve zemin etkisi dikkate alınarak incelemiştir. Malzemelerin izotropik olduğu ve elasto-plastik davranış gösterdiği varsayılmaktadır. Elasto-plastik malzeme modelinin tanımlanabilmesi için Drucker-Prager Yöntemi ve Eğri Tanımlama Yöntemi düşünülmüştür. Seçilen toprak dolgu baraj için, lineer olmayan dinamik analizlerinde kullanılan iki ayrı yöntem arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Çözümler Wilson-Q metodu ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde baraj-rezervuar-zemin etkileşimi düşünülmüştür. Suyun hidrodinamik etkisi Westergaard tarafından gerçekleştirilen kütle ekleme yöntemi ile göz önüne alınmıştır.

Batmaz vd. (2003), günümüzde barajların emniyetli ve ekonomik bir şekilde inşa edilmesi ve kullanım süresi boyunca da güvenli bir şekilde işletilebilmesi açısından ölçüm tesislerinden elde edilen verilerin önemli bir rolü bulunduğunu belirtmişlerdir. Özellikle dolgu barajlarda, gövde içerisine ve temele yerleştirilen ölçüm aletleri yardımıyla toplanan veriler, hem mevcut barajların tasarım kriterlerinin ve performansının değerlendirilmesi yoluyla benzer projelerin tasarım ve inşasına önemli kolaylıklar sağlamakta, hem de yeni baraj teknolojilerinin geliştirilip, uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Çalışmada, projesi hazırlanmış olan, kil çekirdekli kaya dolgu tipindeki Şehitler Barajı için ölçüm yapılmış; toplam basınç ve oturmalarla ilgili cihazlar için bir ön çalışma sunulmuştur. Gerilme dağılımı ve oturmaların SIGMA/W adlı bilgisayar programı yardımıyla tespit edildiği analiz sonuçları kullanılarak, inşaat sonunda ve işletme sırasında bu cihazların yerleştirildikleri lokasyonlardaki gerilme ve oturma değerleri yaklaşık olarak belirlenmiştir. Bu tip çalışmalar yardımıyla, inşaat ve işletme sırasında ölçüm aletleri verileri daha kolay değerlendirilebilecek, tasarımda kabul edilen parametreler kontrol edilebilecektir. Tasarım aşamasında öngörülen ve gerçek performansın karşılaştırılması yoluyla, ülkemizde baraj tasarımına önemli kolaylıklar sağlanacağına ve baraj inşaat teknolojilerinin daha kolay geliştirileceğine inanılmaktadır.

Güngör vd. (2003), kemer barajlar, narin bir yapıya sahip olmalarına karşın, depremlerde iyi performans sergilediklerini belirtmişlerdir. Ülkemizin çoğunluğunun etkin deprem bölgesinde yer alması nedeniyle, inşaa edilecek kemer barajların depremlere karşı güvenli bir şekilde projelendirilmesi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi özellikle deprem gibi dinamik yükler altında baraj davranışının çok iyi tespit edilmesi ile mümkündür. çalışmada kemer barajların dinamik ve statik yükler altında yüksekliğe bağlı olarak deplasman değerlerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için literatürde en çok bahsedilen ileri beslemeli sinir ağ yapısı kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, insan sinir sisteminden ilham alınarak geliştirilen bir bilgi işlem paradigmasıdır. Yani belirli bir problemi çözmek için programlama yerine mevcut örnekleri kullanır. Çalışmada yapay sinir ağlarının eğitimi ve test işlemleri için gerekli olan veriler Türkiye Deprem Vakfı tarafından yayınlanan “Kemer Barajların Lineer ve Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi” başlıklı çalışmadan alınmıştır

Taşçı vd. (2004), kaya dolgu barajlarda su yüküne ve barajın kendi ağırlığına bağlı olarak baraj kretinde oluşacak deformasyonları jeodezik ve sonlu elemanlar metodu ile belirleyip, iki metodu birbiri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma alanı olarak Altinkaya barajı seçilmiş ve baraj alanında 10 adet referans ve 10 adet obje noktasından oluşan bir jeodezik deformasyon ağı kurularak jeodezik deformasyon ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Yöntem olarak sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve baraj iki boyutlu modellenip baraj kreti deformasyonları belirlenmiştir. İki metottan elde edilen yatay ve düşey deformasyonlar birbirleri ile karşılaştırılarak sonuçlar verilmiştir. Her iki metottan elde edilen sonuçlar büyük bir yaklaşıklıkla uyum göstermiştir.

Tayfur vd.(2005), sonlu elemanlar yöntemini ve yapay sinir ağları modellerini, Polonya’da bulunan Jeziorsko toprak dolgu barajındaki akış simülasyonunu göstermek için kullanmıştır. Gelişmiş sonlu elemanlar yöntemi, toprak dolgu barajın, homojen olmayan ve anizotropik, doymuş ve doymamış gözenekli gövdesi boyunca iki boyutlu kararsız ve düzensiz akış simülasyonu yapabilmesine olanak sağlar. Jeziorsko toprak dolgu barajı için, sonlu elemanlar modeli, 5.497 üçgen elemana ve 3.010 düğüme sahip ve sonlu elemanlar ağı baraj gövdesinde yoğun bir hal almıştır. Jeziorsko barajı için geliştirilen yapay sinir ağları modelinde, sigmoid fonksiyonu

oluşturmak için üç katmanlı bir ağ algoritması kullanıldı. Yapay sinir ağları modelinde, barajın memba ve mansap kısımlarındaki su seviyeleri girdi değişkenleriyken, piyezometrelerdeki su seviyeleri çıktılardır. Jeziorsko Barajı'nın, bir bölümü için yapılan piyezometre çıktı verileri kullanılarak, iki modelin sonuçları karşılaştırılıp doğrulandı. Modeller tarafından hesaplanan su seviyeleri, piyezometrelerle ölçülen su seviyeleri ile karşılaştırıldı. Model sonuçlarında görüldü ki, yapay sinir ağları modeli, sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan modeller kadar iyi bulunmuştur. Bu çalışmada, toprak dolgu barajlardaki sızıntı hakkında, yapay sinir ağları modelinin, sonlu elemanlar yöntemi ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Tosun vd.(2006), ülkemizde önyüzü beton kaplı kaya dolgu baraj inşaatında son yıllarda hızlı bir artış olduğunu belirtmişlerdir. 1997 yılından itibaren talvegden yükseklikleri 83 m ile 137 m arasında değişen beş ayrı baraj tasarlanmıştır. Bunlardan birincisi Kürtün barajıdır. En büyük su seviyesinde 180.2 hm³ su depolayan, temelden yüksekliği 133 m ve kret uzunluğu 300 olan bu barajın inşaatı 2003 yılında bütünüyle bitirilmiş olup, diğerlerinin inşaatına devam edilmektedir. Halen planlama ve tasarım aşamasında bu tipte en az dört barajın olduğu belirtilmelidir. Önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların tasarım ve inşaatının çok basit olduğu düşünülür. Hâlbuki plint yapının inşaatı, temel hazırlanması, kaya dolgu seçimi ve yerleştirilmesi, memba yüzü elemanlarının kontrolü, su tutucuların yerine konması ve kayar kalıp sistemi ile memba yüzey beton plakasının inşası özel dikkat gerektirmektedir. Bu tip barajların tasarımı ve inşasında önemli aşamalardan biri ise, kaya dolgu malzemesinin seçimidir. Gelişmiş ülke uygulamalarında, iyi derecelenmiş kaya dolgu veya temiz çakıl malzeme (serbest drenajlı), başarılı bir dolgu elemanı olarak görülmektedir. Bazı tasarım mühendisleri; ayrışmış kaya dolgu ile kirli çakıl malzemenin de, eğer zonlama yapılmış ve dolgu malzeme iyi sıkıştırılmış ise, kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bu bildiride, önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların tasarım esaslarına değinilmekte, Sonlu Eleman Yöntemi esasında çalışan bir program (PLAXIS) kullanılarak, Kürtün barajı için gerçekleştirilen bir çalışmaya ait deformasyon ve gerilme analizlerinin sonuçları ile bu sonuçların ölçülen değerler ile mukayeseli analizi sunulmaktadır.

Pasbani-Khiavi vd. (2008), baraj ve rezervuar arasındaki etkileşimi sonlu elemanlar yöntemi kullanarak, analiz etmişlerdir. Rezervuar kısmında bulunan akışkanın, sıkıştırılmaz ve viskoz olmadığı varsayılmıştır. Derivasyonun sınır koşullarının oluşturulmasında, baraj ve rezervuar ara yüzünün dikey olduğu ve rezervuar tabanının rijit ve yatay olduğu kabul edilmiştir. İlgili sınır koşulları ve denklemler, sonlu elemanlar yöntemine göre, yatay ve düşey deprem bileşenleri göz önüne alınarak, uygulanmıştır. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için, 8-düğüm noktasına sahip, ağırlıklı standart galerkin yöntemi kullanılmıştır. Sommerfeld sınır koşulları ve sınırsız sıvı alanının yüzeyinin kesilmesi için geliştirilmiş, sönümleme sınır koşulları dikkate alınarak, iki sınır koşulunun sonuçları, analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Keskin vd. (2009) , ülkemizdeki mevcut barajların deprem davranışının irdelenmesi amacıyla ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim Barajı ele almışlardır. Bu barajın zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak dinamik yükler altında (deprem yükü) davranışı incelenmiştir. Aynı zamanda barajda meydana gelen gerilmeler ve yer değiştirmeler elde edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada Barajın deprem kuvvetleri etkisindeki davranışını daha gerçekçi şekilde belirleyebilmek için barajın matematiksel olarak gerçeğe yakın biçimde modellenmesi sonlu elemanlar yöntemiyle sağlanmaya çalışılmıştır. Baraj için malzeme özelliklerinin dağılımı, geometri ve sınır şartlarının en genel halinin hesaba katıldığı bir sonlu eleman ağı seçilmiştir. Dim barajı SAP 2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Barajın rezervuarının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumlarına göre Düzce deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Analizlerin sonucunda barajların deprem davranışının önemi görülmüş ve baraj güvenliği için yapılması gerekliliği saptanmıştır.

Bayraktar vd. (2010) , baraj-temel-rezervuar etkileşimi dikkate alınarak ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajların statik ve deprem etkileri altında güvenilirlik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Rezervuar suyunun baraj üzerindeki etkileri Lagrange yaklaşımına dayalı sıvı sonlu elemanlar yöntemi ile dikkate alınmıştır. Barajdaki çeşitli birleşim bölgeleri birleşik ve sürtünmeli olarak modellenmiştir. Sürtünmeli birleşimlerde Coulomb sürtünme yasasını dikkate alan bir boyutlu yüzey-yüzey temas elemanlar kullanılmıştır. Deprem etkisi için zemin tabanına indirgenmiş

ivme kaydı dikkate alınmıştır. Malzeme bakımından lineer olmayan davranış için, betonda Drucker-Prager, kaya dolguda çok yönlü kinematik pekleşme modeli kullanılmıştır. Geometri bakımından lineer olmayan davranış da dikkate alınmıştır. Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajın güvenilirlik analizlerinde FERUM güvenilirlik analiz programı, ANSYS sonlu elemanlar programı ile birleştirilmiştir. İki program arasında kurulan bağlantı ile kapalı limit durum fonksiyonlarının çözümü için gerekli değerler elde edilmiştir. Çalışmada, beton plak üzerinde seçilen kritik noktaların göçme olasılıkları hesaplanmıştır.

Bayraktar vd.(2011), kemer baraj-rezervuar-temel sistemlerinin doğrusal olmayan deprem tepkisini, sonlu eleman modeli güncellenmesi ile etkilerini incelemiştir. Türkiye'nin en yüksek kemer barajı olan Berke Barajı, sayısal ve deneysel uygulamalar için seçilmiştir. Öncelikle, Berke Barajı 3D sonlu elemanlar modeli ANSYS yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Analitik modelleme olarak, kemer baraj-rezervuar-temel etkileşimi, Lagrange yaklaşımı ile temsil edilmektedir. Sonrasında ise, ortam titreşim testleri dört gün boyunca baraja uygulanmıştır ve deneysel dinamik karakteristikleri bir Gelişmiş Frekans Ayrışma tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir. Deneysel parametreler, birleştirilmiş sistemin lineer sonlu elemanlar analizi ile elde edilmiş analitik sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, doğal frekanslar %15-20 oranında uyumsuzluk gösterse de, yöntem şekilleri arasında iyi bir uyum gözlenmiştir. Berke Barajı doğrusal sonlu eleman modeli, baraj ve temelin malzeme özelliklerini ayarlayarak güncellenmiştir. Drucker-Prager hasar kriteri tanımlanarak, güncellenen doğrusal sonlu eleman modeli doğrusal olmayan modele dönüştürülmüştür. Berke Barajı'nın doğrusal olmayan sismik davranışı, Türkiye'de, Adana-Ceyhan kemer baraj bölgesi yakınında 1998 yılında meydana gelen, deprem ivme kaydı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu sonlu elemanlar modeli güncellenmesi, kemer barajların doğrusal olmayan deprem davranışları adına önemli bir etkisi olmuştur.

Demirpençe vd. (2011), bir kemer barajın projelendirilmesinde en önemli unsur diğer baraj türlerinde olduğu gibi statik ve dinamik yüklere karşı güvenlik olduğunu belirtmişlerdir. Barajların deprem gibi bir dinamik yükler altında yıkılması, ülke ekonomisine büyük zarar vereceği gibi, can ve mal kaybına da neden olacaktır. Dolayısıyla; olması muhtemel şiddetli depremlerde barajların davranışları ve yapısal

bütünlüklerini koruyup koruyamayacaklarının araştırılması gerekmektedir. Son zamanlara kadar barajların deprem güvenlikleri genellikle statik analizler ile belirlenirken, günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile, ileri dinamik yöntemler kullanılarak belirlenmeye başlanmıştır. Günümüzde barajların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde teorik ve deneysel yöntemler birlikte kullanılmaktadır. Bu nedenle; Sır barajının farklı kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ve rezervuar su seviyelerine göre SAP 2000 programı ile lineer dinamik analizleri yapılarak, söz konusu barajın deprem davranışı ortaya konulmak istenilmiştir. Ayrıca depremler hakkında bilgi verilmiş olup, baraj yerinin sismik değerlendirmesi kısaca anlatılmıştır. Sır barajının farklı rezervuar seviyelerine göre (boş, dolu, yarı dolu) üç boyutlu lineer dinamik analizi yapılmıştır. Modellemede temel; barajın sağlam kayaya inşa edilmesi ya da zayıf kayaya inşa edilmesi hallerine göre ankastre veya sabit mesnet alınmıştır. Suyun hidrodinamik etkisi Westergaard tarafından geliştirilen eklenmiş kütle yaklaşımı ile dikkate alınmıştır. Eklenmiş kütle yöntemiyle hesaplanan hidrodinamik etki ve farklı kuvvetli yer hareketleri barajın memba-mansap doğrultusunda (baraja dik olarak) etki ettirilmiştir. Sonuç olarak; bu çalışmada bilgisayar hesaplamaları, sonlu elemanlar sayısal çözümleme metodunu kullanan SAP 2000 programı ile rezervuarın boş, yarı dolu ve dolu olması durumlarına göre yapılmıştır. Yapılan analizlerin çözümleri şekiller, grafikler, ve çizelgeler halinde ortaya konulmuş ve analiz sonuçlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır

Okkan vd. (2011), su kaynakları mühendisliği için rezervuar girişi modellemesi ve işletme çalışmaları yapmanın çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, Büyük Menderes Havzasında yer alan Kemer Barajının aylık oluşan akımları için, iki farklı yapay sinir ağı (YSA) algoritmasının uygulanmasına ilişkin kapsamlı bir karşılaştırma sunulmuştur. İki tür sinir ağı, ileri beslemeli sinir ağları (FFNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) incelenmiştir. En iyi model yapısı, aylık yağış, sıcaklık ve iki ay öncesine ait alansal yağış değerlerinin girdi olarak verilmesi durumunda elde edilmiştir. Eğitim ve test periyodlarının uzun dönem performansları karşılaştırıldığında, GRNN yaklaşımının eğitim setinde daha iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir; FFNN yaklaşımı ise test setinde daha başarılı bulunmuştur. Mevsimsel karşılaştırma yapıldığında ise sonuçlarda, FFNN'nin yaz ve

sonbaharda en iyi performansı, GRNN'nin ise kışın ve ilkbaharda en iyi performansı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Sevim vd.(2011), İşlemsel Modal Test kullanarak, bir kemer baraj olan Berke Barajı'nın sonlu elemanlar kalibrasyonunu yapmışlardır. Çalışmanın amacı, analitik ve İşlemsel Modal Analizi kullanılarak Berke Kemer Barajı'nın yapısal titreşim karakteristiklerini belirlemektir. Bu nedenle çalışma analitik ve deneysel olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın analitik bölümünde, yazarlar ANSYS yazılımını kullanarak, Berke Kemer Barajı'nın rezervuar-temel sisteminin bir 3D sonlu elemanlar modelini geliştirmiştir ve analitik olarak doğal frekansları ve mod şekilleri gibi titreşim karakteristiklerini tespit etmişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmında ise, hassas ivmeölçerler Berke Kemer Barajı'nın birkaç noktasına yerleştirilmiş ve ortam titreşim testleri, dinamik karakteristiklerini elde etmek için dört gün içinde yapılmıştır. Geliştirilmiş Frekans Ayırma tekniği, deneysel olarak, doğal frekansları, mod şekilleri ve Berke Kemer Barajı'nın sönümlenme oranlarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar Barajın analitik ve deneysel doğal frekansları arasında bazı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, Berke Kemer Barajı'nın analitik modeli, malzeme özelliklerini değiştirerek bu farklılıkları en aza indirmek için kalibre edilmiştir. Kalibre edilen modelin elde edilen analiz sonuçları, esas deneysel sonuçlarla uyum göstermiştir.

Akrami vd. (2014), yağışın, akış tahmininde ve su yönetiminde karmaşık ve etkili hidrolojik süreçlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Yapay sinir ağları (YSA), özellikle süreçlerin özelliklerinin, stokastik olduğu ve açık matematiksel modeller kullanılarak tanımlanmasının zor olduğu durumlarda etkilidir. Bununla birlikte, YSA algoritmalarına dayanan zaman serisi tahmini esasen zordur ve bazı başka sorunlar ortaya çıkabilir Bu amaçla, hidroloji ve su kaynakları problemlerinde YSA için olası bir alternatif olarak tanımlanan bir yöntem, uyarlanabilir neuro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)'dir. Bununla birlikte, izleme istasyonlarından ve deneyden elde edilen veriler, sistematik ve sistematik olmayan hatalar nedeniyle gürültülü sinyalleri yüzünden bozulabilir. Bu makalenin temel amacı, gürültünün yarattığı olumsuzluğu azaltmak ve yağış tahmininin doğruluğunu artırmak amacıyla bir model geliştirmektir. Bu nedenle dalgacık ayrıştırma yöntemi (WVALET), ANFIS ve YSA modelleri ile bağlantılı olarak önerilmektedir. Bu makalede, iki senaryo

kullanılmıştır; ilk senaryoda, aylık yağış miktarı yalnızca (t) ile (t-4) zaman aralığına ait olan farklı zaman gecikmelerinde, YSA ve ANFIS'e girdi olarak, ikinci senaryo ise hatayı ortadan kaldırmak için dalgacık dönüşümünü kullanarak ve alt -serileri farklı zamanlarda girdi olarak YSA ve ANFIS'e aktarılmıştır. Önerilen modellerde, performans korelasyon katsayısı, gamma katsayısı, spearman katsayısı gibi ktiterlere göre belirlenmiştir. Sonuçlar, ANFIS ile birleşmiş WAVALET modelinin daha iyi performans gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Lee vd.(2014), hidrolojik kayıt ve yapay sinir ağı (YSA) kullanarak, heyelan barajı tasarımı için bir yaklaşım önermişlerdir. Tayvan'da, doğal barajlarda sıklıkla heyelan meydana gelir ve özellikle dik dağlar, depremler, yoğun tayfun ve fırtına gibi olaylar heyelan riskini arttırmaktadır. Nehir talveg hattındaki sediment hareketinin artması sırasında, çok yoğun yaşanan hava koşulları, uzak konumlar ve bölgenin dağlık arazisi nedeniyle gerçek zamanlı bilgi edinmek zor, hatta imkansız olabilir. Bu sorunların bir sonucu olarak, sadece bu tip doğal barajlarda ortaya çıkan olumsuzlukları tespit etmekle kalmayıp, barajın başarısızlığa uğraması olasılığını da tahmin edebilen pratik bir araca ihtiyaç duyulmuştur. Uygun güvenlik önlemlerinin alınabilmesi için, riskin hızlı bir ön değerlendirilmesi yapılmalı ve ardından olay meydana geldiğinde arıza giderilmesi süreci ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Bu çalışmada, heyelan kaynaklı barajın oluşumunu ve baraj gölü su seviyesi değişikliklerini gerçek zamanlı olarak değerlendirmek için, YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA modeli, Tayvan'ın Kaohsiung şehrinde bulunan Chi-Shan Havzası için 2009 yılında, Morakot tayfunu için önerilmiştir.

Yenigün vd. (2014), barajlarda görülen hasar ve yetersizlikler incelendiğinde, baraj tiplerine göre değişik yıkılma ve hasar sebepleri görüldüğünü ve dolayısıyla baraj tiplerine göre alınması gereken önlem ve planlama kriterlerinin büyük önem arz ettiğini belirtmişlerdir. Gerek yeni tasarımlarda, gerekse inşa ve işletme aşamasında bulunan barajların genel bir güvenlik değerlendirmesine tabi tutulmaları, (mevcut barajların risk unsuru olarak ele alınan parametreleri öncelikli olmak kaydıyla) dinamik olarak izlenmeleri, (gerekirse) her aşamada revizyon ve önlemlerin devreye alınması gerekliliği aynı derecede önemlidir. Bu çalışmada; barajlarla ilgili genel risk ve güvenlik değerlendirmelerine yer verilerek, Türkiye de üzerinde çok durulan ve ilk olarak kil çekirdekli kaya dolgu olarak tasarlanıp ardından ön yüzü beton kaplı

kaya dolgu (ÖYBK) baraj tipine dönüştürülen ILISU barajı örnekleminde, barajlarda karşılaşılabilecek muhtemel problemler/riskler ele alınmış ve güvenlik kistasıyla değerlendirilmiştir. Dünyada yaşanan çeşitli baraj hasar ve yetersizliği örneklerinden çıkarılan dersler çerçevesinde, boyut ve beklentiler itibariyle ülkemizin önemli barajları arasında sayılan Ilisu Barajının, aks seçiminden gövde tipine, baraj elemanlarının boyut ve işlevleri ile inşaa aşamasındaki problemleri de içeren ve revizyon ve/veya müdahale gerektiren/yapılan bazı uygulamaları örnek olarak irdelenmiştir.

