

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

**ZAYIF TEMELLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
SSB BARAJLARIN STATİK ANALİZİ**

Muhammet ÇİÇEK

**Tez Yöneticisi
Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAYIF TEMELLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
SSB BARAJLARIN STATİK ANALİZİ

Muhammet ÇİÇEK

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez,/...../2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Prof. Dr. Nusret ŞEKERDAĞ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZAYIF TEMELLER ÜZERİNE İNŞA EDİLEN SSB BARAJLARIN STATİK ANALİZİ

Muhammet ÇİÇEK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 114

Katı dolgu barajlarda esas amaç, Silindirle Sıkıştırma Beton (SSB) baraj malzemelerinden optimum oranda yararlanmaktır. Bu tasarımın temel ilkeleri; simetrik bir enkesit, su geçirmez bir memba yüzeyi, baraj gövdesinde iç drenajın olmaması ve SSB'nin zayıf kullanımıdır. Bu tasarımın ana avantajları; baraj gövdesinde ve temelde düşük gerilmeler; katı dolgunun düşük maliyeti ve klasik beton ağırlık barajlardan özellikle deprem durumunda daha emniyetli olması, olarak sayılabilir.

Bu çalışmada, farklı zemin dayanımlarına sahip zayıf temeller üzerine inşa edilmiş katı-dolgu barajların statik yükler altında lineer elastik davranışları incelenmiştir. Baraj ve temel ortamları lineer elastik kabul edilmiş olup sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Temelin dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmıştır. Analizler, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.5 ve 1.00, şev eğimlerinin de (0.6y/1.0d), (0.7y/1.0d), (0.8y/1.0d) olması için yapılmıştır. Aynı zamanda, katı-dolgu baraj yüksekliğinin etkisini incelemek amacıyla baraj yüksekliği 30, 60, 90 ve 120 m alınmıştır. Rezervuar hidrostatik su yükünün tesirini görmek için de rezervuarın boş, yarı dolu, tam dolu olması durumları için çözümler yapılmıştır.

Baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin, şev eğimlerine, baraj yüksekliğine ve E_t/E_b oranına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Ayrıca yerdeğiştirmelerin aynı değişkenlere bağlı olarak değişimi irdelenmiştir. Sonuçlar, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilmiş ve bunlara ait eşitlikler sunulmuştur. Önerilen bu eşitlikler yardımıyla zayıf temeller üzerine inşa edilecek bir katı dolgu barajın ön boyutlandırması yapılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Katı dolgu baraj, SSB, zayıf temel, statik analiz ve ağırlık baraj.

ABSTRACT

MSc Thesis

STATIC ANALYSIS OF RCC DAMS CONSTRUCTED ON WEAK FOUNDATIONS

Muhammet ÇİÇEK

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2007, Page: 114

This design is proposed for RCC dams to take full advantage of the characteristics of this material. The basic features of this design are: a symmetrical cross section; a watertight upstream facing; no internal drainage of the dam body; and the use of a lean RCC. The main advantages of this design are: low stresses in the dam body and foundation; low cost of the hardfill; and, greater safety than gravity dams, particularly for earthquake conditions.

In this study, hardfill dams constructed on weak foundations having different soil strength were investigated linear elastic response under the static loads. The dam and foundation domains were assumed as linear elastic and modeled with finite element technique. The foundation strength was computed in term of (E_t/E_b) ratio of the dam elasticity modulus. Analyses were obtained for 0.125, 0.25, 0.5 and 1.00 of the E_t/E_b values. Upstream and downstream slopes are taken as (0.6y/1.0d), (0.7y/1.0d), (0.8y/1.0d). Moreover, dam heights were selected as 30, 60, 90 and 120 m for investigating the effect of hardfill dam height. Analyses were made for empty, semi-full and full conditions of reservoir for investigating the effect of the hydrostatic pressure.

Variation of minimum and maximum principal strength occurred at the dam body and foundation interface were investigation depending on dam slope, dam height and E_t/E_b values. In addition to this, displacements were investigated likewise. Results were obtained at dam body and dam-foundation interface and equations belong to these were presented. Thus, preliminary planning of hardfill dams constructed on weak foundations will be made using presented equations.

Keywords: Hardfill dam, RCC, weak foundation, static analysis, gravity dam.

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçiminde, planlanmasında ve tezimin yazımında yardımını hiç esirgmeden bütün destekleriyle her an her konuda yanımda olan sayın hocalarım Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON'a en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLOLAR LİSTESİ	IX
SİMGELER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. AĞIRLIK BARAJLARIN TASARIMI VE YAPILAN ANALİZLER	3
2.1. Genel Bilgiler	3
2.2. Klasik Beton Ağırlık Barajlar	6
2.2.1. Klasik Beton Ağırlık Barajların Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri	6
2.2.2. Klasik Beton Ağırlık Barajların Tasarımı	7
2.2.3. Klasik Beton Ağırlık Barajlarda Kullanılan İnşa Malzemeleri	8
2.2.4. Ağırlık Barajların İnşası	9
2.2.5. Beton Ağırlık Barajlara Etki Eden Kuvvetler	9
2.3. Silindire Sıkıştırma Beton Barajlar	14
2.3.1. SSB Barajların Tercih Sebepleri ve Avantajları	16
2.3.2. SSB Betonunda Kullanılan Malzemeler	17
2.3.3. SSB Betonun Genel Özellikleri	23
2.3.4. SSB Barajların Projelendirilmesi ve İnşası	28
2.3.4.1. Tabakalar Arasındaki Bağ Dayanımı	29
2.3.4.2. Sızma Kontrolü	30
2.3.4.3. Tabaka Yüzeylerinin Hazırlanması	30
2.3.4.4. SSB Üretimi ve Dökümü	31
2.3.5. SSB Barajların Sınıflandırılması	34
2.3.5.1. Düşük Dozda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar	35
2.3.5.2. Normal Dozda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar	36
2.3.5.3. Yüksek Oranda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar	36
2.3.5.4. RCD Barajlar	37

2.3.5.5. Katı Dolgu Baraj	38
2.3.6. SSB Baraj Türlerinin Dayandığı İki Tasarım Yaklaşımı	41
2.3.6.1. Gövdenin Tümüyle Geçirimsiz Olduğu Sistem (Beton Yaklaşımı)	41
2.3.6.2. Memba Yüzü Geçirimsiz Olan Sistem(Zemin Yaklaşımı)	42
2.4. Ağırlık Barajlarda Yapılan Stabilite Tahkikleri	43
2.4.1. Kayma Tahkiki	43
2.4.2. Devrilme Tahkiki	43
2.4.3. Gerilme Tahkiki	44
2.4.4. Klasik Beton Ağırlık Barajlarda Statik Analiz	44
3. KATI DOLGU BARAJLARIN LİNEER STATİK ANALİZİ	45
3.1. İzoparametrik Elemanlar	45
3.2. Katı Dolgu Barajın Lineer Elastik Statik Analizi	51
3.2.1 Katı Dolgu Baraj Yüksekliğinin (H_b) 30 m Olması Durumu	56
3.2.2 Katı Dolgu Baraj Yüksekliğinin (H_b) 60 m Olması Durumu	63
3.2.3 Katı Dolgu Baraj Yüksekliğinin (H_b) 90 m Olması Durumu	70
3.2.4 Katı Dolgu Baraj Yüksekliğinin (H_b) 120 m Olması Durumu	77
3.2.5. Elde Edilen Verilerin Analizi	84
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	86
5. KAYNAKLAR	88
6. EKLER	90

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Bir barajın genel vaziyet planı	4
Şekil 2.2 Bir klasik beton ağırlık barajın görünüşü	6
Şekil 2.3 Beton ağırlık baraj için enkesit alternatifler	7
Şekil 2.4 Ağırlık baraj yük diyagramı	10
Şekil 2.5 Taban su basıncı	11
Şekil 2.6 SSB barajlarda kullanılan puzolanlar	19
Şekil 2.7 Eşit dayanımlı beton için orantı eğrileri	20
Şekil 2.8 Priz geciktiricili ve geciktiricisiz SSB laboratuvar karışımlarında adyabatik sıcaklık artışı	21
Şekil 2.9 Su miktarı ve vibrasyon süresinin portland çimentolu SSB betonu yoğunluğuna etkisi	22
Şekil 2.10 Su miktarı ve vibrasyon süresinin uçucu küllü SSB betonu yoğunluğuna etkisi	22
Şekil 2.11 SSB barajlarda bağlayıcı içeriği ile (yerinde yapılan) Permeabilite katsayıları arasındaki ilişki	25
Şekil 2.12 Betonlama hızının ısı artışına olan etkisi	26
Şekil 2.13 Klasik beton ağırlık baraj ile SSB betonunun maliyet karşılaştırması	27
Şekil 2.14 SSB barajların inşa hızı	28
Şekil 2.15 SSB barajların yüzey şekillendirmesinde kullanılan metotlar	34
Şekil 2.16 Her yıl tamamlanmış SSB barajların çeşitlerine göre toplam sayısı	35
Şekil 2.17 Katı dolgu baraj enkesiti	39
Şekil 2.18 Klasik beton ağırlık barajlarda statik analiz	44
Şekil 3.1 Dörtgen izoparametrik sonlu eleman	45
Şekil 3.2 Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.6y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri	53
Şekil 3.3. Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.7y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri	54
Şekil 3.4 Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.8y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için	

baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri	55
Şekil E.1.1 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü	91
Şekil E.1.2 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü	92
Şekil E.1.3 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü	93
Şekil E.1.4 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görünümü	94
Şekil E.1.5 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü	95
Şekil E.1.6 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü	96
Şekil E.1.7 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü	97
Şekil E.1.8 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görünümü	98
Şekil E.1.9 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü	99
Şekil E.1.10 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü	100
Şekil E.1.11 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü	101
Şekil E.1.12 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görünümü	102
Şekil E.1.13 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için maksimum asal gerilme görünümü	103
Şekil E.1.14 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü	104
Şekil E.1.15 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görünümü	105
Şekil E.1.16 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü	106
Şekil E.1.17 Şev Eğimi (0.7y/1.0d) Baraj Yüksekliği 30 m için Maksimum Asal Gerilme Görünümü	107

Şekil E.1.18 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü	108
Şekil E.1.19 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görünümü	109
Şekil E.1.20 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü	110
Şekil E.1.21 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için maksimum asal gerilme görünümü	111
Şekil E.1.22 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü	112
Şekil E.1.23 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görünümü	113
Şekil E.1.24 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü	114

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Baraj tipini seçimi ve tip seçimine etki eden faktörler	5
Tablo 2.2 Bazı büyük beton ağırlık barajlar	8
Tablo 2.3 Dalga Yükseklikleri	12
Tablo 2.4 SSB ve SSB (Silindirle Sıkıştırma Baraj, Japon tekniği) tipte inşa edilen bazı barajların özellikleri	16
Tablo 2.5 Maksimum dane çapı, su, bağlayıcı ve sürenin beton basınç dayanımına etkisi	23
Tablo 2.6 Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin beton yaşına göre değişimi	24
Tablo 2.7 Baraj tipi ve maliyet tahmini	27
Tablo 2.8 Japonya’da inşa edilen RCD barajların bazı özellikleri	37
Tablo 2.9 İdeal iri agrega gradasyonu	40
Tablo 2.10 İdeal ince agrega gradasyonu	41
Tablo 2.11 Silindirle Sıkıştırma beton baraj yaklaşımları	43
Tablo 2.12 Temel malzemeleri için müsaade edilebilir basınç gerilmeleri	44
Tablo 3.1 $H_b=30$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	61
Tablo 3.2 $H_b=30$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	62
Tablo 3.3 $H_b=60$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	68
Tablo 3.4 $H_b=60$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	69
Tablo 3.5 $H_b=90$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	75
Tablo 3.6 $H_b=90$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$,	

$H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	76
Tablo 3.7 $H_b=120$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	82
Tablo 3.8 $H_b=120$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	83

SİMGELER

A	:Alan
A_h	: Baraj enkesitinin taban alanı
A_h'	: Baraj enkesitinin efektif taban alanı
$[B]$	: Eleman şekil değiştirme-yer değiştirme arasındaki matris
c	:Kohezyon
$[D]$	: Gerilme-şekil değiştirme arasındaki matris
dV	: Sonlu büyüklükteki hacim
E_b	: Baraj malzemesinin elastisite modülü
E_t	: Temel ortamının elastisite modülü
$\tilde{E}$	: Birimsiz haldeki elastisite modülü
$\{f\}$	: Kütle kuvvet vektörü
H_b	: Baraj yüksekliği
H_r	: Rezervuar su yüksekliği
H_s	: Belirli dalga yüksekliği
$[J]$	: Jakobiyen matrisi
K_a	: Aktif yanal basınç katsayısı
k_d	: Drenlerin geometrisi ve yeterliğine bağlı olarak bir katsayı ($k_d=0.33$)
$[k]_e$	: Elaman rijitlik matrisi
m	: Şev
$\tilde{m}$	: Birimsiz şev
$[N]$	: Şekil fonksiyonları matrisi
P_{buz}	:Buz basıncı
P_{dalga}	:Dalga kuvveti
P_m	:Barajın ağırlığı
P_s	: Yatay sediment basınç kuvveti
P_u	: Kaldırma kuvveti
p_w	:Hidrostatik basınç
P_{wh}	:Yatay kuvvet

P_{wy}	:Düşey kuvvet
$\tilde{P}_1$	: Birimsiz haldeki 1. dış yükleme
$\tilde{P}_2$	: Birimsiz haldeki 2. dış yükleme
S	:Kesme mukavemeti
T	: Baraj enkesitinin taban genişliği
t_e	: Eleman kalınlığı
U	: Elastik şekil değiştirme enerjisi
$\{u\}$	: Yer değiştirme vektörü
u_w	: İç su basıncı
u_{wort}	: Ortalama iç su basıncı
y_1	: Baraj memba topuğundan itibaren kaldırma kuvvetinin etkidiği mesafe
z_d	: Dren çizgisinde ortalama efektif yükseklik
z_1	: Memba taraftaki su yüksekliği
z_2	: Mansap taraftaki su yüksekliği
z_3	: Sedimentin derinliği
$\emptyset$	:İçsel sürtünme açısı
$\{q\}$	: Eleman düğüm noktaları yer değiştirme vektörü
ϕ_s	: Sedimentin içsel sürtünme açısı
ε	: Birim şekil değiştirme
σ	: Gerilme
ν_b	: Baraj malzemesinin poisson oranı
ν_t	: Temel ortamının poisson oranı
γ_r	: Rezervuar ortamının birim hacim ağırlığı
$\tilde{\sigma}$	: Birimsiz haldeki gerilme
η	: Alan azaltma katsayısı
γ_b	: Baraj malzemesinin birim hacim ağırlığı
γ_c	:Betonun birim ağırlığı
γ_s'	: Sedimentin batmış birim hacim ağırlığı
γ_s	: Sedimentin doymuş birim hacim ağırlığı

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca suya duyulan ihtiyaç insanoğlunu suyu biriktirmeye zorlamış, bu nedenle günlük su ihtiyaçlarını gidermek amacıyla özellikle su kaynaklarının eksik olduğu yerlerde biriktirme yapıları inşa etmek mecburiyetinde bırakmıştır. Zamanla, ihtiyaçların çeşitlenmesi, nüfusun artması, enerjiye duyulan ihtiyaç ve doğal felaketlerden korunmak amacıyla günümüzde birçok baraj inşa edilmektedir.

Bir baraj projelendirme çalışmasına başlamadan önce çok detaylı jeolojik, hidrolojik, topoğrafik gibi birçok çalışmaların detaylı olarak yapılması gerekmektedir. Daha önce mevcut olan verilerle birlikte elde edilecek yeni veriler süzgeçten geçirilerek baraj projelendirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Projelendirmede ön planlama ve fizibilite çalışmaları ne kadar ciddi yürütülürse kat'i projede, detay revizyonların dışında büyük proje değişimleri ortaya çıkmayacaktır.

Son yıllarda gelişmiş sanayi ülkelerinde küçük ve orta büyüklükteki bazı beton ağırlık barajları ve hava limanları klasik yol yapımında kullanılan iş makinelerinin yeni bir teknoloji ile birlikte uygulanmasıyla inşa edilmişlerdir. Adına, Silindirle Sıkıştırma Beton (SSB), denilen bu yeni teknolojinin ülkemizde de uygulamaya başlamasının, maliyetlerin azaltılması ve inşa sürelerinin kısaltılması açısından oldukça yararlı olacağı açıktır. 1980'li yılların başında Amerika ve Dünya'nın birçok yerinde SSB baraj yapımına karar verilmiştir.

SSB baraj yeni bir baraj tipi olmayıp, şimdiye kadar inşa edilmiş klasik beton barajların benzeridir. Bu yeni malzemenin özelliği, klasik betondan farklı olarak akıcı olmaması, yani kuru olması, çökme (slump) değerinin sıfır mertebesinde olmasıdır. Böyle bir malzeme hazırlanıp serildiği zaman, içine inşaat makineleri batıp girmemekte ve klasik betonun aksine vibratörle konsolide edilmeyip silindirle sıkıştırılmaktadır. Sıfır çökme değeri olan bu malzemeyi işlenebilir hale getirmek için, çimentoya ilaveten karışıma bağlayıcı madde olarak doğal veya yapay puzolan ilave edilmektedir.

Silindirle Sıkıştırma Beton'un özel bir hali olan Silindirle Sıkıştırılmış Katı Dolgu Beton'un (Hardfill) baraj inşaatında kullanılması, yeni çözüm imkânları oluşturması bakımından önemli olmuştur. Düşük bağlayıcı kullanılan bu tip SSB kuru kıvamlı olmaya eğilimli olmakla birlikte ıslak karışımlarda kullanılmıştır. Çimento ve puzolan miktarı toplamının düşük seviyelere çekilmesi malzeme giderlerini önemli ölçüde düşürmekte, bunun yanı sıra düşük bağlayıcılı karışımlar hidrasyon sonucu ortaya çıkan ısıyı ve elastisite modülünü düşürmekte sünme oranını ise yükseltmektedir.

Simetrik Yüzlü Katı Dolgu Baraj katı dolgu uygulamasında yeni ve en etkin bir yaklaşım olarak kendini kabul ettirmiştir. Bu yeni SSB uygulaması, Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) ve ISL onur başkanı Pierre Londe tarafından geliştirilmiştir. Bu tip uygulama simetrik bir

kesite sahip olması; su geçirmez bir memba yüzü olması; baraj gövdesinde içsel drenaj bulunması ile diğerlerinden ayırt edilmektedir.

Bu uygulamanın ana avantajları, katı dolgunun düşük maliyeti ve özellikle deprem koşullarına karşı ağırlık barajından daha yüksek emniyete sahip olması, katı dolgu barajlar yükü geniş bir alana yaydıklarından temelde daha düşük gerilmeler oluşturduğundan zayıf kaya temeller üzerine inşa edilebilmeleridir. Kil ve kaya gibi dolgu malzemelerinin bulunmadığı veya teminin ekonomik olmadığı gibi yerlerde de inşa edilebilme özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada, farklı zemin dayanımlarına sahip zayıf temeller üzerine inşa edilmiş katı-dolgu barajların statik yükler altında lineer elastik davranışları incelenmiştir. Baraj ve temel ortamları lineer elastik kabul edilmiş olup sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Temelin dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmıştır. Analizler, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.00 ve şev eğimlerinin ($0.6y/1.0d$), ($0.7y/1.0d$), ($0.8y/1.0d$) olması durumları için elde edilmiştir. Aynı zamanda, katı-dolgu baraj yüksekliğinin etkisini incelemek amacıyla baraj yüksekliği 30, 60, 90 ve 120 m alınarak ve rezervuar hidrostatik su yükünün tesirini görmek için de rezervuarın boş, yarı dolu, tam dolu olması durumları için çözümler yapılmıştır. Baraj gövdesinde ve baraj-temel arayüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimumlarının ve baraj gövdesinde oluşan maksimum yerdeğiştirmelerin değişimi her bir durum için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilmiş ve bunlara ait eşitlikler çıkartılmıştır.

2. AĞIRLIK BARAJLARIN TASARIMI VE YAPILAN ANALİZLER

2.1. Genel Bilgiler

Baraj, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen hidrolik bir yapıdır. Barajın su biriktirme yanında, su seviyesini yükseltme, taşkın önleme, eğlendirilen (rekreasyon) ve nehir taşımacılığı gibi birçok fonksiyonu da vardır.

Baraj kelimesi 20. yüzyılın ortasından sonra Fransızcadan dilimize geçmiş olup sözlükte engel anlamına gelmektedir. Teknik terim olarak Fransızcada Türkçedeki ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Akarsuyun iki vadisini birbirine bağlayan anlamına gelen Farsça kökenli bent terimi Türkiye Türkçesinde uzun süre geçerli olmuştur. Türkiye’de bazen bent ile eş anlamlı olarak Arapçadan kapatan anlamında sedd alınıp set şeklinde de kullanılmıştır [1]. Barajların birçok tipi mevcuttur. Gövde yapısında kullanılan malzemeye göre barajların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir [2].

Dolgu Barajlar

A. Toprak Dolgu Barajlar

- ☐ Homojen Dolgu Barajlar
- ☐ Topuk Drenli Toprak Dolgu Barajlar
- ☐ Zonlu Toprak Dolgu Barajlar
- ☐ Yatay Drenli Toprak Dolgu Barajlar
- ☐ Yatay ve Düşey Drenli Toprak Dolgu Barajlar

B. Kaya Dolgu Barajlar

- ☐ Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
- ☐ Eğik Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar
- ☐ Merkezi Kil Çekirdekli Kum-Çakıl Dolgu Barajlar
- ☐ Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajlar
- ☐ Ön Yüzü Asfalt Kaplı Kaya Dolgu Barajlar
- ☐ Çelik Yüzlü Kaya Dolgu Barajlar
- ☐ İnce Membran Yüzlü toprak-kaya dolgu barajlar
- ☐ Merkezi beton olan kaya dolgu barajlar
- ☐ Merkezi asfalt beton olan kaya dolgu barajlar

Beton Barajlar

A. Klasik Beton Ağırlık Barajlar

B. Payandalı Barajlar

- ☐ Düz döşemeli payandalı baraj
- ☐ Boşluklu payandalı baraj
- ☐ Geniş başlıklı payandalı baraj
- ☐ Çok kemerli payandalı baraj
- ☐ Çok kubbeli payandalı baraj

C. Beton Kemer Barajlar

- ☐ Sabit yarıçaplı kemer baraj
- ☐ Sabit merkez açılı kemer baraj
- ☐ Değişken yarıçaplı ve merkez açılı kemer baraj

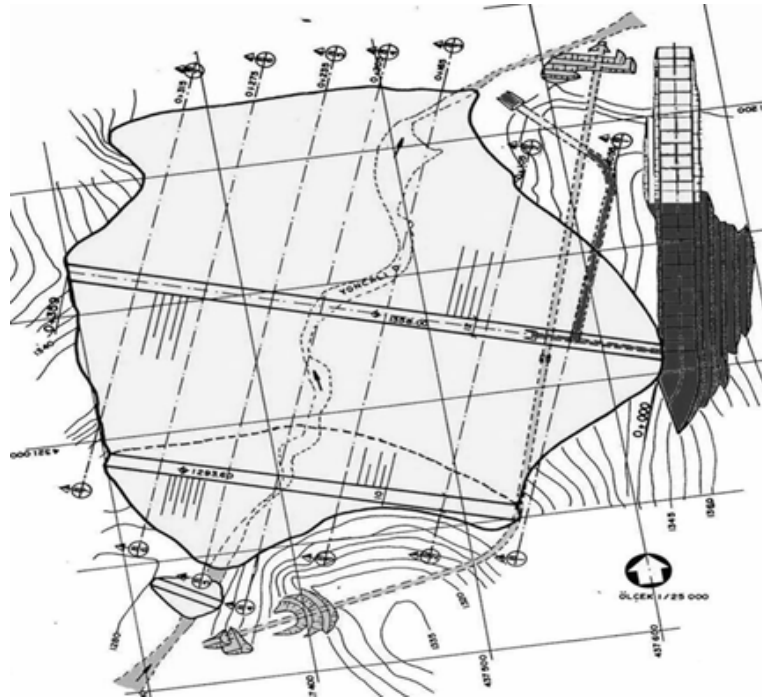
D. Silindirle Sıkıştırma Beton Baraj (SSB)

- ☐ Zayıf SSB barajlar
- ☐ Normal dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar
- ☐ Yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar
- ☐ RCD (Silindirle Sıkıştırılmış Baraj)
- ☐ FSHD (Simetrik Yüzlü Sıkı Dolgu Baraj- Hardfill -)

E. Çimentolanmış Kum Çakıl Baraj (CSG)

Genel olarak herhangi bir baraj tipinin en uygun ve ekonomik olduğuna karar vermeden önce birden fazla alternatif incelenip ön proje çalışmaları yapılmaktadır. Bu nedenle baraj yerine ve yapılış amacına en uygun ve en ekonomik baraj tipinin belirlenmesi için birden fazla faktörün birlikte incelenmesi gerekmektedir. Bir baraj tipinin seçiminde birçok faktör rol oynar. Bunlar; Topografya, jeoloji ve temel şartları, baraj yüksekliği, kullanılacak malzemenin kalitesi, miktarı, taşıma mesafesi, boşaltım tesisleri, meteoroloji, rezervuar, inşaat süresi, depremsellik, amaç ve rantabilite (kâr-maliyet) ilişkisi, finans, çevre gibi faktörlerdir.

Her baraj yapısı vadiyi kapatan esas yapı, işletme tesisleri ve yardımcı tesislerden oluşmaktadır. Bu tesislerin başlıcaları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bir baraj yerinin genel görünümü

Baraj aksı yeri belirlenirken ekonomik nedenler, jeolojik koşullar, malzeme durumu, sismik koşullar ve vadinin şekli istenilen tipteki baraj tipinin seçiminde büyük önem arz etmektedir. Bu konular Tablo 2.1’de özetlenmiştir [3].

Tablo 2.1 Baraj tipinin seçimi ve tip seçimine etki eden faktörler [3]

TİP	TEMEL	MALZEME	YAPIM ŞARTLARI	İKLİM TÜRLERİ	YAPIM SÜRESİ	VADİ TİPİ	YÜSEKLİK SINIRI	SİSMİK DAVRANIŞ
KEMER	çok sağlam temel ve yamaç kayası	Beton	çok hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	U ve V	çok yüksek	çok hassas
BETON AĞIRLIK	çok sağlam temel	Beton	çok hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	V ve U benzeri	yüksek	hassas
TOPRAK DOLGU	her cins temel	Kil Killi çakıl Filtre	hassas işçilik	uzun kuru sezon	uzun	-	alçak	dayanıklı
KAYA DOLGU	gerekli önlemler alınarak her cins zemin	Kil Kaya Filtre	hassas işçilik	nispeten uzun kuru sezon	uzun	-	çok yüksek	dayanıklı
ÖN YÜZÜ KAPLI	gerekli önlemler alınarak her cins zemin	Betonarme veya asfalt kaplama Kaya Filtre	hassas işçilik ve özel teknoloji	her türlü	kısa	-	yüksek	dayanıklı
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ	sağlam temel	Slump sıfır beton	hassas işçilik	nispeten uzun kuru sezon	kısa	- (dar vadi)	yüksek	nispeten hassas

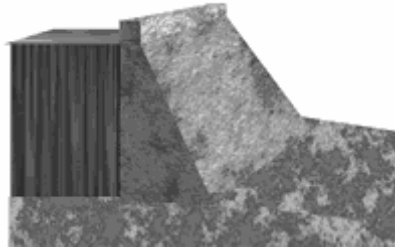
Barajların kısımları şu şekilde sıralanabilir. Barajın gövdesi, Baraj gölü, Su alma yapısı, Dip savak, Dolu savak, Baraj sitesi, Derivasyon tesisleri ve eklüzler gibi diğer yardımcı tesisler şeklinde ifade edilebilir.

Ağırlık barajı, gövdenin ağırlığı ile baraj gölündeki hidrostatik yükün karşılandığı baraj türüdür. Ağırlık barajın gövdesi betondan meydana gelirse bu türe beton ağırlık baraj adı verilir. Yığma kârgir ve rasgele kârgir barajlar, ağırlık barajların ilk örneklerini teşkil etmiştir. Teknolojik ilerlemeler neticesinde kütle betonu, kârgir barajların yerini almıştır. 1900’lerde daha karmaşık beton baraj profilleri (örneğin kemer) inşası denenmiş ve çok başarılı olunmuştur. Günümüzde beton barajların inşası artan bir şekilde sürmektedir. Özellikle SSB ağırlık barajlar ve SSB kemer ağırlık baraj ve çift eğrilikli kemer baraj tipleri daha çok tercih edilmektedir. Beton barajların bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [2].

- ☐ Deprem etkilerine karşı kendi yapılarından dolayı dayanımlıdır.
- ☐ Beton barajlar inşa esnasında meydana gelecek taşkınlardan, dolgu barajlara göre daha az zarar görürler.
- ☐ Beton barajlar, temel şartları açısından kısmen sağlam kayaya gereksinimleri vardır.
- ☐ Agrega için uygun miktar ve kalitede işlenmiş doğal veya kırmataş malzemeye gereksinimleri vardır.
- ☐ Geleneksel kütle beton inşaatı için yoğun el işçisi gerekmektedir. Bu işçilerin genellikle kalifiyeli (kalıp ustası vb.) eleman olması istenmektedir.
- ☐ Klasik kütle beton için birim fiyat (m^3 ’nün maliyeti) toprak dolgunun birim fiyatından daha yüksek olmaktadır. Fakat SSB metodu kullanılarak son yıllarda bu açık kapatılabilmektedir.
- ☐ Beton barajlar dolgu barajlara göre tabana daha fazla yük aktarırlar.
- ☐ Beton barajların temel oransal alanları dolgu barajlara göre küçüktür.
- ☐ Çimentonun depolanması ve baraj yerine taşınması gereksinimleri vardır.
- ☐ Beton barajlar üzerine dolu savak yerleştirilebilmektedir.
- ☐ Beton barajlar üzerine yol yapılabilir.

2.2. Klasik Beton Ağırlık Barajlar

Bir beton ağırlık barajın stabilitesi tamamen gövdesine bağlıdır. Baraj gövdesinde veya temelinde aşırı gerilmelerden sakınmak için geometrisi uyarlanmaktadır. Ağırlık barajların memba yüzü genellikle düz olarak planlanmaktadır. (U) ve (UV) şekilli vadilerde ve orta genişlikteki vadilerde beton ağırlık tipi barajların inşası uygun olmakta ve inşa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temeller tercih edilmektedir. Dolusavak hafriyatının zor olduğu vadilerde, beton gövde üzerine dolusavak oturtmanın mümkün olması nedeniyle, bu tip barajlar avantaj sağlarlar. Ancak baraj yüksekliği arttıkça diğer baraj tiplerine oranla pahalı olmaktadır.



Şekil 2.2 Bir klasik beton ağırlık barajın görünüşü

Bu tip barajlar suyun itme ve döndürme kuvvetine ağırlıkları ile karşı koyarlar. Düz bir hat veya membaya doğru hafif kavisli veya topoğrafik koşullara bağlı olarak ikisinin birleşik şekli olabilmektedir. Enine kesitleri genellikle üçgene yakın trapez şeklindedir. Ağırlık barajların inşa edileceği temel kayasının sağlam olması istenir, fakat bununla birlikte çok çatlaklı, değişik litolojideki ve alüvyonlar üzerine de inşa edilebilmektedirler. Vadi yamaçları hafif eğimli, vadi şekli geniş bir kanyon ya da V şeklinde ise bu tip barajın uygun olacağı uzmanlar tarafından belirtilmektedir. Şekil 2.2’de bir klasik beton ağırlık baraj fotoğrafı verilmiştir.

Bu tip barajlar; vadide temel kayası 6-9 m derinlikte ve taşıma gücü 3.2-4 MPa arasında K şekil faktörü 6 veya daha az olan vadiler için uygundur. Taban genişliği yaklaşık olarak yüksekliğin 2/3’ü kadar olmaktadır. Temelde etkili olan boşluk suyu basıncını ve suyun kaldırma kuvvetini azaltmak veya yok etmek için drenaj galerileri inşa edilmektedir [2].

2.2.1. Klasik Beton Ağırlık Barajların Uygulama Yerleri ve Tercih Sebepleri

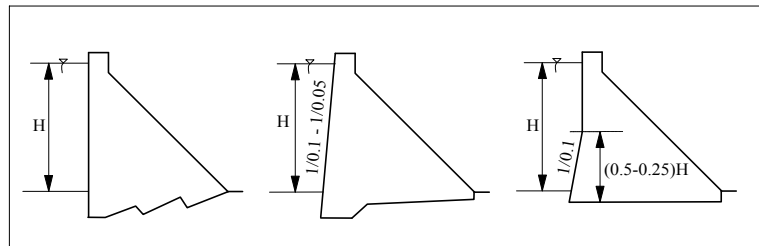
Klasik beton ağırlık barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ☐ Sağlam ve geçirimsizliği sağlayabilecek yeterli kalınlıkta kaya temellerin uygun bir derinlikte bulunduğu orta genişlikteki vadilerde,
- ☐ Yeterli miktarda ve istenen özellikte agrega malzemesinin bulunduğu ve çimento naklinin ekonomik olduğu yerlerde,
- ☐ Büyük taşkın debilerinin baraj gövdesi üzerinden mansaba aktarılması gerektiği durumlarda,

- ☐ Beton baraj üzerinden bir ulaşım yolu geçirilmesi söz konusu olduğunda,
- ☐ Diğer baraj tiplerine göre savaş ve sabotaja karşı daha güvenli olduğu kabul edilmesi durumunda,
- ☐ Diğer beton baraj tiplerine oranla don etkilerine karşı daha az hassas olmaları nedeniyle,
- ☐ Baraj inşa halinde iken baraj üzerinden su aşması olasılığının olduğu yerlerde,
- ☐ Dolgu malzemesinin temin edilemediği yerlerde,
- ☐ Dolgu malzemesinin temininde çevrecilerin tepki ve yetkilerinin olduğu yerlerde,
- ☐ Ağırılık baraj yapımı gereken fakat puzolanik malzeme olmayan yerlerde,
- ☐ Geniş vadilerde dolusavağı gövde üzerine yerleştirilmesi gereken yerlerde,
- ☐ Sağ ve sol yamaçta dolu savak için yer yoksa ve debi fazla ise,
- ☐ Rezervuarda heyelan dolgu barajlarda sorun olduğu yerlerde,
- ☐ Vadinin sarp olduğu yerlerde dolgu malzemesinin taşınmasının güç olduğu yerlerde,
- ☐ Dolgu malzeme istimalinin pahalı olduğu yerlerde tercih edilebilir.

Uygun temel şartlarında, projesi yerel temel şartlarına uygun ve inşaatı iyi bir şekilde gerçekleştirilmiş beton ağırılık bir baraj; bakım ve işletme masrafları az olan kararlı bir yapıdır. Beton ağırılık barajlarda en uygun kesit olarak, gövde üzerine etki eden en önemli dış kuvvet olan ve haznedeki hidrostatik su basıncı dağılımına uyum sağlayan, tabana doğru genişleyen üçgen kesit seçilmektedir. Üçgenin üst kısmı genellikle maksimum su seviyesi ile aynı seviyededir. Memba yüzeyi düşey ya da %10'u geçmemek şartıyla eğimli olarak yapılabilir. Baraj boş durumda iken çekme gerilmelerini önlemek ve dolu durumda iken de kayma ve devrilme emniyetini arttırmak için yüksek barajlarda memba yüzeyi genellikle eğimli olarak planlanmaktadır. Yüksek beton barajlarda memba yüzeyinin yalnız alt kısmı tabandan $(1/2-1/4)h$ yüksekliğine kadar eğik yapılabilir (Şekil 2.3) [4].

Ayrıca beton ağırılık barajlarda memba yüzeyine yakın bir yerde ve değişik yüksekliklerde öngörülen kontrol galerileri ile çatlaklar ve sızıntılar kontrol edilmekte, ölçüm aletleri gözlenmekte ve gerekli olması halinde enjeksiyon perdesinin takviyesi sağlanabilmektedir.



Şekil 2.3 Beton ağırılık baraj için enkesit alternatifler [4]

2.2.2. Klasik Beton Ağırılık Barajların Tasarımı

19. yüzyıl ortalarından önce, barajlar (malzemelerin mekaniksel özellikleri hakkında sahip olunan bilgi ve tecrübeler ile alakalı olarak), meslek kuralları ile tasarlanmaktaydılar. Böylece, gerektiğinden daha fazla masif, inşa ediliyorlardı. Fransız mühendis Desazilly, İngiliz bilimcisi

Rankine ve ABD’de Wegmann gibi öncüler ağırlık barajların tasarımında yardımcı olan bilim adamlarının başında gelmektedirler. Bu ve sonraki gelişmelerden dolayı dünyanın birçok yerinde yüksek ağırlık barajlar inşa edilmiştir. İnşa edilmiş bazı büyük ağırlık barajlar Tablo 2.2’de verilmiştir. Ağırlık, kalın kemer ve dolgu baraj üzerinden yol geçebilir. İnce kemer barajlarda krette ulaşım yolunun geçirilmesi genellikle mümkün değildir. Payandalı barajlarda ise çok pahalıdır. Bu durumun planlama aşamasında belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 2.2 Bazı büyük beton ağırlık barajlar [2]

Baraj Adı	İnşa edildiği ülke	Hacim 10 ³ (m ³)	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Taban Kalınlığı (m)	Planda görünüş	Rezervuar kapasitesi 10 ⁶ (m ³)	Tamamlanma yılı
Grand Coulo Grande	Washinton	7450	168	1270	122	Düz	11700	1942
Diexence	İsviçre	6000	285	695	-	Eğri	401	1962
Toktogul	Rusya	3971	215		-	-	-	-
Kurpsai	Rusya	1142	113	-	-	-	-	-
Krasnoyarsk	Rusya	5500	124	-	-	-	-	-
Ust-Ilim	Rusya	4850	105	-	-	-	-	-
Bratsk	Rusya	4800	125	1500	-	-	169000	1964
Shasta	Kaliforniya	4765	184	1055	173	Eğri	5400	1945
Fontana	Kaliforniya	2060	143	535	114	Düz	1970	1945
Friant	Kaliforniya	1550	97	1060	82	Düz	640	1942
Guri	Venezuela	1470	106	695	-	-	17600	1968
Marshall Ford	Texas	1360	85	740	66	Düz	2410	1942
Tygart	B. Virginia	920	71	575	60	Düz	403	1937
Norris	Tennessee	916	81	480	62	Düz	34	1935
New Croton	New York	654	73	217	57	Düz	105	1907
Elaphant Butte	Y. Meksika	462	92	512	65	Düz	2740	1916
Warsak	Pakistan	369	72	198	-	-	25	1960
Morris	Kaliforniya	344	100	230	86	Eğri	46	1934
Beaumont	Kanada	242	72	405	-	-	424	1958
Parambikulum	Hindistan	230	73	320	-	-	503	1967
Somerset	Avusturalya	205	50	282	-	-	892	1959
San Mateo	Kaliforniya	120	47	208	54	Eğri	66	1889

-: Eksik bilgi

2.2.3. Klasik Beton Ağırlık Barajlarda Kullanılan İnşa Malzemeleri

Agrega malzemesi olarak, beton yapımında ve dolgu barajlarında kullanılan kum çakıl malzemesi kastedilmektedir. Agreg a malzemesi genellikle nehir ve çay yataklarında bulunmaktadır. Nehir yatağında yapılan incelemeler ve alınan numunelerin test sonuçlarına dayanılarak bu bölgeden alınacak malzeme miktarı ve özellikleri tespit edilmekte, baraj gövdesinde kullanılacak malzemenin yeterli olup olmadığına bakılmaktadır. Eğer yeterli değilse başka malzeme alanları araştırılmaktadır. Bazı baraj yerlerinde kum çakıl malzeme bol olarak bulunmamakta, bu bölgelerde genellikle yüksek dağlık alanlarda bulunan uygun kaya malzemeler kırılarak elde edilmektedir. Bu malzeme baraj aksına çok yakın olduğundan ekonomik olabilmektedir. Toprak malzemelere göre, tabiatla bulunmaları sınırlıdır. Bu malzeme çoğu kez eleme, yıkama gibi ek işlemler gerektirdiğinden maliyet artmaktadır. Çimento malzemesinin uygun kalitede olması gerekir. Çimento fabrikasının baraj yerine yakın olması maliyeti düşürmektedir. Eğer çimento fabrikası baraj yerine çok uzak ise ve barajda

kullanılacak beton hacmi fazla ise ve baraj yerine yakın yerde çimento hammaddesi varsa buraya çimento fabrikası kurmak çoğu kez daha ekonomik olmaktadır.

2.2.4. Ağırlık Barajların İnşası

Baraj inşaatına başlamadan önce nehir suyunun çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlem ilk adımda, bir batardo yardımı ile yapılabilir. Bir tarafta çalışırken diğer taraftan nehir suyu akıtılır. Bu kısım tamamlandıktan sonra suyun yönü diğer yarisından bırakılır. Eğer jeolojik ve topoğrafik şartlar uygun ise bir tünel veya bir derivasyon kanalı kullanılarak baraj yeri çevresinden nehir suyu uzaklaştırılır. Eğer barajın tamamlanmasından sonra derivasyon tüneli bazı amaçlar için kullanılacaksa, bu durum tünelin avantajlarından sayılabilir. Beton barajlarda bu yapılar dolgu barajlara göre oldukça kısa olmaktadır.

