

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

**KAYA OLMAYAN TEMELLER ÜZERİNDE İNŞA EDİLEN
DÜŞÜK YÜKSEKLİKLİ SSB BARAJLARIN
STATİK ANALİZİ**

Zeyneb KILIÇ

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYA OLMAYAN TEMELLER ÜZERİNDE İNŞA EDİLEN
DÜŞÜK YÜKSEKLİKLİ SSB BARAJLARIN
STATİK ANALİZİ

Zeyneb Kılıç

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 06 / 03 / 2009 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Prof. Dr. Yusuf CALAYIR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Cengiz POLAT

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYA OLMAYAN TEMELLER ÜZERİNDE İNŞA EDİLEN DÜŞÜK YÜKSEKLİKLİ SSB BARAJLARIN STATİK ANALİZİ

Zeyneb KILIÇ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa: 78

Silindirele sıkıştırma beton barajlar (SSB), klasik beton barajlarla kıyaslandığında kısa inşaa süresi ve düşük maliyet gibi birçok avantajlara sahiptir. Oldukça kısa sürede yapılan ve klasik beton ağırlık barajlardan %40~60 daha az maliyete inşaa edilebilen SSB barajlar; kil, siltli kum, çakıl, alüyon vb. gibi kaya olmayan temellerde de inşaa edilebilmektedir. Lower Chase Creek Barajı (ABD), Cedar Falls Barajı (ABD) ve Dryden Barajı (ABD) SSB tipinde olup kaya olmayan temeller üzerine inşaa edilmiştir. Bu temeller üzerine baraj inşaa edilirken temelde farklı oturma, sızma, borulanma, mansap topuğunda erozyon gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu açıdan tasarımda çok dikkatli olmak, yapının ekonomikliği ve sağlamlığı açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; SSB baraj tipinin kaya olmayan temellerde inşaa edilmesi durumunda statik yükler altındaki performansı incelenmiştir. Farklı zemin dayanımlarına sahip temeller üzerinde inşaa edilen barajların statik yükler altında lineer elastik davranışları dikkate alınmıştır. Yüğü daha geniş bir alana yaymak ve sızma boyunu uzatmak amacıyla üç farklı geometrideki baraj enkesiti üzerinde analizler yapılmıştır. Baraj yükseklikleri 20, 35, 50 ve 100 m olarak alınmıştır. Temelin dayanımı, barajın elastisite modülünün bir oranı şeklinde (E_t/E_b) hesaba katılmıştır. Analizler, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50, şev eğimlerinin de (0.7y/1.0d), (0.75y/1.0d), (0.8y/1.0d) olması durumlarında yapılmıştır. Baraj gövdesinde ve baraj-temel arayüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimumlarının ve baraj gövdesinde oluşan maksimum yer değıştirmelerin değışimi her bir durum için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilmiş ve bunlara ait eşitlikler çıkartılmıştır. Ayrıca, test edilen baraj kesitleri için devrilme ve kayma tahkikleri de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj, SSB, Statik Analiz, Baraj Temelleri

ABSTRACT

MSc Thesis

STATIC ANALYSIS OF LOW RCC DAMS CONSTRUCTED ON NONROCK FOUNDATIONS

Zeyneb KILIÇ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2009, Page: 78

Roller compacted concrete (RCC) dams, have important advantages such as fast construction and low cost with respect to conventional concrete dams. RCC dams are built faster with a 40~60% lower cost and can be constructed on non-rock foundations, that is, clay, silt, gravel, alluvium etc. Lower Chase Creek (USA), Cedar Falls (USA) and Dryden (USA) dams are some examples of RCC dams, constructed on nonrock foundations. When dams are constructed on nonrock foundations, common problems that must be considered in the design process are differential settlement, piping, seepage and erosion at the downstream toe. In order to maintain low cost and the stability of the structure these design challenges must be addressed.

In this study, the performance of RCC dams constructed on the non-rock foundations was investigated. Linear elastic behavior of foundations with different strength was investigated under the static loads. The analyses were carried out for three different dam cross sections so as to apply the load more large area and increase length of the leak. Dam heights were selected as 20, 35, 50 and 100 m. 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 and 0.5 of the E_t/E_b values. Downstream slopes were taken as (0.7y/1.0d), (0.75y/1.0d), (0.8y/1.0d). The dam and foundation domains were assumed as linear elastic and modeled with finite element technique. Results were obtained at dam body and dam-foundation interface and equations belong to these were presented. Moreover, stability analyses were made for selected dam cross sections.

Key Words: Dam, RCC, Static Analyses, Dam Foundation

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, Prof. Dr. Yusuf CALAYİR'e Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON'a en samimi duygularımla teşekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
SİMGELER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. BARAJ TEMELLERİ VE SSB BARAJLAR	3
2.1 Baraj Temelleri	3
2.1.1 Kaya temeller	3
2.1.2 Çakıl temeller	5
2.1.3 Silt ve ince kum karışımı temeller	5
2.1.4 Kil temeller	6
2.1.5 Siltli ve killi temeller	6
2.1.6 Üniform olmayan temeller	6
2.2. Temellerin İyileştirilmesi	7
2.2.1 Konsolidasyonla sağlamlaştırma	7
2.3.1.1 Titreşimle sağlamlaştırma	7
2.2.1.2 Enjeksiyonla Sağlamlaştırma	7
2.2.2 Enjeksiyonla Geçirimsizleştirme	7
2.2.3 Drenaj	8
2.2.4 Yamaçları Koruma	8
2.3 SSB Barajlar	8
2.3.1 SSB barajların sınıflandırılması	11
2.3.1.1. Düşük dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar	11
2.3.1.2. Normal Dozda Bağlayıcı İçeren SSB Barajlar	12
2.3.1.3 Yüksek oranda bağlayıcı içeren SSB barajlar	12
2.3.1.4 RCD barajlar	13
2.3.1.5. Katı Dolgu Baraj	14
2.3.2 Silindirle Sıkıştırma beton barajın üstünlükleri	16
2.3.3 SSB Betonunda kullanılan malzemeler	17

2.3.4 SSB Betonun genel özellikleri	21
2.3.5 SSB Barajların inşa yerleri	26
2.3.6 SSB Barajların tasarımı ve inşası	28
2.3.6.1 Tabakalar arasındaki bağ dayanımı	29
2.3.6.2 Sızma kontrolü	30
2.3.6.3 Tabaka yüzeylerinin hazırlanması	31
2.3.6.4. SSB Üretimi ve dökümü	31
3. SSB AĞIRLIK BARAJLARIN STATİK ANALİZİ	35
3.1 STABİLİTE TAHKİKLERİ	35
3.1.1. Kayma Tahkiki	35
3.1.2. Devrilme Tahkiki	35
3.1.3. Gerilme Tahkiki	35
3.2 LİNEER STATİK ANALİZ	36
3.2.1 İzoparametrik elemanlar	36
4.DÜŞÜK YÜKSEKLİKLİ SSB BARAJIN STATİK ANALİZİ	43
4.1 Statik Stabilitate Analizi	43
4.2 Lineer Elastik Statik Analizi	45
4.2.1 Enkesit Tipi 1 için gerilme ve deplasman durumları	46
4.2.2 Enkesit Tipi 2 için gerilme ve deplasman durumları	53
4.2.3 Enkesit Tipi 3 için gerilme ve deplasman durumları	59
4.2.4. Elde edilen verilerin analizi	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
6. KAYNAKLAR	69
7. EKLER	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Guangzhao Barajından bir görünüm	9
Şekil 2.2. Shimajigawa Barajından bir görünüm	13
Şekil 2.3 Katı dolgu baraj enkesiti	15
Şekil 2.4 Dahuashui SSB kemer baraj inşasından bir görünüm	16
Şekil 2.4 Puzolan konan SSB için betonun yaşına göre eşdeğer çimento içerikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntı	19
Şekil 2.5 Puzolan konmayan SSB için betonun yaşına göre eşdeğer çimento içerikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntı	19
Şekil 2.6 Eşit dayanımlı beton için orantı eğrileri	20
Şekil 2.7 SSB barajlarda bağlayıcı içeriği ile (yerinde yapılan) Permeabilite katsayıları arasındaki ilişki	24
Şekil 2.8 Klasik beton ağırlık baraj ile SSB betonunun maliyet karşılaştırması	25
Şekil 2.9 SSB barajların inşa hızı	26
Şekil 2.10 (a-c) Kaya olmayan temeller üzerine inşa edilebilecek düşük yükseklikli SSB baraj enkesit örnekleri	28
Şekil 3.1 Dörtgen izoparametrik sonlu eleman	36
Şekil 4.1 (a-c) Bu çalışmada dikkate alınan SSB baraj enkesitleri	43
Şekil 4.2 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliğinin 50m olması halinde, a) Tip1 ,b) Tip 2, c) Tip 3 için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri	46
Şekil E.1.1 Enkesit tipi 1 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde maksimum asal gerilme görünümü	73
Şekil E.1.2 Enkesit tipi 1 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü	74
Şekil E.1.3 Enkesit tipi 2 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde maksimum asal gerilme görünümü	75
Şekil E.1.4 Enkesit tipi 2 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü	76
Şekil E.1.5 Enkesit tipi 3 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde maksimum asal gerilme görünümü	77
Şekil E.1.6 Enkesit tipi 3 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü	78

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. SSB ve RCD tipte inşa edilen bazı barajların özellikleri	10
Tablo 2.2 Shimajigawa Barajının RCD karışımı	13
Tablo 2.3 Japonya’da inşa edilen RCD Barajların bazı özellikleri	14
Tablo 2.4 Maksimum dane çapı, su, bağlayıcı ve sürenin beton basınç dayanımına etkisi	22
Tablo 2.5 Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin beton yaşına göre değişimi	23
Tablo 2.6 SSB barajlar için birim maliyetler	25
Tablo 2.7 Baraj tipi ve maliyet tahmini	25
Tablo 4.1 Tip1 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri	43
Tablo 4.2 Tip2 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri	44
Tablo 4.3 Tip3 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri	44
Tablo 4.4 Enkesit tipi 1 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	51
Tablo 4.5 Enkesit tipi 1 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	52
Tablo 4.6 Enkesit tipi 2 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	57
Tablo 4.7 Enkesit tipi 2 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri	59
Tablo 4.8 Enkesit tipi 3 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri	64
Tablo 4.9 Enkesit tipi 3 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri ve düşey yer değiştirme değerleri	65

SİMGELER

A	:Alan
$[B]$	: 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
$[J]$	: Jakobiyen matrisi
$[k]_e$	: Elaman rijitlik matrisi
m	: Şev
$\tilde{m}$	: Birimsiz şev
$[N]$	: Şekil fonksiyonları matrisi
$\tilde{P}_1$	: 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
$\emptyset$	: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
γ_b	: Baraj malzemesinin birim hacim ağırlığı
γ_c	: Betonun birim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı

1. GİRİŞ

Son yüzyılda nüfustaki hızlı artış, kaydedilen teknolojik gelişmeler, insanların artan ihtiyaçları beraberinde doğal kaynaklardan daha fazla yararlanma çabalarını getirmiştir. Bu kaynakların başında da yeraltı ve yer üstü su kaynakları gelmektedir. Su rezervuarından değişik amaçlarla, sürekli ve verimli bir şekilde yararlanmak ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunu sağlayabilmek için birçok uygulama yapılmıştır. Günümüzde de bu kaynaklardan daha fazla yararlanabilmek için en çok başvurulacak yol barajların yapılmasıdır. En iyi hizmetin alınabileceği, en ekonomik ve uygun barajların yapılabilmesi için yapılan çalışmalar ve alternatif arayışları gün geçtikçe hız ve önem kazanmaktadır.