Athani vd.(2015), barajların çoğunlukla toprak ve kaya dolgu malzemeden imal edildiklerini belirtmişlerdir. Toprak dolgu barajlar, kendi ağırlığı nedeniyle kayma ve devrilmeyi önleyebilen basit yapılardır. Uygun kil malzemelerin, olmamasına bağlı olarak, barajlar bazen merkezi geçirimsiz çekirdek ve çekirdeğin her iki tarafında iki geçirgen kabuk da dahil olmak üzere üç dikey bölgeden oluşan bölünmüş çekirdek olarak tasarlanır. Toprak dolgu barajlarda karşılaşılan sorunlar, hidrolik arıza, sızıntı hatası, baraj gövdesi boyunca bulunan boru hattındaki sorunlar ve depremden kaynaklı yapısal arıza ile ilişkilendirilir. Bir toprak dolgu barajın tasarımı ve inşası, temel zeminin homojen olmaması ve mevcut inşaat malzemelerinin özelliklerinden dolayı, jeoteknik mühendisliği alanında önemli zorluklardan birini oluşturmaktadır. Bir homojen toprak dolgu barajında, başarısızlık riskini azaltmak için az eğimli bir tasarım yapılmalıdır. Pratik sızma problemleri, doğal toprakların heterojenliği ve değişen sınır koşullarından ötürü eşdeğer sayısal bir karşılığa kolayca dönüştürülemez. Bu çalışma, kabul edilen toprak dolgu barajın sızıntı ve stabilite analizlerinin sonuçlarını sonlu elemanlar yöntemi ile sunmaktadır. Sızma analizi iki kategoriye ayrılmıştır; kararlı durum için yapılan analizler ve geçici analizler. Parametrik duyarlılık analizine göre, hem sızıntı hem de stabilite çalışmalarının, toprak dolgu barajının genel durumu üzerinde, dikkate alınmasının önemini ortaya çıkarmıştır. Birleştirilmiş analizin, tüm sızıntı ve stabilite koşullarında, toprak dolgu barajın tasarımı ve performans değerlendirmesi için bir ön şart olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma, çekirdeğin ve kabuğun elastisite modülündeki artışın, maksimum deplasmanının azalmasına yol açtığını ve içsel sürtünme açısının değişiminin, genel stabilite ölçütlerinin yerine getirilmesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

Kang vd.(2015), iklim değişikliğinin neden olduğu hidrolojik etkiler ve bunun tahmininin, gündemdeki konular arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, havza modeli kalibrasyonundaki zorluklar ve veri geçiş prosedüründeki belirsizlik yayılımı GCM (Genel Sirkülasyon Modeli) sürecinden havza modelleme sürecine kadar olan zorluklar nedeniyle, son zamanlarda bir havza ölçeğinde hidro-çevre araştırması dikkat çekmeye başlamıştır. Bu çalışmanın temel amacı, güvenilir bir YSA tabanlı, GCM senaryosu ve bir havza modelini kullanarak hidro-çevresel projeksiyon uygulaması yapmaktır. Bu raporda, Nakdong nehri havzasındaki Namgang Barajı çalışma alanı olarak seçilmiştir. İklim değişikliğinden kaynaklanan Namgang barajı havzasının zayıflığını incelemek için, iklim değişikliği nedeniyle akarsu ve sediment akışındaki değişim, havza modeli de kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, etkili bir kontrol planı önermek ve entegre bir su kaynakları yönetim sistemi geliştirmek için kullanılacaktır.

Hooshyaripor vd.(2015), barajın su seviyesi ve hacmi de dahil olmak üzere iki etkili parametre kullanarak, dolgu barajlarından meydana gelen, en yüksek sızıntı miktarının, tahmini için iki adet, YSA modeli sunmuşlardır. YSA'nın modelleme aşamasındaki, optimal ağırlıkların ve sapmaların tahmini, aşağıdakileri içeren iki farklı algoritma ile analiz edilmiştir: Lineer olmayan en küçük kareler problemlerini çözmek için kullanılan standart bir teknik olan Levenberg-Marquardt (LM) ve evrimsel hesaplama alanında yeni bir evrimsel algoritma olarak Yayılımcı karşılaştırmalı algoritma (ICA). Elde edilen sonuçların regresyon analizine dayalı yaklaşımla karşılaştırılması, ICA ile uyarlanmış YSA modelinin daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Modellerin belirsizliği üzerinde yapılan araştırmalar, LM tahminlerinin en düşük belirsizliğe sahip olduğunu, buna karşılık ICA'ların en düşük ortalama tahmin hatasına sahip olduğunu göstermiştir. Modellerin belirsizliği üzerine daha fazla analiz, Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilmiş ve burada, rastgele oluşturulmuş 1000 girdili veri seti, tarihi baraj arızalarının veri tabanından alınarak örneklendirilmiştir. P-faktörü, d-faktörü ve DDR içeren üç istatistiksel önlemlerle analiz edilen 1000 YSA modelinin sonucu, LM tahminlerinin daha sınırlı belirsizliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Ehsani vd.(2016), barajların inşaatı ve baraj tarafından tutulmuş suyun, küresel ölçekte nehir sistemlerinde uygulanan en yaygın mühendislik prosedürlerinden biri olduğunu belirtmiştir. Ancak, insan-toprak etkileşimlerinin, bölgesel ve küresel

anlamda, rezervuar işleminin modellenmesi, çalışmalarında bir sorun teşkil ettiğini önermişlerdir. Büyük ölçekli hidrolojik modellerde kullanıma uygun genel bir rezervuar işletim şemasının geliştirilmesi, barajların geniş çaplı etkilerini anlamamızı sağlamıştır. Bölgesel ve küresel ölçekli çalışmalarda, barajlardan çıkan kaynakları daha doğru aktarmak için günlük hidrolojik yönlendirme modellerine eklenebilecek yeni bir genel rezervuar işletme şeması olarak GROS geliştirilmiştir.



3. BARAJ GÖÇMELERİ

Barajların projelendirilmesinde, gerekli hidrolojik, meteorolojik, jeolojik, topografik, teknik, mali ve diğer tüm verilerin doğru ve yeterli olarak elde edilmesi ve analizlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Dahası proje etütlerinin ve diğer işletme alternatiflerinin gerektiği şekilde yapılması, tasarımdan işletmeye kadar gerekli tüm adımları içeren kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak en ufak hatanın, ancak çok uzun süreli onarımlarla, geri dönüşünün sağlanması söz konusudur. Değişik malzemelerden ve değişik amaçlı olarak yapılan barajlar büyük boyutlu mühendislik yapıları olduğundan, bu yapıların güvenliği her aşamada önem taşımaktadır.

Yerleşim alanlarına yakın inşa edilen ve büyük rezervuarlara sahip barajlar, mansaptaki canlı yaşamı için büyük risk oluştururlar ve herhangi bir nedenle göçmeleri durumunda büyük can ve mal kayıplarına neden olurlar. Yapılan birçok araştırmaya rağmen, günümüz dünyasının modern teknolojisinde bile halen çözümlenemeyen risklerle karşı karşıya kaldığımız da kaçınılmaz bir gerçektir.

Artan baraj sayısı, özellikle küçük barajlardaki tasarım-inşa ve işletmede görülen eksiklikler, eski barajların günümüz şartlarını karşılayamaması, iklim değişikliği ve benzeri diğer antropolojik nedenlerden kaynaklı su potansiyeli ve hidrolojik parametrelerdeki değişimler ve benzerleri; inşaat maliyeti, süresi, işletme ömrü ve faydaları açısından ciddi biçimde incelenmesi gereken olgulardır. Üstelik giderek daha az yerde inşa edilmeye başlandığı için daha hassas bir duruma gelen barajların güvenliği, tehlikeler karşısında gösterdikleri ve gösterecekleri güvenlik davranışları, güven düzeyleri, risk seviyeleri ve doğru tasarımları büyük önem taşımaktadır.

Barajlarda görülen hasar ve yetersizlikleri analiz edildiğinde baraj tiplerine göre değişik yıkılma ve hasar sebepleri görüldüğü ve dolayısıyla baraj tiplerine göre alınması gereken önlem ve tasarım değerlendirmelerinin büyük önem arz ettiği görülmektedir. Gerek yeni tasarımlarda ve gerekse inşa ve işletme aşamasında bulunan barajların bu çerçevede genel bir güvenlik değerlendirmesine tabi tutulmalarının, mevcut barajların risk unsuru olarak ele alınan parametreler öncelikli olmak kaydıyla dinamik olarak izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca her aşamada

revizyonun ve diğer önlemlerin devreye alınması gerekliliği de dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlar arasındadır (Yenigün ve Yüzgöl 2013).

Dünya’da bazı yetersizlikler nedeniyle, barajlar yıkılmakta ya da çökmektedir. ICOLD(International Comission on Large Dam)tarafından belirlenen bazı büyük baraj kazaları ve bu kazalarda hayatlarını kaybedenlerin sayısı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Baraj yıkılmaları (ICOLD)

Barajın Adı	Ülkesi	Kazanın Olduğu Yıl	Ölenlerin Sayısı
Machhu II	Hindistan	1979	2000+
Vaiont	İtalya	1963	2600
Panshet-Khadakwasl.	Hindistan	1961	4000
Oros	Brezilya	1960	1000
Kualo Lumpur	Malaya	1961	600
Sempar	Endonezya	1967	200
Babii Yar	Rusya	1961	145
Frias	Arjantin	1980	42+
Teton	Amerika	1976	11
Tigra	Hindistan	1963	5

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi, türlü sebeplerden yıkılan ya da çöken barajlar ciddi can kayıplarına neden olmaktadır. Bu yaşanan kazalardan sonra Dünya’da, yasalar çerçevesinde çeşitli önlemler alınmaya başlanmıştır. Önlemlerin yanında, barajlarda oluşan bu yıkılma ve göçmelerin sebepleri araştırılmaya başlanmıştır.

Baraj hasar ve yıkılmaları ile ilgili olarak yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde, hasar ve yıkılmalarda yaş-tip ve büyüklüğün etkisiyle ilgili olarak aşağıdaki bilgiler verilebilir;

- Baraj Yaşı: Hasar ve yıkılmaların en az % 50'si baraj işletmeye açıldıktan sonraki ilk beş yıl içinde meydana gelmiştir. Dolayısıyla barajların yaşlılığının yıkılmada öncelikli faktör olma özelliği ortadan kalkmaktadır. Genel olarak, 1940'tan sonra inşa edilen barajlarda yıkılma olasılığı, daha eski barajlara göre azalma göstermiştir. Sadece 1971-1980 yılları arasında yıkılma olasılıklarında bir artış göze çarpmıştır. Bunun nedeni de bu periyotta ABD'de çok sayıda baraj kazası ve yıkılmasının yaşanmasıdır.

- Baraj Tipi: Kaya dolgu ve payandalı barajlarda yıkılma ve kaza olasılığı, diğer tiplerden daha fazladır. Öte yandan beton barajlardaki yıkılma olasılığı diğer tip barajların yıkılma olasılığı ile hemen hemen aynıdır.

- Baraj Büyüklüğü: 15 m'den alçak barajların yıkılma olasılıkları 50 m'den daha yüksek barajlarınkinden çok daha yüksektir. Bunun sebebi olarak daha büyük barajlarda; tasarım, inşaat, yönetim ve işletme alanlarında daha çok dikkat gösterilmesi gerektiği söylenebilir. Öte yandan yıkılma ve kaza risklerinin farklı yükseklikteki barajlarda benzer olasılıklara sahip olması, baraj yüksekliğinin yıkılma veya kaza risklerinde pek belirleyici olmadığını göstermektedir.

ICOLD hazırladığı bir raporda, 15 m'den yüksek barajlarda, 1900-1975 yılları arasında oluşan yapısal hasarlarla ilgili olarak,

- Beton barajlardaki hasarların; % 29'u baraj üzerinden su aşması, % 53'ü temel problemleri, % 18'i diğer nedenler,

- Dolgu barajlardaki hasarların; % 35'i baraj üzerinden su aşması, % 21'i temel problemleri, % 38'i sızıntı ve borulanma, % 6'sı diğer nedenler,

- Bütün tipteki baraj hasarlarının; % 34'ü baraj üzerinden su aşması, % 30'u temel problemleri, % 28'i sızıntı ve borulanma, % 8'i diğer nedenler ile oluştuğu gözlenmiştir.

Ağırlioğlu (2011)'nin verdiği bazı önemli büyük baraj yıkılmalarını veren tabloya bakıldığında;

- Temel bozukluğu nedeniyle; Puentas Barajı [İspanya-1802], Malpasset Barajı [Fransa- 1959],
- Yapı kusuru nedeniyle Saint Francis Barajı [ABD-1929], Vega De Tera Barajı [İspanya-1959],
- Yapı kusuru ve üstten aşma nedeniyle; Panshet Barajı [Hindistan-1961], Nanaksagar Barajı [Hindistan- 1967],
- Yapı kusuru ve borulanma nedeniyle; Teton Barajı [ABD-1976],
- Borulanma nedeniyle; Gouhou Barajı [Çin-1993],
- Üstten aşma nedeniyle Southfork Barajı [ABD-1889], Oros Barajı [Brezilya-1960], Bab-1 Yar Barajı [Ukrayna- 1961], Vajont Barajı [İtalya-1963], Machu II Barajı [Hindistan-1979], Belci Barajı [Romanya-1991], Tirlyan Barajı [Rusya-1994],
- Diğer nedenlerle Hyokiri Barajı [Kore-1961], Quebrada la Chapa Barajı [Kolombiya-1963], Pado Barajı [Arjantin-1970] yıkılmaları sebebiyle önemli ölçüde maddi kayıplar meydana gelmiş ve 11437 kişi hayatını kaybetmiştir.

Yakın zamanlı baraj hasar ve yıkılmalarına örnek olarak KaLoko Barajı [Hawai-2006], Zipingpu Barajı [Çin-2008], Lake Delhi Barajı [Iowa, ABD-2010] ve Gökdere-Köprü Barajı [Türkiye-2012] verilebilir (Yenigün ve Yüzgöl 2013).

4. BARAJLARA AİT JEOLJİK PROBLEMLER

Baraj planlama çalışmaları sırasında, akarsu vadisinde baraj yapımına uygun yerler belirlenir. Daha sonra baraj yeri seçenekleri ayrıntılı olarak incelenir, üstün ve sakıncalı yönleri karşılaştırılarak en uygun baraj yeri belirlenir.

Baraj yerinin seçimindeki etkenlerin başında vadi şekli gelmektedir. Bir vadinin şekillenmesi, vadinin içerisinde açıldığı jeolojik birimlerin özelliklerine, vadinin yüksekliğine, akarsu akış sistemine, vadi oluş evresinin hangi aşamasında olduğuna göre değişir. Vadi şekli ve genişliğine göre bazı baraj tipleri hiç düşünülmez. Aynı zamanda baraj yerinin tespitinde, temel zemini ve jeolojik yapısı da önemlidir. Zeminin kaya, silt ya da çakıl olması o bölgeye yapılacak baraj tipinin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Zemin ve bölgenin jeolojik yapısının iyi bir şekilde irdelenip, belirlenmesi ileride meydana gelecek kazaların da en aza indirgenmesine sebep olacaktır. Geçmişe bakılıp baraj kazaları incelendiğinde, bu kazaların büyük çoğunluğunun temel kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Aşağıda bu yetersizliklerle ilgili yüzdeler Çizelge 4.1’de verilmiştir (Uzel,1991).

Çizelge 4.1. Baraj kazalarındaki yetersizlikler (Uzel,1991)

Yetersizliğin Nedeni	Yetersizliğin Yüzdesi
Temel yetersizliği	40
Yetersiz dolu savak	23
Zayıf konstrüksiyon	12
Düzensiz oturma	10
Yüksek boşluk basıncı	5
Sedde kaymaları	2
Kusurlu malzemeler	2
Doğru olmayan işlem	2
Depremler	1
Savaşın etkileri	3

4.1.Temel Problemleri

Temel yetersizlikleri, barajın tamamen çatlamasına yol açabilir. Oysa diğer yetersizliklerde ve problemlerde, yapının deformabilitesi veya kendine özgü dayanıklılığı, barajın tamamen yıkılmasını önleyebilir.

Temel çöküşleri, temelin doğal yapısıyla veya onun yapımı sırasındaki tehlike ile ilgilidir. Diferansiyel oturma, kayma, yüksek piyezometrik basınçlar ve kontrol edilemeyen sızıntı, temel sıkıntısının alışlagelmiş olaylarıdır. Barajda meydana gelen çatlaklar, bağıl olarak küçük olsalar da temelde bir problemin varlığına işaret ediyor olabilir.

Barajın çevresi ve rezervuar alanında yapılacak jeolojik araştırmalar, aşağıda belirtilen olgulardan kaynaklanan tehlikeler olup olmadığı, öyle ise nedenini ve gelişmesini içermelidir:

- Arazi kaymaları,
- Çökme,
- Toprağın genleşmesi,
- Sismisite veya fay hareketi,
- Eriyen temel kayası,
- Temel mağaraları ve kanalları,
- Özel kaya basınçları,
- Yüksek derecede geçirgenlik,
- Aşınabilen kaya,
- Açık kırıklar,
- Düşük taşıma kapasitesi,
- Zayıf makaslama direnci.

Bir kayanın, barajın temeli olarak kabul edilebilmesi için bunun, baraj ve rezervuarın süperpoze kuvvetlerinin etkisi altında hasarsız kalacak kadar dayanıklı olması gerekir. Kayanın kırılma kuvveti, mineral bütünlüğü, porozitesi ile çatlama ve ufalanmaya karşı direncine bağlıdır.

Kaya birleşimi, yapının niteliğini belirten bir göstergedir. Killi siltler, silt kayaları ve tüfler gibi ince daneli kayalar, su gibi birleştirici etkisi olan maddeleri hemen alıp depolayamadıkları için kuvvetli değildirler. Bunlardan bazısı tamamen yüksek derecede kompakt olabilir ve stabil bir çevrede yeterli olmasına rağmen ıslanma ve kuruma olgusuna maruz kaldığı zaman ayrılabilir. Bir barajın temelinde bulunan böyle bir kaya, bozulmayı en aza indirmek için açığa çıktıktan hemen sonra kaplanmalıdır.

Hızlı sızıntıya neden olan ince daneli sedimantasyon kayalarının direnci, onları yüksek boşluk basıncına maruz bırakır. İri daneli sedimantasyon kayaları ise genellikle daha kuvvetli bir şekilde birleşir.

Kaya parçalarının kohezyonu, birleştirici maddelerin niteliğine göre değişiklik gösterir. Silis, kalsiyum, karbonat ve demir oksit erimez ve dayanıklıdır. Fakat kil ve alçı taşı aynı özellikte değildir. Kayanın kuvveti sadece birleştirmeye göre değil aynı zamanda onun iriliğine, şekline ve parçaların yoğunluğuna bağlıdır.

Bir baraj bölgesindeki daha tehlikeli malzemeler arasında kayan faylar ve kırıklar vardır. Bunlar fiziksel değişimlere neden olabildiği için özel bir önem taşırlar. Fay bölgesi, çok kırılmış ve parçalanmış olabilir. Böyle bir durum, rezervuarın ağır yükünü karşılamaya elverişli değildir. Fayın yumuşak dokusu, sıkıştırmaya veya patlamaya karşı hassas olabilir. Ayrıca bir fay kırığı da, kırıklar için yapılan geçirimsizlik enjeksiyonuna engel olabilir. Faylanma, sadece kayanın birleşme durumunu değil aynı zamanda temel bloklarının yerlerini de değiştirir. Bu hareket, sert bir kayayı yumuşak bir kayanın üstüne oturabilir veya elek gibi gözenekli ve zayıf bir kayaya yaslayabilir. Bu da geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurur.

Bir baraj alanındaki veya çevresindeki büyük faylar, gelecekteki muhtemel hareketlerini belirlemek üzere iyice incelenmelidir. Aktif faylar üzerine inşa edilen barajlar, kayma gibi olaylar süresince ayrılma baskısı altındadır. İncelenen bir barajda son zamanlarda oluşan bir jeolojik hareketin açığa çıkması, genellikle bölgenin terkedilmesi için yeterli bir sebeptir. Başka bir seçenek olmayan durumlarda inşa edilen barajlar vardır. Fakat bu gibi durumlarda, deplasmanın

tamamlanmasına ve kütlenin yerleşmesine izin verecek şekilde tasarım yapılmalıdır (Uzel,1991).

Bütün bu yukarıda bahsedilen konuların yanında, baraj bölgesindeki bir kayanın erozyona karşı direnci o kayanın uygunluğunu test etmek adına etkili bir yöntemdir. Bu daha ziyade, kayanın doğal kuvvetinden çok akıntı yatağı açma ve bağlanma karakteristiklerine bağlıdır. Potansiyel kırılma düzlemlerinin yakın olarak yerleştiği yerde, su kuvveti altındaki birleşmeye karşı duyarlılık yüksek olabilir. Prizler ve dolu savakların boşalacağı alanlarda, böyle zayıflıklara daha çok özen gösterilmelidir.

Yukarıda belirtilen olası temel problemlerinden kaynaklı tehditler göz önüne alındığında, baraj yapılacak olan bölgenin jeolojik geçmişi incelenip, temel durumuna bağlı olarak bir planlama yapılması gerekmektedir. Baraj inşa edilecek alanın temel özellikleri, depremselliği (fay kırıkları), malzeme yapısı iyice incelendikten sonra o alana en uygun olacak baraj tipi seçilmelidir. Baraj tipinin seçilmesi, ileride doğacak büyük sorunlar göz önüne alındığında çok önemli bir etkidir.

5. BARAJ TASARIMI

İlk bölümde de belirtildiği gibi barajlar çok çeşitli amaçlarla inşa edilen su yapılarıdır. Her bölgenin yapısına; coğrafi, ekonomik ve sosyal şartlarına göre tek ya da çok amaçlı barajlar yapılmaktadır. Bazı ülkeler, yalnız içme suyu ya da yalnız enerji üretimi için baraj yaparken; diğer bazı gelişmekte olan ülkeler iki ya da çok amaçlı barajlar inşa etmektedir. Bir amaca yönelik hizmet eden barajlar tek amaçlı, iki veya daha çok amaca yönelik hizmet eden barajlar ise çok amaçlı olarak ifade edilir. Türkiye’de ise inşa edilen barajların çoğu iki veya daha çok amaçlıdır (Yücel vd., 2013).

5.1. Barajların Kısımları

Barajlar baraj gövdesi, baraj gölü, sulama yapısı, dip savak, dolu savak, derivasyon tesisleri gibi birçok bölümden oluşur.

5.1.1. Baraj gövdesi

Bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.

5.1.2. Baraj gölü

Baraj gövdesinin arkasında suyun depolandığı vadi kısmıdır. Baraj gölü, ölü hacim, faydalı hazne hacmi ve taşkın koruma hacminden oluşur.

5.1.3. Su alma yapısı

Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.

5.1.4. Dip savak

Gerektiğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolu savak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan tesistir.

5.1.5. Dolu savak

Taşkın sularının mansaba aktarılarak yapının emniyetini sağlayan tesistir.

5.1.6. Derivasyon tesisleri

Bir derivasyon sistemi baraj inşaatının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.

Büro, atölye, labratuar, lojman, ambar, garaj, park yerleri gibi barajın özellik ve büyüklüğüne bağlı olarak ihtiyaçlara cevap verecek şekilde boyutlandırılmış yapılar.

5.1.7. Diğer tesisler

Barajın hizmet ettiği amaca uygun olarak enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılar öngörülür.

5.2. Baraj Yerinin Seçimi

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

5.2.1.Baraj yerinin özellikleri

Baraj yerinin topoğrafyası, temelin ve yamaçların jeolojik yapısı, taşıma gücü, muhtemel faylar, çatlaklar, alüvyon kalınlığı, dolu savak yeri ve kapasitesi, derivasyon şartları, ulaşım durumu, baraj inşaatında kullanılacak malzemenin baraj yerine uzaklığı, yapının doğa ile uyumu gibi hususlar incelenir.

5.2.2.Göl bölgesinin özellikleri

Göl bölgesinin topoğrafyası ve jeolojik yapısı, kayaların cinsi, kalınlığı ve geçirimsizliği, göl bölgesinin su tutma gibi özellikleri, göl yamaçlarının stabilitesi ve heyelan durumu incelenir.

5.2.3. Yağış havzasının hidrolik ve hidrolojik özellikleri

Yağış havzasının hidrolik, hidrolojik, meteorolojik, morfolojik özellikleri incelenmelidir. Bu çerçevede yağış akış ilişkilerine bağlı olarak, akarsuyun malzeme taşıma miktarı, sediment birikimi, sızma, buharlaşma, akarsu drenaj sistemi ve bitki örtüsü incelenir.

5.2.4. İskan, istimlak ve yenileme ile ilgili maliyetler

Baraj gölü nedeni ile bölgede su altında kalacak yerleşim yerleri, endüstriyel tesisler, tarım arazileri, ulaşım yolları gibi tesislerin iskan, istimlak ve yenileme olanakları incelenir.

5.2.5. Çevre etkisi

Baraj nedeni ile bölge ikliminde ve canlı yaşamı dengelerinde oluşacak etkiler, tarım için yeraltı suyu dengesinin korunması (tuzlanma), tarihi yerlerin su altında kalması, bölgenin doğal yapısının bozulmasının sosyal yaşam üzerindeki etkileri incelenir.