Temel, beton dökülmeden önce kayalarındaki kırıkları düzeltmek için kazılmaktadır. Kazıdan sonra, tabaka uzantılarındaki çatlak, çürük gibi kısımlar için enjeksiyon çalışmaları yapılmaktadır. Çoğunlukla barajın memba tarafında taban köşesinde kaldırma kuvveti ve sızmayı azaltmak amacıyla enjeksiyon perdesi yerleştirilmektedir. Bazen su çimento, bentonit ve çok az miktarda çok ince kum ile karıştırılmak sureti ile yüksek basınçta kayalar arasındaki çatlaklara fişkırtılmaktadır. Enjeksiyon basıncı yaklaşık olarak 300 kN/m^2 lik basınçla baraj yapılmadan önce uygulanmaktadır.

Kalıplar kaldırıldıktan sonra, betonun çatlaklarını azaltmak için yapı birleşimlerini biçimlendirmek ve kesitlerin eklem yerlerinin aderansını önlemek amacıyla her kesitin yanal yüzeyi emülsiyon asfalt ile sıvanmaktadır. Kama yatakları barajı yekpare bir parça gibi rol oynamasını sağlayan yapı bölümleridir. Metal su tutucular, kaçağı engellemek için memba yüzeyine yakın düşey yapı birleşimlerinde yerleştirilmektedirler. Muayene galerileri, baraj içerisinde geçide izin veren kontrol yapılarıdır. Bu galeriler, enjeksiyon işlemleri, kapakların ve vanaların bakımı ve barajda sızan suyun drenajın kontrolü gibi işlemlerde faydalı olmaktadır.

Beton döküldükten sonra, büyük bir ısı oluşturmakta ve kütlenin ısısı yükselmektedir. Beton soğuduğu zaman, kütlede büzülme neticesinde çatlaklar oluşmaktadır. Çatlaklardan kaçınmak için özel ısılı çimento kullanılmaktadır. Barajın iç kısımlarında zayıf karışımlar kullanılarak ekonomiklik sağlanması mümkündür. Betona konan malzemelerin karışımdan önce soğutulması ile de ısı düşürülebilmektedir. Beton karışım ısısının en iyi sonuçları 10 ile 25 °C arasındaki değerlerdir. Genellikle daha fazla soğutma, betona gömülen borular içerisinde soğuk suyun sirkülasyonu ile başarılabilir. Fakat bu pahalı bir işlem olduğundan, yüksek barajlarda kullanımı ekonomik açıdan uygun olmamaktadır.

2.2.5. Beton Ağırlık Barajlara Etki Eden Kuvvetler

Bir ağırlık baraj statik ve dinamik olarak dengede olmalı ve betonda izin verilen limit gerilmeler aşılmamalıdır. Ağırlık baraj kendisine etkiyen ağırlık kuvvetleri, silt kuvvetleri, buz etkisi,

Barajın Ağırlığı; barajın kendi ağırlığından oluşan ve gövde ağırlık merkezine etki eden düşey kuvvettir. Bu kuvvet baraj gövde malzemesinin birim ağırlığına bağlıdır. P_m ile gösterilmektedir.

$$P_m = \gamma_c A_p \quad \text{kNm}^{-1} \quad (2.6)$$

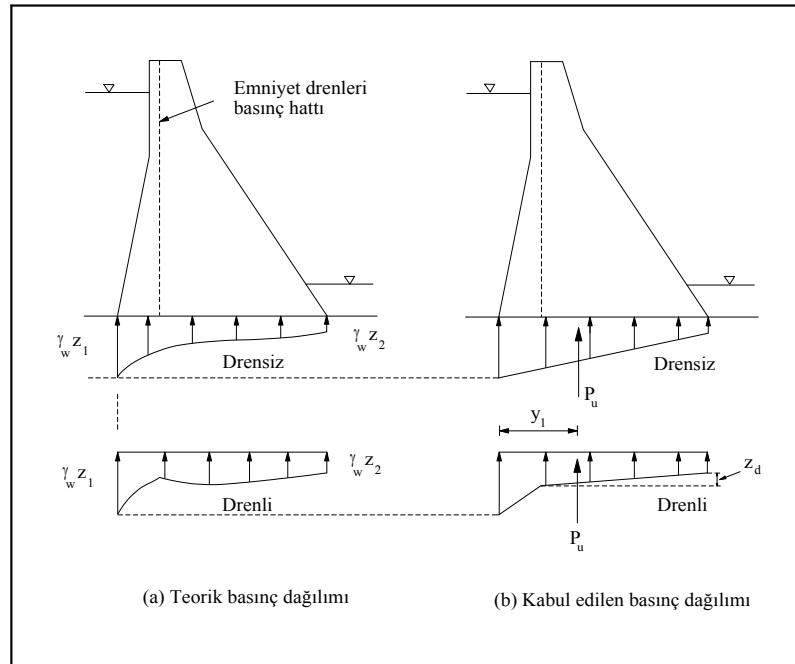
burada γ_c betonun birim ağırlığıdır. Eğer laboratuvar verisi yoksa, 23.5 kNm^{-3} olarak alınabilir. Baraj üzerindeki kapaklar ve diğer ilave yapıların ağırlıkları da P_m belirlenirken hesaba katılmaktadır.

Sızma Ve Kaldırma Basıncı Yükü; iç su basıncı u_w , bir beton barajın içerisinden veya altından sızan suların meydana getirdiği alttan kaldırma kuvvetidir. Baraj temelının çatlaklı olması, kırıklı olması veya fissürlü olması bu sızma basıncının oluşmasına neden olmaktadır. Baraj gövde içerisindeki çatlak ve gözenekler de sızma basıncının oluşmasını sağlamaktadır.

$$A_h' = \eta A_h \quad \text{m}^2 \quad (2.7)$$

$$P_u = \eta A_h (u_{w \text{ ort.}}) \quad \text{kNm}^{-1} \quad (2.8)$$

$$P_u = \eta A_h \gamma_w \frac{(z_1 + z_2)}{2} \quad \text{kNm}^{-1} \quad (2.9)$$



Şekil 2.5 Taban su basıncı [5]

$\eta = 1$ alınması yapılan deneylere göre tavsiye edilmektedir. $A_h = T$ olduğundan,

$$P_u = \eta T \gamma_w \frac{(z_1 + z_2)}{2} \quad (2.10)$$

olmaktadır. y_1 mesafesi ise;

$$y_1 = \frac{T (2z_2 + z_1)}{3 (z_2 + z_1)} \quad \text{m} \quad (2.11)$$

eşitliği ile bulunmaktadır. z_d mesafesi ise;

$$z_d = z_2 + k_d (z_1 - z_2) \quad \text{m} \quad (2.12)$$

eşitliği ile bulunmaktadır.

Silt Basınç Yükü; barajların temel çukurları genellikle geniş kazılarak temel çukurları toprak malzeme ile doldurulmaktadır. Bu toprak malzemenin beton ağırlık baraja etkisi çok az olduğundan çoğunlukla ihmal edilmektedir. Fakat erozyon sonucu barajın ölü hacminde biriken sediment silt basıncı önemli bir miktarda baraja etki etmektedir. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda silt basıncının dikkate alınması gerekmektedir. Hesaplamalarda haznenin boş hali için doygun, dolu hali için batık silt basıncı alınmaktadır.

γ_s' in değeri 18-20 kNm³ arasında alınmaktadır. ϕ_s ise çoğunlukla 30° alınmaktadır.

P_s kuvveti $z_3/3$ kadar mesafede etkimektedir. P_s kuvveti;

$$P_s = K_a \gamma_s' z_3^2 / 2 \quad \text{kNm}^{-1} \quad (2.13)$$

$$\gamma_s' = \gamma_s - \gamma_w \quad (2.14)$$

$$K_a \approx \frac{1 - \sin \phi_s}{1 + \sin \phi_s} \quad (2.15)$$

formülleri ile bulunmaktadır.

Hidrodinamik Dalga Yükü; baraj gölünde oluşan dalgaların baraj gölüne uyguladığı yatay etkidir. Dalga basıncı dalga yüksekliğine bağlı olmaktadır. Baraj yüzeyine gelen dalga basınç kuvveti nispeten küçüktür. Bu kuvvet, P_{dalga} şeklinde gösterilmektedir. Bu kuvvetin değeri aşağıdaki formül ile bulunmaktadır.

$$P_{dalga} = 2\gamma_w H_s^2 \quad (2.16)$$

Dalga kuvveti, durgun su yüzeyinden $0.375 H_s$ kadar yukarıdan etkir. Dalga yüksekliği, feç uzunluğuna ve maksimum rüzgâr hızına bağlı olarak değişmektedir. Tablo 2.3'te dalga yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 2.3 Dalga Yükseklikleri (m)

Feç (km)	Rüzgâr Hızları (km/saat)			
	80	100	125	150
1.00	0.78	0.82	0.86	0.90
2.50	0.88	0.94	1.00	1.05
5.00	1.02	1.08	1.15	1.22
7.50	1.10	1.20	1.28	1.38
10.0	1.20	1.30	1.40	1.50
15.0	1.35	1.45	1.55	1.70

Buz Yüğü; soğuk iklimlerde baraj gölü üzerinde oluşan buzun erimesi ve dolayısıyla genleşmesi ile baraj gövdesine uygulanan yatay yükür. Buz basıncı; sıcaklık artış oranına, buz kalınlığına ve buz tabakasının sınır şartlarına bağılı olarak değışmektedir. Buzun 0.60 m den daha fazla kalınlığı için USBR (1976) tarafından $P_{buz} = 145 \text{ kNm}^{-2}$ alınması önerilmektedir. Buz kalınlığı 0.40 m'den daha küçük ise etki edeceği basınç kuvveti az olacağından ihmal edilebilmektedir.

Sismik Yüğü; sismik çalkantılar sonucunda, baraja ve haznedeki suya etkiyen yatay ve düşey eylemsizlik yükleri oluşur. Baraj gövdesi deprem yüğü kesitin ağırlık merkezine etki eder. Suyla gelen eylemsizlik kuvvetleri statik bir etkiye eşdeğer kabul edilmektedirler. Bir deprem hareketinin hasar meydana getirme bakımından en önemli üç unsuru 1) Maksimum ivme, 2) Özel periyot ve 3) Titreşim süresidir. İnşaat yerinin jeoteknik ve sismik özelliklerine ve deprem tarihine bakılarak bu özellik hakkında bir tahminde bulunmak mümkündür. Taban kayadaki deprem hareketinin ölçülen maksimum ivmeleri, deprem hareketinin doğduğu faydan olan uzaklıklara bağılı olarak gösterilebilir. Buradan yararlanarak depremin şiddeti hakkında bilgi edinilmektedir. Deprem süresinin hasar şiddeti üzerindeki rolü büyüktür. Aynı şiddetli ve özellikteki iki depremden biri kısa biri uzun süreli olsa, uzun süreli olanın yapacağı hasarlar çok daha büyük olacaktır. Baraj projelendirilmeden önce baraj yerinin sismik durumu belirlenmektedir.

Önce inşa edilen ve bundan sonra inşa edilecek tüm beton barajlar, kendilerine etkiyen diğer kuvvetlerin yanında deprem etkisiyle de karşı karşıyadırlar. Bu barajların mansap kısımlarında milyonlarca insanların yaşayacağı dikkate alındığında, bu yapıların deprem etkisine karşı güvenli olmaları gerektiğı açıktır. Barajlarda dinamik analiz yapma halen karmaşık bir konudur. Yapı dinamiğindeki araştırmacılar bu konuda araştırmalar yapmaktadırlar.

Baraj enkesiti ve rezervuarın şekli topoğrafik nedenlerden ötürü karmaşık olabilir. Vadinin dar bir kanyon olması ve $K=B/H$ oranının küçük veya büyük olması barajın depreme karşı koymasında önemli etkiye sahiptir. Baraj arkasında bulunan biriktirilmiş su, deprem nedeniyle baraja statik yük ve diğer yüklere ilave olarak bir etki eder. Ayrıca, deprem etkisiyle baraj gövdesinde ilave yük oluşmaktadır. Barajın oturduğu ana kayada süreksizliklerin varlığı (kırık, fissür, çatlak, fay) baraja deprem nedeniyle gelen yüklerin etki derecesinde önemli ölçüde rol oynar. Beton barajların özellikle taban genişliği dar olan barajlarda temelın kusursuz olması veya iyileştirilmesi esastır. Deprem etkisi açısından temelın sağlam olması gerekmektedir. Kemer barajlarda temele ilaveten yükün büyük bir kısmını yamaçlar sağladığından yamaçların deprem etkisine karşı son derece duraylı olması gerekmektedir. Örneğin, yamaçlarda bulunan üçgensel kama bloklarından kaynaklanan bir stabilitesizlik deprem öncesi aldığı yükleri taşıdığı farz edilse de deprem etkisiyle stabilitesini kaybederek büyük bir olasılıkla barajın yıkılmasına neden olur. Eğer beton ağırlık baraj temelinde bazı süreksizlikler varsa o zaman bunların iyileştirilmesi gerekmektedir. Yapılan dinamik analiz sonucu bu baraj temelının taban genişliği sağlam kusursuz temelın taban genişliğine göre artacağı kesindir. Bu da maliyeti artırmaktadır. Böyle bir durumda başka baraj tipi alternatifleri düşünülebilir.

Deprem bölgelerindeki barajların analiz ve tasarımı meslek kurallarından (tecrübelerle kazanılmış bilgiler), sismik katsayının kullanımını içeren statik kuvvet metotlarından gelişmiştir. Problemin dinamik yapısını şimdi tanımamızda bu yöntemler yardımcı olmuştur.

Barajların sismik analizini doğru olarak hesaplamak sonlu elemanlar metodu gelişinceye kadar mümkün olmamıştır. Dinamik analiz yöntemlerindeki son ilerlemeler, yüksek kapasiteli ve hızlı bilgisayarların mevcudiyetinden sonra olmuştur. Böylece, araştırmaların çoğu 1960 yılının ortalarında başlamamıştır. Başlangıçta dinamik analiz için modelleme yapılırken baraj temelindeki süreksizlikler, beton ağırlık barajlarda bırakılan inşa derzleri, betondaki çatlaklar, kavitasyon, baraj gövdesi arkasındaki suyun dinamik etkisi ya ihmal edildi veya çok kabaca probleme dâhil edildi. Neticede özel teknikler geliştirildi. Günümüzde her tip baraj için statik ve dinamik analizler doğru olarak modellenerek sonuç alınabilecek duruma getirilmiştir. Koyna Barajı, deprem etkisini tecrübe etmekte ilk baraj olmuştur. Bu barajda, etki süresince konulan aletler yardımı ile ölçümler yapılmıştır. Bundan sonra birkaç barajda böyle ölçümlerin sonuçlarını almak mümkün olmuştur. Bu sonuçlar sismik analiz için birer tecrübe kaynağı olmuştur. Böylece günümüzde bu konuda yeter veriler olduğundan, detaylı olarak bilinmektedir.

Kemer barajların dinamik analizini üç boyutlu olarak çözmeye gerekliliği nedeni ile klasik beton ağırlık barajlarla aynı süreçte gerçekleşmemiştir. Günümüzde kemer barajların üç boyutlu dinamik analizi doğru olarak yapılabilmektedir.

Program ile çözüm yapılmadığı zaman baraj arkasındaki depolanmış suyun deprem esnasında etkiyecek ilave yükü bulmak için araştırmacılar tarafından farklı formüller verilmiştir.

Von Karman (1933), P_{deprem} kuvvetini,

$$P_{\text{deprem}} = 0.555 \cdot k \cdot \gamma \cdot h^2 \quad (2.19)$$

formülü ile ifade etmiştir. Bu kuvvet baraj tabanından itibaren $4h/3\pi$ kadar mesafeden etmektedir [5].

2.3. Silindirle Sıkıştırma Beton Barajlar

Silindirle Sıkıştırılma Beton (SSB) baraj yeni bir baraj tipi olmayıp, şimdiye kadar inşa edilmiş klasik beton barajların benzeridir. SSB yeni bir malzemedir ve silindir ile sıkıştırma da baraj inşaat tekniğinde oldukça yeni bir metottur [6]. Bu yeni beton teknolojisi, SSB veya rolkrit olarak isimlendirilmektedir. Rolkrit; İngilizce “roller compacted concrete” yani silindirle sıkıştırılma beton “kuru beton” esinlemesi ile türetilmiş bir isim olup tam açılımı yol, baraj, liman mühendisliğinde kullanılan; damperli kamyonlarla taşınıp, buldozer veya grayder ile serilebilen ve vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılabilen, çökmesi olmayan, içeriği katı, çimento dozu düşük, yüksek dayanım ve dökme verimliliği ve yapım süresi gibi birçok ekonomik avantajlar sağlayan bir beton türüdür [7]. Klasik betondan farklı olarak akıcı olmaması, yani kuru olması, beton teknolojisindeki tanımı ile milimetre ile ölçülen çökme (slump) değerinin sıfır mertebesinde olmasıdır. Böylece bir malzeme hazırlanıp

serildiği zaman, içine inşaat makineleri batıp girmemekte ve klasik betonun aksine vibratör ile konsolide edilmeyip silindire sıkıştırılmaktadır [6]. Bir başka deyişle, bileşimi ile normal bir görüntüye sahip olup, fiziksel özellikleri ile gerçek bir beton gibi sertleşen, çimento ile harmanlanıp ıslak çakıl içeren bir karışımdır.

1981'den itibaren ABD, Japonya, İspanya, Güney Afrika, Çin, Avustralya, Fransa, Brezilya ve dünyanın birçok yerinde bu tip baraj, başarı ile inşa edilmiştir. Kısa denilebilecek bir süre içerisinde benimsenip uygulanan bu yöntemle, artık yükseklikleri 200 m'yi aşan SSB barajlar inşa edilmektedir [8].

SSB barajın en büyük özelliği, baraj gövdesi boyunca tabakaların arka arkaya serilip sıkıştırılması sonucu inşaatın devamlılığı ve kısa sürede barajın tamamlanmasıdır. Bunu sağlamak için, düşük hidratasyon ısıtı meydana getirecek düşük dozda çimento veya çimento-puzolandan (genellikle uçucu kül) oluşan bağlayıcı malzeme (cementitious material) kullanılmaktadır [6].

SSB barajın beton karışımında aranan işlenebilirlik (workability) kriteri ile son zamanlarda inşa edilen SSB barajların betonunun sıkıştırılmasında klasik beton dökümündeki konsolidasyona yaklaşılarak, hava içeriğinin SSB barajda da minimuma indirilmesinde başarı sağlamıştır. Betonda hava içeriği arttıkça betonun mukavemeti (dayanımı) düşmektedir. İşlenebilirliği arttırmak için agreganın granülometrik özelliğine bağlı olarak karışıma yeteri kadar puzolan katılmaktadır. Puzolan miktarına bağlı olarak işlenebilirlik değişmektedir [6].

SSB baraj tasarımı klasik beton barajınki ile esasta aynıdır. Yalnız bu baraj türünde çalışma şekli ve derzlerin ele alınışı farklıdır. Bu betonda çimento içeriği 60 ile 360 kg/m³ arasında değişir [1].

ABD'de 1972'de ASCE tarafından yapılan bir sempozyumda *Prof. J. Raphael* tarafından sunulan "Toprak kompaksiyonları kullanılarak beton baraj inşaatı" adlı makalesiyle bu düşünce yaygınlaşmaya başlamıştır [9].

2002 yılı sonu itibarıyla dünyada SSB baraj yapım tekniği ile 251 adet barajın inşaatı bitirilmiş 34 tanesi de inşa halindedir (World Atlas 2003). Bu temel yaklaşımlarla tüm SSB barajların % 43,3'ü yüksek bağlayıcılı SSB barajlar, %12,7'sini düşük bağlayıcılı SSB barajlar, %0,6'sını da katı dolgu (Hardfill) barajlar oluşturmaktadır. 99 kg/m³'ten az bağlayıcı içeren düşük dozlu SSB barajların gelişimi 1996 yılına kıyasla artan bir eğilimle devam etmektedir [10].

Geliştirilen metodun, büyük bir projenin beton inşaatında bu denli etkin ve ekonomik olarak uygulanabilmesi, mühendislerin bu konuya olan ilgileriyle birlikte heyecanlarını da artıran bir sebep olmuştur. Japonya'daki Shimajigawa Barajı ile birlikte ABD'de seçimi çoğalmış ve Kentucky'de Winchester, Kolorado'da Middle Fork SSB barajları 1984 yılında tamamlanmıştır. Japonya'daki 115 m yüksekliğindeki Sakaigawa Barajı, ABD'nde 209 m yüksekliğinde inşa edilen Auburn SSB Barajı ve Çin'de inşa edilen 216,5 m yüksekliğindeki Longtan Barajlarıyla SSB seçimi daha da yaygınlaşmıştır. SSB barajlar günümüzde, dünyanın farklı yerlerinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşa edilmektedir [11].

Tablo 2.4 SSB ve SSB (Silindirle Sıkıştırma Baraj, Japon tekniği) tipte inşa edilen bazı barajların özellikleri[11]

İnşa edildiği ülke	Barajın Adı	Rezervuar kapasitesi (m ³ x10 ⁶)	Beton Hacmi (10 ³ m ³)		Barajın Boyutları (m)		Bağlayıcı İçeriği (kg/m ³)	
			RCC	Toplam	Yükseklik	Uzunluk	Çimento	Puzolan
ABD	Monksville	27	219	232	48	671	63	0 (-)
ABD	Stagecoach	42	34	39	46	116	77	0 (-)
ABD	Willow Creek	17	331	331	52	543	47	19 (F)
ABD	Middle Fork	1	42	43	38	125	66	0 (-)
ABD	Galesville	52	161	171	50	290	53	51 (F)
ABD	Upper Stillwater	37	1125	1281	90	815	79	173 (F)
ABD	Victoria	37	33	-	37	92	67	67 (C)
Angola	Capanda	4795	757	1154	110	1200	70	90 (M)
Arianin	Urugua-i	1175	590	626	77	687	60	0 (-)
Avusturalya	Copperfield	20	140	156	40	340	80	30 (F)
Avusturalya	Craigbourn	13	22	22	25	247	70	60 (F)
Avusturalya	New Victoria	10	121	135	52	285	79	160 (F)
Avusturalya	Burton Gorge	20	70	78	26	300	90	0 (-)
Brezil	Caraibas	9	18	22	26	160	74	0 (-)
Brezil	Gemeleira	-	27	-	29	150	-	0 (-)
Brezil	S. de N. Olinda	95	132	143	56	230	55	15 (N)
Cin	Kengkou	27	43	62	57	123	60	120 (F)
Cin	Tongjiezi	200	422	853	88	284	79	79 (F)
Cin	Shuikou	2970	380	1710	100	786	60	110 (F)
Cin	Guanvinge	17	43	74	43	150	62	108 (F)
Cin	Yantan	3350	330	1685	110	525	55	104 (F)
Cin	Puding	421	103	137	75	196	85	103 (F)
Fransa	Riou	-	-	45	26	308	0	120 (R)
Fas	Aoulouz	11	608	830	75	480	120	0 (-)
G. Afrika	Taung	66	130	151	64	248	44	66 (F)
G. Afrika	Santa Eugenia	17	225	254	84	290	88	142 (F)
G. Afrika	Wolwedans	24	180	210	70	268	58	136 (F)
Honduras	Concepcion	35	270	290	68	694	95	0 (-)
İspanya	Santa Eugina	16.6	225	254	83	280	88	152
İspanya	Marono	2.23	80	91	53	182	80	160
İspanya	Los Morales	2.34	22	25.5	28	200	81	140
İspanya	Hervas	0.22	24	43	33	210	80	155
İspanya	Canchales	15	25	54	32	240	84	156
İspanya	Guadalemar	4	50	55	13	400	60	125
İspanya	Cenza	43	204	225	49	640	70	130
İspanya	Amatisteros I	0.03	3	3.5	11	91	73	109
İspanya	Urdalur	5.4	160	208	58	396	72	108
İspanya	Arriaran	3.2	110	123	58	206	85	135
İtalya	T. Laurenzana	350	91	107	34	294	76	114 (F)
Japonya	Miyagase	19	1537	2001	155	400	91	39 (F)
Japonya	Uravama	58	40	1860	155	372	91	39 (F)
Japonya	Shimaiigawa	21	165	317	89	240	84	36 (F)
Japonya	Tamagawa	254	772	1150	100	441	88	42 (F)
Japonya	Sabigawa	11	-	590	104	273	-	-
Kolombiya	Porco II	211	1300	1450	118	455	44	176 (S)
Meksika	La Manzanilla	1	38	50	36	150	130	0 (-)
Meksika	Trigomil	324	362	400	100	250	-	-
Sili	Pangue	175	640	680	113	410	-	-
Tavland	Pak Mun	-	48	250	26	323	58	124 (F)
Rusya	Tashkumyr	-	85	1200	75	320	90	30 (N)
Romanya	Vadeni	5	14	17	25	55	125	0 (-)
Yunanistan	Platanovrvssi	84	420	440	95	305	35	250 (C)
Yunanistan	Marathia	4	33	33	26	265	55	15 (N)
Yunanistan	Ano Mera	1	45	45	32	150	55	15 (N)
Tablodaki kullanılan harfler ve işaretler:								
C:			Yüksek dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf C)					
F:			Düşük dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf F)					
M:			Öğütülmüş bağlayıcı					
			R: C + S + kireçtaşı tozu					
			S: Yüksek fırın cürufu					
			N: Doğal puzolan					
			-: Eksik bilgi					

2.3.1. SSB Barajların Tercih Sebepleri ve Avantajları

- ☐ Puzolan kullanımı, hidrasyon ısısını azaltma ve işlenebilirliği artırma yanında betona uzun sürede yüksek dayanımda kazandırmıştır. Böylece klasik beton ağırlık baraj kadar sağlamlık da elde edilir.
- ☐ İnşaat tekniği ile hidrasyon ısıdaki düşüklükten dolayı özel soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaz.

- Çimento oranı azaltılarak yerine puzolan (çoğunlukla uçucu kül) kullanılmasıyla ekonomiklik sağlanmaktadır. Günümüzde SSB barajlarda genellikle, az miktarda çimento ve büyük oranda uçucu kül kullanmaya doğru bir eğilim vardır.
- Klasik beton barajlardaki kalıp işlemleri SSB’da olmadığından, bu açıdan da bu tip barajlara göre avantaja sahiptir.
- Klasik betonda %3 ile %6 oranlarında bir hava içeriği bulunmasına karşın, SSB %1 ile %3 oranında hava içermektedir.
- SSB barajlar, kemer ağırlık ve bazı durumlarda toprak dolgu ve kaya dolgu barajlara göre, maliyet açısından, daha avantajlı olmaktadır.
- Zamandan en az %30 tasarruf edilmiş olur. Bu süre azalması barajın inşaat masraflarını azaltır. İnşa edilme süresinin kısılması, inşaat süresi içerisinde faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönmesini sağlaması açısından avantaja sahiptir.
- SSB karışımında düşük kalitede agreganın kullanılabilirliğinin ortaya çıkması ile kazanılacak faydalar.
- Derz iyileştirme maliyetlerinin azalması.
- Kalifiye eleman gereksiniminin en az olması dolayısıyla uygulama kolaylığı sağlaması bakımından avantaja sahiptir.
- Toprak dolgu yapılar, kil malzemede en büyük sıkışmayı sağlayacak optimum su içeriğine kadar ıslatılmaya da özellikle kurutma işlemindeki zaman kaybına benzer bir durumun olmaması ve dolayısıyla zamandan tasarruf sağlanması avantajına sahiptir.
- Barajların rehabilitasyonunda diğer tiplere nazaran işçilik, inşa kolaylığı ve maliyet açısından SSB barajlar avantaja sahiptir.
- İş makinelerinin kullanımı SSB barajların inşasında oldukça yaygındır. Taşıma, yayma ve sıkıştırma işlemlerinde, SSB barajlar klasik beton ağırlık barajlara göre avantajlara sahiptir.
- SSB ve RCD barajların inşası esnasında meydana gelen taşkınlardan diğer birçok baraj tiplerine göre çok daha az zarar görürler.
- Katı dolgu barajlar barajlar yükü daha geniş bir alana yaydıkları için zayıf kaya temeller üzerine inşa edilebilme imkanına sahiptirler.

2.3.2. SSB Betonunda Kullanılan Malzemeler

SSB barajlarda beton hazırlanması için gerekli malzemeler çakıl, çimento ve su olmakla birlikte, puzolan gibi çeşitli bağlayıcıları da içermektedir. Karışımın dizaynında temel prensiplerden biri agrega arasında kalan boşlukların harç ile tamamıyla doldurulmasıdır. Yetersiz harç boşlukların tam dolmaması; artan hava boşluğu, ayrışma ile sıkıştırmada güçlük anlamına gelir. Bu da tabakalar arasında yetersiz bağlanma, su sızması ve düşük basınç dayanımı ile neticelenir [12]. Kullanılan malzemeleri bazı özellikleri açıklanacaktır.

• Agrega

Yapının maruz kalacağı dış koşullar SSB için öngörülen basınç dayanımı göz önüne alınarak agregada beklenen özellikler saptanır. Şayet yapı sert iklim koşullarının hüküm sürdüğü ve sıkça donma-çözülme devrelerine maruz bir bölgede inşa edilecekse, agreganın su emme oranı ve tabii don

kaybının düşük olması aranır. Ilıman iklim koşullarında bu özellikler için limitler daha esnektir [13]. Agregada tane dağılımının göstereceği değişkenlik belirgin olarak su ve çimento ihtiyacını ve dolayısıyla dayanımı etkiler.

Barajlarda kullanılacak SSB'lar %35 dolayında ince agregada, ve çok az miktarda (plastik ince) çok ince madde ihtiva ederler. Genellikle düşük dozlu SSSB karışımları için 200 nolu elekten geçen çok ince madde oranı, ağırlıkça toplam agreganın %5'i ile sınırlandırılmıştır. İnce agregada (kum) incelik modülü ve tane dağılımı asgari çimento pastası ihtiyacını etkiler [12].

Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin ikisi de agregada özelliklerinden açıkça etkilenir. Agregada özellikleri beton taze durumda iken segragasyon ihtimaline ve işlenebilirliğe ve dolayısıyla sertleşmiş beton özelliklerine tesir eder. Beton karışımının yaklaşık % 85'ini oluşturan agregada, belirgin bir şekilde sertleşmiş betonun mukavemetini (basınç, çekme ve kesme) elastik özelliklerini, termal özelliklerini (kondüktivite, düfizivite, termal genleşme ve özgül ısı) ve durabilitesini etkiler. Boşluk hacmi ve tane şekli gibi agregada özellikleri betonun harc ihtiyacını belirler [12].

Malzemenin en büyük tane çapı SSB'nun pek çok özelliğine tesir eder. En büyük çap büyüdükçe agregada boşluk oranı azalır. Bu ise agregada hazırlama işlemini ucuzlatır. Bu faydasına karşılık, malzeme çapı büyüdükçe karışımın işlenebilmesi güçleşir. Agregada irilik dağılımı da SSB kıvam ve işlenebilirliğin etki eder. Ayrıca ince agregada oranı fazla ise harcın su ihtiyacı artar [1].

• Bağlayıcılar

SSB barajlarda kullanılan bağlayıcı malzemeler genellikle portland çimentosu ve puzolanlardır. Çimento tipi, betonun yerleştirilmesi metotlarına göre değil, yapının gereklerine uygun seçilir. Uçucu kül, düşük kireç veya yüksek kireç, yüksek fırın granüle cürufu, tabii veya üretilmiş puzolanlar karışımda kullanılmaktadır [14].

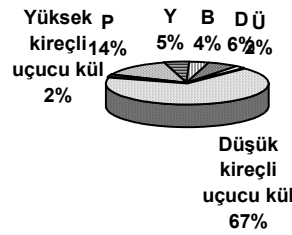
Puzolan, kendi başına su ile bağlayıcı özelliği eser halinde olan veya hiç bulunmayan, fakat doğal yapısı gereği veya bazı killeri gibi pişirildikten sonra öğütülerek çok ince daneli hale getirildiğinde, normal hava sıcaklığında ve nemli (rutubetli) ortamda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) kimyasal reaksiyon girerek (hidratasyona uğrayarak) bir birleşik (yeni bir madde) meydana getirmede bağlayıcı özelliğe sahip olan silisli veya silisli- alüminli bir malzemedir. İçerisinde silis ve alümin bulunduran, kuru sönmüş kireç ve su ile birleştiğinde bağlayıcı özellik kazanan tüm malzemeler genel bir isim altında "puzolan" olarak adlandırılır. Puzolanlar doğal ve yapay olarak iki sınıfa ayrılır. Doğal olan puzolanlar bazı opalli malzemeleri, volkanik tüfleri, camı yapıda yüksek silikat içeren bazaltlar ve benzer yapıdaki diğer volkanik kayalar ve pişirilerek aktive edilmesi şartı ile de bazı killeri içerir. Killer haricinde bazı puzolanlarında kimyasal aktivite kazanması için pişirilmeleri gerekebilir [6].

SSB barajların inşaatlarında genellikle endüstrinin yan ürünü olan yapay puzolanlar, en yaygın olarakta uçucu kül kullanılmaktadır. Yapay puzolanlar genel olarak endüstrinin yan ürünleri olarak elde edilir ve bunlar şunlardır [6]:

- ☐ Öğütülmüş tuğla ve/veya kiremit tozu
- ☐ Öğütülmüş yüksek fırın cürufu
- ☐ Silis dumanı
- ☐ Uçucu kül

Silis dumanı betonda kullanıldığı zaman kendi ağırlığının 3 ile 4 katı kadar çimento miktarını azaltabilir. Rusya’da beton baraj gövdesinin iç kısımlarında 25 kg/m^3 çimento dozajı ile kullanılmış ve 15 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca Rusya’da 65 kg/m^3 çimento dozajında 28 MPa (28 gün) ve 42 MPa (180 gün) dayanımlara ulaşılmıştır. Ayrıca uçucu külün çökme (slump) değeri sıfır olan betonun işlenebilirliğini (workability) arttırması ve kütle betonundaki pik hidrasyon ısısını düşük seviyede tutması gibi yararları da gözlenmiştir [6].

Puzolanların uygunluğu ve seçimi için puzolanlar hakkındaki standartlar ile birlikte son seçim, puzolanlar ile yapılacak uygunluk testlerinden alınacak performansa bağlı olmaktadır. Bazı durumlarda puzolan temini dahi puzolan kullanımı konusunda belirleyici rol oynamaktadır. Kum incelik modülü fazla ise, yani kum dişli ise, agrega arasındaki ince boşluklar tamamen doldurulmayacak ve bu boşluklar hava veya su ile doldurulacaktır. Puzolanik malzemeler bu boşlukları doldurarak dayanımda oluşacak düşme önlenmektedir. Bu tür betonlarda mukavemet artışının ileri yaşlarda arttığı yapılan deneylerle belirlenmiştir. Böylece puzolanların sadece ince kısmı tamamlamadığı aynı zamanda mukavemet artışına da neden olduğu anlaşılmıştır. Şekil 2.6’da 1993’ün sonuna kadar inşa edilen bütün SSB barajlarda kullanılan puzolanların yüzdeleri verilmiştir. 2/3’ü düşük kireçli uçucu kül, yaklaşık olarak 1/6’sı puzolan içermemekte ve 1/5’i bazı diğer puzolanları ihtiva etmektedir [8]

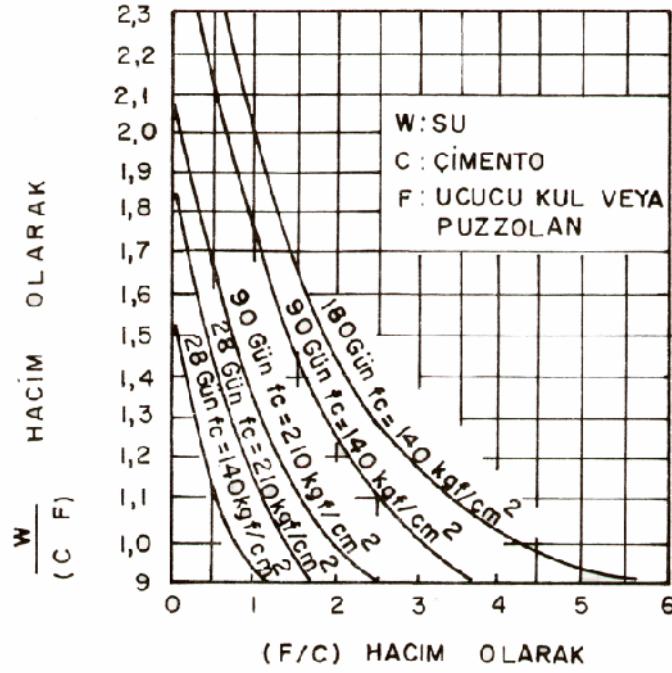


Şekil 2.6 SSB barajlarda kullanılan Puzolanlar (P: Puzolansız, Y: Yüksek fırın cürufu, B: Puzolanların bileşimi, D: Doğal puzolan, Ü: Üretilmiş puzolan)

Yeterli ölçüde öğütülmeyen ve bu nedenle puzolanik aktivitesi düşük, kaba partiküllü uçucu küller genellikle rolkrit yapımında kullanılabilir. Uzun bir mesafeden nakledilecek iyi kalite bir puzolan yerine yöreden temin edilecek düşük kaliteli bir puzolan daha ekonomik olmaktadır. Beton mukavemeti, diğer etkenler yanında daha çok çimento, puzolan ve su oranına bağlıdır. Çimento tipinin hidrasyon ısı ve dayanım artışı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğundan ilk yaklaşımdaki dayanımlara açık bir şekilde tesir etmektedir [8].

Bir fabrika üretimi, aynı tip çimentolarda değişik partiler arasında daha önemli dayanım farklılıkları görmek mümkündür. Bu nedenle değişik tipte çimento kullanılması durumları göz önüne

alınırsa, çok şekilci olmadıkça %100 geçerli olacak bir tablo veya reçete verilemeyeceği açıktır. Bu husus göz önüne alınmak şartıyla faydalanılmak üzere, tip I veya tip II çimentolarıyla uçucu kül kullanılarak ACI'nın yapmış olduğu bir araştırma neticesinde aşağıdaki Şekil 2.6'da verilen bilgiler elde edilmiştir. Bu şekil; uçucu kül dışındaki puzzolanik maddeler için de kullanılabilir. Su ihtiyacındaki farklılık nedeniyle bu durumlarda (uçucu kül/çimento) F/C oranı 2 ile sınırlandırılmalıdır. Uçucu kül kullanılması durumunda, maksimum F/C (uçucu kül/çimento) oranı



Şekil 2.7 Eşit dayanımlı beton için orantı eğrileri [7]

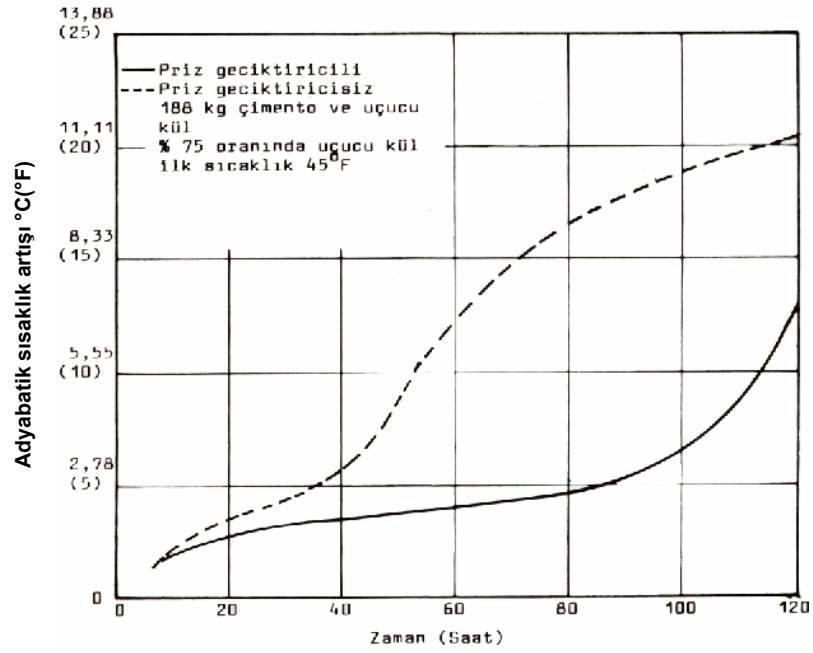
yukarıdaki grafikte belirtildiği gibi alınabilir. Ancak uçucu kül oranı azaldıkça daha katı beton kıvamları beklenmelidir [7].

• Katkı Maddeleri

Bazı araştırmacılar kimyasal katkıların SSB betonlarda kullanımını çok zor bulmakla beraber, bazı araştırmacılar da kimyasal katkı kullanımını tercih edilmesi gereken bir malzeme olarak tanımlamaktadırlar. İyi bir sıkıştırılabilirlik, yeterli taşıma ve sıkıştırma süresi, yeterli mukavemet ve erken geçirimsizlik için kimyasal katkıların kullanımı günümüz SSB betonlarında kaçınılmaz bir malzeme olarak algılanmalıdır [15].