Ancak bunun da çok kolay olmadığı açıktır. Baraj söz konusu olduğunda bunun birçok boyutu bulunduğu, çok sayıda parametrenin dikkate alınması gerektiği ve uzun bir zamana yayılan değişik çalışmaları kapsadığı bir gerçektir. Plan, proje, etüt, zemin yoklaması, kapasite belirlenmesi, gibi çalışmaların çok titizlikle yapılması gerekmektedir. Herhangi bir aşamada yapılacak bir eksiklik veya hatanın telafisi çok zor ve maliyeti yüksek olmaktadır. Bununla beraber tüm parametreler dikkate alınarak en uygun baraj tipinin seçilmesi oldukça önemlidir. Baraj tip seçiminde de tecrübe ve konuyla ilgili bilimsel çalışmalar oldukça önemlidir.

Baraj inşaatı alanında, son yıllarda üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan ve geliştirilen yeni bir beton teknolojisi olan Silindirle Sıkıştırma Beton (SSB) barajlardır. Dünyanın değişik yerlerinde bunun birçok uygulamaları bulunmaktadır. Ülkemizde de bu baraj tipine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Geliştirilen teknolojinin en önemli avantajı, klasik olanları ile aynı dayanıma sahip olduğu halde inşaat süresinin daha kısa ve maliyetinin daha düşük olmasıdır. Bu teknolojinin en önemli yönü klasik beton harcı yerine silindirle sıkıştırılmış beton kullanılmasıdır. Malzeme akıcı olmadığı için çökmesi oldukça az ve vibratör yerine silindirle sıkıştırma yapıldığı için uygulanması daha kolay ve pratiktir. Ayrıca puzolanik aktivitesi olan uygun maddeler ilave edilerek betonun işlenebilirliği iyileştirilmekle beraber maliyeti de düşürülmektedir.

Sağlam temele sahip baraj yerleri gün geçtikçe azalmaktadır. Artan nüfus sayısı ve daha fazla gereksinimler, sağlam temele sahip olmayan baraj yerlerinde de baraj yapma ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle, kaya olmayan temeller üzerine baraj inşa etmenin önemi artmıştır. Özellikle bu tip temeller üzerine toprak dolgu barajlar, ilk akla gelen baraj tipidir. Fakat son yıllarda dünyanın her yerinde sıkça tercih edilen ve maliyeti oldukça düşük olan SSB barajların da bu temeller üzerine inşa edilebilirliğinin araştırılması yararlı olacaktır.

Bu çalışmada, farklı zemin dayanımlarına sahip kaya olmayan temeller üzerine inşa edilmiş SSB 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 ve 0.50 şev eğimlerinin ($0.7y/1.0d$), ($0.75y/1.0d$), ($0.8y/1.0d$) olması durumları için elde

edilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin etkisini incelemek amacıyla baraj yüksekliği 20, 35, 50 ve 100 m alınarak çözümler yapılmıştır. Baraj gövdesinde ve baraj-temel arayüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimumlarının ve baraj gövdesinde oluşan maksimum yer değiştirmelerin değişimi her bir durum için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar, baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyinde elde edilmiş ve bunlara ait eşitlikler çıkartılmıştır. Ayrıca, test edilen baraj kesitleri için devrilme ve kayma tahkikleri de yapılmıştır.

2. BARAJ TEMELLERİ VE SSB BARAJLAR

2.1 Baraj Temelleri

Baraj alanı jeolojisi, o alan üzerine inşa edilebilecek en uygun baraj tipinin seçiminde büyük bir rol oynamaktadır. Baraj tipi seçiminde temel tabakalarının kalınlığı, mukavemeti ve eğimi ile geçirgenliği, elastisite modülü, kırıklar ve fay zonları etkili olmaktadır. Baraj yeri ve tipi seçiminde, topoğrafyadan sonra dikkate alınan ikinci faktördür. Baraj yapılacak yerdeki kayaçların litolojik ve yapısal özellikleri tip seçiminden önce belirlenmektedir. Kayaçların taşıma güçleri, su tutma özellikleri ve suya karşı hassasiyet dereceleri de incelenmektedir. Bu sonuçlar baraj tip seçiminde hassasiyetle değerlendirilmektedir. Barajlarda tip seçiminde dikkate alınan temel tipleri aşağıda verilmiştir [1].

2.1.1 Kaya temeller

Baraj yerindeki kayaçların litolojik özellikleri baraj tipi ve yeri seçiminde rol oynayan önemli faktörlerden biridir. Baraj yeri, kayaçlarında su etkisi ile şişme, kabarma ve erimelerin meydana gelmesi, baraj gövdesini olumsuz yönde etkiler ve baraj gölünden suların kaçmasına neden olur. Kayaçların boşluklu olması boşluk suyu basınçlarının ve kaldırma kuvvetinin oluşmasına, dolayısıyla baraj yapımında maliyeti arttıran iyileştirme işlemlerinin yapılmasını gerektirir. Maliyetin çok yükselmesi ise baraj yerinin veya tipinin değiştirilmesine neden olmaktadır. Ayrıca farklı litolojideki kayaçlar farklı fiziksel ve mekanik özellik gösterir. Bu ise baraj tipinin değiştirilmesine neden olabilir. Örneğin vadi şekli faktörü 4'ten küçük olan bir vadide kemer baraj yapılması uygun iken yamaçlardaki kayaçların farklı litolojide olması, farklı deformasyonlara neden olacağından, kemer baraj yapımına engel teşkil eder.

Barajlar gibi büyük mühendislik yapılarının projelendirilmelerinde ve stabilite hesaplarının yapılmasında temelin ve kullanılacak malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin saptanması, çeşitli kuvvetler altında doğacak deformasyonların bilinmesi zorunludur. Kayaçlar dışında, beton ve çeşitli metallerin özellikleri az çok uniformdur ve deneylerle elde edilen değerler, hesaplarda büyük bir güvenle kullanılabilir. Fakat kayaçlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler her durum için güvenle kullanılabilir nitelikte olmamaktadır. Örneğin, petrografik açıdan kumtaşı olarak adlandırılan bir kayacın özellikleri, bunun içindeki tanelerin büyüklüğüne, dizilişine, bunları bağlayan çimentonun türüne çimentolanma ve doygunluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı kayaçların isminden çok, bunların fiziksel ve litolojik özellikleri daha önemlidir [2].

Önemli derecede jeolojik kusurları bulunmayan, yüksek kayma mukavemetine sahip ve erozyona ve sızmalara karşı yeterli dayanımı olan kaya temeller üzerine baraj yapımında; temel

şartları baraj tipi belirlemede çok etkili olmamaktadır. Bu durumda diğer parametreler baraj tipi belirlemede rol oynayan etkin faktörlerdendir.

Baraj yerini oluşturan kayaçların yapısal özelliklerin (tabaka, çatlak, fay, fissür, kıvrım vb.) bilinmesi, baraj tipi ve yeri için son derece önemlidir. Baraj eksenine ile tabaka ve çatlakların doğrultu-eğimleri arasındaki ilişki, baraj yerinde kayaçların kıvrımlı olması ve kıvrım durumuna göre baraj yeri seçimi, suyun kaçması, barajın ve yamaçların duraylılığı açısından son derece önemlidir. Bu özellikler baraj yeri ve tipinin değiştirilmesine neden olabilmektedir [3].

Bir yamaçta aşırı çatlak patterninin varlığı (onların doğrultusu, eğimi ve içi toprak malzeme ile dolu olması), rezervuar suyu ve kemer baraj yükleri altında stabilitesizlik göstereceğinden kemer baraj inşa edilmemelidir. Bu gibi yerlerde bir dolgu baraj ve hatta bir uygun boyutlu ağırlık baraj inşasına gidilmelidir. Temelde belirli bölgelerde farklı deformasyon özelliği gösterebilmesi beton ağırlık veya kemer barajda oldukça büyük problemler doğurmaktadır. Payandalı barajlarda ve dolgu barajlarda uygun tasarım ile daha az problem olmaktadır [4].

Kaya temelin yüzeyden önemli derinlikte aşağıda olması halinde bu baraj yerlerinde genellikle toprak dolgu baraj yapılması daha uygun ve ekonomik olmaktadır. Çünkü toprak dolgu barajlar için bir kaya temel gereksinimi yoktur [5].

Kaya kalitesi iyice incelenmelidir. Açıklıkların bulunması beton ağırlık barajlarda fazla önem taşımamaktadır. Fakat kemer barajlarda hayati önem taşımaktadır. Sadece basınç mukavemeti açısından değil aynı zamanda kayma mukavemeti ve elastisite modülü açısından da dikkate alınmalıdır. Avustralya'da Cethana Barajı 106 m yüksekliğinde ve kemer baraj tipinde ilkönce planlanmıştır. Topoğrafya ve genel kaya yüzey incelemelerinde bu yerin kemer baraj için uygun olduğuna karar verilmiştir. Fakat daha detaylı araştırmalar yapıldığında temel kayada çatlak ve kesme düzlemleri, tabakalanma ve zayıf kısımların olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle burada ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj yapımına karar verilmiştir. Değişik litolojideki kayaçların deformasyon özellikleri, taşıma güçleri göz önüne alınarak ilk önce düşünülen baraj tipi değiştirilebilmektedir.

