

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

**DİM BARAJININ
DİNAMİK ANALİZİ**

Deniz HELVACI

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Erol KESKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ISPARTA - 2009**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
oybirliği/oyçokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

Kurumu: SDÜ.Tek.Eğt.Fak.Yapı Eğt.Böl.

Üye : Prof.Dr. M.Erol KESKİN (Danışman)

Kurumu: SDÜ.Müh.Mim.Fak.İnş.Müh.Böl.

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mesut ÇİMEN

Kurumu: SDÜ.Müh.Mim.Fak.İnş.Müh.Böl.

ONAY

Bu tez 26/01/2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../2009

Prof.Dr. Mustafa KUŞCU
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. BARAJLARA GENEL BAKIŞ.....	4
2.1. Barajların Amaçlarına Göre Sınıflandırılması.....	5
2.2. Barajların Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması.....	6
2.3. Barajların Gövde Tipine Göre Sınıflandırılması.....	6
2.3.1. Beton Barajlar.....	7
2.3.1.1. Beton Ağırlık Barajlar.....	7
2.3.1.2. Payandalı Beton Barajlar.....	7
2.3.1.3. Silindirele Sıkıştırılmış Beton Barajlar.....	8
2.3.1.4. Beton Kemer Baraj.....	8
2.3.2. Dolgu Barajlar.....	9
2.3.2.1. Homojen Gövdeli Barajlar.....	9
2.3.2.2. Zonlu Dolgu Barajlar.....	9
2.3.2.3. Toprak Dolgu Gövdeler.....	11
2.3.2.4. Kaya Dolgu Gövdeler.....	12
2.3.2.5. Karışık Dolgu Gövdeler.....	12
2.3.2.6. Ön Yüzü (Memba) Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar.....	13
2.4. Barajlara Etkileyen Dinamik ve Statik Kuvvetler.....	13
2.4.1. Barajlara Etkiyen Statik Kuvvetler.....	14
2.4.1.1. Barajın Ağırlığı.....	14
2.4.1.2. Hidrostatik basınç.....	15
2.4.1.3. Temel Gerilmeleri.....	16
2.4.1.4. Rüsubat Basıncı.....	18
2.4.1.5. Buz İtkisi.....	19

2.4.2. Barajlara Etkiyen Dinamik Kuvvetler.....	20
2.4.2.1. Deprem Kuvvetleri ve Hidrodinamik Basınç.....	20
2.4.2.2. Rezervuardaki Dalgalandıran Doğan Etki.....	21
2.4.2.3. Altıtan Kaldırma Kuvveti.....	21
2.4.2.4. Suyun Mansap Kanalından Geçerken Tabana Yaptığı Sürüklenme Etkisi.....	22
3. ÖN YÜZÜ BETON KAPLI KAYA DOLGU BARAJLAR.....	23
3.1. Tasarım Esasları.....	24
3.1.1. Baraj Kreti Tasarımı.....	25
3.1.1.1. Kret Genişliği.....	26
3.1.2. Oturma Payı.....	27
3.1.3. Baraj Zonlarının Tasarımı.....	27
3.1.3.1. 1A – Kohezyonsuz İnce Dane Zonu.....	27
3.1.3.2. 1B – Zayıf Dolgu Zonu.....	28
3.1.3.3. 2A – Çevresel Derz Filtre Zonu.....	28
3.1.3.4. 2B – Filtre/Yastık Zonu.....	28
3.1.3.5. 3A – Tranzisyon Zonu.....	29
3.1.3.6. 3B – Kumlu Çakıl Dolgu.....	29
3.1.3.7. 3C – Drenaj Zonu.....	29
3.1.3.8. 3D – Mansap Koruma Zonu.....	30
3.1.4. Ön Yüzey Beton Kaplaması.....	30
3.1.4.1. Beton Kaplama Kalınlığı.....	31
3.1.4.2. Donatı Oranları.....	31
3.1.4.3. Panel Genişliği.....	32
3.1.4.4. Düşey Derz.....	32
3.1.4.5. Yatay İnşaat Derzi.....	33
3.1.4.6. Çevresel Derz.....	33
3.1.5. Topuk Plağı.....	36
3.1.5.1. Topuk Plağı Genişliği.....	36
3.1.5.2. Topuk Plağı Kalınlığı.....	37
3.1.5.3. Topuk Plağı Donatı Oranları.....	37
3.1.6. Yerinde Dökme Beton Bordür (Curb yöntemi).....	37
3.1.7. Baraj Şevlerinin Belirlenmesi.....	39

4. KAYNAK ÖZETLERİ.....	40
5. MATERYAL VE METOT.....	45
5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	45
5.1.1. Yapısal İdealleştirme.....	47
5.1.1.1. Dörtgen Düzlem Elemanların Rijitlik Matrisi.....	48
5.1.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması.....	50
5.1.2.1. Dolgu Barajların Üç Boyutlu Sonlu Eleman Modeli.....	52
6. BULGULAR VE ANALİZLER.....	54
6.1. Dim Barajının Özellikleri.....	54
6.1.1. Projenin Yeri.....	54
6.1.2. Proje Karakteristikleri.....	54
6.2. Dinamik Analize Giriş.....	59
6.2.1. Yerdeğiştirmelerin İncelenmesi.....	68
6.2.2. Gerilme Değerlerinin İncelenmesi.....	71
6.2.2.1. S_{11} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	72
6.2.2.2. S_{22} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	73
6.2.2.3. S_{33} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	74
6.2.2.4. S_{12} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	75
6.2.2.5. S_{13} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	76
6.2.2.6. S_{23} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi.....	77
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	91
8. KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	97

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİM BARAJININ DİNAMİK ANALİZİ

Deniz HELVACI

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Jüri: Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT
Prof. Dr. M. Erol KESKİN (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Mesut ÇİMEN

Ülkemizde en büyük inşaat yatırımlarından biri olan barajların depreme dayanıklı olarak projelendirilmesi hem güvenlik açısından hem de ekonomik açıdan önem önemlidir. Bu tez çalışmasında ülkemizdeki mevcut barajların deprem davranışının irdelenmesi amacıyla ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim Barajı ele alınmıştır. 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 yöntemi ile 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 olması durumuna göre barajın deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiş olup, farklı deprem özelliklerinin etkilerini saptamak için otuz iki adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Dim Barajına uygulanan deprem kuvvetleri ile elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri düşük olduğundan bu değerlerin baraj gövdesi üzerinde tehlikeli sonuçlara sebep olacak şekil değiştirmelere yol açmayacağı, ancak sürekli malzemedeki değişimin gözlenmesi gerektiği ve buna göre analizlerin belli bir periyotta baraj güvenliği için yapılması gerekliliği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dim Barajı, Sonlu Elemanlar Metodu, Yerdeğiştirme, Gerilme

2009, 97 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

DYNAMIC ANALYSIS OF DİM DAM

Deniz HELVACI

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences

Civil Engineering Department

Thesis Committee: Assoc. Prof. Celalettin BAŞYİĞİT
Prof. Dr. M. Erol KESKİN (Supervisor)
Asst. Prof. Mesut ÇİMEN

In terms of both safety and economical reasons, it is important to design earthquake resistant dams, which form one of the largest part of structure investment. In this thesis, dynamic analysis of Dim dam, which is concrete-faced rockfill dam, was done by using time history process. In addition, stresses and displacements of Dim dam was also evaluated. To determine the structural behavior of dams under the effect of earthquake, it is necessary to model the dam mathematical similar to original dam. Finite element model, in which features of materials and general conditions of geometry are considered, was chosen. Dim dam was showed 3-D by using SAP 2000 program. Dynamic analysis of Dim dam was done according to its empty condition. To investigate the behavior of Dim dam, 32 earthquakes was used. As the displacement and stress values of earthquake pressures applied to Dim dam are low, it has been observed that these values will not cause any deformations that effect body of dam unsafely. However, a constant investigation on the materials is very important to keep dams in safe for future investigations.

Key Words: Dim Dam, Finite Element Method, Displacement, Stress

2009, 97 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için beni yönlendiren değerli fikirleri ve deneyimleriyle bana yol gösteren ve yardımcı olan Danışman Hocam Sayın Prof.Dr. Mustafa Erol KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Hocalarım Sayın Yrd.Doç.Dr. Armağan KORKMAZ ve Sayın Arş.Gör. Işıl ÇARHOĞLU'na teşekkür ederim.

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

Deniz HELVACI
ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Beton ağırlık barajına etkiyen ağırlık, hidrostatik ve alttan kaldırma kuvvetleri.....	15
Şekil 2.2. Birim genişlikteki baraj kesiti için gerilmeler.....	16
Şekil 5.1. Bir sürekli ortam ve sonlu eleman ağı.....	46
Şekil 5.2. Sonlu eleman modeli.....	47
Şekil 5.3. Dörtgen düzlem eleman.....	49
Şekil 5.4. Dolgu barajların tipik üç boyutlu sonlu eleman modeli.....	52
Şekil 6.1. Dim Barajının talvegdeki enkesiti (I).....	56
Şekil 6.2. Dim Barajının talvegdeki enkesiti (II).....	57
Şekil 6.3. Dim Barajının kretinden memba şevinin görünümü.....	57
Şekil 6.4. Dim Barajının kretinden mansap şevinin görünümü.....	58
Şekil 6.5. Dim Barajının memba tarafından baraj gövdesinin görünümü.....	58
Şekil 6.6. Dim Barajının mansap tarafından baraj gövdesi ve dolusavağın görünümü.....	59
Şekil 6.7. Dim Barajının ağ modeli.....	61
Şekil 6.8. Dim Barajının üç boyutlu görünümü.....	62
Şekil 6.9. Dim Barajının genel görünümü.....	62
Şekil 6.10. Dim Barajının plan görünümü.....	63
Şekil 6.11. 8 düğüm noktasından oluşmuş üç boyutlu eleman.....	71
Şekil 6.12. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	78
Şekil 6.13. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	79
Şekil 6.14. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	79
Şekil 6.15. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	80
Şekil 6.16. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	80
Şekil 6.17. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlemin	

yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	81
Şekil 6.18. S_{11} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	81
Şekil 6.19. S_{11} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	82
Şekil 6.20. S_{11} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	82
Şekil 6.21. S_{22} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	83
Şekil 6.22. S_{22} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	83
Şekil 6.23. S_{22} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	84
Şekil 6.24. S_{33} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	84
Şekil 6.25. S_{33} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	85
Şekil 6.26. S_{33} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	85
Şekil 6.27. S_{12} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	86
Şekil 6.28. S_{12} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	86
Şekil 6.29. S_{12} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	87
Şekil 6.30. S_{13} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	87
Şekil 6.31. S_{13} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	88
Şekil 6.32. S_{13} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	88
Şekil 6.33. S_{23} gerilme değeri ile depremlemler odak uzaklıkları arasındaki ilişki.....	89
Şekil 6.34. S_{23} gerilme değeri ile depremlemler moment büyüklükleri arasındaki ilişki.....	89
Şekil 6.35. S_{23} gerilme değeri ile depremlemler yer ivmeleri arasındaki ilişki.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Lane katsayısının değerleri.....	22
Çizelge 3.1. Topuk plağı genişliği için temel kriterler.....	36
Çizelge 3.2. Kayma dairesi analizinde kabul edilen emniyet katsayı değerleri.....	39
Çizelge 6.1. Dim barajının gövde karakteristik değerleri.....	54
Çizelge 6.2. Dim barajına ait rezervuar bilgileri.....	55
Çizelge 6.3. Dim barajının dolusavak karakteristik değerleri.....	55
Çizelge 6.4. Dim barajının derivasyon ve dipsavağının karakteristik değerleri.....	55
Çizelge 6.5. Dim baraja ait sulama sistemi bilgileri.....	56
Çizelge 6.6. Dim barajına ait hidrolojik bilgiler.....	56
Çizelge 6.7. Dim barajına ait maliyet bilgileri.....	56
Çizelge 6.8. Baraj gövdesinde kullanılan malzeme özellikleri.....	60
Çizelge 6.9. Analizde kullanılan depremler ve özellikleri.....	66
Çizelge 6.10. Depremlerin meydana getirdiği x ve y yönündeki yerdeğiştirmeler....	67

SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ

α	Rayleigh Sönüm Sabiti
α_j	j'nci modun katılım oranı
β_c	Basınç durumunda kesme gerilmesi transfer sabiti
β_m	Bir malzeme sabiti
γ	Suyun özgül ağırlığı
γ_r	Rüsubatın suya batmış özgül ağırlığı
ν	Kinematik viskozite
ν	Poisson oranı
θ	Faz açısı
φ	İçsel sürtünme açısı
φ_f	Genleşme sabiti
ϕ	İncelenen noktadaki eğrinin teğetinin yatayla yaptığı açı
κ	Barajın birim hacim kütlesi
Δ	80 cal/gr olan bir parametre
ρ	Suyun kütle yoğunluğu
ρ_c	Çekme için pozisyon vektörü
ρ_t	Basınç için pozisyon vektörü
$\rho(z)$	Hidrodinamik basınç dağılımı
σ_m	Ortalama gerilme
$\sigma_{xx} \sigma_{yy} \sigma_{xy}$	Gerilme bileşenleri
τ	Suyun mansap kanalından geçerken tabana yaptığı sürüklenme etkisi
χ	Beton yoğunluğu
ω_i	i'nci modun açısal frekansı
ω_j	j'nci modun açısal frekansı
ω_n	Barajın doğal frekansları
A	Taban basınç parametresi
ΣA	Ağırlık kuvvetleri bileşkesi
A_n, B_n	Başlangıç şartlarına bağlı genlikler
A_o	Barajın taban alanı

A_x	Tabanının ağırlık merkezine göre düşey kuvvetlerin momenti
a	İvme
a_{ij}	i 'nci deformasyonun j 'nci moddaki ivmesi
B	Taban genişliği
$B.F$	Birim fiyat
$\{B\}$	Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi
B_i	Buz itkisi
C	Lane Katsayısı
C	Malzeme Kohezyonu
$[C]$	Sönüm Matrisi
c	Deprem ivmesinin yer çekim ivmesine oranı
c_i	i 'nci modun sönüm vektörü
D	Göz önüne alınan kesitte barajın yüksekliği
D	Ortamı oluşturan danelerin çapı
$\{D\}$	Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi
$[D]$	Eleman malzeme özelliklerini gösteren matris
D	Suyun derinliği
E	Elastisite modülü
e	Eksantriste
e_m	Ortalama şekil değiştirme
e_v	Hacimsel şekil değiştirme
F	Uygulanan kuvvet
F	Akma fonksiyonu
F_u	Kırılma fonksiyonu
f	Feç uzunluğu
G	Kayma modülü
GS	Güvenlik sayısı
g	Yer çekim ivmesi
$g_i(t)$	i 'ci modun zamana bağlı yer çekim ivmesi
H	Kabartıcı gövdenin memba su yüzeyi ile mansap su yüzeyi farkı
H_i	İncelenen noktadaki toplam hidrolik yük
H_r	Rezervuar derinliği

h	Yükseklik
η	0,99 gr/cm ³ olan bir parametre
h_o	Suyun sakin su yüzeyi üzerindeki ortalama yüksekliği
h_r	Rüsubatın kalınlığı
I	Baraj tabanının ağırlık merkezine göre atalet momenti
i	Hidrodinamik kuvvet
$[J]$	Jakobien matrisi
j	Eğim
K	Buzun 0 °C'deki ısı kondüktivitesi
K	Bulk modülü
$[K]$	Rijitlik matrisi
k	Geçirimsizlik katsayısı
k	Sismik katsayı
k_h	Yatay doğrultudaki geçirimlilik katsayısı
k_v	Düşey doğrultudaki geçirimlilik katsayısı
L	Suyun geçtiği mesafe
M	Barajın kütlesi
$[M]$	Sistem kütle matrisi
$[M]_{el}$	Bir elemanın kütle matrisi
$[N]$	Her eleman için biçim fonksiyon matrisi
P	Hidrostatik basınç kuvveti
P_1	Baraj memba topuğunda oluşan düşey basınç
P_2	Baraj mansap topuğunda oluşan düşey basınç
P_r	Rüsubatın yatay basıncı
P_x	Baraj tabanının ağırlık merkezine göre yatay kuvvetlerin momenti
p	Taban su basıncı
p_i	Suyun sıçratma ucundan fırlarken tabana yaptığı etki
Q	Debi
q	Sızım debisi
R	Hidrolik yarıçap
T	Isı
T_1, T_2, T_3	Barajın doğal periyotları

T_d	Barajın düşey periyodu
t	Zaman
U	Ortalama hız
U_r	Rüzgar hızı
U_s	Suyun hızı
V_s	Kayma dalgası yayılma hızı
W	Suyun yoğunluğu
w	Barajın ağırlığı
X	Yer değiştirme
X_g	Zemin ivmesi
$\{X\}$	Düğüm noktası yer değiştirme vektörü
(x,y)	Kartezyen koordinatları
y	Ağırlık merkezinin gerilmenin hesaplandığı noktaya olan uzaklığı
y'	Baraj memba topuğunun ağırlık merkezine olan mesafesi
y''	Baraj mansap topuğunun ağırlık merkezine olan mesafesi
z_a	Dalga yüksekliği
z_b	Baraj kretinden başlayan derinlik

1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde, yapılmış barajların birçoğu kil çekirdekli kaya/toprak dolgu barajlardır. Ancak bazı durumlarda kil çekirdek temininin ekonomik mesafede olmamasından dolayı hem çevresel hem de sosyal problem doğurması nedeniyle, son yıllarda en kesitlerinde kil kullanılmayan tiplere doğru bir değişim olmuştur. Bu anlamda günümüz koşullarında teknik ve ekonomik yapılabilirliği birçok DSİ projesinde de çalışılan ön yüzü beton kaplı kum-çakıl/kaya dolgu tipi barajlar düşünülmektedir. Ülkemizde bu baraj tipinde işletmede olan bir tane, inşa halinde olan ise dört tane baraj mevcuttur.

Dünyada ve ülkemizde meydana gelen depremlerden sonra mevcut yapıların deprem dayanımlarının incelenmesi önemli bir hal almıştır. Özellikle yapıların deprem dayanımları da ekonomik açıdan çok önemlidir. Barajlar da mevcut yapılar ve özellikli yapılar içinde önemli bir yerdedir. Barajların deprem dayanımı ülkemizde de oldukça önemlidir. Özellikle son yıllarda meydana gelen depremler ile bu durum daha da önemli bir hal almıştır. Tez çalışması kapsamında ülkemizdeki barajların depreme dayanıklılığı ve mevcut durumu ile ilgili detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Dim barajı ele alınarak, Dim barajının dinamik analizi yapılmış ve mevcut durumu değerlendirilmiştir.

Dim barajı inşa halinde olan memba yüzü beton kaplı kaya dolgu barajdır. Dim barajı HES ve sulaması, Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya ili, Alanya ilçesi sınırları içerisinde, Depolama tesisi Dim çayı üzerinde Alanya ilçesinin 5 km kuzey doğusunda, Alanya-Mersin karayolundan 8 km içerisinde, Kuz yaka mevkiindedir. Proje ile 5 312 ha sahanın sulanması amaçlanmıştır. Ayrıca proje yılda 122.89 GWh enerji üretmek ve ilerde Alanya ilçesi ve turizm tesislerinin içme ve kullanma suyu olarak 47.30 hm³ suyu karşılamak üzere hazırlanmıştır. Dim barajının amacı sulama, enerji ve içme suyu ihtiyacını karşılamaktır. Talveg kotu 50.00 m, temel kotu 39.00 m, kret kotu 173.50 m, kret uzunluğu 365.00 m, kret genişliği 7.80 m, talvegden yüksekliği 123.50 m, temelden yüksekliği 134.50 m, memba ve mansap şevleri

1/1.40-1/1.50, gövde dolgu hacmi ise 5.19 hm^3 tür.

Sıkışabilen temel zeminleri geçirimli olsun veya olmasın baraj yüksekliği 15 m'yi geçtiğinde temel hareketlerini izleyebilen ve şekil değiştirmeye elverişli olan dolgu tipini seçmek gereklidir. Dolgu barajlar dolgu malzemesinin yakın bir yerde bulunması durumunda kemerli barajdan daha ekonomiktir. Dolgu barajların deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesine 1964 Alaska ve 1971 San Fernando depremlerinden sonra büyük önem verilmiştir.

Depreme dayanıklı bir baraj inşa sırasında ve sonrasında oluşacak yerdeğiştirme ve gerilmelerin yanı sıra herhangi bir depremde meydana gelecek yerdeğiştirme ve gerilmelerin hesaplanması gereklidir. Elde edilecek yerdeğiştirmeler ve gerilmeler dolgu malzemesinin dinamik özelliklerine ve depremin özelliklerine bağlıdır (Mejia, ve Seed, 1982). Seçilen bölgede meydana gelen depremlerden elde edilen deprem kayıtları gelecekte oluşabilecek herhangi bir depremin özelliklerini değerlendirmesine olanak tanır (Dumanoglu ve Traveyan, 1982).

M. Leclerc vd. (2003), CADAM programında beton ağırlık barajlarını modelleyerek farklı yük durumlarının, farklı kırılma kriterlerini ve kaldırma basınçlarını kullanarak statik ve sismik analizlerini yapmışlardır. J. Zhang vd. (2001), tarafından barajlarda Rijit-Spring Element Metodu kullanılarak statik ve dinamik stabilite analizleri yapılmış ve barajların temel ve şevlerinin statik ve dinamik güvenlik katsayıları bulunmuştur. Ayrıca farklı yön ve yerlerden gelen sismik ve dinamik etkiler modellenip hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda bazı dolgu barajlarda elde edilen deprem dataları gösteriyor ki zemin ivmesi baraj yüksekliğince doğru orantılı olarak artmaktadır. Örneğin, Amerika'da Cachuma barajında 1957 yılında elde edilen deprem dataları talveg kotuna yakın yerdeki 0.01 g kadarlık bir ivmenin kret kotuna yakın yerde 0.025 g'ye yükseldiği gözlenmiştir (Martin 1967). Böylece dolgu barajların deprem sırasında rijit bir yapı gibi değil, şekil değiştirmeye uğrayan esnek yapı gibi davrandıkları söylenebilir. Bunların yanında malzemenin özellikleri (elastik, fiziksel ve kimyasal), doğal periyodu depreme karşı davranışta rol oynar (Tezcan, 1972).

Bazı çalışmalarda çeşitli parametreleri değiştirerek ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda beton kalınlığını tespit etme, betonun kret seviyesindeki ve alt seviyedeki gerilmeleri, sismik hareketleri bulma yöntemleri gösterilmiştir (Uddin, 1999).

Drene edilmemiş zemin kuvvet parametrelerini kullanan kayan blok yöntemi yardımıyla 2001 yılında 7.6 büyüklüğünde meydana gelen Bhuj depreminden sonra o bölgedeki 6 adet toprak dolgu barajların analizleri yapılmıştır. Depremden sonra barajlarda yapılan araştırmalar sonucu barajların hepsinin temelinde sıvılaşma problemlerinin olduğu, memba ve mansap şevlerinde de göçmelerin meydana geldiği gözlenmiştir. Fakat rezervuarların su seviyelerinin düşük olması nedeniyle gövdede stabilite problemleri meydana gelmediği tespit edilmiştir (Singh vd., 2005).

Toprak ve kaya dolgu barajlar olan San Fernando, Mahabad, Doroodzan barajlarında Pastor Zienkiewicz ve Cap Plastik Modelleri kullanılarak deprem etkisinden oluşan kırılmaları dinamik analizle karşılaştırarak sonuçlar ortaya konmuştur. Genelde mansap, memba şevlerinde ve temellerde kırılma yüzeylerinin oluştuğu ve bunların barajların tamamına zarar vermediği belirtilmiştir (Khoie vd., 2004).

Tez çalışmasında ülkemizde yaşanan depremler sonucunda önem kazanan mevcut yapıların deprem dayanımlarının incelenmesi konusu ele alınmış ve barajların deprem dayanımı ile ilgili detaylı bir çalışma sunulmuştur. Dim barajı örnek olarak ele alınmıştır. Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim barajının zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle mevcut bir barajın deprem dayanımı incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında Dim barajı SAP 2000 sonlu elemanlar programı ile üç boyutlu olarak modellenmiş ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dim barajının rezervuarının boş olması durumuna göre dinamik analizi yapılmıştır. Dim barajının deprem etkisi altındaki davranışı incelenirken otuz iki adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır.

2. BARAJLARA GENEL BAKIŞ

Dünyada yeterli miktarda su potansiyeli bulunmasına karşın suyun bölgesel ve mevsimsel dağılımı çok büyük düzensizlikler göstermektedir. Dünyadaki ve ülkemizdeki nüfusun hızlı bir şekilde artışına paralel olarak içme-kullanma suyu talebi, sanayi ve zirai faaliyetlerdeki gelişim suya olan ihtiyacın devamlı olarak artmasına yol açmaktadır. Dünyada hızlı bir şekilde gelişen nüfus artışı su talebinin karşılanması için yağışlı dönemlerde suyun depolanarak, gerektiği zamanlarda düzenli ve sürekli bir şekilde hizmete sunulmasını gerektirmektedir. Suyu olan ihtiyacın talep edilen zamanda karşılanmasına yönelik olarak geliştirilen ve akarsuların rejimini düzenlemeye yarayan baraj projelerinin, uygarlığın gelişiminde de önemli bir rol üstlenmiştir. (Geçmişteki büyük medeniyetler önce su kenarlarında veya suya yakın yerlerde kurulmuşlardır.)

Barajların faydaları kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

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

Barajların yukarıda sayılan doğrudan faydaları yanında dolaylı faydaları da vardır:

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

Bu belirtilen faydaların yanında;

- Doğal dengenin bozulması,
- Göl sahası içinde kalan tarım alanlarının ve doğal kaynakların kullanılamaması,
- Göl sahası içinde kalan yerleşim merkezlerinin nakli,
- Göl sahası içinde kalan yol, köprü vb. yatırımların yerine yeni yatırım yapma ihtiyacı,
- Yeraltı su seviyesinin yükseltilmesi dolayısı ile meydana gelen olumsuz etkiler,
- Su yükünün artması dolayısı ile meydana gelebilecek tehlikeli heyelanlar ve diğer jeolojik olaylar,
- Artan su buharlaşması dolayısı ile kullanılabilecek su miktarının azaltılması,
- Akarsuların taşkın mevsimlerinde birlikte getirdikleri toprak gücünü artıran besleyicilerden bilhassa delta ovalarının mahrum kalması,
- Suyun içinde taşınan maddelerin azalması nedeni ile baraj mansabında daha fazla yatak oyulması,
- Kıyı erozyonunun artması,
- Göl alanında kalan tarihi eserler,

gibi konulara da dikkat edilmesi gerekmektedir.

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

2.1. Barajların Amaçlarına Göre Sınıflandırılması

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

2.2. Barajların Büyüklüklerine Göre Sınıflandırılması

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

2.3. Barajların Gövde Tipine Göre Sınıflandırılması

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

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

1) Beton Barajlar;

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

2) Dolgu Barajlar;

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

2.3.1. Beton Barajlar

Beton baraj gövdeleri, küçük ve zemine fazla basınç vermeyen regülatör tipi tesislerin dışında, gevşek zemin ve ayrışmış kaya kazılıp alındıktan sonra daima yeterli taşıma gücüne sahip sağlam kaya zemin üzerinde inşa edilirler. Beton barajların en önemli avantajı, dolusavak, enerji, dipsavak vs. gibi diğer yapıların gövde üzerinde yer alabilmesidir.

2.3.1.1. Beton Ağırlık Barajlar

Beton ağırlık baraj gövdeleri, başta baraj gölünden kaynaklanan su yükünü ve diğer çeşitli ikincil yükleri kendi ağırlığı ile karşılayarak temele aktaran yapılardır. Bu tipteki barajlar gövdenin büyüklüğüne uygun olarak boyutlandırılmış 10 m ile 20 m genişliğinde trapez kesitli beton blokların yanyana getirilmesi ile projelendirilirler. Geniş olarak boyutlandırılan bloklarda, beton ısisının kontrolü zorlaşarak ekonomik olmayan bir durum ortaya çıkar. Blok genişlikleri 20 m'yi geçtiği zaman ise termal çatlaklar ortaya çıkabilir.

Gövde genel olarak doğrusal bir aks üzerine oturur, fakat estetik yönden veya özel bir amaçla aksa kemer formu da verilebilir. Kemer şeklindeki tasarımlarda, vadi yamaçlarına kemerlenmeden dolayı yük aktarılmadığı varsayılır.

Derzleri oluşturan blok yüzlerinden birisi diğerinin yer yer içine geçecek şekilde, dişli olarak şekillendirilirler. Blok derzleri su tutucu lastik veya PVC bantlar ile membada ve mansapta kapatılmıştır. Derzler, beton ısisı ve rötre büzölmeleri normal duruma gelince, çimento veya kimyasal maddeler enjekte edilerek doldurulur.

2.3.1.2. Payandalı Beton Barajlar

Bu tip gövdeler, beton ağırlık barajlarının özel şekli olup, hemen hemen aynı statik prensiplere göre çalışır. Yan yana sıralanmış payandaların memba yüzleri genişletilmek sureti ile veya araları plak, kemer vs. gibi elemanlarla kapatılarak

süreklilik sağlanmış olur.

Dolu gövdeli ağırlık baraj gövdelerine kıyasla daha geniş vadilerde ekonomik olabilirlerse de yükseklikleri sınırlıdır. Genellikle 150 m'ye kadar olan yüksekliklerde ve memba yüzleri eğimli olarak projelendirilirler. Beton malzeme kullanımı az, fakat kalıp ve işçilik maliyeti fazladır. Derivasyon geçişlerinin payanda aralarında bırakılan geçici orifislerden yapılabilme avantajları vardır.