Birçok SSB uygulamasında su ihtiyacını azaltmak (ASTM C494 A tipi) ve priz süresini geciktirmek (ASTM C494 B tipi ve D tipi) üzere kimyasal ek katkı maddeleri kullanılması önerilmektedir. K tipi katkı maddeleri ancak temiz kum ve çakıllı karışımlarda kullanılır. Tip B ve D katkıları SSB karışımlarının priz alma sürelerini geciktirmede başarı ile kullanılmıştır. Bu yolla SSB tabaka yüzeyi işlenebilir durumda tutularak daha iyi kaynaşma sağlanabilir veya geciktiricisiz ortaya

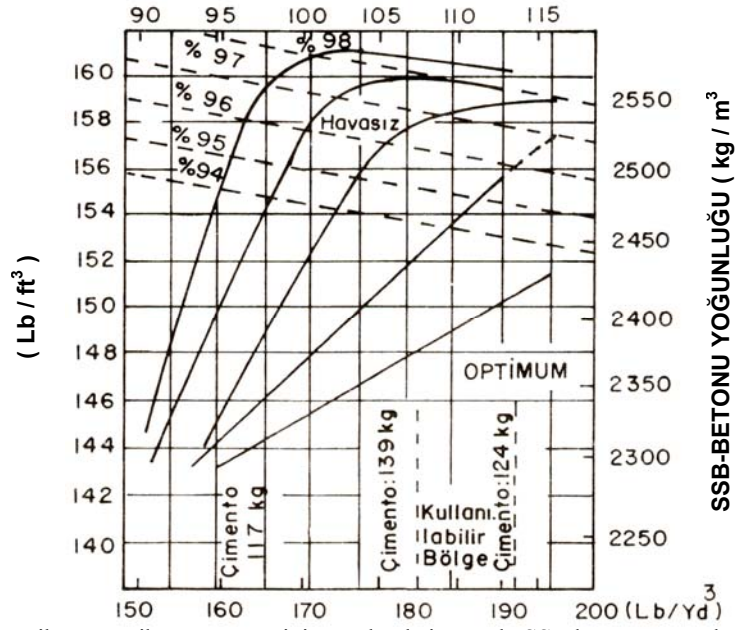
çıkacak hidratasyon ısısının tutulmasında yardımcı olabilir. Şekil 2.8’de, priz geciktiricili tip D ve su azaltıcı tip A katkılı iki karışıma ait hidratasyon ısısı gelişimi görülmektedir [12].



Şekil 2.8 Priz geciktiricili ve geciktiricisiz SSB laboratuvar karışımlarında adyabatik sıcaklık artışı [12]

• Karma Suyu

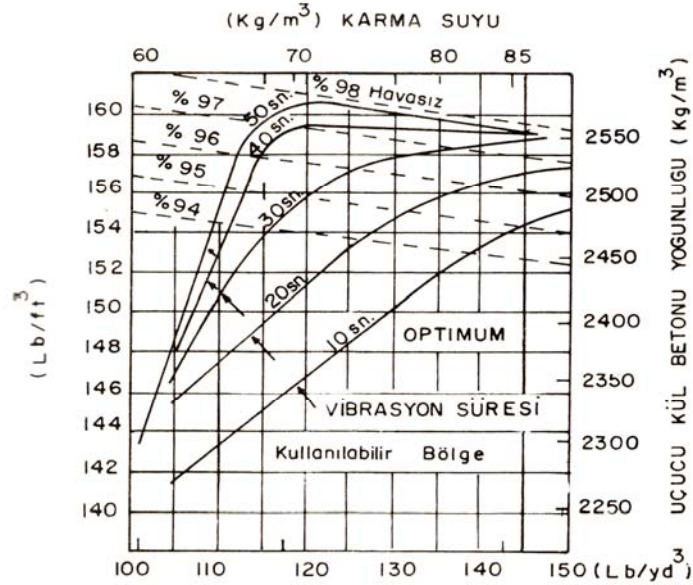
Kalite yönünden; klasik betonlarda kullanılan sular için aranan özellikler, SSB içinde aynı ölçüde geçerlidir. Yani şeker, tuz, yağ ve asit içermemelidir. Miktar yönünden, bağlayıcı madde cinsine ve miktarına, agrega inceliği ve özgül yüzeyine bağlı olarak değişiklik arz edecektir. Karma suyu miktarını tespit etmek amacı ile maksimum tane çapı 38 mm (1 1/2") olan kırma taş agrega ve 152 kg/m³ uçucu kül kullanılarak yapılan bir araştırmada optimum su miktarı 77 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Aynı gradasyon ve portland çimentosu kullanılması durumunda ise 110 kg/m³ su miktarı tespit edilmiştir. Bu araştırmalar aşağıda grafik olarak verilmiştir. Portland çimentosu ve uçucu kül (veya puzzolanik madde) birlikte bağlayıcı madde olarak kullanılması halinde bu veriler yardımıyla enterpolasyonla ilk karışımlarda kullanılacak su miktarı hesaplanabilir [7].



Şekil 2.9 Su miktarı ve vibrasyon süresinin portland çimentolu SSB betonu yoğunluğuna etkisi [7]

BİLEŞENLER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
Çakıl	1159	0,41
Kum	587	0,21

(Not = Kırma agrega kullanılmıştır.)



Şekil 2.10 Su miktarı ve vibrasyon süresinin uçucu küllü SSB betonu yoğunluğuna etkisi [7]

BİLEŞENLER	AĞIRLIK(kg)	HACİM (m ³)
Çakıl	1159	0,410
Kum	616	0,220
Uçucu Kül	152	0,066

(Not= D max= 38 mm ve kırmataş agrega kullanılmıştır.)

2.3.3. SSB Betonun Genel Özellikleri

- **Görünüş**

SSB betonun klasik betondan görünüş olarak farkı, çok kuru kıvama sahip olmasıdır. Görünüş olarak az rutubetli bir kum-çakıl malzemeyi andırmaktadır.

- **Mukavemet**

Yüksek bağlayıcı oranlı SSB, klasik betonla aynı su ve çimento oranına ve aynı agregalarla malzemesine sahipse klasik betona benzer özellikte basınç mukavemeti gösterir. Düşük bağlayıcılı SSB’de ise tüm boşlukları dolduracak miktarda bağlayıcı olmadığında mukavemet klasik betondan farklı olacaktır. Düşük bağlayıcılı SSB’da basınç mukavemeti agregaların birbirine değmesinden oluşacak kırılma mukavemetine bağlıdır. Genelde çekme mukavemetleri karşılaştırıldığında, SSB’nun mukavemeti, klasik betona göre daha düşüktür. SSB karışımlarda ancak yüksek kaliteli agregalar ve yüksek bağlayıcı oranı kullanılırsa çekme mukavemeti açısından klasik betonla aynı seviyelere gelinebilir. SSB’da agregalar kalitesi, yaşı, çimento oranı gibi özelliklere göre çekme/basınç mukavemeti oranı yüzde 7 ile 13 arasında değişir. SSB kayma ve bağlanma mukavemeti, tabaka yüzeylerindeki kohezyon ve içsel sürtünme açısından bağlıdır. Kesme mukavemeti (shear strength), içsel sürtünme ile kohezyon arasındaki Mohr zarfı ilişkisiyle temsil edilen ve SSB baraj tasarımı için hayati bir fonksiyon taşıyan bir özelliktir. Kesme mukavemeti için aşağıdaki bağıntı geçerlidir [1].

$$S = c + \sigma \tan \phi \quad (2.20)$$

Taze SSB dökülmeden önce, bir önceki tabaka yüzeyinin temizlenmesi önemlidir. Çünkü büzülme derzi ve tabaka yüzeylerinde mukavemet en düşük değerdedir. Tabaka yüzeyi nemli, temiz ve gevşek malzemeden arınmış olmalıdır. Bu şartlar sağlanamazsa yüzeyde soğuk derz oluşur. Bu durumda bir sonraki tabaka serilmeden önce soğuk derz olan yerlere özel uygulamalar yapmak gerekir. Bu uygulamalardan bazıları: yüzeye su püskürtmekle temizleme ve taze SSB dökülmeden önce yüzeye klasik beton düzleme harcı yayılmasıdır. Yüksek bağlayıcı oranlı SSB’de ise soğuk derz oluşmadığı müddetçe düzleme harcına ihtiyaç yoktur [1].

Tablo 2.5 Maksimum dane çapı, su, bağlayıcı ve sürenin beton basınç dayanımına etkisi [14]

Max dane çapı(mm)	Çimen to (kg)	Puzolan (kg)	Su (kg)	İnce Agregalar	İri Agregalar	Yaş (gün)	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)
76	55.8	77	77	605	1649	138	232
114	139	0	80	618	1174	72	262
76	139	0	86	683	1691	66	231
76	139	0	83	676	1602	120	231
76	41.5	78	83	676	1602	120	162
38	75.3	164	89	745	1426	90	268
38	44.5	178	84	727	1438	90	181
38	116	139	103	657	1438	90	420

- **Poisson oranı**

Poisson oranı, üniform olmayan aksel bir gerilme uygulandığı zaman oluşan yanıl yer değıştirmenin aksel yer değıştirmeye oranıdır. Statik yükler için SSB’da poisson oranı değeri 0,17 ile 0,22 arası değışmektedir ve klasik beton değeriğine yakın değerdendir. Daha düşük mukavemette ve ilk yaşlarda poisson oranı daha düşük olur. Tasarım için alınabilecek örnek bir değeri 0,2 olabilir [1].

- **Elastisite Modülü**

Elastisite modülü, bir malzemenin elastik limit altındayken normal gerilmenin yer değıştirmeye oranıdır. Elastisite modülü, malzemeye belirli bir miktar yük yüklendiğinde o malzemenin deformasyona karşı ne kadar direnebileceğinin bir ölçüsüdür.

SSB elastik özelliklerini etkileyen esas faktörler; yaş, agreganın tipi, su/çimento oranı veya çimento hamurunun kalitesidir. Betonun elastisite modülü, yaşı ve içediğı çimento miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Bazı agrega tipleri gevşeklik özelliğı verir ki bu da elastisiteyi artırır. Uygun miktarda oranlanmış ve iyi sıkıştırılmış SSB karışımının aynı agrega ile geleneksel olarak harmanlanmış betonun elastisite modülleri farklılık gösterir. Betonun boşluk hacmi azaldıkça, yani yoğunluğu arttıkça elastisite modülünde bir artış olacaktır. Genel olarak klasik betona kıyasla elastisite modülü değeri SSB’de daha küçüktür. Bir yıllık SSB’nun elastisite modülü yaklaşık olarak 2.50 kgf/m² değeriine ancak erişebilmektedir [14].

Ancak, agreganın artışı ile birlikte bunları birbirine doygun bağlayacak uygun miktarda çimento hamurunun da bulunması gerek birim ağırlığa ve gerekse de elastisite modülünü olumlu yönde etkilemektedir. Tablo 2.6’da Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin deney sonuçları verilmiştir [14].

Tablo 2.6 Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin beton yaşına göre değışimi [14]

Çimento Miktarı (kg/m ³)	Ağırlıkça Su/Çimento Oranı	Yaş (gün)	Basınç Dayanımı (kgf/m ²)	Elastisite Modülü (kgf/m ²)	Poisson Oranı
59.3	1.95	3	15.5	0.22	-
		7	23.9	0.49	-
		28	42.9	0.92	0.20
		91	76.6	1.51	0.21
		365	111	1.81	0.17
118.7	0.98	3	61.9	0.95	-
		7	82.3	0.95	-
		28	135	1.55	0.20
		91	160	1.74	0.17
		365	224	2.36	0.21

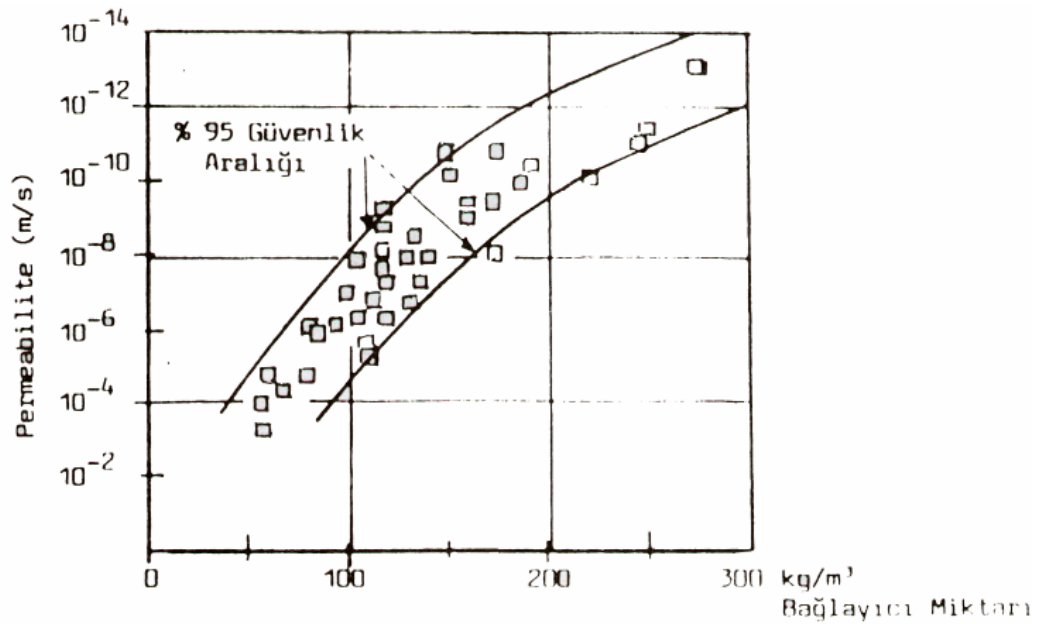
- **Geçirgenlik**

Beton boşluklarındaki suyun basınç ve özellikle boşluklara sızan suların ileride sebep olabileceğı Ca(OH)₂ ayrışması sonucu hidrate olmuş çimentonun gevşeyerek parçalanması, silindire

sıkıştırılmış betonun geçirimlilik değeri de öngörülen belirli bir değerden büyük olmamasını gerektirmektedir [7].

Şimdiye kadar yapılmış SSB barajlarda, klasik kütle beton geçirimliliklerini elde etmek için yaklaşık olarak 150 kg/m^3 beton dozajı kullanmak yeterli olmuştur bu dozaj orta ile yüksek bağlayıcı oranlı SSB karışımı arasındaki bir karışımı temsil eder. Düşük bağlayıcılı SSB karışımlar da eğer yeterli miktarda ince daneli malzeme kullanılırsa yeterli geçirimlilik karışım içinde sağlanmış olur. Bu durumda katman yüzeylerindeki bağlayıcı mukavemet az olacağından tüm baraj boyunca geçirimlilik yeterli olmayabilir ve özel önlemler gerekebilir. Bu önlemler: memba kaplaması, klasik beton kaplama veya katmanlar arasında düzleme harcı kullanmak gibi uygulamalardır [1]. Yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB, geçirimsiz olacak ve tabakalar arasında iyi bir bağa sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır.

SSB’de kullanılan toplam bağlayıcı miktarı ile betondan su geçirimliliği arasındaki ilişki, 17 ülkede inşa edilen 44 projeden derlenen veriler değerlendirilerek elde edilen grafik Şekil 2.11’de görülmektedir [13].



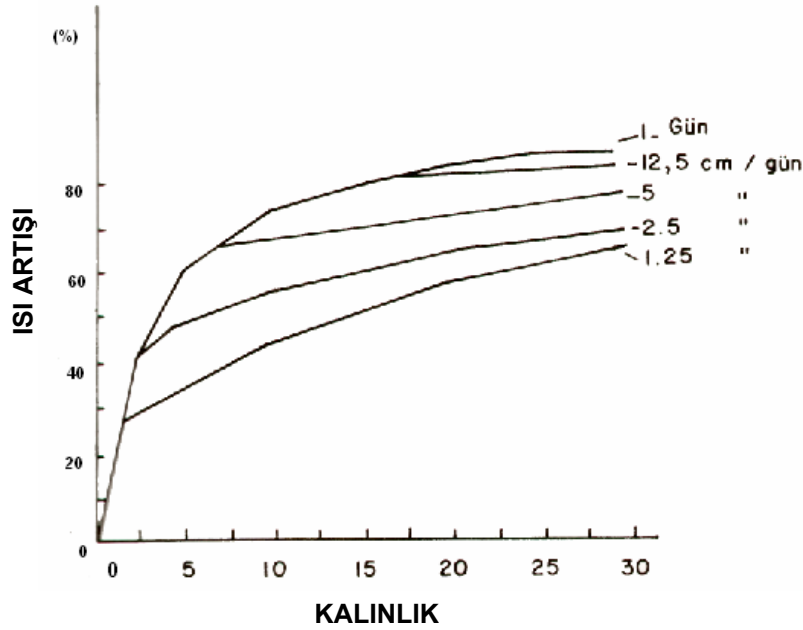
Şekil 2.11 SSB barajlarda bağlayıcı içeriği ile (yerinde yapılan) Permeabilite katsayıları arasındaki ilişki (Not: Bu kıyaslama 17 ülkeden 44 farklı yapıdan alınan sonuçları içerir) [13]

SSB üzerinde yapılan geçirgenlik deneyleri sonucunda, sonuçlar Darcy yasasına göre belirlenen (K) geçirimlilik katsayısı için şunlar belirlenmiştir [7].

- ☐ K katsayısı 10^{-7} ile 10^{-6} arasında değişmektedir.
- ☐ 0,063 mm’den daha küçük boyutlu ince malzemenin veya çimentonun artmasıyla K değeri küçülmektedir.
- ☐ Minimum k değeri Proktor deneyine göre en uygun su muhtevası için elde edilmektedir.

- **Isı Artışı**

Üst üste ince tabakalar şeklinde imal edilen SSB'da tabakalar arasında üniform ısı yayılımı sonucu çatlakların azaldığı görülmektedir. Tabaka kalınlığının incelmesinin oynadığı bu olumlu rolün yanı sıra, beton döküm hızının da olumlu etkisi bulunmaktadır. Kural olarak ısı artışını azaltabilmek için sabit döküm hızında tabaka kalınlığını azaltmak gerekmektedir (Şekil 2.12). Taze beton ısının düzenli olması, çevre ile dökülen beton arasındaki ısı farkının küçük olması durumunda, erken çatlak oluşumuna engel olmaktadır. Çevre ısının betonunkinden küçük olması ısı gelişiminin olumlu olmasına; aksi durumda ise, betonun dışardan ayrıca ısı absorbe etmesine neden olacağına olumsuz etki yapmaktadır [7].

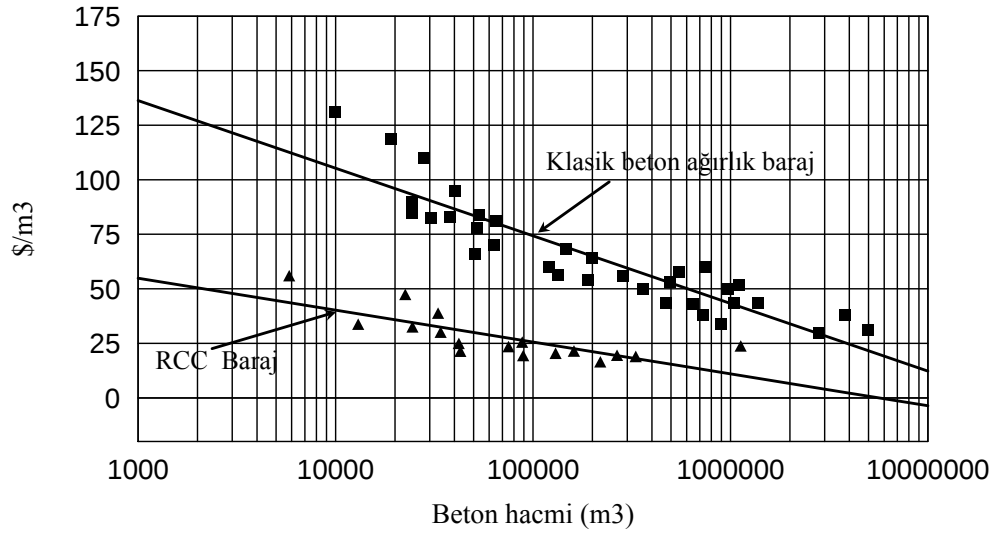


Şekil 2.12 Betonlama hızının ısı artışına olan etkisi[4]

- **SSB maliyeti**

SSB barajlarda inşa sürelerinin kısa oluşu, faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönüşünü sağlamaktadır. Bu da baraj maliyetlerinde ciddi azalmalara sebep olmaktadır. Büyük gövde hacimli barajlarda SSB sayesinde yapılan tasarruf maksimum seviyede olur. Özellikle geniş vadiler için SSB'un sürekli serim metodu çok uygundur. Zayıf bağlayıcı oranlı SSB metodu da çimento ve puzolan temininin zor olduğu bölgelerde veya mali yapının bunların kullanılmasına elvermediği durumlar için çok uygundur [1].

Dunstan'a (1993) göre, bir RCC baraj, klasik beton ağırlık baraja göre %25–40 daha ucuzdur. Linsley'e (1992) göre %60 daha ucuzdur. Kaya dolgu baraja göre %0–25 daha ucuz olmaktadır. Klasik beton kemer ağırlık baraja göre ise %5–15 daha düşük maliyette inşa edilebilmektedir. Böylece, kaya temele haiz bir baraj yeri için bir SSB, pratik olarak çoğunlukla en düşük maliyette inşa edilebilmektedir [11]. Klasik kütle betonu ile SSB maliyetinin karşılaştırılması Şekil 2.13'te verilmiştir [2].



Şekil 2.13 Klasik beton ağırlık baraj ile SSB betonunun maliyet karşılaştırması [2]

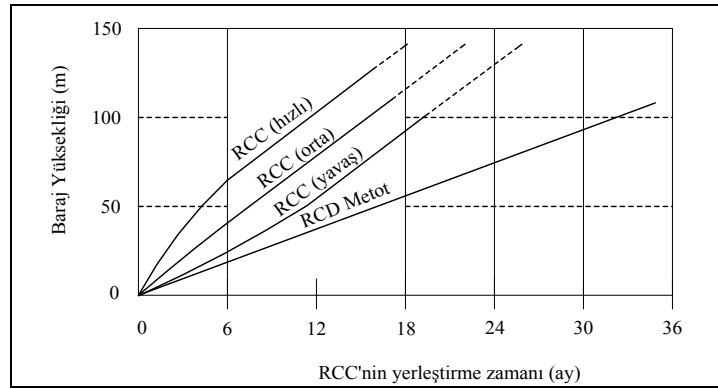
ABD’de olan 46 m yüksekliğinde 221 000 m³ hacmindeki Monksville Barajı için tasarım mühendislerinin yaptığı maliyet tahmini aşağıdaki gibidir [2].

Tablo 2.7 Baraj tipi ve maliyet tahmini

Baraj Tipi	Maliyet Tahmini (10 ⁶ \$)
SSB Baraj	18,1
Toprak Dolgu Baraj	20,3
Beton Yüzlü Kaya Dolgu	25,6
Beton Ağırlık	33,6

• İnşaat Hızı

SSB barajların diğer baraj türlerine göre üstün olduğu en önemli özelliklerinden biri de inşaat hızıdır. Silindirle sıkıştırılmış beton, çok kısa bir sürede yerleştirilmektedir. Örneğin; 46 m yüksekliğinde 34 000 m³ hacmindeki Stagecoach Barajı 37 günde tamamlanmıştır, 51 m yüksekliğindeki 161 000 m³ hacimli Galesville Barajı ise 10 haftada inşa edilmiştir. 100 m yüksekliğindeki bir SSB baraj yaklaşık olarak 16 ayda inşa edilebilmektedir. Çok hızlı inşa edilirse 11 ay ve yavaş inşa edilirse bu süre 20 ay olmaktadır. RCD barajların yapım süresi, SSB barajların yapım süresinin hemen hemen iki katı olmaktadır (Şekil 2.14). Bu sonuç, daha kompleks inşa metotlarından kaynaklanmaktadır [11].



Şekil 2.14 SSB barajların inşa hızı [11]

2.3.4. SSB Barajların Tasarımı ve İnşası

Silindirle sıkıştırılmış beton, genel kavram olarak kabul görmesine karşın, karışımın elde edilmesinde kullanılan teknikler, karışım oranları, serilen tabaka kalınlığı ve sıkıştırma kalınlığı, memba ve mansap yüzeyleri formu ve kaplamaları konularında değişik görüşler ve uygulamalar bulunmaktadır. Konuyla ilgili olarak yapılan araştırma ve uygulama sonuçlarına göre memba yüzünün dik yapılması kabul görmüştür. Bununla birlikte, farklı koşullarda uygulanan SSB karışımının içerisindeki optimum çimento, uçucu kül ve puzolan oranlarının tespiti ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Araştırmacılar SSB’de nispeten az çimento ile birlikte büyük oranda tras katkısı kullanımıyla yüksek dayanımlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu arada serilen tabaka ve sıkışma kalınlıklarının 20 ile 80 cm arasında değiştiği ve dolusavak bölümlerinde değişik SSB karışımlarının kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur [7].

SSB bir barajın içinde ve derzlerde meydana gelecek su sızıntısı kontrol altına alınmadığı takdirde; rezervuarın boşalmasına, yüksek kaldırma basınçlarına yenilmeye, mansap yüzeyinin bozulmasına ve belki de bağlayıcı maddelerin çözülmesine sebep olur. 1983 yılı başlarında Willow Creek Barajı’nda yatay derzlerde oluşan 5 700 L/dk.’lık su sızıntısı hakkında beton uzmanı Schrader bu problemin beklenilenden çok daha az olduğunu ifade etmiştir. SSB içinde sondajla açılan deliklerden çimento şerbeti enjekte edilerek bu problem çözülmüştür [16].

RCD barajlar, mümkün olan en iyi kalitede inşa edilmektedir. Fakat inşa edebilme hızı, maliyet (klasik beton ağırlık barajlara göre çok ucuzdur) ve kaliteye göre az öneme sahiptir [16].

Önce karışım hesabı (yani karışımındaki su, çimento, puzolan, ince agrega, kaba agrega ve katkı maddeleri oranları için yapılacak olan hesap) yapılır. Bir baraj inşaatına başlamadan önce yüklenicinin bir SSB dolgusu yapması gelenek haline gelmiştir. Bu, yüklenici için ekipmanın ve döküm tekniğinin uygunluğunu teyit açısından hayati önem taşır. Betonun yerleştirilmesi saatlik bir iş olduğundan beton karma santrali yüksek kapasiteli olmalıdır. SSB dökümü esnasında soğuk derz oluşumuna sebep olacak gecikmeler arzu edilmez. Devrilir tip karıştırma haznesi kullanılan beton santralleri SSB üretimi için daha uygun bulunmaktadır. Yerleştirilmiş bulunan beton tabaka

yüzeylerinin temiz tutulması da önemli bir husustur. SSB taşıyan kamyonların beton yüzeyine çamur benzeri kirletici taşınması önlenmelidir. Kirlenmeye bir çare olarak üretim tesisinden baraja bir (konveyör) hareketli bant sistemi ile betonun iletimi ve dolayısıyla beton kamyonlarının barajda kalmasının sağlanması, kirlenmeyi önlemesi açısından çok faydalıdır. Betonun serilmesi ekipmanı olarak dozerler, serme elemanı takılmış kamyonlar, skreyperler veya adapte edilmiş yol inşa makineleri kullanılabilir. Sıkıştırma işlemi için genellikle 10 ton ağırlığında, düz kasnaklı bir vibratörlü silindir uygundur [12].

Titreşimli silindirlerle belirli kalınlıkta serilen malzeme belirlenen bir pas'ta (örneğin 4 tampa -4 gidiş, 4 geliş-) sıkıştırılır. SSB teknolojisinin en önemli uygulaması sıkıştırmadır. Beton dizaynı silindirle yapılacak sıkıştırma işlemi sonucunda optimum sıkıştırmayı sağlamalı, sıkıştırma süresince belli bir işlenebilirlikte olmalı ve sıkıştırma işlemi boyunca ayrışmamalıdır.

Silindirle sıkıştırılmış beton barajın inşaatı sırasında altı saatten fazla ara verilen SSB serilmesi işlemlerine bazı ek tedbirler alınarak devam etmesi önerilmektedir. Betonun serilmesi sırasında ortaya çıkabilecek segragasyonlar, elde edilecek yeni karışımlar ile önlenabilmektedir. Ayrıca, serilen tabakalar arasında kullanılan zengin çimentolu yüksek slampli harcın, bu tabakaları birbirine bağlamakta ve agreganın segragasyonunun önlenmesinde oldukça etkili olduğu bilinmektedir [16].

1990'nın sonuna kadar dünyada sadece bir adet SSB baraj 100 metrenin üzerinde inşa edilmiştir. 1991–1993 arasında bu değer sekiz olmuştur. Özellikle, yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar ve SSB kemer ağırlık barajlar daha yüksek olarak inşa edilebilmektedir [16].

Optimum tabaka kalınlığı çoğu SSB barajlarda (hemen hemen %70'inde) 300 mm olarak alınmıştır. Geri kalanların çoğu Güney Afrika'da inşa edilen barajların tabaka yükseklikleri 250–400 mm arasında alınmıştır. 1993'te tamamlanmış bütün rcc barajlar (rcc hariç) için yükselti kalınlığı 300 mm olarak alınmıştır. RCD yapılarında, yükselti kalınlığı 500–1000 mm olarak alınmaktadır [16].

2.3.4.1. Tabakalar Arasındaki Bağ Dayanımı

Tabakalar arasındaki bağ dayanımının geliştirilmesi birçok faktörün ciddi kontrolüne bağlıdır. Bu faktörler genel olarak iki kısma ayrılırlar [12].

- Karşım tasarımı
- Yüzey koşulları

Segregasyonun kontrolü, uygun kıvam ve boşluklu zayıf yüzeylere harç dökümü gibi tedbirler SSB tasarımında birinci derecede göz önüne alınacak tedbirlerdir. Segregasyon ve yetersiz sıkıştırma genellikle tabaka alt kesitlerinde görülmektedir [12].

Üniform bir tane dağılımı ile 75 mm (3") den küçük en büyük tane çapı seçimi segregasyonun en aza indirilmesine yardımcı olur. Daha büyük çaplı agregalar betonun boşaltılması ve serilmesi esnasında yığından ayrılıp yuvarlanarak tabaka yüzeyinde kümeleşip boşluklu bir yapı

oluşturur. Böylece oluşan boşluklar, tabaka yüzeyinde büyük ölçüde bağlanma zafiyetine ve önemli oranda barajdan su sızmasına neden olurlar [12].

2.3.4.2. Sızma Kontrolü

SSB bir barajın içinde ve derzlerde meydana gelecek su sızıntısı kontrol altına alınmadığı takdirde; rezervuarın boşalmasına, yüksek kaldırma basınçlarına yenilmeye, mansap yüzünün bozulmasına ve beklide bağlayıcı maddelerin çözülmesine sebep olur [12].

SSB barajlarda su sızıntısını kontrol etmenin başlıca yolları şunlardır.

- ☐ Baraj memba yüzüne su geçirmez bir membran uygulama,
- ☐ Baraj memba yüzünde her SSB ile birlikte yükselen klasik betondan bir perde (kabuk) inşası,
- ☐ Baraj memba yüzüne yakın bölümde SSB tabakaları arasında özel bir yataklama betonu dökümü veya derz hazırlama prosedürü uygulanması,
- ☐ Baraj memba yüzüne yakın, kretten temel galerisine inen iç düşey drenaj deliklerinin açılması
- ☐ Geçirimsiz SSB derzlerinin projelendirilmesi ve inşası

Baraj memba yüzüne su geçirmez membran, inşaatla birlikte veya doğrudan uygulanabilir. Memba yüze membran uygulanması, yüzeyin temizlenmesi, bir kat astar ve ardından iki kat veya daha fazla kat fazla esnek membran tabakaları uygulanmasını içerir. Bazı uygulamalarda membran çatlaması, donma veya içten gelen su basıncı ile membranın ayrılması veya insanlar tarafından yapılan tahribatlardan sonucu bozulmalar görülmüştür. Memba yüzde, su tutucuları ve çatlak önleme derzlerini de içeren klasik betondan su geçirimsizliği için inşa edilecek bir kabuk, tatminkâr sonuçlar verir. Kabuk kalınlığı, 3 m civarında olduğunda en iyi sonuçlar alınır. Ilıman iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgede, inşa edilecek bir tür kabuk yeterli olabilir. Memba yüze bitişik SSB tabakalarının üzerine dökülecek özel yataklama karışımı, sızmaları önlemeye yardımcı olabilir. Memba yüzüne yakın serilecek ince ve 3m veya daha fazla genişlikteki yataklama betonu bu iş için yeterli görülmektedir. SSB yataklama betonu üzerine serilip sıkıştırılır. Yataklama betonunun inşaat safhasında kontrolü ve üniform yayılmasındaki noksanlıklar bu derzlerden sızıntılara yol açar. Yataklama betonu, barajın, çatlak derinliğinin ulaşamayacağı bir derinliğe kadar uzatılmış olmalıdır [12].

2.3.4.3. Tabaka Yüzeylerinin Hazırlanması

İnşaat esnasında beton dökülecek yüzeylerde "canlı" (taze), işlenebilir; katı sert ve kaynaşma gücüne gösteren yüzeylere kadar bir yelpazeye rastlanır. Bir gün içinde (24 saatte) 3 tabaka veya daha fazla döküm hızı genellikle taze (canlı) yüzeylere döküme izin verir. Günde bir tabaka veya daha az hızda bir döküm, şayet priz geciktiricileri kullanılmazsa özel yüzey hazırlama işlemi gerektirir. Ancak priz süreleri sıcaklık ve karışımın priz alma özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Taze beton yüzeyleri, takip eden döküm için yüzeylerin temizliği ve normal kür işlemi haricinde bir hazırlığa ihtiyaç duymazlar. Yüzeyde hareket eden araç ve ekipmanların neden olacağı

yüzeyssel gevşemeler, silindirin vibratörsüz olarak geçirilmesi ile sıkıştırılabilir. Günde bir tabakadan daha yavaş dökümlerde genellikle bazı yüzey hazırlama işlemlerine ihtiyaç vardır. Ekipman hareketi nedeniyle gevşeyen malzemeler alınıp atılmalıdır [12].

2.3.4.4. SSB Üretimi ve Dökümü

Kütle betonlu baraj inşaatının, bloklar halinde düşey olarak ilerlemesinin aksine, SSB barajlar bir yamaçtan diğerine yatay olarak ilerlerler. Bu birbirini izleyen bir ya da iki vardiyada tüm yüzeyi kaplayan döküm şekli, malzeme kalite kontrolü, doğru inşaat ekipmanı seçimi ve döküm prosedürü yönünden artan bir güvenilirlik gerektirir. Belirlenmiş beton bileşenleri kalitesinde, karışım miktarlarında veya inşaa yöntemlerinde olabilecek herhangi bir değişiklik baraj toplam yapı stabilitesini bozabilir. Kayma dayanımı etkisinin en yüksek olduğu yer baraj temeline yakın olan bölgedeki derzlerdir. Buradaki yerleştirme tekniği, ekipmanı veya yapı malzemelerini sonradan iyileştirmek olası değildir. Dolayısıyla, barajdaki, SSB dökümü, önceden bir test dolgusu veya batardo inşası deneyimleri ile mükemmel bir hale getirilmelidir [12].

- **Karıştırma**

SSB, hem hazne tipi hem kasnaklı tipli betonyerlerle başarılı bir şekilde karılabilir. Mikserler, karıştırma yeterliği deneyi ile tespit edilen etkinlikte ve üniformlukta harman içinde bileşenleri karıştırmayı sağlayabilmeli. Soğutma için buz kullanılacaksa, buzun erime süresi de göz önüne alınarak gerekli karışım süresine bağlı olarak mikser hacmi tayin edilir. Mikserler karıştırma kolları ve paletleri ile haznede harç kalmayacak aynı zamanda sıfır slampli betonu herhangi bir bozulma olmadan karıştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Mikserlerin uygun miktarda malzeme ile yüklenmesi (doldurulması) mikserden en yüksek randıman alınmasını sağlar. Agreganın hareketli bant ile miksere verilmesi ve bu esnada su ilavesi de genellikle randımanı artırır. Karışım değişkenlikleri harmanlama ve karıştırma işlemleri ile kontrol altına alınmalıdır. İşlenebilirlik kontrolünde ilk adım, karışım suyunun kontrolüdür ki bu agrega tane dağılımını da kontrol altında tutar. Kuru bir karışım segregasyona (ayrışmaya) meyilli olup, tabaka alt kesitinde sıkıştırılma güçlükleri yaratır. Sulu bir karışım, her ne kadar en kritik konu olan bağ dayanımını arttırıcı olsa da yüksek bir yoğunlukta sıkıştırılmaz [12].

- **Taşıma**

SSB'nun iletilmesinde kullanılacak ekipman, beton karma tesisinden çıkacak malzemeyi hızla, segregasyona uğratmadan, işlenebilirliği azaltmadan ve tabaka yüzeyinde bir kirlenmeye yol açmadan iletecek kapasitede olmalıdır. Tesisten çıkan SSB, 15 dakika içinde döküm yerine iletilmelidir. “Upper Stiwater” barajındaki tecrübeler, beton tesisinden doğrudan döküm sahasına uzanan üzeri kapalı bir hareketli bant sisteminin, öngörülen gerekleri sağladığını göstermiştir. Kova ile beton iletimi segregasyona sebep olması taşıma süresini arttırması ve tıkanma problemleri

yaratması nedeniyle mümkünse ya hiç kullanılmamalı ya da en aza indirilmelidir. Küçük projelerde (30.000 m³'ten daha az hacimli işlerde) betonun tesisten doğrudan döküm alanına taşınması ve sonra ön tarafına bir serme elemanı monte edilmiş yükleyici ile dağıtılması başarı ile uygulanabilir. Daha büyük işlerde sürekli iletimi sağlamak üzere hareketli bant (konveyör bant) doğrudan bekleyen kamyonların içine boşaltılabilir. Bu durumda hareketli bant iletiminde en az iki boşaltım noktası gerekir. Kamyon veya sıkreyper gibi taşıma araçları, sürekli kirletme problemi, baraja giriş noktasında sıkışmış tabakayı bozması, daha uzun süreli döngü, enerjinin düşük randımında kullanılması ve sürekli bir yol yapımı ve bakımı ihtiyacından dolayı SS betonun karma tesisinden döküm alanına taşınması işinde kullanılması tavsiye edilmezler [12].

- **Döküm ve yayma**

Sürenin ve segregasyon kontrolünün sınırlı olması SSB'nun döküm esnasındaki işlenebilirliğini en aza düşürür. Hareketli bir bant sistem ile döküm en ideal fakat aynı zamanda da en pahalı sistem olacaktır. Daha pratik bir döküm operasyonu hamuleyi hem döküp hem yayabilen kamyonlardan meydana gelir. Sıkreyperler benzer döküm-serme işlemini yapabilirler, ancak özellikle yamaçlarla birleşim bölgelerinde yeterli esneklik gösteremezler. Bir yayma aracını besleyen bir yük kamyonu başarıyla kullanılır, ancak bu sistemde bir yamaçtan diğerine bir hat izlenmesini ve dolayısıyla sınırlı çalışmayı gerekli kılar. İlk döküm şekli olan bir noktaya SSB'nun dökümü ve dozerle yayılması pek tavsiye edilmez, dar bölgelerde yamaçlarla birleşim bölgeleri gibi yerlerde zorunlu görülmesine rağmen, başka bir önlem alınmaz ise böylesi durumlarda segregasyonu önlemek üzere en büyük tane çapı (2") 50 mm ile sınırlandırılmalıdır[10].

Tabaka dökümü bir yamaçtan diğerine doğru olmalıdır. Bu, tabaka kenarlarının kurumasını önlemeye yardımcı olur. Tabakalar şeritler halinde dökülürken ikinci şerit ile ilk şerit arasında bir soğuk derz olmayacak sürede dökülmesine dikkat edilmelidir. Bu süre karışımdan itibaren 1 saat veya dökümden itibaren ½ saat ile sınırlandırılmıştır. Yayma ve yüzey sınıflandırma bir dozer ile yapılabilir. Tekerlekli yayma ekipmanları tavsiye edilmez. Lazer kontrollü bir bıçak daha sonra çok kalın tabakaya gereksinim duyacak ince tabakalardan kaçınmak üzere tabaka yüzeyi kontrol ve düzeltilmesinde çok yardımcı olur. Dozerlerin sıkıştırılmamış SSB üzerinde hareketi kısıtlanmalıdır. Bir saatten az süreli betonlarda SSB yüzeyinde oluşan bozulmalar yeniden vibrasyon ile giderilmeli, gevşek ve kurumuş malzemeler yerinden alınmalıdır [10].