5.3. Baraj Yapma Amaçları

Bir baraj aşağıdaki amaçlardan biri veya birkaçına hizmet etmek için yapılır.

5.3.1. Şehirlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacı

Artan nüfus ve refah seviyesinin yükselmesi ile birlikte yerleşim yerlerinin içme ve kullanma suyu talepleri de artmaktadır.

5.3.2. Sanayi su temini

Sanayi üretim için mutlaka suya ihtiyaç duyar. Dolayısıyla sanayinin su talebi de büyük ölçüde baraj ve göletlerden temin edilmektedir.

5.3.3. Sulama suyu

Ülkemizde günümüz itibariyle teknik ve ekonomik olarak sulanabilen 8,5 milyon ha (hektar) arazi mevcuttur. Sulu ziraat yapılması halinde susuz ziraata nazaran 5 ila 14 misli bir gelir artışı olmaktadır. Ayrıca ürün çeşitliliği de artmaktadır. Susuz tarımla arpa-buğday ekilen arazilere pamuk, patates, mısır gibi ürünler de yetiştirilebilmektedir. Sulama suyu genellikle akarsular üzerine inşa edilen baraj ve göletlerden sağlanmaktadır.

5.3.4. Hidroelektrik enerji üretimi

Su kaynaklarından ekonomik olarak istifade edilmesi açısından Hidroelektrik Enerji Üretiminin rolü çok büyüktür. Zira hidroelektrik enerji, ülke kaynaklarının kullanılması ile üretildiği için, dışa bağımlı değildir. Bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimi o ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. Ülkemizin 2005 yılında kişi başına yıllık elektrik enerjisi sarfiyatı 2 100 kWh iken, gelişmiş ülkelerde 9 000 kWh, ABD ve Kanada gibi ülkelerde ise 12 000 kWh'dır. Ülkemizde 2005 yılı sonunda 160,332 milyar kWh elektrik tüketilmiştir. Elektrik sarfiyatı yılda % 6 ila % 8 arasında bir artış göstermektedir. Yani yılda % 7 civarında bir artış söz konusudur. Buna göre 2010 yılında 225 milyar kWh, 2020 yılında ise 440 milyar kWh civarında bir ihtiyaç olacağı tahmin edilmektedir. Günümüz itibariyle Türkiye'de 137 adet hidroelektrik santral işletmededir. 137 santral 12 846 MW 'lık bir kurulu güce ve 45 milyar kWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. Bu durumda ekonomik potansiyelimizin % 35'i, teknik potansiyelin ise % 21'i kullanılabilir. ABD, Kanada hatta Norveç gibi ülkelerde bu oran % 80'lere ulaşmıştır.

5.3.5. Su ürünlerinin üretimi

İnşa edilen barajların göllerinde balıkçılık yapılmak suretiyle önemli ölçüde gelir sağlanır. DSİ'nin; İzmir (Ürkmez), Adana (Seyhan), Elazığ (Keban), Şanlıurfa (Atatürk Barajı), Bolu (Gölköy), Amasya (Yedikır), Edirne (İpsala), Sivas (Çamlığöze) olmak üzere 8 adet su ürünleri üretim tesisinde yılda 28 milyon adet yavru balık üretilerek barajlara bırakılmaktadır.

5.3.6. Mesirelik kullanım

Barajlar inşa edildikleri bölgeye hayat vermektedir. Baraj civarlarında teşkil edilen rekreasyon sahaları, yeşil alanlar, orman alanları civarda yaşayan insanların mesirelik olarak kullanabilecekleri dinlenme yerleridir.

5.4. Barajların Çevre Etkileri

Bir akarsu vadisinde yapılan baraj bölgenin ve çevrenin bazı özelliklerinde önemli değişmelere sebep olabilir. Bu etkilerin en önemlileri şunlardır:

1. Ekonomi ve sosyal yaşam üzerindeki etkisi
2. Bölge ekolojisi üzerindeki etkiler
3. Bölgenin iklimine etkisi ve bitki örtüsüne etkisi
4. Gaz emisyonları ile sera etkisi
5. Balıkçılığa etkisi
6. Mamba ve mansap bölgesindeki yeraltı sularına etkisi
7. Akarsu ulaşımına etkisi
8. Mansap kesimindeki yatay oyulmalarına ve akış rejimine etkisi
9. Rekreasyon ve turistik aktivitelere etkisi

5.5. Barajların Sınıflandırılması

Barajlar büyüklüklerine, yapılış amaçlarına ve gövde dolgu malzemelerine göre üçe ayrılırlar.

5.5.1. Büyüklüklerine göre sınıflandırma

ICOLD'a göre büyük baraj tanımı için aşağıdaki şartlar verilmektedir:

- Kreti ile temeli arasındaki yükseklik 15 m'den fazla olan barajlar ile
- yüksekliği 10-15 m arasında olan fakat buna ek olarak,
- kret uzunluğu $> 500m$
- hazne hacmi $> 1.106 m^3$
- en büyük taşkın debisi $> 1000 m^3 /sn$

olma özelliklerinden en az birisini taşıyan barajlar büyük baraj olarak isimlendirilir.

Gölet (küçük baraj): Büyük baraj tanımının dışında kalan, projesi daha basit ve çabuk sonuç alınan yapılardır.

Yüksek baraj: Yüksekliği 50 m'den fazla olan barajlara denir.

5.5.2. Yapılış amaçlarına göre sınıflandırma

Bir baraj tek veya çok amaçlı olarak planlanır. Tek amaçlı barajlar içme suyu temini, endüstri suyu temini, sulama, hidroelektrik enerji, taşkın kontrolü vb. için yapılırlar. Bunların birkaçını birlikte temin eden baraja çok amaçlı baraj denir.

5.5.3. Gövde dolgu malzemesi ve gövde biçimine göre sınıflandırma

- a. Dolgu barajlar: Toprak dolgu, kaya dolgu, önyüzü betonarme kaplı kaya dolgu barajlar.
- b. Beton barajlar: Beton ağırlık, payandalı, beton kemer ve silindirle sıkıştırılmış beton barajlar.

6. BARAJ TİPİNİN SEÇİMİ

Bir baraj yerinde genellikle birden fazla baraj tipinin yapımı söz konusudur. Bu nedenle baraj yerine ve yapılış amacına uygun ve en ekonomik olan baraj tipinin belirlenmesi için birçok faktörün incelenmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

6.1. Baraj Yerinin Topoğrafik Durumu

Baraj yerinin topoğrafyası, baraj tipinin seçiminde dikkate alınan ilk kıstastır. Dar vadiler; kemer ve ağırlık barajların projelendirilmesinde elverişlidir. Ağırlık barajların vadi genişledikçe ve tabanda alüvyon kalınlığı arttıkça ekonomisi azalır ve durum dolgu gövde lehine gelişir. Payandalı (boşluklu) beton barajlar daha geniş vadilerde ekonomik olabilir. Derin bir vadi ile üst kotlarda yatık yamaç birleşimlerinde karma tipte baraj gövdeleri projelendirilebilir. Beton barajlar genellikle geniş vadilerde ekonomik değildir. Az dalgalı araziler ve geniş vadiler: dolgu baraj için uygundur. Derin ve dar vadiler için; özellikle dolu savağın yerleştirileceği uygun bir boyun oluşmadığı durumda, eğer vadinin yamaçları sağlamsa kemer baraj, aksi durumda beton baraj düşünülür. Çünkü bunların dolu savakları gövdelerin üzerine yerleştirilebilir (Berkün, 2005).

6.2. Temel Zemini ve Jeolojik Yapı

Baraj yerinin jeolojisi baraj türü üzerinde etki eden etkenlerden en önemlisidir. Baraj yerindeki temel durumu her baraj türü için uygun değildir. Tabiatta çok çeşitli temel türüne rastlamakla birlikte, genel olarak temeller dört grupta toplanabilir:

a. Sağlam kaya temeller: Bunlar taşıma güçleri yüksek, homojen ve genel olarak geçirimsizdirler. Her tür baraj için uygundur. Bu tür temellerde, ayrılmış olan yüzey kayasının sıyrılması ve çatlakların enjeksiyonla tıkanması gerekir.

b. Çakıl temeller: Bu temellerde, taşıma gücü oldukça iyi, oturma miktarları ihmal edilebilir mertebede, fakat geçirimsizlik yüksektir. Bunlar genel olarak kemer ve payandalı barajlar için elverişli değildir. İyi sıkışmış durumda iseler, toprak dolgu, kaya dolgu ve alçak beton ağırlık barajı için uygundur. Fazla miktarda su

sızdırabilecekleri için, bunlarda bir takım sızdırmayı azaltıcı tedbirlerin alınması gerekir.

c. Silt veya ince kum temeller: Taşıma güçleri az, oturma miktarları çok ve geçirimsizlikleri çok olan bu temelerde erozyon (aşınma) meydana gelebilir. Bu bakımdan alçak beton ve toprak dolgu barajlar için elverişli temellerdir. Temel oturmaları, aşırı sızma kaybı ve mansap eteğinin oyulması bunların önemli problemlerdir.

d. Kil temeller: Bunların taşıma gücü çok az, konsolidasyondan dolayı oturma miktarları çok yüksek ve geçirimsizlikleri azdır. Bu yüzden ancak alçak toprak dolgu barajlar için tavsiye edilirler. Böyle temeller özel projeler ve tecrübeli mühendisler gerektirir (Ağırlioğlu, 2004).

6.3. Baraj İnşaatında Kullanılacak Uygun Malzemenin Yeri ve Cinsi

Baraj inşaatı için üç çeşit doğal malzemeye gereksinim vardır. Bunlar, dolgu için toprak, dolgu ve riprap için kaya ve beton için agregadır. Bunlar mümkün olduğunca baraj yerine yakın bir alandan karşılanır. Malzeme taşıma maliyetinin azaltılması toplam proje maliyetini önemli ölçüde düşürür. En ekonomik baraj tipi, baraj sahasına oldukça yakın ve yeterli kapasite ve malzeme kalitesine sahip ocaklarının bulunabilmesi ile sağlanabilir. Kum, çakıl ve agrega yapmaya elverişli kayaların yeterince bulunduğu yerlerde beton baraj tipi uygundur. Uygun özellikte toprak ve kayaların yeterince bulunduğu yerlerde ise dolgu baraj tipleri yapılabilir. Bir baraj aksı için dolgu ve beton baraj tipinin her ikisi de uygun görülüyorsa, dolgu malzeme ocaklarının uzaklığı, beton baraj tipinin tercihini gerektirebilir. Bunun için bir maliyet karşılaştırması yapılmalıdır.

6.4. Ulaşım Olanakları

Baraj yerinin, mevcut yollara yakın olması yeni yol yapımını azaltacağından, maliyeti düşürür. Baraj yeri seçilirken malzeme ocaklarına ulaşım olanakları da önemlidir.

6.5. Çevirme (derivasyon) Koşulları

Baraj inşaatını kuru koşullar altında yapabilmek için, inşaatın yapılacağı kısmın memba ve mansap tarafları batardo denilen yüksekliği düşük barajlar ile kapatılarak, gelen su derivasyon tüneli veya kanalı denilen yapay bir yatak vasıtası ile mansap tarafına akıtılır. Bu tünellerde esas yapının dip savağı veya kuvvet tüneli olarak da kullanılabilir.

6.6. Dolu Savak Kapasitesi ve Yeri

Dolgular oluşacak hareketlere karşı toleranslı yapılar olarak bilinmesine rağmen, suyun kreten aşmasına karşı oldukça düşük direnç gösterirler. Bu durum, dolgu barajların hava payı ve dolusavak kapasitesi yönünden tutucu tasarımını öngörmektedir. Beton barajlarda ise, kret üzerinden su aşımında proje toleransı yüksektir. Büyük akarsularda gelebilecek büyük taşkınlar büyük kapasiteli savakların yapılmasını gerektirir. Bunun için dolu savağın baraj gövdesi üzerinde yer alabildiği beton veya kemer barajlar uygun olur. Dolu savağın yerleştirilebileceği dar boyunların bulunduğu vadilerde dolgu baraj tipi uygun olabilir (Berkün, 2005).

6.7. Deprem

Barajın yapılacağı alan aktif bir deprem bölgesi ise, depremden doğacak dinamik yüklerin dikkate alınması gerekir. Deprem etkilerine karşı barajların hassaslık sırası kemer, payandalı, kaya dolgu, ağırlık, silindirle sıkıştırılan beton ve toprak dolgudur (Ağralıoğlu, 2004).

6.8. İklim Koşulları ve Yapım Süresi

Bölgenin iklim koşulları uygun değilse ve herhangi bir sebepten dolayı inşaat süresi kısıtlı ise, çabuk inşa edilebilecek bir baraj tipi seçilir. Eğer inşaatta killi yapı malzemesi büyük çapta söz konusu oluyor, fakat iklim şartları bunun işlenmesine uygun olmuyorsa, (örneğin her mevsimin yağışlı veya uzun süre don oluşması durumunda) beton baraj tipinin seçimine gidilir. Burada inşaat süresi de beraber düşünülmesi gereken bir faktördür.

6.9. Heyelan

Baraj gölü yamaçlarından heyelan ile göle akabilecek zemin kütleleri büyük dalgalar oluşturulabilir. Dolgu barajlar kreten dalga aşmasına karşı dayanıksız yapılardır. Bu gibi durumlarda beton barajlar tercih edilebilir.

6.10. Ülkenin Ekonomik Durumu

Barajlar bir ülkenin ekonomisini ciddi ölçüde etkileyebilecek derecede çok yüksek maliyeti olan yapılardır. Tip seçimi maliyetler arasında büyük farklar oluşturabilir. Bu nedenle bir bölgede yapılabilişliğı mümkün görülen birkaç tip arasında yapılacak seçimde, ülkedeki yararlanılabilir teknoloji uzmanı kadro gibi olanaklar mümkün olduğunca iyi değerlendirilmelidir.

6.11. Makine Parkı Alanı Varlığı, Makinelerin Tip ve Kapasiteleri

Barajda geniş hacimli ve çeşitleri oldukça farklı ağır vasıtalar ve diğer cihazlar devamlı hareket halindedir. Bu nedenle bu araçların gereğinde rahatlıkla park ve manevra yapabilecekleri yeterli genişlikte bir alanların bulunması, inşaat işlerinin sürekliliğinin sağlanması için en önemli özelliklerinden birisidir. Mevcut makinelerin tip ve kapasiteleri de baraj tipine göre inşaatın hızını ve sürekliliğini etkileyen önemli bir etken olabilir (Berkün, 2005).

7. BARAJLARA ETKİ EDEN KUVVETLER

Bir baraj, etki eden tüm statik ve dinamik kuvvetlere karşı koyabilmelidir. Etki eden en önemli kuvvetler,

- 1.Barajın kendi ağırlığı
- 2.Hidrostatik su basıncı
- 3.Taban ve boşluk suyu basıncı
- 4.Deprem kuvveti
- 5.Buz basıncı

Baraj hesaplarında yukarıdaki kuvvetlerin yanında, baraj yerinin özelliklerine ve seçilen baraj tipine göre aşağıdaki kuvvetler de önem kazanabilir. Bunlar dalga basıncı, silt ve toprak basıncı, yapı sıcaklığının değişimi (uniform veya farklı ısınma ve soğuma) sonucu oluşan kuvvetler, temel deformasyonları sonucu oluşan kuvvetler, vadi yamaçlarının mesnetlerde genişlemesi sonucu oluşan kuvvetler, baraj gövdesinde öngörülen dolu savaktan aşan veya gövde içinden geçirilen borularda akan suyun dinamik etkileri, kohezyon kuvveti, sızıntı kuvveti, inşaat esnasında oluşan etkilerdir (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

7.1.Barajın Kendi Ağırlığı

Malzemenin özgül ağırlığı γ_b ve gövde hacmi V olmak üzere barajın kendi ağırlığı,

$$G = \gamma_b V \quad (7.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Düşey dış kuvvetler mevcut olması durumunda bunlar barajın kendi ağırlığına eklenir.

7.2.Hidrostatik Su Basıncı

Hem memba, hem mansap hazne tarafında barajlara etki edebilir. Yatay su basıncı,

$$P = \gamma \frac{h^2}{2} \quad (7.2)$$

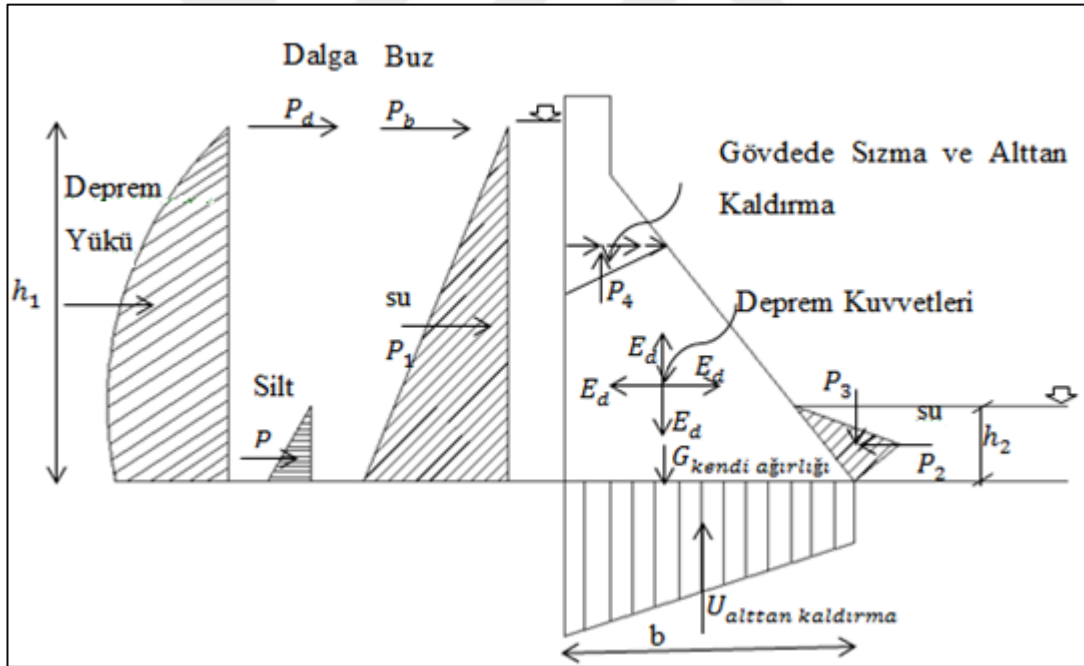
ifadesi ile hesaplanır. Burada γ suyun özgül ağırlığı, h su yüksekliğidir.

7.3.Taban ve Boşluk Suyu Basıncı

Taban basıncı özellikle ağırlık barajlarına etki eden en önemli kuvvetlerden biridir. Bu kuvvet,

$$U = \gamma b \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (7.3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada h_1 ve h_2 memba ve mansap topuklarındaki su derinliği, b barajın taban genişliğidir. Genellikle taban su basıncı bir küçültme faktörü esas alınarak hesaplanır. Bu değer 0.5 ile 0.7 arasında değişir. Dolgu barajlara etki eden kuvvetlerin en önemlilerinden biri de boşluk suyu basıncıdır (Şekil 7.1) (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).



Şekil 7.1. Baraja etki eden kuvvetler (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

G : Kendi ağırlığı, P_1, P_2, P_3 : Hidrostatik su basıncının yatay ve düşey bileşenleri, P_4 : Sızıntı kuvveti, P_d : Dalga kuvveti, P_b : Buz basıncı, P_s : Silt basıncı, E_d, E_s : Deprem kuvvetleri, U : Alttan kaldırma kuvveti

7.4. Deprem Kuvvetleri

Depremiñ baraj gövdesindeki atalet kuvveti,

$$E_d = \frac{a}{g} G = G\alpha \quad (7.4)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada α deprem katsayısı olup a deprem ivmesinin, g yerçekimi ivmesine oranını ifade eder. Bu değer inşaat yerinin deprem durumuna bağlı olarak 0.05 ile 0.06 alınır. Depremiñ baraj haznesindeki suda dinamik etkisi,

$$E_s = 0.555\alpha \gamma h^2 \quad (7.5)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu kuvvetin tatbik noktası tabandan $4h_1/3\pi$ kadar yukardadır (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

7.5. Buz Basıncı

Baraj yerinin iklim ve haznenin işleme şartlarına bağlı olarak 0 ile 75 t/m^2 arasında değişir.

8.BARAJ TİPLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

8.1.Ağırlık Barajı

Su basıncını kendi ağırlığı ile karşılayan barajlardır. Çok büyük ağırlıklarına rağmen küçük bir emniyet faktörüne sahiptirler.

Bir bölgeye ağırlık barajı inşa edilirken, inşa edilen yerlerin seçimi ve ağırlık barajının tercih nedeni önemlidir.

Uygulama yerleri ve tercih sebepleri;

1. Sağlam ve geçirimsizliği sağlanabilecek yeterli kalınlıkta kaya temellerin uygun bir derinlikte bulunduğu orta genişlikteki vadilerde,
2. Yeterli miktarda ve istenen özellikte agrega malzemesinin bulunduğu ve çimento taşınmasının, ekonomik olduğu yerlerde,
3. Büyük taşkın debilerinin baraj gövdesi üzerinden mansaba aktarılması gerektiği durumlarda,
4. Baraj üzerinden bir ulaşım yolu geçirilmesi söz konusu olduğunda,
5. Diğer beton baraj tiplerine göre, don etkilerine karşı daha az hassas olduğundan,
6. Diğer baraj tiplerine göre savaş gibi olağan dışı durumlara karşı daha güvenli olduğu kabul edilmesi durumunda tercih edilir.

Uygun temel şartlarında, projesi yerel şartlara uygun ve inşaatı iyi yapılmış bir beton ağırlık barajı bakım ve işletme masrafları az olan kararlı bir yapıdır.

Ağırlık barajlarının planda yerleştirilmesi, hiçbir statik şarta bağlı olmadığından, baraj eksenini iki yamaç arasında en kısa bağlantıyı sağlayacak şekilde doğru bir şekilde planlanır. Bununla beraber derzlerin ve oluşması muhtemel çatlakların kapanmasına yardımcı olmak, temel kayanın yapısına uyum sağlamak veya ek bir emniyet elde etmek için baraj eksenini kavisli veya kırık çizgi olarak da planlanabilir (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

Ağırlık barajlarında en uygun kesit olarak, etki eden en önemli dış kuvvet olan haznedeki hidrostatik su basıncı dağılımına uyum sağlayan, tabana doğru genişleyen, üçgen kesit seçilir. Su basıncı, derinlikle birlikte arttığından yapının tabana doğru genişlemesi olası bir sorunun önleyecektir. Memba yüzeyi düşey veya %10'u geçmemek şartıyla eğimli yapılabilir. Baraj boş haldeyken çekme gerilmelerini

önlemek, dolu haldeyken kayma ve devrilme emniyetini arttırmak için, yüksek barajlarda memba yüzeyi genellikle eğimli planlanır. Yüksek ağırlık barajlarında memba yüzeyinin yalnız alt kısmı tabandan $(1/2-1/4)$ H yüksekliğe kadar eğik yapılabilir.

Üçgenin tepe kısmında, duvar kalınlığını arttırmak, yamaçlar arası ulaşımı sağlamak gibi nedenlerle dikdörtgen kesitli bir başlık bulunur.

Ağırlık barajlarında memba yüzeyine yakın bir yerde ve değişik yüksekliklerde öngörülen kontrol galerileri ile çatlaklar, sızıntılar kontrol edilir, ölçme aletleri gözlenir.

Ağırlık barajları aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılır;

1. Barajda çekme gerilmeleri meydana gelmemeli,
2. Devrilme emniyeti sağlanmalı,
3. Kayma ve kesme emniyeti gerçekleşmeli,
4. Barajın hiçbir yerinde beton emniyet gerilmelerinden büyük gerilmeler meydana gelmemeli,
5. Zemin emniyet gerilmelerinde, güvenli tarafta kalınmalıdır.

Baraj kesit boyutları, birinci şart göz önüne alınarak belirlenir, daha sonra bu kesitin diğer denge şartlarını yerine getirip getirmediği araştırılır.