2.3.1.3. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar

Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (RCCD-Roller Compacted Concrete Dams) oldukça düşük oranda karışım suyu ve çimento içeren özel bir beton türünün, tabakalar halinde yerine serilerek sıkıştırılması ile inşa edilen yapılardır. Bu tip barajlarda gövde maliyeti ve inşa süresi 2/3 oranında azaltılabilir. Gövdenin memba ve mansap yüzleri kalıp yerine kullanılan prefabrik beton paneller ile kapatıldıktan sonra arası tabakalar halinde serme beton ile doldurulur. Paneller, serme beton içersine çelik çubuklar ile ankre edilir.

Eğimin 1 düşey 0.8 yataydan daha dik istenmediği durumlarda yerinde dökülen kabuk betonları yardımı ile kalıp kullanılmadan da mansap yüzü oluşturulabilir. İhtiyaca göre, gövdenin bazı bölümleri dolusavak, sulama yapılarının bazı bölgelerinde normal beton kullanılabilir. Serme betonun nihai mukavemeti en az normal beton düzeyinde olmasına rağmen maliyeti çok düşüktür.

2.3.1.4. Beton Kemer Baraj

Kemer barajlar, memba yönünde verilmiş kemer formundan yararlanarak üzerine gelen yükleri, kemer etkisi ile büyük ölçüde yamaçlara aktaran yapılardır. Her ne kadar gövde münferit bloklar halinde inşa edilirse de, aradaki derzlerin enjeksiyonla doldurulmasından sonra tekil olarak çalışır.

Genel bir sınıflandırma yapılır ise, kemer barajlar; kemer ağırlık, silindirik ve iki

eğrilikli gövdeler olarak projelendirilirler.

Kemer ağırlık barajları enkesit yönünden ağırlık barajlarına benzer fakat baraj aksı eğrisel olup, mansap yüzü daha dik eğimlidir. Diğer tipteki kemer barajlara göre, kendi ağırlıkları ile üzerine gelen yüklerin temele aktarılması daha önemli rol oynar.

Silindirik barajların eksen yarıçapları sabit olup, gövde kalınlığı temelden yukarı doğru azalır.

2.3.2. Dolgu Barajlar

2.3.2.1. Homojen Gövdeli Barajlar

Homojen gövdeli baraj, geçirimsiz veya çok az geçirimli, aynı özelliklere sahip tek bir malzemeden oluşmuş, geçirimsizlik fonksiyonuna, şev korumaları hariç, bütün gövdenin katıldığı tipte bir yapıdır. Rezervuar uzun süre dolu tutularak malzemenin doymuş hale gelmesinden sonra ani boşalmalarda, şevlerin kaymaması için çok yatık tertip edilmeleri gerekir. Bu tip barajlar mansap şevinin korunması bakımından modifiye edilerek uygulanmıştır. Mansapta öngörülen bir kaya topuk ve bunun gövde tarafındaki yüzünde yer alacak filtre, sızma hattını aşağı çekerek drene edecektir. Bu tip gövde dolguları, eskiden alçak barajlarda ($h < 30$ m) ve göletlerde çok kullanılmıştır. Genelde bu tip gövdeler depolama barajlarında, herhangi bir sebepten zorunlu olmadıkça uygulanmamalıdır. Uygulama alanları daha çok sel kapanları, geçici batardolar vs. olmaktadır.

2.3.2.2. Zonlu Dolgu Barajlar

Bu tipteki barajlarda çeşitli dolgu malzemesi belirli amaçlarla gövdenin değişik bölgelerine yerleştirilmişlerdir. Kil özelliğinde bir malzemeden oluşan çekirdek dolgu gövdenin geçirimsizliğini sağlar. Merkezi veya memba yönünde eğik olarak düzenlenirler. Çekirdeğin daha karmaşık geometride teşkil edildiği ve beton, palplanş vs. gibi değişik malzemeler kullanılarak geçirimsizliğin sağlandığı uygulamalar da

vardır. Çekirdek şevlerinin eğimi doğal olarak çekirdeğin kalınlığına bağlıdır. Kalınlığın tespit edilmesinde ise kullanılan malzemenin özellikleri, yakın çevrede malzemenin yeteri kadar bulunup bulunmaması, sağlanması istenen ekonomi ve depremsellik vs. gibi faktörler rol oynar. Merkezi çekirdek uygulanması halinde, özel bir durum söz konusu değilse şev eğimleri 1/0.5-1/0.3 (düşey/yatay) değerleri arasında düzenlenir.

Memba ve mansap dolgular geçirimli ve yarı geçirimli özelliktedirler. Memba dolgusunda, rezervuarın ani boşalma durumunda çabuk derene olması için daha çok geçirimli malzeme tercih edilir. Aksi takdirde düşey ve yatay drenaj tabakaları düzenlenmelidir. Mansap dolgusunun yarı geçirimli olması halinde, sızma hattının (freatik hat) yükselmemesi ve çekirdekte oluşacak genelge önemsiz sızıntıların tabandaki yatay drenaj tabakasına kolayca aktarılması için bir düşey drenaj tabakasının düzenlenmesi uygundur. Düşey drenaj tabakası aynı zamanda mansap dolgusunu filtrelerden geçiş zonu görevini de üstlenir.

Çekirdekten sızıntı ile kil malzemenin sürüklenmemesi için mansap filtreleri koruyucu görev yaparlar. Memba filtresi ise rezervuarın boşalma durumu için gereklidir. Filtrelerde dane çaplarına göre tedrici bir geçiş sağlamak için ince filtre (kum) ve bunun mansabında kalın filtre (kum ve çakıl) kullanılır. Filtre kalınlıklarını rezervuar su basıncını tayin eder, fakat ekseriyetle 3 veya 4 m kalınlık 30 m den yüksek barajlar için yeterlidir. Düşey filtre tabakaları yukarıdan aşağıya doğru artan kalınlıklarda da düzenlenebilir.

Riprap, gövdenin memba şevinde dolgunun su dalgaları etkisi ile yıkanmasının önlenmesi amacıyla konulan bir örtü tabakasıdır. Dalga yüksekliğine göre kayaların çapı ve tabakanın kalınlığı tayin edilirse de genelde 0.5-1.0 m çapında kayaları 1.0 m tabaka kalınlığında düzenlemek yeterli emniyeti sağlayacaktır. Memba dolgusunda kaya kullanılmayıp, kum ve çakıl gibi daha ince malzeme söz konusu ise, memba dolgusunun dalga etkisi ile riprap kayalarının arasından dışarı sürüklenmesini önlemek için riprapın altında 30-50 cm kalınlığında çok iri çakıllardan oluşan bir geçiş tabakası sermek gerekir. Ekonomik nedenler ile riprap tabakası rezervuardaki

minimum su seviyesinin bir miktar altına kadar devam ettirilmelidir.

Toprak mansap dolgusu kullanılması halinde, mansap şevi yağmur sularının erozyonuna maruz kalacaktır. Bunu önlemek amacı ile mansap şevinin üzerinde 0.5-1.00 m kalınlığında bir kaya örtü tabakası gerekir. İklimin uygun olması durumunda bir çimen veya çalı bitki örtüsü de bu fonksiyonu yerine getirebilir. Yukarıdaki örneklerde kullanılan dizayn anlatım kolaylığı için zonların düzenlenmesi yönünden simetrik olarak düşünülmüştür. Şüphesiz zonların tertibi, gereksinimlerine göre (malzemenin cinsi, topoğrafya, yerel stabilite vs.) daha karmaşık bir şekilde oluşturulabilir. Önemli olan husus ise, sızma hattı yönünde daima filtre kriterini geçerli kılmaktır. İnce bir malzeme dolgusundan sonra birdenbire kalın, boşluklu bir malzemedan oluşan dolguya geçirilmesi halinde, ince malzeme sızma ile diğerinin içersine sürüklenecektir.

Memba kabuk dolgusu yarı geçirimli olduğu zaman, rezervuarın ani seviye düşüşlerine karşı yatay drenler tertip etmek gerekebilir. Mansap kabuk dolgusu yarı geçirimli ise, kaba filtrenin mansabında bir düşey dren yer almalıdır. Mansap kabuk dolgusu altında teşkil edilecek yatay dren zeminden ve filtrelerden sızacak suları mansaba geçirecektir. Bu yatay deren yamaçlarda da öngörülmalıdır. Kabuk dolguları altında bulunan alüvyon, benzer nitelikte malzeme olduğu için genellikle kaldırılmaz. Yamaçlarda, yamaç molozu sağlam kayaya kadar sıyrılır. Yine yamaçlarda bulunan teras depozitleri (kum ve çakıl) altında uygun olmayan (yamaç molozu, diğer gevşek zemin tipleri vs.) formasyonlar yoksa yine olduğu gibi bırakılır. Bunların yüzeyi dolgu yapılmadan öncel düzeltilerek sıkıştırılmalıdır.

2.3.2.3. Toprak Dolgu Gövdeler

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

çekirdek ince olarak projelendirilmiş ise, mansap şevi biraz daha az eğimli düzenlenebilir.

2.3.2.4. Kaya Dolgu Gövdeler

Kaya dolgu tipi gövdelerde, kabuk zonları kaya malzemeden oluşturulmuştur. Bu malzeme taş ocağından veya yapı ile ilgili kazılardan elde edilir. Kaya dolgu barajlarda zonların düzenlenmesi toprak dolgu tipine benzer şekilde yapılır. Eğer doğal nehir alüvyonu derinliği fazla ve iri bloklar içeriyor ise, kaldırılmayabilir. Fakat ince bir tabaka ise maliyeti fazla etkilemeyeceği için kaldırılmalıdır. Alüvyonun fiziksel özelliklerinin, kabuk kaya malzemesinin özelliklerinden daha kötü olması halinde taban kayasına kadar kaldırılmalıdır.

Çekirdeğin mansabında yer alan ince ve kalın filtrelerden sonra, filtrelerin mansap kabuğu kaya dolgusu içerisine geçmemesi için bir geçiş tabakası tertip edilir. Bu zon iri çakıl veya kaya kırığından oluşturulur. Eğer mansap kabuk dolgusu altında nehir alüvyonu bırakılmış ise, nehir alüvyonunun sızıntı suları vasıtası ile kaya dolgu içerisine girmemesi için bu tabaka yatay bir geçiş tabakası-filtre olarak mansap topuğuna kadar devam ettirilir. Alüvyon taban kayasına kadar kaldırılmış ise geçiş tabakası gerekmez.

Mansap kabuk dolgusu kaya malzemeden olduğu için şev kaplamasına gerek yoktur. Memba kabuk dolgusu ile memba filtresi arasında yine bir geçiş tabakası öngörülür. Bu geçiş tabakasının görevi, ani boşalmalarda filtrenin kaya dolgu içersine sürüklenmesini önlemektir. Eğer memba kabuk dolgusunda, iri kaya parçaları memba şevinde istif edilmiş ise, rırap düzenlemesi zorunluluğu kalkar.

2.3.2.5. Karışık Dolgu Gövdeler

Genellikle, baraj tesislerinde çeşitli yapıların kazılarından elde edilen uygun malzemelerin ekonomik nedenlerle gövde dolgusunda kullanılma durumu vardır. Bundan dolayı karışık malzeme zonlarından oluşan gövde tiplerinin uygulama alanı

geniştir. Kazılardan kazanılan malzemeler, inşaat programına uygun olarak ya bir sahada depolanıp (röpriz), uygun zamanlarda gövdeye serilirler yahut doğrudan doğruya gövde dolgusuna taşınırlar. Ocaktan taşınacak malzemelerle birlikte düşünülerek, kazılardan çıkacak malzemelerin gövdenin hangi zonlarında kullanılan ağı ve miktarı ekseriyetle şematik bir program üzerinde önceden etüt edilirler (Malzeme akış diyagramı). Bu kazı malzemeleri nispeten az miktarda baraj temeli, tüneller, santral binası vs. gibi yerlerden alınmakla beraber, ekseriyetle dolusavak kazılarından geniş çapta elde edilirler. Bu tip gövdeler için tipik bir zon düzenlemesi verilemez. Mevcut malzemelerin (ocaktan ve kazılardan) etüdü ile teknik ve ekonomik yönden en uygun bir dizayn seçilir. İnşaat süresinde karşılaşılan yeni şartlara göre, bazen zonlarda revizyonlar uygulanır. Memba kabuğunda minimum su seviyesi üstünde mümkün mertebe geçirimli malzeme kullanılmalıdır. Gövde kabuk bölgelerinde düşük kalitede ve az geçirimli olan malzeme, sandviç teşkil edecek şekilde iç kısımlara konulmalıdır.

2.3.2.6. Ön Yüzü (Memba) Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar

Bu çalışmaya konu olan Dim Barajı da bir önyüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olduğu için bu tür barajların özellikleri daha detaylı olarak bir sonraki bölümde verilmiştir.

2.4. Barajlara Etkileyen Dinamik ve Statik Kuvvetler

Hangi türde baraj olursa olsun yapının stabilitesini bozan iki kuvvet mevcuttur.

1) Statik Kuvvetler

- Barajın ağırlığı
- Hidrostatik basınç
- Temel gerilmeleri
- Rüsubat (Ölü hacmin) basıncı
- Buz etkisi

2) Dinamik Kuvvetler

- Deprem kuvvetleri
- Hidrodinamik basınç
- Rüzgar etkisi
- Dalga kuvveti
- Alttan kaldırma kuvveti
- Suyun dolusavak/dipsavak sıçratma ucundan fırlarken tabana yaptığı etki

2.4.1. Barajlara Etkiyen Statik Kuvvetler

2.4.1.1. Barajın Ağırlığı

Beton barajın kendi ağırlığı, beton ve barajdaki ek yapıların ağırlığından oluşan yüküdür. Betonun birim ağırlığı laboratuvar deneylerinden tespit edilir. Ön tasarım aşamasında birim ağırlık için 2400 kg/m^3 değeri kullanılabilir. Barajdaki ek yapıların ağırlığı, kendi ağırlığına oranla küçük değerlerde kalacağından ihmal edilebilir ve statik yükler için projelendirme yapılırken dikkate alınmayabilir (Ağıralıoğlu, 2005).

Toprak ve kaya dolgu barajlarda ağırlık hesabı biraz daha karışıktır. Freatik su çizgisinin (suyun baraj gövdesi içinde hareket ettiği çizgi) üst tarafında kalan malzeme kuru, alt tarafındaki ise yaştır. Bu nedenle freatik su çizgisinin çizilmesi, bu çizginin üstünde kalan malzemenin hacminin kuru özgül ağırlık ile, altında kalan malzemenin hacminin ise yaş özgül ağırlık ile çarpılarak toplam ağırlığın bulunması gerekir (Kumbasaroğlu, 2005; Şentürk, 1988).

Gerek toprak, gerekse kaya dolgu barajlar zonlu yapılardır. Her zona giren malzemenin özgül ağırlıkları farklıdır. Bu nedenle hacimleri ayrı ayrı hesaplanarak bulunan sonuçlar kendine ait özgül ağırlıklar ile çarpılır. Bu özgül ağırlıklar laboratuvar deneyleri sonucunda saptanır (Kumbasaroğlu 2005; Hough 1957).

Toprak ve kaya dolgu barajlarda ağırlık hesapları, kaya veya toprak dolgunun stabilitesine doğrudan etkiyen kayma yüzeyinin üstünde kalan toprak veya kaya

The diagram illustrates a gravity dam cross-section. The upstream water level is at height h with a horizontal pressure P acting at the center. The dam has a top width of 1.00. The downstream water level is at height h' with a horizontal pressure P' acting at the center. The dam base is divided into two parts: a heel section (left) and a toe section (right). The heel section has a width of $B/2$ and a resultant force R acting at a distance a from the heel. The toe section has a width of $B/2$ and a resultant force R' acting at a distance a' from the toe. The total width of the dam base is B . The resultant force R is the vector sum of the water pressure P and the dam weight A . The resultant force R' is the vector sum of the water pressure P' and the dam weight A' . The dam weight A acts at the center of the heel section, and the dam weight A' acts at the center of the toe section. The resultant force R acts at a distance a from the heel, and the resultant force R' acts at a distance a' from the toe. The diagram also shows the vertical reaction forces A_y and A'_y at the heel and toe respectively, and the horizontal reaction forces A_x and A'_x at the heel and toe respectively. The resultant force R is shown acting at a distance a from the heel, and the resultant force R' is shown acting at a distance a' from the toe. The diagram also shows the vertical reaction forces A_y and A'_y at the heel and toe respectively, and the horizontal reaction forces A_x and A'_x at the heel and toe respectively.

2.4.1.2. Hidrostatik basınç

Proje yapımında kabul edilen su yükleri aşağıda verilen varsayımlara dayalıdır:

- Şekil 2.1’de bu kuvvetler P, P', A_y ve A_a işaretleri ile gösterilmiştir. Barajın mansap topuğu genellikle kurudadır. Bu takdirde $P'=0$ olur. Özellikle beton barajlarda ve

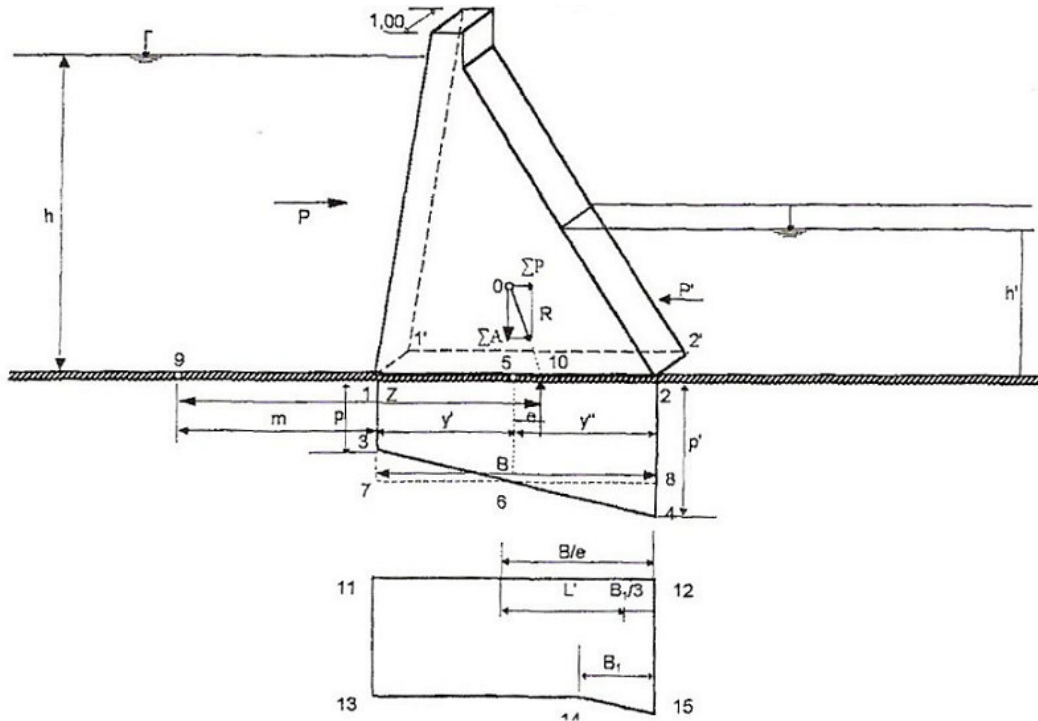
enerji üreten sistemlerde alınabilir. Barajın akış yukarı ve akış aşağı yüzleri eğimli ise, bu yüzeyler boyunca etkiyen suyun Ay ve Aa ile gösterilen ağırlık kuvvetleri de hesaba katılmalıdır (Şentürk,1988).

P ve P' kuvvetlerinin hesabı hidrostatik kurallara göre yapılır. Burada göz önünde bulundurulması gerekli koşul; $h \neq p$ ve $h' \neq p'$ olabileceği durumudur. Hidrostatik basınç kuvveti;

$$P = \frac{\gamma p h}{2} \quad (2.1)$$

2.4.1.3. Temel Gerilmeleri

Baraj gövdesi karşı koyma durumunda etkileyen kuvvetleri ve kendi ağırlığını temele iletir ve temelde de bu kuvvetlere eşit ve zıt yönde kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlere temel gerilmeleri denir.



Şekil 2.2. Birim genişlikteki baraj kesiti için gerilmeler

Şekil 2.2’de birim genişlikteki bir baraj dilimine etkileyen kuvvetlerin bileşkeleri ve bu kuvvetlerden doğan gerilmeler gösterilmiştir. Burada; ΣA , ağırlık kuvvetlerinin

bileşkesi, ΣP , hidrostatik kuvvetlerin bileşkesidir.

Şekildeki baraj diliminin temele oturduğu alan 1-1'-2-2' olursa bu dilimin ağırlık merkezinin 5 noktasında bulunduğunu kabul edilip, kesitin dikdörtgen olması halinde 5 noktası 1-2 doğru parçasını iki eşit parçaya böler. Bu durumda;

$$y' = y'' = \frac{B}{2} \quad (2.2)$$

olur. Su yapısının temeline yaptığı basınçtan doğan gerilmeler ikiye ayrılabilir: Bunlar homojen basınç gerilmeleri ve eğilme momentinden doğan gerilmelerdir.

$$\text{Homojen ve eksenel basınç gerilmesi; } \frac{\Sigma A}{A_o} \quad (2.3)$$

$$\text{Eksantrik yüklemeden doğan gerilme; } \frac{\Sigma(px) - \Sigma(Ax)}{I} y \quad (2.4)$$

$$\text{ve ya } \frac{\Sigma(A)x_e}{I} y \quad (2.5)$$

Bu formüllerde; 1-1'-2-2' tabanının alanı, A, barajın kendi ağırlığı ile Aa ve Ay su ağırlıklarının toplamıdır. Bu toplama, alttan kaldırma kuvvetleri dahil olup, temel reaksiyonları dahil değildir. Px, tabanın ağırlık merkezine göre yatay kuvvetler için momenti, Ax, tabanın ağırlık merkezine göre düşey kuvvetler için momenti, x, tabanın ağırlık merkezinden olan moment kolu, y, tabanın ağırlık merkezinin, gerilmenin hesaplandığı noktaya olan uzaklığı, I, tabanın ağırlık merkezine göre atalet momenti, e, eksantristedir.

Momentler ağırlık merkezine göre değil de rastgele seçilen 9 gibi bir noktaya göre alınıyorsa bu durumda;

$$z \Sigma A = \Sigma (Px_9) + \Sigma (Ax_9) \quad (2.6)$$

$$e = z - (y'' + m) \quad (2.7)$$

ve toplam temel reaksiyonları;

$$p = \frac{\Sigma A}{A_o} \pm \frac{\Sigma(Px) - \Sigma(Ax)}{I} y \quad (2.8)$$

veya

$$p = \frac{\Sigma A}{A_o} \pm \frac{\Sigma(A)e}{I} y \quad (2.9)$$

Bu denklemler barajın 1 ve 2 topuğunda oluşan düşey basınçları hesaplamak için kullanılmaktadır. Buna göre barajın 1 ve 2 topuğunda oluşan düşey basınçlar;

$$P_1 = \frac{\Sigma A}{A_o} - \frac{\Sigma(Px) - \Sigma(Ax)}{I} y, \quad (2.10)$$

$$P_2 = \frac{\Sigma A}{A_o} - \frac{\Sigma(Px) - \Sigma(Ax)}{I} y, \quad (2.11)$$

Bu durumda, toplam temel basınç diyagramı Şekil 2.2’de gösterilen 1-2-3-4 trapezoididir. Bu şekilde 1-1’ genişliği 1 birim 1-2 uzunluğu B birim olup, 5 ile gösterilen ağırlık merkezi 1-2’nin ortasıdır. Dolayısıyla $y=y''$ yazılabilir. Ayrıca; $A_o=B$

ve $I = \frac{B^3}{12}$ ’dir. Bu değerler denklemlerinde yerlerine konursa;

$$P_1 = \Sigma A \left(\frac{1}{B} - \frac{e}{B^3} 12 \frac{B}{2} \right) = \frac{\Sigma A}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (2.12)$$

$$P_2 = \frac{\Sigma A}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (2.13)$$

elde edilir (Kumbasaroğlu, 2005).

2.4.1.4. Rüsubat Basıncı

Baraj inşası tamamlandıktan sonra nehrin taşıdığı rüsubat barajın memba yüzü önüne yığılır ve hidrostatik basınçtan farklı bir basınç oluşur. Yığılan rüsubatın etkisi hidrostatik etkiden fazla ise, bu kitlenin konsolidasyondan sonra geçirimsizlik katsayısının artacağı kabul edilir. Bu durumda zamanla “p” alttan kaldırma basıncının değeri düşer (Şentürk, 1988).

Şekil 2.1, Şekil 2.2’de ve rüsubat kapanı olarak kullanılan barajlarda rüsubat basıncı önem kazanır ki su yapısının esas görevi rüsubatı tutmaktır. Buna karşın normal rezervuarlarda rüsubat mansaba geçirmek için rüsubat vanaları hizmete konur. Fakat bu tesislerin pek yararlı oldukları söylenemez. Bu tesislerin çalışmaları halinde de memba yönünde bir temiz huni kalmakta, onun dışındaki ise rüsubatla dolmaktadır. Rüsubat yığılmasının yatay basıncı Rankine formülü ile hesaplanabilir (Kumbasaroğlu, 2005; Şentürk, 1988).

$$P_r = \frac{\gamma_r' h_r^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (2.14)$$

Burada; P_r , rüsubatın yatay basıncı, γ_r' , rüsubatın suya batmış özgül ağırlığı, h_r , rüsubatın kalınlığı, ϕ , içsel sürtünme açısıdır.

2.4.1.5. Buz İtkisi

Türkiye’de baraj gölünde oluşan buzun etkisi önemle göz önüne alınmalıdır. Göl yüzeyinde buz oluşumu ve buzun çözülmesi oldukça önemli etkilere neden olur. Buz etkisi; en yüksek değerine, buzun erime periyodu ile erişir. Bu etki buzun kalınlığına ve ısı ortamına göre hesaplanabilir. Buz, yanında bulunduğu katı yüzeye yapışır. Yüzey cinsine göre bu yapışma, bir yapışma faktörü ile tanımlanmaktadır. Dolusavak kapağının dudağı seviyesinde oluşan buzun itkisi ikiye ayrılabilir. Bunlardan biri kapak milinden geçer, diğeri buz tabakasını kapaktan koparmaya çalışır. Aderans bu itkiden büyük ise, kopma olayı görülmez. Aksi takdirde, kopma olayı olur ve buz itkisi ortadan kalkar. Anlaşılabacağı üzere, değişik buz kalınlıkları için kopma olayının incelenmesi gereklidir. Buzun bir özelliği de, eğilme momentine mukavemet göstermesidir. Bu konunun da ayrıca incelenmesi gereklidir. İlkbahar aylarında, buz yüzeyi yarılr ve kopan parçalar sürüklenerek dolusavak kapağına kadar gelir ve ona çarpar. Çarpma itkisinin de göz önüne alınması gereklidir. Buz bloklarının mansap kanalına gelmesi halinde bunların sıçratma ucuna çarparak tahribata neden olmaları beklenmelidir. Sıçratma ucunun projesi yapılırken, buzun hiçbir engele rastlamadan ana yatağa verilmesini sağlayacak önlemler üzerinde durulması gerekir (Kumbasaroğlu, 2005; Şentürk, 1988).

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2KTt}{\Delta\eta}} \quad (2.15)$$

Buz etkisi formülünde; ε , buzun kalınlığı, K , buzun 0°C ’deki ısı kondüktivitesi (günde 457,92 cal/cm), Δ , 80 cal/gr olan bir parametre, η , 0,99 gr/cm³ olan bir parametre, 0°C ’de, T , ısı, $^\circ \text{C}$ cinsinden, t , zamandır.

2.4.2. Barajlara Etkiyen Dinamik Kuvvetler

Barajlara hareket halindeki suyun neden olduğu dinamik kuvvetler ile depremde doğan dinamik kuvvetler etkir. Bu kuvvetler; hidrodinamik basınç, rüzgar etkisi, dalga kuvveti, alttan kaldırma kuvveti, suyun dolusavak/dipsavak sıçratma ucundan fırlarken tabana yaptığı etkidir.

2.4.2.1. Deprem Kuvvetleri ve Hidrodinamik Basınç

Barajlar, yapı-sıvı etkileşimine uğrayan yapılar olup, dinamik bir etki altında sıvı yapının, yapı da sıvının davranışını önemli ölçüde etkiler. Sıvı ortamında hidrodinamik basınçlar, yapı ortamında ise bu hidrodinamik basınçlardan dolayı ek yükler oluşmaktadır. Sıvı-yapı etkileşimlerinin çoğunluğu aşağıdaki iki yaklaşımdan birine izin veren basitleştirilmiş kabullere dayanmaktadır (Dumanoğlu ve Hacıfendioğlu, 2000).

1. Yapıda yer değiştirmeler, sıvıda basınçlar veya hız potansiyelleri değişkendir (Nitikitpaiboon ve Bathe, 1993; Zienkiewicz ve Bettess, 1978; Calayir, 1994; Bayraktar ve Dumanoğlu, 1995).
2. Hem yapıda, hem de sıvıda yer değiştirmeler değişkendir (Calayir, 1994; Bayraktar ve Dumanoğlu, 1995).