Ortalama tabaka kalınlığı genellikle 30 cm olup, tolerans 2,5–5 cm'dir. Bu kalınlıktaki beton bir vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılabilir ve çok büyük beton santraline ihtiyaç duyulmaksızın bir tabaka 24 saat içinde tamamlanabilir. Daha kalın tabaka dökümü Japonya ve Amerika'da uygulanmaktadır. Daha kalın tabakalı döküm, yüzeyin yıkanması ve/veya tabaka bileşimi güçlendirmek üzere enjeksiyon yapılması gibi yüzey iyileştirilme işlemlerini gerekli kılar. Soğuk havalarda döküm veya sıcak havalarda gece dökümü en uzun SSB dökümün zamanını sağlar. Bu tür önlemler, içsel sıcaklık artışı ve dolayısıyla termal çatlakları azaltır. Donma görülen havalarda beton dökümü durdurulmalı ve SSB yüzey

sıcaklığı +2 °C'nin altına düşerse yüzey koruma altına alınmalıdır. Don olayının sadece gece saatlerinde oluşması durumunda (sıcak su ile taze beton sıcaklığının artırılması ve hızlı döküm gibi önlemler betonu dondan korumak için önerilen yöntemler olabilir [12].

- **Sıkıştırma**

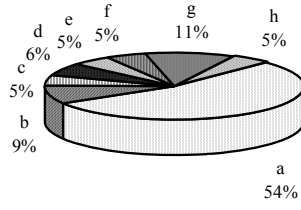
Çelik vibratörlü silindirler, betonun sıkıştırılmasında kullanılan ana ekipmandır. Silindirlerin çapları ve biçimleri farklı olabilir. Çift kasnaklı, 10 tonluk asfalt sıkıştırmada veya zemin sıkıştırmada kullanılan vibratörlü silindir kullanılmıştır. 2200 (devir/dakika) veya daha yüksek frekanslı vibratörler Ve-be zamanı 15–30 sn olan veya daha plastik kıvamlı betonların sıkıştırılmasında kullanılabilir. 1700 devir/dakikalık ve yüksek amplitütlü zemin sıkıştırma cinsi vibratörlü silindirler ise daha katı kıvamlı (Ve-be süresi ≥ 45 s) betonların sıkıştırılmasına uygun düşer. Vibratörlü silindirin ağırlığı en az 10 ton olmalıdır. Tek kasnaklı, lastik tekerlekli vibratörlü silindirler aynı kalınlıktaki tabakanın sıkıştırılmasında daha fazla sayıda geçişe (pas'a) ihtiyaç duyarlar. Çift kasnaklı vibratörlü silindirlerin 6 geçişi (pas'ı) mütadikben 2 pas vibrasyonsuz geçişi baraj inşaatında yeterli görülmektedir. SSB serilmesinden itibaren 15 dakika, karıştırmadan itibaren ise 45 dakika içerisinde mümkün mertebe sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır. Şayet 15 dakika içinde bitişik bir şerit dökülmeyecek ise şerit şevi de sıkıştırılmalıdır. Silindire yapışma ve yüzey çatlakları oluşumu genellikle fazla ıslak beton üretiminden ileri gelir. Ve son aşamadaki vibrasyonsuz pasların geciktirmesi ile genellikle giderilir [12].

Sıkıştırma işlemi esnasında betonun gözlenmesi, betonun işlenebilirliği hakkında önemli bilgiler verir. SSB' den tam bir sıkışma arzu edildiğinde, silindirin hemen önünde bir miktar plastik malzeme hareketi görülmelidir. Son pas'tan sonra ayak ile sıkıca SSB yüzeyine basıldığında agregalar arasında hiçbir (harçsız) boşluk kalmamalıdır. Boşluk mevcudiyeti olan yüzeyde bir miktar sıkışma ihtiyacı gösteriyor denebilir. İlave sıkışmayan rağmen boşluklar dolmuyor ise beton içerisindeki harcın yetersiz olduğu ortaya çıkar ki, iri agregası (kontakt) teması artık daha fazla sıkışmanın imkânsızlığını gösterir. Yüzeyde kırılmış iri agregası görülmesi de katı bir kıvamı yetersiz işlenebilirliğe işaret eder [12].

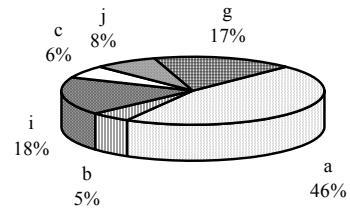
- **Memba ve mansap yüzeylerinin inşası**

SSB barajların memba yüzeyi dik olarak inşa edilmektedir. Mansap şevi ise, 0,6 – 0,8 yatay ve 1 düşey olarak alınmaktadır.

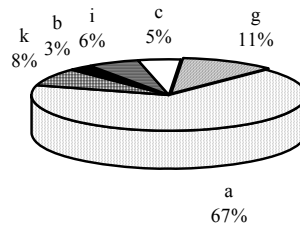
SSB barajların yüzeylerinin çoğunda klasik daldırma vibrasyonlu beton kalıp ile şekillendirilmektedir. Şekil 2.15'te SSB barajların dolusavak, memba ve mansap yüzlerinin şekillendirilmesinde kullanılan değişik metotların kullanma yüzdeleri verilmiştir [8].



(a) Memba yüzü



(b) Mansap yüzü



(c) Dolusavak

Şekil 2.15 SSB barajların yüzey şekillendirmesinde kullanılan metotlar (a: Kalıpla yüzey betonu, b:diğerleri, c: yüzey elemanlarında kayar kalıp kullanılmış, d: ssb'yi destekleyen önyapımlı beton kullanımı, e: membran ile önyapımlı betonu destekleyen yüzey betonu, f: önyapımlı panelleri destekleyen yüzey betonu, g: kalıpla desteklenmiş rcc, membranlı kalıba karşı yüzey betonu, i: kalıpsız yüzey, j: beton bloklarına karşı rcc, k:ayrı dolusavak)

• Yükselti kalınlıkları

Optimum tabaka kalınlığı çoğu SSB barajlarda (hemen hemen %70'inde) 300 mm olarak alınmıştır. Geri kalanların çoğu Güney Afrika'da inşa edilen barajların tabaka yükseklikleri 250–400 mm arasında alınmıştır. 1993'te tamamlanmış bütün SSB barajlar (rcd hariç) için yükselti kalınlığı 300 mm olarak alınmıştır. RCD yapılar, yükselti kalınlığı 500–1000 mm olarak alınmaktadır [16].

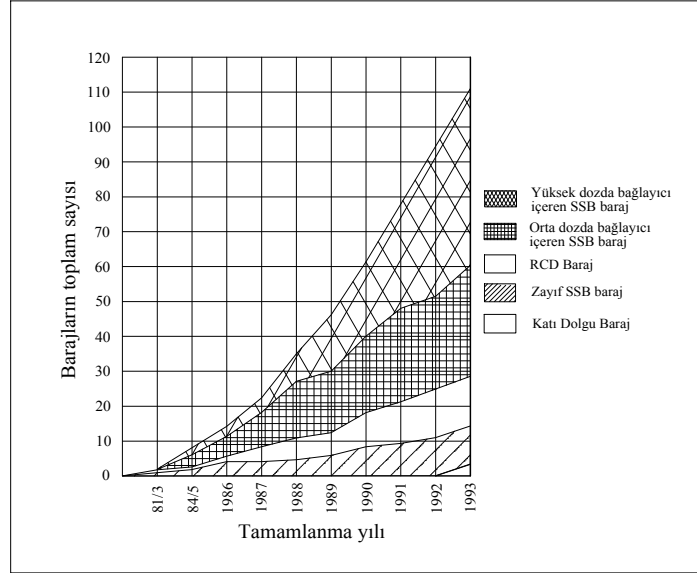
2.3.5. SSB Barajların Sınıflandırılması

SSB baraj çeşitliliği, kullanılan malzeme oranlarının farklılığına veya inşaat metodunun farklılığına dayanır. Jerome Raphael ile 1/1 simetrik şevlere sahip ve düşük bağlayıcı içeren karışımlarla başlayan bu süreç, Japonların geliştirdiği ve normal beton barajlara yakın SSB tekniği ile İngilizlerin geliştirdiği yüksek bağlayıcılı SSB'a sahip barajlar ile devam etmiştir [10].

Fakat sınıflandırmanın en genel şekli şöyledir [9] ve [17]. Japonya'da inşa edilen tüm silindire sıkıştırılmış beton barajlar, RCD tiptedir [11].

□ **Zayıf SSB barajlar** (Lean RCC dams): Bağlayıcı içeriği 99 kg/m^3 'ten daha azdır.

- **Normal dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar** (Medium paste RCC dams): Bağlayıcı içeriği (yani çimento ve puzolan) $100-149 \text{ kg/m}^3$ arasındadır.
- **Yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar** (High paste RCC dams): Bağlayıcı içeriği 150 kg/m^3 veya daha fazladır.
- **RCD baraj** (Roller Compacted Dam - Silindirle Sıkıştırılmış Baraj, Japon Tekniği)
- **Katı dolgu baraj.**



Şekil 2.16 Her yıl tamamlanmış SSB barajların çeşitlerine göre toplam sayısı [2]

2.3.5.1. Düşük Dozda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar

SSB karışımında (the lean roller compacted concrete) katkılı çimento ile uçucu kül miktarı 100 kg/m^3 'ten daha azdır. Bununla birlikte içerisindeki uçucu kül oranı %40'a kadar çıkabilmektedir. Winchester Barajı (ABD'de) bu metodun ilk örneğini oluşturmaktadır. Bu barajda memba yüzünün geçirimsizliği ilave bir beton tabaka ile sağlanmıştır. Genellikle, 30 cm tabakalar arasındaki segregasyonu önlemek amacıyla kısmi olarak yatak harcı ilave edilmektedir [14]. Düşük bağlayıcı içeriğine sahip karışımlarda engellenmiş ısı büzülme sonucu oluşan ısıl gerilmeler büyük oranda azalmaktadır.

Az dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar ekonomik, hızlı inşa edilebilir ve kısmen kuru kullanım avantajlarına sahiptir. Uygun plastik olmayan ince malzemelerle tasarlanmış zayıf SSB karışımlar, sıkıştırılmış kütle içerisinde düşük permeabilite meydana getirirler. Sızmayı azaltmak için tabakaların yüzeylerinde düzleme harcı veya memba yüzeyinde klasik beton kaplama gibi önlemler almak gerekir. Düşük dayanıklılık ve yüksek geçirimsizliğe dayanarak bir düşük bağlayıcı SSB barajı aynı zamanda katman yüzeylerinde daha düşük bağlanma mukavemetine sahiptir. Düşük bağlayıcı SSB baraj, klasik beton barajlara veya beton baraj yaklaşımıyla yapılan SSB barajlara göre daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan stabilitenin sağlanması için daha fazla kütleye ihtiyaç duyulur [1].

Düşük bağlayıcılı SSB yaklaşımı kullanımının bazı üstünlükleri vardır. Hidratasyona bağlı ısı yayılımını azaltmak için puzolan kullanmaya gerek yoktur. Bitmiş barajlar düşük elastite modülü ve yüksek sünme oranı gösterirler [1].

Zayıf SSB karışım tasarımları; bağlayıcı, agrega ve su içermektedir. Tipik çimento içeriği 47 ile 74 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Fakat bazı az oranda bağlayıcı içeren yapılarda daha fazla çimento kullanılmıştır. Genellikle zayıf kalitede agrega mevcut olduğu zaman bu durum söz konusu olmuştur. Bu tip barajlar diğer tip SSB barajlara göre daha fazla ekipman, zaman veya personel gerektirmez. Zayıf SSB barajlar kuru olduğundan dolayı daha erken dağıtılabilir [14].

2.3.5.2. Normal Dozda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar

Bağlayıcı içeriği (yani çimento ve puzolan) 100–149 kg/m³ arasındadır. İnşa tarzı düşük dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar ile aynıdır. Tip seçimi baraj temeli, vadi şekli ve özellikle mevcut puzolanik malzemenin bulunabilirliği ile alakalıdır [14].

2.3.5.3. Yüksek Oranda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar

İngiltere’de geliştirilen bu yöntem (high paste content rcc dam) ABD’ inde ilk olarak Upper Stillwater Barajı’nda uygulanmıştır. Bu karışımındaki çimento ve uçucu kül miktarı, uçucu kül oranı fazla olmak üzere 150 kg/m³’ten daha fazladır. Barajın memba ve mansap yüzeylerinin inşasında lazer kontrollü yatay kalıplar kullanılmaktadır. Bu yöntemde tüm SSB kütlesi su geçirimsiz bir eleman olarak ele alınmakta ve 30 cm’lik tabakalar arasında yatak harcı kullanılmaktadır. Bu betonun yüksek dayanım ve kohezyon özellikleri, baraj mansap yüzünün daha dik inşaatına ve baraj gövdesi hacminin azaltılmasına imkân tanımaktadır [14].

Yüksek bağlayıcı içeriğine sahip karışımlarla tasarlanan SSB projelerinde tabakalar arası derzlerde daha düşük geçirimsizlik değerleri ile karşılaşılmasına rağmen bu tabakalar daha karmaşık bir tasarım ve genelde daha yüksek birim maliyetlere sahip olmaktadır. Eğer karışım bağlayıcı içeriği yüksekse (Hızlı SSB serimi süresince çok fazla ısı oluşacaktır.) ısı analizler ve maksimum yerleşim sıcaklığı çok önemli olmakta ve ısı çatlama potansiyeli ve olasılığı yüksek olmaktadır. Bu durumda tasarımda ısı çatlamaya karşı düşey derzler arasındaki mesafe azalmakta bu da hem inşaat hızını azaltmakta hem de ilave maliyetler gerektirmektedir [10].

Tasarımın temel ilkesi, yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB baraj felsefesidir. Böylece tamamlanmış barajın performansı klasik beton barajdan oldukça daha iyi olmaktadır. Bu performansı göstermesi bu tip barajın ilk tasarım ilkesidir. Bütün yapı geçirimsiz olarak düşünülerek tasarlanmaktadır. Yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB barajların ikinci tasarım ilkesi, inşaat metodunun mümkün olduğu kadar basit ve hızlı olmasıdır. Bu iki kriterin başarılması için yapının bir bütün olarak (yapının enkesiti, dolusavağı, galerileri, karışım oranları gibi) ele alınması gerekmektedir [14].

Her baraj tasarımı, o baraj yerine ait özel durumlara bağı olacağından her baraj için farklı faktörler ile karşılaşmak mümkün olmaktadır. Enkesit tasarımı için belirli bir tanımlama yapmak bu nedenle doğru olmamaktadır. Genellikle Boggs ve Richardson, (1985) tarafından verilen grafiklerden yararlanarak mansap şevine karar verilmektedir. Bağlayıcı malzemenin maliyeti, arzu edilen kayma gerilmesi özellikleri (böylece daha dik mansap şevi), daha küçük hacim ve düşürülmüş taban genişliği arasında optimum dengenin kurulması ile en iyi çözüm aranmaktadır. Bu tip barajların enkesiti diğer SSB barajlar ile aynıdır. Bağlayıcı içeriği genellikle 150 kg/m^3 olarak alınmaktadır [16]. Eğer uçucu kül kullanılacaksa 50 kg/m^3 portland çimentosu ve 100 kg/m^3 uçucu kül kullanılması araştırmalar sonucu önerilmiştir [14].

2.3.5.4. RCD Barajlar

Japonya’da geliştirilen bu metot sayesinde beton yerleştirme hızı artmış ve beton barajlardaki maliyet önemli miktarda azalmıştır. Silindire sıkıştırma baraj (Roller Compacted Dam) metoduyla yapılan barajların bağlayıcı oranı yüksek karışımlarla yapılan barajlardan farkları vardır. RCD barajlarda tabaka kalınlıkları 50 cm ile 100 cm arasında değişirken bağlayıcı oranı yüksek SSB barajlarda tabaka kalınlıkları 30 cm olmaktadır. Tasarımda, geçirimsizlik, dayanım ve durabilite problemleri ön planda ele alınan parametrelerdendir. Bu metot, ABD’lerinde geliştirilen SSB yönteminden daha pahalı ve zaman açısından daha uzun sürede inşa edilmektedir [2].

Japonlar art arda serilen katmanların yerleştirme süresini 4 günle sınırlandırmışlardır. Bu sayede çimento hidratasyonundan gelecek ısı önlenir. Bunun için bir sonraki tabaka serilmeden önce tabaka yüzeylerine düzleme harcı sürülerek bütün tabaka yüzeylerinin soğuk derz gibi davranması sağlanır. Bu metotta, geçirimsizliği sağlamak için kalıp ve taze yerleştirilmiş silindire sıkıştırma baraj arasına klasik betondan yapılmış memba ve mansap kaplamaları yerleştirilir [1].

1981 yılında tamamlanan, $320\ 000 \text{ m}^3$ ’lük hacme ve 89 m’lik yüksekliğe sahip olan Shimajigawa Barajı, dünyanın RCD inşaat yöntemiyle yapılan ilk barajıdır. Bugün 1.50’den 2,0 milyon m^3 ’lük hacme ve 150 metreden fazla yüksekliğe sahip olan Miyagase ve Uryama Barajları inşa edilmiştir. 1995’in sonunda 20 baraj RCD tekniği ile inşa edilmiş ve 20 RCD tipteki baraj projesi de hazırlanmıştır (Nakagawa, 1996). Japonya’nın nüfusu gittikçe arttığından yeni enerji üretimlerine gereksinim olmuştur. Japon tasarımcılar geliştirdikleri bu baraj tipinden azami oranda yararlanma yoluna gitmişlerdir. 1985–1995 yılları arasında 300 yeni baraj inşa etmişlerdir. Bunların büyük bir çoğunluğu 30 m’ nin üzerindedir ve bu barajların çoğu beton ağırlık tiptedir. Tablo 2.8’da bazı inşa edilmiş RCD barajlar ve özellikleri verilmiştir [16].

Tablo 2.8 Japonya’da inşa edilen RCD Barajların bazı özellikleri

Barajın Adı	Yüksekliği (m)	Barajın Top. Hacmi (m ³)	C+FA (kg/m ³)
Shimajigawa (1980)	89	317 000	91+39=130
Shin-Nakona (1982)	75	11 300	84+36=120
Ohkawa (1984)	78	265 000	96+24=120
Tamagawa (1986)	100	1 154 000	91+39=130
Mano (1987)	69	219 000	96+24=120
Pirika (1988)	40	360 000	84+36=120
Shiromizugawa (1988)	55	315 000	96+24=120
Asahiogawa (1988)	84	361 000	96+24=120
Nunome (1988)	72	370 000	78+42=120
Dodairagawa 1990)	70	346 000	96+24=120
Kamuro (1991)	61	298 000	96+24=120
Sakaigawa (1991)	115	712 000	91+39=130
Asari (1992)	74	484 000	96+24=120
Ryumon (1991)	99,50	844 000	91+39=130
Gassan (1991)	125	1 450	91+39=130
Hattabara (1991)	85	500 000	84+36=120
Miyagasa (1994)	155	1 914 000	91+39=130

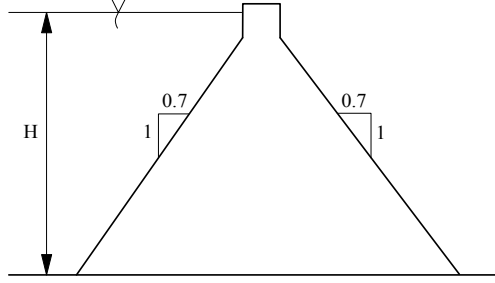
2.3.5.5. Katı Dolgu Baraj

Simetrik yüzlü katı dolgu barajların temel ilkeleri; simetrik bir enkesit, su geçirmez bir memba yüzeyi, baraj gövdesinde iç drenajın olmaması ve SSB’nin zayıf kullanımıdır. Zayıf bağlayıcı içeren bu tasarım “hardfill” diye isimlendirilmektedir. Katı dolgu barajların en önemli özellikleri, simetrik enkesit sebepleri ile beton ağırlık barajlarına nazaran bilhassa deprem şartlarında sağladığı üstün stabilite olup, gerek gövde içi gerekse taban gerilmelerinin daha düşük olması sebebiyle, beton ağırlık barajları için yeterli olmayan temel şartlarında, dolgu barajlara alternatif teşkil etmesidir. Taban gerilmesinin düşük oluşu, Hardfill betonundan istenilen mukavemetinde 4 ile 6 MPa gibi (emniyet katsayısının 3–4 olması halinde) çok küçük değerler alabileceğini gösterir [18].

100 m yüksekliğinde memba ve mansapta 0,7 yatay/1 düşey şevlere haiz bir FSHD barajın temelindeki gerilmeler bir KBA (Klasik Beton Ağırlık) baraj için verilen değerlerle kıyaslandığında fark açıkça görülmektedir. Baraj tabanındaki basınç mukavemeti, KBA barajlara göre daha az olmaktadır. 100 m yüksekliğindeki bir FSHD barajda maksimum basınç mukavemeti 1.50 MPa’dan daha düşüktür. Çekme gerilmeleri simetrik profilden dolayı oluşmamaktadır. Kayma gerilmesi çok düşüktür, kesinlikle kritik değerde olmamaktadır. Memba topuğunda 2,4 MPa yerine 1,4 MPa olmaktadır. Farklı kaldırma basınçları için değişen ϕ açısı klasik beton ağırlık barajlarda 28° ile 43° iken FSHD barajda bu değer 14° ile 22° olmaktadır. Katı dolgu barajın birim ağırlığı SSB’nun birim ağırlığından daha az olmaktadır. 0.4 MPa’lık önemsiz çekme gerilmeleri olabilmektedir. 0.2g ivmelik bir depremde hiç çekme gerilmeleri oluşmamaktadır. Bu kriter KBA barajlar için önemlidir [17].

FSHD baraj ile KBA arasındaki başka önemli bir farkta kayma gerilmeleridir. Ortalama kayma gerilmesi 0.63 MPa yerine 0.36 MPa olmaktadır. Bu nedenle düşük mukavemetli kaya temeller kabul edilebilir. Hatta temeller tektonik kayma düzlemleri içermesi durumunda gerekli temel işlemleri yapılarak FSHD baraj bu temeller üzerine inşa edilebilir. Bir kural olarak, FSHD 0,7 şevler ile bir klasik ağırlık barajdan emniyet bakımından daha iyi olmaktadır. Burada temel zayıf kaya

olabilir. Bu baraj tipi bir KBA baraj inşası temel şartlarından dolayı uygun olmadığı zaman inşa edilebilir. FSHD barajlarda yük temele üniform olarak yayıldığından bu durum özellikle düşük modüllü kaya temellerde önemli olmaktadır [17].



Şekil 2.17 Katı dolgu baraj enkesiti

Diğer taraftan, katı dolgu betonunda kullanılan malzemenin, fazla itina ile hazırlanmış bir agrega olmayışı sebebiyle, teminin nispeten ucuz ve kolay olması, katı dolgu betondan istenilen mukavemetin düşük oluşu, kullanılan bağlayıcıda sağlanan tasarruf, temel iyileştirmeleri de dikkate alındığında, yaklaşık iki misli malzeme kullanılmasına karşın, katı dolgu beton barajlar, ekonomik bakımdan da beton ağırlık barajı ile de yarışabilmektedir [18]. Katı dolgu barajında, betonun geçirimli olacağı baştan kabul edilmiş, SSB barajlarda olduğu gibi, geçirimsizliği sağlamak için tabakalar arasında harç kullanılması gibi bazı tedbirlerin alınması gerekli değildir. Buna mukabil katı dolgu betonu ile inşa edilen barajlarda, barajın memba yüzünde yüksek kaliteli bir betonarme betonu ya da plastik bir malzeme ile geçirimsizlik sağlanmış olmalıdır. Katı dolgu baraj tipi, kil malzemenin civarda bulunmaması veya değerli tarım arazisinin elden çıkması gibi hallerde veya taş ocağının uzak mesafede olması gibi durumlarda, dolgu tipi barajlara iyi bir alternatif teşkil etmektedir. FSHD barajın tip seçiminde tek tercih nedeni ekonomik olması değildir. Aynı zamanda temel gereksinimleri ve daha emniyetli olması da etkindir. Geoteknik açıdan kaya dolgu baraj inşa edilecek bir yerde, FSHD baraj da inşa edilebilir. 20’den fazla FSHD baraj inşa edilmiştir. Bunların yükseklikleri 20 ile 180 m arasında değişmektedir [17].

SSB ya da betonun üzerine yerleştirildiği kaya kütlelerinden deformasyon kabiliyeti daha azdır. Bu durumda baraj gövdesi daha fazla deformasyon kabiliyeti olan kaya kütlelerine kıyasla daha rijit davranış içinde olmaktadır. Bu da yapısal gerilmelerde artış ve çatlak gelişimine yol açabilmektedir. Bundan dolayı elastisite modülü düşük malzemenin baraj gövdesinde kullanımı avantaj sağlayacaktır. Katı dolguda elastisite modülünün düşük olması ve tasarımda SYSDB (simetrik yüzlü katı dolgu baraj) kullanılması yüksek geçirimsizlik sağlaması ile de avantajlıdır. Katı dolguda elastisite modülü büyük çapta kullanılan agreganın rijitliğine, agrega granülometrisine ve ince madde oranına bağlıdır. Katı dolgu elastisite modülü genellikle 10 GPa’nın oldukça altında gerçekleşmektedir [19].

- **Karışım Tasarımı**

Katı dolgu (düşük bağlayıcı SSB) karışım elemanları miktarı tayini tasarımında çimento, agrega ve su kullanılmaktadır. Bazı durumlarda puzolan ve katkı maddesi de kullanılabilir. Katı dolguda düşük çimento dozajı temel prensip olup 100 m yüksekliğindeki bir katı dolgu baraj için basınç dayanımının (3 ile 4 emniyet faktörü ile çalışıldığında bile) 4 ile 6 MPa arasında olmasının yeterli olması ve birçok araştırmanın 50 kg/m³ çimento dozajı kullanımı 90 günde 5 MPa basınç dayanımına ulaşabileceğini göstermesi genellikle 50 kg/m³ ile 75 kg/m³ çimento dozajı ile çalışılabilirliği mümkün kılmaktadır. Ancak barajın bazı kısımlarında veya kullanılacak agreganın zayıf nitelikte olması durumunda daha yüksek çimento dozajı kullanılabilir. Puzolanlar yüksek oranda bağlayıcı kullanımı gerektiğinde ve ekonomik olarak temin edilebildiği takdirde dikkate alınmaktadır. Puzolan kullanıldığında optimum dozaj projeden projeye değişiklik arz etmektedir. Bazı durumlarda, taş unu ve silt kullanımı puzolan benzeri etki gösterebilmektedir. Bazen de çimentonun kütlece yarısının puzolan ile ikame edilmesi durumunda bağlayıcı olarak sadece çimento kullanımı sonucu ulaşılabilecek dayanım ile aşağı yukarı aynı değerin elde edilebileceği saptanmıştır. Puzolan kullanımı ile uzun vadede dayanım değerlerinin daha üst seviyelere çıkartılabilmesi ve hidrasyon ısının düşürülmesi gibi sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, optimum puzolan çimento oranı ve toplam bağlayıcı (çimento+puzolan) miktarı her proje için ayrı ayrı tecrübe edilmelidir. Karışım elemanları miktarı tayini çalışmalarında ilk adım agrega gradasyonunun en ekonomik şekilde ve SSB için tavsiye edilen alt ve üst limitler arasındaki geniş bant içerisinde elde edilebilmesidir. SSB 'da tavsiye edilen iri agrega gradasyonu (Tablo 2.9), ve ince agrega gradasyon limitlerine (Tablo 2.10) katı dolgu karışım oranlarında da mümkün mertebe uyulmalıdır [19].

Ancak katı dolgu karışımlarında agrega granümetrisi açısından daha esnek kriterler olması nedeniyle gerektiğinde tuvenan gradasyon bandı daha geniş tutulabilmektedir. Agrega kaynağının herhangi bir alüvyon malzeme ya da agrega (zayıf nitelikli de olsa) elde edilebilecek bir taş ocağı olabilmesi ve agrega granülometrisinde geniş bir bant kullanılabilmesinin gradasyon düzeltmesini çoğu zaman gereksiz kılması ekonomiyi beraberinde getirmektedir [19].

Tablo 2.9 İdeal iri agrega gradasyonu [19]

	Toplamalı Elekten Geçen, %	
	4,75 – 75 mm	4,75 – 50 mm
Elek Göz Açıklığı	(#4 - 3")	(#4 - 3")
75 mm (3")	100	
63 mm (2-1/2")	88	
50 mm (2")	76	100
37,5 mm (1-1/2")	61	81
25 mm (1")	44	58
19 mm (3/4")	33	44
12,5 mm (1/2")	21	28
9,5 mm (3/8")	14	15
4,75 mm (#4 ")	-	-

Tablo 2.10 İdeal ince agrega gradasyonu [19]

Elek Göz Açıklığı	Toplamalı Elekten Geçen, %
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (#4)	95–100
2,36 mm (#8)	75–95
1,18 mm (#16)	55–80
600 µm (#30)	35–60
300 µm (#50)	24–40
150 µm (#100)	12–28
75 µm (#200)	6–18
İncelik Modülü	2,10–2,75

Agrega gradasyonu en ekonomik şekilde belirlendikten sonra, kullanılabilecek en yüksek çimento dozajını da içerisine alacak şekilde değişik eşdeğer çimento dozajları kullanılarak deneme karışımları hazırlanmaktadır. Deneme karışımlarında eşdeğer çimento dozajı genellikle 45, 60, 75, 90 ve 30 veya 120 kg/m³ kapsayacak şekilde alınmaktadır. Bu karışımlar sonucu 38 mm elekten ıslak eleme suretiyle hazırlanacak numunelerde 1 yıllık basınç dayanımları genellikle 7,0 MPa'dan küçük değerlerden 17,0 MPa'dan büyük değerlere kadar uzanabilmektedir. Her eşdeğer çimento dozajında hazırlanan karışımdan üç adet numune basınç dayanımı deneyine tabi tutularak 3, 7, 14, 28, 56, 90, 180, 365 günlük değerler elde edilmesi planlanabilir. Bu şekilde ilk 28 güne kadar elde edilen basınç dayanımı değerleri kullanılarak daha sonraki yaşlarda katı dolgu dayanımının ulaşabileceği dayanım değeri grafiksel yaklaşım yöntem ile tahmin edilebilmektedir. Bu değerlerden hareketle öntasarım çalışmaları ve maliyet analizi rahatlıkla yapılabilmektedir [19].

Taze katı dolgu, çimento ile harmanlanmış zemin görüntüsünde olup bu şekli ile normal betondan farklılık arz etmektedir. Karışımda kullanılan karma suyu miktarı Ve-be süresi 15 saniyeden az ve 30 saniyeden fazla olmayacak şekilde ayarlanmaktadır. 15 saniyeden az Ve-be süresi vibrasyonlu silindir saplanmasına 30 saniyeden büyük Ve-be süresi ise sıkıştırma işleminin tam anlamıyla yapılamamasına neden olmaktadır [19].

2.3.6. SSB Baraj türlerinin Dayandığı İki Tasarım Yaklaşımı

2.3.6.1. Gövdenin Tümüyle Geçirimsiz Olduğu Sistem (Beton Yaklaşımı)

Yüksek bağlayıcı oranlı SSB baraj metodu ve Japon silindirle sıkıştırma baraj metodunu içerir. Beton yaklaşımı gövdenin tamamıyla geçirimsiz tasarlandığı sistemdir. Bu sistemde yüksek bağlayıcı kullanılarak derzlerde daha düşük geçirimsizlik elde edilir. Yüksek bağlayıcı içeriğine sahip karışımlarla tasarlanan SSB projelerinde tabakalar arası derzlerde daha düşük geçirimsizlik değerleri ile karşılaşılmasına rağmen bu barajlar daha karmaşık bir tasarım ve genelde daha yüksek birim maliyetlere sahip olmaktadır. Eğer karışımda bağlayıcı içeriği yüksekse (Hızlı SSB serimi süresince çok fazla ısı oluşacaktır.) ısı analizler ve maksimum yerleşim sıcaklığı önemli olmakta ve ısı çatlama

potansiyeli ve olasılığı yüksek olmaktadır. Bu durumda tasarımda ısıl çatlamaya karşı düşey derzler arasındaki mesafe azalmakta ve bu da hem inşa hızını azaltmakta hem de ilave maliyetler getirmektedir [10].

Yüksek bağlayıcı içeriğine sahip beton karışım tasarımının kullanımı daha karmaşık bir inşaata (SSB barajlarda tarsiimin ve inşaatın basitleştirilmesi oldukça önemlidir.), betonun karıştırılmasında ve yerleşiminde çok sıkı (katı) ısı kontrol yöntemlerinin uygulanmasına, yatay tabaka derzlerindeki sıcaklıkların kontrolü için çok sıkı teknik şartnamelere ve geçirimsizliğin sağlanması için devamlı ve pahalı iyileştirme çalışmalarının yapılmasına (özellikle soğuk derzle karşılaşılması durumunda) yol açmaktadır [10].

2.3.6.2. Memba Yüzü Geçirimsiz Olan Sistem (Zemin Yaklaşımı)

Bu yaklaşım düşük bağlayıcılı SSB baraj metodunu içerir.

Bu kavram ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda uygulanan “Geçirimli Dolgu Geçirimsiz Önyüz” felsefesi ile benzerlik göstermektedir [10].

Bu yaklaşımla tasarlanan barajların dolgu hacimleri yüksek bağlayıcılı barajlardan daha büyüktür. Hacim artış oranları ağırlık barajlara kıyasla 1,45–1,75 aralığında değişmektedir. Barajın yüksekliğinin artmasıyla ön yüz maliyetinin azaldığı bir gerçektir. Bu hacim artışına rağmen, düşük dozlu karışımlarla çalışmak, yükleniciyi birçok konuda rahatlatmaktadır. Bu konuların başında agregadaki incelerin kontrolü, SSB yerleşim sıcaklıkları, tabaka derzlerindeki iyileştirme çalışmaları, yastık betonları ve enine (düşey) derzler gelmektedir. Düşük bağlayıcı içeriğine sahip karışımlarda engellenmiş (tutulmuş) ısı büzülme sonucu oluşan ısı gerilmeler büyük oranda azalmaktadır [10].

Sonuç olarak SSB baraj gövdesinin çekme dayanımı gereksinimi oldukça azalmakta ve çimento içeriği de düşmektedir. Bu daha az rijit bir beton, daha düşük çimento dozajı, barajın kabul edilebilir güvenlik sayıları ile fonksiyonlarını gerektiğinden daha emniyetli taşıması anlamlarına gelmektedir. Bu yaklaşım ile beton yaklaşımının karşılaştırılması Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11 Silindirle sıkıştırma beton baraj yaklaşımları [10]

Tasarım Konusu	Düşük bağlayıcı+Önyüz geçirimsiz	Yüksek bağlayıcı içeriği ve tüm gövde geçirimsiz
Çimento içeriği	Genellikle 90 kg/m ³ altında	120 kg/m ³ üzerinde
Yastık betonları	Katı bir şekilde gerekli değil	Gerekli
Düşey su tutucuları	Minimum	Gerekli
Ön yüz drenaj sistemi	Sistemin içinde var	Sağlanmamış
Sismik etkiler altında geçirimsizlik	Geçirimsizlik sistemi ile güvence altında	Sağlanmamış
Termal çatlakların olması durumunda geçirimsizlik	Ön yüz ile güvence altında	Güvence altında değil
Yatay derzlerdeki kaldırma basınçlarının kontrolü	Ön yüz drenajı ile sağlanmış	Sağlanmış değil
Daha düşük kalitede beton agregası kullanma olasılığı	Kullanılabilir	Kullanılamaz
SSB yerleşimi sırasında beton sıcaklığının hassas olarak kontrolüne olan ihtiyaç	Çok az	Yüksek
Memba yüzünde geçirimsizliği arttırmak için çimento ile zenginleştirilmiş SSB betonu kullanımı	Gereksiz	Genellikle kullanılıyor
Gelecekte rutin veya ekstra bakım maliyetleri	Gerekli değil	Çatlaklara karşı genelde gerekli. Genellikle üretim kaybı ve su altındaki işçiliklerinden dolayı oldukça pahalı
Düşey drenler	Gerekli değil	Gerekli

2.4. Ağırlık Barajlarda Yapılan Stabilite Tahkikleri

2.4.1. Kayma Tahkiki

Bir barajın kaymasına yatay kuvvetler neden olmaktadır. Kaymaya karşı direncini ise kayma yüzeyindeki sürtünme ile kesme kuvveti sağlar.

$$\begin{aligned}
 \text{Kaymaya karşı güvenlik fak.} &= \frac{\text{kaydırmaya karşı koruyucu kuvvetler toplamı}}{\text{kaydırıcı kuvvetler toplamı}} \\
 &= \frac{(\text{taban sürtünme katsayısı})(\sum V - U)}{\sum H}
 \end{aligned}$$

2.4.2. Devrilme Tahkiki

Baraj etkiyen kuvvetlerin etkisiyle devrilebilir. Bu nedenle beton ağırlık barajlarda devrilme tahkiki yapılmaktadır.

$$\text{Dönme karşı güvenlik fak.} = \frac{\text{toplam koruyucu moment}}{\text{toplam devirici moment}}$$

Bu değer barajın emniyet durumuna göre değişmektedir. Eğer barajın yıkılması mal ve can kaybına neden olarsa bu değer 2.50–3.0 veya daha fazla alınmaktadır. Eğer can kaybı ihtimali yoksa ve barajın yıkılması halinde maddi kayıp az ise o zaman bu değer 1.25–1.50 arasında alınabilmektedir. Devrilme tahkiki için bir beton baraja etkiyen tüm kuvvetlerin dikkate alınması gerekmektedir.

2.4.3. Gerilme Tahkiki

Yatay düzlemlerde normal gerilmelerin memba yüzünden mansap yüzüne doğru lineer bir dağılım gösterdiği kabul edilerek yatay düzlemin uçlarındaki gerilmeler;

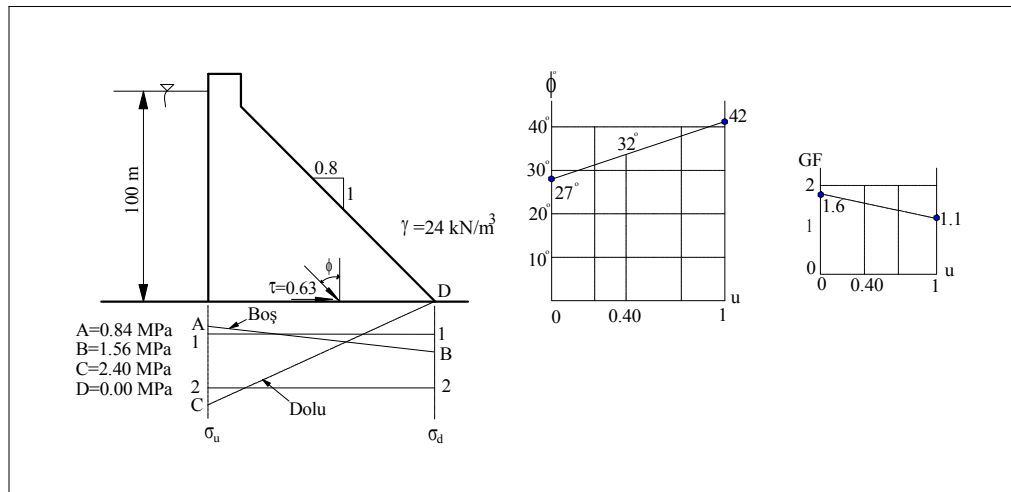
$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M_y x}{I_y} \pm \frac{M_x y}{I_x} \quad (2.17)$$

formülü ile bulunmaktadır.

2.4.4. Klasik Beton Ağırlık Barajlarda Statik Analiz

Klasik beton ağırlık barajlarda statik stabilite analizi SAP 2000, ANSYS gibi sonlu elemanlar metoduna dayalı programlar kullanılarak lineer ve non lineer analiz yapılabilmektedir. Şekil 2.18’de 100 m yüksekliğindeki bir klasik beton ağırlık baraja ait statik analiz sonuçları verilmiştir [17].

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak beton barajlarda statik ve dinamik analiz için başarılı ve gerçekçi sonuç almak mümkündür. Rezervuarın boş ve dolu olduğu durumlar için ayrı ayrı analiz yapılmalıdır. Barajın tabanında betonda direkt normal gerilmelerin temele aktarıldığı kabul edilmektedir. Tipik olarak değişik malzemelerden ibaret temellerin emniyet gerilmeleri Tablo 2.12’de verilmiştir. 1MPa $\approx$ 10 kgf/cm² dir.



Şekil 2.18 Klasik beton ağırlık barajlarda statik analiz

Tablo 2.12 Temel malzemeleri için müsaade edilebilir basınç gerilmeleri [20]

Malzeme	İzin verilen gerilme kN/m ²
Granit	4000 – 6000
Kireçtaşı	2500 – 5000
Kumtaşı	2500 – 4000
Çakıl	250 – 500
Kum	150 – 400
Sağlam kil	250 – 300
Yumuşak kil	50 – 100

3. KATI DOLGU BARAJLARIN LİNEER STATİK ANALİZİ

Bu çalışmada, katı dolgu barajların lineer elastik statik analizleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Çözümler için SAP2000 paket programı kullanılmıştır. Baraj gövdesi ve barajın oturduğu temel, lineer elastik sonlu elemanlara modellenmiş olup her iki ortam için de iki boyutlu düzlem şekil değiştirme özelliğine sahip dörtgen elemanlar kullanılmıştır.