Baraj tip seçiminde kaya temelleri yumuşak kaya, sert kaya ve çok sert kaya şeklinde sınıflandırmak pratikte yararlı olmaktadır. Yumuşak kaya; küskü, kırıcı tabanca veya patlayıcı madde kullanılarak kazılan killi kireçtaşı, marn, katmanlı kireçtaşı, kumtaşı, gevşek konglomera, jips, volkanik tüfler, şist vb. zeminler örnek olarak verilebilir. Sert kaya, patlayıcı madde kullanılarak atılan, kırıcı tabanca ile parçalanıp sökülen kalın katmanlı veya som kumtaşı, kireçtaşı, sıkı çimentolu konglomera, volkanik kayaçlar (trakit, andezit) ayrışmamış serpantin, sıkı tüfler, mermer vb. metamorfik kayaçlar örnek olarak verilebilir. Çok sert kaya, patlayıcı madde kullanılarak atılan kırıcı tabanca ile parçalanıp sökülen, ayrışmamış mağmatik ve metamorfik kayaçlar (granit, diyorit, siyenit, andezit, bazalt, gnays, kuvarsit, kuvars porfir vb. kayaçlar) örnek olarak verilebilir.

Yeryüzünde bulunan kayaçların baraj yeri olma yönünden özelliklerini belirten matematik formüller vermek ve tanımlar yapmak mümkün değildir. Hiçbir kayaç bileşimleri,

isimleri, oluşları aynı anda da olsa diğerine tamtamına benzemez. Mühendislik özellikleri farklı farklı olmaktadır. Bu nedenle baraj tip seçimini US'lerle yaparken, kayaçların isimlerinden çok onların fiziksel ve litolojik özellikleri dikkate alınmıştır. Eğer baraj temeli kaya ise o zaman alternatif baraj tipleri sayısı daha fazla olmaktadır. Baraj tip seçiminde heuristik kuralların en çok olduğu temel kaya temel olmaktadır.

2.1.2 Çakıl temeller

Bu tip temeller iyi sıkışmış ise toprak dolgu, merkezi çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj, kaya dolgu ve düşük yükseklikli beton ağırlık barajların inşası için uygun olmaktadır. Beton baraj yüksekliği temelin taşıma gücüne bağlı olmaktadır. Beton barajlarda taban genişliği artırılarak temelin kaymaya karşı mukavemeti artırılır. Japonya'da Okawa Barajı'nda bu tür bir uygulama mevcuttur. Çakıl temeller sık sık su kaçmasına neden olduklarından, bu su kaçığını engellemek için özel tedbirlerin yanında katoff'lar veya su geçirimsizliği sağlayacak kaplamalar gibi ilave işlemler gereklidir [6]. Geçirgen temelin açıkta sığ derinliğe sahip olması durumunda, ana kayaya (geçirimsiz tabakaya) kadar çekirdek hendeği teşkil edilir. Böylece aşırı sızma kayıpları ve borulanma ihtimali en etkin biçimde önlenmektedir. Bütün geçirgen temellerde topuk dreninin düzenlenmesi gereklidir. Geçirgen temelin açıkta ve çok derin olması, özellikle palplanş veya çimento perdesi yapılamayacak kadar derin olması durumunda, kil blanket yapılır ve çekirdek tabanı büyütülür. Gerekli ekonomik analizler yapılarak pozitif katoff veya yüzen katoff'un hangisinin uygun olduğuna karar verilir.

2.1.3 Silt ve ince kum karışımı temeller

Taşıma güçleri az, oturma miktarları yüksek, geçirimsizlikleri fazla ve erozyona uygundur. Çok zorunlu kalmadıkça bu temeller üzerine herhangi bir tipteki baraj inşa edilmemelidir. Fakat zorunlu durumlarda uygun planlama ile toprak dolgu barajların inşası mümkün olmaktadır. Bu tip temeller kaya dolgu barajlar için kesinlikle uygun değildir [6]. Bu temellerde; oturma, borulanma, aşırı sızma ve mansap topuğunda temelin korunması durumları gibi ana problemleri saymak mümkündür. Bunlara karşı gerekli tedbirlerin alınması kesinlikle gereklidir. Temeller içerisinde en tehlikeli olan temeldir. Bu temeller üzerine beton ağırlık, RCC, ÖYBK kaya dolgu baraj, ÖYAK (ön yüzü asfalt kaplı) kaya dolgu baraj, kil çekirdekli kaya dolgu baraj, kemer baraj, kemer ağırlık baraj ve payandalı baraj inşa etmek mümkün değildir.

2.1.4 Kil temeller

Toprak dolgu barajlar için uygun bir temeldir. Temel kayma mukavemetleri daha düşük olduğundan daha yatık şevler gerektirmektedir. Bu temellerde konsolidasyon önemlidir. Oturma fazla olmaktadır. Eğer, kil konsolide olmamış ise ve nem içeriği yüksek ise barajın oturması durumu daha önemli olmaktadır. Kil temeller beton ağırlık barajlar için uygun değildir. Kaya dolgu barajlar için de kullanılmamalıdır.

Tabii durumdaki temel malzemesine ait testler genellikle malzemenin konsolidasyon karakteristiklerine ve temelin ilave edilmiş yüklere dayanma yeteneğine karar vermek için gereklidir. Sert kil temel taşıma gücü yaklaşık olarak 2 kg/cm^2 değerindedir. Yumuşak kil taşıma gücü yaklaşık olarak 1 kg/cm^2 değerindedir. Buna göre yüklenmelidir [6].

2.1.5 Siltli ve killi temeller

Siltli ve killi temeller, alttan sızma ve borulanmaya karşı önlem almaya gerek göstermeyecek kadar geçirimsizdirler. Bu temellerde esas sorun temelin stabilitesi, yani yükleme durumundaki kararlılığıdır. Doygun silt ve killi temellerin görünen zayıf taşıma güçlerine ek olarak haznenin dolması sonunda oluşan doygunluğun da göz önünde tutulması gereklidir. Bu temellerde alınacak önlemler; toprak özelliklerine, yeraltı su seviyesine ve toprağın kompaksiyon durumuna bağlıdır. Siltli ve killi temeller üzerine kaya dolgu gövde yapılmasından kaçınılmalıdır [6]. Bu tip temeller üzerine homojen toprak dolgu baraj inşa etmek mümkündür.

2.1.6 Üniform olmayan temeller

Her zaman üniform bir temel ile karşılaşmak mümkün olmayabilmektedir. Uygulamada üniform olmayan temellere daha çok rastlanmaktadır. Yine, üniform olmayan bir kaya temel ile de karşılaşmak mümkündür. Eğer bu tip bir temel üzerine bir baraj inşa edilecekse yumuşak malzeme kullanılmalıdır. Yetersiz şartlar genellikle ilave işlemler gerektirmektedir. Her baraj yeri için en uygun ilave işlemler tecrübeli mühendisler tarafından belirlenmelidir.

Görüldüğü gibi, baraj tipi ve temelin jeolojik-jeoteknik özellikleri arasında belirleyici bir ilişki bulunmaktadır. Temel kayacının temel altındaki farklı deformasyon modüllerinden kaynaklanan heterojen oturmalar, toprak dolgu barajlarda yapının oturmalara uyumlu davranması nedeniyle çok önemli değildir. Ancak beton barajlarda temeldeki farklı oturmalar baraj gövdesinde büyük sorunlara neden olabilmektedir.

Dolgu barajların; diğer baraj tiplerine göre 4.5 ile 9 kat daha fazla bir alana yayıldıkları ve 16 ile 40 kez daha az taşıma direnci olan kayalar üzerine inşa edilebilmektedir.

2.2. Temellerin İyileştirilmesi [7]

Baraj inşa edilecek temelleri iyileştirmek için bir takım çalışmalar yapılması gerekli olabilir. Yapılacak bu çalışmalardan sağlanacak faydalar şöyledir.

1. Yük altında daha az deformasyon
2. Daha iyi geçirimsizlik
3. Kesmeye karşı daha büyük mukavemet
4. Erozyona karşı koruma
5. Yamaçlarda daha büyük stabilite

2.2.1 Konsolidasyonla sağlamlaştırma

2.2.1.1 Titreşimle sağlamlaştırma

Kum ve çakıl gibi malzemeyi arazide sağlamlaştırmak için kullanılan en uygun yöntemdir. Çok özel hallerde patlamalarla bu etki sağlanabilir.

2.2.1.2 Enjeksiyonla sağlamlaştırma

Genel olarak temel içinde çatlaklar, eklemler ve damarlar bulunacaktır. Bu boşluklara çimento enjekte edilmelidir. Bu işlemin iki amacı vardır; zemini sağlamlaştırma ve büyük hidrostatik basınç altında malzeme boşalmasının doğuracağı erozyonu önlemek.

Bir ağırlık barajın altında eksenlerinin arası yaklaşık 8m olan ve 10m derinliğinde delikler açılır. Her bir delik için en uygun olacak yerde seçilir. Eğer çok enjeksiyon malzemesi harcanıyorsa, hemen ikinci bir delik açılmalı ve enjeksiyonla doldurulmalıdır.

Kayanın ağırlaşmasını ve çok ince çatlakların yayılmasını önlemek için enjeksiyon düşük basınçlı yapılmalıdır. Fakat basınç suyu almaya yeterli olmalıdır.

Sağlamlaştırma işlemleri çoğu zaman uzun süren ve pahalı olan çalışmalardır. Ancak çok önemli faydaları netice verdikleri bir gerçektir. Avustralya’ da inşa edilen Repulse Barajında enjeksiyonla, deformasyon modülü 2000 t/m²’ den 3000 t/m²’ ye çıkarılmıştır. Yani deformasyon modülünde %50 artış sağlanmıştır. Vaiont Barajında (İtalya) deformasyon modülü, sağlamlaştırma enjeksiyonu ile %100 artmıştır.

2.2.2 Enjeksiyonla geçirimsizleştirme

Bir barajın altından veya yanından suyun akışına engel olmak için genellikle enjeksiyon perdesi kullanılır. Bu perdenin derinliği, kaya kütlelerinin tip ve şartlarına bağlıdır ve şu formülle belirlenir.

$$D=(1/3)H+C \quad (2.1)$$

D: Enjeksiyon perdesi derinliği (m)

H: Baraj yüksekliği (m)

C. Barajın büyüklüğü, temel durumu ve sızmanın önemine bağlı bir katsayı olup 8 ile 25 arasında değişir.

2.2.3 Drenaj

Ağırlık barajlarda temellerde alttan kaldırmayı sıfıra indirmek ve dolgu barajlarda sızmayı azaltmak için drenaj yapılır. Ancak kemer barajlarda yamaçların da uygun şekilde drenajının yapılması gereklidir. Yetersiz drenaj sebebiyle Malpaset barajı yıkılmıştır.