Bu yöntemler dışında basitleştirilmiş Westergaard yöntemi uygulanabilir. Westergaard yöntemi ile barajın rijit, sonsuz uzun ve düşey memba yüzeyli olduğu, rezervuarın memba doğrultusunda sonsuza uzandığı ve yüzey dalgalarının oluşmadığı kabulleri yapılmıştır (Westergaard, 1933).

$$P=c g M \quad (2.16)$$

veya

$$m(z)=\frac{7}{8} \rho \sqrt{H_r z_b} \quad (2.17)$$

$$m(z)=\frac{7}{8} \frac{W}{g} \sqrt{H_r z_b} \quad (2.18)$$

$$\rho(z) = \frac{7}{8} Wc \sqrt{H_r z_b} \quad (2.19)$$

Yukarıdaki denklemlerde; $\rho(z)$, hidrodinamik basınç dağılımı, $m(z)$, birim yükseklik için rezervuarın eşdeğer kütlesi, c , deprem ivmesinin yer çekim ivmesine oranı, W , suyun yoğunluğu, H_r , rezervuar derinliği, z_b , baraj kretinden başlayan derinlik, ρ , suyun kütle yoğunluğudur.

2.4.2.2. Rezervuardaki Dalgalanmadan Doğan Etki

Baraj rezervuarının yüzeyinde genellikle görülen dalgalanma gerek barajın gövdesine, gerekse dolusavağı kapaklı olan barajlarında dolusavak kapaklarına etkir. Bu dalgalanma yüzeye dik olarak etkidiği kabul edilir. Buna göre;

$$h_o = \frac{nz_a^2}{\lambda} \coth \frac{2nd}{\lambda} \quad (2.20)$$

$$A = \frac{z_a}{\cosh \frac{2nd}{\lambda}} \quad (2.21)$$

Burada; h_o , suyun sakin su yüzeyi üzerindeki ortalama yüksekliği, λ , dalga boyu, z_a , dalga yüksekliği, A , taban basıncı parametresidir.

2.4.2.3. Alttan Kaldırma Kuvveti

Baraj rezervuarındaki su, gözenekli bir ortamda akarken yük kaybeder. Bu yük kayıpları Darcy kanunundan hesaplanabilir. Su kayıpları, gövdede geçilen mesafe ile orantılı olduğundan belli bir noktadaki değeri bulunabilir; dolayısı ile bu noktadaki alttan kaldırma kuvveti de hesaplanmış olur. Lane tarafından oluşturulan alttan kaldırma kuvveti hesaplama formülü;

$$L = CH \quad (2.22)$$

Burada; H , gövdenin memba tarafındaki su yüzeyi ile mansap tarafındaki su yüzeyi arasındaki fark, L , suyun geçtiği mesafe, C , Lane katsayısı olup, Çizelge 2.1'de temel cinslerine göre alınacak C katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Lane katsayısının değerleri

Temelin Cinsi	C
1. Sağlam kaya kontak enjeksiyonu ile betona bağlanmış	1.00
2.Sağlam ve çatlaksız kaya	2.00
3.Yer yer çatlaklı ve çatlakları doğal olarak tıkanmış kaya	2.50
4.Kil	2.00~ 2.50
5.Çatlaklı kaya	3.00 ~ 5.00
6.Doğal zemin	6.00
7.Kum	5.00 ~ 7.00
8.Çakıl	11.00

2.4.2.4. Suyun Mansap Kanalından Geçerken Tabana Yaptığı Sürüklenme Etkisi

Dolusavak kanalından geçen suyun kanal tabanına etkisi bir sürüklenme kuvveti şeklinde belirir. Bu kuvvetten doğan gerilme τ ile gösterilmiştir.

$$\tau = \gamma Rj \quad (2.23)$$

Burada; τ , suyun mansap kanalından geçerken tabana yaptığı sürüklenme etkisi, R, hidrolik yarıçap, j, yük çizgisinin eğimidir (Simons, 1976; Şentürk, 1988).

3. ÖNYÜZÜ BETON KAPLI KAYA DOLGU BARAJ

Ülkemizde, kil çekirdek temininin ekonomik mesafede olmamasından ziyade hem çevresel hem de sosyal problem doğurması nedeniyle, son yıllarda en kesitlerinde kil kullanılmayan tiplere doğru bir değişim olmuştur. Bu anlamda teknik ve ekonomik yapılabilirliği birçok DSİ projesinde çalışılan ön yüzü beton kaplı kum-çakıl/kaya dolgu tipi ile silindirle sıkıştırılmış beton baraj tipi, en önemli baraj alternatifleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ön yüzü betonarme kaplı kaya dolgu barajlarda; geçirimsizliği sağlamak amacıyla ön yüzde beton yerine asfalt yada geomembran, dolgu malzemesinde de toprak/kaya yerine kum/çakıl da kullanılmaktadır. Bu çalışmaya konu olan Dim Barajı da bir önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajdır.

Ön yüzü beton kaplı barajların temel özellikleri ve diğer dolgu barajlarla kıyaslandığında üstünlükleri şu ana başlıklarla açıklanabilir:

- Uygun bir temele oturan topuk plağı, su geçirimsiz ön yüz beton plağını temele birleştirir.
- Kret kotundaki parapet duvar ise ön yüz betonunun inşasında daha geniş bir çalışma alanı ve gövde hacminin optimizasyonunu sağlar.
- Hem çevresel hem de sosyal tepkiler doğuran kil malzeme ihtiyacını ortadan kaldırarak verimli tarım alanlarının korunmasına yardımcı olur.
- Diğer baraj tiplerine göre temel iyileştirme gereksinimi daha azdır.
- Normal dolgu baraj şevlerinden daha dik şevde inşa edilebildiğinden, toplam dolgu hacmi ile beraber, boşaltım tesisleri (dolusavak ve derivasyon yapıları) uzunlukları kısalabilmektedir.
- Geçirimsiz kil çekirdek temininde güçlük çekilen ve malzeme sahasına ulaşım yolları gibi maliyeti artırıcı unsurların olduğu baraj yerlerinde en avantajlı baraj tiplerindendir.
- Dolgu inşası hava şartlarından etkilenmemektedir.
- Enjeksiyon işlemleri dolgu inşaatı ile paralel yürütülebilmektedir.
- Baraj içinde bir su hareketi olmadığı için deprem titreşimleri altında dolguda

boşluk suyu basıncı artışları olmamakta ve kayma dayanımında herhangi bir azalma eğilimi görülmemektedir. Bu da deformasyonların küçük olması sonucunu doğurmaktadır.

- Yüksek kayma mukavemeti, boşluk suyu basıncı olmayışı ve dinamik yükler etkisi altında küçük deformasyonlar yapması bu baraj tipini sismik etkiler açısından diğer baraj tiplerine karşı bir üstünlüğüdür.
- Barajın kaya dahil tüm zonları su geçirimsiz sistemin mansabında yer almaktadır. Geçirimsizlik ön yüzde kontrol edildiği için suya doymuş ortamda bazı dolgu malzemelerinde oluşması muhtemel dayanım kayıpları en aza indirilebilmektedir.
- Ön yüzde sızmayı artırabilecek herhangi bir aksaklık oluşması durumunda onarımı kolaydır.
- Rezervuar su yükü + deprem yükleri altında malzeme parametrelerinin değişmemesinden dolayı yüksek güvenlik sayıları elde edilmektedir. Baraj gövdesine kaldırma kuvvetleri ve boşluk suyu basınçları oluşmamaktadır.
- Temel kayasındaki iyileştirme maliyetleri sadece topuk plağı altındaki bölgeyi kapsadığından oldukça düşüktür.
- Şantiye koşulları izin verdiğinde, kaya dolgu, nehrin derivasyonundan önce inşa edilebilir. Bu sahillerde sıyırma kazısını takiben kaya dolgu yapılabilir. Büyük nehirlerde sahillerde kaya dolgunun erken inşası kapatma kesitindeki kaya dolgunun hacmini ve inşa sırasında batardo üzerinden su aşma riskini azaltır. Dolgunun basitliği ve yerleşim hızı derivasyon kapasitelerini düşürebilir.

3.1. Tasarım Esasları

Ön yüzü beton kaplı kum çakıl dolgu barajların temel tasarım özellikleri:

- 1) Yüksek taşıma kapasitesi
- 2) Yüksek modül değerlerine bağlı olarak düşük deformasyon seviyeleri
- 3) Sürüklenme direncinin kaya dolguya göre düşüklüğü

Dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan kum-çakıl malzeme, kaya malzemeden farklı olarak daha yuvarlak danelere, daha yüksek dayanıma ve yüksek modül değerlerine bağlı olarak daha düşük deformasyon özelliğine sahiptir. Bu özellikleri ile kum-çakıl malzeme, ön yüzey beton kaplaması için bir avantaj oluşturmaktadır.

Bu avantajlarına karşın, kum-çakıl malzemenin dezavantajları ve buna karşı tasarımda alınan önlemler:

- Kum-çakıl malzemenin dane çapı dağılımı, malzeme alanı boyunca farklılıklar göstermektedir. Homojen olmayan dağılımdaki bir gövde dolgusu, geçirimsizliği düşük zonlara neden olabileceği için, gövdeyi oluşturan malzemenin kayma dayanımı açısından istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle memba tarafında gövde boyunca düşey bir drenaj zonu oluşturulmakta, sızıntı oluşması durumunda bu suyun kolayca drene olabilmesi sağlanmaktadır.
- Dane çapı dağılımı iyi derecelenmemiş malzemenin kullanıldığı kısımlarda, belirli bir ara dane boyutunun eksik olması durumunda, malzemenin içsel erozyona karşı dayanımı düşük olacaktır. Sızıntının oluşturacağı stabilite sorununa karşı, düşey drenaj zonunun membasında ve yatay drenaj zonu altında tranzisyon zonları yerleştirilmektedir. Tranzisyon zonu, membasında yer alan zona filtre oluşturacak gradasyona sahip olacak şekilde projelendirilmektedir.

3.1.1. Baraj Kreti Tasarımı

Parapet duvar üst kotunun ve temel seviyesindeki kret genişliğinin tespit edilmesi (bu genişlik minimum inşaatını gerçekleştiren ekipmanın çalışabileceği kadar olmalıdır) baraj kret detayının tasarımında dikkat edilmesi gerekir.

Parapet duvar üst kotu belirlenirken dolusavak yapısı ile hava payı hesabı sonrası elde edilen değerler optimize edilmektedir. Bu çalışmalarda hava payı hesabı iki değişik şekilde hesaplanmaktadır. Ülkemizde yapılan baraj hava payı hesap yöntemlerinde rüzgardan kaynaklanan etkiler oldukça emniyetli bir yaklaşımla ele alınarak yapılmaktadır. Son iki yılda bu konudaki detaylı literatür araştırmaları bu değerin kullanımının aşırı emniyetli bir yaklaşım olduğunu ve ekonomik olmadığını göstermektedir. Bu nedenle son yıllarda hava payı hesabında yeni yaklaşımların da dikkate alındığı ve rüzgar verilerinin detaylı tekrerrür değerlerine göre yapılan hesaplamalar kullanılmaktadır. Ayrıca klasik hesap yöntemleri ile belirlenen hava payı hesabı da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Hava payı çalışmalarında, aşağıdaki üç durum karşılaştırılmaktadır:

- 1) Muhtemel maksimum feyezan debisinin (tahkik feyezanı) ötelenmesi sonucu elde edilen su yükü (Hava payı eklenmemiştir.) + Keyfi Miktar (en yakın kota tamamlama)
- 2) 10000 yıllık feyezan debisinin (proje feyezanı) ötelenmesi sonucu elde edilen su yükü + Minimum hava payı (Normal rüzgar, 10 yıl tekerrürlü)+ Keyfi Miktar
- 3) Normal su seviyesi + Normal hava payı (Maksimum rüzgar, 1000 yıl tekerrürlü)

Parapet duvar, toplam dolgu hacmini azaltmak amacıyla hem memba hem de mansap tarafında düşünülmektedir. Parapet duvar tasarlanırken taban kotunun normal su seviyesinin üzerine çıkmamasına özen gösterilmektedir. Bunun nedeni normal işletme durumunda ve gelme ihtimali yüksek olan taşkınlar geldiğinde su seviyesinin gövde dolgusu hizasında kalması sağlanarak; parapet duvarın genelde bir hava payı ve dalgalara karşı koruyucu olarak görev yapmasının istenmesi; gelme ihtimali düşük olan proje feyezanının gerçekleşmesi halinde ise, baraj üstünden bu suların aşmasını engellemesidir.

3.1.1.1. Kret Genişliği

Baraj kret genişliğinin hesabında standart bir yaklaşım olmamakla birlikte öncelikle kretin yol amacına hizmet edip etmediği düşünülmelidir. Yol amacına hizmet edecekse, kret genişliği en az iki geniş aracın yan yana geçebilmesi düşüncesinden hareket edilerek saptanır. Küçük yapılarda yol genişliği genellikle en az 7.50 m, büyük yapılarda da 10 m alınmaktadır.

Baraj kret genişliği USBR (1977) tarafından önerilen formül şu şekildedir.

$$W = Z/5 + 3.3 \quad (3.1)$$

Z = baraj yüksekliği (dere yatağından) (m)

W = kret genişliği (m)

Knappen, T.T., kret genişliğinin hesabı için:

$$b = 1.65 \sqrt{h} \quad (3.2)$$

formülünün kullanılmasını önermektedir. Knappen'in formülü alçak barajlar için tutarlı ise de yüksek barajlar için çok büyük değerler vermektir.

Preece, E.F. (1938)'in önerdiği formül:

$$b = 1.10 \sqrt{h+1} \quad (3.3)$$

Bütün bu değerler bir ön yaklaşım olarak dikkate alınmalıdır. Ülkemiz pratiğinde büyük barajlar için genellikle 12.0 m, orta ölçekli barajlarda 10 m ve göletlerde de 8 m kret genişliği kullanılmaktadır.

3.1.2. Oturma Payı

Ön yüzü beton kaplı kum çakıl barajlarda dolguya verilen yükseklik fazlasının aşağıdaki deformasyonları karşılayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

- 1) Su tutma sonrası dolgunun yapacağı düşey yer değiştirme
- 2) İşletme ömrü boyunca dolgunun zamana bağlı yer değiştirme
- 3) Dinamik hareketlerde oluşacak kalıcı düşey yer değiştirme

(Maksimum işletme su seviyesinin üzerine, dinamik hesaplarda maksimum tasarım depremi altında bulunan değer 3 veya 4 katı değer ilave edilmektedir)

U.S. Bureau of Reclamation USBR (1977), barajın kret kotu üstüne baraj yüksekliğinin %1'i kadar oturma payı koyulmasını tavsiye etmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda bu tip barajlarda, oturmanın baraj yüksekliğinin %0.25 ile %0.4 arasında kaldığı görülmüş ve USBR tavsiyesinin fazla emniyetli kısımda kaldığı sonucuna varılmıştır.

3.1.3. Baraj Zonlarının Tasarımı

Ön yüzü beton kaplı kum-çakıl dolgu barajlarda temel gövde zonları şu şekildedir:

3.1.3.1. 1A – Kohezyonsuz İnce Dane Zonu

Bu malzeme ön yüzey beton kaplaması önüne her baraj yerine özel olarak belirlenen kota kadar yerleştirilmektedir. İçerisinde maksimum 150 mm'ye kadar çakıl malzemenin kullanılabileceği bu zon, ince gradasyona sahip kohezyonsuz silt ve ince kum malzemedan oluşmaktadır. Zon, 20 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilerek, sıkıştırılmaktadır. Bu zonun işlevi, ön yüzey beton kaplamasında çatlak oluşması

durumunda kullanılan kohezyonsuz malzemenin bu çatlakları kapatmak üzere çatlak aralarına sürüklenmesidir.

3.1.3.2. 1B – Zayıf Dolgu Zonu

1A zonunun stabilitesinin sağlanması ve bu zona destek oluşturması amacıyla yerleştirilecek olan bu zon, silt, kil, kum ve çakıllardan oluşan ve baraj yerine yakın kaynaklar ve kazılardan gelen malzeme ile teşkil edilen rastgele bir karışımından oluşabilir. Bu zon, 20 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilip sıkıştırılmaktadır.

3.1.3.3. 2A – Çevresel Derz Filtre Zonu

Çevresel derzin arkasında yaklaşık 2.0 m'lik bir kısma yerleştirilen bu zon, kum-çakıl filtre zonudur. Çevresel derzdeki su tutucularda bir sorun olması halinde sızıntı ile taşınan silt parçacıkları tutarak, sızıntıya karşı ikinci bir bariyer olarak hizmet edecektir. Bu zon, 20 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilecek ve titreşimli silindirlerle çok iyi şekilde sıkıştırılmalıdır. Zon 2A'nın gradasyonu, çevresel derzde hipolon bant ile derz üzerine sabitlenen uçucu küle, silt ve kum boyutu danelere filtre oluşturacak şekilde oluşturulacaktır. Ayrıca, malzemenin kendi içsel stabilitesi de, malzeme içerisinde borulanma olmaması için tahkik edilmelidir. Zon 2A malzemesinin istenen gradasyonda hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi, serilmesi veya sıkıştırılması aşamalarında gradasyonun değişmemeli ve ayrılmamalıdır.

3.1.3.4. 2B – Filtre/Yastık Zonu

Bu zonun işlevi, ön yüzey beton kaplamasına destek oluşturmak ve aynı zamanda ön yüzey betonu üzerine yerleştirilecek olan 1A zonuna, silt ve ince kum boyutu danelere filtre oluşturmaktır. 40 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilecek olan zon, titreşimli silindirlerle iyi şekilde sıkıştırılmalıdır. Bu zon, baraj kretinde parapet duvarın hemen altında 3.0 m kalınlığında başlar. Ön yüzey betonunda çatlak oluşumu veya derzlerdeki açılmalar sebebiyle sızıntı oluşması halinde beton üzerine serilen 1A zon malzemesi veya göl alanına bırakılacak silt, ince kum boyutu malzemenin

taşınarak, 2B zonunda tutulması istenilmektedir. Tıkanan 2B filtre zonunun geçirimsizliği düşecek; bu şekilde sızdırmazlığın ilk bariyeri olan ön yüzey betonunda bir problem yaşandığı durumda, hemen arkasında ikinci bir bariyer ile sızıntı miktarı sınırlandırılmıştır. Bu zonda sızıntı miktarının kontrolü sağlanacağı için malzemenin kohezyonsuz olmasına ve yerleştirilip, sıkıştırılırken gradasyon değişmemelidir.

3.1.3.5. 3A – Tranzisyon Zonu

3A zonu, 2B zonu ile muamele görmeden yerleştirilecek olan 3B kumlu çakıl zonu arasında tranzisyon zonu olarak yerleştirilir. Dolayısıyla, bu zonun gradasyonu, hem 2B zonuna filtre oluşturacak, hem de kendi danelerinin 3B zonuna borulanmaması için gerekli filtre kriterlerini sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır. 40 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilecek olan zon, titreşimli silindirlerle iyi şekilde sıkıştırılır. Baraj kretinde parapet duvarın hemen altında 3.0 m kalınlığında başlayacak zon, maksimum kesitte talvegde yaklaşık 4.00 m kalınlığa ulaşır. Plinth plağı altında devam eden 2B zonunun üzerini kapatacak şekilde devam edilir.

3.1.3.6. 3B – Kumlu Çakıl Dolgu

Gövde dolgusunun önemli bir miktarını oluşturan bu zonda kumlu çakıl malzeme, hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılır. 80 cm'lik katmanlar halinde yerleştirilecek olan zon, titreşimli silindirlerle iyi şekilde sıkıştırılmalıdır.

3.1.3.7. 3C – Drenaj Zonu

Bu tip barajlarda baraj dolgusu tasarımında, ön yüzey beton kaplaması ile sızdırmazlık sağlanmakta, arkasında bulunan 2B zonu ile sızıntı miktarı kontrol altına alınmaktadır. Bu önlemlere ilaveten, baraj gövdesi içine sızan suyun hızlı bir şekilde deşarj edilmesini sağlamak amacıyla, düşey ve yatay drenaj zonları oluşturulmaktadır. Su tablasının mümkün olduğu kadar aşağı seviyeye çekilmesi, baraj stabilitesi açısından önemlidir. Katmanların yerleştirilmesi sırasında kaba danelerin aşağı çöküp, ince danelerin katmanların üst bölgesine ayrışması sonucunda,

yatay geçirimsizliği düşey geçirimsizliğinden daha fazla olan bir dolgu oluşması muhtemeldir. Düşey drenaj sistemi bu yatay drenaj zoneyla birleşmektedir.

3.1.3.8. 3D- Mansap Koruma Zonu

Mansap yüzeyi koruyucu dolgu zone olarak, riprap niteliğindeki malzeme veya kaya malzemenin ekonomik mesafede olamaması durumunda gabiyon sepetlerinin kullanılması düşünülmektedir (Batmaz, 2008).

3.1.4. Ön Yüzey Beton Kaplaması

Bu tip barajlarda geçirimsizlik, kum-çakıl dolgu üzerine anklar halinde yerleştirilecek, betonarme betonu ile sağlanacaktır. Altında bulunan dolgu zoneları tarafından desteklenen yüzey betonunun, yamaçlara doğru çekme gerilmelerinin oluştuğu kısımları haricindeki büyük bölümü rezervuar su yükleri altında basınca çalışmaktadır. Yüzey beton kaplaması ile ilgili yerli ve yabancı literatürde herhangi bir tasarım metodu bulunmamaktadır. Ancak, ilerleyen teknolojinin sağladığı yeni inşaat metodları sayesinde bu konuda teknik ve pratik gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmeler kapsamında, ön yüzey kaplama betonu tasarımı, dayanımdan çok geçirimsizlik, durabilite ve çatlak oluşumu kontrolü kavramları üzerine yoğunlaşmıştır.

Tasarımın ana ilgi odağı olan, sızdırmazlığı sağlayan yüzey betonarme kaplaması, rezervuarın dolması sonucunda bazı deformasyonlara uğramaktadır. Bu deformasyonlar sonucunda çatlaklar oluşabilmekte, sızıntı nedeniyle barajın performansı beklenenden daha düşük olabilmektedir. Bugüne kadar inşa edilmiş barajların performansları incelendiğinde, kaplama betonunun genel olarak 3 ayrı deformasyon eğilimi gösterdiği belirlenmiştir (Guidici vd., 2000). Beton kaplama, kret ve mansap yüzüyle birlikte, baraj dolgusunun rezervuar su yükü etkisiyle uğradığı deformasyona uyacak şekilde belli bir düşey deformasyon gösterir. Bu deformasyon eğilimi, yüzey betonu deformasyonunun tamamen altındaki baraj gövdesinin deformasyonuna bağlı olduğu gerçeğinin altını çizmektedir. Bu noktadan

yola çıkarak yüzey betonunda oluşması muhtemel çatlakları engellemek için dolgu malzemesinin seçimi, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması aşamaları büyük önem verilmektedir.

- Ön yüzey beton kaplaması, rezervuar su yükünün etki etmesiyle, barajın merkezine doğru harekete geçer. Bu eğilim sonucunda ön yüzey beton kaplaması düzleminde barajın merkez kısmındaki derzlerde basınç oluşurken yamaçlardaki derzlerde çekme kuvveti etkili olur. Bu kuvvetlerin etkisi altında oluşacak çatlakları engellemek için merkeze yakın bölümünde düşey büzülme derzleri, çekme kuvvetinin etkisi altındaki yamaç kısımlarında ise düşey genleşme derzleri tasarlanmaktadır.
- Ön yüzey kaplaması arkasındaki baraj dolgusunun rezervuar su yükü altında oturması sonucunda, beton kaplama topuk plağı panellerinden uzaklaşma eğilimi gösterir. Bu deformasyon sonucunda oluşacak sızıntıları engellemek için ise topuk plağı ile yüzey beton kaplaması birleşim yerinde limit değerdeki genleşmeleri karşılayabilecek şekilde bir çevresel derz tasarlanmaktadır.

3.1.4.1. Beton Kaplama Kalınlığı

Ön yüzü betonarme kaplamalı kum-çakıl dolgu barajlardaki dolgu malzemesi, yerleştirilirken iyi sıkıştırıldığı takdirde rezervuar yükü altında yüksek bir modül değerine sahip olacağından, bu dolgu üstüne oturacak beton kaplamanın çok kalın seçilmesine gerek duyulmamaktadır. Beton kalınlığı için yaygın olarak kullanılan, $t=0.3+0.003H$ formülünün kullanılması uygun bulunmuştur (Qian, 2005).

3.1.4.2. Donatı Oranları

Ön yüzey betonu donatı oranları, tipik olarak benzer yükseklikteki barajların performansları baz alınarak belirlenmektedir. Benzer barajların incelenmesi ve en son gelişmeler sonucunda donatı oranı yaklaşık yatayda %0.30, düşeyde de %0.35 olarak seçilmektedir. Baraj genelinde kullanılan donatı oranı çevresel derzin 10 m yakınında her iki doğrultuda %0.40 olarak artırılmaktadır.

3.1.4.3. Panel Genişliği

Panel genişliği paratikte 12-18 m arasında değişmektedir. 18 m'den kalın panellerin rötre etkisi altında çatlaklara sebep olma riski daha yüksek olduğundan tercih edilmemektedir. Baraj aksının uzun olması, kayar kalıp genişliği ve beton döken ekipmanın kapasitesi göz önünde bulundurularak genelde panel genişliği 15 m olarak seçilmektedir. Panel genişliğinin pratik limitler içerisinde artırılması derz sayısını azaltmakta ve baraj maliyeti ve inşa süresinde de önemli avantajlar sağlamaktadır.

3.1.4.4. Düşey Derz

 n yüzey beton kaplamasında rezervuar yükleri altında çekme ve basınç kuvvetleri oluşmaktadır. Beton kaplama üzerinde yapılan düşey derzler de iki gruba ayrılmaktadır. Basınç kuvvetinin etkili olduğu merkeze yakın kısımlarda düşey büzülme derzleri, çekme kuvvetinin etkili olduğu yamaç kısımlarında ise düşey genleşme derzleri tasarlanarak kaplamada oluşabilecek çatlama riski minimuma indirilmektedir.

 n yüzey beton kaplamasını oluşturacak panellerin genişliği 15 m olarak seçildiği için 15 m aralıkla düşey derz yapılmaktadır. Rezervuar yükleri altında yüzey beton kaplamasının merkezinde oluşan basınç kuvvetleri panelleri birbirlerine doğru harekete geçirerek bu kısımdaki düşey derzlerde sıkışmaya sebep olur. Su yükü altında basın a çalışan bu derzlerde esneme eğilimi bulunmadığından yüzey kaplamasındaki yatay donatılar derz kesiti boyunca devam ettirilmektedir. Derz kesitinde su tutucu tek bariyer kullanılmış ve derzin tabanına W-şekilli bakır su tutucu yerleştirilmekte, su tutucunun oturacağı yüzey asfalt-kum karışımı yastık ile iyileştirilmektedir. Büzülme derzlerinde iki beton panelinin birbirine doğru hareket eğilimi bulunduğundan beton yüzeylerinde aşınma ihtimaline karşı iki panel arasına sıkışabilir ahşap malzeme ile dolgu yapılıp beton yüzeyine sabitlenmektedir.

Yama lara yakın derzler çekme kuvvetleri altında çalışacağından, paneller arasındaki

açılmalara izin verecek aynı zamanda da sızdırmazlığı koruyacak şekilde tasarlanmıştır. Bu bölgedeki panel genişlikleri ve derz mesafeleri pratikte bir miktar düşürülmektedir. Çekme kuvvetleri altında belirli bir ölçüde esnemeye maruz kaldığı için beton kaplamaya yerleştirilen yatay donatılar bu derzlerde devam ettirilmemektedir. Büzülme derzinin aksine açılma eğilimi gösterdiği için kesiti, aynı deformasyona uğrayan çevresel derz gibi alt ve üst kısımda olmak üzere iki su geçirmez tabaka ile tasarlanmıştır. Üst kısımda hypalon bant ve geotekstil ile sabitlenmiş uçucu kül haznesi, altta ise W şeklinde bakır su tutucu tercih edilmektedir. Bakır su tutucu, oturacağı baraj dolgusunun pürüzlü yüzeyinden zarar görmemesi için asfalt-kum karışım yastık serilerek desteklenmektedir. İki panelin birleşim yerinde betonun aşınmaması için ek donatı kullanılmaktadır.

3.1.4.5. Yatay Derz

Genel uygulama olarak yüzey betonunda yatay inşaat derzi bırakılmamaktadır. Ancak, hava koşulları veya ekipman arızasından kaynaklanan duraksamalar gibi nedenlerle gerekli olması halinde yatay inşaat derzleri kullanılabilir. Ön yüz beton kaplama imalatına, başlangıç paneli olarak adlandırılan ve çoğunlukla üçgen şeklindeki panellerin imalatıyla başlanmaktadır. Başlangıç panelleri, devamında gelen ön yüzey beton kaplaması panelleri için inşaat kolaylığı sağlamaktadır. Yatay inşaat derzlerinde donatı devam ettirilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda iki farklı yatay derz tipi kullanıldığı belirlenmiştir (ICOLD, 2005).

- Yatay inşaat derzlerinde baraj yüksekliği göz önünde bulundurarak bakır su tutucu kullanılabilir, fakat bu durumda derzin tamamı alttaki baraj dolgusuna kadar yüzey eğimine dik olarak inşa edilir.
- Bakır su tutucunun gerekli görülmediği durumlarda yatay inşaat derzi, derz içinden devam eden yüzey beton kaplamasının düşey donatısına kadar yüzeye dik bir eğimle ilerleyip, donatıdan sonra baraj dolgusuna kadar yatayda devam ettirilir.