3.1. İzoparametrik Elemanlar

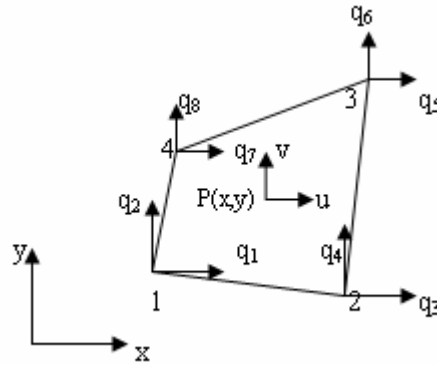
Baraj ve temel ortamları için dört düğümlü izoparametrik elemanlar kullanıldığından bu elemanların temel denklemleri incelenmiştir [21]. Dörtgen izoparametrik sonlu elemanın genel bir görünüşü Şekil 3.1’ de verilmiş olup i düğüm noktasını göstermek üzere her bir düğüm noktasının koordinatları x_i, y_i ’dir. Düğüm noktasının yer değiştirme vektörü,

$$\{q\} = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8]^T \quad (3.1)$$

olarak ifade edilmektedir. Eleman içindeki P noktasının yer değiştirmeleri ise,

$$\{u\} = [u(x,y), v(x,y)]^T \quad (3.2)$$

olarak dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.1 Dörtgen izoparametrik sonlu eleman

Eleman şekil fonksiyonları, eleman lokal koordinat eksen takımı üzerinden elde edilmektedir. Eleman lokal koordinat eksenleri (r,s) ile ifade edilirse ve N_i i nci düğüm noktasına ait şekil fonksiyonunu göstermek üzere,

$$\begin{aligned}
N_1 &= \frac{1}{4}(1-r)(1-s), & N_2 &= \frac{1}{4}(1+r)(1-s) \\
N_3 &= \frac{1}{4}(1+r)(1+s), & N_4 &= \frac{1}{4}(1-r)(1+s)
\end{aligned} \tag{3.3}$$

olarak ifade edilmektedir. Şekil fonksiyonlarını aynı zamanda,

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + r_i)(1 + s_i) \tag{3.4}$$

sıkıştırılmış formda ifade edilebilir. Eleman içinde herhangi bir noktasının yer değiştirmeleri şekil fonksiyonları yardımıyla,

$$\begin{aligned}
u &= N_1q_1 + N_2q_3 + N_3q_5 + N_4q_7 \\
v &= N_1q_2 + N_2q_4 + N_3q_6 + N_4q_8
\end{aligned} \tag{3.5}$$

ifade edilebilir. Eşitlik (3.6) matris formunda,

$$\{u\} = [N]\{q\} \tag{3.6}$$

yazılabilir. Burada $[N]$ şekil fonksiyonları matrisi olup,

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

şeklindedir. İzoparametrik formülasyonda eleman düğüm noktası koordinatları aynı şekil fonksiyonları ile gösterilebileceğinden, düzlemdeki bir eleman içindeki herhangi bir noktanın x ve y koordinatları,

$$\begin{aligned}
x &= N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \\
y &= N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4
\end{aligned} \tag{3.8}$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikler yardımıyla gerilmeler ile şekil değiştirmeler arasındaki bağıntıların elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, r ve s eleman lokal koordinat eksen takımında tanımlanan şekil fonksiyonlarının x ve y koordinatlarındaki türevlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Herhangi bir $f = f[x(r,s), y(r,s)]$ fonksiyonuna zincir kuralı uygulanırsa,

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r}, \quad \frac{\partial f}{\partial s} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (3.9)$$

ifadeleri elde edilir. Bu eşitlikler matris notasyonunda,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial r} \\ \frac{\partial f}{\partial s} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

olarak yazılabilir. Burada J jakobiye matrisini ifade etmekte olup,

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

şeklindedir. Denklem (3.10), (3.6) denklemi için kullanılırsa J jakobiye matrisi,

$$[J] = \begin{bmatrix} -(1-s)x_1 + (1+s)x_2 + (1+s)x_3 - (1+s)x_4 & -(1-s)y_1 + (1+s)y_2 + (1+s)y_3 - (1+s)y_4 \\ -(1-r)x_1 - (1+r)x_2 + (1+r)x_3 + (1-r)x_4 & -(1-r)y_1 - (1+r)y_2 + (1+r)y_3 + (1-r)y_4 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

olarak yazılabilir. Jakobiye matrisi kısaltılmış formda,

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

ifade edilebilir. f fonksiyonu yerine şekil fonksiyonları yazılırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} = J \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

eşitliği elde edilir. Bu denklemde x ve y ’ye göre türevin elde edilmesi gerektiğinden (3.14) eşitliği,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

olarak yazılır. Buradan Jakobiyan matrisinin tersi için,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

eşitliği elde edilebilir.

Düzlem Gerilme Dörtgen Elemanın Rijitlik Matrisi

Eleman rijitlik matrisinin elde edilmesinde minimum enerji prensibi kullanılırsa elemanın elastik enerjisi,

$$U = \int_V \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dV \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Kalınlık sabit alınır ve eleman boyutunda elastik enerji yazılırsa,

$$U = \sum_e t_e \int_e \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dA \quad (3.18)$$

eşitliği elde edilir. Şekil değiştirme–yer değiştirme arasındaki bağıntı ise,

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (3.10)’ da verilen f yerine u alınıp (3.16) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.20a)$$

eşitliği elde edilir. Aynı şekilde v yer değiştirme büyüklüğü için,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.20b)$$

ifadesi yazılabilir. (3.20a-b) eşitliği (3.19) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\varepsilon = [A] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

eşitliği elde edilir. Burada $[A]$ bir matris olup,

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

şeklindedir. Bu durumda yer değiştirmelerle şekil değiştirmeler arasında,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} = [G] \{q\} \quad (3.23)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $[G]$ matrisi,

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) & 0 \\ -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) & 0 \\ 0 & -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & (1+s) \\ 0 & -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

şeklindedir. Denklem (3.22) ve (3.24) kullanılarak şekil değiştirme ve yer değiştirmeler arasındaki matris,

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\} \quad (3.25)$$

olarak elde edilebilir. Buradaki $[B]$ matrisi,

$$[B] = [A][G] \quad (3.26)$$

şeklinde olup Aynı zamanda gerilme ve şekil değiştirmeler arasında,

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (3.27)$$

eşitliği vardır. Denklem (3.25), (3.27) eşitliğinde bulunan şekil değiştirme vektörü $\{\varepsilon\}$ yerine yazılırsa,

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \quad (3.28)$$

eşitliği elde edilir. Burada, $[D]$ matrisi gerilme-şekil değiştirme arasındaki matris olup düzlem şekil değiştirme durumu için,

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} -1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

olarak yazılabilir. Denklem (3.25) ve (3.28) denklem (3.18)'de yerine yazıldığında elastik eleman şekil değiştirme enerjisi ifadesi,

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T \left[t \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] \det J \, dr \, ds \right] \{q\} \quad (3.30)$$

elde edilir. Bu ifade daha basit bir ifadeyle,

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T [k]_e \{q\} \quad (3.31)$$

yazılabilir. Burada $[k]_e$ eleman rijitlik matrisini ifade etmekte olup (8x8) boyutundadır. $[B]$ ve $[J]$ matrisleri r ve s lokal eksen koordinatlarına bağlı olduklarından integraller nümerik olarak elde edilecektir. Eleman rijitlik matrisleri global rijitlik matrisinde yerine yazılırsa,

$$[k]_{Glo} = \sum_{i=1}^n [k_e]_i \quad (3.32)$$

baraj-temel sisteminin global rijitlik matrisi elde edilir. Burada n eleman sayısı göstermektedir. Elastik enerjinin minimum olma şartı kullanılarak (3.32) eşitliği,

$$[k]_{Glo} \{u\}_{Glo} = \{f\}_{Glo} \quad (3.33)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\{f_e\}_{Glo}$ global yük vektörü olup,

$$[f_e]_{Glo} = \sum_{i=1}^n \{f_e\}_i \quad (3.34)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada yer değiştirme vektörü lineer denklem takımı çözüm algoritmasıyla hesaplanabilir. Her bir eleman için gerilme vektörleri,

$$\{\sigma\}_e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [D][B]\{u\}_e \quad (3.35)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Burada $\{u\}_e$ eleman yer değiştirme vektörüdür.

3.2. Katı Dolgu Barajın Lineer Elastik Statik Analizi

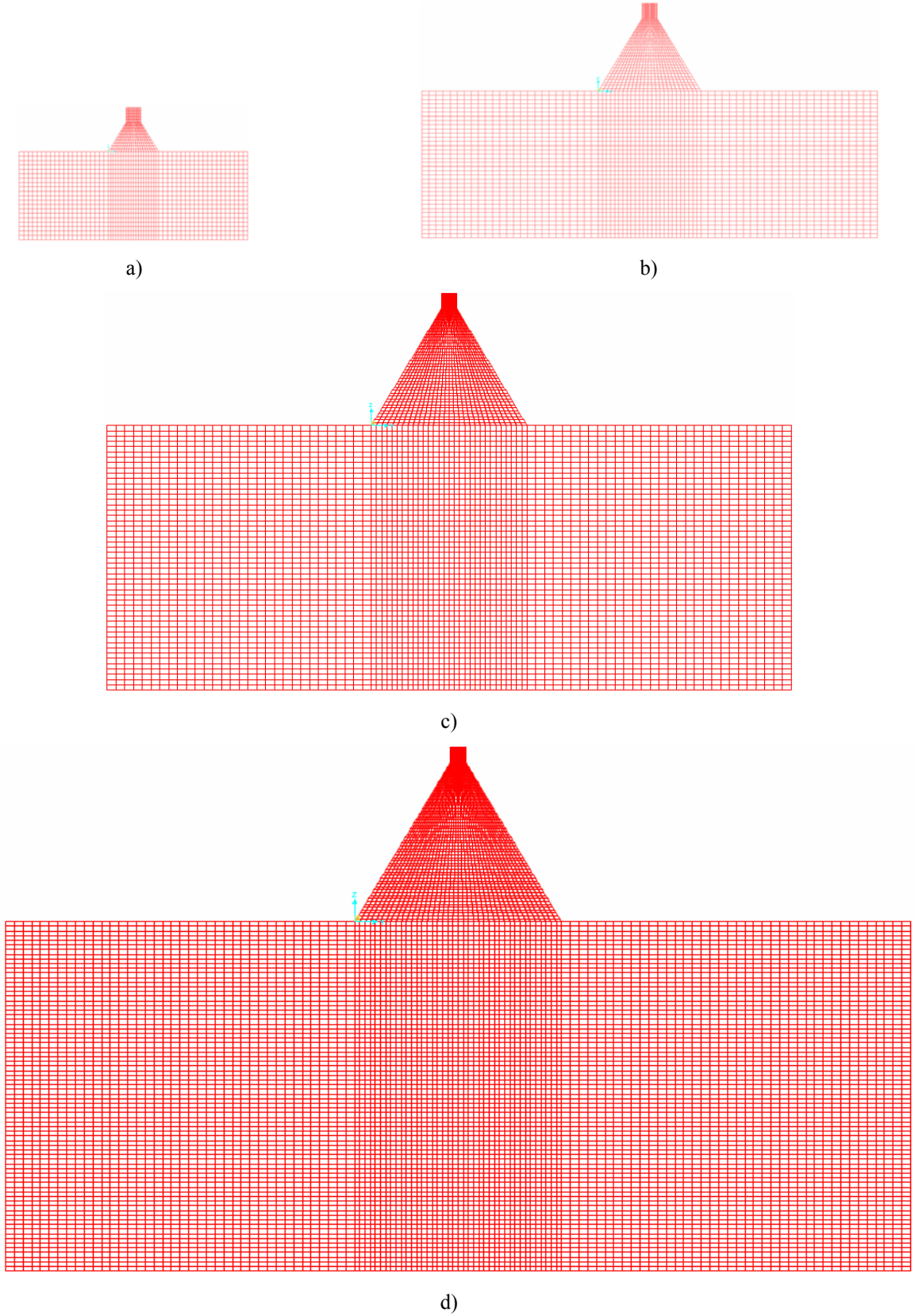
Katı dolgu barajlarda doluluk oranının, temel in elatisite modülünün etkisini ve memba ve mansap yüzeyleri şevlerinin etkisini incelemek amacıyla hem memba hem de mansap yüzeyi simetrik olan tipik bir katı dolgu baraj seçilmiştir. Çözümlerde baraj yüksekliğinin etkisini irdelemek amacıyla baraj yüksekliği 30, 60, 90 ve 120 m seçilmiştir. Temel ortamı lineer elastik olarak kabul edilmiş ve baraj yüksekliğine bağlı olarak temel sonlu eleman modeli teşkil edilmiştir.

Temel ortamı sonlu elemanlar ile modellenirken, temelin boyutları, sınır koşullarının etkisini azaltmak için, barajın memba ve mansap topuklarından itibaren baraj yüksekliğinin 2 katı kadar ve baraj ayırma yüzeyinden de yine baraj yüksekliğinin 2 katı kadar derinlikte seçilmiştir. Temel sonlu eleman ortamında en uzak sınır düğüm noktaları tutulu kabul edilmiştir.

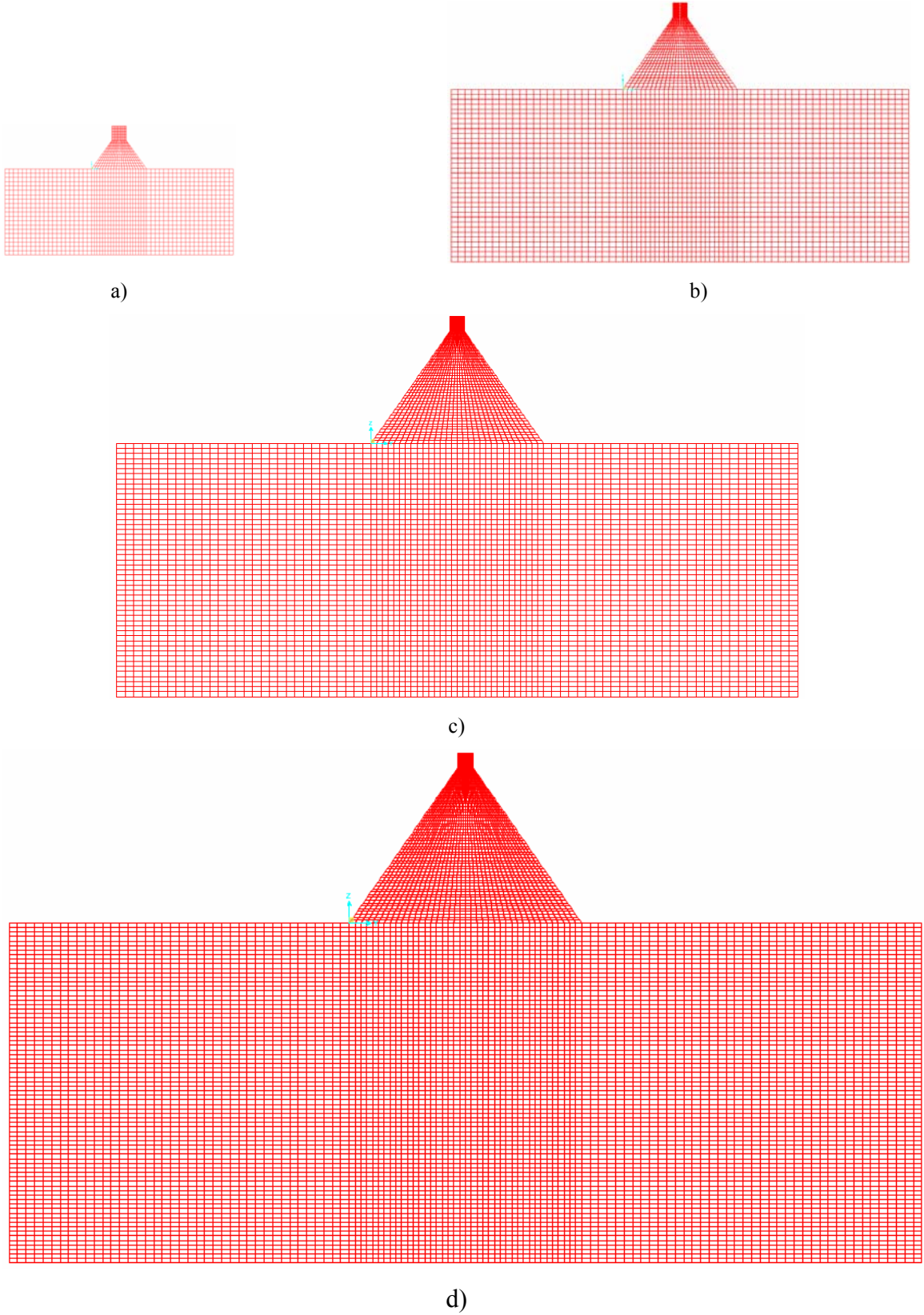
Rezervuar ortamının doluluk oranı için, rezervuarın boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları dikkate alınmış olup hidrostatik yükler barajın memba yüzeyine düğüm noktası tekil yükleri olarak etki ettirilmiştir. Sonlu eleman ağ sistemi sadece baraj ve temel ortamlarından teşkil edilmiştir.

Baraj yüksekliğinin 30, 60, 90 ve 120 m olması durumları için baraj ve temel ortamlarında sırasıyla, toplam 1596, 3516, 6036 ve 11656 düğüm noktası ve 1500, 3375, 5850 ve 11400 iki boyutlu dörtgen izoparametrik düzlem şekil değiştirme elemanı kullanılmıştır.

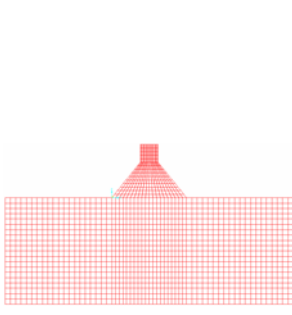
Katı dolgu barajlarda şevlerin etkisini incelemek amacıyla (0.6y/1.0d), (0.7y/1.0d), (0.8y/1.0d) değerlerine sahip üç farklı şev seçilmiştir. Sonuçların uygun bir şekilde yorumlana bilmesi amacıyla, bu şevlere sahip barajlarda sadece memba ve mansap yüzeylerine ait eğimler değiştiği için sonlu eleman ağ yapısında sadece geometrik bir değişim elde edilmiş düğüm noktası ve eleman sayısında bir değişim yapılmamıştır. Barajın kret genişliği tüm baraj-temel sonlu eleman ağ sistemlerinde 10 m alınmıştır. Baraj-temel sonlu eleman ağ sistemleri şev eğimleri (0.6y/1.0d), (0.7y/1.0d) ve (0.8y/1.0d) olması için Şekil 3.2–3.4’te görülmektedir.



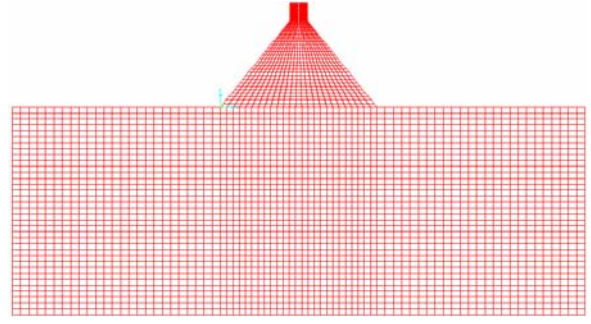
Şekil 3.2 Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.6y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri



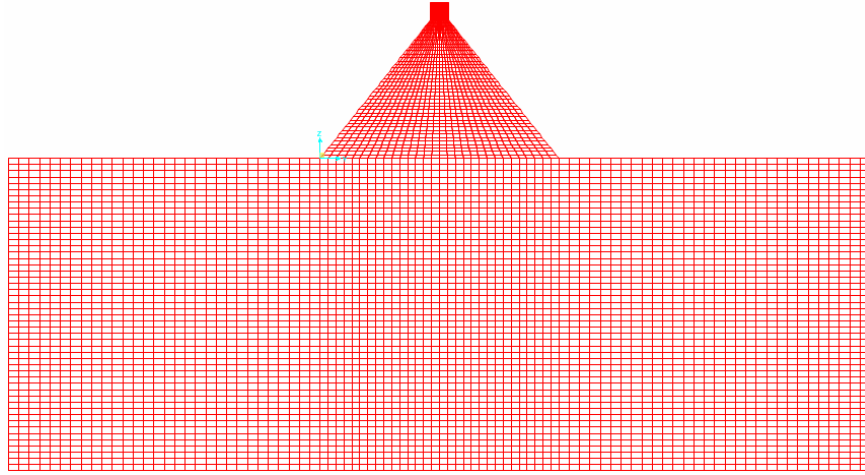
Şekil 3.3. Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.7y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri



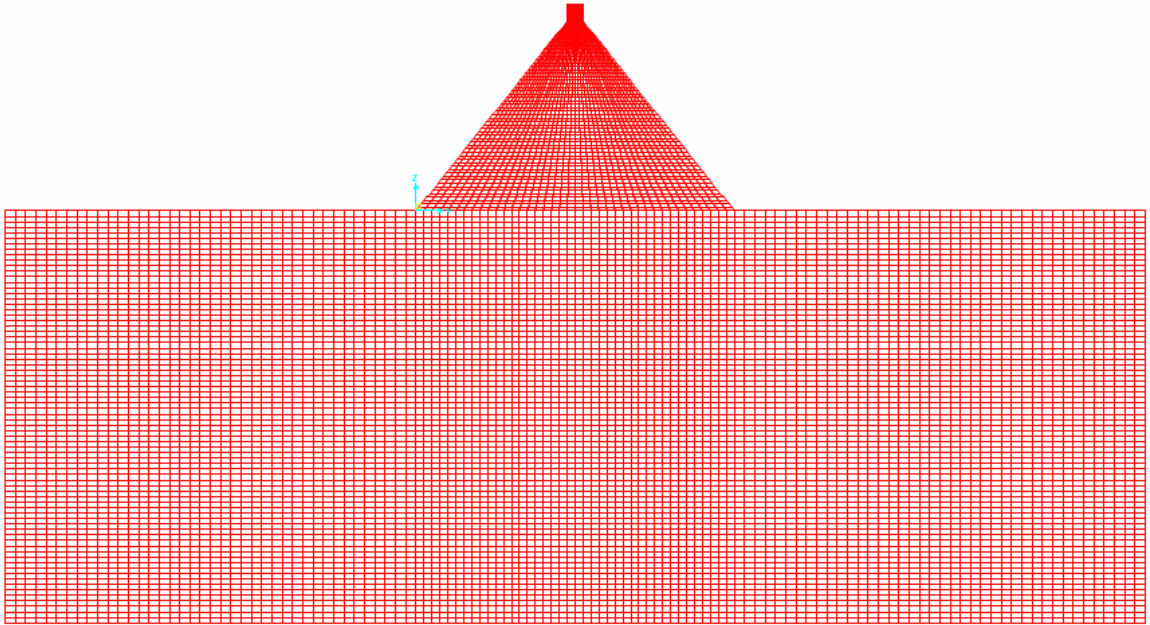
a)



b)



c)



d)

Şekil 3.4 Katı dolgu barajın memba ve mansap yüzeyi şev eğimi (0.8y/1.0d) olması halinde baraj yüksekliğinin a) 30 m, b) 60 m, c) 90 m ve d) 120 m olması durumları için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri

Bu çalışmada zayıf temeller üzerine inşa edilmiş katı-dolgu barajların statik yükler altında lineer elastik davranışları incelenmiştir. Temel malzeme özellikleri barajın inşa edildiği bölgeden bölgeye değiştiği için temel ortamının dayanımı barajın elastisite modülüne bağlı olarak hesaba katılmıştır. Bu amaçla, temel ortamının dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmış olup sonuçlar E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için elde edilmiştir. Çözümlerin her bir katı-dolgu baraj modeli için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilme değerleri elde edilmiştir. Söz konusu değerlerin maksimumları dikkate alınarak dört farklı eşitlik elde edilmiştir.

Çözümler barajın kendi ağırlığı ve hidrostatik su yükü dikkate alınarak, baraj rezervuarının boş, yarı dolu ve tam dolu halleri için her bir durum için statik analiz sonuçları elde edilmiş olup, sonuçlar sırasıyla baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyindeki maksimum, minimum asal gerilme değerleri için irdelenmiştir. Barajın elastisite modülü 10.00 GPa seçilmiş olup birim hacim ağırlığı, $\gamma_b = 23.0 \text{ kN/m}^3$ ve poisson oranı, $\nu_b = 0.2$ olarak seçilmiştir. Temelin dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmış olup sonuçlar E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için elde edilmiştir. Temelin elastisite modülü bu oranlar karşılığında 1.25, 2.50, 5.00 ve 10.00 GPa olarak hesaba katılmıştır. Temel ortamı hesaplarda kütlesiz olarak dikkate alınmış olup poisson oranı ise $\nu_t = 0.2$ olarak seçilmiştir.

3.2.1 Katı dolgu baraj yüksekliğinin (H_b) 30 m olması durumu

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.10 ve 0.76 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.01, -2.06 ve -2.13 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.0725 ve 0.616 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.05, -2.10 ve -2.21 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.055 ve 0.51 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.09, -2.15 ve -2.28 cm olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışı ile yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı

düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalığa sebep olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.01, -1.09, -0.63 ve -0.39 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.10, 0.05, 0.03 ve 0.01 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.06, -1.12, -0.64 ve -0.40 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.76, 0.42, 0.25 ve 0.17 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.13, -1.15, -0.65 ve -0.40 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.05, -1.11, -0.64 ve -0.40 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.073, 0.036, 0.019 ve 0.010 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.10, -1.14, -0.65 ve -0.40 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.62, 0.34, 0.21 ve 0.14 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.21, -1.19, -0.68 ve -0.41 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir (Tablo 3.1).

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, -0.0005, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.09, -1.14, -0.65 ve -0.40 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0558, 0.0271, 0.0136 ve 0.0071 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -2.15, -1.17, -0.67 ve -0.41 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.510, 0.284, 0.171 ve 0.115 cm düşey yer değiştirme değerleri ise

sırasıyla, -2.28, -1.23, -0.70 ve -0.42 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümlerden temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalığa sebep olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şevin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.136, 0.092, 0.055 MPa ve -1.863, -1.963, -2.518 MPa dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.358, 0.282, 0.253 MPa ve -3.364, -3.520, -4.461 MPa olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmuştur.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şevin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.167 MPa, 0.124 MPa, 0.084 MPa ve -1.767 MPa, -1.857 MPa, -2.347 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.413 MPa, 0.337 MPa, 0.282 MPa ve -3.175 MPa, -3.323 MPa, -4.144 MPa'dır. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.193 MPa, 0.150 MPa, 0.108 MPa ve -1.670 MPa, -1.752 MPa, -2.190 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.459 MPa, 0.384 MPa, 0.327 MPa ve -2.986 MPa, -3.158 MPa, -3.856 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine; minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyümesine; minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalmasına) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.136, 0.023, -0.080 ve -0.165 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.863, -1.545, -1.231 ve -0.947 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.358, 0.135, 0.075 ve 0.046 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.364, -2.636, -1.933 ve -1.332 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın yarı dolu

olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.092, -0.014, -0.110 ve -0.181 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -1.963, -1.644, -1.317 ve -1.017 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.282 , 0.132, 0.087 ve 0.046 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.520, -2.787, -2.056 ve -1.420 MPa'dır. Bunun yanı sıra, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.055, -0.055, -0.151 ve -0.134 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.518, -2.157, -1.766 ve -1.392 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.253, 0.208, 0.138 ve 0.069 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.461, -3.624, -2.732 ve -1.921 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 değerleri için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.167, 0.042, -0.068 ve -0.146 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.767, -1.446, -1.133 ve -0.853 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.413, 0.165, 0.055 ve 0.054 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.175, -2.443, -1.751 ve -1.1170 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.124, -0.006, -0.098 ve -0.159 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.857, -1.533, -1.207 ve -0.911 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.337, 0.108, 0.062 ve 0.054 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.323, -2.578, -1.857 ve -1.242 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.084, -0.043, -0.140 ve -0.131 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.347, -1.981, -1.592 ve -1.226 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.282, 0.158, 0.100 ve 0.064 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.144, -3.305, -2.430 ve -1.652 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla, rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme

değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 30 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d için E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın boş olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.193, 0.056, -0.061 ve -0.121 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.670, -1.350, -1.040 ve -0.765 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.459, 0.189, 0.064 ve 0.063 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -2.986, -2.261, -1.583 ve -1.025 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.150, 0.021, -0.09 ve -0.131 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.752, -1.428, -1.105 ve -0.814 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.384, 0.132, 0.063 ve 0.062 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.158, -2.382, -1.675 ve -1.084 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.108, -0.026, -0.132 ve -0.125 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -2.190, -1.824, -1.439 ve -1.081 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.327, 0.120, 0.075 ve 0.074 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.856, -3.022, -2.167 ve -1.425 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır. Bunun yanı sıra şev değerlerinin artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilmesi değerlerinin büyümesine ve basınç gerilme değerlerinin ise küçülmesine) neden olmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.1 $H_b=30$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
30	0	0.6	0.125	-0,0005	-2,01
30	0	0.6	0.250	-0,0004	-1,09
30	0	0.6	0.500	-0,0004	-0,63
30	0	0.6	1.000	-0,0004	-0,39
30	15	0.6	0.125	0,0959	-2,06
30	15	0.6	0.250	0,0486	-1,12
30	15	0.6	0.500	0,0253	-0,64
30	15	0.6	1.000	0,0138	-0,40
30	30	0.6	0.125	0,7561	-2,13
30	30	0.6	0.250	0,4210	-1,15
30	30	0.6	0.500	0,2530	-0,65
30	30	0.6	1.000	0,1680	-0,40
30	0	0.7	0.125	-0,0005	-2,05
30	0	0.7	0.250	-0,0005	-1,11
30	0	0.7	0.500	-0,0005	-0,64
30	0	0.7	1.000	-0,0004	-0,40
30	15	0.7	0.125	0,0725	-2,10
30	15	0.7	0.250	0,0363	-1,14
30	15	0.7	0.500	0,0186	-0,65
30	15	0.7	1.000	0,0099	-0,40
30	30	0.7	0.125	0,6161	-2,21
30	30	0.7	0.250	0,3430	-1,19
30	30	0.7	0.500	0,2063	-0,68
30	30	0.7	1.000	0,1373	-0,41
30	0	0.8	0.125	-0,0006	-2,09
30	0	0.8	0.250	-0,0005	-1,14
30	0	0.8	0.500	-0,0005	-0,65
30	0	0.8	1.000	-0,0005	-0,40
30	15	0.8	0.125	0,0548	-2,15
30	15	0.8	0.250	0,0271	-1,17
30	15	0.8	0.500	0,0136	-0,67
30	15	0.8	1.000	0,0071	-0,41
30	30	0.8	0.125	0,5097	-2,28
30	30	0.8	0.250	0,2841	-1,23
30	30	0.8	0.500	0,1714	-0,70
30	30	0.8	1.000	0,1147	-0,42

Tablo 3.2 $H_b=30$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m	E_t/E_b (-)	BARAJ GÖVDESİ		BARAJ-TEMEL ARA YÜZEYİ	
				Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)	Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)
30	0	0.6	0.125	-3364	358	-1863	136
30	0	0.6	0.250	-2636	135	-1545	23
30	0	0.6	0.500	-1933	75	-1231	-80
30	0	0.6	1.000	-1332	46	-947	-165
30	15	0.6	0.125	-3520	282	-1963	92
30	15	0.6	0.250	-2787	132	-1644	-14
30	15	0.6	0.500	-2056	87	-1317	-110
30	15	0.6	1.000	-1420	46	-1017	-181
30	30	0.6	0.125	-4461	253	-2518	55
30	30	0.6	0.250	-3624	208	-2157	-55
30	30	0.6	0.500	-2732	138	-1766	-151
30	30	0.6	1.000	-1921	69	-1392	-134
30	0	0.7	0.125	-3175	413	-1767	167
30	0	0.7	0.250	-2443	165	-1446	42
30	0	0.7	0.500	-1751	55	-1133	-68
30	0	0.7	1.000	-1170	54	-853	-146
30	15	0.7	0.125	-3323	337	-1857	124
30	15	0.7	0.250	-2578	108	-1533	6
30	15	0.7	0.500	-1857	62	-1207	-98
30	15	0.7	1.000	-1242	54	-911	-159
30	30	0.7	0.125	-4144	282	-2347	84
30	30	0.7	0.250	-3305	158	-1981	-43
30	30	0.7	0.500	-2430	100	-1592	-140
30	30	0.7	1.000	-1652	64	-1226	-131
30	0	0.8	0.125	-2986	459	-1670	193
30	0	0.8	0.250	-2261	189	-1350	56
30	0	0.8	0.500	-1583	64	-1040	-61
30	0	0.8	1.000	-1025	63	-765	-121
30	15	0.8	0.125	-3158	384	-1752	150
30	15	0.8	0.250	-2382	132	-1428	21
30	15	0.8	0.500	-1675	63	-1105	-90
30	15	0.8	1.000	-1084	62	-814	-131
30	30	0.8	0.125	-3856	327	-2190	108
30	30	0.8	0.250	-3022	120	-1824	-26
30	30	0.8	0.500	-2167	75	-1439	-132
30	30	0.8	1.000	-1425	74	-1081	-125

3.2.2 Katı dolgu baraj yüksekliğinin (H_b) 60 m olması durumu

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin $0.6y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 0.3586 ve 2.7676 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -6.96, -7.13 ve -7.56 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 0.02822 ve 2.2440 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -8.00, -8.21 ve -8.77 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin $0.8y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.2108 ve 1.7885 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -8.34, -8.56 ve -9.19 cm olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışı ile yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalmaya sebep olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin $0.6y/1.0d$ ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -6.96, -3.78, -2.17 ve -1.34 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.3586, 0.1823, 0.0954 ve 0.0526 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -7.13, -3.87, -2.21 ve -1.37 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 2.7676, 1.5288, 0.9089 ve 0.5965 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -7.56, -4.09, -2.32 ve -1.42 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -8.00, -4.32, -2.45 ve -1.49 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay

yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.2822, 0.1420, 0.0732 ve 0.0395 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.21, -4.42, -2.50 ve -1.51 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 2.2440, 1.2279, 0.7204 ve 0.4652 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.77, -4.72, -2.65 ve -1.60 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin kūçūldūęu ve rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin būyūdūęu gōrūlmektedir (Tablo 3.3).

Baraj yūkseklīęinin 60 m, řev eęiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranı boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları iin; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, -0.0005, -0.0005, -0.0005 ve -0.0005 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.34, -4.51, -2.55 ve -1.54 cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.2108, 0.1049, 0.0532 ve 0.0283 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.56, -4.62, -2.60 ve -1.57 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.7885, 0.9735, 0.5677 ve 0.3644 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -9.19, -4.94, -2.78 ve -1.66 cm olarak elde edilmiřtir. Bu ōzūmlerden temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin kūçūldūęu ve rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin būyūdūęu gōrūlmektedir. Aynı zamanda řev deęerlerinin artıřı dūřey yer deęiřtirme deęerlerinde artıřa ve yatay yer deęiřtirme deęerlerinde ise azalıma sebep olmaktadır.

Baraj yūkseklīęinin 60 m, řevin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranı boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.253, 0.170, 0.130 MPa ve -4.008, -4.257, -5.600 MPa dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.675, 0.527, 0.504 MPa ve -7.097, -7.488, -9.733 MPa olarak elde edilmiřtir. Bu ōzūmler ışığında rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak baraj-temel ara yūzeyinde ve baraj gōvdesinde maksimum asal gerilme deęerlerinin kūçūlmesine, minimum asal gerilme deęerlerinin de kūçūlmesine (basıncı gerilme deęerlerinin artıřına) neden olmuřtur.

Baraj yūkseklīęinin 60 m, şevin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranı boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları iin baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.279 MPa, 0.198 MPa, 0.142 MPa ve -4.003 MPa, -4.229 MPa, -5.400 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.723 MPa, 0.576 MPa, 0.519 MPa ve -7.110 MPa, -7.482 MPa, -9.483 MPa'dır. Aynı zamanda, baraj yūkseklīęinin 60 m, řev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranı boş, yarı dolu ve

tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.329 MPa, 0.249 MPa, 0.193 MPa ve -3.087 MPa, -4.015 MPa, -5.032 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.814 MPa, 0.676 MPa, 0.618 MPa ve -6.706 MPa, -7.035 MPa, -8.770 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine; minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyümesine; minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalışına) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.253, 0.045, -0.146 ve -0.298 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.008, -3.317, -2.608 ve -1.948 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.675, 0.261, 0.123 ve 0.052 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.097, -5.557, -4.096 ve -2.774 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın yarı dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.170, -0.026, -0.205 ve -0.326 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -4.257, -3.556, -2.810 ve -2.105 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.527, 0.241, 0.145 ve 0.056 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.488, -5.968, -4.391 ve -2.976 MPa'dır. Bunun yanı sıra, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.130, -0.102, -0.282 ve -0.252 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -5.600, -4.784, -3.861 ve -2.958 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.504, 0.389, 0.241 ve 0.106 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -9.733, -7.950, -5.968 ve -4.117 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 değerleri için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.279, 0.049, -0.156 ve -0.294 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.003, -3.279, -2.528 ve -1.839 MPa'dır. Baraj

gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.723, 0.269, 0.090 ve 0.060 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.110, -5.527, -3.928 ve -2.549 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.198, -0.020, -0.211 ve -0.317 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.229, -3.488, -2.700 ve -1.967 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.576, 0.198, 0.106 ve 0.060 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.482, -5.861, -4.180 ve -2.713 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.142, -0.106, -0.293 ve -0.295 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -5.400, -4.539, -3.577 ve -2.660 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.519, 0.310, 0.174 ve 0.071 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -9.483, -7.581, -5.498 ve -3.621 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla, rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır (Tablo 3.4)

Baraj yüksekliğinin 60 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.329, 0.073, -0.147 ve -0.264 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.816, -3.087, -0.388 ve -1.649 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.814, 0.311, 0.069 ve 0.074 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -6.706, -5.138, -3.560 ve -3.609 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.249, 0.007, -0.198 ve -0.280 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.015, -3.266, -2.475 ve -1.752 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.676, 0.202, 0.069 ve 0.069 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.035, -5.425, -3.768 ve -2.356 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.193, -0.085, -0.281 ve -0.287 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -5.032, -4.166, -3.210 ve -2.318 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.618, 0.219, 0.110 ve 0.081 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -8.770, -6.887, -4.858 ve -3.080 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin

küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır. Bunun yanı sıra şev değerlerinin artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilmesi değerlerinin büyümesine ve basınç gerilme değerlerinin ise küçülmesine) neden olmaktadır.