2.2.4 Yamaçları koruma

Temellerin ve yamaçların erozyondan, savak debilerinden ve hava etkilerinden korunması gerekir. Yapılacak koruma duvarları uygun ankraj edildiği takdirde, yamaç stabilitesinin sağlanmasına da katkıda bulunur.

2.3 SSB Barajlar

Silindirle sıkıştırma beton (SSB), (Roller-compacted concrete.RCC) baraj , klasik beton ağırlık barajın benzeri olup farklı bir yapım teknolojisiyle inşa edilmiştir. Bu yolla hem en az klasik beton barajlarındaki kadar sağlamlık elde edilir, hem de maliyeti çok büyük oranlarda düşürülebilir. SSB barajlar ile ilgili birçok tanım yapılmıştır, fakat en genel tanım şöyledir; “yol, baraj, liman mühendisliğinde kullanılan; damperli kamyonlarla taşınıp, buldozer veya greyder ile yayılabilen ve vibrasyonlu silindirlerle sıkıştırılabilen, çökmesi olmayan, kıvamı katı, çimento dozu düşük, karışımında kum, çakıl, puzolan ve gerekirse katkı maddeleri kullanılan, yüksek dayanım, dökme verimliliği ve kısa yapım süresi gibi birçok ekonomik avantajlar sağlayan bir beton türüdür”. 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.

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. 1981’den itibaren ABD, Japonya, İspanya, Güney Afrika, Çin, Avustralya, Fransa, Brezilya ve dünyanın birçok yerinde bu tip baraj, başarı ile inşa edilmiştir. 1994’ün başında 18 ülkede 112 adet büyük SSB baraj inşa edilmiş ve 27 adet barajın da projesi hazırlanmıştır. Kısa denilebilecek bir süre içerisinde benimsenip uygulanan bu yöntemle, artık yükseklikleri 200 m’yi aşan SSB barajlar inşa edilmektedir [8].



Şekil 2.1. Guangzhao Barajından bir görünüm

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 bağlayıcı SSB barajlar, %12,7'sini düşük bağlayıcı SSB barajlar, %0,6'sını da katı dolgu (Hardfill) barajlar oluşturmaktadır. 99 kg/m^3 'ten az bağlayıcı içeren düşük dozlu SSB barajların gelişimi 1996 yılına kıyasla artan bir eğilimle devam etmektedir [8].

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 Kentuckye'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 Barajları'yla SSB seçimi daha da yaygınlaşmıştır. SSB barajlar günümüzde, dünyanın farklı yerlerinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşa edilmektedir. Bu barajların günümüze kadar yaklaşık olarak 1/4'ü Kuzey Amerika'da, 1/4'ü Asya'da, 1/4'ü Avrupa'da ve 1/4'ü de dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiştir [9].

Tablo 2.1. SSB ve RCD tipte inşa edilen bazı barajların özellikleri [9]

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)
Arjantin	Urugua-i	1175	590	626	77	687	60	0 (-)
Avusturalya	Copperfield	20	140	156	40	340	80	30 (F)
Avusturalya	Craigbome	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 (-)
Brezilya	Caraibas	9	18	22	26	160	74	0 (-)
Brezilya	Gameleira	-	27	-	29	150	-	0 (-)
Brezilya	S. de N. Olinda	95	132	143	56	230	55	15 (N)
Çin	Kengkou	27	43	62	57	123	60	120 (F)
Çin	Tongjiezi	200	422	853	88	284	79	79 (F)
Çin	Shuikou	2970	380	1710	100	786	60	110 (F)
Çin	Guanying	17	43	74	43	150	62	108 (F)
Çin	Yantan	3350	330	1685	110	525	55	104 (F)
Çin	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	Urayama	58	40	1860	155	372	91	39 (F)
Japonya	Shimajigawa	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	-	-
Şili	Pangue	175	640	680	113	410	-	-
Tayland	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	Platanovryssi	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)

Tabloda kullanılan harfler ve işaretler:

C:	Yüksek dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf C)	R:	C + S + kireçtaşı tozu
F:	Düşük dozlu uçucu kül (ASTM Sınıf F)	S:	Yüksek fırın cürufu
M:	Öğütülmüş bağlayıcı	N:	Doğal puzolan
		-:	Eksik bilgi

2.3.1 SSB barajların sınıflandırılması

SSB Barajların sınıflandırılmasında değişik yaklaşımlar mevcuttur. Fakat sınıflandırmanın en genel şekli şöyledir;

- Zayıf SSB barajlar (Lean RCC dams).
- Normal dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar (Medium paste RCC dams)
- Yüksek dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar (High paste RCC dams)
- RCD baraj (Roller Compacted Dam - Silindirle Sıkıştırılmış Baraj, Japon Tekniği)
- FSHD (Katı dolgu baraj- Hardfill -).

2.3.1.1. Düşük dozda bağlayıcı içeren 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 [10]. 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 bağlayıcılı SSB barajı aynı zamanda katman yüzeylerinde daha düşük bağlanma mukavemetine sahiptir. Düşük bağlayıcılı 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 [7].

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 [7].

Zayıf SSB karışım tasarımları; bağlayıcı, agrega ve su içermektedir. Tipik çimento içeriği 47 ile 74 kg/m^3 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 dağıtılabilmektedir [10].

2.3.1.2. Normal dozda bağlayıcı içeren SSB barajlar

Bağlayıcı içeriği (yani çimento ve puzolan) $100\text{--}149\text{ kg/m}^3$ 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 [10].

2.3.1.3 Yüksek oranda bağlayıcı içeren SSB barajlar

İngiltere’de geliştirilen bu yöntem (high paste content rcc dam) ABD’ inde ilk olarak Upper Stillwater Barajı’nda uygulanmıştır. Bu karışımdaki çimento ve uçucu kül miktarı, uçucu kül oranı fazla olmak üzere 150 kg/m^3 ’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 [10].

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 karışımda 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 inşa hızını azaltmakta hem de ilave maliyetler gerektirmektedir [8].

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, inşa 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 [10].

Her baraj tasarımı, o baraj yerine ait özel durumlara bağlı 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 [11]. Eğer uçucu kül kullanılacaksa 50 kg/m^3 portland çimentosu ve 100 kg/m^3 uçucu kül kullanılması araştırmalar sonucu önerilmiştir [10].

2.3.1.4 RCD barajlar

Japonya’da geliştirilen bu metot sayesinde beton yerleştirme hızı artmış ve beton barajlardaki maliyet önemli miktarda azalmıştır. Silindirle 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 [1].

Japonlar art arda serilen katmanların yerleştirme süresini 4 günle sınırlandırmışlardır. Bu sayede çimento hidrasyonundan 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 silindirle sıkıştırma baraj arasına klasik betondan yapılmış memba ve mansap kaplamaları yerleştirilir [7].



Şekil 2.2. Shimajigawa Barajından bir görünüm

Tablo 2.2 Shimajigawa Barajının RCD karışımı[12]

Karışım Malzemeleri	Değer
Max agrega çapı	80mm
Su	105 kg/m ³
Çimento	84 kg/m ³
Uçucu kül	36 kg/m ³
İnce agrega oranı	%34
İdeal agrega	752 kg/m ³
Kaba agrega	1482 kg/m ³
Hava oranı	%1.5

1981 yılında tamamlanan, 320 000 m³'lük hacme ve 89 m'lik yüksekliğe sahip olan Shimajigawa Barajı (Şekil 2.2), dünyanın RCD inşaat yöntemiyle yapılan ilk barajıdır. Tablo 2.2'da bu baraja ait karışım özellikleri gösterilmiştir.

Bugün 1.50'den 2,0 milyon m³'lük hacme ve 150 metreden fazla yüksekliğe sahip olan Miyagase ve Uruyama 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 2.3'de inşa edilen bazı RCD barajlar ve özellikleri verilmiştir.[11]

Tablo 2.3 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

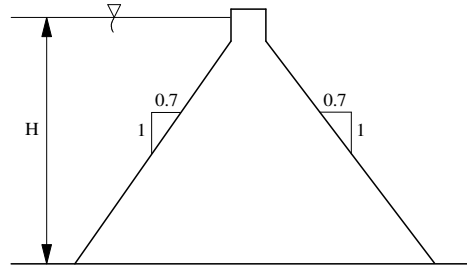
2.3.1.5. Katı Dolgu Baraj

Simetrik yüzölçü 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 [13].

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 [14].

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 [14].



Şekil 2.3 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 [13]. 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 [14].

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 SYSDDB (simetrik yüzölü 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 [15].

2.3.2 Silindire sıkıştırma beton barajın üstünlükleri

- İki yüzü de diğer türlerinkine göre daha dik yapılabildiğinden, daha az malzeme gerekir ve böylece maliyeti düşürür.
- Daha hızlı yapılabildiklerinden daha erken hizmete girerler. (En az %30 zamanda kısalma)
- Puzolan kullanılarak;
 - Betonun hidrasyon ısısı en aza iner ve özel soğutma işlemine gerek kalmaz.
 - Çökme değerinin sıfır olmasıyla betonun işlenebilirliği artırılır.
 - Beton içinde oluşabilecek çatlaklar azaltılarak su kaçakları en aza indirilir.
 - Beton daha yüksek mukavemet kazanır.
 - Çimento miktarı azaltılarak beton maliyeti azaltılır.
- Klasik beton barajda olduğu gibi kalıp işlemleri yoktur.
- Daha düşük kalitede agrega kullanılabilir.
- Uygulama kolaylığı olduğundan kalifiye eleman ihtiyacı azdır.
- İş makineleri daha yaygın olarak kullanılır.
- İnşaları esnasında gelebilecek taşkınlardan daha az zarar görürler.



Şekil 2.4 Dahuashui SSB kemer baraj inşasından bir görünüm

2.3.3 SSB betonunda kullanılan malzemeler

SSB barajlarda beton hazırlanması için gerekli malzemeler; klasik betonda kullanılan çakıl, çimento ve suya ek olarak, 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 arsında yetersiz bağlanma, su sızması ve düşük basınç dayanımı ile neticelenir [16]. Kullanılan malzemeleri bazı özellikleri açıklanacaktır.