3.1.4.6. Çevresel Derz

Çevresel derzin ana fonksiyonu, topuk plağı ve yüzey panelleri arasında beklenen

hareketlere izin verirken, maksimum işletme su yükü altında sızdırmazlık görevini sağlamaktır. Çevresel derz imalatına topuk betonu inşa edilip ön yüzey beton kaplamasının alt kısımları bitirildikten sonra başlanmaktadır.

Yüzey kaplaması krete doğru tamamlandıkça, ağırlığı etkisi altındaki kum-çakıl dolgunun oturması sonucunda deformasyona uğramakta ve topuk plağına doğru hareket ederek su tutucularda ya da betonda hasara yol açmaktadır. İnşaat halindeki çevresel derze gelecek bu hasarı engellemek için yüzey beton kaplamasının topuk plağına oturduğu yüzeye sıkışabilir ahşap dolgu malzemesi yerleştirilerek yüzey kaplamasının oturacağı yastık bir zon oluşturulmakta ve bulonlar aracılığıyla derzin yarı mesafesine kadar topuk plağı bloğuna, kalanında da yüzey kaplamasına sabitlenmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda kısa bir süre öncesine kadar inşaa edilen ön yüzü beton kaplı barajların çevresel derz kesitlerinde alt ve orta kısımda olmak üzere iki, daha sonraları daha emniyetli olacağı düşünülererek üç tabakalı geçirimsizlik sistemleri kullanıldığı görülmüştür. Fakat beklenenin aksine orta kısma yerleştirilen su tutucunun, betonla aderans sağlamaması ve önlenemeyen deformasyonu sonucunda, derzin sızıntıya karşı performansı çok düşük kalmıştır. Bu durumun gözlendiği pek çok örnekte, baraj işletmeye açıldıktan sonra oluşan aşırı sızıntıyı önleyebilmek için çok pahalı ek uygulamalar yapılması gerekmiştir. Bu sebeple, çevresel derz kesitinde iki tabakalı geçirimsizlik sistemine geri dönülmüştür. Fakat, bu yeni tasarımda, derzin sızdırmazlık performansını olumsuz etkileyen orta su tutucu yerine üst kısımda bariyer kullanılmaktadır.

Bu tabakada kohenyonsuz ince malzeme olarak kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşan uçucu kül kullanılmıştır. Sızıntı olması durumunda baraj gövdesinin içine doğru sürüklenecek tanecikler, yüzey beton kaplamasının hemen altına yerleştirilmiş olan 2A zonu tarafından tutulacak ve bu bölgede geçirimliliği daha düşük bir zon oluşturma yoluyla sızıntı miktarı kontrol altına alınacaktır. Normal işletme durumundaki yükler altında oluşan deformasyonda derz hacmine sığmayıp derzin dışına çıkabilen uçucu kül, maksimum genleşme durumunda derz hacmini

tamamen doldurup sızıntıyı engellemeye yetecek miktarda kullanılmaktadır. Fazla malzeme derz kesitine zarar vereceği gibi, az malzeme de bu derz kesitinden sızıntı olmasına neden olmaktadır.

Uçucu külün, normal durumda derz dışında rezervuar yüklerine maruz kalıp zarar görmemesi için altta geotekstil malzeme destekli hypalon bant ile kaplanmıştır. Dış darbe ve etkilere dayanıklı üstteki bu iki tabaka uçucu kül haznesini baraj performansı açısından devamlı durması gereken yer olan çevresel derz üstünde tutabilmesi için, bir uçtan topuk plağı betonuna diğer uçtan da yüzey beton kaplamasına ankraj çubuklarıyla sabitlenmiştir. Çevresel derz üzerinde yer alan 1A ve onun üzerindeki 1B zonları da hypalon bant ve geotekstil tabakalarını rezervuar yükleri altında yırtılma, aşınma ve kopmaya karşı korumaktadır.

Alt tabaka olarak, çevresel derze uygun olacak şekilde yırtılma ve kopmaya maruz kalmadan deformasyon gösterebilecek W-kesitli bakır su tutucu kullanılmaktadır. Çevresel derz imalatında olası hataları önlemek ve sonuçlarını sağlamak için gerekli önlemler tasarım aşamasında alınmıştır. Bakır su tutucunun oturacağı yüzeye, alttaki kumlu çakıl dolgu tabakanın sivri uçlarından zarar görüp delinmemesi ve imalata uygun zemin hazırlanması için üste PVC bant yerleştirildikten sonra kum-asfalt karışımı yastık konulmaktadır. W-kesitli bakır su tutucu, sağ ve sol flanşları plinth ve yüzey beton kaplamasına saplanarak aderansı artıracak için tercih edilmektedir. Topuk plağı ve beton kaplamaya saplandığı yerlerde donatı yerleşimini engellememesi için flanş uzunlukları 50 mm olarak tasarlanmaktadır. W-şekilli bakır su tutucularda yaygın olarak kullanılan taban genişlikleri 200-500 mm aralığındadır. Yapım esnasında 8 ve 12 mm olmak üzere iki farklı kalınlık seçeneği bulunmaktadır. Bakır metalinden kazandırdığı esnek ve narin yapısı orta kısmındaki boş kısımda inşaat aşamasında sorun yaratmaktadır. Orta kısımda kalan bu boşluk köpük malzeme ile doldurularak yüzey beton kaplamasından kaynaklanan yükler altında ezilmesi engellenmektedir (Batmaz, 2008).

3.1.5. Topuk Plağı

Ön yüzü betonarme kaplamalı barajlarda temel ile yüzey beton kaplaması arasında bağlantıyı ve de sızdırmazlık perdesinin sürekliliğini sağlamak amacıyla topuk plağı inşa edilmektedir. Topuk plağı betonu, yüzey beton kaplamasından bağımsız olduğu için inşaat süreçleri birbirinden bağımsız olarak devam ettirilebilmektedir.

3.1.5.1. Topuk Plağı Genişliği

Topuk plağı genişliğine etki eden faktörleri temsil eden zemin türü, zemin sınıfı, Kaya Kalite Tanımı (RQD=Rock Quality Designation), aşınma derecesi, kıvam derecesi ve kazı sınıfı kriterleri ile Topuk Plağı Dizayn İndeksi (PDI) arasında bir bağıntı geliştirilmiş olup, bu ilişkileri gösteren Çizelge 3.1 aşağıda sunulmuştur. Topuk Plağı Dizayn İndeksi, $PDI=W/H$, formülü ile plinth genişliğinin rezervuar su yüküne oranı olarak tanımlanmış birimsiz bir parametredir.

Çizelge 3.1. Topuk plağı genişliği için temel kriterler

A	B	C	D	E	F	G	H
I	Aşınmayan	>70	I - II	1 - 2	< 1	1	1/18
II	Az aşınmış	50-70	II -III	2 - 3	1 - 2	2	1/12
III	Aşınmış	30-50	III - IV	3 - 5	2- 4	3	1/6
IV	Çok aşınmış	0-30	IV - VI	5 - 6	> 4	4	1/3

A: Zemin türü (I: Sert Kaya IV: Bitkisel Toprak)

B: Zemin sınıfı

C: Kaya Kalite Tanımı RQD(%)

D:Aşınma derecesi (I: Sağlam Kaya..... VI: Bitkisel Toprak)

E:Kıvam derecesi (1: Çok Sert Kaya.....6: Ufalanmış Kaya)

F:10 m'deki aşınma mikro boşlukları

G:kazı sınıfı 1: Dinamitle patlatılan

2: Ağır ripper ve az dinamitle patlatılan

3: Hafif ripper ile kazılabilen

4: Dozer ile kazılabilen

H: PDI=Plak genişliği/ Rezervuar su yükü

Topuk plağı panelini araziye yerleştirirken yapılması gereken kazı miktarının çok fazla olması durumunda, topuk plağı iç ve dış olmak üzere iki kısma ayrılıp iç kısmının baraj gövde dolgusu altında devam ettirilmesi düşünülmektedir (ICOLD, 2005).

Dış topuk plağı üzerinden enjeksiyon yapılacağı düşünülerek 3 m'lik kısım baraj dolgusu dışında bırakılmakta, kalan kısım da iç topuk plağı olarak tasarlanıp gövde dolgusu altında devam ettirilmektedir. Topuk plağı betonunun oturduğu zemindeki temel kayası ile tam aderansını sağlamak için ankraj uygulaması yapılmakta, ankraj çubukları genelde 26 mm çapında 3 sıra halinde 2 m ara ile yerleştirilmektedir.

3.1.5.2. Topuk Plağı Kalınlığı

Topuk plağı kalınlığı için minimum kalınlık 0.3-0.4 m mertebelerindedir. İnşaat kolaylığı sağlamak amacıyla, sabit bir kalınlık da yaygın olarak tercih edilmektedir.

3.1.5.3. Topuk Plağı Donatı Oranları

Topuk plağı donatısı üst yüzeyden 100 mm aşağıdan başlatılmakta ve genelde her iki yönde de %0.30 oranında yerleştirilmektedir. Gerek duyulduğunda inşaat derzi bırakılmakta, bu derzlerde su tutucu kullanılmamaktadır.

3.1.6. Yerinde Dökme Beton Bordür (Curb yöntemi)

İlk olarak Ita Barajı'nın inşaatında kullanılan ve son yıllarda ön yüzü beton kaplı barajların inşaat teknolojisinde büyük bir ilerleme olarak kabul edilen yerinde dökme beton bordür, hem ön yüzey beton kaplaması imalatında donatı ve kalıpların yerleştirilmesi ve betonun dökülmesi aşamalarında çok büyük kolaylık sağlamakta hem de 2B zonunun yerleştirilmesi aşamasında çok sık rastlanılan sıkıştırma ve şev bozulma problemlerini engellemektedir. Bu sebeple bu teknik daha sonra Machadinho, Itapedi, Antamina ve Mohale Barajları'nda da kullanılmıştır.

Bu yöntem ile, yerleştirme aşamasında dökülmelerden kaynaklanan malzeme kayıpları azalmaktadır. Yerleştirilen malzemede oluşacak erozyona karşı önlem oluşturularak, malzemelerin birbirine karışması da engellenmektedir. Memba yüzünde işçi çalışmasına gerek duyulmadığından daha güvenli bir yöntemdir. İnşaat oldukça hızlı ilerler. Kret uzunluğu 500 m olan barajlarda yaklaşık olarak günde 2 tabaka çıkılabilmektedir. Beton blokları için tasarlanan ekipman ucuz olduğundan ekipman maliyeti çok daha ucuz olmaktadır. İmalat bitiminde oluşan yüzey çok temiz ve düzgün olduğundan ön yüzey kaplaması imalatı çok kolaylaşmaktadır. Ayrıca kaplama imalatı sırasında yüzeyi düzeltmek için kullanılan fazla betondan tasarruf edilmiş olmaktadır.

Özel olarak tasarlanan bir ekipman aracılığıyla dökülen beton blokların eğimi memba şevi ile aynı olacak şekilde ayarlanarak, ön yüzey beton kaplamasının imalatı basitleştirilmektedir.

Çimento: 70-75 kg/m³

Agrega 3/4": 1173 kg/m³

Kum: 1173 kg/m³

Su: 125 litre

Yukarıda belirtilen miktarlar kullanılarak hazırlanan düşük doz beton kullanılarak imal edilen beton bordürün inşaat süreci kısaca şöyle özetlenebilir:

- 40 cm kalınlıkta tabakalar halinde dökülen 2B zonunun üst yüzeyi yataya getirilerek beton bordür ekipmanının üzerinde çalışabileceği bir yüzey hazırlanır.
- Beton blokları imalatı için kullanılacak metal kalıbın ebatları, ön yüzey kaplamasının eğimi ve 2B zonunu oluşturan tabakaların tasarım yüksekliği (40 cm) dikkate alınarak ayarlanır.
- İmalat aşamasında, yukarıda miktarları belirtilen kuru karışım kullanılır.
- Kret boyunca ilerleyen beton ekipmanının doğrultusu topoğraf tarafından belirlenen yöntemle kontrol edilerek yataydan sapması engellenir.
- Beton bordür döküldükten sonra 2B zonunu oluşturan tabaka serilir ve bu tabaka da sıkıştırıldıktan sonra aynı işlemler tekrar edilerek imalat tamamlanır (Batmaz, 2008).

3.1.7. Baraj Şevlerinin Belirlenmesi

Bu tip barajlarda şev açılarının belirlenmesi için yapılan limit denge yöntemini kullanan kayma dairesi analizleri sonucunda incelenen her şev için farklı yükleme durumlarındaki istenen emniyet katsayılarını sağladığı saptanmaktadır.

Bu değerler 1 düşey:1.5 yatay ile 1 düşey: 1.8 yatay aralığında değişmektedir. Genelde memba ve mansap şevi simetrik olarak seçilmekle beraber uygulamada memba şevi su yükü altında daha az kritik olduğundan mansap şevinden daha dik seçilmektedir. Çizelge 3.2’de de kayma dairesi analizinde kabul edilen emniyet katsayı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Kayma dairesi analizinde kabul edilen emniyet katsayı değerleri

	Baraj Gövdesi	Memba Batardosu	Mansap Batardosu
İnşaat Sonu, Depremsiz	> 1.5	> 1.2	> 1.2
İnşaat Sonu, Depremli (a: 0.1 g)	> 1.0	> 1.0	> 1.0
İşletme Durumu, Depremsiz	> 1.5	> 1.2	-
İşletme Durumu, Depremli (a: 0.1 g)	> 1.2	> 1.0	-
İşletme Durumu, Depremli (a: 0.16 g)	> 1.0	-	-
Ani Boşalma	> 1.0	> 1.0	-

4. KAYNAK ÖZETLERİ

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

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

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

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

Calayir ve Karaton (2005), yapmış oldukları çalışmada, doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analizleri ile HHT- α (doğrusal elastik sistemlerde stabilitenin uygun olmadığı durumlarda sıklıkla kullanılan nümerik dağılım) zaman integrasyonu algoritması kullanarak depremin beton ağırlık barajlarına ve rezervuarlarına olan

etkilerini araştırılmışlardır. Bu çalışmada, beton ağırlık barajı olan Koyna Barajı'nın iki boyutlu sismik analizi Koyna depreminin verileri alınarak yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır. Ayrıca Calayir ve Karaton (2005), Lagrangian ve Wetergaard Barajlarının rezervuarında deprem sonucunda oluşan durumları yukarıdaki yöntemleri kullanarak karşılaştırmışlardır.

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

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

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

Azmi ve Paultre (2002), yapmış oldukları çalışmada beton ağırlık barajlarında dikey bileşen noktaların davranışlarını hesaplayan ve noktaların baraj stabilitesine etkisini inceleyen sonlu eleman modeli prensibine dayanan ADAP-88 adlı bilgisayar programını kullanarak barajların dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Big Tujunga

kemer barajı ile Outardes III beton ağırlık barajının ADAP-88 adlı bilgisayar programı yardımı ile dinamik ve termal analizlerini yapmışlar ve meydana gelen değişimleri gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda soğuma ve ısınmanın baraj gövdesine etkisi grafiklerle gösterilmiştir.

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

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

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

Li vd. (2005), yapış olukları çalışmada, üç boyutlu sonlu eleman metodunu kullanarak beton ağırlık baraj olan Three Gorges barajının sismik analizini yapmışlar ve deprem etkisi altında nasıl davranış sergilediğini araştırmışlardır. Barajın

hidroelektrik santraline su taşıyan ve gövdenin içinden geçen kapalı kanalın değişik modellemeler yardımıyla sismik analizini yapmışlar, rezervuarın ve baraj temellerinin de stabilitelerini kontrol etmişlerdir.

Lotfi ve Espander (2004), sonlu eleman programlarından olan ayrı ve dikey olmayan kırılma metotları yardımı ile doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz modellemelerini ve beton kemer barajların sismik analizlerini yapmışlardır. Baraj gövdesinin maksimum çekme ve basma gerilmelerini, her iki yöntemle hem beraber hem de ayrı ayrı kullanarak, bulup çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak her yöntemin kendine göre farklı üstünlükleri olduğunu gözlemişlerdir.

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

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

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

Acar ve Dinçer (2005), yapmış oldukları çalışmada çeşitli zemin parametreleri verilmiş olan şevlerde stabiliteyi sağlamak için gerekli yöntemleri kullanarak deprem yükleri altındaki Çatalan barajının sol tarafındaki memba şevlerinin dizaynını

yapmışlar ve şevlerin davranışlarını incelemişlerdir. Baraj yapımı esnasında iyi dizayn edilmiş ve jeoteknik durumu iyi olan memba şevleri deprem süresince çok sayıda çekme çatlakları oluşmasına rağmen yapı kendini korumuş ve hasar oluşmamıştır.

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

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

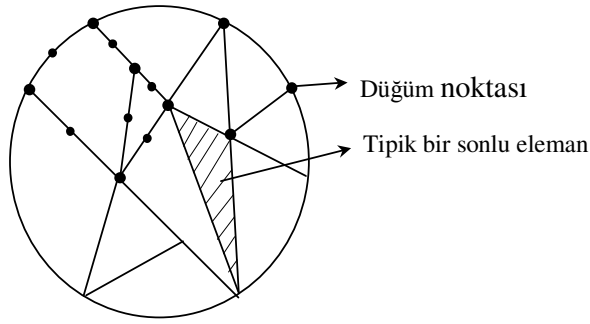
Çerçeve yapısına sahip olmayan yapıların analizi diferansiyel denklemlerin çözümü ile yapılabilir. Bu çözüm (kapalı matematiksel çözüm) bir sistemde hesaplanması gereken yerdeğiştirme ve gerilmelerin değerini sistemin herhangi bir noktasında veren ifadelerdir. Ancak değişik malzeme özellikleri, sınır şartları ve geometrileri içeren karmaşık problemler için yaklaşık fakat yeterli sonuçlar veren sayısal çözümlere başvurmak gerekmektedir. Sayısal yöntemlerin çoğunda çözüm, düğüm noktaları olarak adlandırılan, belirli noktalarda elde edilmektedir.

Yapı mekaniğinde matris yöntemleri düğüm noktalarında birleşen çubuklardan oluşan yapıların çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür yapılarda düğüm noktalarının yerlerini seçmek kolaydır, örneğin kirişlerin birleşme noktaları ile tekil yüklerin etkiği noktalar düğüm noktaları olarak kabul edilirler. Fakat sürekli ortamdan oluşan yapılarda (plak, kabuk, baraj gövdesi vb.) bir çerçeve iskeleti söz konusu olmadığından kolayca saptanacak düğüm noktaları da bulunmaz. Bu tür yapılarda yapay düğüm noktaları yerleştirilerek yapının belirli sayıda sonlu elemandan meydana geldiği kabulü yapılabilir. Bu sonlu elemanlar iki ya da üç boyutlu olabilirler. Sonuç olarak, tek bir işlemde tüm yapıyı çözmek yerine, çözümler yapıyı oluşturan her ayrı eleman için formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm yapının davranışı elde edilmektedir. Böylelikle, analiz yönteminin oldukça basitleştirilmesine karşın yapılacak işlem sayısı esas yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmakta ve gereken işlemler ancak bilgisayar ile gerçekleştirilebilmektedir (Akyüz, 1990).

Sonlu elemanlar yöntemi; kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen problemleri çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemleri çözmede kullanılmaktadır. Problemin genel bir denkleminin yazımı ve denklemin çözümü yerine önce ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları dikkate

alınarak elemanlar birleştirilir ve ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımları çözülerek bilinmeyenler hesaplanır. Bu yöntemde, sürekli ortam önce Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar birbirine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır (Bathe, 1967; Cook vd., 1989).

Her elemanın düğüm noktalarına serbestlik derecesi kadar bilinmeyen sayısı vardır. Eleman davranışı bu bilinmeyen serbestlik dereceleri içeren denklemlerle ifade edilir. Gerek düğüm noktalarında gerekse eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartları sağlandığında cismin veya yapının matematiksel bir modeli elde edilmiş olur. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür. Bu modele yapının sonlu eleman ağı adı verilir.



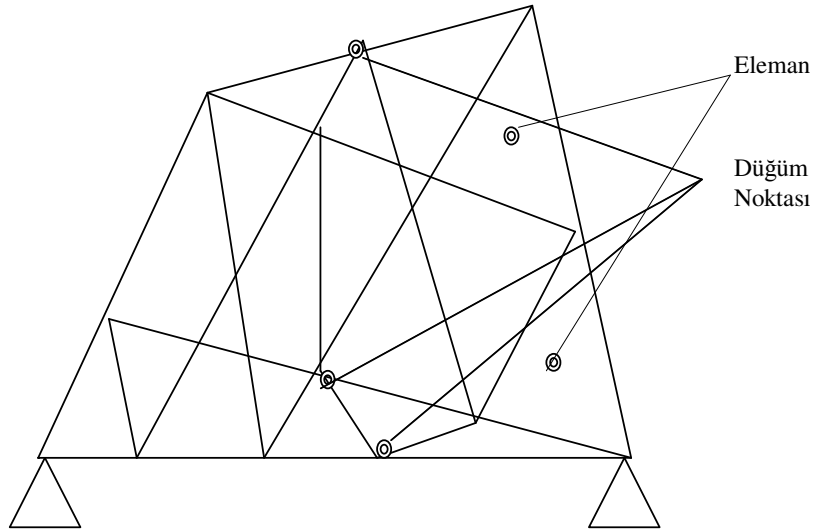
Şekil 5.1. Bir sürekli ortam ve sonlu eleman ağı (Cook vd., 1989)

Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre (üçgen, paralel kenar, dörtgen), düğüm sayısına göre, düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) sınıflanır. Ayrıca eleman temel matrislerin elde edilmesine göre de elemanları matematik modelleme açısından sınıflandırmak mümkündür (Zienkiewicz ve Taylor, 1988; Cook vd., 1989). Yapının davranış sisteminin serbestlik dereceleri bilinmeyenler olarak kabul edildikten sonra bir denklemler silsilesi ile ifade edilmesi mümkündür. Modeldeki doğruluk ve kesinlik, alınan elemanların davranışlarının kabulüne ve ağıdaki eleman sayısına bağlıdır. Genel olarak, eleman sayısı arttıkça bilinmeyenlerin sayısında da bir artış olur ve neticede sonuçların doğruluk ve kesinliği de artar (Bathe, 1967).

Sonlu elemanlar yöntemi dolgu barajların hesabında da kullanılmaktadır (Tezcan, 1972 ; Ghaffar vd., 1982).

5.1.1. Yapısal İdealleştirme

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi analizi yapılacak yapı, her birine eleman adı verilen sonlu sayıda parçalara bölünür. Bu elemanların özellikleri, gerçek sürekli yapının özellikleri ile benzer davranış gösterirler. Bu elemanlar birbirlerine düğüm noktaları olarak adlandırılan, sonlu sayıda noktalarla bağlanırlar. Elemanların şekli ve boyutları uygulamacının isteğine, problemin türüne, çözümde istenilen hassasiyet derecesine ve yapılabilecek bilgisayar harcamalarına göre seçilir. Yapı az sayıda ve büyük elemanlara bölünecek olursa, bilgisayar çözümü az zaman alır, fakat sonuçlar yaklaşıktır. Çok sayıda küçük elemanlara bölünecek olursa daha doğru sonuçlar alınır fakat daha fazla bilgisayar zamanı ve belleği gerekir. Aynı avantaj ve dezavantajlar düğüm noktalarındaki serbestlik derecelerinin sayısı için de geçerlidir. Sıklıkla yapılan bir uygulama ise, gerilmelerin büyük olduğu kısımlarda daha küçük boyutlu elemanların, diğer kısımlarda ise daha büyük boyutlu elemanların kullanılmasıdır.



Şekil 5.2. Sonlu eleman modeli

Her elemanın düğüm noktalarında bazı serbestlik dereceleri tanımlanır. Eleman davranışı bu bilinmeyen serbestlik derecelerini içeren denklemlerle ifade edilir. Gerek düğüm noktalarında gerekse eleman sınırlarında, sınır şartları sağlanıp yapının gerçeklerle bağdaşan bir matematik modeli elde edilir. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir sürekli ortam, sonlu serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür ki buna yapının sonlu eleman modeli denir. Şekil 5.2’ de gösterilmektedir.

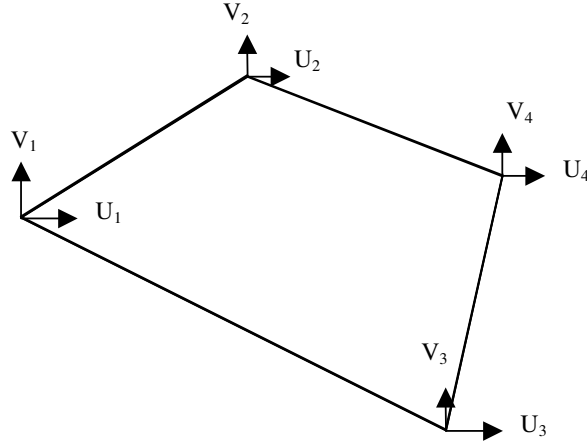
Her eleman komşusu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlıdır. Fakat sonlu elemanlar yönteminde her elemanın sadece düğüm noktaları aracılığı ile komşu elemanlara bağlı olduğu kabul edilmektedir. Böylece yerdeğiştirmelerin uygunluğunun sadece bu noktalarda sağlanması yeterli olacaktır (Akyüz, 1990).

Elemanın deforme olması sırasında, geçireceğı aşamalar dikkate alınarak yerdeğiştirme fonksiyonları seçilir. Elde edilen yerdeğiştirme modeli komşu kenarlar boyunca gerekli uygunluk şartlarının hepsini olmasa bile bir kısmını sağlamalıdır. Bu yerdeğiştirme fonksiyonları temel alınarak, eleman düğüm noktaları kuvvetleri ile düğüm noktaları arasındaki bağıntıyı sağlayan eleman rijitlik matrisi elde edilir.

Düğüm noktalarındaki kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri bulmak için, sisteme etkiyen yükler yerine eşdeğer düğüm noktası yüklerinin uygulanması gerekir. Yüklerin çok olduğu kısımlarda elemanlar o şekilde seçilir ki, her yükün etkideğı noktada bir düğüm noktası bulunur. Yayılı yüklerin bulunması halinde, ise düğüm noktalarına etkideğı kabul edilecek eşdeğer yükler hesaplanır (Akyüz, 1990).

5.1.1.1. Dörtgen Düzlem Elemanların Rijitlik Matrisi

Uygulamada dörtgen düzlem elemanların rijitlik matrisi alt üçgen elemanların rijitlik matrisleri yardımıyla bulunabilir. Bu yöntem Turner vd. (1956), tarafından geliştirilmiştir. Diğer bir yöntem normalleştirilmiş koordinatlar kullanılmakta ve rijitlik matrisi dikdörtgen elemanlara benzer şekilde elde edilmektedir (Przemieniecki, 1968). Şekil 5.3’de dörtgen düzlem eleman gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Dörtgen düzlem eleman

Bir dörtgen eleman her bir düğüm noktasında iki olmak üzere toplam sekiz serbestlik derecesine sahiptir. Bu dörtgen eleman içerisindeki yerdeğiştirme durumu herhangi bir noktada iki bileşenle ifade edilir;

$$\{\delta(x, y)\} = \{u, v\} \quad (5.1)$$

Dörtgen eleman sekiz serbestlik derecesine sahip olduğu için yerdeğiştirme fonksiyonu sekiz bilinmeyen sabiti içermelidir. Buna göre;

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \quad (5.2)$$

$$v = \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy \quad (5.3)$$

alınarak matris formda yazılıp toplanırsa;

$$\{\delta(x, y)\} = \{u, v\} = [f(x, y)]\{\alpha\} \quad (5.4)$$

elde edilir.

Düğüm noktaları yerdeğiştirme vektörü;

$$\{\delta^e\} = [A]\{\alpha\} \quad (5.5)$$

ifadesiyle verilir. Buradaki $[A]$ matrisi genel yerdeğiştirme fonksiyonlarında düğüm noktalarının koordinatlarını yerine yazarak elde edilebilir. Herhangi bir noktadaki yerdeğiştirmeler,

$$\{\delta(x, y)\} = [f(x, y)] [A]^{-1} \{\delta^e\} \quad (5.6)$$

elde edilir.

5.1.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dolgu Barajlara Uygulanması

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

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

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

1) Baraj gövdesinin aşırı oturmaları emniyet için bırakılan hava payını azaltarak rezervuardaki suyun baraj kreti üzerinden aşması sonucu tehlikeler meydana gelebilir. Duncan barajında (Kanada) inşaat aşamasında ve inşaat bittikten sonra 4.2 m'lik oturma meydana gelmiştir (Singh ve Varshney, 1995).

2) Baraj dolgusunun aşırı ayrışması boyuna çatlakların oluşmasına neden olabilir. Oluşacak bu çatlaklar gövde dengesi üzerine olumsuz etkiler yapabilir ve bu tip olaylar kil çekirdekli dolgu barajlarda gözlenmiştir (Singh vd., 1995).

3) Baraj gövdesi boyunca dolgular arasındaki farklı oturmalar tehlikeli çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Bu durumda böyle oluşmuş çatlaklar içerisinde su akışı oluşacak ve borulanma ve erozyon ile yıkılma gerçekleşebilecektir (Singh ve Varshney, 1995).