Tablo 3.3 $H_b=60$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
60	0	0.6	0.125	-0,0004	-6,96
60	0	0.6	0.250	-0,0004	-3,78
60	0	0.6	0.500	-0,0004	-2,17
60	0	0.6	1.000	-0,0004	-1,34
60	30	0.6	0.125	0,3586	-7,13
60	30	0.6	0.250	0,1823	-3,87
60	30	0.6	0.500	0,0954	-2,21
60	30	0.6	1.000	0,0526	-1,37
60	60	0.6	0.125	2,7676	-7,56
60	60	0.6	0.250	1,5288	-4,09
60	60	0.6	0.500	0,9089	-2,32
60	60	0.6	1.000	0,5965	-1,42
60	0	0.7	0.125	-0,0004	-8,00
60	0	0.7	0.250	-0,0004	-4,32
60	0	0.7	0.500	-0,0004	-2,45
60	0	0.7	1.000	-0,0004	-1,49
60	30	0.7	0.125	0,2822	-8,21
60	30	0.7	0.250	0,1420	-4,42
60	30	0.7	0.500	0,0732	-2,50
60	30	0.7	1,000	0,0395	-1,51
60	60	0.7	0.125	2,2440	-8,77
60	60	0.7	0.250	1,2279	-4,72
60	60	0.7	0.500	0,7204	-2,65
60	60	0.7	1.000	0,4652	-1,60
60	0	0.8	0.125	-0,0005	-8,34
60	0	0.8	0.250	-0,0005	-4,51
60	0	0.8	0.500	-0,0005	-2,55
60	0	0.8	1.000	-0,0005	-1,54
60	30	0.8	0.125	0,2108	-8,56
60	30	0.8	0.250	0,1049	-4,62
60	30	0.8	0.500	0,0532	-2,60
60	30	0.8	1.000	0,0283	-1,57
60	60	0.8	0.125	1,7885	-9,19
60	60	0.8	0.250	0,9735	-4,94
60	60	0.8	0.500	0,5677	-2,78
60	60	0.8	1.000	0,3644	-1,66

Tablo 3.4 $H_b=60$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri

				BARAJ GÖVDESİ		BARAJ-TEMEL ARA YÜZEYİ	
Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m	E_t/E_b (-)	Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)	Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)
60	0	0.6	0.125	-7097	675	-4008	253
60	0	0.6	0.250	-5597	261	-3317	45
60	0	0.6	0.500	-4096	123	-2608	-146
60	0	0.6	1.000	-2774	52	-1948	-298
60	30	0.6	0.125	-7488	527	-4257	170
60	30	0.6	0.250	-5968	241	-3556	-26
60	30	0.6	0.500	-4391	145	-2810	-205
60	30	0.6	1.000	-2976	56	-2105	-326
60	60	0.6	0.125	-9733	504	-5600	130
60	60	0.6	0.250	-7950	389	-4784	-102
60	60	0.6	0.500	-5968	241	-3861	-282
60	60	0.6	1.000	-4117	106	-2958	-252
60	0	0.7	0.125	-7110	723	-4003	279
60	0	0.7	0.250	-5527	269	-3279	49
60	0	0.7	0.500	-3928	90	-2528	-156
60	0	0.7	1.000	-2549	60	-1839	-294
60	30	0.7	0.125	-7482	576	-4229	198
60	30	0.7	0.250	-5861	198	-3488	-20
60	30	0.7	0.500	-4180	106	-2700	-211
60	30	0.7	1.000	-2713	60	-1967	-317
60	60	0.7	0.125	-9483	519	-5400	142
60	60	0.7	0.250	-7581	310	-4539	-106
60	60	0.7	0.500	-5498	174	-3577	-293
60	60	0.7	1.000	-3621	71	-2660	-295
60	0	0.8	0.125	-6706	814	-3816	329
60	0	0.8	0.250	-5138	311	-3087	73
60	0	0.8	0.500	-3560	69	-388	-147
60	0	0.8	1.000	-3609	74	-1649	-264
60	30	0.8	0.125	-7035	676	-4015	249
60	30	0.8	0.250	-5425	202	-3266	7
60	30	0.8	0.500	-3768	69	-2475	-198
60	30	0.8	1.000	-2356	69	-1752	-280
60	60	0.8	0.125	-8770	618	-5032	193
60	60	0.8	0.250	-6887	219	-4166	-85
60	60	0.8	0.500	-4858	110	-3210	-281
60	60	0.8	1.000	-3080	81	-2318	-287

3.2.3 Katı dolgu baraj yüksekliğinin (H_b) 90 m olması durumu

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 0.8526 ve 6.3913 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -17.17, -17.59 ve -18.77 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 0.6292 ve 4.9125 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -18.12, -18.57 ve -19.91 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.4686 ve 3.8712 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -19.03, -19.50 ve -20.97 cm olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışı ile yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalmaya sebep olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -17.17, -9.25, -5.22 ve -3.18 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.8526, 0.4335, 0.2265 ve 0.1244 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -17.59, -9.46, -5.33 ve -3.23 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 6.39, 3.51, 2.06 ve 1.33 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -18.77, -10.07, -5.65 ve -3.41 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -18.12, -9.76, -5.50 ve -3.33 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay

yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.6292, 0.3169, 0.1635 ve 0.0885 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -18.57, -9.99, -5.62 ve -3.38 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 4.91, 2.67, 1.55 ve 0.99 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -19.91, -10.69, -5.99 ve -3.59 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin kūçūldūęu ve rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin būyūdūęu gōrūlmektedir (Tablo 3.5).

Baraj yūkseklīęinin 90 m, řev eęiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boř ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları iin; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, -0.0005, -0.0005, -0.0005 ve -0.0005 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -19.03, -10.26, -5.77 ve -3.47 cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.4686, 0.2336, 0.1188 ve 0.0633 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -19.50, -10.49, -5.89 ve -3.53 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 3.87, 2.09, 1.20 ve 0.76 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -20.97, -11.26, -6.30 ve -3.76 cm olarak elde edilmiřtir. Bu ōzūmlerden temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin kūçūldūęu ve rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey yer deęiřtirme deęerlerinin būyūdūęu gōrūlmektedir. Aynı zamanda řev deęerlerinin artıřı dūřey yer deęiřtirme deęerlerinde artıřa ve yatay yer deęiřtirme deęerlerinde ise azalıma sebep olmaktadır.

Baraj yūkseklīęinin 90 m, řevin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranın boř, yarı dolu ve tam dolu olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.319, 0.193, 0.112 MPa ve -6.990, -7.447, -9.806 MPa dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.898, 0.674, 0.938 MPa ve -12.503, -13.265, -17.345 MPa olarak elde edilmiřtir. Bu ōzūmler ışığında rezervuarın doluluk oranının artıřına baęlı olarak baraj-temel ara yūzeyinde ve baraj gōvdesinde maksimum asal gerilme deęerlerinin kūçūlmesine, minimum asal gerilme deęerlerinin de kūçūlmesine (basıncı gerilme deęerlerinin artıřına) neden olmuřtur.

Baraj yūkseklīęinin 90 m, şevin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranın boř olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları iin baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.408 MPa, 0.287 MPa, 0.201 MPa ve -6.721 MPa, -7.112 MPa, -9.096 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.063 MPa, 0.845 MPa, 0.760 MPa ve -11.846 MPa, -12.501 MPa, -15.906 MPa'dır. Aynı zamanda, baraj yūkseklīęinin 90 m, řev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranın boř, yarı dolu ve

tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.486 MPa, 0.377 MPa, 0.282 MPa ve -6.423 MPa, -6.763 MPa, -8.469 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.209 MPa, 1.007 MPa, 0.916 MPa ve -11.186 MPa, -11.758 MPa, -14.674 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine; minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyümesine; minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalışına) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.319, 0.017, -0.262 ve -0.478 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.990, -5.791, -4.509 ve -3.309 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.898, 0.388, 0.217 ve 0.072 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -12.503, -9.887, -7.151 ve -4.728 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın yarı dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.193, -0.090, -0.349 ve -0.517 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -7.447, -6.214, -4.861 ve -3.575 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.674, 0.450, 0.252 ve 0.088 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -13.265, -10.572, -7.677 ve -5.078 MPa'dır. Bunun yanı sıra, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.112, -0.208, -0.469 ve -0.474 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -9.8069, -8.335, -6.643 ve -4.993 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.938, 0.703, 0.408 ve 0.163 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -17.345, -14.087, -10.407 ve -6.998 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 değerleri için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.408, 0.065, -0.241 ve -0.436 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.721, -5.494, -4.19 ve -2.988 MPa'dır. Baraj

gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.063, 0.388, 0.134 ve 0.065 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -11.846, -9.225, -6.505 ve -4.145 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.287, -0.038, -0.322 ve -0.465 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.112, -5.848, -4.475 ve -3.196 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.845, 0.313, 0.157 ve 0.065 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -12.501, -9.796, -6.926 ve -4.412 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.201, -0.167, -0.446 ve -0.492 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -9.096, -7.607, -5.922 ve -4.316 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.760, 0.485, 0.258 ve 0.079 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -15.906, -12.679, -9.102 ve -5.884 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla, rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.486, 0.101, -0.229 ve -0.386 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.423, -5.18, -3.864 ve -2.673 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.209, 0.453, 0.074 ve 0.074 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -11.186, -8.580, -5.889 ve -3.609 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.377, 0.003, -0.304 ve -0.407 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.763, -5.48, -4.098 ve -2.838 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.007, 0.294, 0.088 ve 0.074 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -11.758, -9.062, -6.231 ve -3.815 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.282, -0.135, -0.427 ve -0.479 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -8.469, -6.968, -5.295 ve -3.738 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.916, 0.330, 0.154 ve 0.087 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -14.674, -11.481, -8.005 ve -4.968 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin

küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır. Bunun yanı sıra şev değerlerinin artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilmesi değerlerinin büyümesine ve basınç gerilme değerlerinin ise küçülmesine) neden olmaktadır (Tablo 3.6).

Tablo 3.5 $H_b=90$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_b (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
90	0	0.6	0.125	-0,0004	-17,17
90	0	0.6	0.250	-0,0004	-9,25
90	0	0.6	0.500	-0,0004	-5,22
90	0	0.6	1.000	-0,0004	-3,18
90	45	0.6	0.125	0,8526	-17,59
90	45	0.6	0.250	0,4335	-9,46
90	45	0.6	0.500	0,2265	-5,33
90	45	0.6	1.000	0,1244	-3,23
90	90	0.6	0.125	6,3913	-18,77
90	90	0.6	0.250	3,5050	-10,07
90	90	0.6	0.500	2,0607	-5,65
90	90	0.6	1.000	1,3334	-3,41
90	0	0.7	0.125	-0,0004	-18,12
90	0	0.7	0.250	-0,0004	-9,76
90	0	0.7	0.500	-0,0004	-5,50
90	0	0.7	1.000	-0,0004	-3,33
90	45	0.7	0.125	0,6292	-18,57
90	45	0.7	0.250	0,3169	-9,99
90	45	0.7	0.500	0,1635	-5,62
90	45	0.7	1.000	0,0885	-3,38
90	90	0.7	0.125	4,9125	-19,91
90	90	0.7	0.250	2,6712	-10,69
90	90	0.7	0.500	1,5525	-5,99
90	90	0.7	1.000	0,9908	-3,59
90	0	0.8	0.125	-0,0005	-19,03
90	0	0.8	0.250	-0,0005	-10,26
90	0	0.8	0.500	-0,0005	-5,77
90	0	0.8	1.000	-0,0005	-3,47
90	45	0.8	0.125	0,4686	-19,50
90	45	0.8	0.250	0,2336	-10,49
90	45	0.8	0.500	0,1188	-5,89
90	45	0.8	1.000	0,0633	-3,53
90	90	0.8	0.125	3,8712	-20,97
90	90	0.8	0.250	2,0900	-11,26
90	90	0.8	0.500	1,2038	-6,30
90	90	0.8	1.000	0,7605	-3,76

Tablo 3.6 $H_b=90$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m	E_t/E_b (-)	BARAJ GÖVDESİ		BARAJ-TEMEL ARA YÜZEYİ	
				Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)	Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)
90	0	0.6	0.125	-12503	898	-6990	319
90	0	0.6	0.250	-9887	388	-5791	17
90	0	0.6	0.500	-7151	217	-4509	-262
90	0	0.6	1.000	-4728	72	-3309	-478
90	45	0.6	0.125	-13265	674	-7447	193
90	45	0.6	0.250	-10572	450	-6214	-90
90	45	0.6	0.500	-7677	252	-4861	-349
90	45	0.6	1.000	-5078	88	-3575	-517
90	90	0.6	0.125	-17345	938	-9806	112
90	90	0.6	0.250	-14087	703	-8335	-208
90	90	0.6	0.500	-10407	408	-6643	-469
90	90	0.6	1.000	-6998	163	-4993	-474
90	0	0.7	0.125	-11846	1063	-6721	408
90	0	0.7	0.250	-9225	388	-5494	65
90	0	0.7	0.500	-6505	134	-4190	-241
90	0	0.7	1.000	-4145	65	-2988	-436
90	45	0.7	0.125	-12501	845	-7112	287
90	45	0.7	0.250	-9796	313	-5848	-38
90	45	0.7	0.500	-6926	157	-4475	-322
90	45	0.7	1.000	-4412	65	-3196	-465
90	90	0.7	0.125	-15906	760	-9096	201
90	90	0.7	0.250	-12679	485	-7607	-167
90	90	0.7	0.500	-9102	258	-5922	-446
90	90	0.7	1.000	-5884	79	-4316	-492
90	0	0.8	0.125	-11186	1209	-6423	486
90	0	0.8	0.250	-8580	453	-5180	101
90	0	0.8	0.500	-5889	74	-3864	-229
90	0	0.8	1.000	-3609	74	-2673	-386
90	45	0.8	0.125	-11758	1007	-6763	377
90	45	0.8	0.250	-9062	294	-5480	3
90	45	0.8	0.500	-6231	88	-4098	-304
90	45	0.8	1.000	-3815	74	-2838	-407
90	90	0.8	0.125	-14674	916	-8469	282
90	90	0.8	0.250	-11481	330	-6968	-135
90	90	0.8	0.500	-8005	154	-5295	-427
90	90	0.8	1.000	-4968	87	-3738	-479

3.2.4 Katı dolgu baraj yüksekliğinin (H_b) 120 m olması durumu

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 1.5138 ve 11.3118 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -30.57, -31.31 ve -33.50 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 1200 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, 1.1127 ve 8.631 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -32.42, -33.20 ve -35.64 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 90 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, 0.8268 ve 6.7631 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -34.16, -34.98 ve -37.62 cm olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışı ile yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalmaya sebep olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -30.57, -16.44, -9.27 ve -5.62 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 1.5138, 0.7697, 0.402 ve 0.2208 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -31.31, -16.81, -9.46 ve -5.72 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 11.31, 6.1882, 3.6257 ve 2.3364 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -33.50, -17.95, -10.07 ve -6.05 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0004, -0.0004, -0.0004 ve -0.0004 cm düşey yer değiştirme

değerleri ise sırasıyla, -32.42, -17.44, -9.81 ve -5.92 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 1.1127, 0.5607, 0.2892 ve 0.1566 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -33.20, -17.83, -10.01 ve -6.02 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 8.631, 4.6777, 2.7054 ve 1.716 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -35.64, -19.11, -10.70 ve -6.40 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0005, -0.0005, -0.0005 ve -0.0005 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -34.16, -18.40, -10.33 ve -6.20 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.8268, 0.4125, 0.2099 ve 0.112 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -34.98, -18.80, -10.54 ve -6.31 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 6.7631, 3.6364, 2.0815 ve 1.3046 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -37.62, -20.18, -11.28 ve -6.73 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümlerden temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalmaya sebep olmaktadır (Tablo 3.7).

Baraj yüksekliğinin 120 m, şevin 0.6y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.415, 0.247, 0.132 MPa ve -10.704, -11.416, -15.058 MPa dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.181, 0.980, 1.496 MPa ve -18.789, -19.959, -26.145 MPa olarak elde edilmiştir. Bu çözümler ışığında rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmuştur.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şevin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranın boş olması, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.536 MPa, 0.376 MPa, 0.255 MPa ve -10.320 MPa, -10.926 MPa, -13.970 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen

maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.407 MPa, 1.118 MPa, 1.079 MPa ve -17.850 MPa, -18.848 MPa, -23.981 MPa'dır. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş, yarı dolu ve tam dolu olması durumları için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.645 MPa, 0.500 MPa, 0.368 MPa ve -9.878 MPa, -10.402 MPa, -13.004 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.609 MPa, 1.342 MPa, 1.206 MPa ve -16.889 MPa, -17.755 MPa, -22.126 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine; minimum asal gerilme değerlerinin de küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyümesine; minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalışına) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.6y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları için; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.415, 0.017, -0.353 ve -0.634 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -10.704, -8.830, -6.805 ve -4.906 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.181, 0.649, 0.371 ve 0.139 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -18.789, -14.814, -10.622 ve -6.903 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın yarı dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.247, -0.126, -0.469 ve -0.688 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -11.416, -9.483, -7.340 ve -5.305 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.980, 0.741, 0.425 ve 0.163 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -19.959, -15.856, -11.413 ve -7.422 MPa'dır. Bunun yanı sıra, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.132, -0.283, -0.628 ve -0.717 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -15.058, -12.737, -10.046 ve -7.421 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.496, 1.123, 0.660 ve 0.276 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -26.145, -21.158, -15.494 ve -10.245 MPa'dır. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 değerleri için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.536, 0.082, -0.326 ve -0.575 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -10.320, -8.389, -6.321 ve -4.418 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.407, 0.512, 0.245 ve 0.071 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -17.850, -13.844, -9.661 ve -6.037 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.376, -0.055, -0.434 ve -0.612 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -10.926, -8.932, -6.752 ve -4.728 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.118, 0.531, 0.279 ve 0.082 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -18.848, -14.705, -10.289 ve -6.429 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.255, -0.228, -0.598 ve -0.726 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -13.970, -11.611, -8.929 ve -6.382 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.079, 0.789, 0.431 ve 0.149 MPa ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -23.981, -19.021, -13.514 ve -8.572 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla, rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 120 m, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve rezervuar ortamı doluluk oranının boş olması, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.645, 0.129, -0.310 ve -0.502 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -9.878, -7.911, -5.820 ve -3.936 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.609, 0.601, 0.151 ve 0.081 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -16.889, -12.883, -8.736 ve -5.237 MPa olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 olması durumları ve rezervuarın yarı dolu olması durumunda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.500, 0.002, -0.408 ve -0.529 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -10.402, -8.367, -6.170 ve -4.179 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.342, 0.390, 0.173 ve 0.081 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -17.755, -13.604, -9.241 ve -5.537 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.0 ve rezervuarın tam dolu olması durumu için baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.368, -0.184, -0.573 ve -0.652 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -13.004, -

10.619, -7.958 ve -5.497 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.206, 0.551, 0.272 ve 0.095 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -22.126, -17.202, -11.850 ve -7.201 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır. Bunun yanı sıra şev değerlerinin artışı, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilmesi değerlerinin büyümesine ve basınç gerilme değerlerinin ise küçülmesine) neden olmaktadır (Tablo 3.8).

Tablo 3.7 $H_b=120$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
120	0	0.6	0.125	-0,0004	-30,57
120	0	0.6	0.250	-0,0004	-16,44
120	0	0.6	0.500	-0,0004	-9,27
120	0	0.6	1.000	-0,0004	-5,62
120	60	0.6	0.125	1,5138	-31,31
120	60	0.6	0.250	0,7697	-16,81
120	60	0.6	0.500	0,4020	-9,46
120	60	0.6	1.000	0,2208	-5,72
120	120	0.6	0.125	11,3118	-33,50
120	120	0.6	0.250	6,1882	-17,95
120	120	0.6	0.500	3,6257	-10,07
120	120	0.6	1.000	2,3364	-6,05
120	0	0.7	0.125	-0,0004	-32,42
120	0	0.7	0.250	-0,0004	-17,44
120	0	0.7	0.500	-0,0004	-9,81
120	0	0.7	1.000	-0,0004	-5,92
120	60	0.7	0.125	1,1127	-33,20
120	60	0.7	0.250	0,5607	-17,83
120	60	0.7	0.500	0,2892	-10,01
120	60	0.7	1.000	0,1566	-6,02
120	120	0.7	0.125	8,6310	-35,64
120	120	0.7	0.250	4,6777	-19,11
120	120	0.7	0.500	2,7054	-10,70
120	120	0.7	1.000	1,7160	-6,40
120	0	0.8	0.125	-0,0005	-34,16
120	0	0.8	0.250	-0,0005	-18,40
120	0	0.8	0.500	-0,0005	-10,33
120	0	0.8	1.000	-0,0005	-6,20
120	60	0.8	0.125	0,8268	-34,98
120	60	0.8	0.250	0,4125	-18,80
120	60	0.8	0.500	0,2099	-10,54
120	60	0.8	1.000	0,1120	-6,31
120	120	0.8	0.125	6,7631	-37,62
120	120	0.8	0.250	3,6364	-20,18
120	120	0.8	0.500	2,0815	-11,28
120	120	0.8	1.000	1,3046	-6,73

Tablo 3.8 $H_b=120$ m, $E_t/E_b=0.125, 0.25, 0.50$ ve 1.0 , $m=0.6y/1.0d, 0.7y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$, $H_r/H_b=0.0, 0.5$ ve 1.0 olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yüksekliği H_r (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	E_t/E_b (-)	BARAJ GÖVDESİ		BARAJ-TEMEL ARA YÜZEYİ	
				Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)	Minimum Asal Gerilme (KPa)	Maksimum Asal Gerilme (KPa)
120	0	0.6	0.125	-18789	1181	-10704	415
120	0	0.6	0.250	-14814	649	-8830	17
120	0	0.6	0.500	-10622	371	-6805	-353
120	0	0.6	1.000	-6903	139	-4906	-634
120	60	0.6	0.125	-19959	980	-11416	247
120	60	0.6	0.250	-15856	741	-9483	-126
120	60	0.6	0.500	-11413	425	-7340	-469
120	60	0.6	1.000	-7422	163	-5305	-688
120	120	0.6	0.125	-26145	1496	-15058	132
120	120	0.6	0.250	-21158	1123	-12737	-283
120	120	0.6	0.500	-15494	660	-10046	-628
120	120	0.6	1.000	-10245	276	-7421	-717
120	0	0.7	0.125	-17850	1407	-10320	536
120	0	0.7	0.250	-13844	512	-8389	82
120	0	0.7	0.500	-9661	245	-6321	-326
120	0	0.7	1.000	-6037	71	-4418	-575
120	60	0.7	0.125	-18848	1118	-10926	376
120	60	0.7	0.250	-14705	531	-8932	-55
120	60	0.7	0.500	-10289	279	-6752	-434
120	60	0.7	1.000	-6429	82	-4728	-612
120	120	0.7	0.125	-23981	1079	-13970	255
120	120	0.7	0.250	-19021	789	-11611	-228
120	120	0.7	0.500	-13514	431	-8929	-598
120	120	0.7	1.000	-8572	149	-6382	-726
120	0	0.8	0.125	-16889	1609	-9878	645
120	0	0.8	0.250	-12883	601	-7911	129
120	0	0.8	0.500	-8736	151	-5820	-310
120	0	0.8	1.000	-5237	81	-3936	-502
120	60	0.8	0.125	-17755	1342	-10402	500
120	60	0.8	0.250	-13604	390	-8367	2
120	60	0.8	0.500	-9241	173	-6170	-408
120	60	0.8	1.000	-5537	81	-4179	-529
120	120	0.8	0.125	-22126	1206	-13004	368
120	120	0.8	0.250	-17202	551	-10619	-184
120	120	0.8	0.500	-11850	272	-7958	-573
120	120	0.8	1.000	-7201	95	-5497	-652

3.2.5. Elde Edilen Verilerin Analizi

Baraj yüksekliğinin değişimine bağlı olarak; baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirmeleri ile baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyindeki, maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin değişimi şu şekildedir. Baraj yüksekliğinin artması, yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyümesine neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin artması, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Baraj yüksekliğinin artması, baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilme değerinin artışına), ayrıca baraj-temel ara yüzeyinde oluşan çekme ve basınç gerilmesi değerlerinin artmasına neden olmaktadır.

Ayrıca bütün çözümlere ait; baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen minimum ve maksimum asal gerilme değerlerinin görünüşleri Ekler bölümünde verilmiştir.

Bu nümerik çalışmanın asıl amacı, (0.6y/1.0d)-(0.8y/1.0d) şev aralığında inşa edilmesi planlanan bir katı dolgu barajın statik yükler altında ön boyutlandırılmasının yapılması için kullanılabilecek eşitlikler elde etmektir. Bu amaçla, yapılan çözümlerde baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyi için elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin en büyük değerleri,

$$\left(\frac{\sigma}{E_b} \right) = a + b \left(\frac{E_t}{E_b} \right) + c \left(\frac{H_b}{E_b} \gamma_b \right) + d \left(\frac{H_r}{H_b} \right) + e \left(\frac{m}{m_{\text{mak.}}} \right) \quad (3.36)$$

olarak boyutsuz hale getirilmiştir. Burada σ gerilmeyi, H_r rezervuar su yüksekliğini ve $m_{\text{mak.}}$ Maksimum şev değerini göstermektedir. Bu birimsizleştirme işlemi,

$$\tilde{\sigma} = a + b.\tilde{E} + c.\tilde{P}_1 + d.\tilde{P}_2 + e.\tilde{m}_3 \quad (3.37)$$

şeklinde kısaltılabilir. Bu denklemler istatistiksel analiz neticesinde baraj gövdesi üzerindeki maksimum asal gerilmeler için,

$$\tilde{\sigma} = \exp(-0.35 \tilde{E}^{0.069} + 30.367 \tilde{P}_1^{0.087} - 0.068 \tilde{P}_2 + 0.064 \tilde{m}_3^{174.667})^{0.83} \quad (3.38)$$

olarak, minimum asal gerilmeler için ise,

$$\tilde{\sigma} = \ln(4.161 + 0.515 \tilde{E}^{0.487} - 9.615 \tilde{P}_1^{0.100} - 0.095 \tilde{P}_2^{2.364} + 0.098 \tilde{m}_3^{2.407}) \quad (3.39)$$

eşitliği elde edilmiştir. Aynı zamanda baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler için,

$$\tilde{\sigma} = \ln(0.95 + 0.023 \tilde{E}^{-0.642} - 18.101 \tilde{P}_1^{0.802} - 0.015 \tilde{P}_2^{1.035} + 0.017 \tilde{m}_3^{1.852}) \quad (3.40)$$

denklemini, minimum asal gerilmeler için ise,

$$\tilde{\sigma} = \log(0.286 \tilde{E}^{0.804} + 0.107 \tilde{P}_1^{-0.292} - 0.076 \tilde{P}_2^{1.946} - 0.015 \tilde{m}_3^{-0.12}) \quad (3.41)$$

eşitlikleri elde edilmiştir. Bu formülasyonların korelasyon katsayıları denklem (3.38), (3.39), (3.40) ve (3.41) için sırasıyla 0.911, 0.984, 0.833 ve 0.974 olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı zemin dayanımlarına sahip zayıf temeller üzerine inşa edilmiş katı-dolgu barajların statik yükler altında lineer elastik davranışları incelenmiştir. Baraj ve temel ortamları lineer elastik kabul edilmiş olup, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Baraj memba ve mansap yüzeyleri simetrik olup şevleri sırasıyla (0.6y/1.0d), (0.7y/1.0d), (0.8y/1.0d) alınmıştır. Temelin dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmıştır. Statik yükler için barajın kendi ağırlığı ve hidrostatik su yükü dikkate alınmış olup sonuçlar, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25, 0.50 ve 1.00 olması ve barajın doluluk oranının, boş, yarı ve tam dolu olması durumları için elde edilmiştir. Aynı zamanda katı-dolgu baraj yüksekliğinin çözümler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla baraj yüksekliği 30, 60, 90 ve 120 m alınarak statik analiz sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan statik analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirmeler incelendiğinde, temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü ve rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir. Aynı zamanda şev değerlerinin artışı düşey yer değiştirme değerlerinde artışa ve yatay yer değiştirme değerlerinde ise azalmaya sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra baraj yüksekliğinin artışına bağlı olarak, yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü tespit edilmiştir.

Maksimum ve minimum asal gerilmeler incelenirse, rezervuarın doluluk oranının artışına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (çekme gerilmelerinin değer olarak azalmasına, basınç gerilme değerlerinin de artışına) neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, E_t/E_b oranının artışı, baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) neden olmaktadır. Ayrıca, şev değerlerinin artışı, baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (çekme gerilmesi değerlerinin büyümesine ve basınç gerilme değerlerinin ise küçülmesine) neden olmaktadır. Baraj yüksekliğinin artması, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine (basınç gerilme değerlerinin artışına) neden olmaktadır. Bununla birlikte baraj yüksekliğinin artışına bağlı olarak, baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin büyüdüğü (çekme gerilme değerinin artışı), ayrıca baraj-temel ara yüzeyinde oluşan çekme ve basınç gerilmesi değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her bir katı-dolgu baraj modeli statik yükler altında baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşturdıkları maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin

maksimumları kullanılarak dört farklı eşitlik elde edilmiş olup, bu tip barajların projelendirilmesinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Ancak söz konusu bu çalışma, (0.6y/1.0d) ile (0.8y/1.0d) arasında değişen eğime sahip katı dolgu barajlar için incelenmiş olup suyun kaldırma basıncı dikkate alınmadan statik analizler elde edilmiştir. Aynı zamanda, deprem gibi dinamik yükler altında katı dolgu barajların lineer olmayan davranışı hesaba katılarak araştırmanın genişletilmesi gerekmektedir. Önerilen bu eşitlikler yardımıyla zayıf temeller üzerine inşa edilecek bir katı dolgu barajın ön boyutlandırması yapılabilecektir.

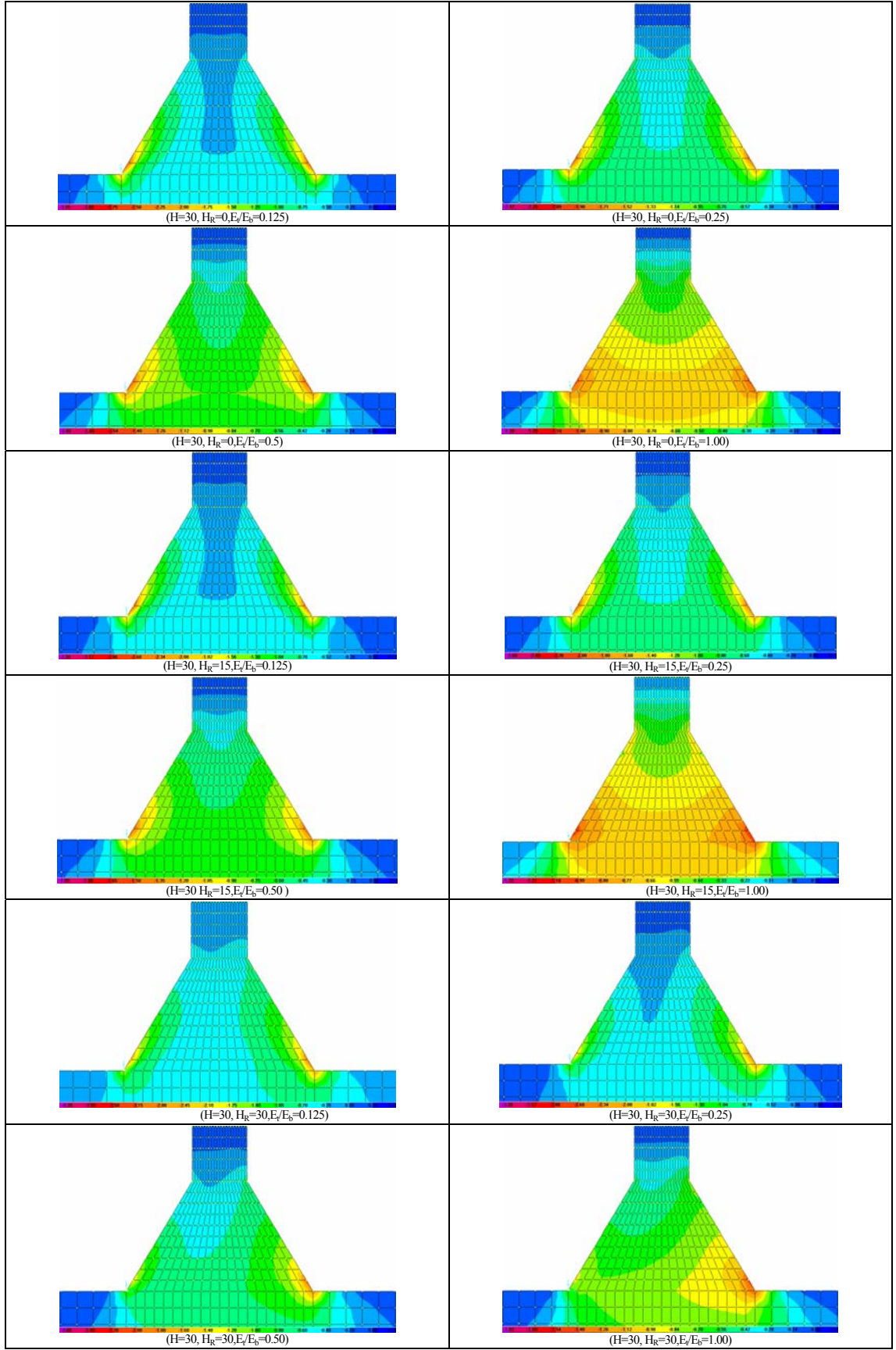
5. KAYNAKLAR

1. Ağırlioğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1-2, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2005.
2. Emiroğlu, M.E. (1991) Baraj Tip Seçiminin Belirlenmesinde Uzman Sistem Kullanımı. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
3. Gürbüz, A., 2004. Barajlarda Gövde Projeleri Tasarımına Genel Bir Bakış, Mühendislerle İlişkin Su Eğitim Semineri, s.1-6, Ankara, 2004.
4. Erkek, C., Ağırlioğlu, N., (1993). “Su Kaynakları Mühendisliği”, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İkinci Baskı, İstanbul.
5. Novak, P., Moffat, A. I. B., Nalluri, C., and Narayanan, R., (1990) . “Hydraulic Structures”, Unwin Hyman Ltd., London.
6. Anık, F., Alkan F., 2004. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Barajlar ve Puzolan veya Uçucu Kül Kullanımı, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 57-64, Ankara, 2004.
7. Demirci, İ., 1996. Silindirle Sıkıştırılmış Beton ve Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar, DSI Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Ankara.
8. Emiroğlu M.E., (1998a). “RCC Barajlarda Yeni Tasarım Kavramları”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Yıl: 43, Sayı: 393, Sayfa: 57-64.
9. Dunstan, M.R.H., 1994, “The state - of - the - art of RCC dams”. The International Journal on Hydropower & Dams, March, pp. 44-54.
10. Batmaz, S., 2004. SSB Barajlarında Temel Yaklaşımlar, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 105-109, Ankara, 2004.
11. Emiroğlu M.E., (1996). “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlarda İlk Tasarım Ve Maliyet Tahmini”, DSI Teknik Bülteni, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Sayı: 87, Sayfa: 3-13.
12. Öztürk, A., 1999. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Tasarım ve İnşaa Esasları, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.

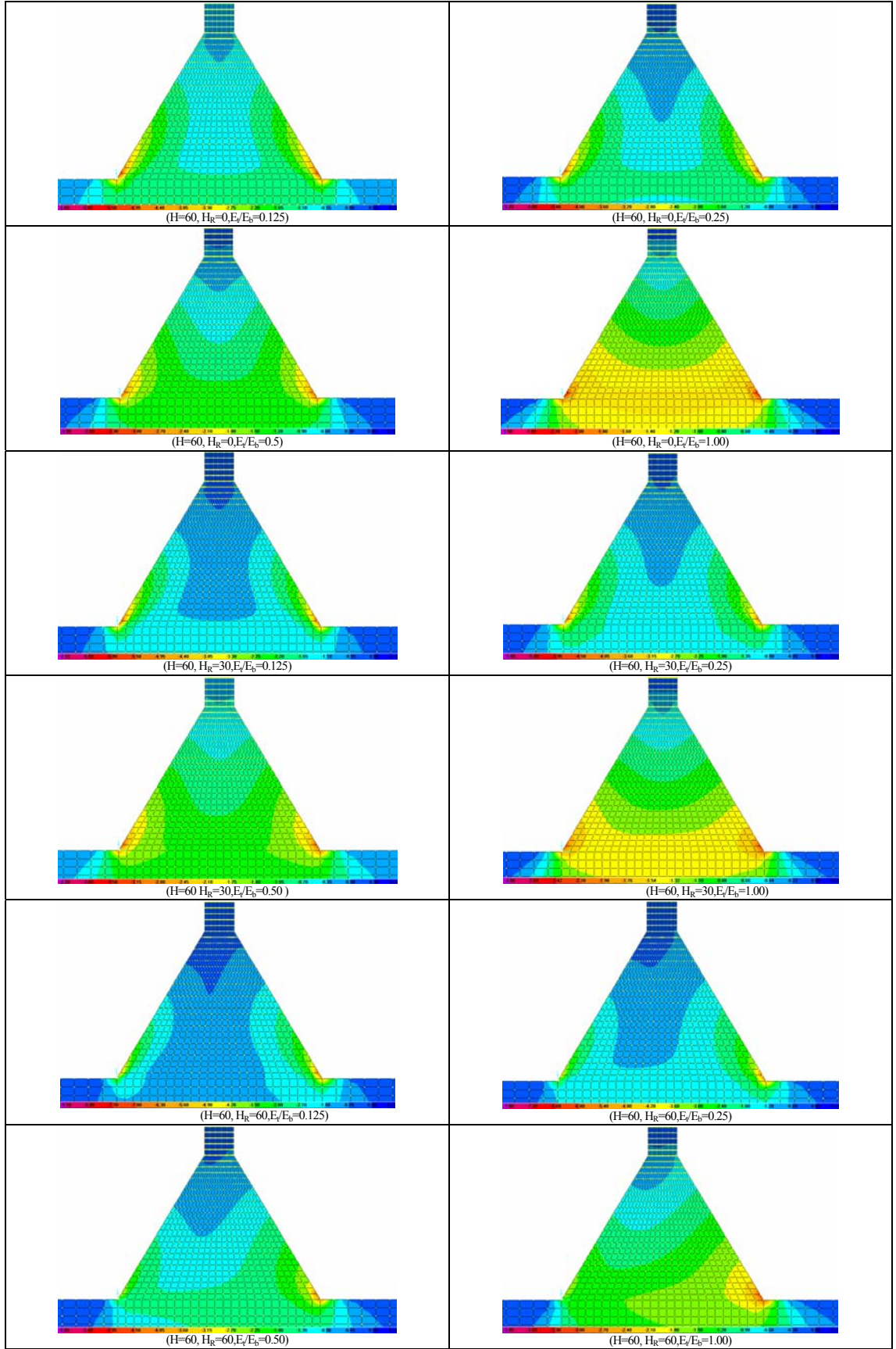
13. Öztürk, A., 2001. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) ve Türkiye’deki Uygulamaları, Kalite Kontrol Teknik Semineri, s. 1-16, Fethiye, 2001.
14. Emiroğlu, M.E., (1998b). “RCC Barajların Tasarım Ve İnşasındaki Gelişmeler”, Gap II. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Harran Üni. Müh. Fak., 21-23 Mayıs 1998, Sayfa: 191-200.
15. Duyar, O., Tezel, O., 2004. Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Kimyasal Katkı Kullanımı, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 77-83, Ankara, 2004.
16. Hansen, K.D., and Reinhardt, W.G., 1991, “Roller-Compacted Concrete Dams”, McGraw-Hill, Inc., New York, 299p.
17. Londe, P. and Lino, M., “The Faced Symmetrical Hardfill Dam : A New Concept For RCC”, International Water Power & Dam Construction , February 1992.
18. Karabatan, A.Y., 2004. Silindirle Sıkıştırılmış Katı Dolgu Beton (Hardfill) Barajlar Hakkında, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 133-138, Ankara, 2004.
19. Kocabeyler, M.F., 2001. Silindirle Sıkıştırılmış Betonda Yeni Bir Uygulama Sert Dolgu (HARDFİLL), Kalite Kontrol Teknik Semineri, s. 42-62, Fethiye, 2001.
20. Linsley, R.K.; Franzini, J.B.; Freyberg, D. and Tchobanoglous, G., (1992). “Water Resources Engineering”, McGraw Hill International Editions, New York.
21. Chanrupatla, T.R., Belegundu, A.D. 1991. Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA

6. EKLER

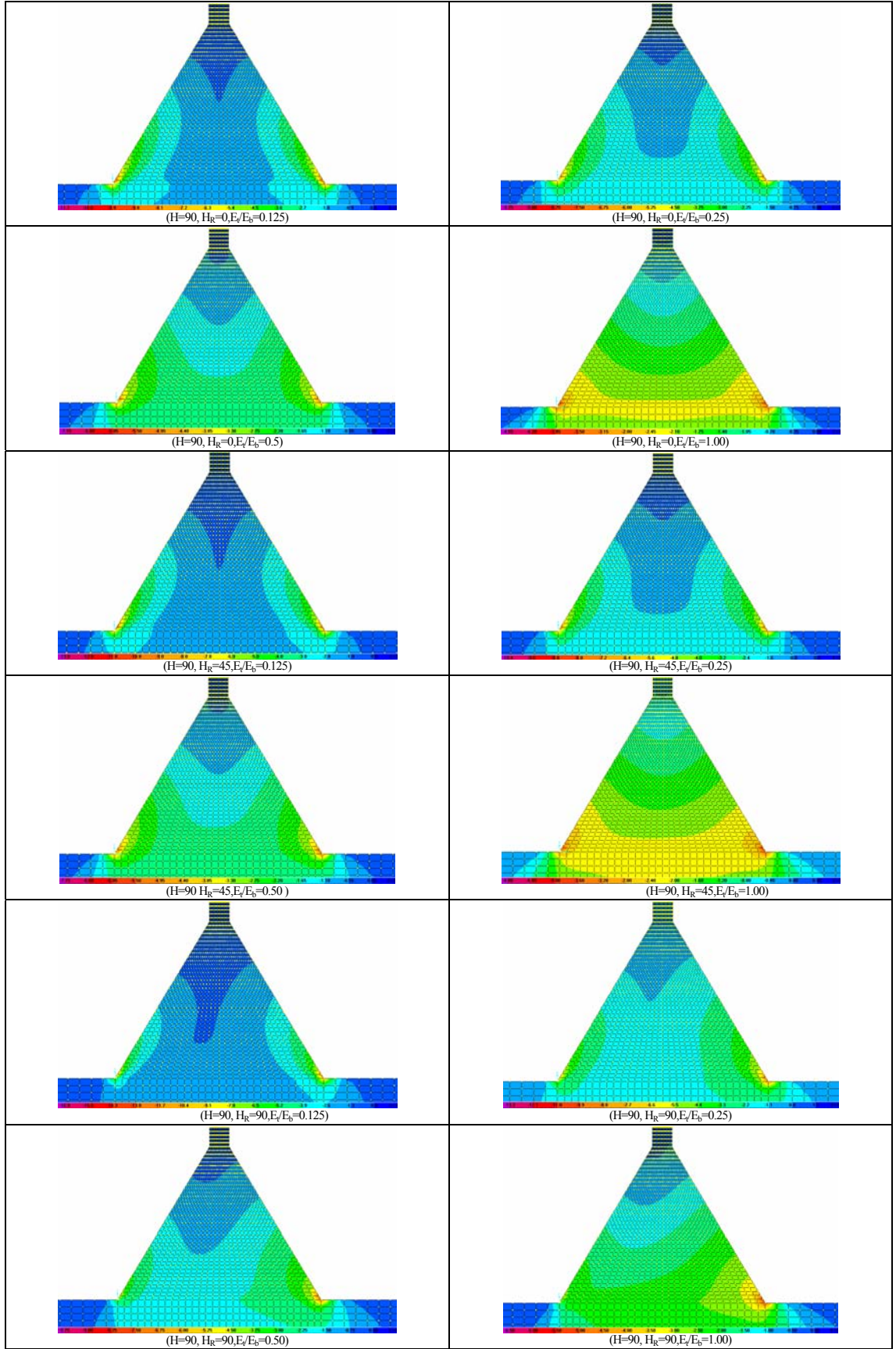
EK.1. Baraj yüksekliği 30, 60, 90, 120 m, şev eğimlerinin (0.6y:1.0d), (0.7y:1.0d), (0.8y:1.0d) ve rezervuarın boş, yarı dolu, tam dolu olması için; baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde maksimum ve minimum asal gerilme görünümleri.