▪ Agregat

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 esnekler [17]. Agregatane dağılımının göstereceği değişkenlik belirgin olarak su ve çimento ihtiyacını ve dolayısıyla dayanımı etkiler.

Barajlarda kullanılacak SSB'lar %35 dolayında ince agrega, ve çok az miktarda (plastik ince) çok ince madde ihtiva ederler. Genellikle düşük dozlu SSB karışımları için 200 nolu elekten geçen çok ince madde oranı, ağırlıkça toplam agreganın %5'i ile sınırlandırılmıştır. İnce agrega (kum) incelik modülü ve tane dağılımı asgari çimento pastası ihtiyacını etkiler [16].

Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin ikisi de agrega özelliklerinden açıkça etkilenir. Agregat özellikleri beton taze durumda iken segragasyon ihtimaline ve işlenebilirliğe ve dolayısıyla sertleşmiş beton özelliklerine tesir eder. Beton karışımının yaklaşık % 85'ini oluşturan agrega, 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 agrega özellikleri betonun harç ihtiyacını belirler [16].

Malzemenin en büyük tane çapı SSB'nun pek çok özelliğine tesir eder. En büyük çap büyüdükçe agrega boşluk oranı azalır. Bu ise agrega hazırlama işlemini ucuzlatır. Bu faydasına

karşılık, malzeme çapı büyüdükçe karışımın işlenebilmesi güçleşir. Agregada irilik dağılımı da SSB kıvam ve işlenebilirliğin etki eder. Ayrıca ince agrega oranı fazla ise harcın su ihtiyacı artar [7].

Betonda kullanılacak agregalar aşağıda verilen ASTM (American Society for Testing and Materials) standardı deneyler ile denenerek seçilir.[7]

- İri ve ince agrega elek analizinin yapılması
- Beton agregasının petrografik analizinin yapılması
- Beton ince agregasında organik madde tayini
- İnce agrega özgül ağırlık ve su emme oranının belirlenmesi
- Agregada birim ağırlık ve boşluk oranının belirlenmesi
- Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat ile dondayanıklılık tayini
- Agregadaki kil toprakların ve parçalanabilir malzeme oranının tayini
- Los Angeles aşınma oranının tayini
- 200 nolu elekten geçen ince malzeme oranının belirlenmesi

▪ Bağlayıcılar

SSB barajlarda kullanılan bağlayıcı malzemeler genellikle portland çimentosu ve puzolanlardır. Çimento tipi, betonun yerleştirilmesi metotlarına göre değil, yapının gereklerine uygun seçilir. İnşaat suresince kullanılacak çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento üreticisinden alınacak raporlarla ve laboratuarda yaptırılan deneylerle sürekli kontrol edilir [7]. Uçucu kül, düşük kireç veya yüksek kireç, yüksek fırın granüle cürufu, tabii veya üretilmiş puzolanlar karışımda kullanılmaktadır [10].

Puzolan, kendi başına su ile bağlayıcı özelliği eser halinde olan veya hiç bulunmayan, fakat doğal yapısı gereği veya bazı killer 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, camsı 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 [18].

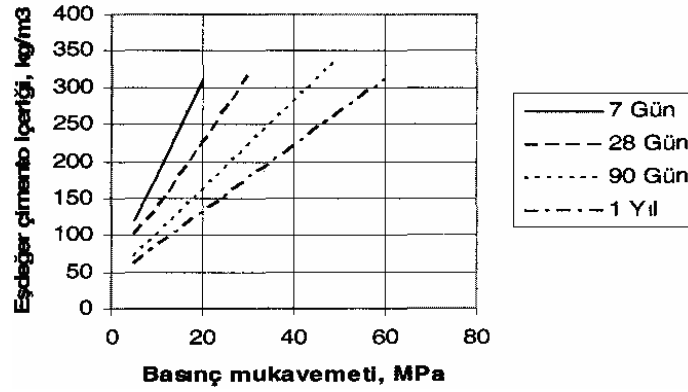
SSB barajların inşaatlarında genellikle endüstrinin yan ürünü olan yapay puzolanlar, en yaygın olarak uçucu kül kullanılmaktadır. Yapay puzolanlar genel olarak endüstrinin yan ürünleri olarak elde edilir ve bunlar şunlardır [18]:

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/m³ çimento dozajı ile kullanılmış ve 15 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca Rusya’da 65 kg/m³ çimento dozajında 28 MPa (28 gün) ve 42 MPa (180 gün) dayanımlara ulaşılmıştır. Ayrıca uçucu külün çökme (slump) değeri sıfır

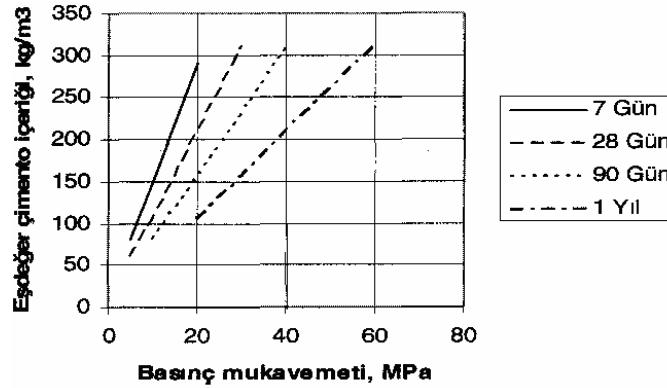
olan betonun işlenebilirliğini (workability) arttırması ve kütle betonundaki pik hidrasyon ısısını düşük seviyede tutması gibi yararları da gözlenmiştir [18].

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. Şekil 2.4’de 7, 28, 90 günlük ve 1 yıllık SSB’un basınç mukavemetlerine karşı çimento eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler, en büyük agrega çapı 75 mm ile 19 mm arasında değişen agrega kullanımı ve %30 ile %50 arasında puzolan yerleştirilmesiyle oluşmuş ve gözlemlerin ortalamasında bulunmuş verilerdir[7].



Şekil 2.4 Puzolan konan SSB için betonun yaşına göre eşdeğer çimento içerikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntı

Şekil 2.5 ‘de 7, 28, 90 günlük ve 1 yıllık SSB’un basınç mukavemetine karşı çimento eşdeğerleri gösterilmiştir. Bu değerler en büyük agrega çapı 75 mm ile 19 mm arasında değişen agrega kullanılan ve puzolan konmayan betonda gözlenen ortalama verilerdir.

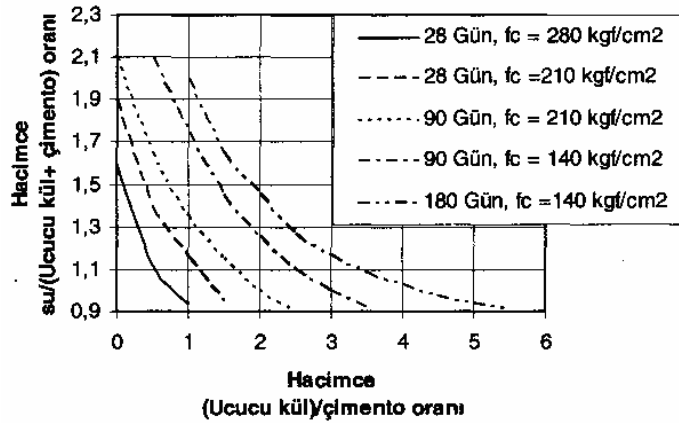


Şekil 2.5 Puzolan konmayan SSB için betonun yaşına göre eşdeğer çimento içerikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntı

Böylece puzolanların sadece ince kısmı tamamlamadığı aynı zamanda mukavemet artışına da neden olduğu anlaşılmıştır. 1993'ün sonuna kadar inşa edilen bütün SSB barajlarda kullanılan puzolanların yüzdeleri şöyledir: 2/3'ü düşük kireçli uçucu kül, yaklaşık olarak 1/6'sı puzolan içermemekte ve 1/5'i bazı diğer puzolanları ihtiva etmektedir [19]

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 yörenin temin edilecek düşük kaliteli bir puzolan daha ekonomik olmaktadır. Beton mukavemeti, diğer etkenler yanında daha çok çimento, puzolan ve su oranına bağlıdır. Çimento tipinin hidratasyon ısı ve dayanım artışı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğundan ilk yaklaşımdaki dayanımlara açık bir şekilde tesir etmektedir [19].

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 ACT'nın yapmış olduğu bir araştırma neticesinde aşağıdaki Şekil 2.6'da verilen bilgiler elde edilmiştir. Bu şekil; uçucu kül dışındaki puzolanik maddeler için de kullanılabilir. Su ihtiyacındaki farklılık nedeniyle bu durumlarda uçucu kül/çimento oranı 2 ile sınırlandırılmalıdır. Uçucu kül kullanılması durumunda, maksimum uçucu kül/çimento oranı



Şekil 2.6 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 [20].

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 hidrasyon ısının tutulmasında yardımcı olabilir. Şekil 2.2’de, priz geciktiricili tip D ve su azaltıcılı tip A katkılı iki karışıma ait hidrasyon ısısı gelişimi görülmektedir [16].

▪ 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 puzolanik madde) birlikte bağlayıcı madde olarak kullanılması halinde bu veriler yardımıyla enterpolasyonla ilk karışımlarda kullanılacak su miktarı hesaplanabilir [21].

2.3.4 SSB betonun genel özellikleri

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

SSB betonun kalitesi karışım oranına, kullanılan malzeme kalitesine ve çökme veya sıkıştırma derecesine bağlıdır. Agregaya bağlı özellik değişimi klasik betonunkiyile benzerlik gösterir. Beton boşluk oranının fazla olması sıkıştırmanın önemini artırır. Sıkıştırma artarsa boşluk azalır ve neticede daha sıkı, sağlam SSB oluşur. Ancak bu yolla elde edilebilecek sağlamlık sınırlıdır. Eğer agrega gradasyonu iyi yapılmamışsa ya da iri agrega çoksa tam sıkıştırma halinde bile betonda boşluklar kalacaktır.

a. Mukavemet özellikleri

Yüksek bağlayıcı oranlı SSB, klasik betonla aynı su ve çimento oranına ve aynı agrega 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 agrega ve yüksek bağlayıcı oranı kullanılırsa çekme mukavemeti açısından klasik betonla aynı seviyelere gelinebilir. SSB'da agrega 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 açısına 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 [7].

$$S = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

S= Kesme mukavemeti, c= Kohezyon, σ =Normal gerilme, ϕ =İçsel sürtünme açısı

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 püskürtmek temizleme ve taze SSB dökülmeden önce yüzeye klasik beton düzleme harcı yayılmasıdır. Yüksek bağlayıcı oranlı SSB'da ise soğuk derz oluşmadığı müddetçe düzleme harcına ihtiyaç yoktur [7].