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

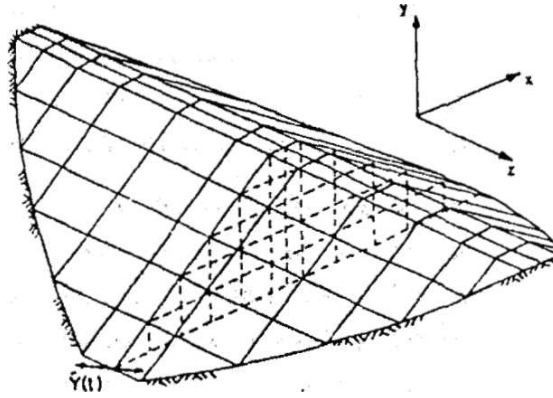
El İnfiernillo barajı (Meksika) yeterli derecede ölçüm aletlerinin gövdeye yerleştirildiği ilk olarak inşa edilen toprak ve kaya dolgu baraj örneklerindendir. Gövdede kil çekirdeği ve kaya dolgu ile merkezi çekirdek arasında filtre ve geçiş zonları kullanılmıştır. Barajı oluşturan malzemeler çekirdek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

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

getirmiştir (Singh ve Varshney, 1995).

5.1.2.1. Dolgu Barajların Üç Boyutlu Sonlu Eleman Modeli

Barajın kesit düzlemi içinde yüklendiği ve bu düzleme dik doğrultuda şekil değiştirmeleri ihmal edilebileceği düşünüldüğünde; düzlem şekil değiştirme kabulü geçerlidir. Dar vadilerde inşa edilen barajlarda rijit temellerin bulunması üç boyutlu bir rijitlik oluşturur ve bu durumda doğal frekanslar artar (Akyüz 1990). Şekil 5.4'te de bir dolgu barajın üç boyutlu sonlu eleman modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Dolgu barajların tipik üç boyutlu sonlu eleman modeli

Long Valley Barajının üç boyutlu analizini yapmış ve analizde sonlu elemanlar modeli kullanılarak hesaplanan sonuçlar ile ölçülmüş sonuçlar karşılaştırılarak aralarında fark olmadığı görülmüştür (Griffiths ve Prevost, 1988).

Dar vadideki yüksek barajlar için iki boyutlu analiz yapılabilir. Ancak, yüksekliğine oranla uzun olan ve geniş vadide yer alan, oldukça düzenli temel üzerine inşa edilen barajlarda üç boyutlu yapı analizi yapılmalıdır. Düzenli en kesitli uzun barajların merkezi enine kesitlerinde düzlem-zorlama analizi daha doğru neticeler verir. Bununla beraber düzlem zorlama analizi dik duvarlı vadilere yerleştirilmiş barajların enine kesitleri için uygun sonuçlar vermeyebilir (Singh ve Varshney, 1995; Kayıkçı, 2001).

Dolgu baraj olan Duncan barajına (Kanada) 8 düğüm noktalı izoparametrik elemanlar kullanılarak 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini uygulanmıştır. Gövde üzerindeki çatlakların meydana geldiği bölgelerde pozitif gerilmelerin olduğu gözlenmiştir (Singh ve Varshney, 1995).

Toprak ve kaya dolgu olan Chicoasen barajı (Meksika) inşaat halindeyken 3 boyutlu sonlu elemanlar metodunu ile analizi yapılmıştır. Talvegden itibaren 210 m yüksekliğinde, temelden ise 264 m yüksekliğindedir. Baraj gövdesini oluşturan malzemelerin doğrusal elastik bir davranış sergilediği dikkate alınmıştır. Çekirdekten yamaçlara doğru gidildikçe gerilmelerde azalmalar olmuştur. Gövde içerisindeki gerilme dağılımlarını düzenlemek için zonlarda ve malzeme özelliklerinde değişme yapılmıştır. Çekirdeğin üst kısımlarında asıl gerilme oranının üçten büyük olması bu bölgedeki büyük deformasyonların göstergesi olmuştur. Gövde, baraj aksı boyunca eğri ve düz biçimde alınarak ayrı iki çalışma yapılmıştır. Akstaki eğrilik etkisi önemli değişikliklere sebep olmamıştır. Sadece kretin 30 ile 40 m alt kotları arasında deformasyon değerlerinde küçük değişimler meydana gelmiştir. İki boyutlu analizlere nazaran üç boyutlu analizlerden daha doğru ve kesin sonuçlar elde edilmiştir (Singh ve Varshney, 1995).

6. BULGULAR VE ANALİZLER

6.1. Dim Barajının Özellikleri

6.1.1. Projenin Yeri

Dim Barajı HES ve Sulaması, Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya ili, Alanya ilçesi sınırları içerisinde. Depolama tesisi Dim çayı üzerinde Alanya ilçesinin 5 km kuzey doğusunda, Alanya-Mersin karayolundan 8 km içerisinde Kuzyaka mevkiindedir. Proje ile 5 312 ha sahanın sulanması amaçlanmıştır. Ayrıca proje yılda 122.89 GWh enerji üretmek ve ilerde Alanya ilçesi ve turizm tesislerinin içme ve kullanma suyu olarak 47.30 hm³ suyu karşılamak üzere hazırlanmıştır.

6.1.2. Proje Karakteristikleri

Dim barajının proje karakteristik değerleri Çizelge 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7' de verilmiştir. Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6'da da Dim barajının farklı yerlerden görünümü sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Dim barajının gövde karakteristik değerleri

Tipi	Ön yüzü beton kaplama kaya dolgu
Amacı	Sulama+Enerji+İçmesuyu
Talveg kotu	50.00 m
Temel kotu	39.00 m
Kret kotu	173.50 m
Kret uzunluğu	365.00 m
Kret genişliği	7.80 m
Talvegden yüksekliği	123.50 m
Temelden yüksekliği	134.50 m
Memba ve mansap şevleri	1/1.40-1/1.50
Gövde dolgu hacmi	5.19 hm ³

Çizelge 6.2. Dim barajına ait rezervuar bilgileri

Minimum su seviyesi	130.00 m
Normal su seviyesi	170.00 m
Maksimum su seviyesi	173.03 m
Normal depolama hacmi	253.00 hm ³
Aktif hacim	157.00 hm ³
Ölü hacim	96.00 hm ³
Maksimum depolama hacmi	265.00 hm ³
Maksimum göl alanı	448 ha

Çizelge 6.3. Dim barajının dolusavak karakteristik değerleri

Yeri	Sağ sahil
Tipi	Yandan alıslı
Giriş debisi	1345.00 m ³ /s
Deşarj debisi	1241.90 m ³ /s
Nap yüksekliği	3.03 m
Yaklaşım kanalı kotu	168.00 m
Savak kret kotu	170.00 m
Savak uzunluğu	120.00 m
Boşaltım kanalı tipi	Dikdörtgen kesit
Dolusavak yapısı boyu	432.94 m
Boşaltım kanalı uzunluğu	285.00 m
Boşaltım kanalı genişliği	25.00 m
Enerji kırıcı tipi	Sıçratma eşiği
Enerji kırıcı havuz boyu	45.00 m
Enerji kırıcı havuz duvar yüksekliği	25.00 m

Çizelge 6.4. Dim barajının derivasyon ve dipsavağının karakteristik değerleri

Yeri	Sol sahil
Tipi	Atnalı
İç çapı	6.80 m
Tünel debisi	579.00 m ³ /s
Cebri boru çapı	1.80 m
Cebri boru uzunluğu	52.20 m
Su alma yapısı tipi	Yamaca yaslamalı eğik su alma yapısı
Su alma yapısı kotu	75.00 m

Çizelge 6.5. Dim baraja ait sulama sistemi bilgileri

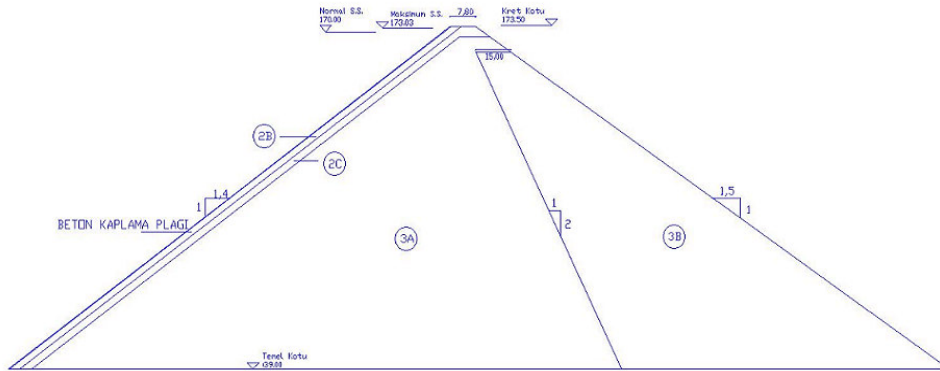
Brüt sulama sahası	5312 ha
Net sulama sahası	4637 ha
Cazibe ile sulama sahası	3418 ha
Pompaj ile sulama sahası	1219 ha
Sulama suyu ihtiyacı	8747.44 (m ³ /ha)/yıl
Sulama modülü	0.95 (l/s)/ha

Çizelge 6.6. Dim barajına ait hidrolojik bilgiler

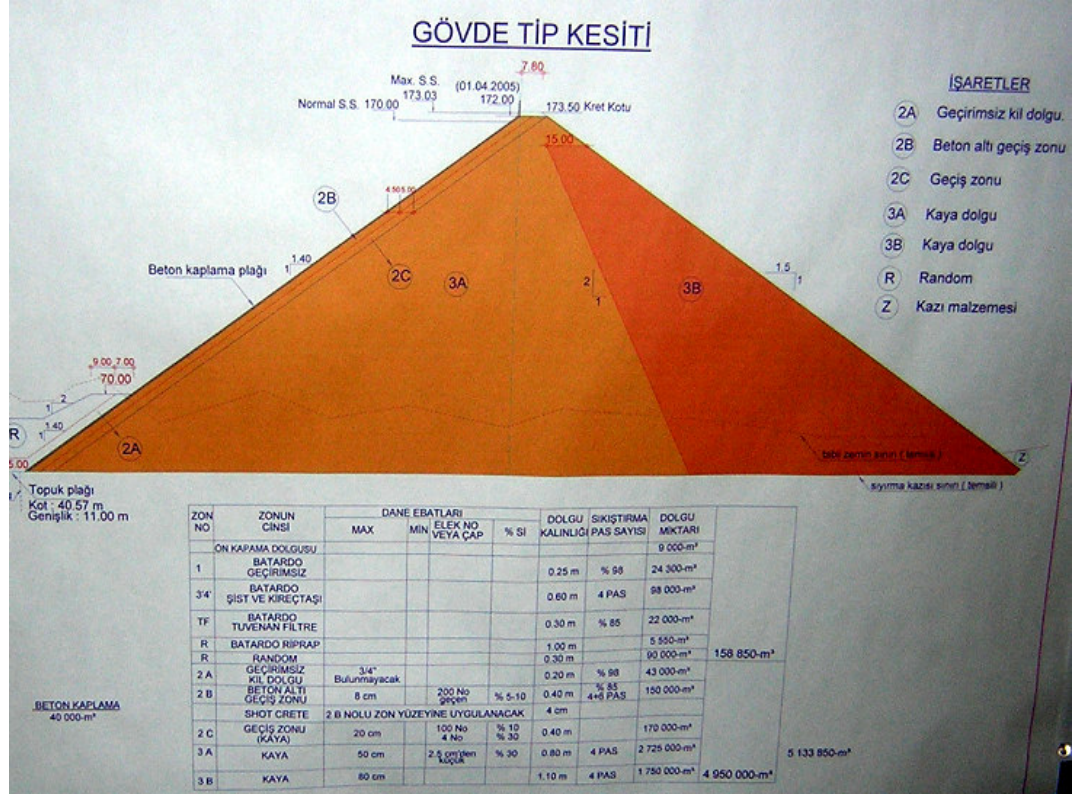
Yağış alanı	178.00 km ²
Yıllık ortalama yağış yüksekliği	1050 mm
Yıllık ortalama akım	481.00 hm ³
Ölçülen en büyük debi (1981)	620.00 m ³ /s
Ölçülen en küçük debi (1971)	1.45 m ³ /s
Ortalama debi	16.00 m ³ /s

Çizelge 6.7. Dim barajına ait maliyet bilgileri

Proje toplam tesis bedeli (1996 B.F)	8076933 YTL
Proje toplam yatırım bedeli (1996 B.F)	11647863 YTL
Proje toplam yıllık giderleri (1996 B.F)	1044871 YTL
Proje toplam yıllık gelirleri (1996 B.F)	1253651 YTL
Dahili karlılık oranı %	9.06
Rantabilite	1.2



Şekil 6.1. Dim barajının talvegdeki enkesiti (I)



Şekil 6.2. Dim barajının talvegdeki enkesiti (II)



Şekil 6.3. Dim barajının kretinden memba şevinin görünümü



Şekil 6.4. Dim barajının kretinden mansap şevinin görünümü



Şekil 6.5. Dim barajının memba tarafından baraj gövdesinin görünümü



Şekil 6.6. Dim barajının mansap tarafından baraj gövdesi ve dolusavağın görünümü

6.2. Dinamik Analize Giriş

Bu tez çalışmasında ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj olan Dim barajının dinamik yükler altında (deprem yükü) davranışı incelenmiş, elde edilen yer değiştirmeler ve gerilmeler değerlendirilmiştir. Barajın dinamik analizi yapılırken farklı deprem özelliklerinin etkilerini saptamak için 32 deprem datası kullanılmış ve hepsi için barajda meydana gelen yer değiştirmeler incelenmiştir. SAP 2000 V9 sonlu elemanlar programı kullanılarak Dim barajından daha kesin ve güvenilir hesap sonuçları elde edebilmek için baraj iki boyutlu değil de üç boyutlu olarak modellenmiştir (SAP 2000). Üç boyutlu analizde x yönü baraj aksı, y yönü baraj aksının enine ve z yönü de baraj yüksekliği olarak seçilmiştir. Modelleme sonlu elemanlar yöntemiyle katı (solid) olarak yapılmıştır. Dinamik analiz zaman-tanım alanı yöntemi ile büyüklüğü maksimum 7.4 ile minimum 4.9 olan 32 adet deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır.

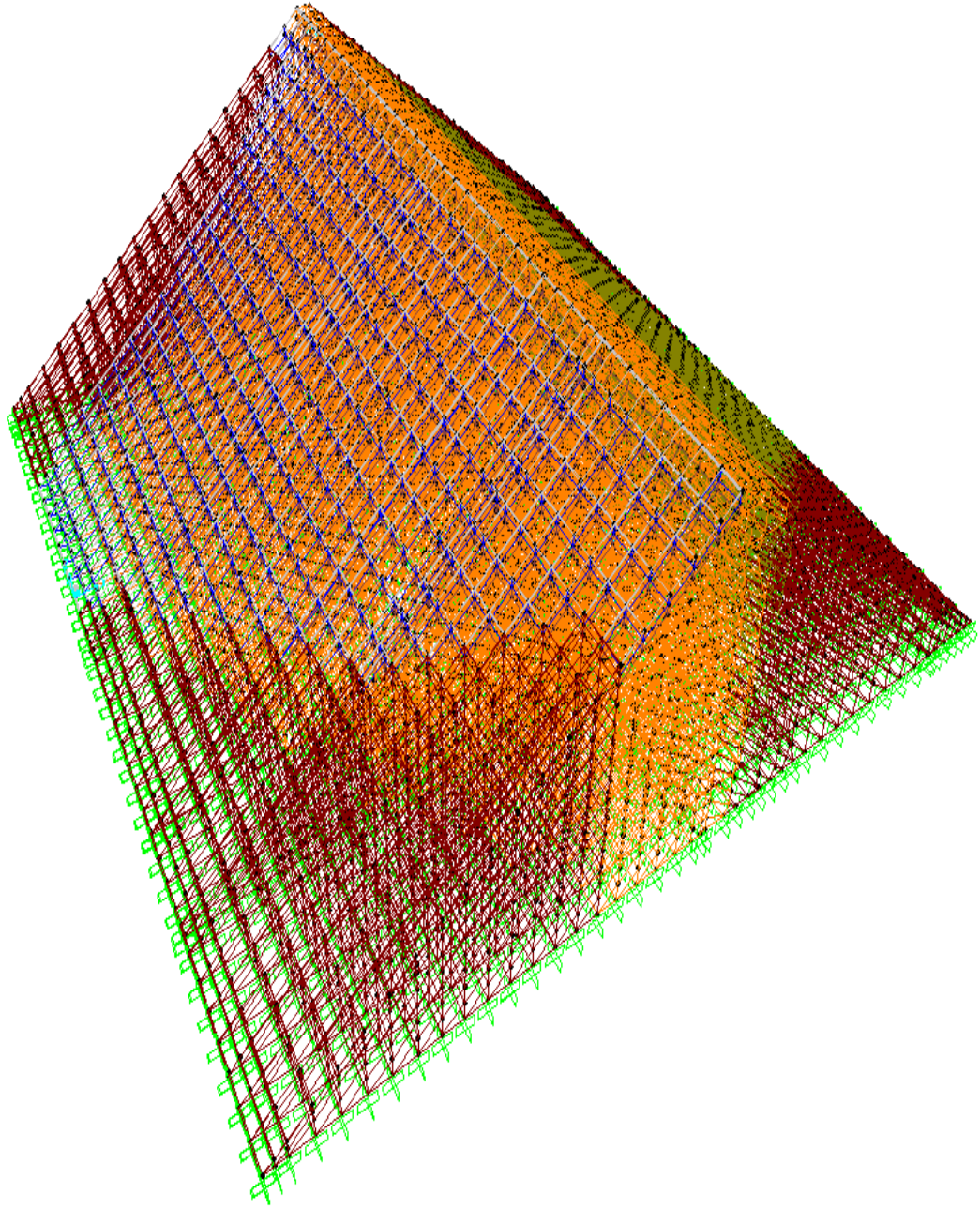
Barajın deprem kuvvetleri etkisindeki davranışını doğruya en yakın şekilde belirleyebilmek için barajın matematiksel olarak gerçeğe yakın biçimde modellenmesi gerekir. Baraj için malzeme özelliklerinin dağılımı, geometri ve sınır şartlarının en genel halinin hesaba katıldığı bir sonlu eleman ağı seçilmiştir. Barajın davranışını gerçeğe yakın olarak temsil edebilmek için sonlu elemanlar modelinde 22596 düğüm noktası ve 17248 eleman tanımlanmıştır. Ayrıca barajın dinamik hesaplarında baraj rezervuarının boş olması ve % 5 sönüm olması halinde yapılmıştır.

Dim barajının analizi için SAP 2000 programında kullanılan baraj malzemelerinin (beton, geçiş zonu, kaya) özellikleri (birim hacim ağırlığı, birim hacim kütlesi, elastisite modülü, poisson oranı) ve baraj ile ilgili gerekli bilgiler Devlet Su İşleri Antalya 13. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çizelge 6.8’de Dim barajının gövdesinde kullanılan malzemelerin özellikleri verilmiştir.

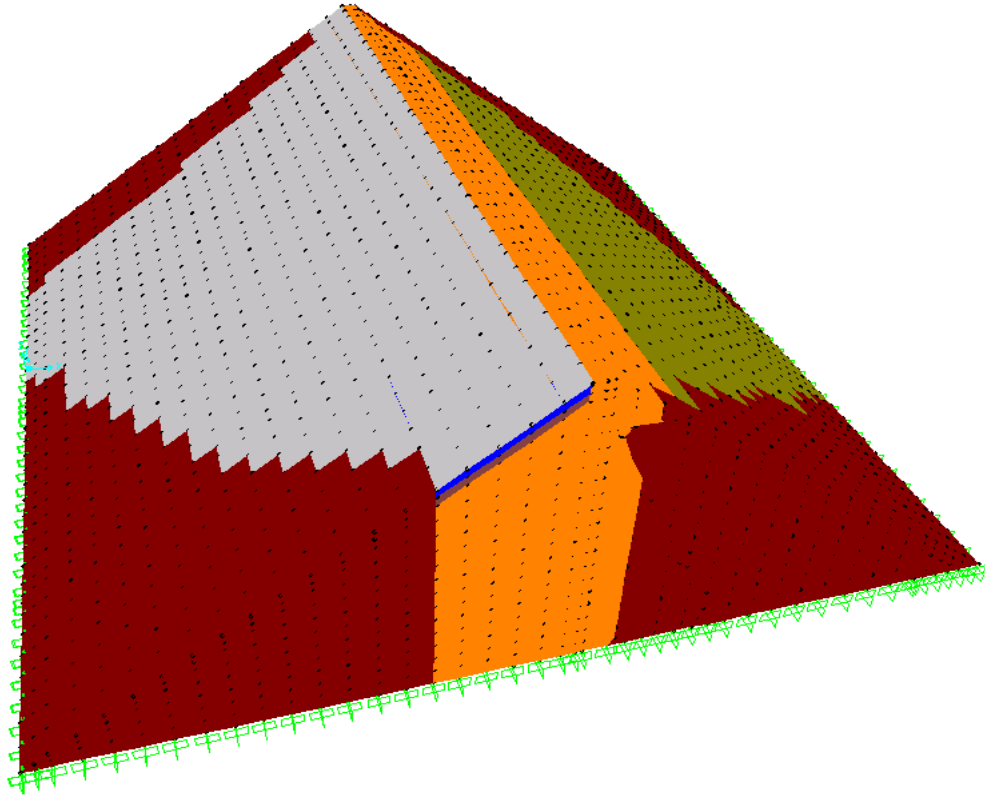
Çizelge 6.8. Baraj gövdesinde kullanılan malzeme özellikleri

MALZEME	ELASTİSİTE MODÜLÜ (t/m ²)	BİRİM HACİM AĞIRLIK (t/m ³)	POISSON ORANI
Beton Kaplama	2.85x10 ⁶	2.35	0.18
2 B	1.35x10 ⁶	2.80	0.28
2 C	1.30x10 ⁶	2.79	0.28
3 A	1.25x10 ⁶	2.78	0.28
3 B	1.20x10 ⁶	2.76	0.28
Zemin	2.40x10 ⁶	2.60	0.23

Şekil 6.7, 6.8 ve 6.10’da Dim barajının SAP 2000 programı ile modellenmesinden sonraki barajın ağ modeli, üç boyutlu ve plan görünümü ile Şekil 6.9’da da barajın genel görünümü sunulmuştur.



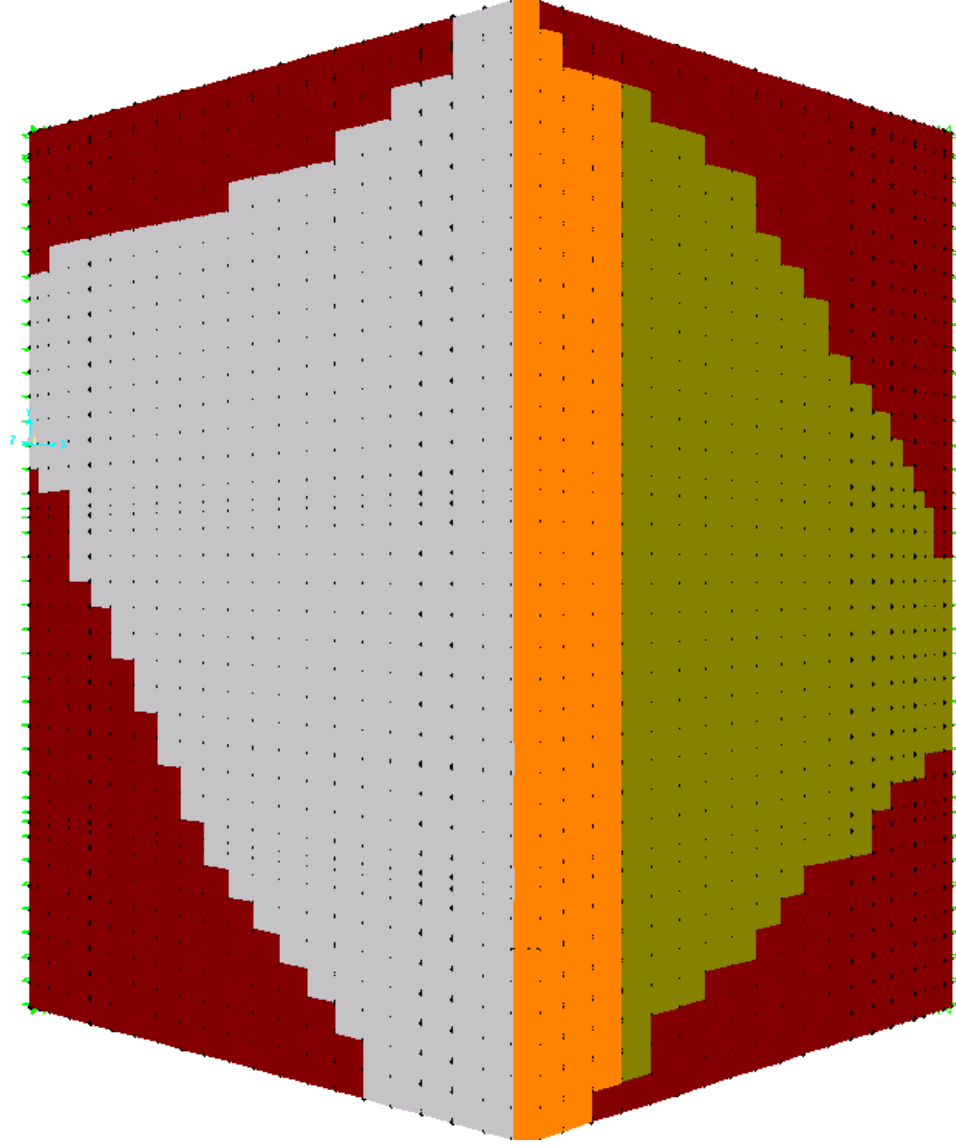
Şekil 6.7. Dim barajının ağ modeli



Şekil 6.8. Dim barajının üç boyutlu görünümü



Şekil 6.9. Dim barajının genel görünümü



Şekil 6.10. Dim barajının plan görünümü

Barajın analizi yapılırken kullanılan malzemelerin özellikleri baraj gövdesinin her bölgesinde sabit olarak alınmıştır. Ayrıca baraj analizi için kullanılan baraj enkesiti ise baraj yüksekliğinin maksimum olduğu talveg kotunun olduğu yerden temel kotundan itibaren birebir boyutlarda alınmıştır. Baraj temeli rijit kabul edildiğinden temeldeki serbestlik dereceleri dikkate alınmamıştır. Barajın temele rijit oturduğu ve

kullanılan malzemelerin lineer elastik davrandığı kabul edilmiştir.

Bir bölgenin depremselliği depreme maruz kalma derecesi ile doğrudan ilgilidir. Bir bölgenin depremselliğini belirlemede faylardan yararlanıldığı gibi deprem kayıtlarından da faydalanılmaktadır. Deprem meydana geldiği bölgelerde gelecekte de depremin olacağı ön görülmektedir. Depremlerde yer kabuğunda biriken enerji fay hareketleri ile açığa çıkmaktadır.

Yer hareketinin ölçümü için sismograflar kullanılmaktadır. Yapılan dinamik davranışların belirlenmesinde doğal titreşim periyotlarından ve buna bağlı olan mod şekillerinden faydalanılmaktadır. Yer değiştirme, hız ve ivme ölçerler kullanılmasıyla yapılan periyotlar bulunmaktadır.

Deprem sırasında baraj içinde yayılan cisim dalgaları ve baraj yüzeyinde oluşan yüzey dalgaları basınç-çekme gerilmeleri veya kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Analizde kullanılan depremlerde faydaki yırtılma boyunun deprem büyüklüğü ile orantılı olduğu görülmektedir. Enerjinin zamanla geniş ortamlara yayılmasından ve ortamın sönümünden dolayı faydan uzaklaştıkça maksimum ivme azalmaktadır. Aynı zamanda büyük depremlerin büyük genlikli dalgalar ürettiği ve deprem genliğinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Depremin büyüklüğü de dalga hareketi ile ters orantılıdır.

Yurdumuzda 1900-1970 arasında birkaç deprem istasyonu mevcutken 1970'den sonra bu sayı hızla artmıştır. 1970 yılına kadar ülkemizde $M_s > 4.0$ olan depremlerin sayısı fazlayken ülkemiz 1999 yılına kadar sakin bir dönem geçirmiştir. Fakat 1999 yılında Kocaeli ve Düzce depremleri tekrar hareketlenmenin başladığını göstermiştir. Yurdumuzda meydana gelen depremler incelendiğinde çöküntü sisteminde çok fazla deprem meydana geldiği görülmüştür.

1939 Erzincan depremiyle kuzey Anadolu fay hattı hareketlenmiş olup, bu depremle 4.5 m'lik sağ atım meydana gelmiş ve 30 binin üzerinde insan hayatını yitirmiştir.

San Fernando depremi, 9 Şubat 1971 tarihinde Richter ölçeğine göre 6.6 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Deprem kaynağının, nispi hareketi bazı yerlerde 1.2 m'ye varan bir bindirme fay olduğu belirlenmiştir. Deprem sırasında ortaya çıkan yer hareketi salınımı, San Fernando ve Pacoima barajlarındaki istasyonlarda kayıt edilmiştir.

Kocaeli'de 17.09.1999 tarihinde meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki deprem 45 sn devam etmiş ve yüzeyde yaklaşık 140 km'lik bir yüzey kırılması ve 5 m'ye varan sağ yanal atım meydana getirmiştir. Depremde İzmit Körfezi bölgesinde şev kaymaları, sıvılaşmalar ve oturmalar meydana gelmiştir. Depremin etkisinin görüldüğü bazı bölgelerde 4.10 m'ye varan yatay ve 0.40 m civarında düşey hareket tespit edilmiştir. Depremin büyük olması yanında, yurdumuzun sanayi tesislerinin yoğun olarak bulunduğu ve nüfus yoğunluğu yüksek olan bir bölgede meydana gelmesi hasarın büyük olmasına neden olmuştur. Depremde 20 bin kişi hayatını kaybetmiş ve 160 000'e yakın bina da hasar görmüştür.