Ağırlık barajlarının boyutlandırılması, haznenin dolu ve boş olması halinde normal ve özel yükleme durumları için ayrı ayrı yapılır.

Ağırlık barajı hesaplarında üçgen profil esas alınır. Üçgen kesitin minimum boyutları barajın kendi ağırlığı, hidrostatik su basıncı ve taban su basıncının etki ettiği normal yükleme durumunda çekme gerilmeleri meydana gelmeyecek şekilde belirlenir. Bu şartın sağlanabilmesi için etki eden kuvvetlerin bileşkesinin çekirdek bölgesi içinde kalması yeterlidir. Bunun için, tabanın mansap tarafındaki $1/3$ b noktasına göre momentler yazılır ve sifıra eşitlenirse barajın taban genişliğinin yüksekliğine oranı veya mansap yüzeyinin eğimi için,

$$Tg \alpha = \frac{b}{H} \cong \sqrt{\frac{1}{\frac{\gamma_b}{\gamma} - m}} \quad (8.1)$$

İfadesi elde edilir. Burada b barajın taban genişliği, H barajın yüksekliği, α üçgenin tepe açısı γ ve γ_b sırasıyla, suyun ve betonun özgül ağırlığı, m ise taban su basıncı küçültme faktörüdür. ($m \cong 0.5-0.7$). Genellikle $\tan\alpha = 0.65-0.80$ arasında bulunur.

8.1.1.Devrilme emniyeti

Çekme gerilmeleri meydana gelmemesi şartı sağlandığında baraj devrilmeye karşı güvenli olduğundan herhangi bir kontrol yapmaya gerek kalmaz. Genel olarak devrilme olmaz. Fakat hesaplanması gerekirse, devirmeye karşı koyan momentlerin devirmeye çalışan momentlere oranı şeklinde,

$$\eta = \frac{M_{koruyucu}}{M_{devirici}} \geq 2-3 \quad (8.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. η devrilme emniyeti katsayısıdır.

8.1.2.Kayma emniyeti

$$f \geq \frac{\sum H}{\sum V} \quad (8.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada $\sum H$ toplam yatay kuvvetler bileşkesi, $\sum V$ toplam düşey kuvvetler bileşkesi, f temel ile beton yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısıdır. ($f= 0,60-0.80$)

8.1.3.Barajın kesme mukavemeti

$$\eta = \frac{(\sum H - U)f + A\tau}{\sum V} \geq 5 \quad (8.4)$$

ifadesinden hesaplanır. Yukarıdaki parametrelere ek olarak;

A:Temel yüzey alanı

τ : Betonun kesme gerilmesi

U: Alttan Kaldırma Kuvveti

Beton kesme emniyet gerilmeleri basınç emniyet gerilmelerinin 1/5'i alınabilir.

8.1.4. Gerilme tahkikleri

Gövde ve temelde emniyet gerilmelerinin üstüne çıkılmadığı gösterilmelidir.

Baraj gövdesi bir tek parçalı (monolitik) yapı kabul edilerek, memba ve mansap uç noktalarındaki normal gerilmeler,

$$\sigma_{S,H} = \frac{\sum V}{bd} \left(1 \mp \frac{6e}{b}\right) \quad (8.5)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Burada H ve S indisleri hava ve su yüzeylerini, b baraj taban genişliğini, d baraj kalınlığını (genellikle 1,0 m alınır), e bileşke kuvvetin simetri ekseninden uzaklığını ifade etmektedir.

Ağırlık barajlarında en büyük gerilmeler dolu halde mansap yüzeyinde, boş halde memba yüzeyinde meydana gelmektedir. Mansap uç noktasındaki en büyük asal basınç gerilmeleri,

$$\sigma_{\max} = \gamma_b h \frac{1 + \frac{\gamma_b}{\gamma} - m}{\frac{\gamma_b}{\gamma} - m} \quad (8.6)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Buradaki, m taban su basıncı küçültme faktörüdür.

Ağırlık barajlarında temele çok büyük yükler aktarıldığından büyük gerilmeler oluşur. Bu nedenle monolitik, suya dayanıklı ve dona karşı güvenli kayalar en uygun temel zeminini oluşturur (Erkek ve Ağralıoğlu 2010).

Ağırlık barajlarında, taban su basıncı etki eden en önemli kuvvetlerden biridir. Suyun baraj tabanına girmesini güçleştirerek, taban su basıncını azaltmak için genellikle memba tarafında bir saplama duvar yapımı ile mümkün olur. Ayrıca temel kayanın,

su geçirimsizliğini azaltmak ve taban su basıncını küçültmek için temel enjeksiyonları da yapılır ve temelde drenaj öngörülür.

Beton ağırlık barajları büyük beton kütlesi ister. İnşaat esnasında en önemli güçlük beton priz ısı ve şişmedir. Priz ısını düşürmek için gerekli önlemler alınmalıdır. Beton dökümüne başlanmadan temel yüzeyi iyice temizlenmelidir. Beton, boyları 12-15 m, yükseklikleri 1-1.5 m olan bloklar şeklinde dökülür. Bloklar arasında geçirimsizliği sağlamak için derzler, değişik tipte tıkaçlarla kapatılır.

8.2.Kemer Ağırlık Barajları

Kemer ağırlık barajları, bütün tepe boyunca membaya doğru kavisli yapılarak, etki eden kuvvetlerin bir kısmını kemer etkisi ile yamaçlara aktarır. Böylece düz ağırlık barajlarına göre taban genişliği önemli ölçüde küçültülür, daha az beton hacmi kullanılır, temelde daha iyi basınç dağılımı elde edilir, boyuna çatlakların oluşma tehlikesi azalır ve barajın güvenliği artırılır (Erkek vd.,2010).

Kemer ağırlık barajlarının hesabında, kemer etkisini göz önüne alan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ön projelerinde baraj taban genişliği taban su basıncının güvenliği azaltıcı etkisinin, kemer etkisi ile karşılandığı kabul edilerek,

$$Tg \alpha = \frac{b}{H} \cong \sqrt{\frac{1}{\frac{\gamma_b}{\gamma} - m}} \quad (8.7)$$

denkleminde $m=0$ durumu için geçerli olan

$$Tg \alpha' = \frac{b'}{H} \cong \sqrt{\frac{1}{\frac{\gamma_b}{\gamma}}} \quad (8.8)$$

ifadesi ile hesaplanır.

H: Barajın yüksekliği

α : Üçgenin tepe açısı

m: Taban su basıncı küçültme faktörü

b: Baraj taban genişliği

8.3. Payandalı Barajlar

Gövdesi, memba yüzünü kapatan beton perde veya kemerler ile onlara mesnet görevi yapan payandalardan meydana gelen barajlardır.

Payandalı barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri aşağıda sıralanmıştır;

1. Baraj yeri olarak, geniş ve yamaçları yatık vadilerde, orta yükseklikte (H=50-60m) bir baraj planlanması
2. Baraj yerinde yer yer taşıma gücü yetersiz zeminlerin (sadece payandaların sağlam zemine oturması yeterli) bulunması,
3. Ağırılık barajlarına göre sağladığı üstünlüklerin önem kazanması,
Bu üstünlükler;
 - Malzemedен tasarruf sağlanır. (%30-70)
 - Beton priz ısını daha iyi ve ekonomik olarak dışa verir.
 - Taban su basıncının büyük alana etki etmesi önlenir.
 - Statik sistem daha açıktır.
 - Barajın her yeri gözetlenerek kontrolü daha kolay hale gelir.
 - Çok büyük genişliklerde boyunca çatlakların oluşması tehlikesi azaltılır.
4. Mevcut baraj yeri şartlarında, derivasyonun inşaat yerinden geçirilmesinin en uygun çözüm olması,
5. Büyük taşkın debilerinin baraj üzerinden mansaba aktarılmasının uygun ve ekonomik olması,
6. Tektonik yönden henüz sakinleşmemiş bölgelerde baraj yapılması,
7. Vadi görünümüne canlılık getirilmek istenmesi gibi durumunda payandalı barajlar tercih edilebilir.

Payandalı barajlar planda genellikle düz kretli olarak planlanır. Suyun kabarmasını sağlayan memba yüzeyi düşey veya eğik olabilir. Barajın kayma emniyetini arttırmak için memba yüzeyi genellikle eğimli (yaklaşık 1/ 1) olarak yapılır.

Payandalı barajlar, suyu tutan memba yüzeyinin ve payandaların özelliklerine göre sınıflandırılabilirler (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

Payandalar dolu gövdeli veya ince beton perdelerle çevrilmiş olması durumuna göre dolu gövdeli ve boşluklu (çift duvarlı) payanda olarak isimlendirilir.

Memba yüzeyi payanda ile birlikte hareket eden barajlar boşluklu ve geniş başlıklı payandalı barajlar, memba yüzeyinin şekline göre de düz döşemeli, çok kemerli ve kubbeli payandalı barajlar olarak sınıflandırılır.

- Boşluklu Payandalı Baraj: Payandaların arasında boşluk kalacak şekilde birleştirilmiş olan payandalı baraj
- Düz Döşemeli Payandalı Baraj: Payandalar arasındaki beton perdeler aldıkları yükleri payandalara, onlar da zemine aktarırlar. Payanda aralıkları 5 ile 8 m arasında seçilir.

Döşemenin payandalarla birlikte dökülüp dökülmemesine göre ankastre perdeli, serbest perdeli, konsollu payandalı baraj olarak isimlendirilir.

- Geniş Başlıklı Payandalı Baraj: Memba yüzeyinde perde yerine payandaların uçları genişletilerek payanda araları doldurulur. Genişletilen payanda başının şekline göre,
 - a) Düz ve dolu başlıklı payandalı baraj
 - b) Yuvarlak başlıklı payandalı baraj
 - c) Sekizgen başlıklı payandalı baraj olarak isimlendirilir.
 - d) Çok Kemerli Payandalı Baraj: Bir seri kemer ve bunlara mesnet görevi yapan payandalardan oluşur. Yük önce kemerlere sonra payanda aracılığı ile temele aktarılır. Payanda aralıkları genellikle 8-25 m arasında seçilir. Kemerlerin merkez açısı 120° - 180° arasında değişir.

Çok Kubbeli Payandalı Baraj: Kubbe tipi yapıların payandalar arasına yerleştirilmesi ile oluşturulan payandalı barajdır.

Payandalı barajlara ait hesaplamalar yapılırken, hesaplar iki aşamada gerçekleştirilir.

- a) Suyu tutan plaklar veya kemerlerin hesabı,
- b) Payandaların hesabı

Plaklar sürekli döşeme, kemerler ise kemer barajların hesap esaslarına uygun olarak yapılır.

Ağırlık barajlarında hesapların birim genişlikte bir dilim için yapılmasına karşılık payandalı barajlarda bir payandaya gelen toplam yükler göz önüne alınarak yapılır. Önce bir payanda profili seçilerek gerekli tahkikler yapılır, daha sonra payanda içindeki gerilmeler daha hassas yöntemlerle hesaplanır.

Baraja etki eden kuvvetler payandalar ile belirli noktalarda temele aktarılır. Bu sebepten yalnız payandaların sağlam ve taşıma gücü yüksek kaya temeller üzerine oturması yeterlidir. Temel yüzeyleri ağırlık barajlarında olduğu gibi özenle hazırlanmalıdır. Taban su basıncı birçok durumda ihmal edilebilir.

Payandalı barajlarda atmosfer ile temas yüzeyi büyük olduğundan, priz ısısı fazla sorun olmaz, işçilik daha çok önem taşır.

8.4. Kemer Barajlar

Yük taşımalarının birinci derecede kemer tesiri ile karşılandığında bir veya iki yönde eğrilik gösteren taş veya beton barajlardır. Kemer barajlarda esas prensip kaliteli beton kullanılmasıyla elde edilen ince kemer halkalarının basınç mukavemetlerinden yararlanılarak etki eden kuvvetlerin büyük kısmını vadi yamaçlarına aktarmaktadır.

Kemer barajların çeşitli tercih sebepleri vardır. Bunlar;

1. Baraj tipleri içinde kemer barajlar kadar vadi şekline bağlı başka bir tip mevcut değildir. Vadi genişliğinin vadi yüksekliğine oranı $B/H < 6$ olan baraj yerleri, uygun bir baraj tipi olarak kabul edilir. Bugüne kadar yapılan kemer barajların %80'inde bu oran 4'den küçüktür.
2. Kemer barajların tip olarak seçilebilmesi için vadi tabanı ve vadi yamaçlarındaki kayanın sağlam ve taşıma gücü yüksek olması gerekir. Aynı zamanda, temel kayada kemer kuvvetlerinin akış yönüne dik yönde büyük çatlaklar, faylar, tabakalaşma ve yapraklaşma bulunmaması gerekir.
3. Diğer beton baraj tiplerine göre beton hacminde büyük tasarruf sağlanır.
4. Baraj kesiti ince olduğu için baraj duvarları daha esnektir ve aşırı yüklemelere karşı duyarlılık azalır ve daha büyük emniyet gerilmelerine izin verilir.
5. Betonun emniyet gerilmeleri sonuna kadar kullanılır.

Kemer barajlarda, duvar kalınlığı ince seçildiği oranda esneklik artar ve kemer tesiri ön plana çıkar. Bu nedenle, yüklerin kemer tesiri ile en iyi şekilde taşınması için mümkün olduğu kadar küçük eğrilik yarıçapı ve büyük açıklık açısı planlamaları gerekir. Vadi yamaçlarına bağlantı en az 45° olmalıdır.

Kemer barajların sınıflandırılmasında en önemli kriter olarak kemerde kullanılan dönel cismin şekline bakılır. Buna göre kemer barajlar 3 tip altında toplanır;

8.4.1. Sabit yarıçaplı kemer barajlar

Bütün yatay kesitlerde sırt eğrilik yarıçapı sabittir. Bu tip kemer baraj V-Şekilli vadiler için uygun değildir. Zira tabana doğru vadi daralır ve açıklık açısı küçülür. Bu durumda barajın alt kısmının eğriliği azaldığından bu kısımda kemer tesiri etkili olmaz (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

8.4.2. Bütün kemer yaylarında merkez açısı sabit olan kemer barajlar

Bu tip kemer barajlarda tabana doğru yarıçap küçüldüğünden, alt kısımda daha iyi kemer tesiri elde edilir. Sabit yarıçaplı barajlara göre bu tip barajlar, daha ince yapılabildiğinden, daha elastik ve daha emniyetlidir.

Sabit merkez açılı kemer barajlar V şekilli ve üçgen tipli veya parabol şekilli yüksek vadiler için uygun bir kemer baraj tipidir.

8.4.3. Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer barajlar

Hem yarıçap hem merkez açısı değişen kemer barajlardır. Uygun vadi şekli ve temel şartlarının bulunduğu yerlerde değişken yarıçaplı ve değişken merkez açılı kabuk ve kubbelerin değişik tip ve şekilleri kemer baraj olarak düşünülebilir. En çok silindirik kabuklara yaklaşan dönel kabuklar, düşey veya eğik hiperbol paraboloidler kullanılmaktadır. Hesaplar kabuk teorisinin kemer barajlara uygulanması şeklinde yapılır.

Kemer barajların hesabında,

$$\eta = \frac{M_{koruyucu}}{M_{devirici}} \geq 2 - 3 \quad (8.9)$$

formülünde verilen kuvvetlere ek olarak ısı değişimleri sonucu oluşan kuvvetler de önem kazanır. Kemer barajların hesap yöntemleri,

- a) Bağımsız halkalar yöntemi
 - b) Deneme-yanılma Yöntemi (Trial Load)
 - c) Elastisite teorisi
 - d) Kabuk teorisinin kemer barajlara uygulanması,
- şeklinde sınıflandırılabilirler.

Sabit yarıçaplı kemer barajların ön projelerinin hazırlanmasında ilk yaklaşım olarak kemer barajın değişik eksen yarıçaplı yatay halkalardan oluştuğu kabul edilebilir. Bunlar birbiri üzerinde serbestçe hareket eden, kapalı daire halkalarının bir parçası olarak görülür. Taban ve vadi yamaçlarındaki ankastre durumu göz önüne alınmaz. Baraj tepesinden herhangi bir derinlikteki düzlemde su basıncını karşılayabilmek için gerekli kemer kalınlığı,

$$d = \frac{r_a P}{\sigma_h} \quad (8.10)$$

formülü ile bulunur. Formüldeki p su basıncı, r_a dış halka yarıçapı ve σ_h halka basınç gerilmeleridir. Su basıncı, sıcaklık, şişme ve mesnetlerdeki ankastre momenti göz önüne alındığında, σ_h değeri için, beton basınç emniyet gerilmelerinin $2/3$ ile $3/4$ arasında bir değer almak uygun olur. Merkez açısı (ϕ), kiriş uzunluğu (L) ve kemer yarıçapı (r) arasında,

$$r = \frac{L}{2 \sin \phi} \quad (8.11)$$

bağıntısı verilebilir. Kemer halkalarının anahtar noktasındaki sehimi yaklaşık olarak,

$$\delta = \sigma_h \frac{r_m}{E} \quad (8.12)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada r_m halka eksenindeki yarıçapı, E betonun elastisite modülüdür.

Kemer barajlarda vadi tabanı ve yamaçlarda temel, özel bir titizlik ile hazırlanmalı, temizlenmeli ve yüzeyleri kuvvet akış yönüne dik olarak açılmalıdır.

Kemer barajlarında kullanılan beton, çok yüksek kalitede olduğundan, betonun hazırlanması, taşınması ve dökülmesi bu konuda deneyimli kişilerce yapılmalıdır.

8.5. Dolgu Barajlar

Dolgu barajlar, su basıncını dolgu gövdesinin ağırlığı ile temele aktaran barajlardır. Dolgu baraj sızma suyu kayıpları belirli sınırlar içinde kalacak şekilde sıkıştırılmalı ve mümkün olan bütün yükleme durumlarında yeterli güvenlikte olmalıdır (Erkek ve Ağırlioğlu 2010).

Dolgu barajların kullanım yerleri ve tercih sebepleri;

1. Baraj yerlerinde sağlam ve taşıma gücü büyük temellerin gittikçe azalması ve daha zayıf temeller üzerinde de baraj yapımının zorunlu hale gelmesi,
2. Dolgu malzemesinin her yerde temin edilebilmesi, geçirimsizlik sağlayan çekirdek malzemesinin bulunmaması durumunda değişik çözümlerin söz konusu olması,
3. Büyük ve güçlü iş makineleri yardımı ile temin edilen dolgu malzemelerinin, taşınması ve serilmesinin, diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması,
4. Toprak ve kaya dolgu malzemesinin kolay işlenebilmesi ve ucuz elde edilmesi,
5. Deformasyon, sarsıntı ve düzensiz oturmalarından daha az etkilendiğinden aşırı yüklemeye karşın dayanıklı olması gibi nedenlerden ötürü, günümüzde dolgu baraj yapımı yaygın olarak tercih edilmektedir.

Dolgu barajların tiplerini sıralamak gerekirse;

a) Gövde yapımında kullanılan malzemelere göre;

- Toprak Dolgu

- Kaya Dolgu
- b) Gövdenin yapısına göre;
 - Homojen Dolgu
 - Diyafıramlı Dolgu
 - Zonlu Dolgu
- c) Geçirimsiz perdenin yerine göre;
 - Yüzey Kaplamalı Dolgu
 - Eğik Çekirdekli Dolgu
 - Merkezi Çekirdekli Dolgu
- d) İnşaat yöntemine göre,
 - İstifli Kuru Taş Duvar,
 - İstifli Kaya Dolgu,
 - Dökme Kaya Dolgu,
 - Sıkıştırılmış Dolgu,
 - Hidrolik Dolgu,
 - Yarı Hidrolik Dolgu olarak sınıflandırılırlar.

Dolgu barajların boyutlandırılmasında, hangi şartta olursa olsun barajın üstünden su aşması engellenmelidir. Gövde, şevler ve temeldeki kuvvetlerin ve gerilmelerin durumlarını ve büyüklüklerini uygun şekilde hesap etmek için zeminin jeolojik ve fiziksel özellikleri iyi bir şekilde irdelenmelidir.

Ağırlık, geçirgenlik, konsolidasyon ve kesme mukavemeti sonuçları dolgu baraj hesaplarının temelini oluşturur. Dolgu barajların projelendirilmesinde, standart çözümler yapmak mümkün değildir. Var olan temel şartlarına ve barajın en tehlikeli yükleme noktasına bağlı olarak uygun bir gövde seçilir. Bir dolgu barajın hesabında,

- Baraj gövdesindeki sızma,
- Şev stabilitesi,
- Temel stabilitesi,
- Gövde ve temelde oturmalar iyi bir şekilde incelenmelidir.

Bir dolgu barajın altındaki sıkışabilen zemin tabakasının sağlam kayaya kadar olan kalınlığı baraj taban genişliğinin 1/10'undan daha küçük olması durumunda, maksimum kesme gerilmeleri,

$$\tau_{\max} = \frac{\gamma_t H d}{b} \quad (8.13)$$

ifadesinden hesaplanır. Burada γ_t dolgu malzemesinin birim ağırlığı, H baraj yüksekliği, d kayaya kadar olan zemin tabakasının kalınlığı ve b barajın taban genişliğidir.

Zemin tabakasının kayaya kadar olan kalınlığı, baraj taban genişliğinden büyük olması durumunda,

$$\tau_{\max} = 0.256\gamma_t H \quad (8.14)$$

eşitliği kullanılır.

Temel zemini tarafından alınabilecek maksimum yatay kesme gerilmeleri,

$$\tau_h = c + \sigma \tan \rho \quad (8.15)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada c kohezyon, σ maksimum temel basıncı, ρ içsel sürtünme açısıdır.

Temel kesme emniyeti,

$$\eta = \frac{\tau_h}{\tau_{\max}} \quad (8.16)$$

ifadesi ile bulunur. Burada temel kesme emniyeti 2 mertebesinde olmalıdır.

Bütün baraj tiplerinde güvenli bir temel oluşturmak için alttan sızma önlenmelidir. Bu durum, çekirdek bölgesini geçirimsiz tabakaya oturtuncaya kadar devam eder. Geçirimsiz tabakanın daha derinde olduğu yerlerde, palplanş, beton perde, enjeksiyon gibi zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulur.

Toprak barajlar hidrolik, yarı hidrolik ve genellikle sıkıştırma dolgu şeklinde yapılırlar. Kaya dolgu barajlar ise dökme kaya dolgu, istifli kaya dolgu ve istifli taş duvar şeklinde inşa edilirler.

8.5.1. Toprak dolgu barajlar

Gövde inşaatında kullanılan malzemenin %50'si çakıl, kum, silt, lem ve kaya parçaları gibi daneli veya kohezyonlu malzemedan oluşan dolgu barajlardır. Taş dolgu genel olarak, yalnızca su tarafındaki şev yüzeyini dalgalardan korumak için kullanılır. Toprak dolgu barajlar homojen, diyaframlı, veya zonlu olarak yapılabilir. Toprak dolgu barajlarda şev eğimleri, dolgu malzemesinin özellikleri, temel durumu ve baraj yüksekliği göz önüne alınarak kayma sayısı,

$$\eta = \frac{\tau_m}{\sigma} \quad (8.17)$$

şev eğimine eşit olacak şekilde seçilir. Burada τ_m en büyük kayma mukavemeti, σ zemin basınç gerilmesidir.

8.5.2. Kaya dolgu barajlar

En büyük baraj dolgu kesitinin, en az yarı malzemesi dökülmüş veya sıkıştırılmış kaya parçalarından oluşan dolgu barajlardır. Temel zemini kaya, sıkıştırılmış kum ve çakıl olabilir. Temel zemin kalitesi beton barajlardan daha kötü olabilir. Fakat toprak barajlardan, daha kaliteli olması gerekir. Kaya dolgu barajlarda gövde, dökme veya sıkıştırılmış kaya parçalarından yapılır ve barajın stabilitesi bu kısım tarafından sağlanır. Geçirimsizlik ise gövde içinde veya memba yüzeyinde öngörülen bir geçirimsiz perde ile sağlanır. Gövde içinde geçirimsizlik, genellikle kil çekirdek şeklinde yapılır. Yüzey kaplaması ise genellikle asfalt-beton veya beton plaklar şeklindedir (Erkek ve Ağralıoğlu 2010).