Tablo 2.4 Maksimum dane çapı, su, bağlayıcı ve sürenin beton basınç dayanımına etkisi [10]

Max dane çapı(mm)	Çimento (kg)	Puzolan (kg)	Su (kg)	İnce Agrega	İri Agrega	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

b. Poisson oranı

Poisson oranı, üniform olmayan eksenel bir gerilme uygulandığı zaman oluşan yanıl yer değiştirmenin eksenel yer değiştirmeye oranıdır. Statik yükler için SSB'da poisson oranı değerleri 0,17 ile 0,22 arası değişmektedir ve klasik beton değerlerine yakın değerdedir. Daha düşük mukavemette ve ilk yaşlarda poisson oranı daha düşük olur. Tasarım için alınabilecek örnek bir değer 0,2 olabilir [7].

c. Elastisite Modülü

Elastisite modülü, bir malzemenin elastik limit altındayken normal gerilmenin yer değiştirmeye oranıdır. Elastisite modülü, malzemeye belirli bir miktar yük yüklendiğinde o

malzemenin deformasyona karşı ne kadar direnebileceğinin bir ölçüsüdür. Statik elastisite modülü E kg/cm² biriminde su formülle belirlenir:

$$E=5700\sqrt{f_c} \quad (2..2)$$

f_c psi cinsinden statik basınç mukavemetidir.

SSB elastik özelliklerini etkileyen esas faktörler; yaş, agreganın tipi, su/çimento oranı veya çimento hamurunun kalitesidir. Betonun elastisite modülü, yaşı ve içerdiği çimento miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Bazı agregası tipleri gevşeklik özelliği verir ki bu da elastisiteyi arttırır. Uygun miktarda oranlanmış ve iyi sıkıştırılmış SSB karışımının aynı agregası 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 değerleri SSB’de daha küçüktür. Bir yıllık SSB’nun elastisite modülü yaklaşık olarak 2.50 kgf/m² değerine ancak erişebilmektedir [10].

Ancak, agreganın artışı ile birlikte bunları birbirine doymuş bağlayacak uygun miktarda çimento hamurunun da bulunması gerek birim ağırlığa ve gerekse de elastisite modülünü olumlu yönde etkilemektedir. Tablo 2.5’de Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin deney sonuçları verilmiştir [10].

Tablo 2.5 Zintel Canyon Barajında kullanılan SSB özelliklerinin beton yaşına göre değişimi [10]

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

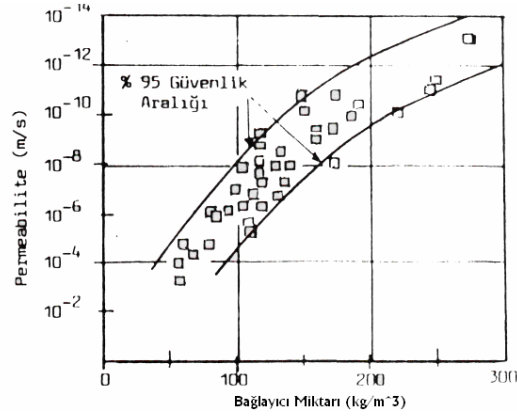
d. Geçirgenlik

Beton boşluklarındaki suyun basınç ve özellikle boşluklara sızan suların ileride sebep olabileceği Ca(OH)₂ ayrışması sonucu hidrate olmuş çimentonun gevşeyerek parçalanması, silindire sıkıştırılmış betonun geçirimsizlik değerinin de öngörülen belirli bir değerden büyük olmasını gerektirmektedir [21].

Şimdiye kadar yapılmış SSB barajlarda, klasik kütle beton geçirimsizliklerini elde etmek için yaklaşık olarak 150 kg/m³ beton dozajı kullanmak yeterli olmuştur bu dozaj orta ile yüksek bağlayıcı oranlı SSB karışımı arasındaki bir karışımı temsil eder. Düşük bağlayıcı SSB karışımları da eğer yeterli miktarda ince daneli malzeme kullanılırsa yeterli geçirimsizlik karışım içinde sağlanmış olur. Bu durumda katman yüzeylerindeki bağlayıcı mukavemet az olacağından tüm baraj boyunca geçirimsizlik yeterli olmayabilir ve özel önlemler gerekebilir. Bu önlemler: memba kaplaması, klasik beton

kaplama veya katmanlar arasında düzleme harcı kullanmak gibi uygulamalardır [7]. 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 geçirirliği arasındaki ilişki, 17 ülkede inşa edilen 44 projeden derlenen veriler değerlendirilerek elde edilen grafik Şekil 2.7’de görülmektedir [17].



Şekil 2.7 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) geçirimsizlik katsayısı için şunlar belirlenmiştir [21].

- 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.

e. 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 2.6). Taze beton ısıısının düzenli olması, çevre ile dökülen beton arasındaki ısı farkının küçük olması durumunda, erken çatlak oluşumuna engel olmaktadır. Çevre ısıısının betonunkinden küçük olması ısı gelişiminin olumlu olmasına; aksi durumda ise, betonun dışardan ayrıca ısı absorbe etmesine neden olacağına olumsuz etki yapmaktadır [21].

f. SSB maliyeti

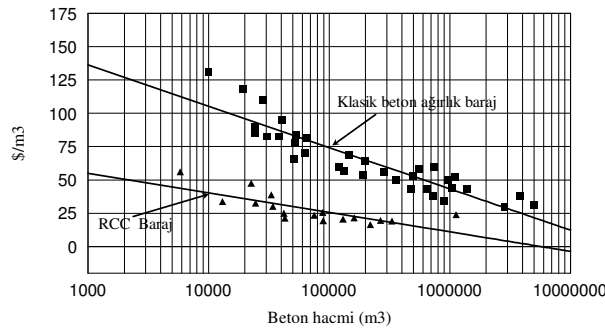
SSB barajlarda inşa sürelerinin kısa oluşu, faizi azaltmakta ve anaparanın kısa zamanda geriye dönüşünü sağlamaktadır. Bu da baraj maliyetlerinde ciddi azalmalara sebep olmaktadır. Büyük gövde hacimli barajlarda SSB sayesinde yapılan tasarruf maksimum seviyede olur. Özellikle geniş vadiler için SSB'un 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 [7].

SSB ile yapılan bir barajda maliyetin klasik beton ağırlık, kemer, kaya ve toprak dolgu barajdan daha düşük olması beklenir. Ne tür baraj yapılacağına -yeterli emniyet şartını sağlamak koşuluyla- maliyete göre karar verilir. Tasarımda düşük mukavemetli karışımlar daha yatık eğim sağlar, yüksek mukavemetli karışımlarla daha dik eğimler yapılabilir. Tablo 2.6' te maliyet ve özellikler açısından bazı barajlar karşılaştırılmıştır[7]

Tablo 2.6 SSB barajlar için birim maliyetler

Baraj	Yapılış Tarihi	Kullanılan Beton Miktarı m ³	Çimento Dozajı kg/m ³	Puzolan Dozajı kg/m ³	Çimento ve Puzolan Maliyeti \$/m ³	Toplam Maliyet \$/m ³
Willow Creek	1982	308000	70	23	6,67	24,70
Galesville	1985	210000	61	31	7,21	72,44
Monksville	1985	189000	65	-	4,58	21,48
Upper Stillwater	1985	1044000	79	176	15,08	30,95

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 [19]. Klasik kütle betonu ile SSB maliyetinin karşılaştırılması Şekil 2.7'te verilmiştir [1].



Şekil 2.8 Klasik beton ağırlık baraj ile SSB betonunun maliyet karşılaştırması [1]

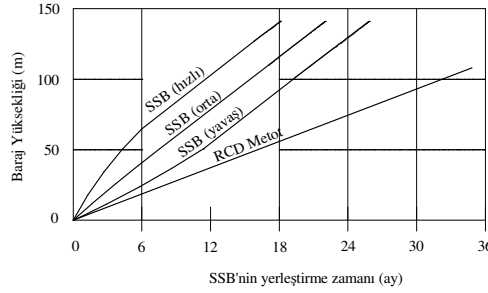
ABD’de olan 46 m yüksekliğinde 221 000 m³ hacmindeki Monksville Barajı için tasarım mühendislerinin yaptığı maliyet tahmini aşağıdaki gibidir [1].

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

g. 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 2.8). Bu sonuç, daha kompleks inşa metotlarından kaynaklanmaktadır [19].



Şekil 2.9 SSB barajların inşa hızı [19]

2.3.5 SSB Barajların inşa yerleri [11]

SSB baraj için ihtiyaç duyulan temel, genel olarak klasik beton ağırlık barajinki gibidir. Birim hacim maliyetinin düşük olması yapılacak bölge optimizasyonunun daha bağımsız şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Beton hacminin minimum olacağı yeri seçmeye gerek yoktur. Tüm projenin kazancını artırmak için beton hacmi de artırılabilir. Bir hidroelektrik santral için rezervuarda depolanan su miktarının fazla olması ve daha fazla düşü yüksekliği elde edilmesi ile sağlanabilecek kâr çok yüksek orandadır.

Ön hazırlık çalışmaları ve ilk maliyet ışığında, setin kurulacağı en uygun yer alternatifleri SSB ve dolgu barajlar için farklıdır. Pamo Barajı üzerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki; topografya ve jeolojinin etkisiyle SSB için belirlenen uygun yer dolgu yerinden 1.3 km

aşağıdadır. Aynı zamanda SSB nin inşa edilebileceği yerde kazı ve dolgu ihtiyacı daha az, zemin iyileştirmesi ve boru hattı için gerekli maliyet daha düşüktür.