Düzce depremi, 12.11.1999 tarihinde 7.1 büyüklüğünde 45 km'lik yüzey kırığı ve 5 m'lik sağ yanal atım ile meydana gelmiştir (Celep ve Kumbasar, 2000).

Depremin merkez üstünden uzaklaştıkça depremin enerjisi yayılmakta ve maksimum ivme hızla düşmektedir. Deprem hareketinin maksimum ivmesi oldukça önemlidir. Ayrıca ivmenin yanında depremin süresi de çok önemlidir. Maksimum ivmeleri düşük olsa bile süresi uzun olan depremlerde önemli hasarlar meydana gelmektedir. Depremler yatay yer değiştirme meydana getirdikleri gibi düşey yer değiştirme de meydana getirmektedir. Düşey deprem ivmesinin yatay deprem ivmesinin 1/2 yada 1/3 katı olduğu bilinmektedir.

Çizelge 6.9'da dinamik analizde kullanılan depremler ve özellikleri ve Çizelge 6.10'da ise depremlerin barajda meydana getirdiği x ve y yönündeki yerdeğiştirmeleri verilmiştir.

Çizelge 6.9. Analizde kullanılan depremler ve özellikleri

No	Depremler	Tarih	Moment Büyükölük (Mw)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
1	Anza	25.02.1980	4.9	AZF315	2.6	0.066	12.1	Yanal Atımlı
2	Morgan Hill	24.04.1984	6.2	G01320	2.9	0.098	16.2	Yanal Atımlı
3	Coyote Lake	06.08.1979	5.7	G01320	8.3	0.132	9.3	Yanal Atımlı
4	Landers	28.06.1992	7.3	GRN180	14.1	0.041	141.6	Yanal Atımlı
5	Landers	28.06.1992	7.3	ABY090	20	0.146	69.2	Yanal Atımlı
6	Landers	28.06.1992	7.3	SIL000	3.8	0.05	51.7	Yanal Atımlı
7	Landers	28.06.1992	7.3	29P000	3.7	0.08	42.2	Yanal Atımlı
8	Loma Prieta	18.10.1989	6.9	G01090	33.9	0.473	11.2	Ters Eğik Atımlı
9	Loma Prieta	18.10.1989	6.9	SGI360	8.4	0.06	30.6	Ters Eğik Atımlı
10	Loma Prieta	18.10.1989	6.9	MCH000	3.5	0.073	44.8	Ters Eğik Atımlı
11	Whittier Narrows	01.10.1987	5.3	MTW000	40	0.123	20.4	Ters Eğik Atımlı
12	Anza	25.02.1980	4.9	PTF135	5.1	0.131	13	Yanal Atımlı
13	Düzce	12.11.1999	7.1	1060-E	5.3	0.053	30.2	Yanal Atımlı
14	Düzce	12.11.1999	7.1	1060-N	11	0.028	30.2	Yanal Atımlı
15	Hollister	28.11.1974	5.2	G01247	4	0.132	12.3	Yanal Atımlı
16	Cape Mendocino	25.04.1992	7.1	CPM-UP	63	0.754	8.5	Ters Eğik Atımlı
17	N. Palm Springs	08.07.1986	6	WWT180	34.7	0.492	7.3	Ters Oblik Atımlı
18	Kocaeli	17.08.1999	7.4	ARC000	17.7	0.2188	17	Yanal Atımlı
19	Morgan Hill	24.04.1984	6.2	G06090	36.7	0.292	11.8	Yanal Atımlı
20	Coyote Lake	06.08.1979	5.8	G06230	49.2	0.4339	3.1	Yanal Atımlı
21	Northridge	17.01.1994	6.7	ORR090	52.1	0.5683	22.6	Ters Eğik Atımlı
22	Loma Prieta	18.10.1989	7.1	CLS000	55.2	0.6437	5.1	Ters Oblik Atımlı
23	Kobe	16.01.1995	6.9	KJM000	79.3	0.8213	6.9	Yanal Atımlı
24	Santa Barbara	13.08.1978	7.2	SBA222	16.3	0.203	14	Ters Oblik Atımlı

Çizelge 6.9. (Devamı) Analizde kullanılan depremler ve özellikleri

No	Depremler	Tarih	Moment Büyüklik (Mw)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)	Tip
25	N. Palm Springs	08.07.1986	6	DSP000	33.8	0.331	8.2	Ters Oblik Atımlı
26	San Fernando	02.09.1971	6.6	ORR021	15.6	0.324	24.9	Ters Eğik Atımlı
27	Kocaeli	17.08.1999	7.4	SKR090	79.5	0.376	3.1	Yanal Atımlı
28	Victoria Mexica	09.06.1980	6.1	CPE045	31.6	0.62	34.8	Yanal Atımlı
29	Borrego Mtn	09.04.1968	6.8	PAS270	4.7	0.09	203	Yanal Atımlı
30	Imperial Valley	15.10.1979	7	PTS315	16.1	0.204	14.2	Yanal Atımlı
31	Cape Mendocino	25.04.1992	7.1	EUR090	28.3	0.178	44.6	Ters Eğik Atımlı
32	Kern County	21.07.1952	7.4	SBA132	15.5	0.127	87	Ters Oblik Atımlı

Çizelge 6.10. Depremlerin meydana getirdiği x ve y yönündeki yerdeğiştirmeler

No	Depremler	Tarih	Kayıt	Yerdeğiştirme X Yönü (mm)	Yerdeğiştirme Y Yönü (mm)	Renk
1	Anza	25.02.1980	AZF315	0.5	2.6	Blue
2	Morgan Hill	24.04.1984	G01320	8	33	Orange
3	Coyote Lake	06.08.1979	G01320	1.3	2.7	Blue
4	Landers	28.06.1992	GRN180	8.2	7.9	Orange
5	Landers	28.06.1992	ABY090	9.5	177	Magenta
6	Landers	28.06.1992	SIL000	7.1	87	Olive
7	Landers	28.06.1992	29P000	37.3	88	Grey
8	Loma Prieta	18.10.1989	G01090	7.9	6.9	Light Green
9	Loma Prieta	18.10.1989	SGI360	76	186	Teal
10	Loma Prieta	18.10.1989	MCH000	12.5	45.7	Dark Blue
11	Whittier Narrows	01.10.1987	MTW000	3.4	11	Yellow Green
12	Anza	25.02.1980	PTF135	0.55	2.6	Cyan
13	Düzce	12.11.1999	1060-E	3.4	3.7	Dark Green
14	Düzce	12.11.1999	1060-N	7	79	Dark Red

Çizelge 6.10. (Devamı) Depremlerin meydana getirdiği x ve y yönündeki yerdeğıştirmeler

No	Depremler	Tarih	Kayıt	Yerdeğıştirme X Yönü (mm)	Yerdeğıştirme Y Yönü (mm)	Renk
15	Hollister	28.11.1974	G01247	0.6	2.1	
16	Cape Mendocino	25.04.1992	CPM-UP	60	84	
17	N. Palm Springs	08.07.1986	WWT180	4.3	4.6	
18	Kocaeli	17.08.1999	ARC000	9	27	
19	Morgan Hill	24.04.1984	G06090	35.4	56.4	
20	Coyote Lake	06.08.1979	G06230	6	10	
21	Northridge	17.01.1994	ORR090	0.8	3.6	
22	Loma Prieta	18.10.1989	CLS000	2.6	5.2	
23	Kobe	16.01.1995	KJM000	2.4	10	
24	Santa Barbara	13.08.1978	SBA222	3.4	37	
25	N. Palm Springs	08.07.1986	DSP000	7.9	95	
26	San Fernando	02.09.1971	ORR021	0.6	5.2	
27	Kocaeli	17.08.1999	SKR090	22	31	
28	Victoria Mexica	09.06.1980	CPE045	70	130	
29	Borrego Mtn	09.04.1968	PAS270	18	90	
30	Imperial Valley	15.10.1979	PTS315	144	317	
31	Cape Mendocino	25.04.1992	EUR090	3.7	28	
32	Kern County	21.07.1952	SBA132	7.5	8.4	

6.2.1. Yer değıştirmelerin İncelenmesi

Barajın dinamik analizi sırasında x ve y yönünde deprem kuvvetleri etkililmektedir. Barajın dinamik analizleri sonucunda elde edilen yer değıştirmeler özellikle barajın inşaat safhasında büyük bir önem arz etmektedir.

Depremlerin odak (depem enerjisinin yerin içerisinde ortaya çıktığı nokta) derinliği arttıkça yıkıcılık azalmakta ve buna bağlı olarak da hasar azalmaktadır. Odak derinliği fazla olan deprem daha geniş aralıklara yayılmaktadır. Odak derinliği en küçük olan Kocaeli (SKR090) depreminde elde edilen x ve y yönündeki yer değiştirmelerin odak derinliği en büyük olan aynı büyüklükteki Landers (GRN 180) depremindeki yer değiştirmelerden büyük olduğu görülmektedir. Diğer depremlerde incelendiğinde aynı büyüklükteki depremlerden odak derinliği arttıkça yer değiştirmelerin küçüldüğü görülmektedir. Örneğin magnitüdü 7.4 olan Kocaeli (SKR090) depremi ile magnitüdü 7.2 olan Santa Barbara (SBA 222) depreminde sırasıyla odak derinlikleri 3.1 ve 14'tür. Odak derinliği küçük olan Kocaeli (SKR090)'de elde edilen yer değiştirmelerin Santa Barbara (SBA 222) depremindeki yer değiştirmelerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Aynı zamanda magnitüdü aynı olan iki sığ odaklı depremin daha büyük yer değiştirmelere yol açtığı görülmektedir. Şekil 6.12 ve 6.13'te barajın x ve y yönündeki yerdeğiştirmeleri ile depremlerin odak uzaklığı arasındaki ilişkileri gösterilmektedir.

Odak derinliği aynı olan Coyote Lake (G06230) ve Kocaeli (SKR090) depremlerinin magnitüdüleri sırası ile 5.8 ve 7.4'tür. Buna bağlı olarak x yönündeki yer değiştirmeleri 0.006 m ve 0.022 m ve y yönündeki yer değiştirmeleri ise 0.010 m ve 0.031 m'dir. Depremlerin magnitüdüleri arttıkça yer değiştirmenin arttığı dolayısı ile yıkıcılığın arttığı görülmektedir. Diğer depremler incelendiğinde de bu duruma benzer sonuçların çıktığı gözlenmiştir.

San Fernando (ORR021) ve Kocaeli (SKR090) depremleri ele alındığında ivmelerin çok yakın olduğu görülmüş Kocaeli depreminin odak derinliğinin San Fernando depremine göre daha küçük, magnitüdünün ise büyük olduğundan dolayı Kocaeli depremine bağlı olarak meydana gelen yer değiştirmelerin San Fernando depremindeki yer değiştirmelerden daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 6.14 ve 6.15'te barajın x ve y yönündeki yerdeğiştirmeleri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişkileri gösterilmektedir.

Landers (ABY090) ve Landers (SIL000) depremlerin büyüklükleri aynı odak

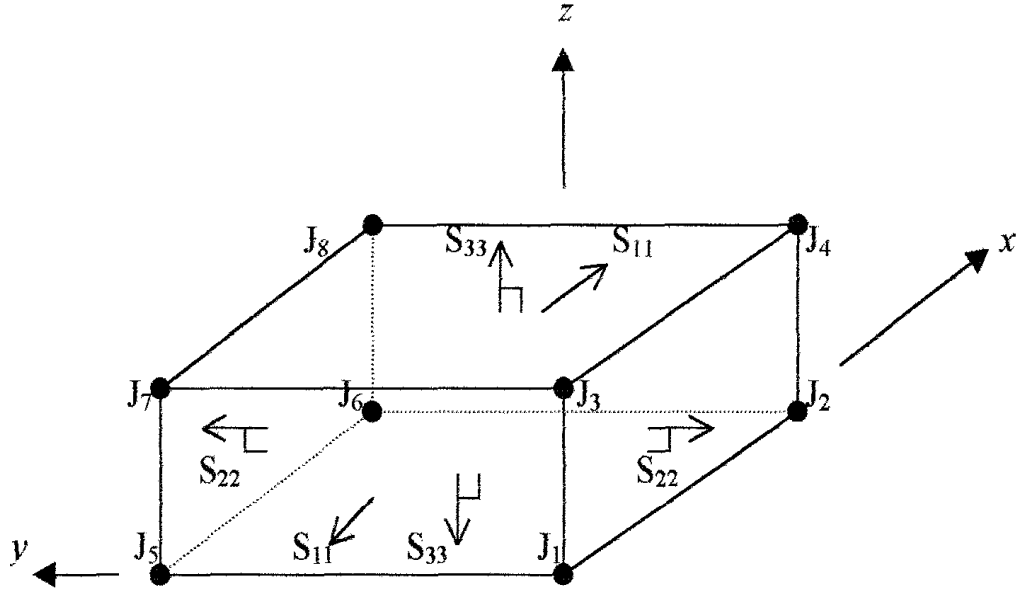
derinliği yakın ancak Landers (ABY090) depreminin yer ivmesi daha büyüktür. Landers (ABY090) depremin yer değiştirmeleri (0.0095 m, 0.177 m), Landers (SIL000) depremin yer değiştirmeleri ise (0.0071 m, 0.087 m) ‘dir. Yer ivmesinin arttıkça yer değiştirmelerin arttığı görölmektedir. Yer ivmeleri sismik tehlikeyi tanımlamakta olup, depremin merkezine ve jeolojik yapılara bağlıdır. şekil 6.16 ve 6.17’de barajın x ve y yönündeki yerdeğiştirmeleri ile depremlerin yer ivmeleri gösterilmektedir.

Analiz sonuçlarında y yönünde elde edilen yer değiştirme değerlerinin x yönünde elde edilen yer değiştirmelerden fazla olduğu görölmektedir. Yer değiştirmelerin baraj gövdesi içerisinde dağılımı yaklaşık benzerdir ve membadan ve mansaptan çekirdek bölgesine yaklaştıkça düşey yer değiştirmeler azalmakta, yatay yer değiştirmeler ise büyümektedir.

Yalnızca statik hesaplarla inşa edilecek olan bir barajın bir deprem kuvvetine maruz kaldığında çok fazla zorlamalar etkisinde kalacağı görölmüş ve bu tür yapılarda statik analizin ihmal edilebileceği ama mutlaka dinamik analizin yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Akyüz, 1990).

Köse kaya dolgu barajının baraj-temel ve baraj-rezervuar-temel etkileşimleri dikkate alınıp, lineer olmayan sonlu eleman modeli kullanılarak deprem analizi yapılmıştır. Baraj yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin arttığı, maksimum asal gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca rezervuarın hidrodinamik etkisinin yer değiştirme ve gerilme değerlerini az etkilediği gözlenmiştir. Bu sebeple kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda memba yüzeyi eğiminden dolayı rezervuardaki su kütesinin barajın deprem davranışına etkisinin analizlerde ihmal edilebileceği kanısına varılmıştır (Bayraktar vd., 2007).

6.2.2. Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi



Şekil 6.11. 8 düğüm noktasından oluşmuş üç boyutlu eleman (Kayıkçı, 2001)

Yukarıdaki şekilde; S_{11} , x yönünde,

S_{22} , y yönünde,

S_{33} , z yönünde düzleme dik normal gerilmelerdir.

S_{12} , x düzlemi üzerinde y yönündeki,

S_{13} , x düzlemi üzerinde z yönündeki,

S_{23} , y düzlemi üzerinde z yönündeki kayma gerilmeleridir.

Bu çalışmada maksimum gerilmelerin meydana geldiği noktalarda maksimum deformasyonların oluştuğu tespit edilmiştir. Normal gerilmeler barajın memba yüzeyinden orta kısma doğru gidildikçe azalmaktadır. Memba ve mansap kısımlarında da gerilme yığılmaları olduğu ve maksimum kayma gerilmelerinin de membadan krete doğru azaldığı görülmektedir. Hesaplanan gerilmeler baraj rezervuarının boş olması durumuna göre yapılmıştır. Maksimum normal gerilmelerin gerçekleştiği kısımlar kırılmanın olduğu yerlerdir. Maksimum kayma gerilmelerinin olduğu kısımlar da baraj malzemesinin çökebileceği yerleri vermektedir.

6.2.2.1. S₁₁ Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 198.77 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 15.24 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 444.56 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 38.42 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 137.35 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 11.09 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 154.66 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 19.35 kN/m² dir.

Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 44.48 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 4.52 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 65.35 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.74 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 95.18 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 10.09 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 68.34 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.14 kN/m² dir.

Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 72.61 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 8.27 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 93.12 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 11.57 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 148.46 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 18.69 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 201.60 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 22.48 kN/m² dir.

Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20 S_{11} normal gerilme değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

6.2.2.2. S_{22} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 89.18 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 13.87 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 249.44 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 26.23 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 65.76 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 7.11 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 161.78 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 15.60 kN/m² dir.

Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 23,20 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 2.55 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 54.09 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.14 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 43.55 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 4.96 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 68.91 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.28 kN/m² dir.

Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 34.78 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 5.29 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 91.09 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 10.72 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 66.64 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 8.31 kN/m² dir. Aynı

depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 205.31 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 21.55 kN/m² dir.

Şekil 6.21, 6.22 ve 6.23 S₂₂ normal gerilme değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

6.2.2.3. S₃₃ Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 290.78 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 31.22 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 732.06 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 64.08 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 109.80 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 12.46 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 412.00 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 39.81 kN/m² dir.

Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 69.93 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 7.84 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 138.56 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 12.92 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 141.10 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 16.60 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 176.81 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 19.83 kN/m² dir.

Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 104.56 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 10.28 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 234.74 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 25.57 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 217.74 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 22.51 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 527.91 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 63.48 kN/m² dir.

Şekil 6.24, 6.25 ve 6.26 S_{33} normal gerilme değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

6.2.2.4. S_{12} Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 42.36 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.42 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 215.06 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 19.14 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 32.49 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 2.56 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 129.75 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 9.47 kN/m² dir.

Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 11.43 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 0.98 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 35.30 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.62 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 18.86 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 1.66 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 42.56 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 5.07 kN/m² dir.

Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri

17.26 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 1.09 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 51.54 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.03 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 29.94 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.07 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 106.87 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 9.75 kN/m² dir.

Şekil 6.27, 6.28 ve 6.29 S₁₂ kayma değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

6.2.2.5. S₁₃ Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 120.10 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 13.58 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 292.01 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 30.05 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 93.46 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 8.77 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 124.19 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 16.66 kN/m² dir.

Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 32.86 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 4.42 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 42.60 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 5.61 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 56.12 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 7.21 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 53.54 kN/m² iken kret seviyesindeki

gerilme değeri 6.78 kN/m² dir.

Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 49.39 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 5.26 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 69.79 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 8.03 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 87.11 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 10.12 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 158.34 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 14.08 kN/m² dir.

Çizelge 6.30, 6.31 ve 6.32 S₁₃ kayma değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.

6.2.2.6. S₂₃ Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi

Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 42.13 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.59 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 190.65 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 20.93 kN/m² dir.

Düzce (1060-N) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 31.97 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.82 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 155.16 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 17.35 kN/m² dir.

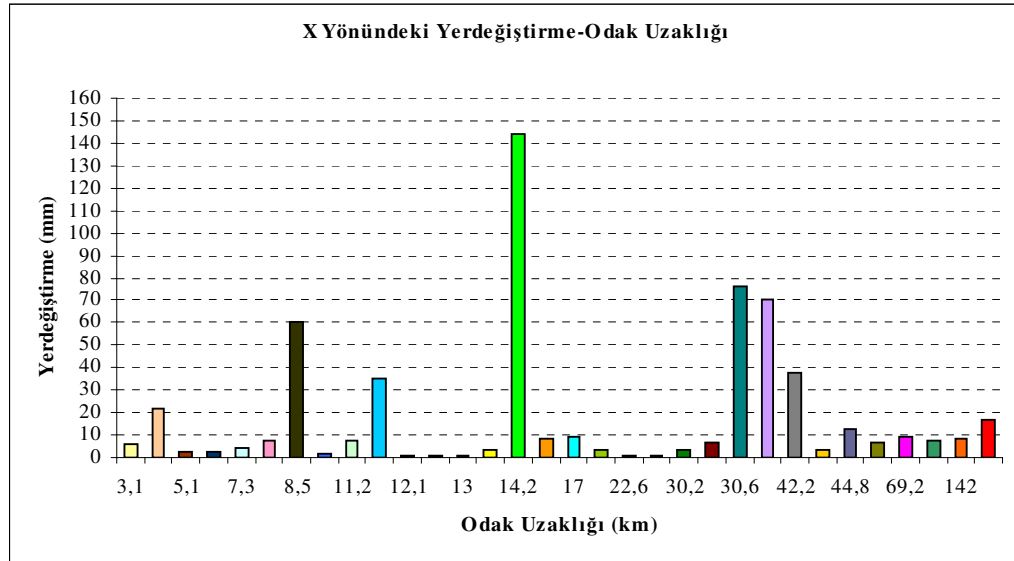
Kobe (KJM000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 11.25 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 1.87 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 50.96 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 6.03 kN/m² dir.

Loma Prieta (G01090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 18.14 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 2.11 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 34.78 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.92 kN/m² dir.

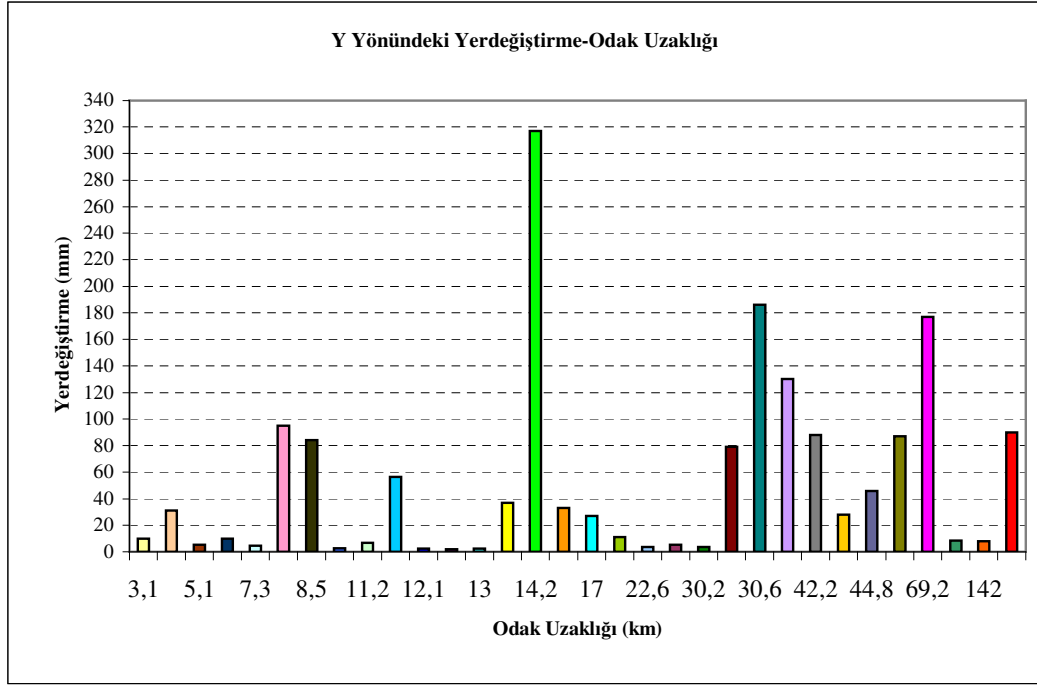
Morgan Hill (G06090) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 16.76 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 2.34 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 39.19 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 4.54 kN/m² dir.

Whitter Narrows (MTW000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 30.43 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 3.57 kN/m² dir. Aynı depremin y yönündeki memba şevlerindeki gerilme değeri 81.13 kN/m² iken kret seviyesindeki gerilme değeri 7.92 kN/m² dir.

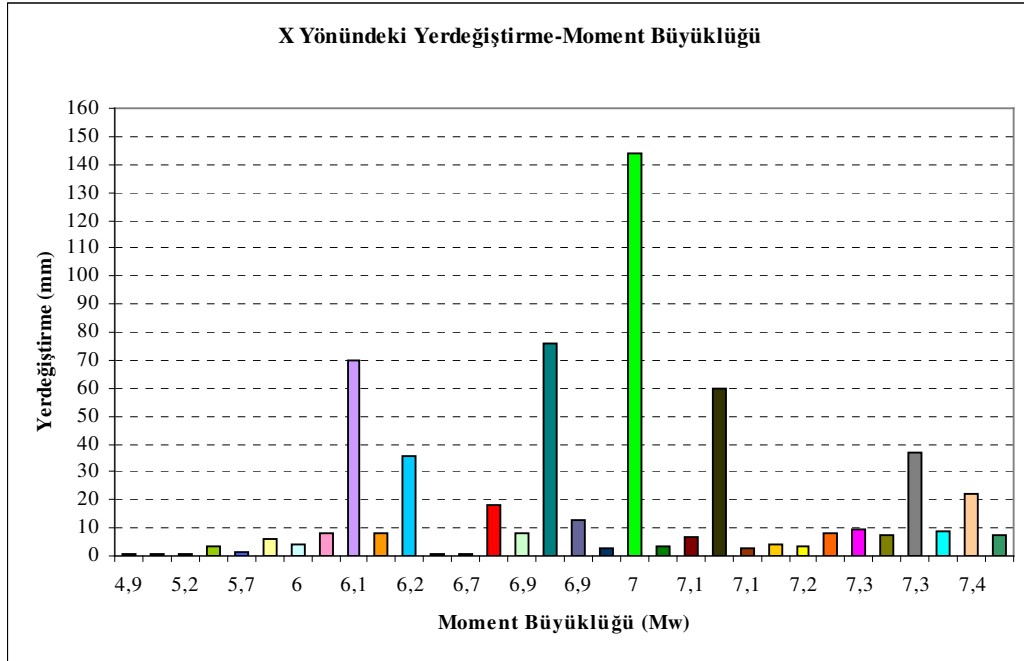
Şekil 6.33, 6.34 ve 6.35 S₂₃ kayma değerleri ile depremlerin odak uzaklıkları, moment büyüklükleri ve yer ivmeleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.