9. BARAJ YIKILMA ANALİZLERİ

Baraj yıkılmaları ile ilgili pek çok istatistik çalışma yapılmıştır. Bunun yanı sıra baraj yıkılmalarını benzeştiren ve sonuçlarını gösteren pek çok model geliştirilmiştir. Bunlar SMPDEK, BREACH, HEC-I, HEC-HMS, DAMBRK, FLDWAV, SITES olmak üzere çeşitli paket programlardır. Bu paket programların yanı sıra baraj yıkılmalarında ortaya çıkacak en büyük debi için bazı ampirik denklemler ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bu formüllerde çok farklı değişkenler vardır ve bunlar farklı ve büyük debiler verir. Bu formüllerin her biri aşağıda açıklanmıştır (Ağırlioğlu, 2011).

9.1. Gundlach ve Thomas Formülü

Bu formül bir gedik ve akarsu yatağı kabulüne dayanır. Barajın bir anda yok olduğu, gediğin derinlik ve genişliğinin sınırlı olduğu varsayılır. Formül;

$$Q = 0.3BH \left(\frac{b}{H}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{H_w}{H}\right)^{\frac{1}{3}} (gH)^{\frac{1}{2}} + Q_0 \quad (9.1)$$

Q : Yarığın en büyük debisi (m^3/sn)

B : Gedik kesitinin genişliği (m)

H : Gedik derinliği (m)

b : Akarsu yatağı genişliği (m)

H_w : Baraj yıkılma anında baraj haznesinde su derinliği (m)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Q_0 : Yıkılmadan az önce dip savaktan çıkan debi (m^3/s)

9.1.1. Hagen formülü

Bu formül barajın tedrici yıkılması durumunda geçerli olacak formüldür. Bu denklem toprak ve beton ağırlık barajları için daha etkili sonuçlar vermektedir. Formül şöyledir;

$$Q = 0.54(HS)^{\frac{1}{2}} \quad (9.2)$$

Q : Gediğin en büyük debisi (m^3/s)

H : Gediğin derinliği (m)

S : Baraj yıkılma anında haznedeki su hacmi (m^3)

9.1.2. Mcdonald ve langridge – monopolis formülü

Bu formül de barajın tedrici yıkıldığı esasına dayanır ve formülde bulunan bütün parametreler Hagen formülündeki parametrelerle eşdeğerdir. Formül;

$$Q = 1.17(HS)^{0.41} \quad (9.3)$$

9.1.3. Costa formülü

Bu formül de barajın tedrici yıkıldığı durumlarda geçerli olacak bir formüldür ve parametreler Hagen formülü ile aynıdır. Formül;

$$Q = 0.76(HS)^{0.42} \quad (9.4)$$

9.1.4. SCS (TR-60) formülü

Baraj haznesindeki su derinliği baraj yıkılması anında 30m'den büyük ise formül aşağıdaki gibidir.

$$Q = 16.6(H_w)^{1.85} \quad (9.5)$$

Baraj haznesindeki su derinliği baraj yıkılması anında 30m'den küçük ise;

$$Q = 4.2(10^{-4} F^{1.35}) \quad (9.6)$$

bağıntısı kullanılır.

$$F = S \frac{H_w}{A_x} \quad (9.7)$$

Q: Gedik en büyük debisi (m³/s)

H_w : Baraj haznesindeki su derinliği (m)

F: Gedik faktörü (m²)

S: Yıkılma sırasında baraj haznesindeki su hacmi (m³)

A_x : Dolgu barajında gedik yerinde en kesit alanı (m²)

9.1.5. Froelich formülü

Bu yöntem 22 toprak barajda ölçülen verilerin regresyon analizine dayanmaktadır. Bu formüldeki değişkenler Hagen formülünde belirtilmiştir.

$$Q = 0.61B^{0.295}H^{1.24} \quad (9.8)$$

9.1.6. Maksimum gedik çıkış debisi formülü

Bu iki bağıntıda geçen parametreler daha önceki formüllerde açıklanmıştır.

$$Q_{\max} = 0.77(HS)^{0.5} \quad (9.9)$$

$$Q_{\max} = 19.12H_w^{1.85} \quad (9.10)$$

9.2. Gedik Genişliği Hesabı

9.2.1. Johnson ve illes formülü

Johnson ve Illes (1976)'da toprak dolgu barajların yıkılmasında ortaya çıkacak gedik genişliği için

$$0.5h < B < 3h \quad (9.11)$$

formülünü vermişlerdir.

9.2.2. Singh ve Snorrason formülü

Singh ve Snorrason araştırmalarında, dolgu barajların yıkılmasında ortaya çıkacak gedik genişliği için

$$2h < B < 5h \quad (9.12)$$

formölünü kullanmayı uygun görmüşlerdir.

9.2.3. Fereral energy regulatory commission formülü

Fereral Energy Regulatory Commission'a göre dolgu barajların yıkılmasında ortaya çıkacak gedik genişlik formölü;

$$2h < B < 4h \quad (9.13)$$

şeklindedir .

9.2.4. US bureau of reclamation formülü

Bu yöntemeye göre önerilen formöl;

$$B = 3H_w \quad (9.14)$$

şeklindedir.

9.3. Yıkılma Süresi

9.3.1. Singh ve Snorrason formülü

Singh ve Snorrason araştırmalarına göre dolgu barajların yıkılma süresi T için,

$$0.25 \text{ saat} < T < 1.00 \quad (9.15)$$

saat olarak belirlenmiştir.

9.3.2. Fereral energy regulatory commission formülü

Fereral Energy Regulatory Commission araştırmalarında yıkılma süresi T için,

$$0.1 \text{ saat} < T < 0.5 \quad (9.16)$$

saat formülü verilmiştir.

9.3.3. Froelich yöntemi

$$T = 2.54 \times 10^{-3} (S)^{0.53} (H_w)^{-0.59} \quad (9.17)$$

verilen formül, bu yöntem için T yıkılma süresini belirlemede kullanılacaktır (Ağırlioğlu, 2011).

9.3.4. US brureau of reclamation formülü

Bu yöntemegöre, barajların yıkılma süreleri için, T,

$$T = 0.011B \quad (9.18)$$

şeklinde belirlenmiştir.

9.3.5. Von thun ve gilette yöntemi

VonThun ve Gilette araştırmalarında barajların yıkılma süreleri için, aşınma dirençli malzemeler ve kolay aşınan malzemeler içeren ayrı ayrı iki farklı formül belirlemişlerdir (Ağırlioğlu, 2011). Aşınma dirençli malzemeler için;

$$T = 0.020H_w + 0.25 \quad (9.19)$$

Kolay aşınan malzemeler için;

$$T = 0.015H_w \quad (9.20)$$

9.4. Gediğin Şev Eğiminin Bulunması

9.4.1. Fereral energy regulatory commission formülü

Barajların yıkılmalarında ortaya çıkacak şev eğimi Z için,

$$1 < Z < 2 \quad (9.21)$$

olarak belirlenmiştir.

9.4.2. Froelich yöntemi

Bu yöntemde göre, barajın üzerinden su aşması yoksa şev eğimi,

$$Z = 1.4 \quad (9.22)$$

alınması tavsiye edilmektedir.

9.4.3. Singh ve scarlatos yöntemi

Bu yöntemde göre şev eğimi;

$$0.09 < Z < 1.12 \quad (9.23)$$

alınacaktır.

9.4.4. Von thun ve gilette yöntemi

Bu yöntemde göre şev açısı 45° olarak kabul edildiğinden şev eğimi, $Z=1$ alınacaktır (Ağırlioğlu, 2011).

Yukarıda belirtilen ampirik formüller baraj yıkılmaları için analizlerde kullanılan formüllerdir. Bu formüllere bağlı kalarak birtakım hesaplamalar yapılarak, baraj yıkılmalarındaki risk tahminleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu da ileriye dönük yıkılmaların hangi koşullarda oluşabileceğini öngörmektedir (Ağırlioğlu, 2011).

Bütün bu belirtilen ampirik formüllerin yanında, dolgu barajlar için kullanılan sismik analiz yöntemleri bulunmaktadır. Dolgu barajlar için yapılan sismik analiz, deprem yükleri altında dolgunun ve temelin stabilitesini belirlemek amacıyla geliştirilen, deformasyon ve sıvılaşma analizlerini temsil eder. Dolgu barajların sismik analizlerinin yapılabilmesi için, depremlere ait yer ivmelerinin bilinmesi gerekir. Bu analizlerin yapılabilmesi için çeşitli bilgisayar programları bulunmaktadır. Bu programlarda genellikle, sonlu elemanlar metodu baz alınarak deformasyon analizleri yapılmaktadır. Bütün bu analizler yapılırken, zemini temsil eden malzemelerin özellikleri büyük önem taşımaktadır. Zeminde bulunan malzemelerin elastik modülleri, kayma gerilme değerleri, yoğunlukları gerçeğe yakın bir şekilde belirlenip, analizler bu verilerin doğrultusunda yapılmalıdır.

Sismik analizler, depremselliği yüksek bölgelerde barajlarda deformasyonlara yol açacağından büyük önem taşımaktadır. Baraj içinde oluşan gerilmelerin ve deformasyonların analizi karışık ve zor bir süreçtir. Bu süreci kolaylaştırmak adına sismik analizler yapılırken bazı kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller arasında en etkili olanı ise, üç boyutlu bir yapı olan baraj gövdesinin, iki boyutlu bir kesitle temsil edilmesidir. Sismik analizler için statik ve dinamik analiz olmak üzere iki çeşit analiz tipi bulunmaktadır.

- **Statik Analiz**

Bir dolgu barajın deprem karşısında gösterdiği davranışı analiz etmek için, öncelikle deprem öncesinde barajın kendi ağırlığından kaynaklı gerilmelerini belirlemek gerekir. Sonrasında, barajın deprem esnasında göstereceği davranışı gözlemlemek için dinamik analizler yapılmalıdır. Bir baraj içinde statik gerilme dağılımının belirlenmesi için çeşitli yollar bulunsa da en etkili yol sonlu elemanlar yöntemidir. (Tosun, 2002)

- **Dinamik Analiz**

Deprem hareketlerine maruz kalan barajların, davranışının belirlenmesinde değişik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında püsodo-statik analiz ve sonlu elemanlar yöntemi yer almaktadır. Bu yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Püsodo-statik Analiz Yöntemi: Bu yöntem kullanılan yöntemler arasında en yaygın ve kolay şekilde kullanılan yöntemdir. Çeşitli programlar, yöntemler geliştirilmiş olsa da hala en kolay ve en etkili kullanıma sahip yöntem olarak görülmektedir. Püsodo-statik analiz yöntemiyle, potansiyel göçme yüzeyi boyunca kaymaya karşı en düşük güvenlik sayısı bulunur. Eğer güvenlik sayısı 1'e yaklaşıyorsa kesit genellikle güvenli olarak düşünülür. Güvenlik sayısı için kabul edilebilirlik doğrultusunda, bir alt sınır getirilmemiştir. Bu yöntemde, dinamik etkiler statik olarak değerlendirilip ona göre çözüm yapıldığı için, 'püsodo-statik yöntem' olarak adlandırılmıştır (Tosun, 2002).

Sonlu Elemanlar Yöntemi: Bu yöntem, gövdenin küçük parçalara ayrılıp, bu parçalar ile gerilmeler arasındaki ilişkiyi belirledikten sonra, statik veya dinamik problemlerin çözümünü yapmayı amaçlar. Sonlu elemanlar yöntemi, küçük boyuttaki elemanlarla yapının düzgün olmayan kısmı için analiz yapılmasını sağlar (Tosun, 2002).

10. MATERYAL VE METOD

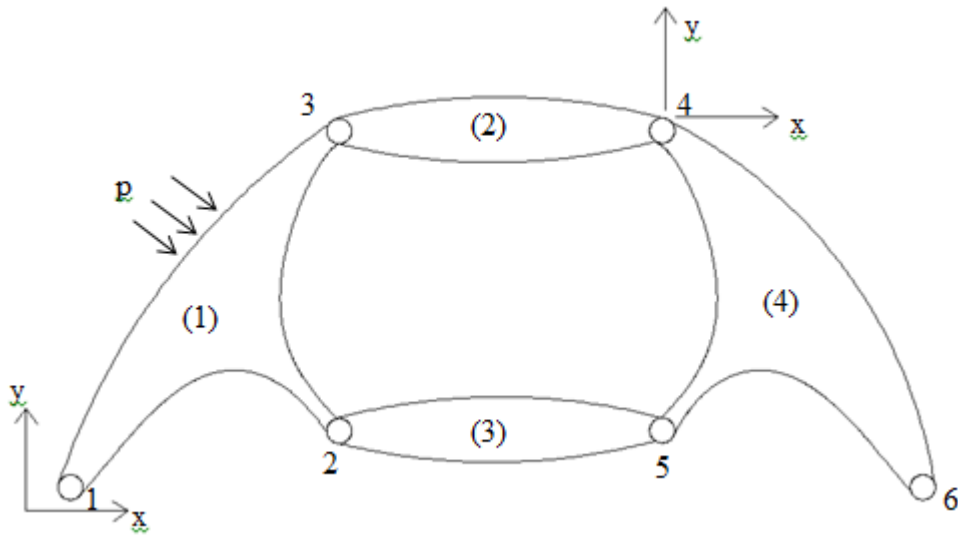
10.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik ve matematik problemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yapısal analiz, ısı transferi, akışkan hareketi, toplu taşıma ve elektromanyetik potansiyeli de dahil, mühendislik ve matematikle ilgili problemlerini, çözerken sonlu elemanlar yönteminden faydalanılabilir. Karmaşık geometriler, yüklemeler ve malzeme özelliklerini içeren problemler için, analitik veya matematiksel çözümler elde etmek genellikle mümkün değildir. Analitik çözümler, herhangi bir noktada bulunan bir geometri gövdesinde, bilinmesi istenilen değerleri matematiksel ifade ile verir. Bu analitik çözümler genellikle, karmaşık geometriler, yüklemeler ve malzeme özelliklerinin elde edilebilir olmayan sıradan ya da kısmi diferansiyel denklemler gerektirir. Bu yüzden, kabul edilebilir sonuçlar için, sonlu elemanlar yöntemi gibi, sayısal yöntemlere güvenmemiz gerekir. Sorunun sonlu elemanlar formülasyonu, diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirmenin yerine, çözüm için eş zamanlı matematiksel denklemler sistemi ile sonuçlanır. Bu sayısal yöntemler, süreklilik noktalarının ayrık numaralarının bilinmeyen değerlerini yaklaşık olarak verir. Dolayısıyla bu süreç, bir bütünü, belli parçalara bölüp o bölünen bir veya iki elemana sınır şartları ve düğüm noktaları üzerinden ayrıklaştırma yapılarak devam eder. Sonlu elemanlar yönteminde, tek bir hamlede bütün geometriyi çözmek yerine, denklemleri her bir sonlu eleman parçası için çözüp sonrasında bütün denkleme yansır. Kısaca belirtmek gerekirse, yapı problemleri için çözüm, tipik olarak, her bir düğüm noktasında, uygulamalı yüklere maruz kalan elemanlar için, yer değiştirme ve gerilmelerin belirlenmesi anlamına gelir. Yapısal olmayan sorunlar için, düğüm noktalarındaki bilinmeyenler, sıcaklık ya da termal ve sıvı akımları için akışkan basınçları olabilir (Logan, 2007).

Sonlu elemanlar yönteminin modern gelişimi, 1940'larda yapı mühendisliği alanında Hrennikoff ve M.c Henry'nin döneminde başlamıştır. M.c Henry ve Hrennikof, bir kafes sistemindeki, bir boyutlu bir elemanına ait (kiriş), sürekliliği olan katılar için gerilme çözümleri yapmışlardır. Courant, 1943 yılında değişimsel formda gerilmelerin çözümünü oluşturmayı önerdi. Daha sonrasında, Courant, yaklaşık çözümler elde etmek için bir yöntem olarak bütün bölgeyi oluşturan üçgen alt

bölgelerin üzerinde parçalı enterpolasyon işlevlerini tanıttı. 1947’de Levy, kuvvet yöntemini geliştirdi ve 1953’de diğer çalışmalarında, başka bir method önerdi ki bu method statik olarak belirsiz uçak yapılarının analizinde kullanılmak için umut vericiydi. Ancak bu yöntemdeki denklemlerin çözümü çok zaman aldığından, bilgisayarların gelişile yaygınlaşmıştır. 1954’de, Argyris ve Kelsey enerji ilkelerini kullanarak, matris yapısal analiz yöntemleri geliştirdi. Bu gelişme, enerji ilkelerinin sonlu elemanlar yöntemi için önemli bir rol oynadığını gösterdi. 1956 yılında ilk kez, iki boyutlu elemanlarda, Turner ve arkadaşları tarafından çözümlene yapılmıştır (Logan, 2007).

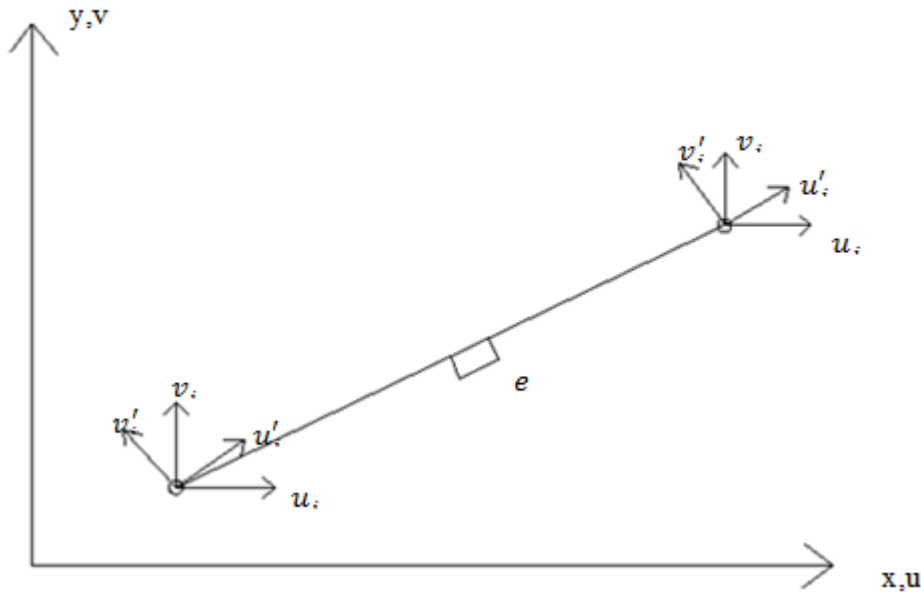
Ayrık sistemlerin genel çözümünü tanıtmak gerekirse, şekil, iki boyutlu bir yapı için tek tek bileşenlerden oluşmuştur ve bu düğümler 1’den 6’ya kadar numaralandırılmıştır. Bu düğümlerdeki birleşim yerleri birbirlerine bağlanmıştır ve bu yüzden momentler düğümlerle aktarılmış olur. Bir başlangıç noktası belirlenip, her bir düğüm kendi içerisinde çözümlenecektir. (1) elemanı olarak etiketlenen kısım, 1, 2, 3 düğümlerindeki kuvvetlere maruz kalacağından, bu eleman için belirtilen 3 düğüm noktası için işlem yapılacaktır. Diğer elemanlar ((2),(3),(4)) için de aynı hesaplamalar yapıp, bu sonuçlar birleştirilerek sisteme ait yer değiştirmeler (p yükünden kaynaklı) ve mesnet reaksiyonları, Şekil 10.1 göz önünde tutularak, bulunacaktır (Zienkiewicz, 2001).



Şekil 10.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile bölünmüş yapı elemanı gösterimi (Zienkiewicz, 2001)

Sonlu elemanlar yöntemi ANSYS programının meshleme kısmının alt yapısında kullanılan bir yöntem olmakla beraber, değişik geometriye sahip elemanlar için sağlıklı sonuçlar vermek üzere kullanılmaktadır. Geometrisi verilen eleman için, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenecek yapılmak istendiğinde, geometri küçük parçalara ayrılıp, sınır şartları atanarak, her bir nokta için çözümlenecek yapılar ve sonrasında elde edilen sonuçlar tek bir koordinat sisteminde ifade edilir.

Aşağıdaki çubuk eleman, 2 düğüm noktası tanımlanarak çözümlenecek yapılmıştır. Global ve lokal eksenlerdeki çubuk serbestlikleri, eksenler arasında birbirine dönüştürülerek matris olarak ifade edilmiştir. Şekil 1’de global koordinat sisteminde görülen çubuk eleman, şekil 2’de, θ kadar döndürülerek lokal koordinat sistemi oluşturulmuştur. Bu iki koordinat sistemine bağlı kalınarak, çubuk elemana ait rijitlik matrisi elde edilmiştir (Şekil 10.2, Şekil 10.3).

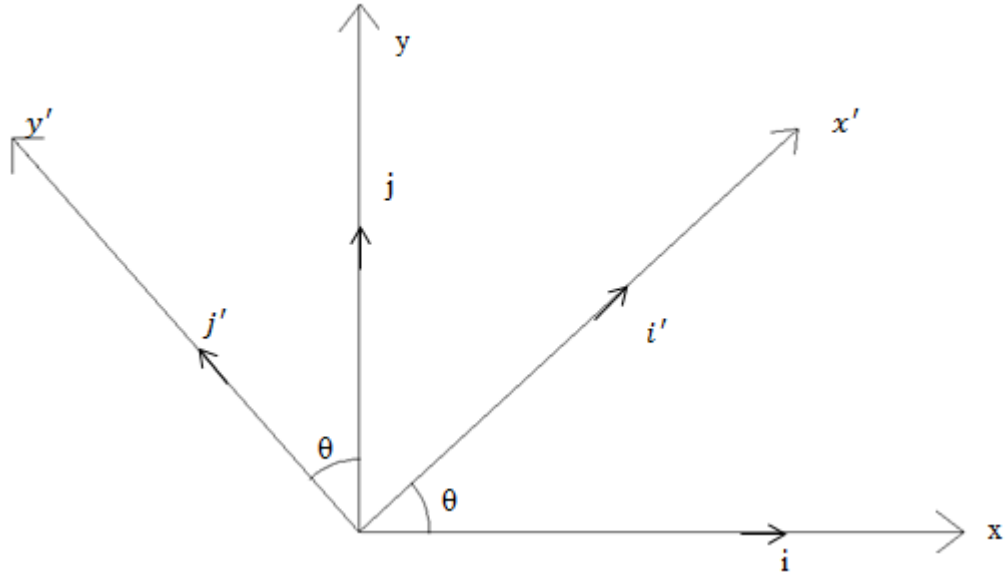


Şekil 10.2. Koordinat sistemi üzerinde verilmiş eleman parçası

$\{\delta^e\}^T = \{u_i \ v_i \ u_j \ v_j\}$: Global koordinat sisteminde eleman yer değiştirme vektörü

δ : Yer değiştirme

$\{\delta'^e\}^T = \{u'_i \ v'_i \ u'_j \ v'_j\}$: Lokal koordinat sisteminde eleman yer değiştirme vektörü



Şekil 10.3. Koordinat dönüşüm sistemi

$$x' = x \cos \phi + y \sin \phi \quad (10.1)$$

$$i' = \cos \phi \vec{i} + \sin \phi \vec{j} \quad (10.2)$$

$$y' = -x \sin \phi + y \cos \phi \quad (10.3)$$

$$j' = -\sin \phi \vec{i} + \cos \phi \vec{j} \quad (10.4)$$

$$\begin{Bmatrix} u' \\ v' \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (10.5)$$

$$\begin{Bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ u'_j \\ v'_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix} \quad (10.6)$$

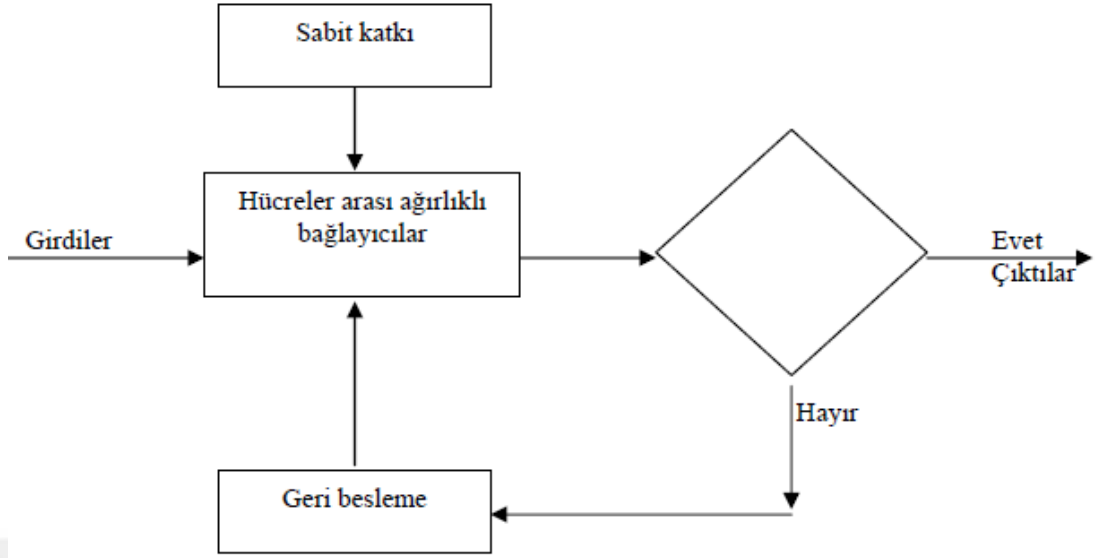
$$[K^{re}] = \frac{AE}{l_e} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10.7)$$

Şekil 10.2'deki çubuk elemana uygulanan sonlu elemanlar yöntemi baraj gövdesindeki 8 serbestlikli her eleman için de yapılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin daha sağlıklı sonuç verebilmesi için eleman sayısının artırılması önemlidir.