Beton barajlar için en uygunu kaya zeminlerdir. Buna sebep olarak kaya temellere ait 3 özellik sayabiliriz;

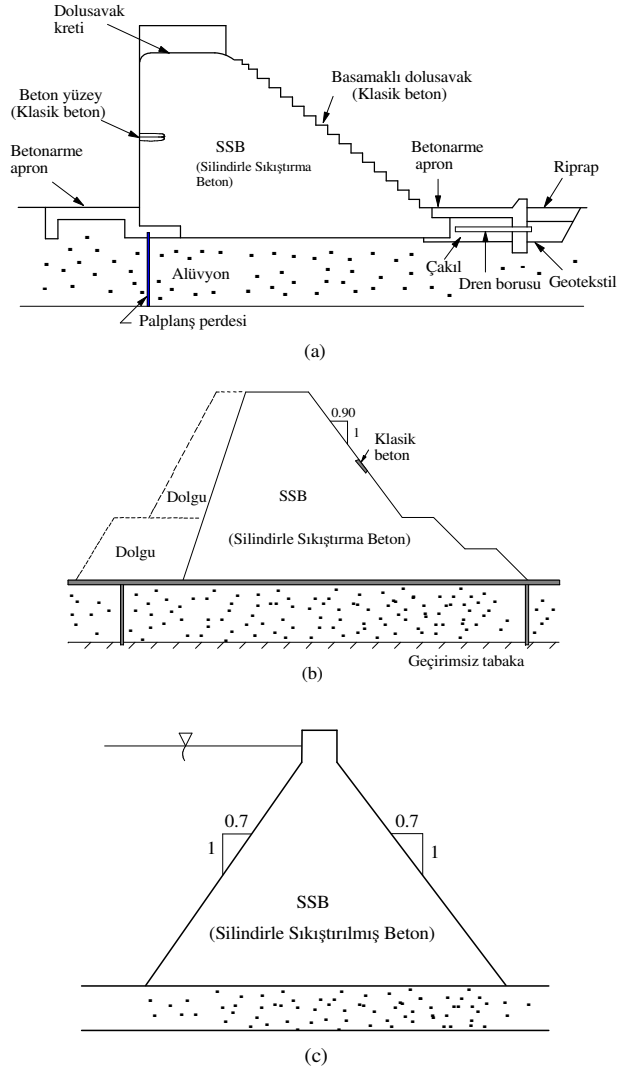
- Yüksek taşıma gücü
- Erozyona karşı direnci
- Sızmaya karşı direnci

SSB barajlar şimdiye kadar birçok farklı kaya temel üzerine inşa edilmiştir. Willow Creek Barajı bazalt, Winchester Barajı kireçtaşı, Copperfield Barajı granit, Galesville Barajı meta - andezit Bucca Weir Barajı silttaşı, Upper Stillwater Barajı quartz kumtaşı ve Saco Barajı kuvarzit kaya temeller üzerine inşa edilmişlerdir [9].

Tasarımda herhangi bir yükseklik sınırlaması yoktur. Temel kayasının çatlaklı olmasında bir mahsur yoktur ancak bu durumda maliyet artar.

Eğer baraj yüksekliği çok düşük ise; silt, kum, çakıl, kil gibi kaya olmayan temeller üzerine SSB ağırlık baraj inşa edilebilmektedir. Tüm gereksinimler önceden hesaplanarak kontrol edilmektedir. Sızma, farklı oturma, borulanma, mansap topuğunda erozyon gibi parametreler dikkatlice incelenmelidir. Eğer bu kriterler uygun değerlerde temin edilemiyorsa bu tip baraj yapımından vazgeçilmelidir. Lower Chase Creek Barajı çok düşük modüllü bir temelde inşa edilmiştir. Baraj temeli alüvyon tarafından kaplanmış bir konglomera içermektedir. Bu baraj 20 m yüksekliğindedir. Bu barajda radye temel ve cutoff duvarları tedbir olarak alınmış ve inşa edilmiştir. Yine düşük yükseklikli The Cedar ve Dryden Barajları kaya olmayan temelde inşa edilmiştir.

Şekil 2’de kaya olmayan temeller üzerine inşa edilebilecek bazı SSB baraj enkesitleri sunulmuştur. Kaya olmayan temeller üzerine baraj inşa edilmesi durumunda geçirimsizliğin sağlanması gerekmektedir. Şekil 1(a)’da görüldüğü gibi geçirimsizlik palplanş perdesi ile sağlanmış ve beton apron yapılmıştır. Bu baraj enkesiti üzerine basamaklı dolusavak yerleştirilmiştir. Böyle bir tipin seçimi, hem maliyet ve hem de teknik açıdan avantajlar sağlar. Dolgu baraj tipi seçilmiş olsaydı, dolusavağı sağ veya sol sahile yerleştirmek gerekeceğinden maliyet artmış olacaktı. Kayma devrilme ve gerilme analizleri neticesinde baraj gövdesini büyütmek, yükü daha geniş bir alana yaymak ve sızma boyunu azaltmak amacıyla şevleri bermeli olarak tasarlamak da mümkündür (Şekil 2(b)). Yine yükü geniş bir alana yaymak, kayma ve devrilme emniyetini temin etmek için Şekil 2(c)’deki gibi bir enkesit almak mümkündür.



Şekil 2.10 (a-c) Kaya olmayan temeller üzerine inşa edilebilecek düşük yükseklikli SSB baraj enkesit örnekleri

2.3.6 SSB Barajların tasarımı ve inşası

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 sıkıştırma kalınlıklarının 20 ile 80 cm arasında değiştiği ve dolusavak bölümlerinde değişik SSB karışımlarının kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur [21].

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 [11].

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 [11].

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 kirlenici 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 [16].

Titreşimli silindirlerle belirli kalınlıkta serilen malzeme belirlenen bir pas'ta (örneğin 4 tampus -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 [11].

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 [22].

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 (red hariç) için yükselti kalınlığı 300 mm olarak alınmıştır. RCD yapılarında, yükselti kalınlığı 500–1000 mm olarak alınmaktadır [11].

2.3.6.1 Tabakalar arasındaki bağ dayanımı

Tabakalar arasındaki bağ dayanımının geliştirilmesi birçok faktörün ciddi kontrolüne bağlıdır. Bu faktörler genel olarak iki kısma ayrılırlar [16].

- 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 [16].

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 [16].

2.3.6.2 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 [16].

SSB barajlarda su sızıntısını kontrol etmenin başlıca yolları şunlardır.

1. Baraj memba yüzüne su geçirmez bir membran uygulama,
2. Baraj memba yüzünde her SSB ile birlikte yükselen klasik betondan bir perde (kabuk) inşası,
3. Baraj memba yüzüne yakın bölümde SSB tabakaları arasında özel bir yataklama betonu dökümü veya derz hazırlama prosedürü uygulanması,
4. Baraj memba yüzüne yakın, kretten temel galerisine inen iç düşey drenaj deliklerinin açılması
5. 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 [16].

2.3.6.3 Tabaka yüzeylerinin hazırlanması

İnşaat esnasında beton dökülecek yüzeylerde "canlı" (taze), işlenebilir; katı sert ve kaynaşma güçlüğü 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 yüzeyseel 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 [16].

2.3.6.4. 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 inşa yöntemlerinde olabilecek herhangi bir değişiklik baraj toplam yapı stabilitesini bozabilir. Kayma dayanımı etkisinin en yüksek olduğu yer baraj temelinde 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 [16].

• 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 karıştırarak şekilde tasarlanmalıdır. Mikserlerin uygun miktarda malzeme ile yüklenmesi (doldurulması) mikserden en yüksek randıman alınmasını sağlar. Agreganın hareketli bant ile miksera 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 artırıcı olsa da yüksek bir yoğunlukta sıkıştırılmaz [16].

- **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 skreyper gibi taşıma araçları, sürekli kirlenme problemi, baraja giriş noktasında sıkışmış tabakayı bozması, daha uzun süreli döngü, enerjinin düşük randımanda kullanılması ve sürekli bir yol yapımı ve bakımı ihtiyacından dolayı SSB betonun karma tesisinden döküm alanına taşınması işinde kullanılması tavsiye edilmezler [16].

- **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. Skreyperler 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[8].

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 [8].

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 işlemleri gerekli kılar. Soğuk havalarda döküm veya sıcak havalarda gece dökümü en uzun SSB dökümün zamanını sağlar. Bu tür önlemler, içsel sıcaklık artışını 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 arttırılması ve hızlı döküm gibi önlemler betonu dondan korumak için önerilen yöntemler olabilir [16].

- **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) müteakiben 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 [16].

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 [16].

- **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.

- **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 yapılarında, yükselti kalınlığı 500–1000 mm olarak alınmaktadır [11].

3. SSB AĞIRLIK BARAJLARIN STATİK ANALİZİ

Gerilme analizi, ağırlık barajların statik ve dinamik yükler altında bünyesinde oluşan gerilmelerin dağılımını ve büyüklüğünü gösterir. Ağırlık barajların analizi basitleştirilmiş yaklaşım yöntemleriyle veya sonlu elemanlar metoduyla (baraj gövdesini sonlu sayıda küçük parçaya bölünmesiyle) çözülebilir [23].

Sonlu elemanlar metodu ile lineer elastik analiz ve temel-baraj etkileşiminin nonlineer dinamik analiz yapılabilir. Bu yöntem özellikle kompleks geometriye sahip veya malzeme özelliklerinin çeşitlilik gösterdiği problemlerin modellenmesinde avantaj sağlar [23].

3.1 STABİLİTE TAHKİKLERİ

3.1.1. Kayma Tahkiki

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

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

3.1.2. Devrilme Tahkiki

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

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

Bu değer barajın emniyet durumuna göre değişmektedir. Eğer barajın yıkılması mal ve can kaybına neden olacaksa 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 etkileyen tüm kuvvetlerin dikkate alınması gerekmektedir.

3.1.3. Gerilme Tahkiki

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

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M_y x}{I_y} \pm \frac{M_x y}{I_x} \quad (3.1)$$

formülü ile bulunmaktadır. F: Düşey kuvvetler toplamı, A: Yatay kesit alanı, M: Moment, I: Atalet momentini göstermektedir.

3.2 LİNEER STATİK ANALİZ

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.