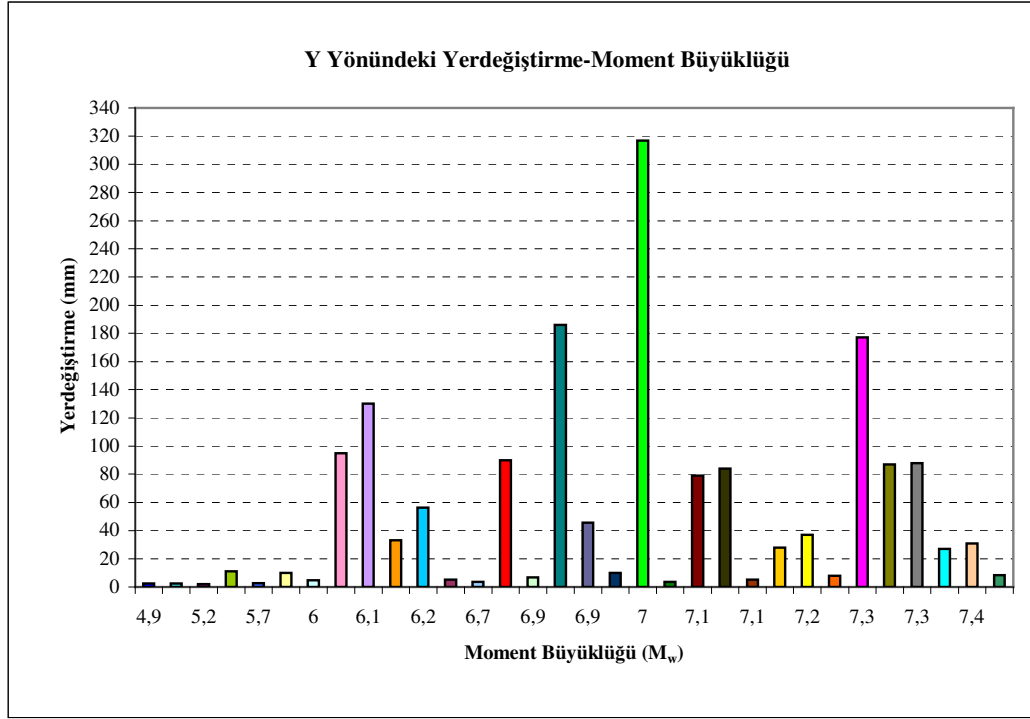
Şekil 6.12. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



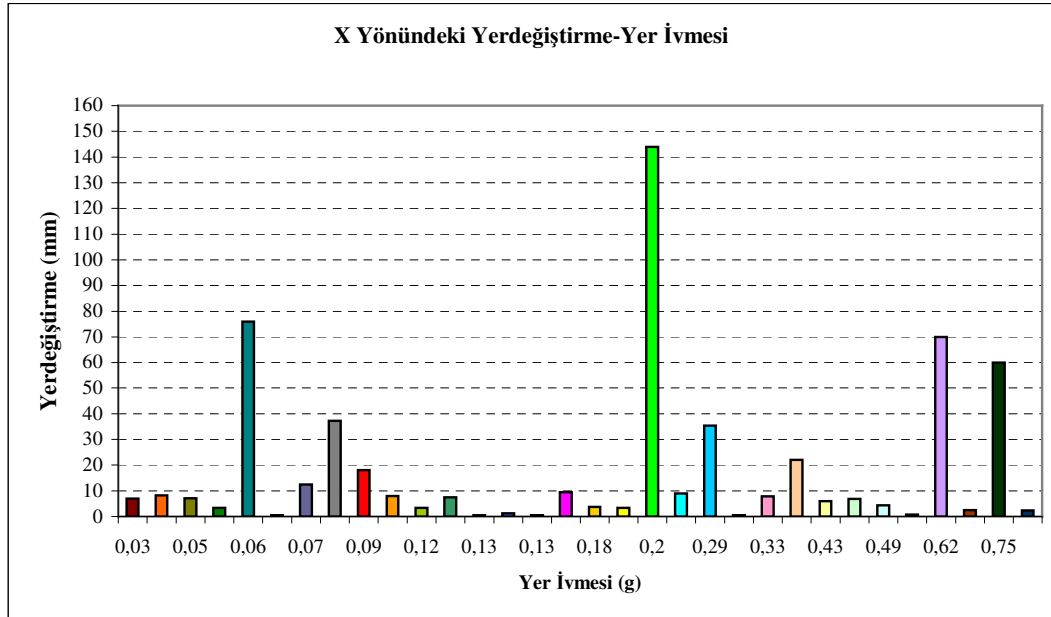
Şekil 6.13. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



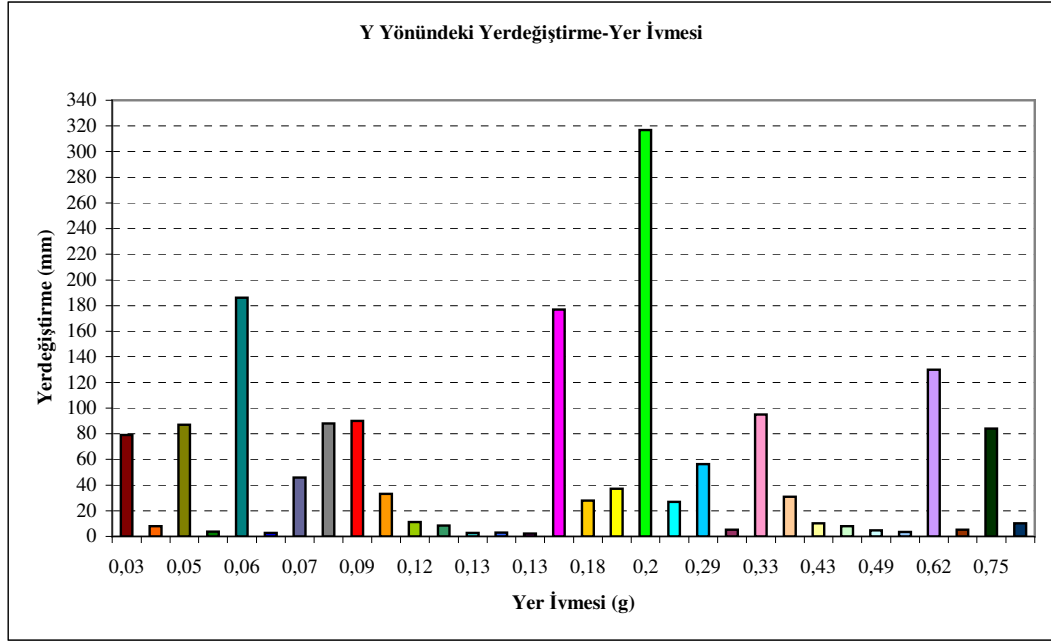
Şekil 6.14. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



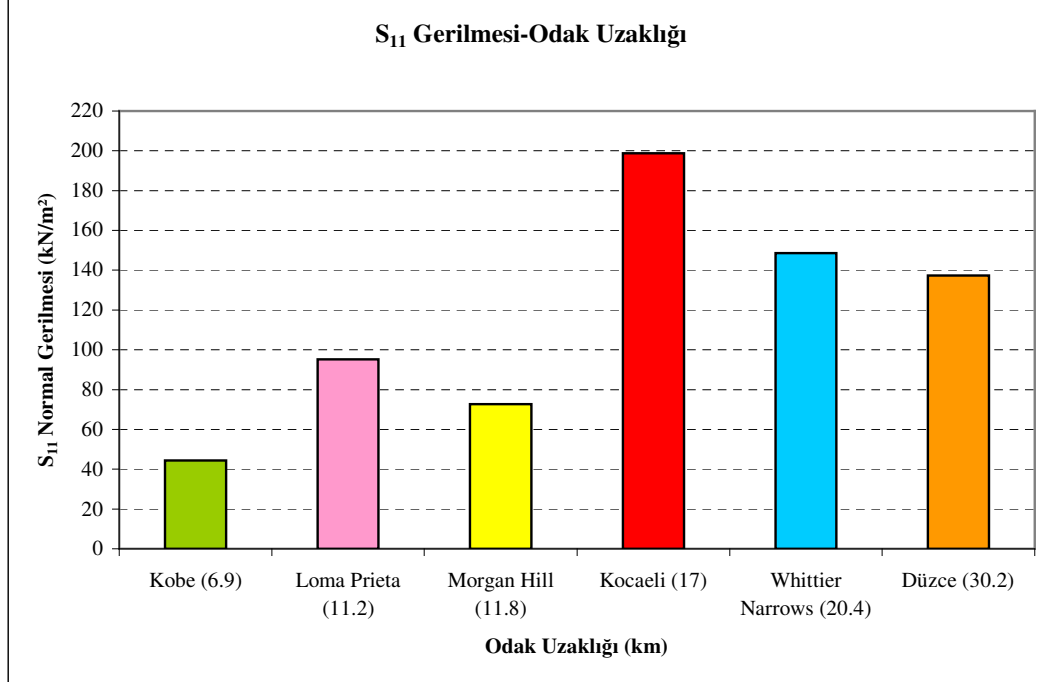
Şekil 6.15. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



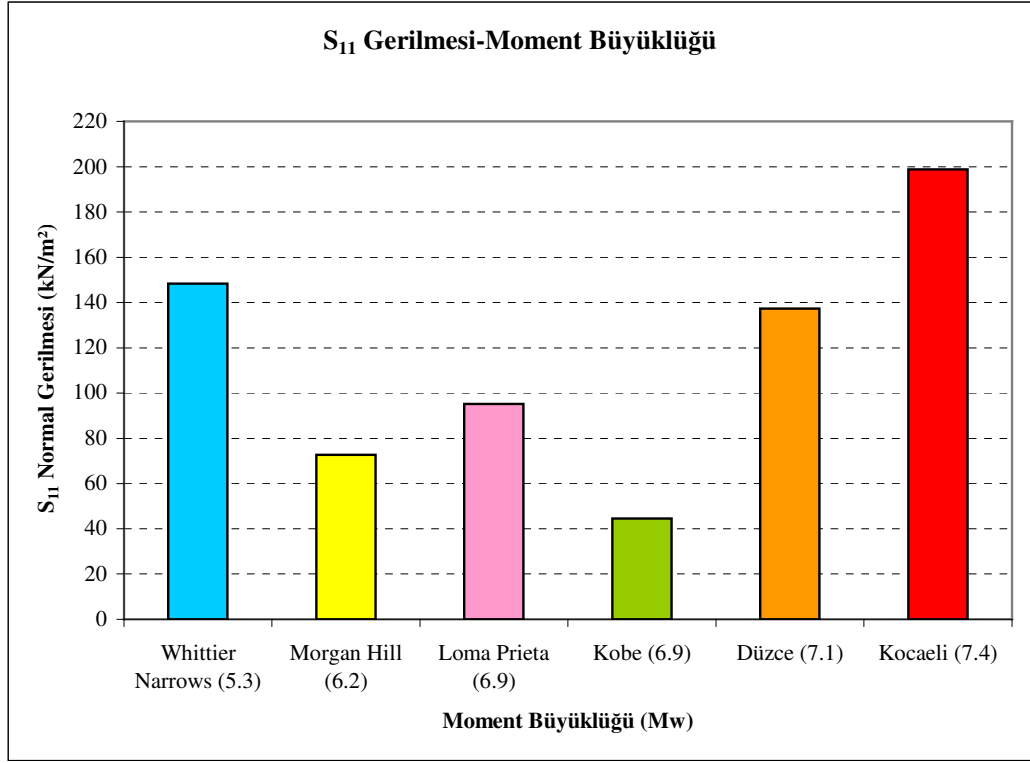
Şekil 6.16. Barajın X yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



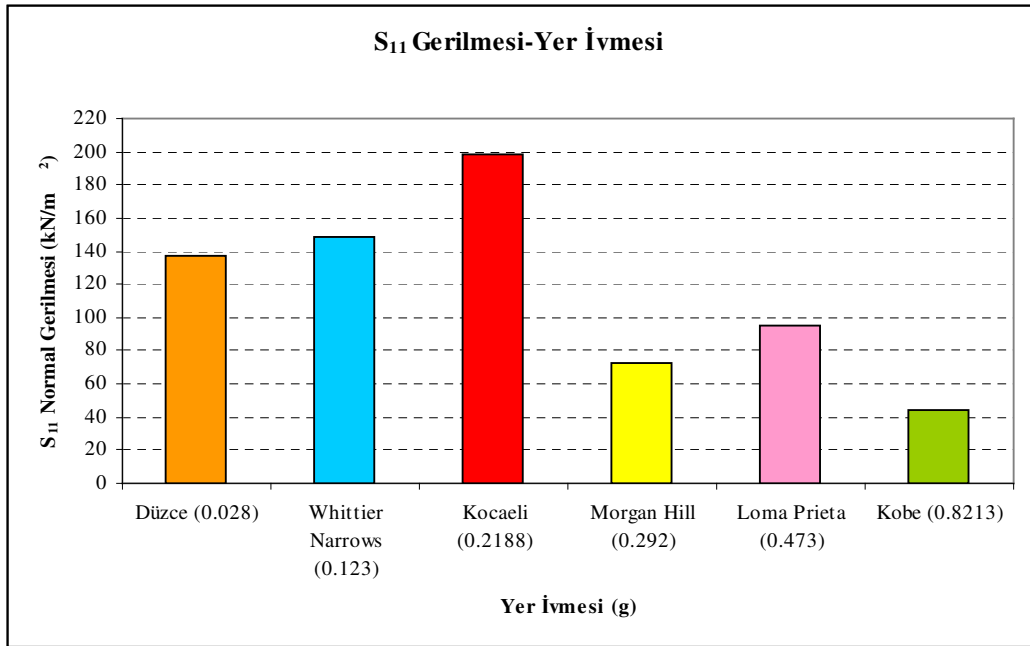
Şekil 6.17. Barajın Y yönündeki yer değiştirmesi ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



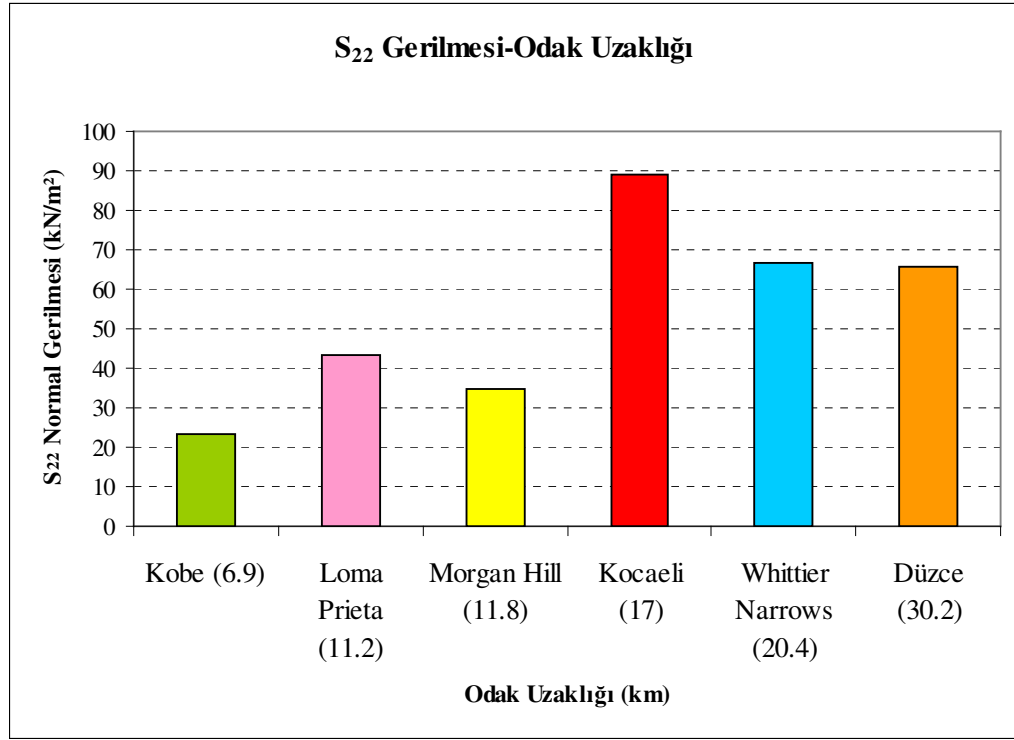
Şekil 6.18. S_{11} gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



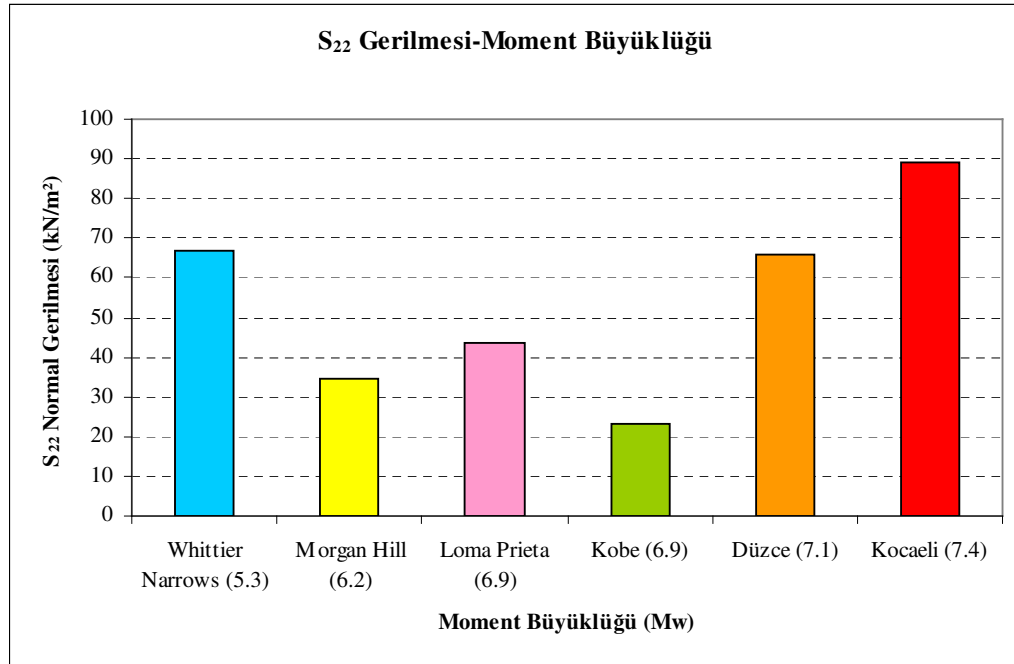
Şekil 6.19. S₁₁ gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



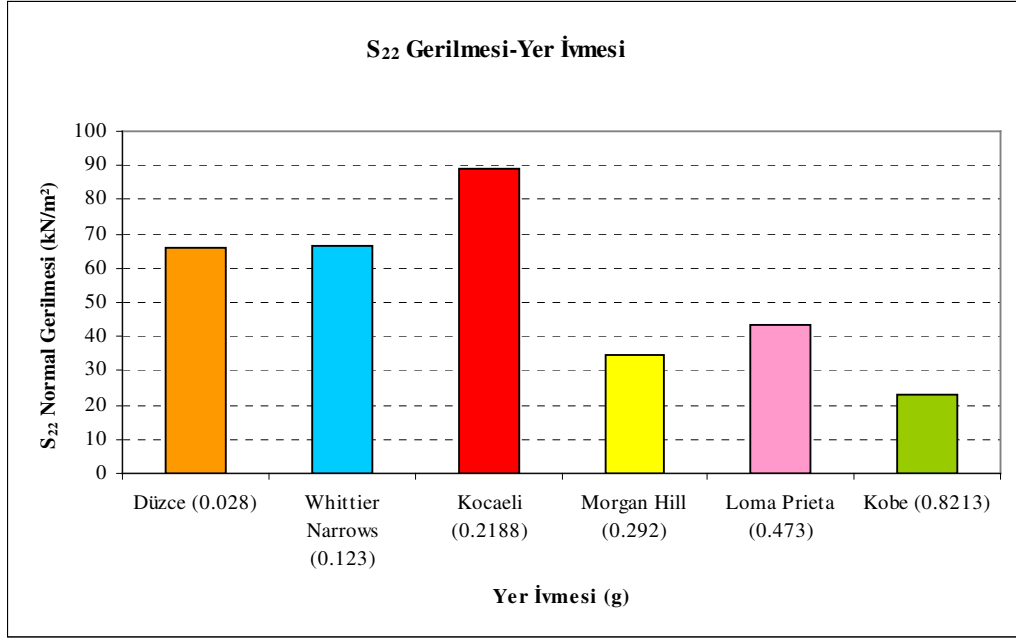
Şekil 6.20. S₁₁ gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



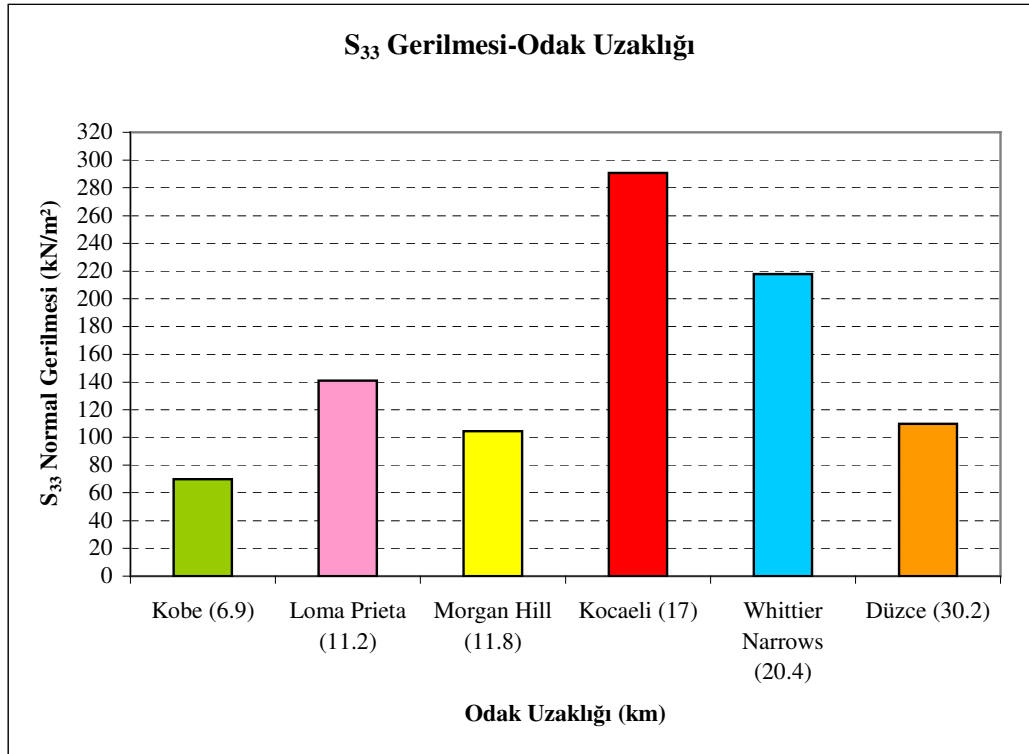
Şekil 6.21. S_{22} gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



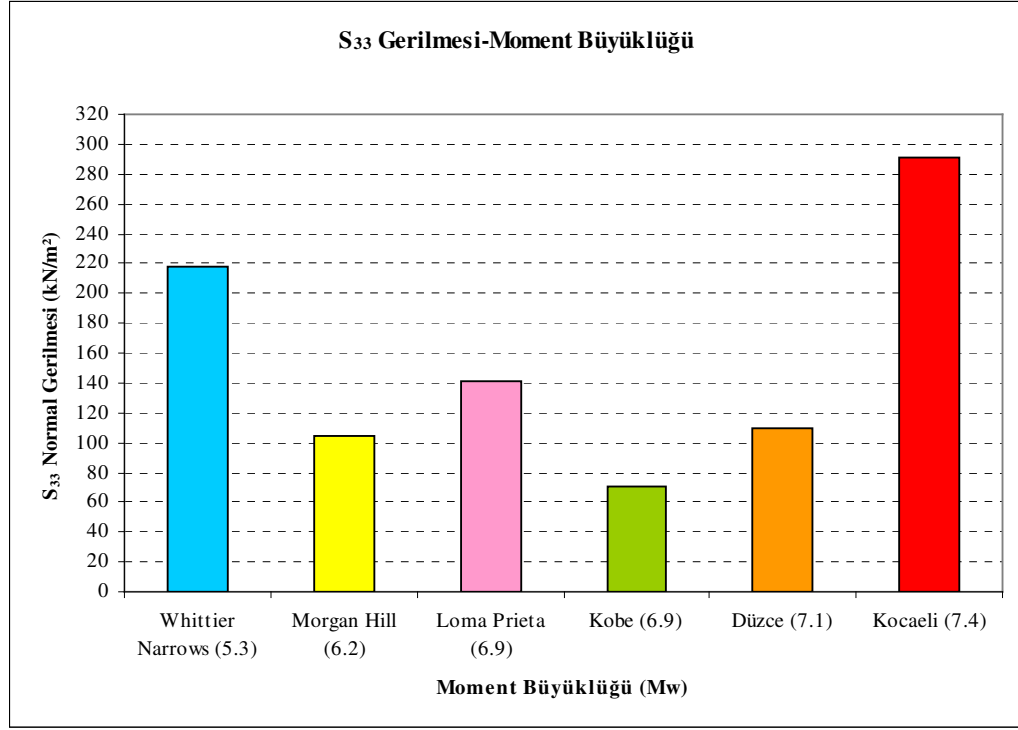
Şekil 6.22. S_{22} gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



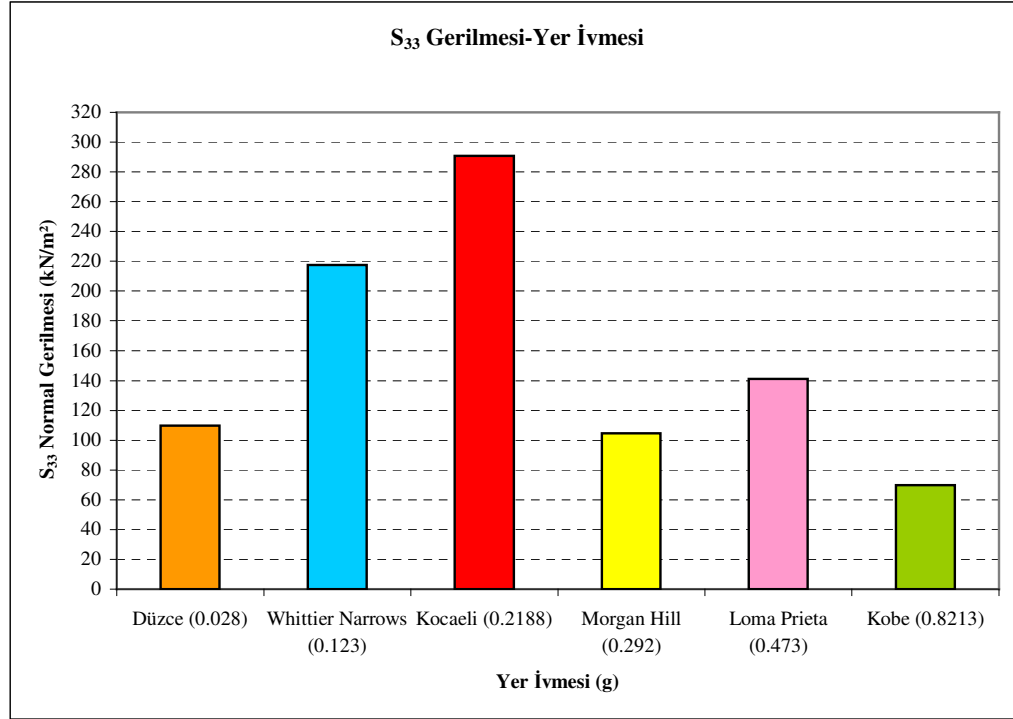
Şekil 6.23. S₂₂ gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



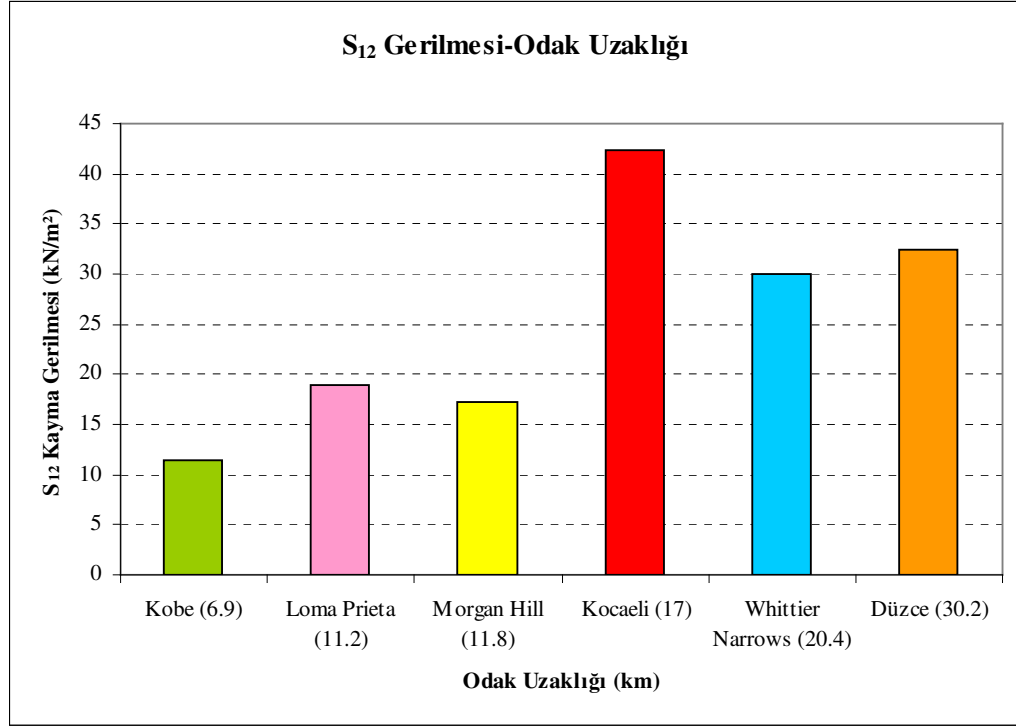
Şekil 6.24. S₃₃ gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



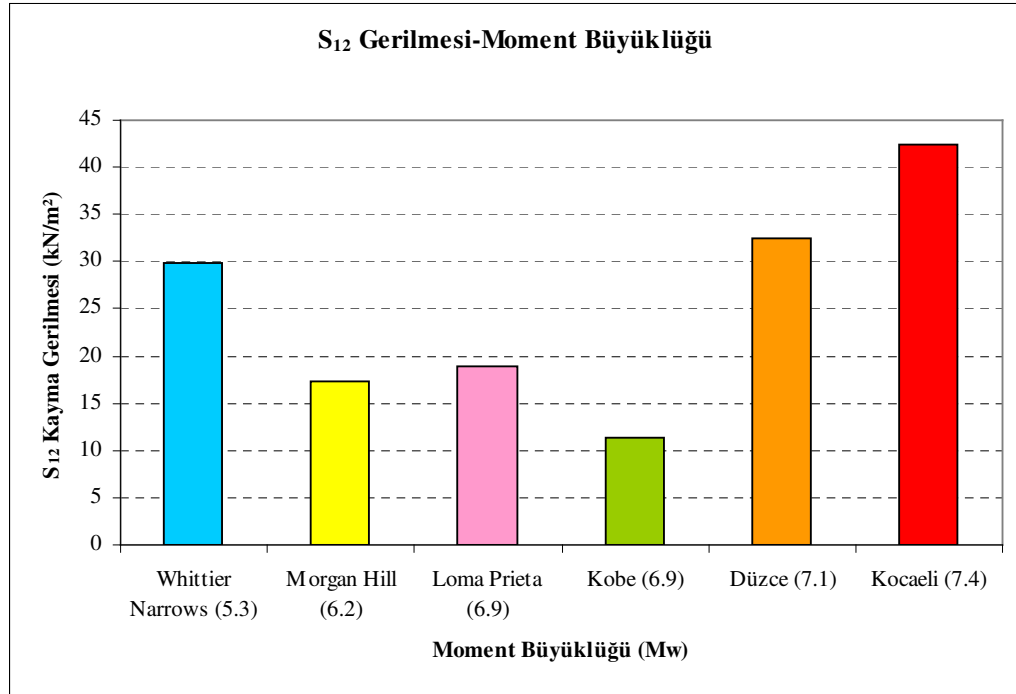
Şekil 6.25. S₃₃ gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