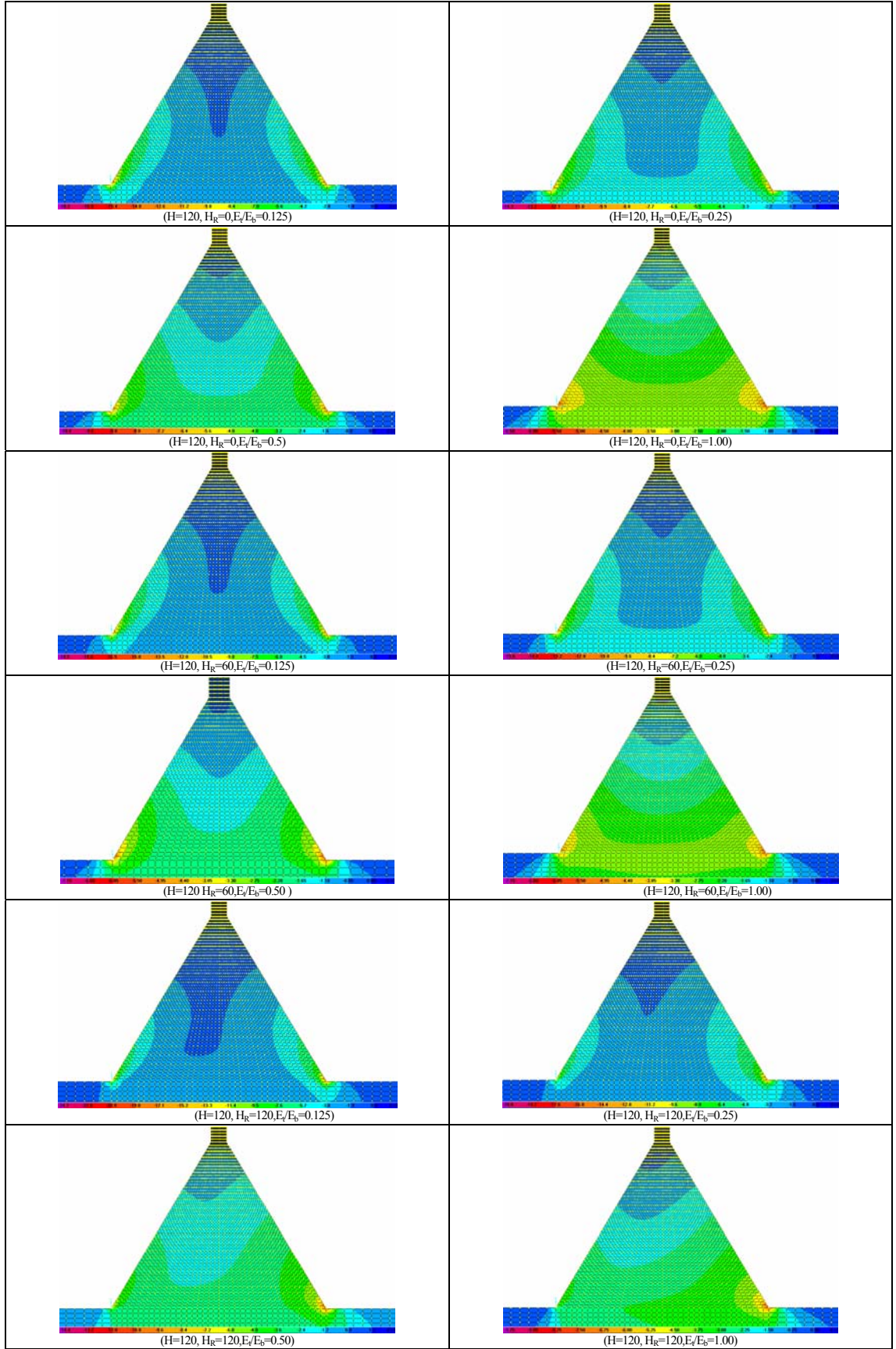
Şekil E.1.1 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü



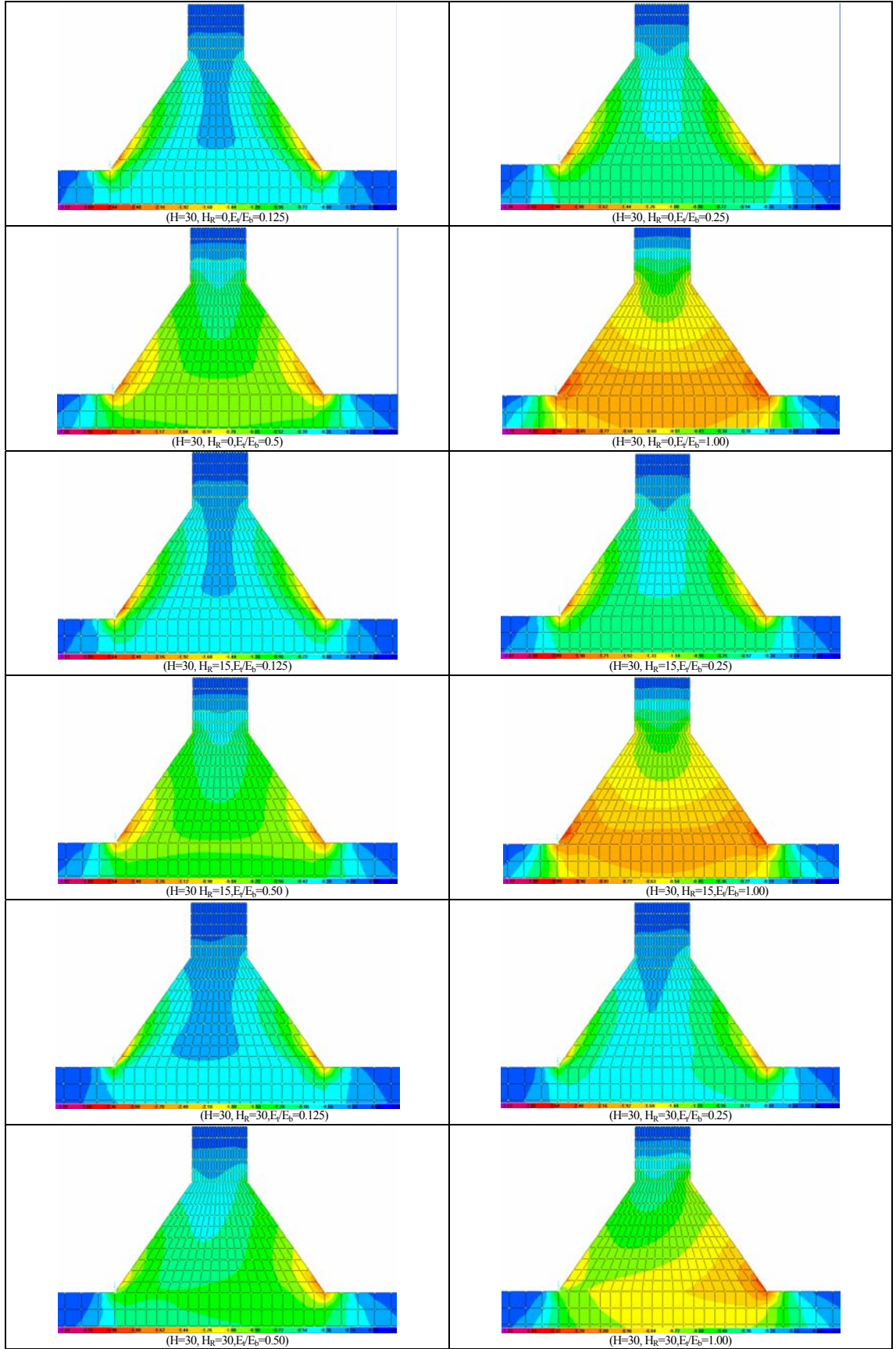
Şekil E.1.2 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü



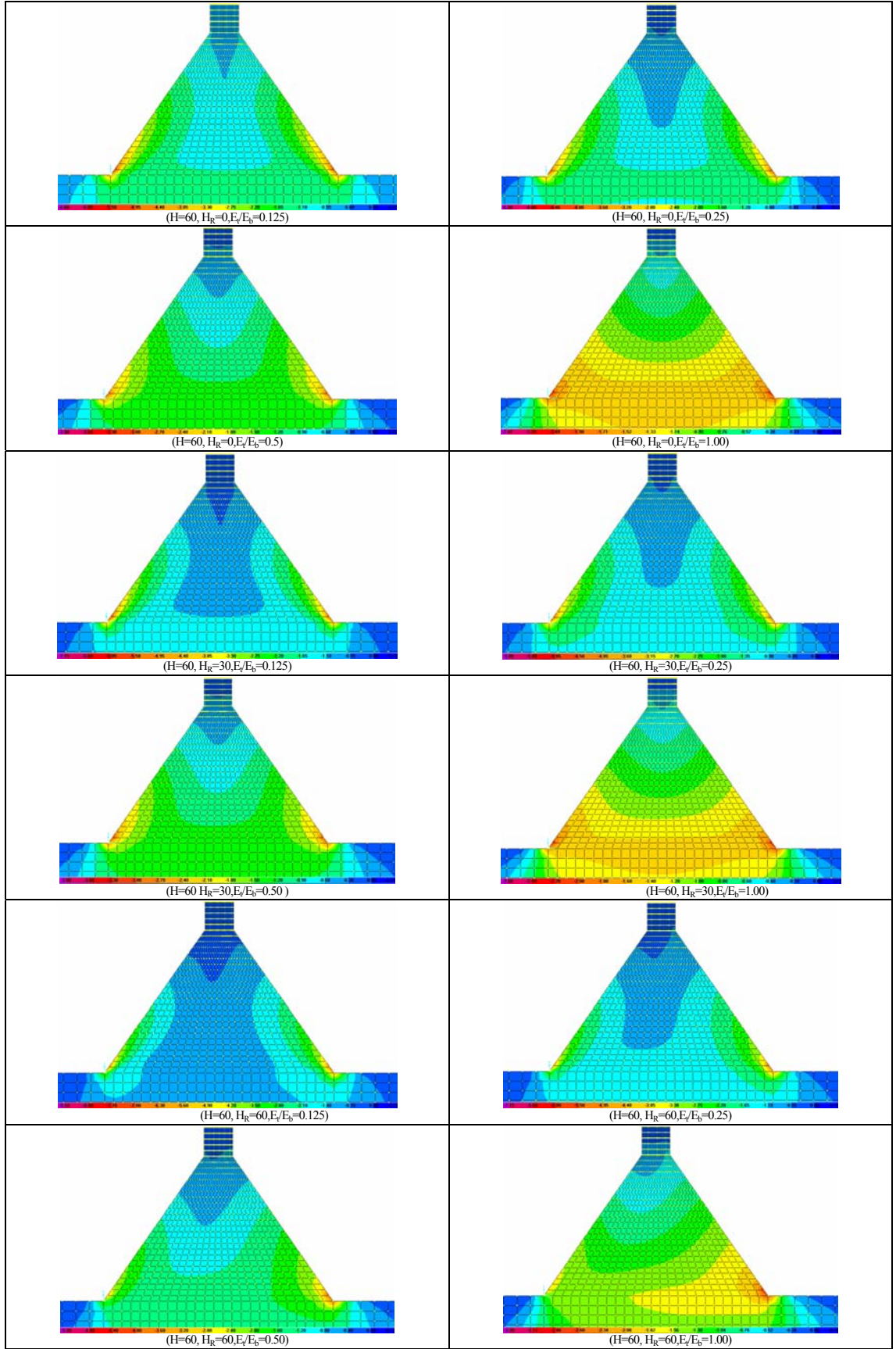
Şekil E.1.3 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü



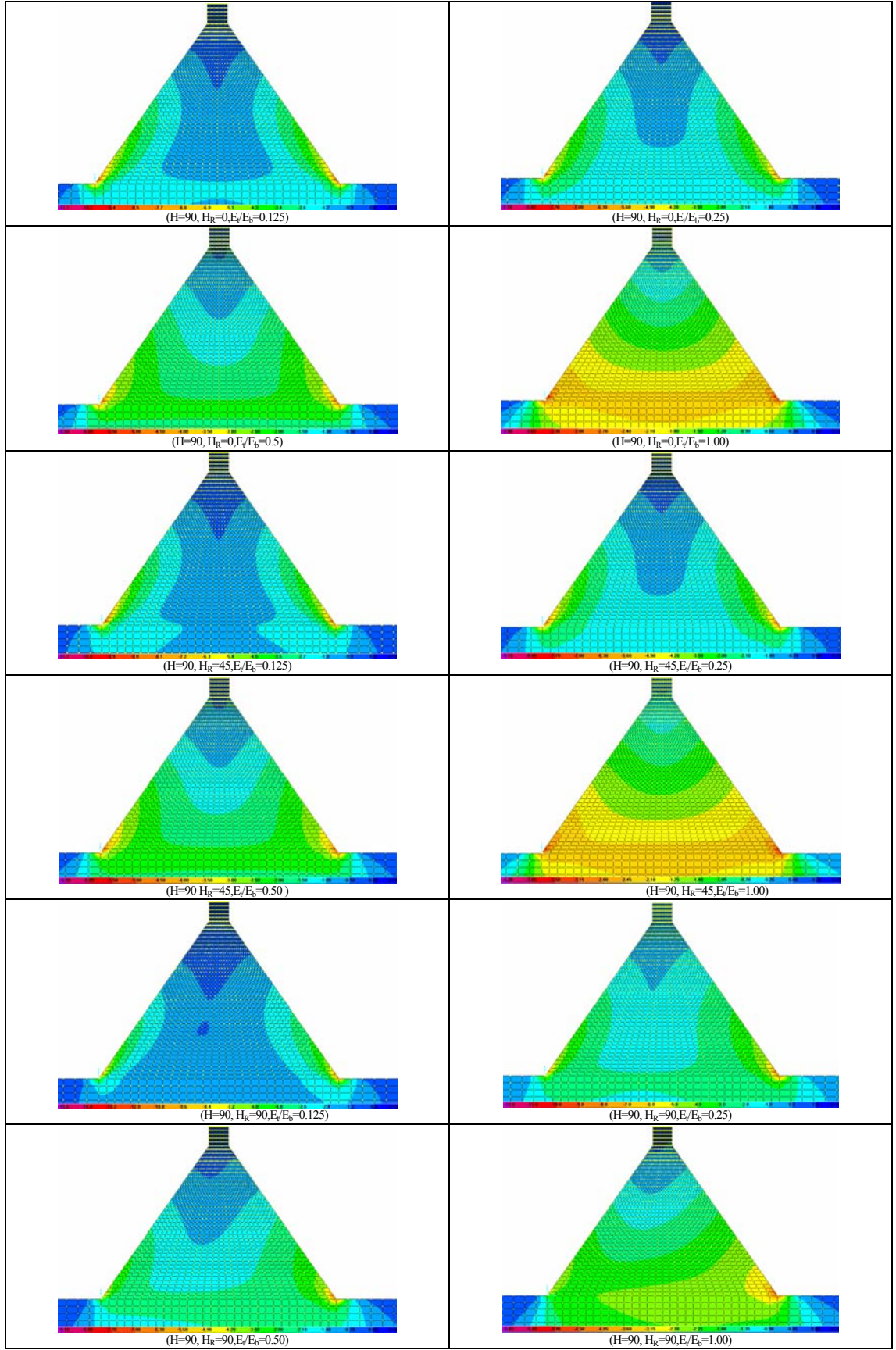
Şekil E.1.4 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görünümü



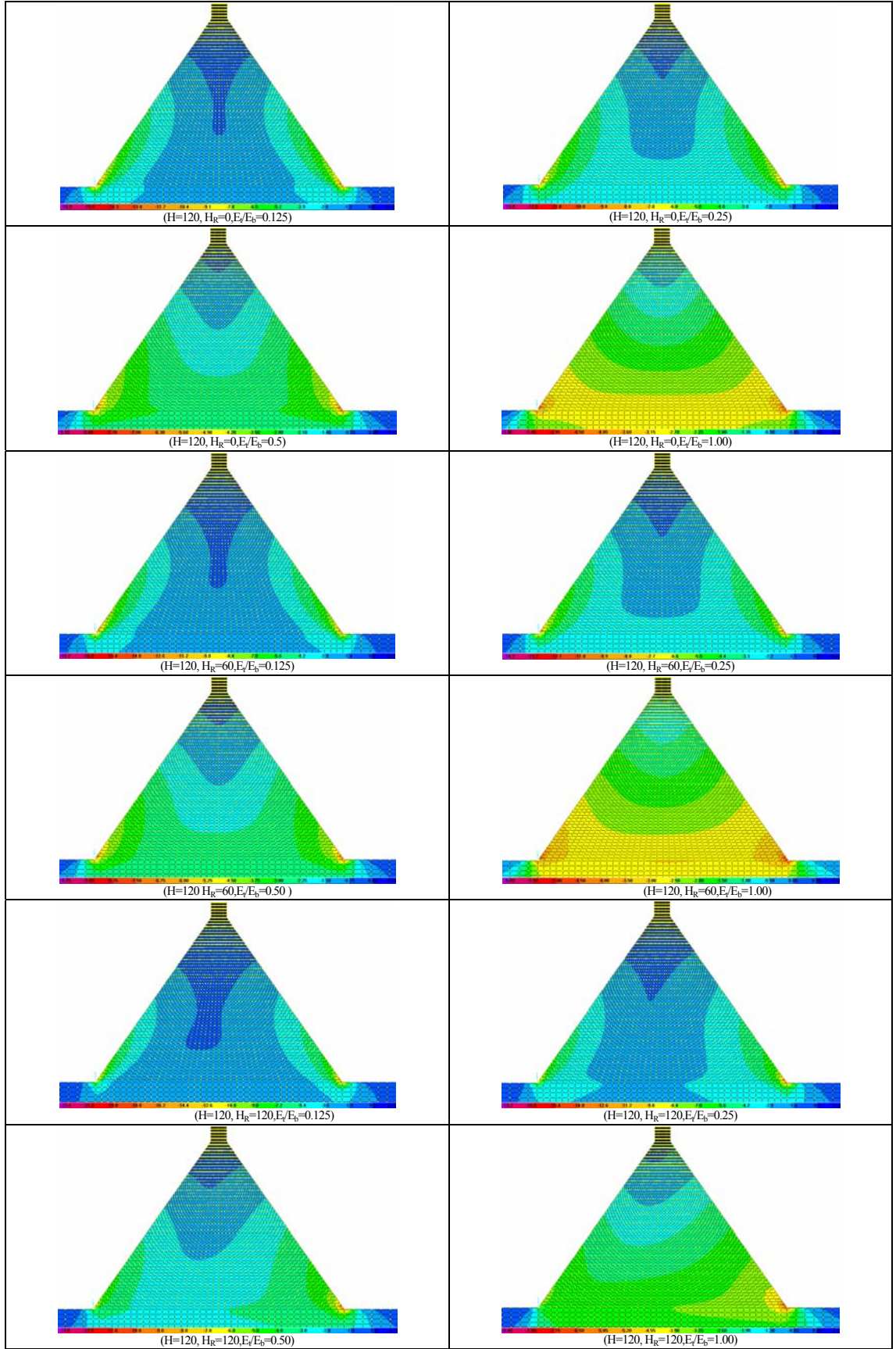
Şekil E.1.5 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü



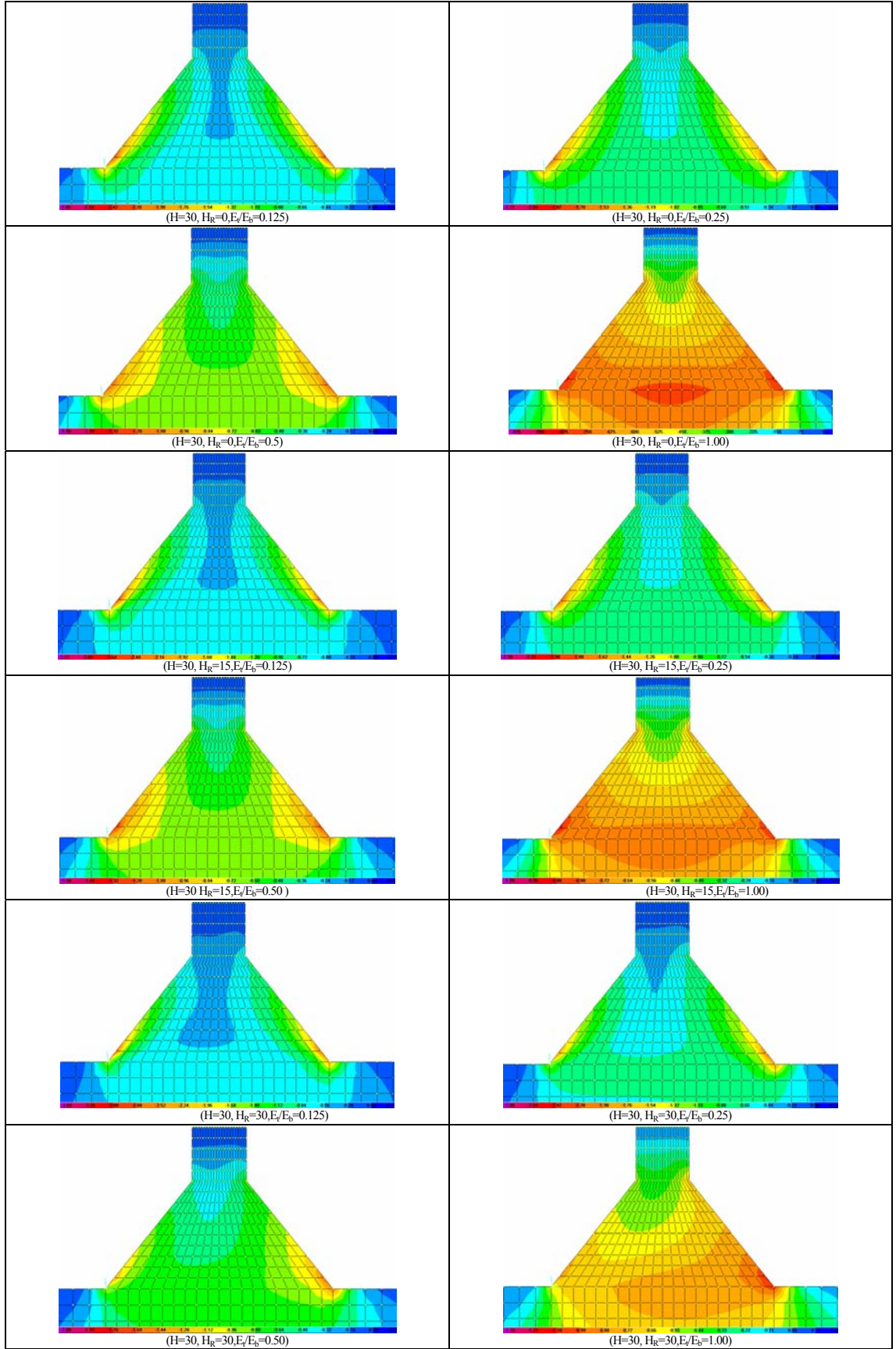
Şekil E.1.6 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü



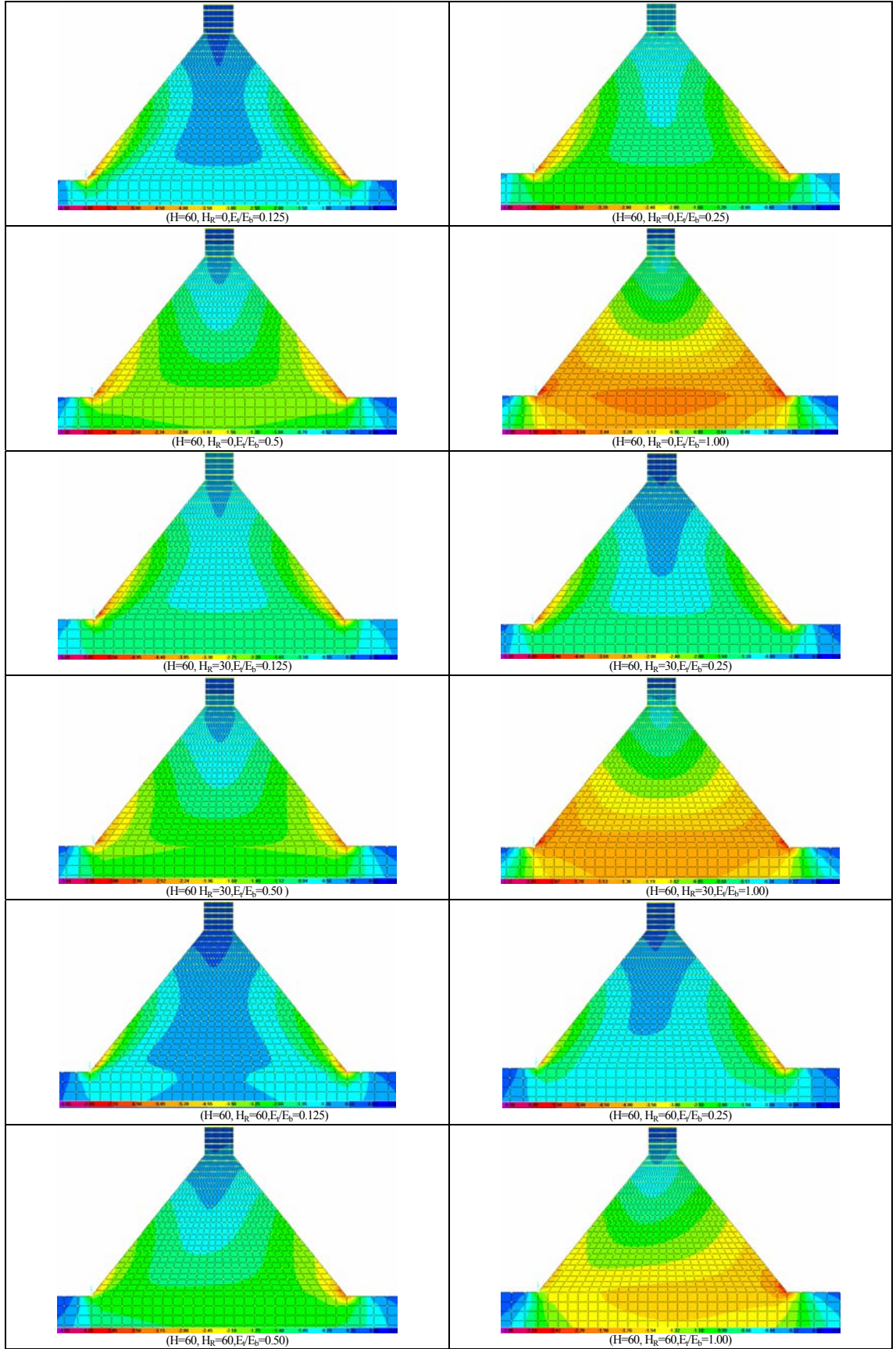
Şekil E.1.7 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü



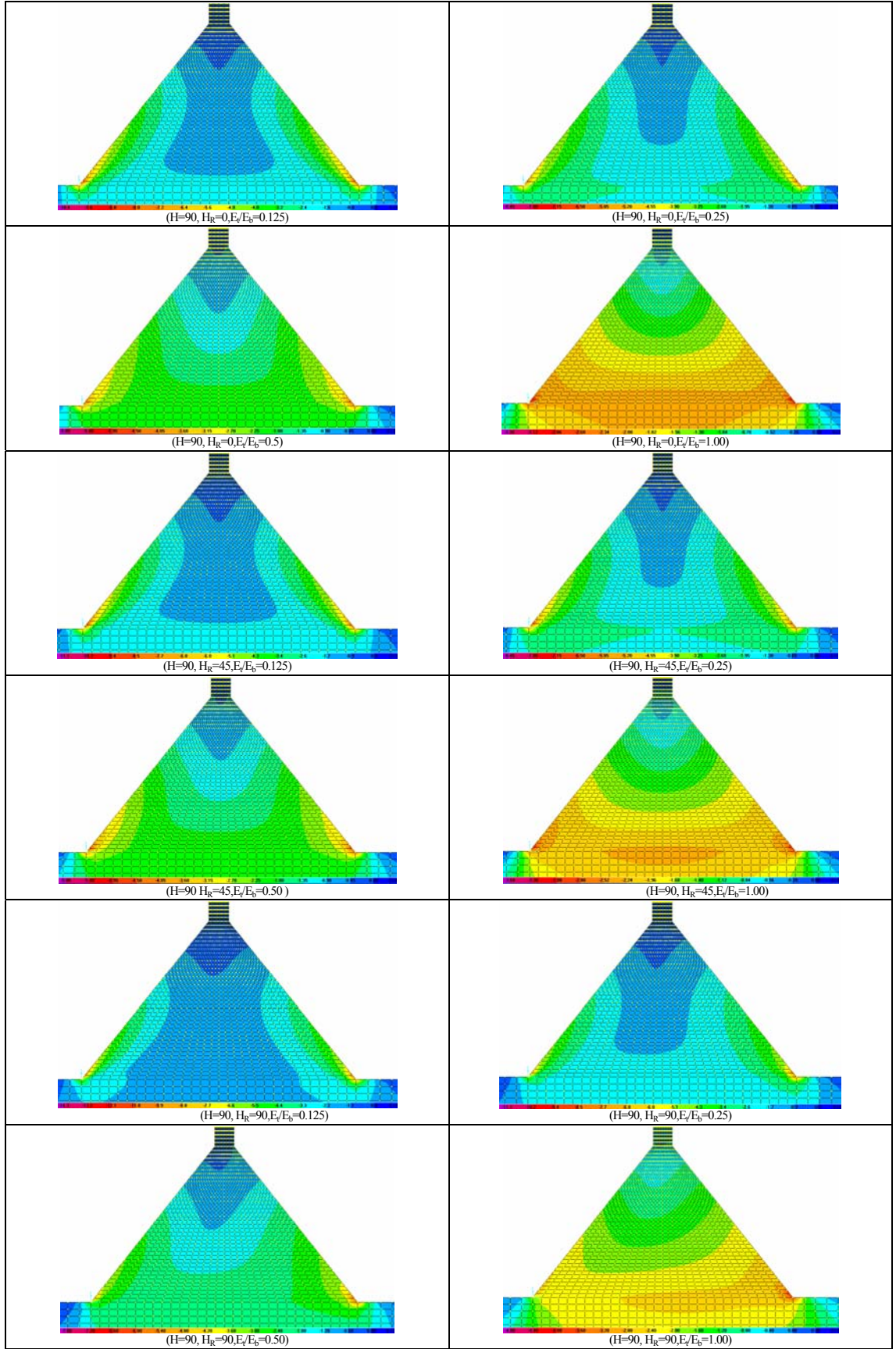
Şekil E.1.8 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görünümü



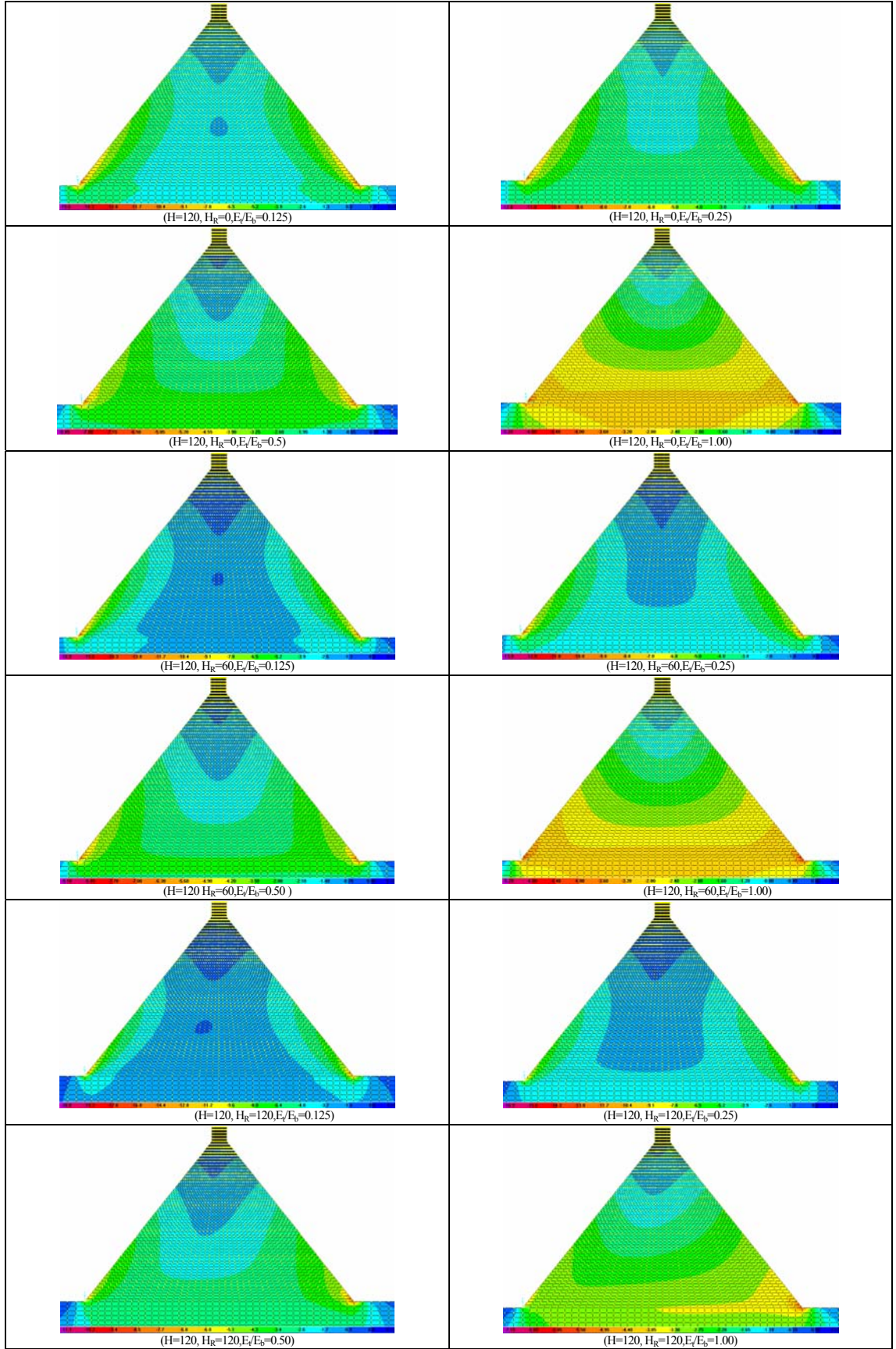
Şekil E.1.9 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj Yüksekliği 30 m için minimum asal gerilme görünümü



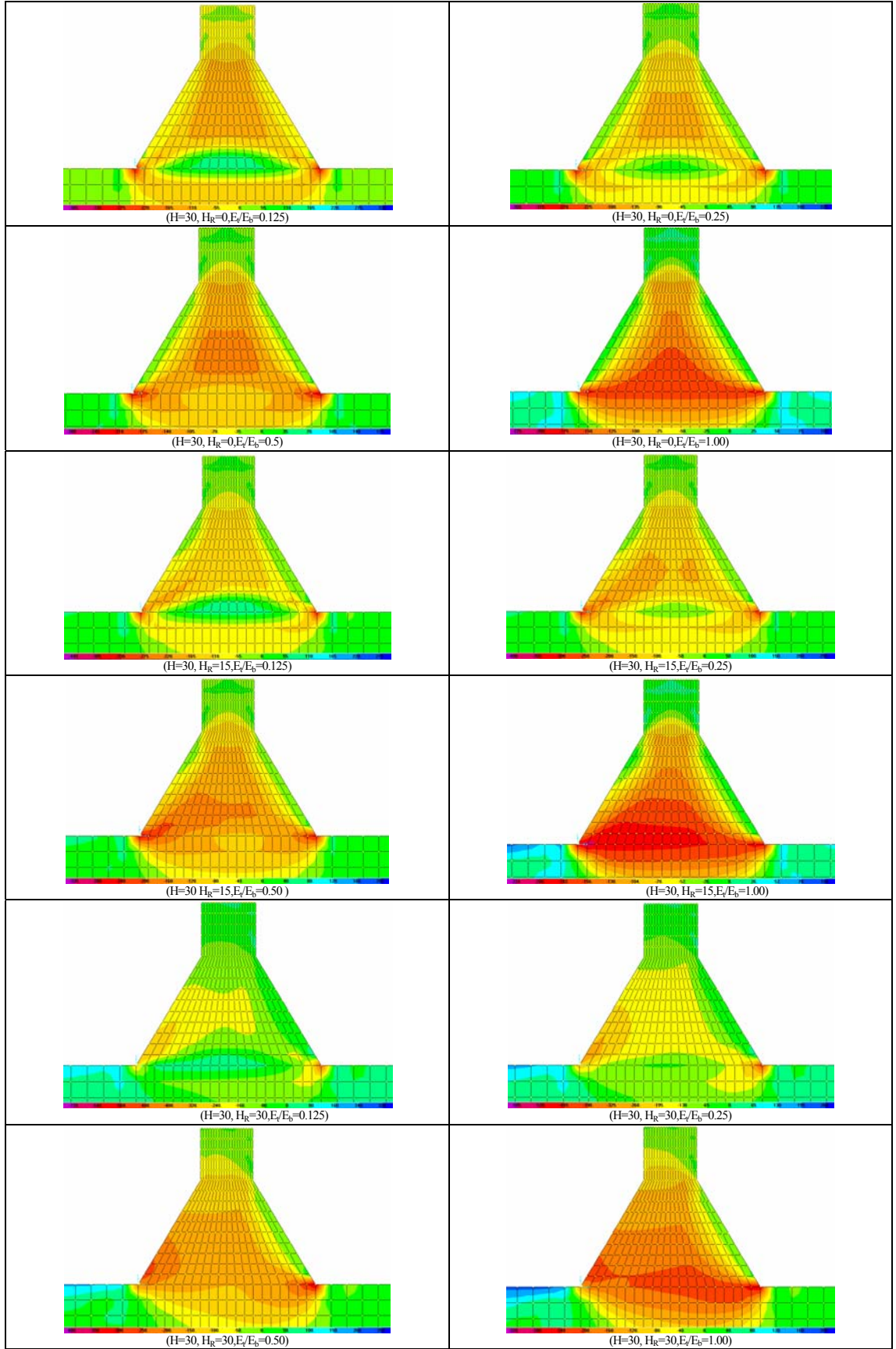
Şekil E.1.10 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için minimum asal gerilme görünümü