10.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

İnsanoğlu yaradılışından beri doğayla iç içe yaşaya gelmiş ve ondan ilham yolu ile bir çok çözümler öğrenmiştir. Olayların sebep sonuç ilişkilerini içinde bulunduğu dönemin, bilgi birikimi ve teknolojisinin elverdiği ölçüde irdelemeye çalışmıştır. Bu çalışmalar esnasında birçok yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen yöntemlerin bazıları canlı organizmalardan esinlenerek ortaya çıkmıştır. Bu organizmaların işleyişinin matematikle ifade edilmeye çalışılması ile ortaya çıkan yöntemlerden biri de Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir (Taylan, 2008).

Bilgi işleme süreçleri olarak nitelendirilebilecek YSA verilen girdilere karşılık çıktılar üreten ayrıntılı bir kara kutu modeli olarak tanımlanabilir. YSA, bilgi akışını aksonlar yardımıyla sağlayan bir grup sinir hücresinin meydana getirdiği sinir sisteminin bir benzeri olarak tanımlanmakla birlikte Kohonen tarafından, genellikle yinelenebilir olan basit elemanların yoğun bir şekilde paralel bağlanmasıyla ortaya çıkan ağlar olarak da tanımlanmıştır. Paralellik, hata toleransı, öğrenilebilirlik, gerçekleştirme kolaylığı gibi özellikleri bakımından bir çok yöntemden daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bir YSA şebekesi için elde edilen verilerin türüne ve istenilen hedefe karar verdikten sonra, beklenen çıktıları girdilerden elde etmek için bu şebekede bilinmeyen bağlantı değerleri ardışık yaklaşımlarla eğitilerek tespit edilir. Şekil 10.4'de bir YSA'nın genel yapısı gösterilmiştir. Burada ilk hesaplamalardan elde edilen çıktılar beklenen çıktılar ile kıyaslandıktan sonra birbirlerine kabul edilebilir hata sınırları içinde yaklaşıklık gösterdiği zaman YSA'nın eğitilmesine son verilir. Aksi halde eğitime devam edilir. Böylece eğitime ve öğretme ile güdülenebilen bir şebeke akışı söz konusudur (Şen,2004).



Şekil 10.4. Ysa genel yapısı

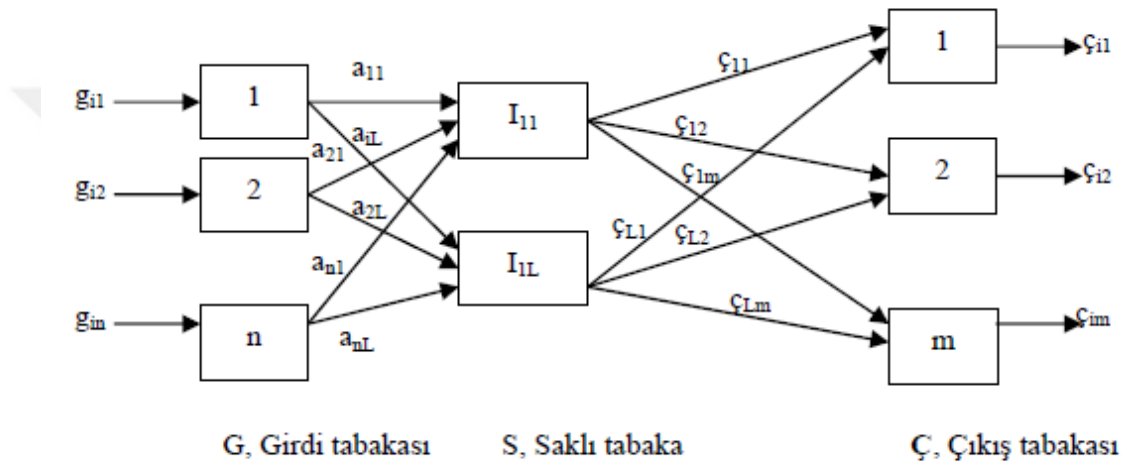
10.2.1. Tek tabakalı YSA ve işletme ilkeleri

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar tek tabakalı yapay sinir ağları ile başlamıştır. Tek tabakalı yapay sinir ağları sadece girdi ve çıktı tabakalarından oluşur. Her ağın bir veya daha fazla girdisi ve çıktısı vardır. Çıktı nöronları bütün girdi nöronlarına bağlanmaktadır. Girdi nöronları çıktı nöronları ile tamamen bağlıdır fakat diğer girdi nöronları ile bağlantılı değildir ve çıktı nöronları da diğer çıktı nöronları ile bağlantılı değildir. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Tek tabakalı YSA'larda sinir hücrelerinin değerlerinin ve dolayısıyla ağ çıktısının sıfır olmasını önleyen bir eşik değeri vardır. Eşik değerinin girdisi daima birdir. Ağın çıktısı ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucu bulunur. Bu girdi değeri bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek ağın çıktısı hesaplanır (Terzi, 2004).

10.2.2. Çok tabakalı YSA ve işletme ilkeleri

YSA birçok basit sinir hücresinin bir araya gelmesinden oluştuğu için, çok tabakalı bir yapıya sahiptir. YSA'daki tabakalar, her bir tabakadaki hücreler ve bunların bir tabakadan diğerine bilgi ileten bağlantıları sanki bir bilgi ağı meydana getirir. Böyle bir ağda paralel tabakalar ve bunların içinde hücreler ve bunlar arasındaki ardışık bağlantıları sağlayan iletişim yolları bulunur. Üç tabakalı bir YSA mimarisi Şekil

10.5’de gösterilmiştir. Burada birbirine paralel üç tabaka belli sayıdaki hücreleri içerirler. Bu tabakalardan her biri G, S ve Ç indisleri ile gösterilirse, bunlardan G tabakasına giriş, S tabakasına saklı veya ara, Ç tabakasına da çıkış tabakası adı verilir. Dolayısıyla, YSA verilen girdilere karşılık çim çıktılarını ürettiği için kara kutu modellerine benzemektedir. Giriş tabakası çıkışların meydana gelmesine sebep olan başlangıç bilgilerini, saklı tabaka bunların çıkış ile olan bağlantılarını ayarlayan sürecin iç kısımlarını, çıkış tabakası ise istenilen bilgiyi veren tabakadır (Şekil 10.5).



Şekil 10.5. Çok tabakalı YSA modeli

Şekil 10.5’deki ağ yapısında ardışık tabakalar arasındaki ağırlıklı bağlantılar a_{in} ve ϕ_{im} ağırlık katsayıları ile gösterilmektedir. n , L ve m indisleri sırasıyla, girdi, saklı ve çıktı tabakalarındaki hücre sayılarını vermektedir. Böyle bir ağda giriş ve çıkış değerleri bilinmekle birlikte, YSA’daki ağırlık katsayıları eğitilerek bu giriş ve çıkışlara uygun olan içyapı ardışık yaklaşımlarla geliştirilmektedir. Öncelikle girdi olabilecek değişken sayıları ve buna göre giriş tabakasındaki hücrelerin sayısı belirlenmektedir. Sonra, YSA’nın eğitilmesi aşamasında, elimizde bulunan ölçülmüş çıkış değerleri dikkate alınmaktadır. Genellikle tahmin edilecek değer tek olur ve çıkış tabakasında tek hücre bulunur. Saklı tabakada ne kadar hücre bulunmasının gerekliliğine YSA tasarımcısının bilgi ve tecrübelerinin yardımıyla karar verilmektedir. Böyle bir yapılanma ile bir sonraki tabakanın m . hücresine i . giriş verisi dizisinden gelecek olan değerlerin toplamı

$$(NET)_m = \sum_{j=1}^L a_{ij} g_{ij} + \Theta_i \quad (10.8)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, g_{ij} , i. veri dizisinin j. bileşenini, L de gizli tabakadaki toplam hücre sayısını, Θ_i içsel bir katkı olarak sabit bir değeri göstermektedir. Her ara ve çıkış tabakasında bulunan hücrelerin denklem ile gelen giriş bilgilerini işlemesi neticesinde çıkış değeri üretilmektedir. Çıkış değerleri, işlemci bulunan hücrelerde toplanan bilgilerin, $f(NET)$ işlemciden geçirilmesi ile son şeklini almaktadır.

$$SON = f(NET) \quad (10.9)$$

Burada kullanılan $f(NET)$ işlemcisi yapılan çalışmaya göre değişik matematik fonksiyonlarla temsil edilebilmektedir (Şen, 2004).

10.2.3. İşlemci fonksiyonlar

YSA'daki giriş ve çıkış verileri arasındaki haritalama, işlemcinin matematiksel fonksiyonu ile sağlanmaktadır. En uygun haritalamanın yapılabilmesi için işlemci fonksiyonunun seçimi büyük önem kazanır. Çok tabakalı YSA'larda saklı tabaka hücrelerinde kullanılan işlemci fonksiyonlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Doğrusal işlemci: Skaler bir sayı olan α başta olmak üzere, herhangi bir g giriş değerine karşılık

$$f(NET) = \alpha NET \quad (10.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. $\alpha = 1$ ise, saklı tabaka hücrelerine gelen bilgiler hiçbir değişikliğe uğramadan işlemci çıkışında aynen kalırlar. Eşik işlemcisi: Tüm girdi değerlerine karşılık sadece iki çeşit çıktı üretilmektedir. Giriş değeri, NET , eşik değerini, Θ , aşarsa, çıktı olarak α , aksi halde β sabit değerini alır.

$$f(NE T) = \begin{cases} \alpha & \text{eger } NE T \geq \Theta \text{ ise} \\ \beta & \text{eger } NE T \leq \Theta \text{ ise} \end{cases} \quad (10.11)$$

Rampa işlemcisi: İlk iki işlemcinin bir araya gelmesi ile oluşur. Burada, $\beta \leq \chi \leq \alpha$ aralığında, doğrusal işlemci, $\chi \geq \alpha$ ve $\chi \leq \beta$ için de eşik işlemcisi özelliği göstermektedir (Denklem 10.12).

$$f(NE T) = \begin{cases} \alpha & \text{eger } NE T \geq \alpha \text{ ise} \\ \frac{\gamma - \delta}{\alpha - \beta} NE T + \frac{\alpha\gamma - \beta\delta}{\alpha - \beta} & \text{eger } \beta \leq NE T \leq \alpha \text{ ise} \\ \beta & \text{eger } NE T \leq \beta \text{ ise} \end{cases} \quad (10.12)$$

Sigmoid işlemcisi: Rampa fonksiyonunun sürekli halidir. Fonksiyon S şeklinde olduğundan çoğu zaman S fonksiyonu olarak da adlandırılır (Denklem10.13).

$$f(NE T) = \frac{1}{1 + e^{-aNE T}} \quad (10.13)$$

Hiperbolik işlemci: Tanjant parametrik işlemci fonksiyonunun hiçbir parametresi bulunmamaktadır. Matematik ifadesi aşağıda verilmektedir:

$$f(NE T) = \frac{e^{NE T} - e^{-NE T}}{e^{NE T} + e^{-NE T}} \quad (10.14)$$

Gauss İşlemcisi: Gauss işlemcisi $f(NE T)$ 'e göre simetrik ve sıfırdan büyük olmak üzere bir varyans değerine sahiptir. Varyans σ olmak üzere matematik ifadesi aşağıdaki şekildedir:

$$f(NE T) = \exp\left(\frac{-NE T^2}{\sigma^2}\right) \quad (10.15)$$

Tüm bu işlemci fonksiyonlar arasında genel olarak Sigmoid işlemcisi kullanılmaktadır (Şen, 2004).

10.2.4. Yapay sinir ağıları ile eğitime ve modelleme

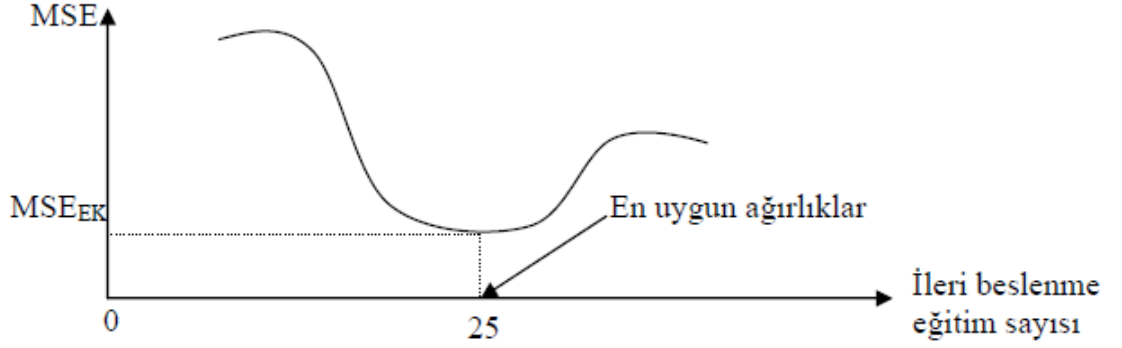
YSA'nın en ayırt edici özelliklerinden biri öğrenme yeteneğine sahip olmasıdır. Öğrenme elde bulunan veriler arasındaki yapının iyi bir davranış göstermesini sağlayabilecek olan bağlantı ağırlıklarının hesaplanması olarak tanımlanır. YSA'da öğrenme kısaca, giriş ve çıkış verileri arasındaki en uygun tasviri gerçekleştirebilecek şekilde hücreler arasındaki bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesidir. Bu değişiklik aşağıda belirtilen üç farklı şekilde yapılabilir:

- Yeni bağlantılar yapılması
- Var olan ağırlıkların değiştirilmesi
- Bazı bağlantı ağırlıklarının yok edilmesi

YSA öğrenme esnasında elde ettiği bilgileri, sinir hücreleri arasındaki bağlantı bilgileri olarak saklar. Bu ağırlık değerleri, YSA'nın verileri başarılı bir şekilde işleyebilmesi için gerekli olan bilgileri içerir. Bilgi tüm ağda saklandığı için bir tek ağına sahip olduğu bağlantı değeri tek başına bir anlam ifade etmez. Bir anlam oluşması için grup halinde bağlantı ağırlıklarının bir araya gelmesi gerekir. Bununla birlikte YSA'nın akıllı bir davranış gösterebilmesi için, hücreler arası bağlantıların tümünün uygun değerlere sahip olması gerekmektedir. Öğrenme süreci boyunca bilgiye ihtiyaç duyulması ve sinirler arasındaki bağlantı ağırlıkları vasıtasıyla bilgilerin saklanması özelliği bakımından YSA, insan beynine benzer.

YSA öğrenmesindeki önemli noktalardan biri de, öğrenmeyi sağlayacak olan eğitim kümesinin seçilmesidir. Eğitim kümesi en az bilgi ile en iyi öğrenmeyi sağlayacak şekilde seçilmelidir. Eğitim kümesi oluşturulurken birbirine yakın verilerden ziyade, birbirinden farklı ve bağımsız verilerin seçilmesi daha verimli bir öğrenme sağlar. Eğitim kümesinin daha önce eğitilmemiş giriş değerlerine karşı makul çıkışlar vermesi beklenir. Öğrenmede aranan bu özelliğe genelleme denir. YSA ağırlıklarının hesaplanması sırasında ardışık olarak ileri geri besleme işlemlerinin tümüne birden eğitim denir. Bu eğitimin hatanın en küçüklenmesi ile son bulması arzu edilir. Eğitimin kalitesini hataların ileri beslenmesinin sayısı ile değişimini gösteren bir grafik kontrol edebiliriz. Böyle bir grafik Şekil 10.6'da verilmektedir. Genel olarak başlangıçta bağlantı katsayıları rastgele seçtikleri için ortalama karesel hata MSE

büyük olur. Eğitim sırasında bunun ileri beslenme eğitim sayısı ile azalması beklenir (Şen, 2004).



Şekil 10.6. Hata eğitim devresi sayısı

Şekil 10.6’da görüldüğü gibi, ortalama karesel hataların en küçük olduğu duruma (MSE_{EK}) ancak 25-inci ileri beslenme eğitim sonrasında ulaşılmaktadır (Şen, 2004)

11. BULGULAR VE ANALİZLER

11.1. Darıderesi-II Göletinin Özellikleri

11.1.1. Projenin yeri

Darıderesi-II Göleti, Isparta ilinin yaklaşık 4 km güneyinde Darıderesi Köyü, Darı Deresi üzerindedir. Isparta ilinin içme suyunu karşılayan Darıderesi-1 Göletinin 2.50 km membasında aynı dere üzerinde, yer almaktadır. Darıderesi-II Göleti, bölgedeki içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmıştır.

Darıderesi-II Göleti, Isparta il merkezinin içme ve kullanma suyu ihtiyacının, cazibe ile karşılanması olanaklarının, teknik ve ekonomik yapılabilirliğini gösterme amacı taşımaktadır. Isparta il merkezinin, mevcut durumdaki içme ve kullanma suyu Eğirdir Gölü'nden, Darıderesi-I Göleti'nden ve bazı kuyu ve kaynaklardan sağlanmaktadır. İçme ve kullanma suyu, bu kaynaklardan tamamen pompaj ile temin edilmektedir. Darıderesi-II Göleti'nin yapılması ile içme suyunun bir kısmının cazibe ile verilmesi mümkün olacaktır.

11.1.2. Darıderesi-II göletinin karakteristik özellikleri

DSİ'den alınan verilere göre, Darıderesi-II Göletine ait karakteristik özellikler, Çizelge 11.1, Çizelge 11.2, Çizelge 11.3, Çizelge 11.4'de verilmiştir.

Çizelge 11.1. Darıderesi-II göletine ait hidrolojik bilgiler

Drenaj Alanı:	21.30 km ²
Yıllık Gelen Su:	11 240 000 m ³
Buharlaşma ve Sızma Miktarı:	276 890 m ³
Yıllık İçme ve Kullanma Suyu İçin Verilen Su:	7.585 hm ³
Q 2 (2 Yıl Sonra Planlanan)	5.49 m ³ /s
Q 5 (5 Yıl Sonra Planlanan)	17.22 m ³ /s
Q 10 (10 Yıl Sonra Planlanan)	30.10 m ³ /s
Q 25 (25 Yıl Sonra Planlanan)	53.22 m ³ /s
Q 50 (50 Yıl Sonra Planlanan)	75.94 m ³ /s

Q 100 (100 Yıl Sonra Planlanan)	103.79 m ³ /s
Q 1 000 (1000 Yıl Sonra Planlanan)	176.73 m ³ /s
Q 10 000 (10 000 Yıl Sonra Planlanan)	249.67 m ³ /s
Q kadastrofal	296.00 m ³ /s

Çizelge 11.2. Darıderesi-II göletine ait rezervuar bilgileri

Minimum su seviyesi	1 146.15 m
Normal su seviyesi	1 175.00 m
Maksimum su seviyesi	1176.89 m
Min. Su Seviyesinde Göl Hacmi	0.653 hm ³
Normal Su Seviyesinde Göl Hacmi	4.718 hm ³
Maksimum Su Seviyesinde Göl Hacmi	5.180 hm ³
Aktif Göl Hacmi	4.065 hm ³
Min. Su Seviyesinde Göl Alanı	65 235 m ²
Nor. Su Seviyesinde Göl Alanı	233 754 m ²
Maks. Su Seviyesinde Göl Alanı	248 021 m ²

Çizelge 11.3. Darıderesi-II göletinin dolusavak özellikleri

Tipi	Yandan alıslı, serbest
Yeri	Sağ sahil
Kapasitesi	276.47 m ³ /s
Q Ötelenmiş (Kadastrofal)	276.47 m ³ /s
Yaklaşım kanalı kotu	1174.00 m
Eşik kotu	1175.00 m (N.S.S.)
Su Yüğü / Ho	1.89 m
Maksimum su seviyesi:	1176.89 m
Deşarj kanalı tipi:	20.00 m sabit
Deşarj kanalı eğimleri:	0.47

Çizelge 11.4. Darıderesi-II göleti, gölet gövdesi ve batardo özellikleri

Tipi:	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Gövde Kret Kotu:	1178.00 m
Gölet Talveg Kotu:	1116.00 m
Gövde Yüksekliği (Talvegden):	62.00 m
Gövde Yüksekliği (Çekirdek Hendeğinden)	65.50 m
Gövde Kret Uzunluğu	229.68 m
Kret Genişliği	10.00 m
Gövde Memba Şevi	1D:2.50Y
Gövde Mansap Şevi	1D:2.0Y
Gövde Dolgusu	1 137 950 m ³

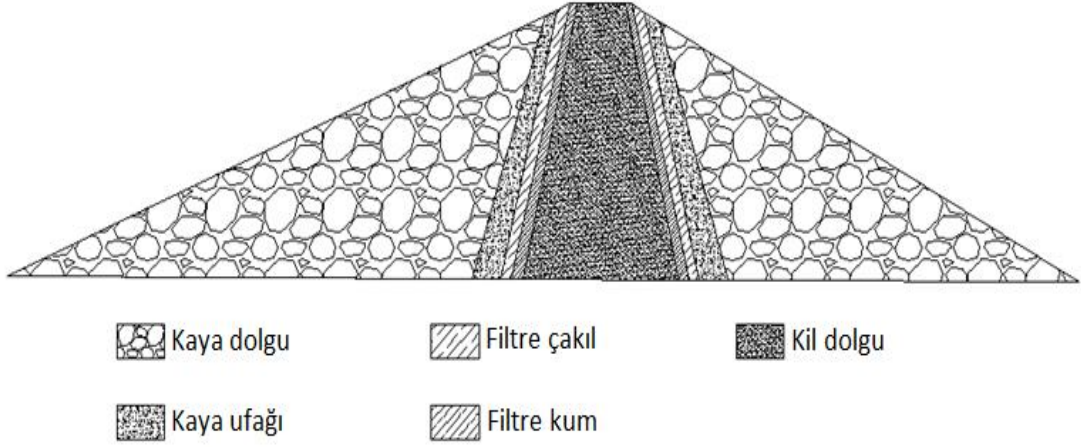
Batardo Tipi	Eğik kil çekirdekli kaya dolgu
Batardo Kret Kotu	1132.50 m
Batardo Talveg Kotu	1121.00 m
Batardo Yüksekliği (Talvegten)	11.50 m
Batardo Yüksekliği (Çekirdek Hendeğinden)	14.50 m
Batardo Kret Genişliği	5.00 m
Batardo Kret Uzunluğu	88.00 m
Batardo Memba Şevi	1 D / 3.00 Y
Batardo Mansap Şevi	1 D / 2.00 Y
Batardo Dolgusu	39 500 m ³

Darıderesi-II Göleti'ne ait malzeme özellikler, Çizelge 11.5'de verilmiştir.