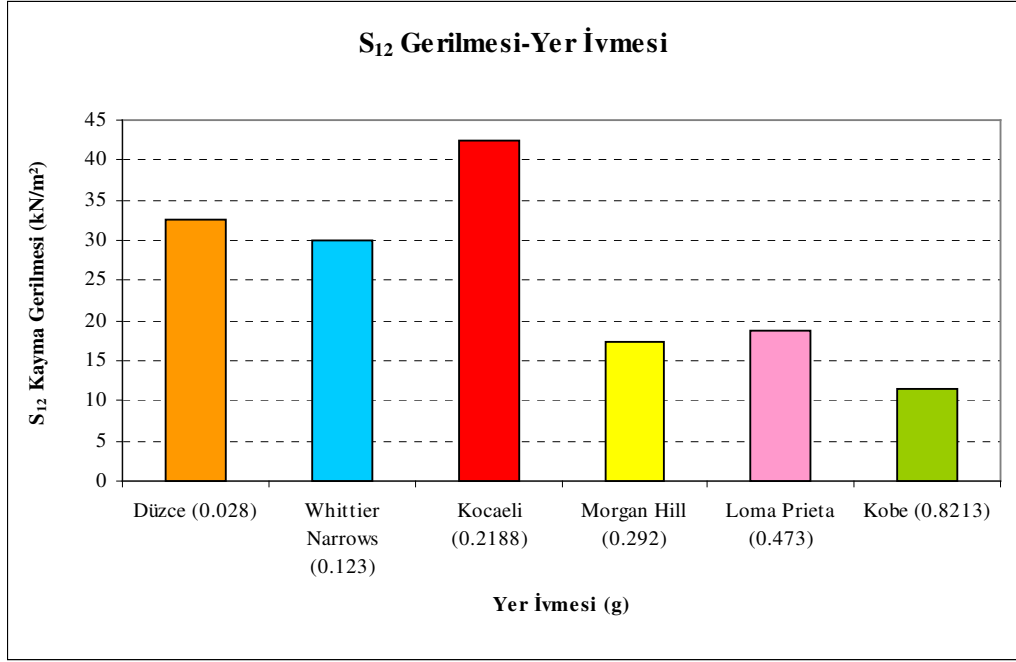
Şekil 6.26. S₃₃ gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



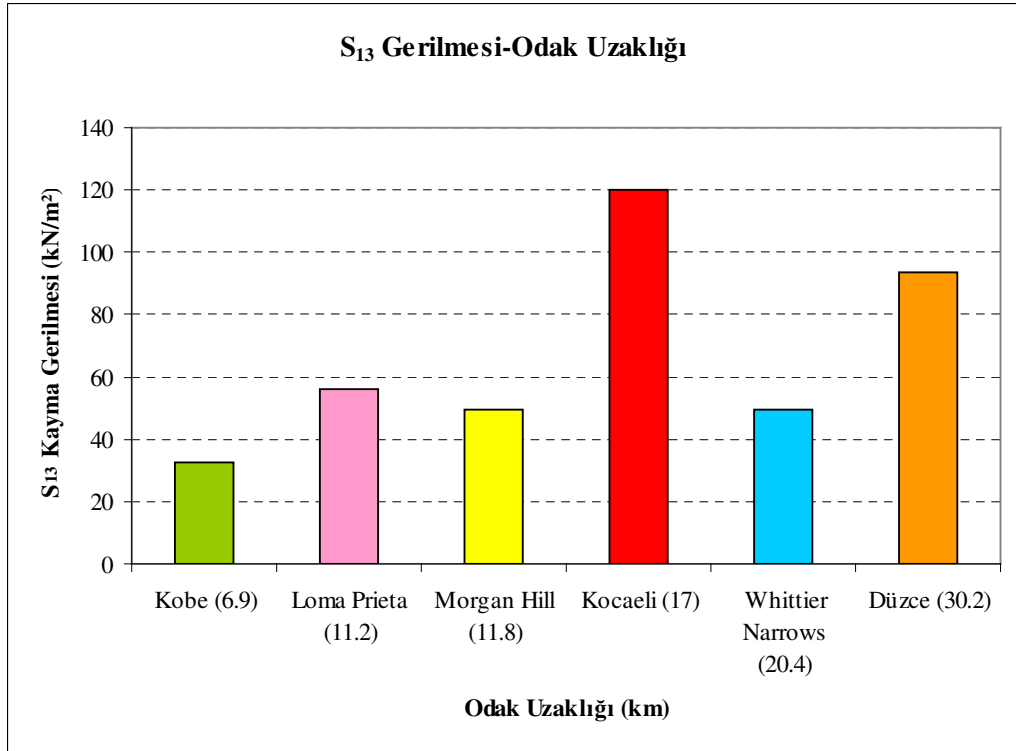
Şekil 6.27. S_{12} gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



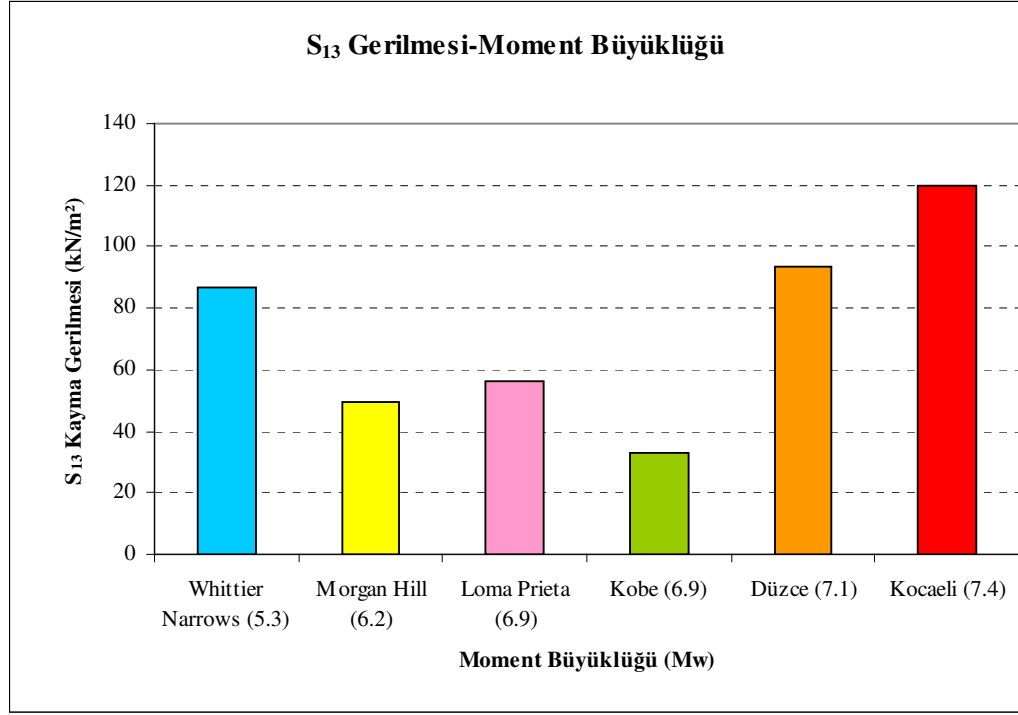
Şekil 6.28. S_{12} gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



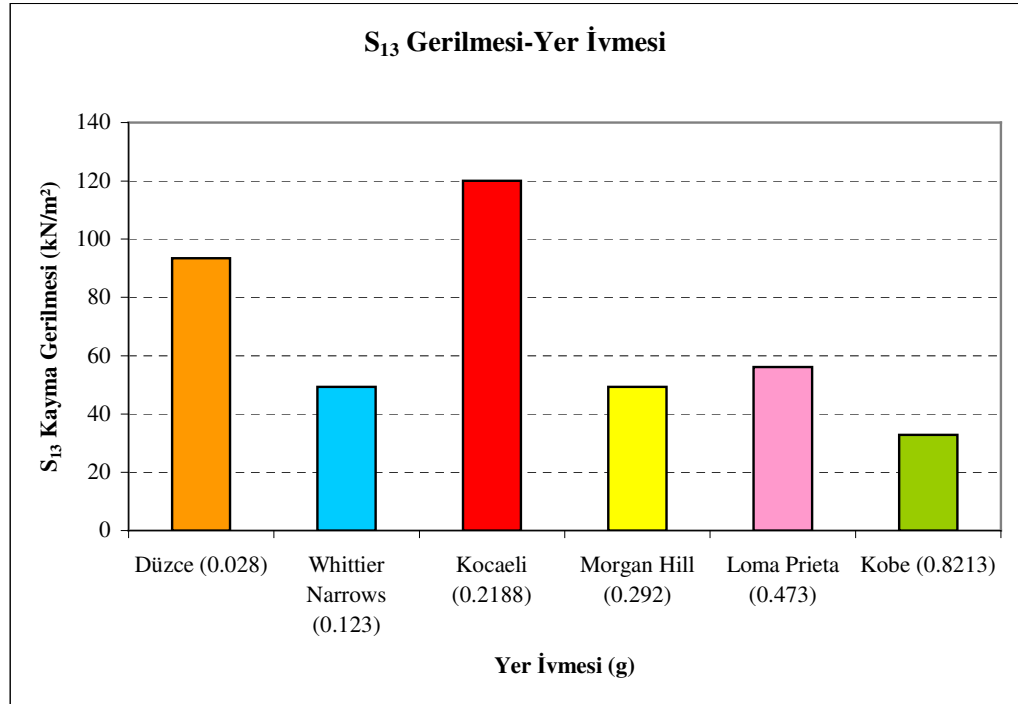
Şekil 6.29. S_{12} gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



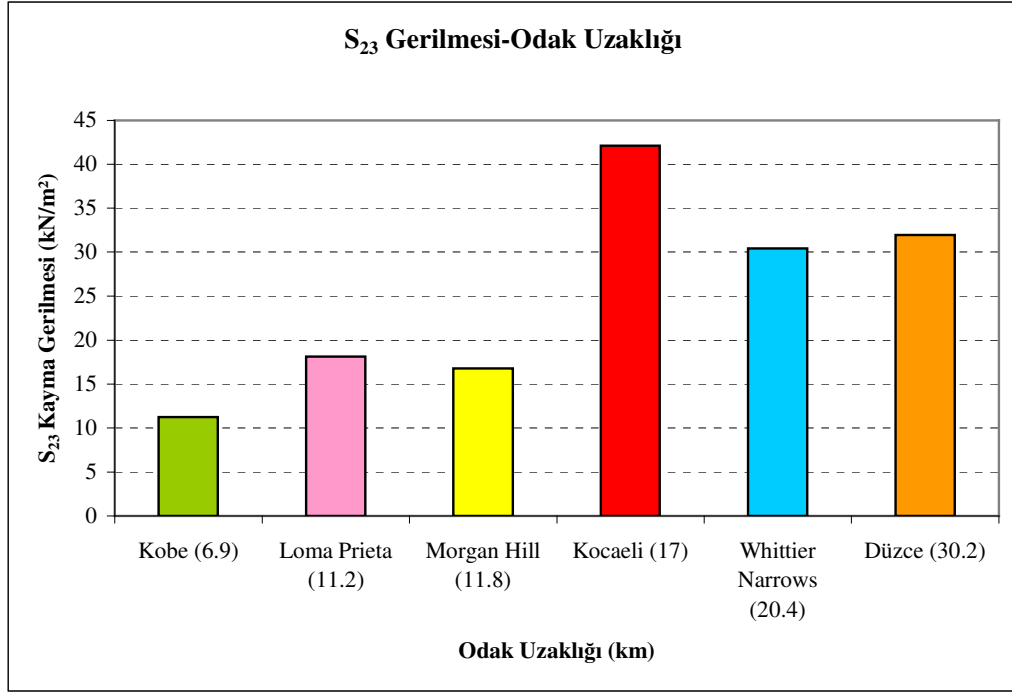
Şekil 6.30. S_{13} gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



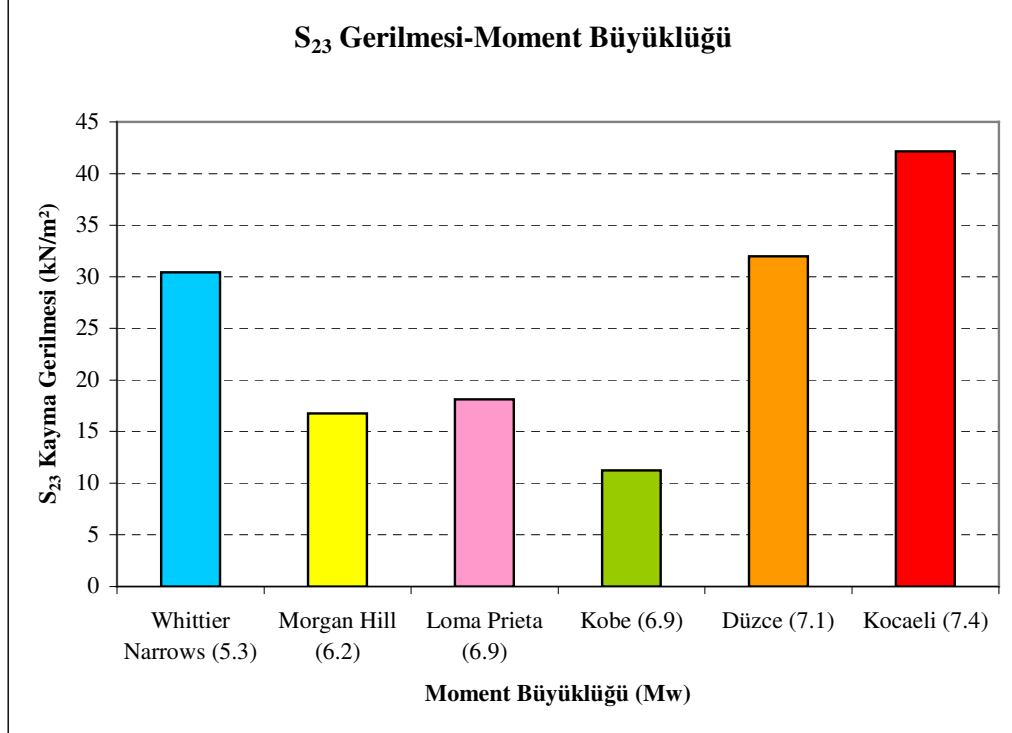
Şekil 6.31. S_{13} gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



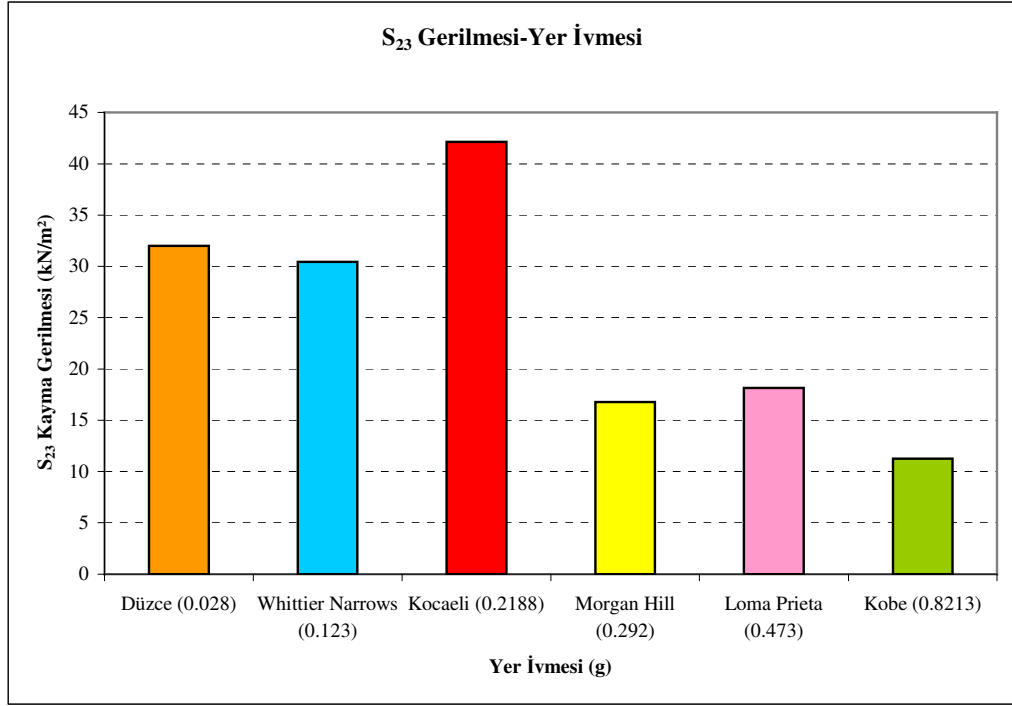
Şekil 6.32. S_{13} gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki



Şekil 6.33. S₂₃ gerilme değeri ile depremlerin odak uzaklıkları arasındaki ilişki



Şekil 6.34. S₂₃ gerilme değeri ile depremlerin moment büyüklükleri arasındaki ilişki



Şekil 6.35. S₂₃ gerilme değeri ile depremlerin yer ivmeleri arasındaki ilişki

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu tez çalışmasında Dim Barajına uygulanan deprem kuvvetleri ile elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri düşük olduğundan bu değerlerin baraj gövdesi üzerinde tehlikeli sonuçlara sebep olacak şekil değiştirmelere yol açmayacağı, ancak sürekli malzemedeki değişimin gözlenmesi gerektiği ve buna göre analizlerin belli bir periyotta baraj güvenliği için yapılması gerekliliği saptanmıştır. Yine de kret bölgesinin daha kalın tasarlanması ve memba ve mansap şev eğimlerinin daha fazla olarak projelendirilmesi olası şiddetli depremlere barajın dayanımını artırır. Aynı şekilde dayanımı yüksek malzemelerin seçimi ve uygun sıkışma yöntemlerin uygulanması da barajın şekil değiştirmesini azaltır.

Deprem hem yatay hem düşey doğrultularda zeminde gelişi güzel hareketler doğurur. Barajlar üzerinde deprem kuvvetlerinin etkisinden oluşacak yer değiştirme ve gerilmeler depremin ve baraj yapısının karakteristiklerine göre değişebilmektedir. Barajın oluşacak deprem kuvveti etkisine ne zaman uğrayacağı kesin olarak bilinmemektedir. Fakat barajın inşa edildiği bölgenin eski deprem kayıtları, gelecekte oluşabilecek depremler hakkında fikir verebilir. Dolayısı ile inşa edilecek baraj ve barajda kullanılacak malzemeler o bölgeye özgü projelendirilmelidir. Barajların depreme dayanabilecek şekilde yapımı, depremlerde oluşan yer hareketlerinin iyi tanınması ve de dinamik özelliklerinin bilinmesiyle gerçekleştirilebilir.

Barajlar gibi önemli yapıların daha gerçekçi analizlerinin yapılabilmesi için yapıların temel zemini ile birlikte üç boyutlu olarak modellenmeleri, deprem etkilerinin en az üç yönde göz önüne alınması ve malzemelerin lineer olamayan davranışı ile birlikte rezervuarın boş ve dolu olma durumları için teorik hesaplar yapılmalı, bu hesaplar yapılan modeller üzerinde dinamik deneyler ve laboratuvar çalışmalarıyla desteklenmelidir. Yapılan deprem analizinin yanı sıra barajın dinamik stabilitesinin korunması için barajda kullanılacak malzemelerin üzerinde deneyler yapılarak malzeme özelliklerinin de dayanımının yüksek olması stabilite açısından gerekmektedir.

Genel olarak baraj gövdesinde analiz sonucu meydana gelen yer değiştirme değerleri temelden krete doğru gidildikçe artmakta olup maximum değeri krete yakın bir noktada bulunmuştur. Örneğin, Landers (29P000) depreminin baraja uygulanması sonucunda kret kotunun 4 m altında memba yüzeyine doğru x yönünde maksimum 37.3 mm, y yönünde ise maksimum 88 mm yer değiştirme yaptığı tespit edilmiştir. Baraj temeli rijit olarak değerlendirildiği için bu bölgelerde yer değiştirme hem x hem de y yönü için bir değer bulunamamıştır.

Gerilme dağılımı değerlendirildiğinde, depremler sırasında ve sonrasında fazla miktarda çekme gerilmelerinin oluştuğu bölgeler baraj gövdesinin memba ve mansap şev eğimlerinin üzerinde talveg kotuna yakın yerlerdedir. Depremler sonucu şev eğimi üzerinde meydana gelen çatlakların, yine şevler üzerinde maksimum çekme gerilmelerinin oluştuğu yerlerde gerçekteştiği sonucuna varılmıştır. Kret seviyesindeki gerilmeler memba şevlerindeki gerilmelerden çok daha az olduğu ortaya koyulmuştur. Örneğin, Kocaeli (ARC000) depreminde x yönündeki memba şevlerindeki S_{11} gerilme değeri 198.77 kN/m² iken kret seviyesindeki S_{11} gerilme değeri 15.24 kN/m² dir.

Genel anlamda barajlar, kendi ağırlıkları, rezervuardaki suyun basıncı, rusubat basıncı ve deprem kuvvetleri etkisinde stabilitesini korumak zorundadır. Bu kuvvetlerden deprem kuvveti hariç diğer kuvvetler zamana göre çok yavaş değişir. Ancak deprem kuvveti zamana bağlı olarak çok kısa zamanlarda şiddet ve yön değiştirebilir. Bu nedenle barajın stabilitesini deprem kuvvetleri altında sağlaması en önemli kriterini oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında tüm mühendislik çalışmalarında sıklıkla uygulanan ve gerçeğe yakın çözümler sunan sonlu elemanlar yöntemi ile barajın 32 adet deprem etkisi altında dinamik analizi yapılmıştır. Burada barajın düzgün olmayan geometrisi ve de özellikle gövdede kullanılan malzemelerin homojen olmayan dağılımının bu yöntemle kolaylıkla modellenmesi bu yöntemi ön plana çıkarmaktadır. Modelleme esnasında kullanılan eleman sayısının arttırılması sonuçların daha hassas olarak elde edilmesini sağlamıştır.

8. KAYNAKLAR

- Acar, A., Dinçer, İ., 2005. Left Upstream Slope Design For The Çatalan Dam, Adana, Turkey And Its Behaviour Under Actual Earthquake Loading. Engineering Geology, 82.
- Ahmadi, M.T., Izadinia, M., Bachmann, H., 2001. A Discrete Crack Joint Model For Nonlinear Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dam. Computers And Structures, 79.
- Ağralıoğlu, N., 2004. Baraj Planlama ve Tasarımı-I. Su Vakfı Yayınları, 246s. İstanbul.
- Ağralıoğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı-II. Su Vakfı Yayınları, 256s. İstanbul.
- Akyüz, H., 1990. Dolgu Barajların Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Al-Homoud, A.S., Tanash, N., 2004. Modeling Uncertainty In Stability Analysis For Design Of Embankment Dams On Difficult Foundation. Engineering Geology, 71.
- Azmi, M., Paultre, P., 2002. Three-Dimensional Analysis Of Concrete Dams Including Contraction Joint Non-Linearity. Engineering Structures, 24.
- Bathe, K., 1967. The Finite Element Method. Journal Of Cape Town Engineering Society, 57-61.
- Batmaz, S., 2008. Önyüzü Beton Kaplı Dolgu Barajların Tasarım İlkeleri. Dolgu Baraj Tasarımında Gelişmeler Semineri, 137-152, Eskişehir.
- Bayraktar, A., Dumanoglu, A.A., 1995. The Effect of the Asynchronous Ground Motion on Hydrodynamic Pressures. The Sixth International Conference on Civil and Structural Engineering Computing, Combridge, England.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Ateş, Ş., Hacıfendioğlu, K., 2007. Rezervuarın Kaya Dolgu Barajların Lineer Olmayan Deprem Davranışına Etkisi. I. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, 319-328, Ankara.
- Calayir, Y., 1994. Beton Ağırlık Barajların Euler ve Lagrange Yaklaşımları Kullanılarak Dinamik Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Calayir, Y., Karaton, M., 2005. A Continuum Damage Concrete Model For Earthquake Analysis Of Concrete Gravity Dam-Reservoir System. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 25.

- Cascone, E., Rampello, S., Lotfi, V., Espander R., 2003. Decoupled Seismic Analysis Of An Earth Dam. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 23.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İTÜ, 468s. İstanbul.
- Cook, R., Malkus, D., Plesha, M., 1989. Concepts And Applications Of Finite Element Analysis. John Wiley&Sons, 3, Canada.
- Day, R.A., Hight D.W., Potts D.M., 1998. Finite Element Analysis Of Construction Stability Of Thika Dam. Computers And Geotechnics, 23.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı), 1996. DSI Genelgesi, 1996/4, Ankara.
- Dumanoglu, A.A., Traveledyan, J., 1982. Static and Dynamic Analysis Upper Glendevon Gravity Dam, University of Bristol.
- Dumanoglu, A.A., Hacıfendioglu, K., 2000. Toprak Dolgu Barajların Drucker-Prager ve Eğri Tanımlama Yöntemi ile Lineer Olmayan Dinamik Analizi. Teknik Rapor, Türkiye Deprem Vakfı.
- Espander, R., Lotfi, V., 2003. Comparison Of Non-Orthogonal Smeared Crack And Plasticity Models For Dynamic Analysis Of Concrete Arch Dams. Computers And Structures, 81.
- Griffits, D.V., Prevost, J.H., 1988. Two and Three-Dimensional Dynamic Finite Element Analysis of The Long Valley Dam. Geotechnique, 98.
- Javanmardi, F., Leger, P., Tinawi, R., 2005. Seismic Structural Stability Of Concrete Gravity Dams Considering Transient Uplift Pressures In Cracks. Engineering Structures, 27.
- Kayıkçı, N.S., 2001. Sonlu Elemanlar Metodunun Kullanılmasıyla Karacaören I Toprak Dolgu Barajında Gerilme ve Deplasmanların Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Khoei, A.R., Azami, A.R., Haeri, S.M., 2004. Implementation Of Plasticity Based Models In Dynamic Analysis Of Earth And Rockfill Dams: A Comparison Of Pastor-Zienkiewicz And Cap Models. Computers And Geotechnics, 31.
- Konttenstette, J.T., 1997. Block Theory Techniques Used in Arch Dam Foundations Stability Analysis. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 34.
- Kumbasaroglu, A., 2003. Barajların Dinamik Analiz Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Leclerc, M., Leger P., Tinawi R., 2003. Computer Aided Stability Analysis Of Gravity Dams (CADAM). Advances In Engineering Software, 34.
- Li, Q.S., Li, Z.N., Li, G.Q., Meng, J.F., Tang, J., 2005. Experimental And Numerical Seismic Investigations Of The Three Gorges Dam. Engineering Structures, 27.
- Liang, R.Y., Nusier, O.K., Malkawi, A.H., 1999. A Reliability Based Approach For Evaluating The Slope Stability Of Embankment Dams. Engineering Geology, 54.
- Lotfi, V., Espander, R., 2004. Seismic Analysis Of Concrete Arch Dams By Combined Discrete Crack And Non-Orthogonal Smeared Crack Technique. Engineering Structures, 26.
- Mejia, L.H., Seed, H.B., 1982. Comparison of 2-D and 3-D Dynamic Analysis of Earth Dams. Geotechnique Engineering, 109.
- Nitikipaiboon, C., Bathe, K.J., 1993. An Arbitrary Lagrangian-Eularian Velocity Potential Formulation For Fluid Structure Interaction. Computers and Structure, 47.
- Orhon, M., 1997. Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Dergisi, Barajlar-I (391).
- Palumbo, P., Piroddi, L., 2001. Seismic Behaviour Of Buttress Dams: Non-Linear Modelling Of A Damaged Buttress Based On Arx/Narx Models. Journal Of Sound And Vibration, 239.
- Przemieniecki, J.S., 1968. Theory of Matrix Structural Analysis. Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA.
- SAP2000, 1997. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- Singh, B., Varshney, R.S., 1995. Engineering For Embankment Dams. A.A. Balkema, Brookfield, 732s, Rotterdam.
- Singh, R., Roy, D., Jain S.K., 2005. Analysis Of Earth Dams Affected By The 2001 Bhuj Earthquake. Engineering Geology, 80.
- Şentürk, F., 1988. Barajların Projelendirilmesinde Hidrolik Esaslar. DSİ Yayınları, Ankara.
- Tezcan, S., 1972. Toprak Barajların Dinamik Analizi. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Udin, N., 1999. A Dynamic Analysis Procedure For Concrete Faced Rockfill Dams Subjected To Strong Seismic Excitation. Computers And Structures, 72.

- Wang, Z., Makdisi, F.I., Egan, J., 2006. Practical Applications Of A Nonlinear Approach To Analysis Of Earthquake-Induced Liquefaction And Deformation Of Earth Structures. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 26.
- Westergaard, H.M., 1933. Water Pressures on Dams During Earthquakes. Transactions, ASCE, 98/1835.
- Yu, X., Zhou, Y.F., Peng, S.Z., 2005. Stability Analyses Of Dam Abutments By 3D Elasto-Plastic Finite-Element Method: A case Study Of Houhe Gravity –Arch Dam In China. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 42.
- Yu, Y., Xie, L., Zhang, B., 2005. Stability Of Earth-Rockfill Dams: Influence Of Geometry On The Three-Dimensional Effect. Computers And Geotechnics, 32.
- Zhang, J., He, J., Fan, J., 2001. Static And Dynamic Stability Assessment Of Slopes Or Dam Foundations Using A Rigid Body-Spring Element Method. International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 38.
- Zienkiewicz, O.C., Bettess, P., 1978. Fluid-Structure Dynamic Interaction And Wave Forces An Interaction To Numerical Traeatment. International Journal For Numerical Method In Engineering, 13.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, L., 1988. The Finite Element Method. Mcgraw Hill, 22, England.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz HELVACI

Doğum Yeri ve Yılı: Fethiye, 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Muğla Anadolu Lisesi (1997-2000)

Lisans : Anadolu Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü (2000-2004)

Çalıştığı Kurum: Devlet Su İşleri (DSİ) Isparta 18. Bölge Müdürlüğü (2005-)