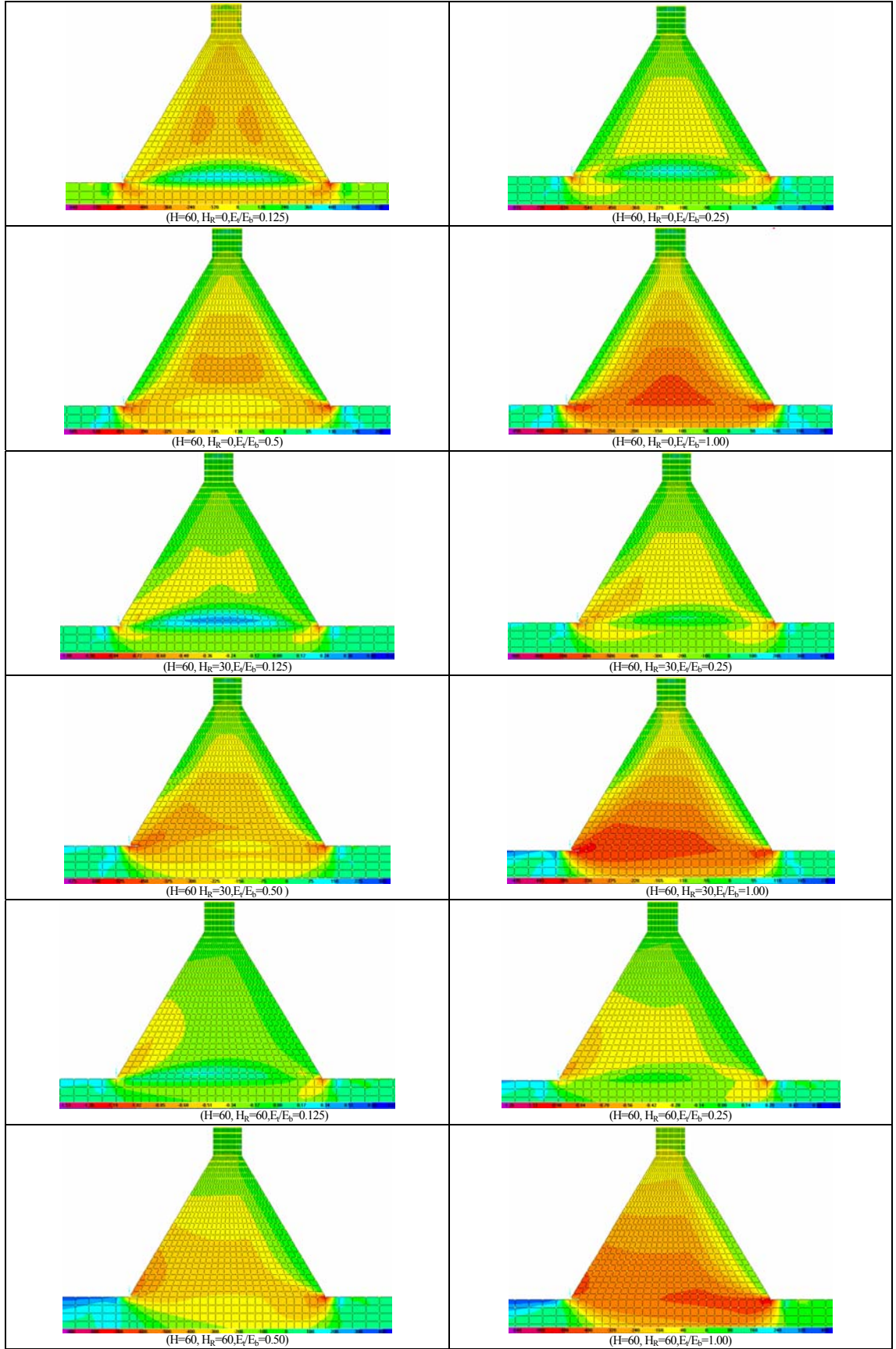
Şekil E.1.11 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için minimum asal gerilme görünümü



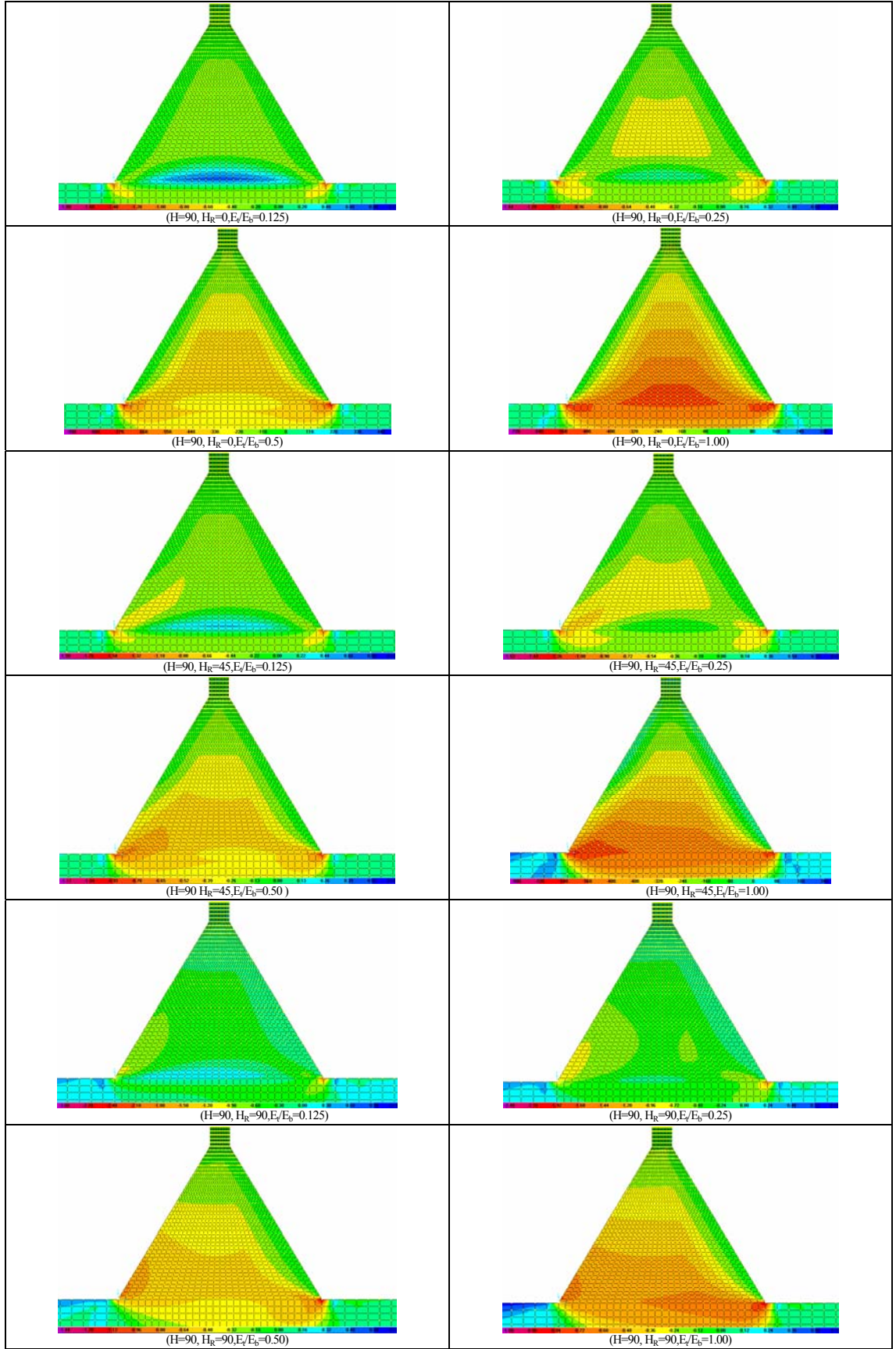
Şekil E.1.12 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için minimum asal gerilme görüntümü



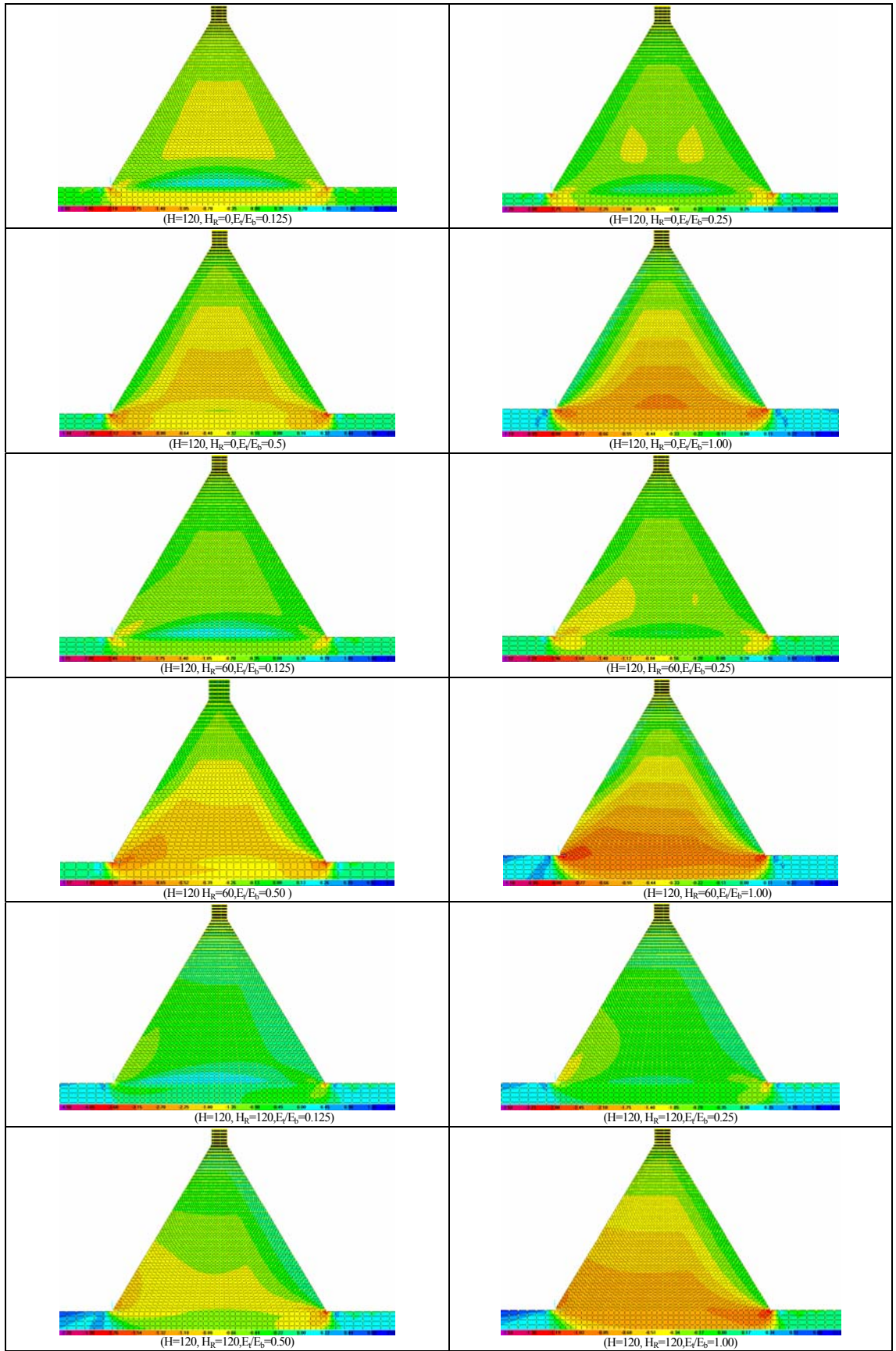
Şekil E.1.13 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için maksimum asal gerilme görünümü



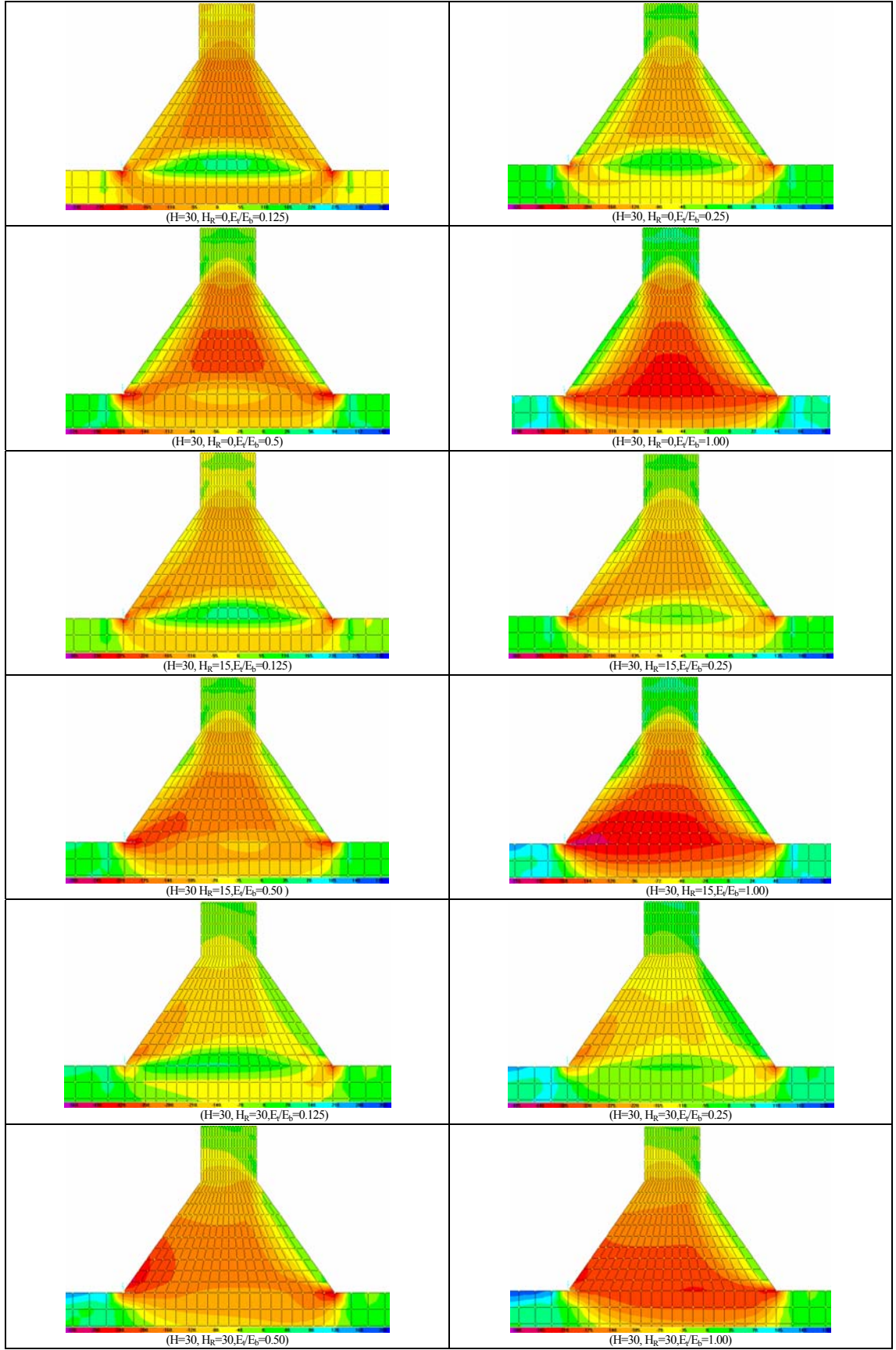
Şekil E.1.14 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü



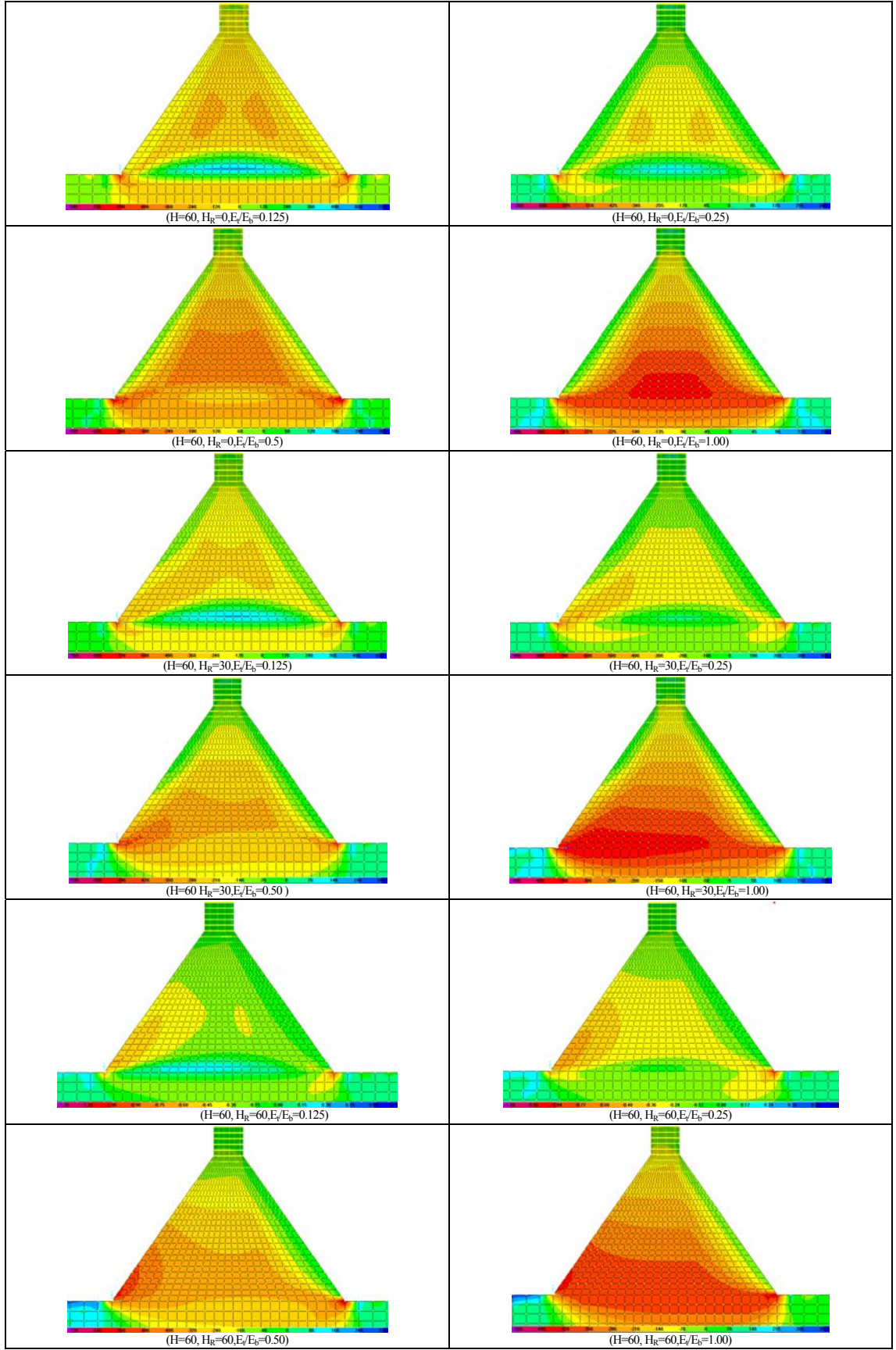
Şekil E.1.15 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görünümü



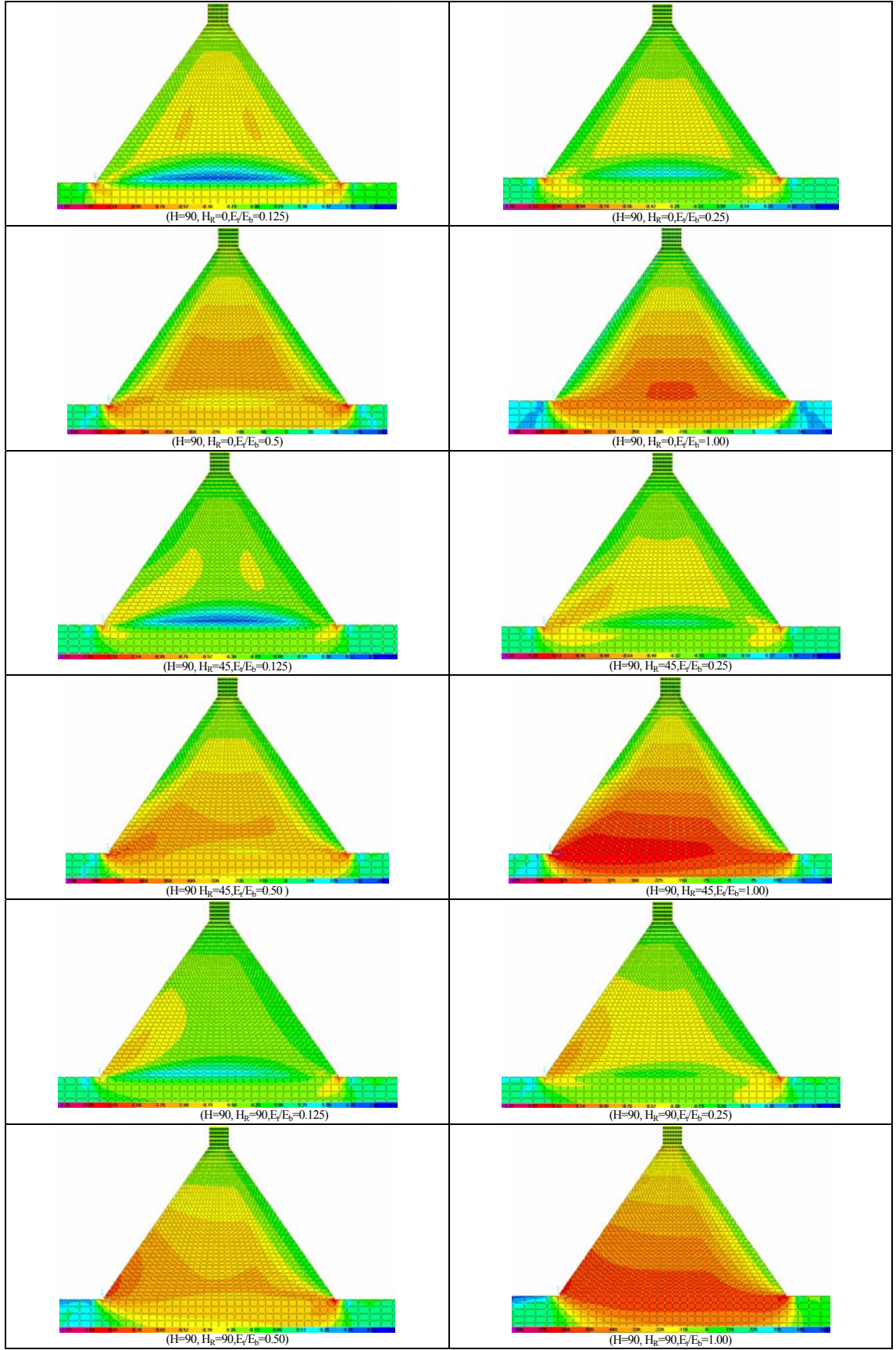
Şekil E.1.16 Şev eğimi (0.6y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü



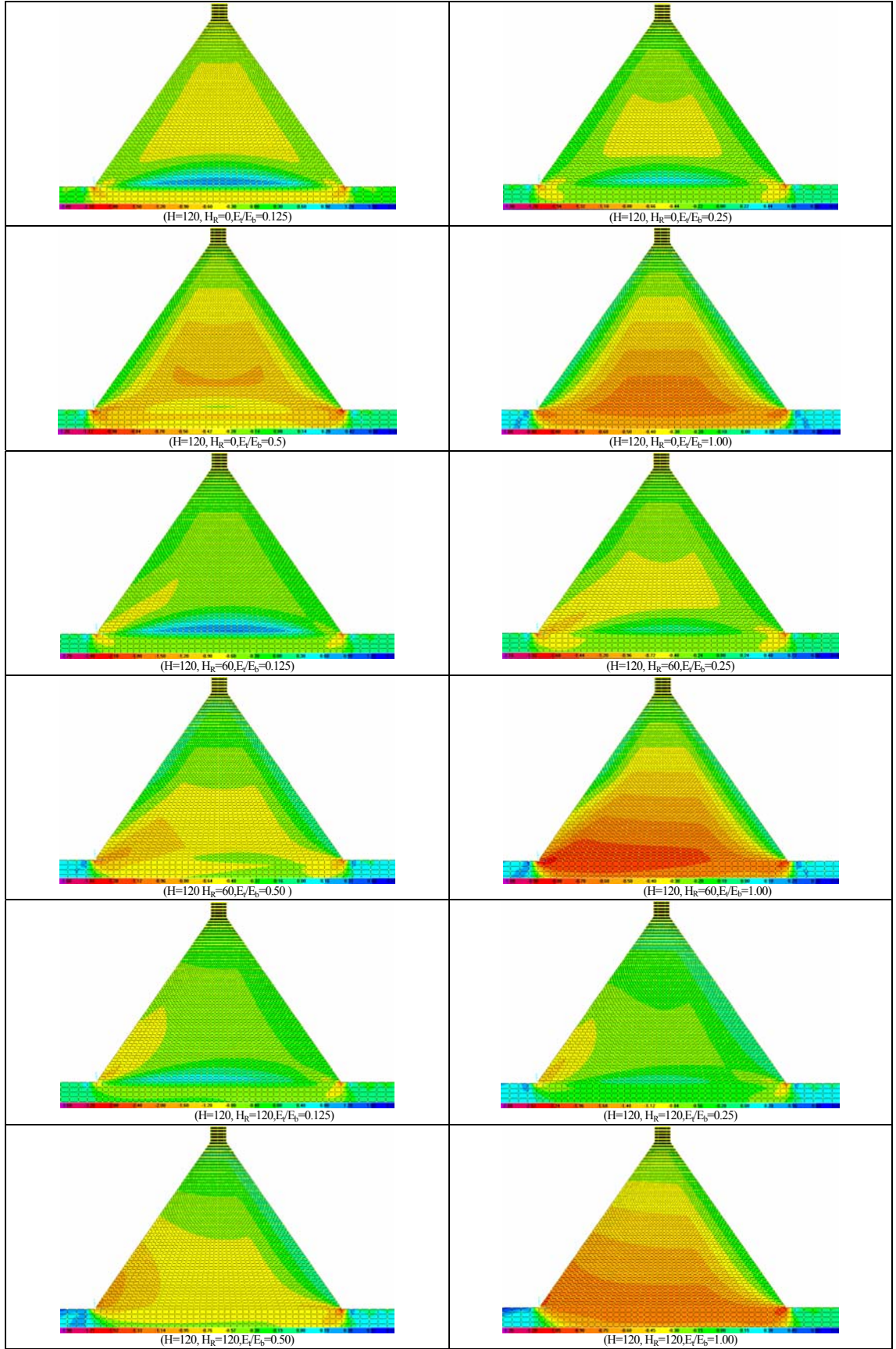
Şekil E.1.17 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için maksimum asal gerilme görünümü



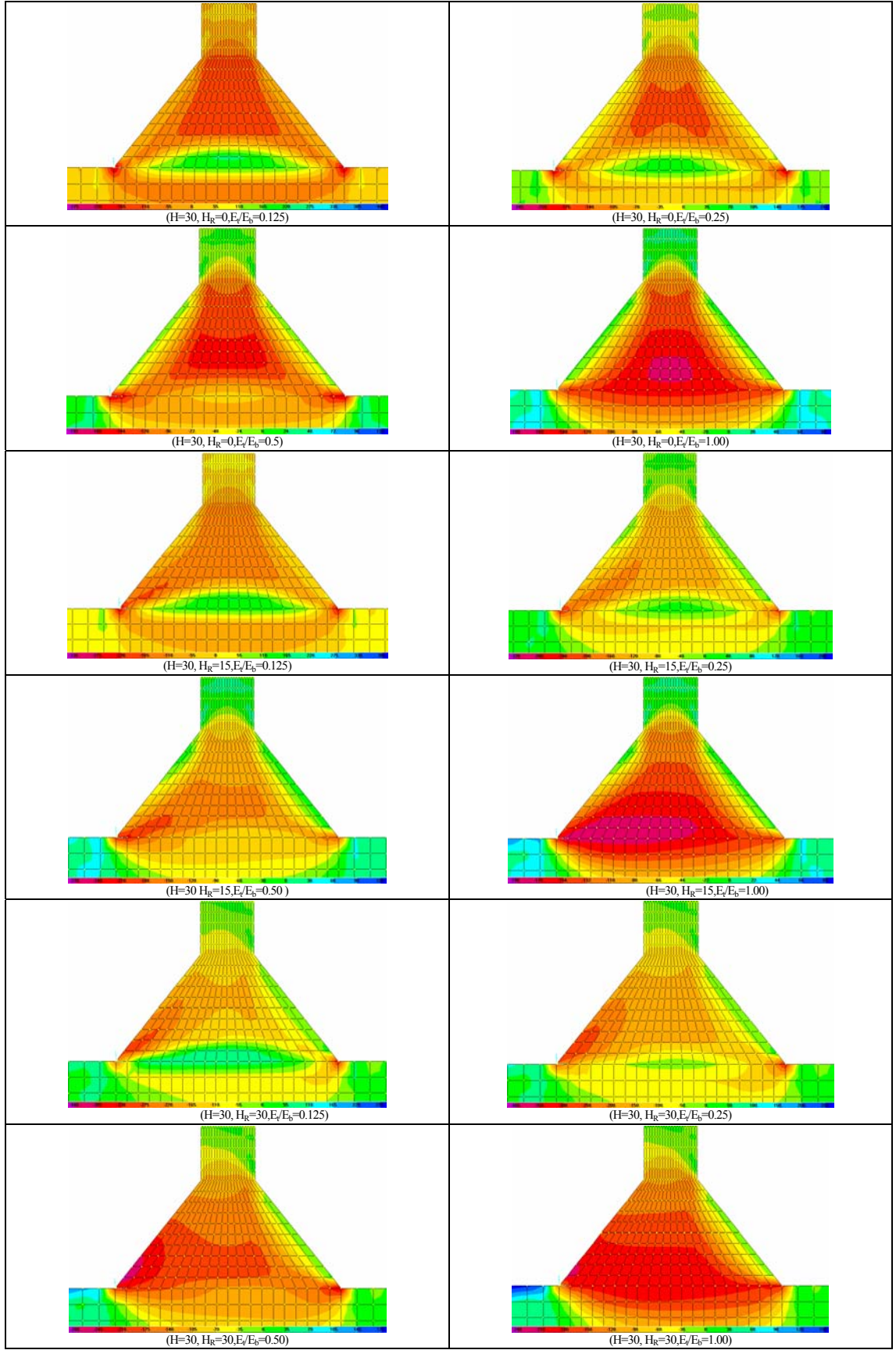
Şekil E.1.18 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü



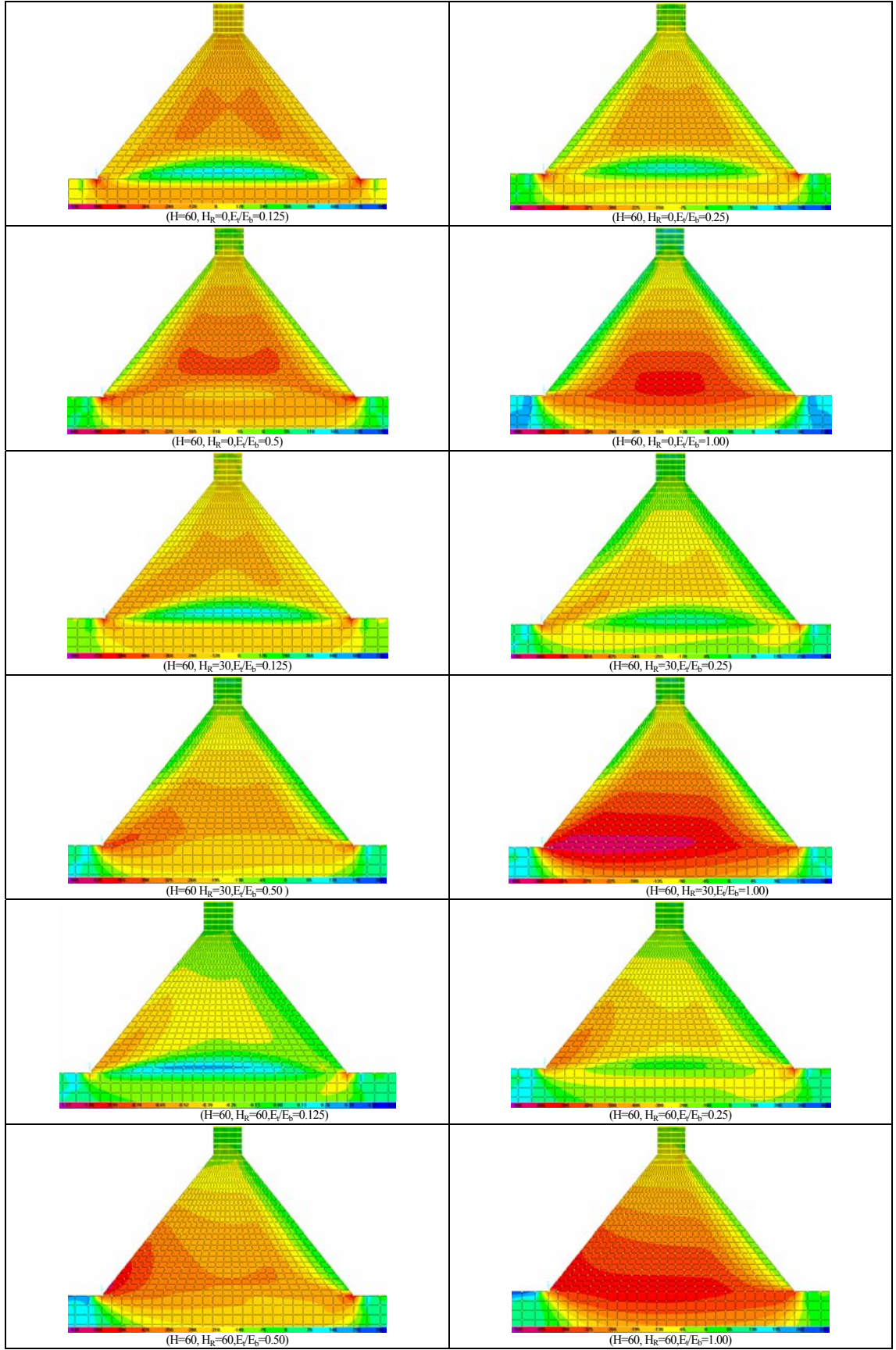
Şekil E.1.19 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görünümü



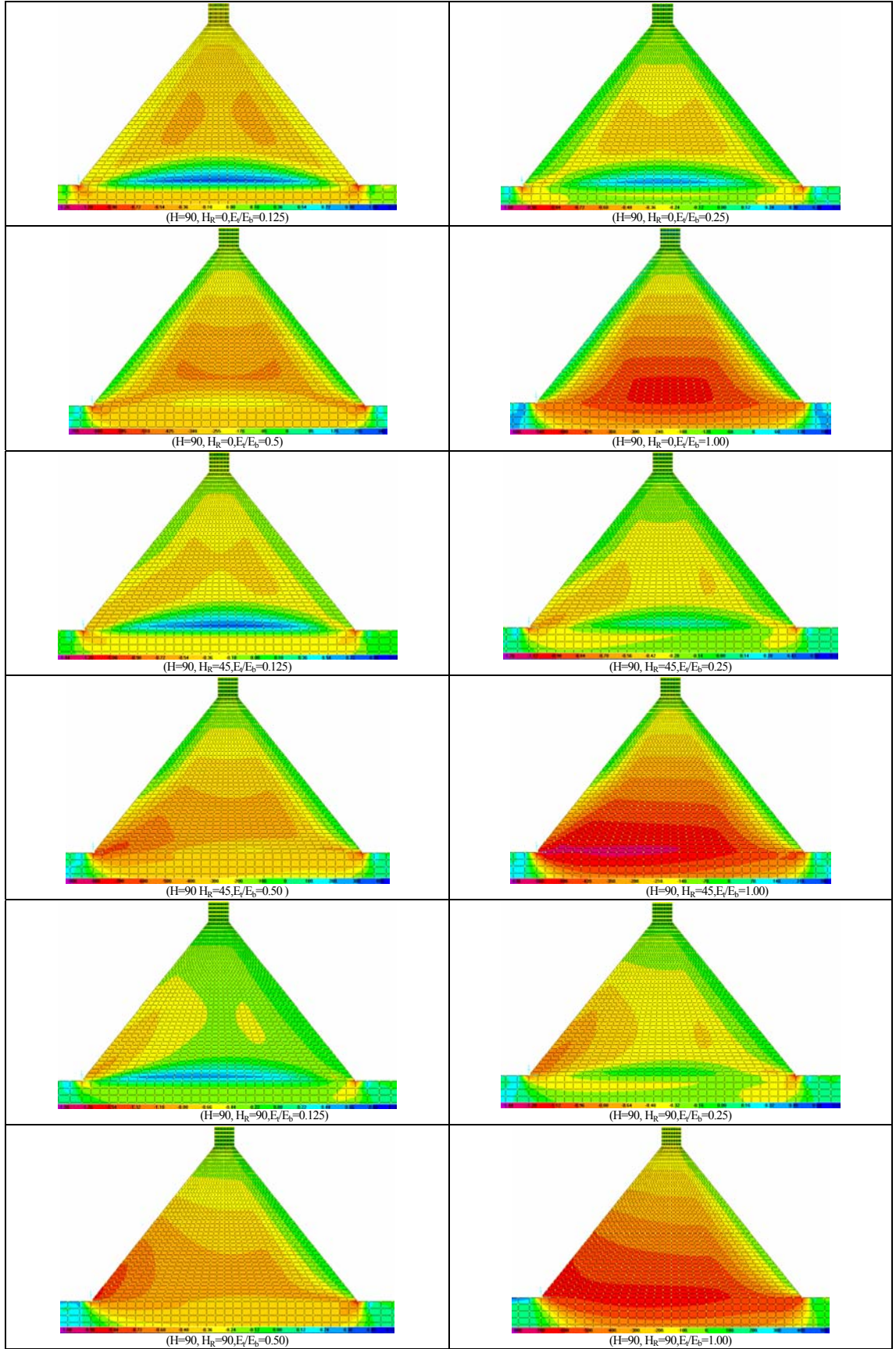
Şekil E.1.20 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü



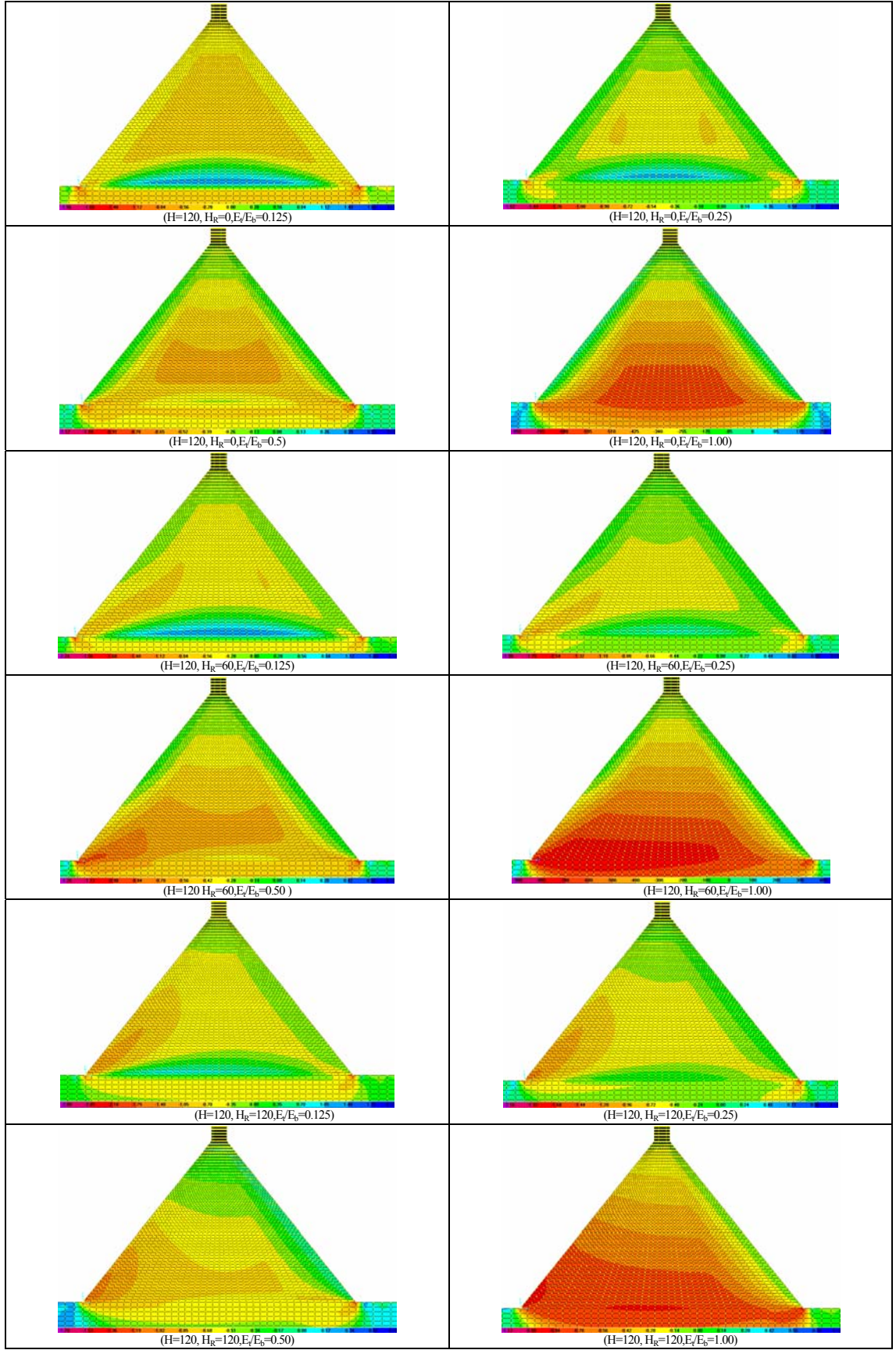
Şekil E.1.21 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 30 m için maksimum asal gerilme görünümü



Şekil E.1.22 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 60 m için maksimum asal gerilme görünümü



Şekil E.1.23 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 90 m için maksimum asal gerilme görüntüsü



Şekil E.1.24 Şev eğimi (0.8y/1.0d) baraj yüksekliği 120 m için maksimum asal gerilme görünümü