Çizelge 11.5. Baraja ait malzeme özellikleri

Malzeme Cinsi	γ (kn/m ³) Özgül Ağırlık	E (kPa) Elastisite Modülü	ν (poisson oranı)
Geçirimsiz Kil Dolgu	19,40	25000	0,35
Filtre Kum	20,20	30000	0,30
Filtre Çakıl	20,20	30000	0,20
Kaya Ufağı	25,60	35000	0,20
Kaya Dolgu	25,60	40000	0,20

Darıderesi-II Göleti, kil dolgu bir baraj özelliği taşımaktadır. İçten dışa doğru katmanlı olarak değişen bir malzeme yapısı vardır. Bu malzeme yapısına ait şekil aşağıda verilmiştir (Şekil 11.1). Bu baraj kesitinden de anlaşılacağı üzere, kaya dolgu, filtre çakıl, filtre kum, kaya ufağı ve kil dolgu olmak üzere baraj beş farklı malzemeden meydana gelmektedir. Bu malzemeler tek tek tabakalara atanırken, yukarıdaki çizelgede (Çizelge 11.5) bulunan malzeme özellikleri olarak atanmıştır.



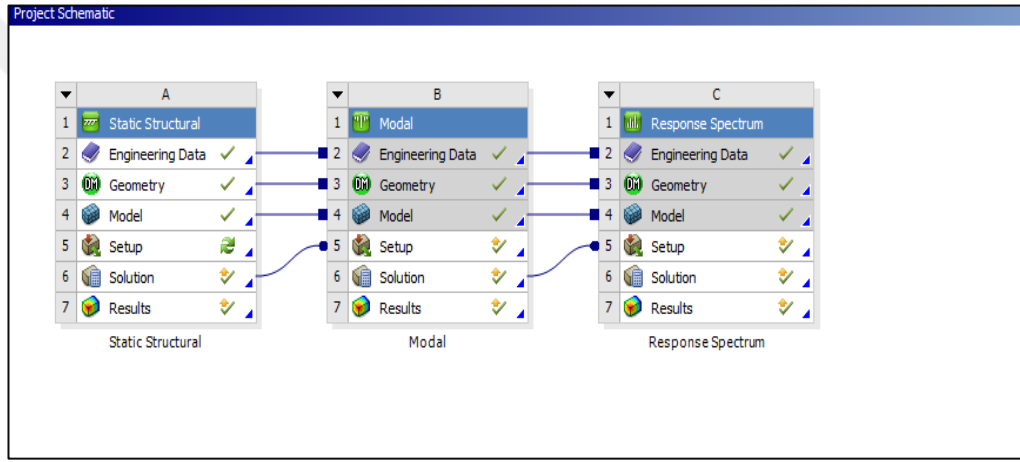
Şekil 11.1. Baraj kesitinin malzeme özellikleri

11.2 Dinamik Analize Giriş

Darıderesi-II Göleti, ANSYS programı yardımıyla modellenip, analiz edilmiştir. ANSYS programı, mühendislik çalışmalarında analiz ve simülasyonların yapılabildiği bilgisayar destekli bir programdır. 1970 yılından beri geliştirilmekte olan ANSYS programı, pek çok temel mühendislik dalında etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Yaklaşık 45 yıldır geliştirilen bu program günümüzde en çok tercih edilen programların başında gelir. ANSYS mühendislik alanında dünya çapında çok fazla kullanılan bir program olmakla birlikte, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir programdır. Sonlu elemanlar yöntemi, tek parça halinde analizleri zor olan, karmaşık geometrideki modelleri, küçük ve anlamlı geometrilere bölerek sonuç elde eden bir yöntemdir. ANSYS programının farklı mühendislik çalışmaları için üretilmiş farklı bileşenleri bulunmaktadır. Bunlardan en çok tercih edileni Workbench olarak geçen, tek ekranda birden fazla mühendislik çalışmasına imkan veren platformdur. Çok fizikli analizlerde kullanıcılara yol gösteren yapıya sahip olan ANSYS Workbench, ileri seviye parametre yönetimi ile simülasyona bağlı ürün geliştirme için, oldukça etkili bir programdır. ANSYS Workbench ile farklı mühendislik disiplinlerine ait analizler tek bir merkezden yönetilebilir.

Bu tez çalışmasında, ANSYS Workbench kullanılmıştır. Modellemeye ait analizler yapılırken, birden fazla parametre birbirine bağlanmıştır. Bunlardan ilki Yapısal Analiz (Static Structural) kısmıdır. Bu kısımda, baraj modeli alınıp, malzeme özellikleri atanmış ve sınır koşul şartları belirlenmiştir. Ayrıca bu kısımda baraja Su Basıncı (Pressure) olarak tanımlanan, su yükü verilmiştir. Yapısal Analiz kısmına

bağlanan, ikinci parametre ise Modal Analiz parametresidir. Bu parametre, yapıya ait bir deprem modu belirliyor. Modal Analiz'e bağlı en son parametre ise Davranış Spektrumu (Response Spectrum)'dur. Davranış Spektrumu analiz modülü, yapının deprem yükü altında nasıl tepki vereceğini belirlemek için kullanılır. Davranış Spektrumu modülünün altyapısı, frekansa bağlı deprem ivme kayıtlarının yapıda, meydana getireceği deformasyonu göstermektir. Saf deprem ivme kayıtları seismosignal isimli, program ile düzenlenmiş ve Davranış Spektrumu modülüne aktarılmıştır . Bu analiz modülünde, 3 farklı deprem ivme kaydı yapıya verilmiştir. Aşağıdaki şekilde, ANSYS Workbench'e ait ekran görüntüsü bulunmaktadır (Şekil 11.2).



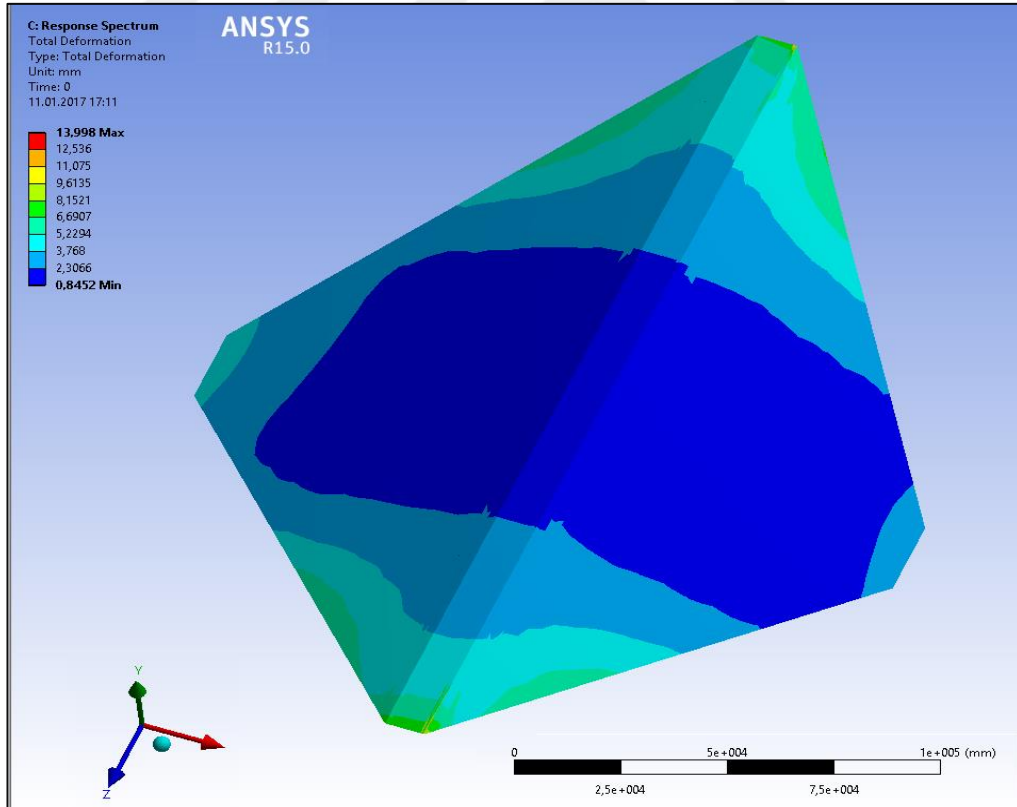
Şekil 11.2. Ansys workbench ekranı

Darıderesi-II Göleti'ne verilen deprem ivmelerinden ilki Kocaeli' de 17 Ağustos 1999'da meydana gelen depremdir. Bu deprem 7.4 şiddetindedir ve elde edilen verilere göre 47 saniye sürmüştür. Deprem olduğu dönemde, birçok can ve mal kaybına neden olmuştur. Darıderesi-II Göleti' ne, Kocaeli deprem ivme kaydı verildiğinde, Gölette meydana gelen yer değiştirme ve gerilmeler, en büyük ve en küçük değerleri olmak üzere aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 11.6).

Çizelge 11.6. Kocaeli depremine ait analiz sonuçları

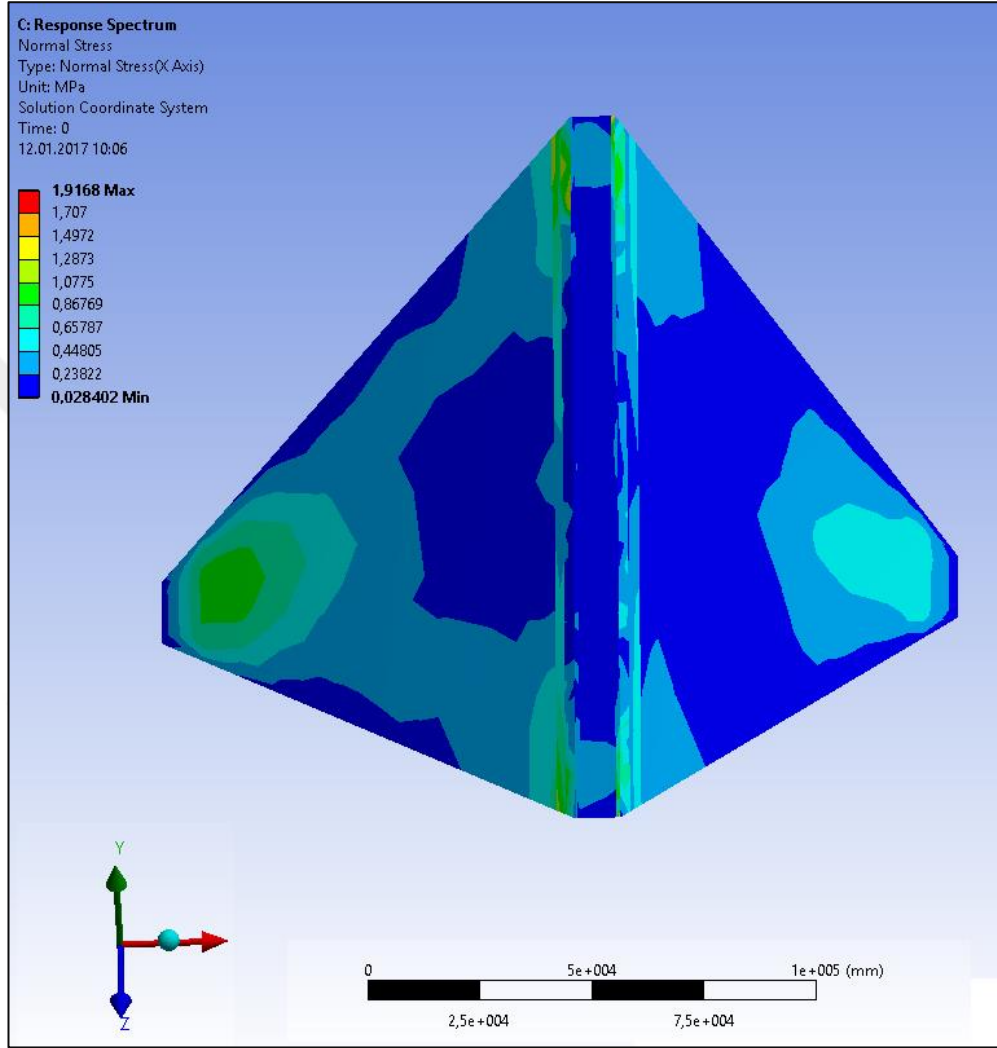
Kocaeli deprem ivme kayıtlarının verilmesi halinde, yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerleri				
Rezervuarın Tam Dolu Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	26	0,99	7,01	0,11
Rezervuarın Boş Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	13	0,84	1,92	0,028

Deprem sonunda meydana gelen, rezervuarın boş olması durumunda, toplam yer değiştirmeye ait dağılımlar aşağıda şekilde gösterilmektedir (Şekil 11.3).



Şekil 11.3. Rezervuarın boş olması halinde, Kocaeli depremine ait yer değiştirme dağılımı

Rezervuar tam dolu olduğunda, barajda meydana gelen yer değiştirmeler, , boş olması durumuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Deprem kuvveti ile aynı yönde olan su yükü değerlerin artmasında etkili olmuştur. Su yükünün ortadan kalkması ile hem yer değiştirme değerleri hem de normal gerilmeler azalmıştır.



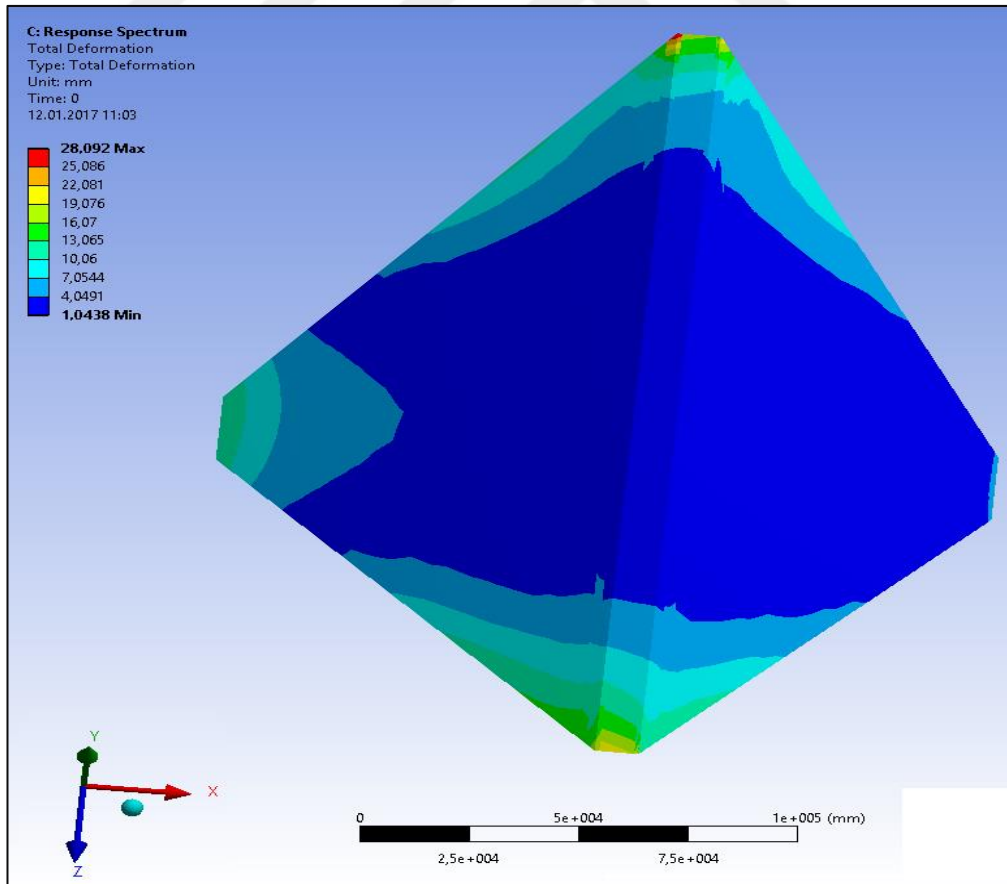
Şekil 11.4. Rezervuarın boş olduğunda, Kocaeli depremine ait gerilme dağılımı

Rezervuarın boş olması haline ait, Kocaeli depremine ait normal gerilme dağılımları yukarıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 11.4). Afyon- Dinar depremi, 6.0 şiddetinde olup, 1 Ekim 1995’ de meydana gelmiştir. Dinar depremi, kayıtlara göre 26 saniye sürmüştür. Dinar depremine ait yer değiştirme ve gerilme değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 11.7).

Çizelge 11.7. Afyon-Dinar depremine ait analiz sonuçları

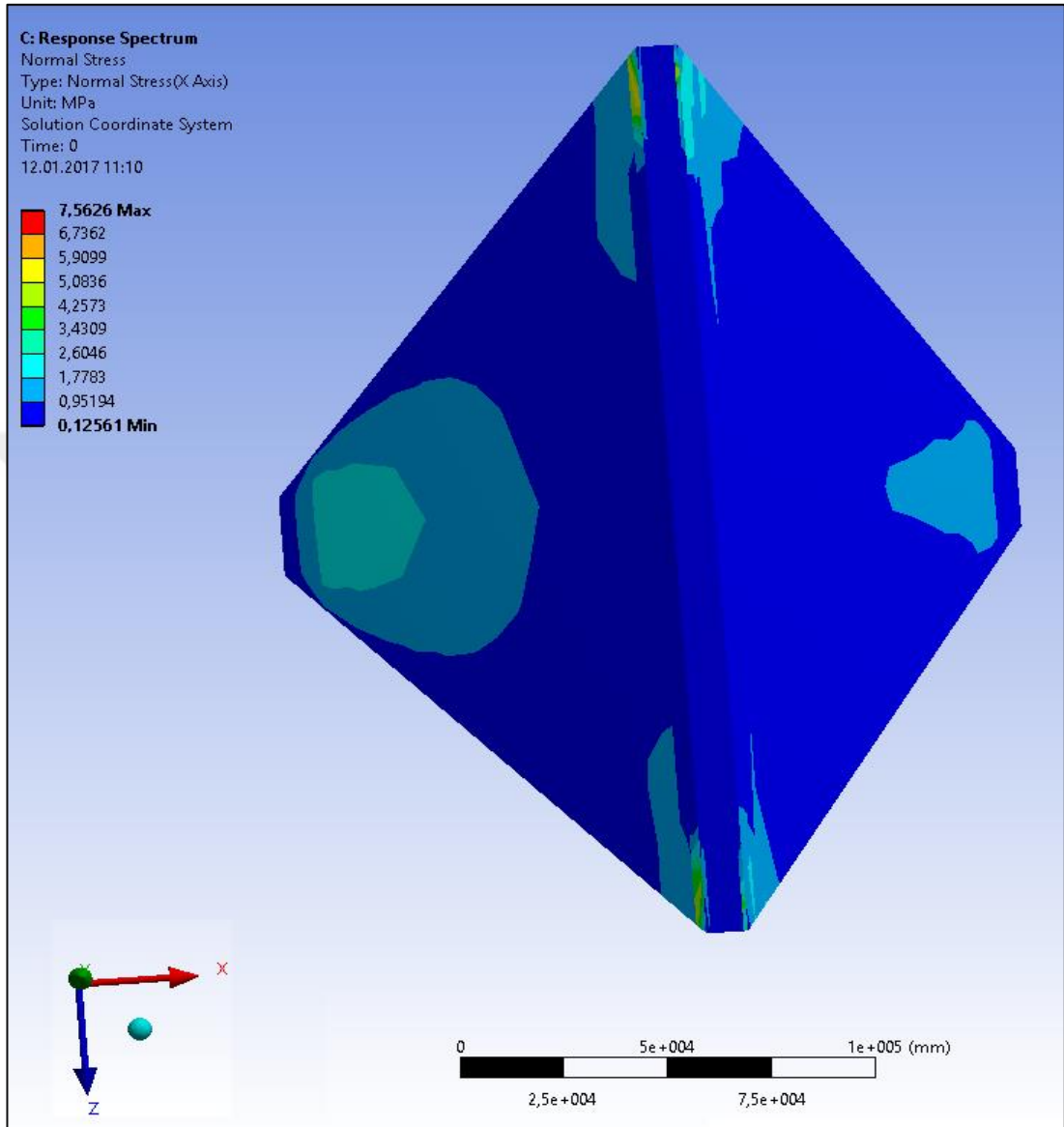
Afyon-Dinar deprem ivme kayıtlarının verilmesi halinde, yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerleri				
Rezervuarın Tam Dolu Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	28	1,04	7,56	0,12
Rezervuarın Boş Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	16	0,96	2,27	0,03

Afyon-Dinar depremine ait toplam yer değiştirmeler aşağıdaki şekilde verilmiştir. Rezervuarın tam dolu olması halinde, meydana gelen yer değiştirme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri şekilde görülmektedir (Şekil 11.4).



Şekil 11.5. Rezervuarın dolu olması halinde Afyon-Dinar depremine ait yer değiştirme dağılımı

Afyon-Dinar depremine ait, rezervuarın tam dolu olması halinde meydana gelen gerilme dağılımı aşağıda verilmiştir (Şekil 11.5).

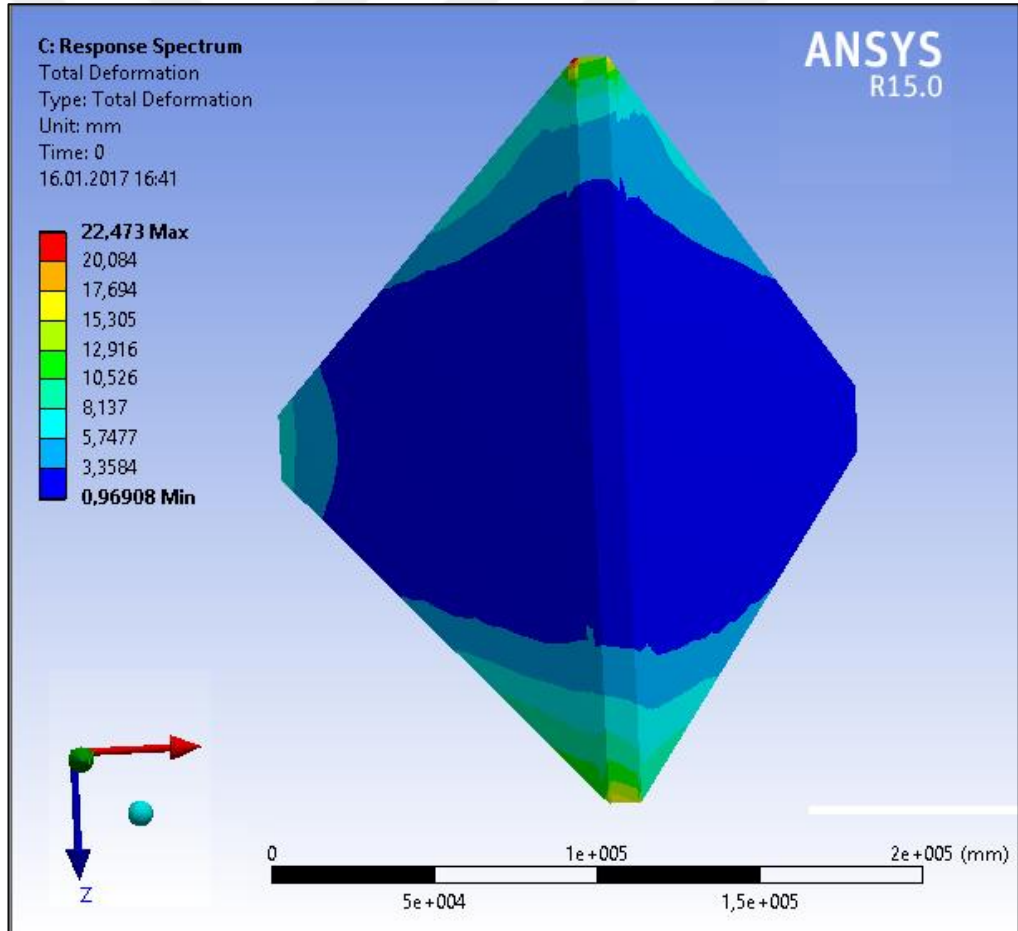


Şekil 11.6. Rezervuarın dolu olması halinde, Afyon-Dinar depremine ait gerilme dağılımı

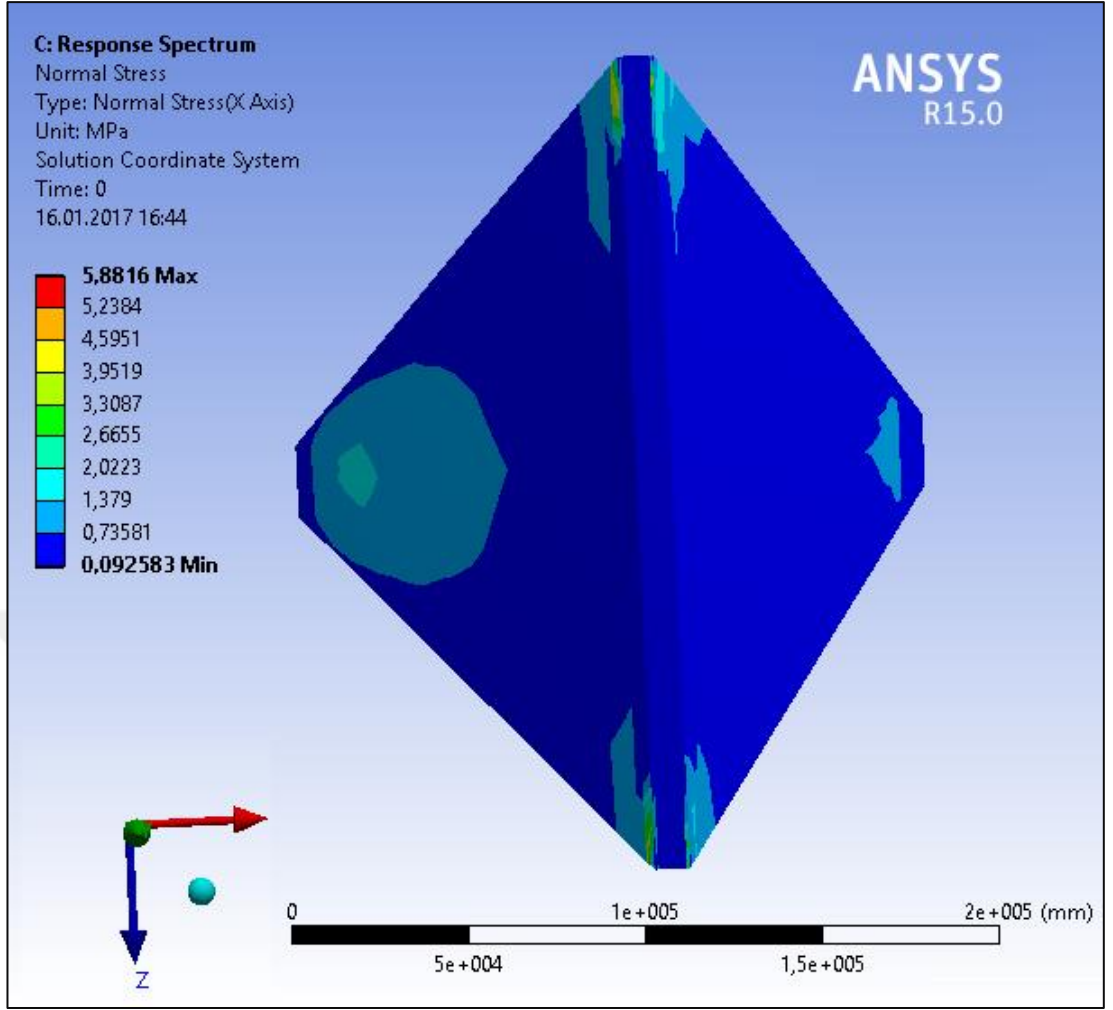
Baraj gövdesine verilen üçüncü deprem ivme kaydı verisi, Düzce depremine aittir. Düzce depremi 12 Kasım 1999'da, Kocaeli depreminin hemen ardından kaydedilmiştir. Bu depremi 7.2 şiddetinde meydana gelmiştir ve 30 saniye sürmüştür. Depreme ait, yer değiştirme ve gerilme değerleri Çizelge 11. 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. 8. Düzce depremine ait analiz sonuçları

Düzce depremi ivme kayıtlarının verilmesi halinde, yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerleri				
Rezervuarın Tam Dolu Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	22,47	0,96	5,88	0,09
Rezervuarın Boş Olması Halinde	δ_{max} (mm)	δ_{min} (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{min} (MPa)
	17,26	0,82	2,27	0,02



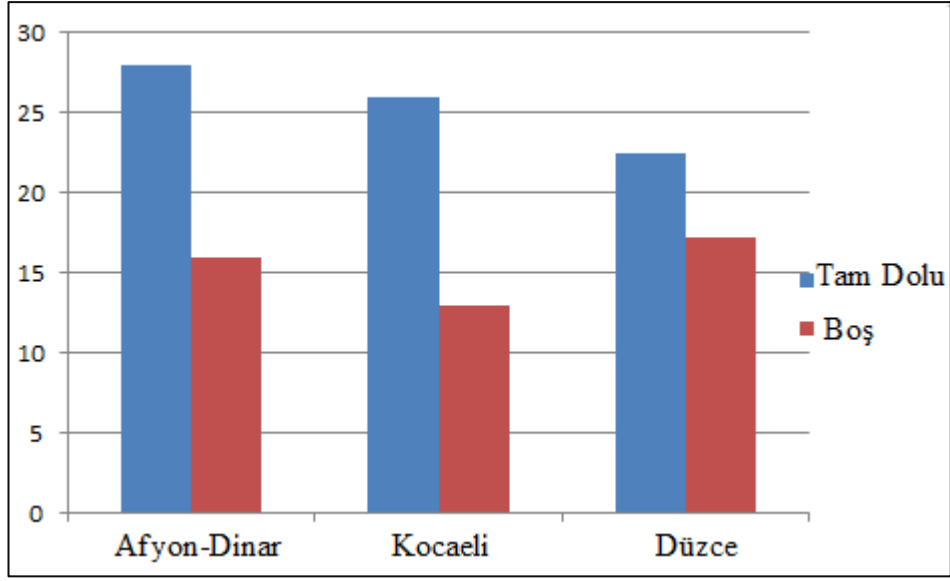
Şekil 11.7. Rezervuarın dolu olması halinde, Düzce depremine ait yer değiştirme dağılımı



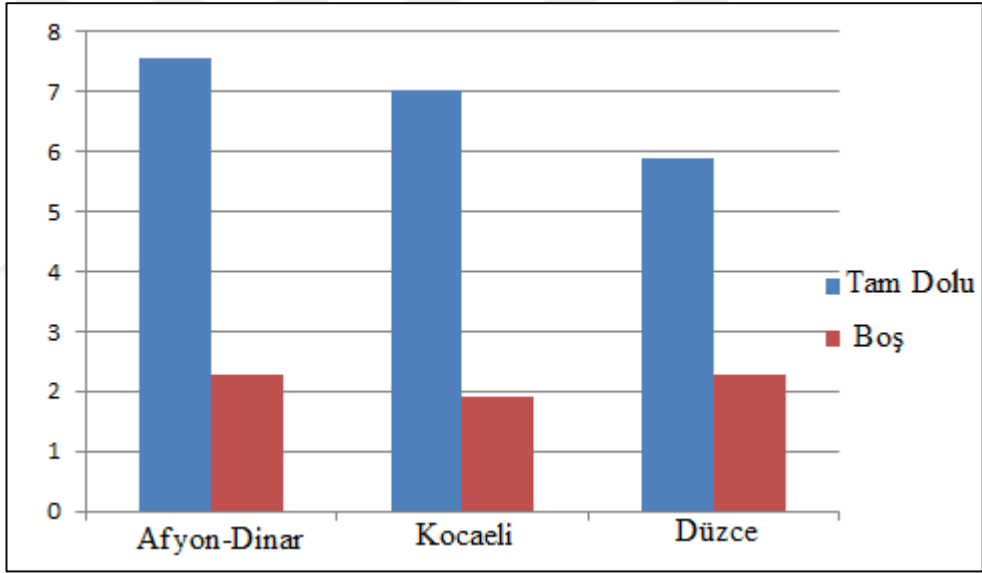
Şekil 11.8. Rezervuar dolu olduğunda, Düzce depremine ait gerilme dağılımı

Düzce depremine ait gerilme ve yer değiştirme değerleri, rezervuarın dolu olması hali için ANSYS ara yüzlerinden faydalanılarak, Şekil 11.7 ve Şekil 11.8'de verilmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda maksimum yer değiştirme ve gerilme değerlerinin, rezervuarın boş ve dolu olması hali için iki farklı sütun grafiği oluşturulmuştur (Şekil 11.9, Şekil 11.10).



Şekil 11.9. Maksimum yer değıştirme değęerlerine ait grafik



Şekil 11.10. Maksimum gerilme değęerlerine ait grafik

Grafiklerden de görüldüğü gibi, rezervuarın tam dolu olması halinde meydana gelen yer değıştirme ve gerilme değęerleri, rezervuarın boş olması durumuna göre daha fazla çıkmıştır.

Üç farklı depremden elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri şekiller ve tablolar ile verilmiştir. Elde edilen bu değerler, IBM SPSS Modeler 14.1 paket programında bulunan Yapay Sinir Ağları Modülü yardımıyla modellenmiştir.

Bu modellemeler yapılırken, R^2 determinasyon katsayı değeri performans kriteri olarak seçilmiştir. Bu katsayı, iki veya daha fazla değişken arasındaki fonksiyonel ilişki yeterli olmadığında kullanılır ve bu değişkenlerin arasındaki ilişkinin fonksiyonel olarak anlamlandırılmasını sağlar. Determinasyon katsayısının değerini belirlerken aşağıdaki denklemlerden faydalanılır;

$$R^2 = \frac{X_0 - X}{X_0} \quad (11.1)$$

$$X_0 = \sum_{i=1}^n (X_{i(\text{gerçek})} - X_{\text{ort}})^2 \quad (11.2)$$

$$X = \sum_{i=1}^n (X_{i(\text{gerçek})} - X_{i(\text{model})})^2 \quad (11.3)$$

X :Tahmin edilen X değişkeni için

X_{ort} :Ortalama hesaplanmış gerilme, deformasyon değeri

$X_{i(\text{gerçek})}$:Sırasıyla hesaplanmış gerilme, deformasyon değeri

$X_{i(\text{model})}$:Tahmin edilmiş gerilme, deformasyon değeri

Modelleme yapılırken, deprem şiddeti ve baraj tarafından tutulan su derinliğine bağlı kalınmıştır. şöyle ki ortaya iki model çıkmıştır:

1. Deformasyonların Tahmini: Deprem şiddeti ve derinliğe bağlı deformasyon değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. 2 girdisi ve 1 çıktısı olan bir modeldir. Bu model de kendi içinde;
 - a) Rezervuarın Tam Dolu olması Halinde: Rezervuarın tam dolu olması halinde, elde edilmiş veriler için uygulanmış bir modeldir. Bu veriler, modellendiğinde $R^2 = 0,235$ bulunmuştur. Elde edilen bu değer, 2 girdili, 6 nöron sayısı, 1 çıktılı yapıya sahip olarak (2,6,1) bulunmuştur.

- b) Rezervuarın Boş Olması Halinde: Rezervuarın boş olması halinde elde edilmiş verileri tahmin etmek için yapılmış modeldir. Determinasyon katsayısı değeri, $R^2 = 0,2149$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer, 2 girdili, 3 nöron sayısı, 1 çıktılı yapıya sahip olarak (2,3,1) bulunmuştur.
2. Gerilmelerin Tahmini: Deprem şiddeti ve derinliğe bağlı gerilme değerleri tahmin edilmiştir. Yine bu model de kendi içinde;
- a) Rezervuarın Tam Dolu Olması Halinde: Determinasyon katsayısı, $R^2 = 0,386$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer, 2 girdili, 3 nöron sayısı, 1 çıktılı yapıya sahip olarak (2,3,1) bulunmuştur.
- b) Rezervuarın Boş olması Halinde: Determinasyon katsayısı, $R^2 = 0,211$ 'dir. Elde edilen bu değer, 2 girdili, 6 nöron sayısı, 1 çıktılı yapıya sahip olarak (2,6,1) bulunmuştur.

Veri sayısı az olduğu için, determinasyon katsayısı değerleri (R^2), çok anlamlı değildir. Deprem ivme kayıtlarını elde ettiğimiz kaynaklar kısıtlı olduğu için, sadece elimizdeki deprem kayıtlarından faydalanılmıştır.

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Darıderesi-II Göleti'nin deprem etkisi altındaki gerilme ve yer değiştirmeleri, kabul edilebilir ve düşük olduğundan gövde kısmında tehlike arz etmeyeceği görülmüştür. Ancak barajda farklı kısımlarda kullanılan, farklı malzemelerin özelliklerinin değişkenlik göstereceğinden, barajlara bu tür dinamik yüklemeler ile analizlerin yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Darıderesi-II Göleti için, 3 farklı deprem ivmesi seçilmiştir; Düzce, Afyon Dinar ve Kocaeli Depremi. Bu deprem ivme kayıtlarından en yüksek olanı Kocaeli depremi olmakla birlikte, bu deprem ivme kaydı altında gözlenen yer değiştirme değeri 26 mm olarak saptanmıştır. Bu değer rezervuarın, tam dolu olduğu durumlarda ölçülmüştür. Göletin boş olduğu ve Kocaeli depremine maruz kaldığındaki yer değiştirme değeri ise 13 mm olarak saptanmıştır. Su yükünün ortadan kalkması, yer değiştirme değerini beklendiği şekilde düşürmüştür.

Afyon-Dinar depreminde ise yer değiştirme değeri, rezervuarın tam dolu olması halinde 28mm olarak ölçülmüştür. Rezervuarın boş olması durumunda ise bu değer 16mm'dir. Afyon-Dinar depreminde yer değiştirme değerinin, Kocaeli depremine göre daha büyük olması deprem süreleri ile ilişkilendirilebilir. Afyon-Dinar depremi 26 saniye sürerken, Kocaeli depremi 47 saniye sürmüştür. Deprem süresinin uzaması yapıda bir sönmülemeye sebep olmuş olabilir. Bu yüzden yer değiştirme değeri, Afyon-Dinar depremine göre daha küçük çıkmıştır. Düzce depreminde de benzer sonuçlar görülmüştür.

Bir yapının depremden etkileşimi, yapının bulunmuş olduğu zemin ve yapının sahip olduğu periyot gibi yapısal davranışı belirleyen, temel faktörler üzerinde şekillenir. Bu tez çalışmasında, oluşturulan sonlu elemanlar modeli, zemin tanımlamasından muaf olması sebebiyle depremsel davranışta belirleyici faktör periyot olmuştur. Yapılarda etkin periyot, . doğal titreşim durumu olması sebebiyle etkiyen depremler, pik değerleri, zamansal fonksiyonda yapının periyodu ile örtüştüğü durumlar maksimum yer değiştirme değerlerini meydana getirmiştir. Buna göre Afyon-Dinar depreminde, deprem pik ivme değeri Düzce ve Kocaeli depremlerine göre zaman fonksiyonunda başlangıca yakın seyretmiştir. Bu da maksimum yer değiştirme değerlerini etkilemiştir.

Barajlar gibi maliyetli ve büyük yapılar yapılırken, yapılacağı temel zeminin yapısının iyi bir şekilde irdelenmesi gerekir. Bölgede daha önce meydana gelen depremler, zemin hareketleri doğru bir biçimde yorumlanmalıdır. Bu yorumlamalar doğru bir şekilde analiz edildikten sonra, baraj modelleri üstünde dinamik analizler yapılmalıdır. Dinamik analizler, deneysel çalışmalar ile desteklenmelidir. Baraj gövdesinde kullanılan malzemelerin stabilitesinin artırılması için sıkıştırma deneyleri yapıp, buna bağlı malzeme değişiklikleri öngörülebilir.

Barajlara ait, deprem verilerinin doğru bir şekilde baraj gövdesine aktarılması ve karşılaşılabilecek sorunların büyüklüğünün bilinmesi anlamında çok önemlidir. Bu sonuçların gerçeğe yakın bir şekilde elde edilmesinde sonlu elemanlar yönteminin etkisi büyüktür.

Üç farklı deprem ivme kaydı için elde edilmiş, yer değiştirme ve gerilme değerleri için iki farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken, barajın dolu ve boş olması hali de göz önünde bulundurulmuştur. Determinasyon katsayıları, verilerin az olması sebebiyle çok anlamlı çıkmamakla birlikte, oluşturulan modeller hakkında bize fikir vermiştir.

KAYNAKLAR

- Ağırlioğlu, N., 2004. Baraj Planlama ve Tasarım I. Su Vakfı yayınları, 246s, İstanbul.
- Ağırlioğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarım II. Su Vakfı yayınları, 259s, İstanbul.
- Ağırlioğlu, N., 2011. Baraj Güvenliği. Beta Yayınevi, 275s, İstanbul.
- Ahmadi, M.T., İzadinia, M., Bachman, H., 2001. A Discrete Crack Joint Model for Nonlinear Dynamic Analysis of Concrete Arch Dam. Computer and Structures, 403-420.
- Akrami, S.A., Nourani, V., Hakim, S.J.S., 2014. Development of Nonlinear Model Based on Wavelet-ANFIS for Rainfall Forecasting at Klang Gates Dam. Water Resources Management, 2999-3018.
- Athani, S.S., Solanki, C.H., Dodagoudar, G.R., 2015. Seepage and Stability Analyses of Earth Dam Using Finite Element Method, Aquatic Procedia, 876-883.
- Batmaz, S., Ergeneman, I., Derinöz, N., 2003. Dolgu Barajlarda Aletlendirme ve Baraj Davranışının İzlenmesi. I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 22-26 Eylül, İzmir, 319-330.
- Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A.C., 2011. Finite Element Model Updating Effects on Nonlinear Seismic Response of Arch Dam-Reservoir-Foundation Systems. Finite Elements in Analysis and Design, 85-97.
- Berkün, M., 2005. Su Kaynakları Mühendisliği. Birsen Yayınevi, 439s, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A., Hacıfendioğlu, K., 2003. Toprak Dolgu Barajların Drucker-Prager Yöntemi ile Lineer Olmayan Dinamik Analizi. İmo Teknik Dergi, 2803-2819.
- Ehsani, N., Fekete, B.M., Vörösmarty, C.J., Tessler, Z.D., 2016. A Neural Network Based General Reservoir Operation Scheme. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 1151-1166.
- Erkek, C., Ağırlioğlu, N., 2010. Su Kaynakları Mühendisliği. Beta Yayınevi, 395s, İstanbul.
- Gedik, N., 2008. Su Kaynakları Ders Notu. Erişim Tarihi: 03.11.2015. <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/suyapilari/barajlar.pdf>.
- Güngör, M., Fırat, M., 2003. Kemer Barajların Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 22-26 Eylül, İzmir, 659-667.

- Helvacı, D., 2009. Dim Barajının Dinamik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Isparta.
- Hooshyaripor, F., Tahershamsi, A., Behzadian, K., 2015. Estimation of Peak Outflow in Dam Failure Using Neural Network Approach under Uncertainty Analysis. *Water Resources*, 721-734.
- Kang, B., Kim, Y.D., Lee, J.M., Kim, S.J., 2015. Hydro-environmental Runoff Projection Under GCM Scenario Downscaled by Artificial Neural Network in the Namgang Dam Watershed, Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 434-445.
- Kartal, M.E., Bayraktar, A., 2010. Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Güvenilirlik Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, Trabzon.
- Kayıkçı, N.Ç., 2003. Sonlu Elemanlar Metoduyla Karacaören I Toprak Dolgu Barajında Gerilme ve Deplasmanların Hesaplanması. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-17 Nisan, İstanbul, 210-216.
- Keskin, M.E., Korkmaz, K.A., Çarhoğlu, A.I., Helvacı, D., 2009. Dim Barajının Deprem Güvenliğinin Dinamik Analizlerle İncelenmesi. *Tübav Bilim Dergisi*, 128-137.
- Okumuş, A., Demirpençe, H., 2011. Sır Barajının Farklı Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarına ve Rezervuar Su Seviyelerine göre Sap2000 Programı ile Dinamik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Isparta.
- Lee, S.P., Chen, Y.C., Shieh, C.L., Kuo, Y.S., 2014. Using Real-Time Abnormal Hydrology Observations to Identify a River Blockage Event Resulted from a Natural Dam. *Landslides*, 1007-1017.
- Logan, D.L., 2007. *A First Course in The Finite Element Method*. Thomson, 799s, Canada.
- Okkan, U., Yıldırım Dalkılıç, H., 2011. Reservoir Inflow Modeling with Artificial Neural Networks: The Case of Kemer Dam in Turkey. *Web of Science*, 3110-3119.
- Pasbani-Khiavi, M., Gharabaghi, A.R.M., Abedi, K., 2008. Dam-Reservoir Interaction Analysis Using Finite Element Model. *The 14 th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, Beijing, China.
- Renkun, W., Gaoxiang, Z.W.X.L.M., 2002. Finite Element Analysis of the Xiluodu Arch Dam. Erişim Tarihi: 07.04.2016. <http://ansoft.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/confpaper/2002-Int-ANSYS-Conf-36.PDF>

- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., 2011. Finite Element Model of Berke Arch Dam Using Operational Modal Testing. *Journal of Vibration and Control*, 1065-1079.
- Taşçı, L., Yıldırım, B., Gökalp E., 2004. Kaya Dolgu Barajda Deformasyonların Jeodezik ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 205-219.
- Tayfur, G., Swiatek D., Wita, A., Singh, V.P., 2005. Finite Element Method and Artificial Neural Network Models for Flow through Jeziorsko Earthfill Dam in Poland. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Taylan, E.D., 2008. Akdeniz Bölgesindeki Akımların Tahmini için Akıllı Sistemlerin Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 168s, Isparta.
- Tosun, H., 2002. Dolgu Baraj Deprenselliği ve Tasarım Esasları. DSİ Yayınları, 208s, Ankara.
- Tosun, H., Turköz, M., Savaş, H., İğdirsel, E., 2006. Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlarda Sonlu Eleman Yöntemi ile Deformasyon ve Gerilme Analizleri ve Kürtün Barajı Uygulaması. *Baraj ve Deprem Semineri*, 11-12 Mayıs, Eskişehir.
- Uzel, T., 1991. Barajların Güvenliği. Yıldız Üniversitesi Yayınları, 256s, İstanbul.
- Yenigün, K., Gerger, R., 1998. Gap Barajlarında Risk Faktörlerinin İncelenmesi. *Gap II Mühendislik Kongresi*, 21-23 Mayıs, Şanlıurfa, 177-186.
- Yenigün, K., Yüzgöl, F., 2013. Baraj Güvenliği Açısından Tip Seçimi: ÖYBK Barajlarda Etken Faktörler ve İlısu Barajı Örneği . 3. Bursa Uluslararası Su kongresi ve Sergisi, 22-24 Mart, Bursa, 555-574.
- Yenigün, K., Yüzgöl, F., 2014. Baraj Elemanlarının Tasarım ve Yapım Aşamasında Baraj Güvenliği Kıstasıyla İrdelenmesi 'İlısu Barajı Örneği'. *IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, 9-11 Ekim, Elazığ, 469-489.
- Yücel, P., İşıliyen, K., Tekin, E., Akgün, İ., Ünsal, M., 2013. Kahramanmaraş'taki Barajlar ve Kullanım Amaçları. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 109-118.
- Zienkiewicz, O.C., 2001. *The Finite Element Method*. Tata Mcgraw Hill, 787s, England.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuba AYDIN
Doğum Yeri ve Yılı : Dalaman, 1990
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : tubaaydin@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Muğla Anadolu Öğretmen Lisesi
2004 - 2008
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
2009 - 2013

Yayımları

Keskin, M.E., Taylan, E.D., Aydın, T., 2015. Dalaman Çayı Akımlarının Yıllık Zaman Serileri İle Modellenmesi. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, 8-10 Ekim 2015, Şanlıurfa, 573-581.