3.2.1 İzoparametrik elemanlar

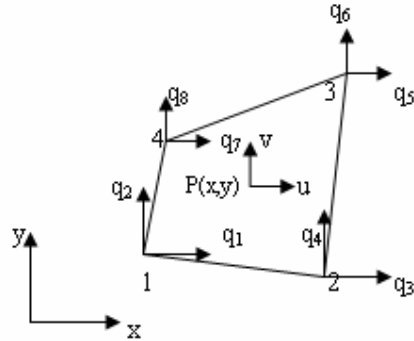
Baraj ve temel ortamları için dört düğümlü izoparametrik elemanlar kullanıldığından bu elemanların temel denklemleri incelenmiştir [22] Dörtgen izoparametrik sonlu elemanın genel bir görünüşü Şekil 3.1' de verilmiş olup i düğüm noktasını göstermek üzere her bir düğüm noktasının koordinatları x_i, y_i 'dir. Düğüm noktasının yer değiştirme vektörü,

$$\{q\} = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8]^T \quad (3.2)$$

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

$$\{u\} = [u(x,y), v(x,y)]^T \quad (3.3)$$

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,

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{4}(1-r)(1-s), & N_2 &= \frac{1}{4}(1+r)(1-s) \\ N_3 &= \frac{1}{4}(1+r)(1+s), & N_4 &= \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \end{aligned} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilmektedir. Şekil fonksiyonlarını aynı zamanda,

$$N_i = \frac{1}{4}(1+rr_i)(1+ss_i) \quad (3.5)$$

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

$$\begin{aligned} u &= N_1q_1 + N_2q_3 + N_3q_5 + N_4q_7 \\ v &= N_1q_2 + N_2q_4 + N_3q_6 + N_4q_8 \end{aligned} \quad (3.6)$$

ifade edilebilir. Eşitlik (3.6) matris formunda,

$$\{u\} = [N]\{q\} \quad (3.7)$$

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

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

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

$$\begin{aligned} x &= N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \\ y &= N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \end{aligned} \quad (3.9)$$

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,

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r}, \quad \frac{\partial f}{\partial s} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (3.10)$$

ifadeleri elde edilir. Bu eşitlikler matris notasyonunda,

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

olarak yazılabilir. Burada J jakobiye matrisini ifade etmekte olup,

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

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

$$[J] = 1/4 \begin{bmatrix} -(1-s)x_1 + (1-s)x_2 + (1+s)x_3 - (1+s)x_4 & -(1-s)y_1 + (1-s)y_2 + (1+s)y_3 - (1+s)y_4 \\ -(1-r)x_1 - (1+r)x_2 + (1+r)x_3 + (1-r)x_4 & -(1-r)y_1 - (1+r)y_2 + (1+r)y_3 + (1-r)y_4 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

olarak yazılabilir. Jakobiye matrisi kısaltılmış formda,

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

ifade edilebilir. f fonksiyonu yerine şekil fonksiyonları yazılırsa,

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

eşitliği elde edilir. Bu denklemde x ve y ’ ye göre türevin elde edilmesi gerektiğinden (3.15) eşitliği,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

olarak yazılır. Buradan Jakobiyan matrisinin tersi için,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det \mathbf{J}} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.17)$$

eşitliği elde edilebilir.

Düzlem Gerilme Dörtgen Elemanın Rijitlik Matrisi

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

$$U = \int_v \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\epsilon\} dV \quad (3.18)$$

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

$$U = \sum_e t_e \int_e \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\epsilon\} dA \quad (3.19)$$

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

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (3.20)$$

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

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.21a)$$

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

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.21b)$$

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

$$\varepsilon = [A] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

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

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

şeklinededir. Bu durumda yer değiştirmelerle şekil değiştirmeler arasında,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} = [G] \{q\} \quad (3.24)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $[G]$ matrisi,

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) & 0 \\ -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) & 0 \\ 0 & -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & (1+s) \\ 0 & -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

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

$$\{\epsilon\} = [B]\{q\} \quad (3.26)$$

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

$$[B] = [A][G] \quad (3.27)$$

şeklinde olup Aynı zamanda gerilme ve şekil değiştirmeler arasında,

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

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

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \quad (3.29)$$

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

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} -1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

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

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T \left[\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] \det J \, dr \, ds \right] \{q\} \quad (3.31)$$

elde edilir. Bu ifade daha basit bir ifadeyle,

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T [k]_e \{q\} \quad (3.32)$$

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,

$$[k] = \sum_{i=1}^n [k_e]_i \quad (3.33)$$

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

$$[k]\{u\} = \{f\} \quad (3.34)$$

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

$$[f_e] = \sum_{i=1}^n \{f_e\}_i \quad (3.35)$$

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

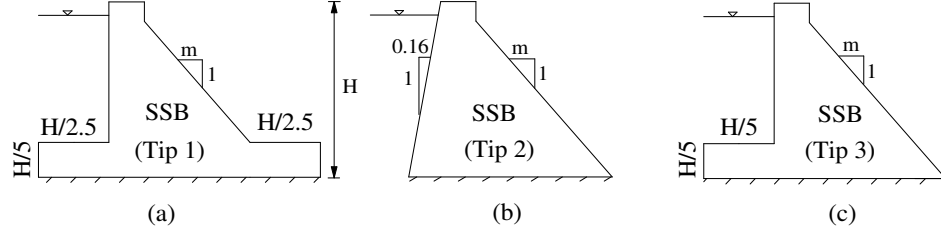
$$\{\sigma\}_e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [D][B]\{u\}_e \quad (3.36)$$

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

4.DÜŞÜK YÜKSEKLİKLİ SSB BARAJIN STATİK ANALİZİ

4.1 Statik Stabilité Analizi

SSB barajın devrilme ve kaymaya karşı emniyet durumunu araştırmak için üç farklı geometrideki enkesit tipi üzerinde statik yükler altında tahkikler yapılmıştır. Bu kesitler üzerinde mansap yüzeyi şevinin ve baraj yüksekliğinin etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.1 (a-c) Bu çalışmada dikkate alınan SSB baraj enkesitleri

Tablo 4.1 Tip1 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri

Baraj Yüksekliği Hb (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	Devrilmeye Karşı G. F. (-)	Kaymaya Karşı Güvenlik Faktörü			
			s.k.=0,35	s.k.=0,45	s.k.=0,55	s.k.=0,60
20	0.70	3.43	1.57	2.02	2.47	2.69
20	0.75	2.81	1.18	1.52	1.86	2.02
20	0.80	2.87	1.23	1.58	1.93	2.1
35	0.70	2.77	1.14	1.46	1.78	1.95
35	0.75	2.85	1.19	1.53	1.87	2.04
35	0.80	2.92	1.24	1.59	1.95	2.12
50	0.70	2.78	1.14	1.46	1.79	1.95
50	0.75	2.87	1.19	1.53	1.87	2.04
50	0.80	2.95	1.25	1.60	1.96	2.14
100	0.70	2.88	1.19	1.53	1.87	2.04
100	0.75	2.98	1.25	1.61	1.87	2.15
100	0.80	3.07	1.31	1.69	2.06	2.25

s.k.: Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı
G.F.: Güvenlik Faktörü

Tablo 4.1’de 1.enkesit tipi için yapılan stabilite tahkiki neticesinde elde edilen kayma ve devrilmeye karşı güvenlik faktörleri verilmiştir. Tüm durumlar için hem kayma hem de devrilme emniyeti açısından bir sorun olmadığı görülmektedir. Tablo 4.2.’de 2.enkesit tipi için yapılan stabilite tahkiki neticesinde elde edilen kayma ve devrilmeye karşı güvenlik faktörleri verilmiştir. Tip 2’nin kayma emniyeti açısından güvenilir olmadığı görülmektedir. Tablo 4.3’te 3.enkesit tipi için yapılan stabilite tahkiki neticesinde elde edilen kayma ve devrilmeye karşı güvenlik faktörleri verilmiştir. Tip 3’te kayma ve devrilme emniyeti açısından bir sorun olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.2 Tip2 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri

Baraj Yüksekliği Hb (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	Devrilmeye Karşı G. F. (-)	Kaymaya Karşı Güvenlik Faktörü			
			s.k.=0,35	s.k.=0,45	s.k.=0,55	s.k.=0,60
20	0.70	2.04	0.68	0.87	1.06	1.16
20	0.75	2.12	0.70	0.90	1.10	1.20
20	0.80	2.19	0.73	0.93	1.14	1.24
35	0.70	1.94	0.64	0.82	1.00	1.09
35	0.75	2.03	0.66	0.85	1.04	1.14
35	0.80	2.11	0.69	0.89	1.09	1.19
50	0.70	1.91	0.62	0.80	0.98	1.07
50	0.75	2.00	0.65	0.84	1.03	1.12
50	0.80	2.08	0.68	0.88	1.07	1.17
100	0.70	1.94	0.64	0.82	1.00	1.09
100	0.75	2.04	0.67	0.86	1.05	1.15
100	0.80	2.13	0.70	0.90	1.10	1.20

s.k.: Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı
G.F.: Güvenlik Faktörü

Tablo 4.3 Tip3 için kayma ve devrilme güvenlik faktörleri

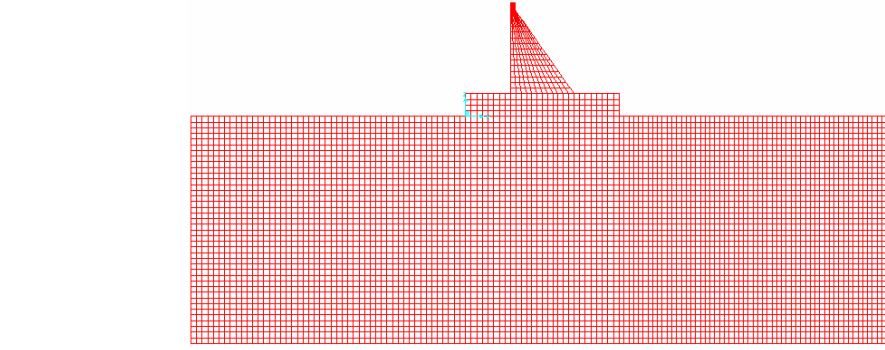
Baraj Yüksekliği Hb (m)	Şev Eğimi Yatay m (-)	Devrilmeye Karşı G. F. (-)	Kaymaya Karşı Güvenlik Faktörü			
			s.k.=0,35	s.k.=0,45	s.k.=0,55	s.k.=0,60
20	0.70	2.69	1.14	1.47	1.80	1.96
20	0.75	2.83	1.20	1.55	1.89	2.06
20	0.80	2.97	1.26	1.62	1.98	2.16
35	0.70	2.75	1.16	1.49	1.82	1.98
35	0.75	2.91	1.22	1.57	1.92	2.10
35	0.80	3.07	1.29	1.66	2.02	2.21
50	0.70	2.78	1.16	1.50	1.83	1.99
50	0.75	2.95	1.23	1.58	1.94	2.11
50	0.80	3.12	1.30	1.67	2.04	2.23
100	0.70	2.93	1.22	1.57	1.92	2.10
100	0.75	3.12	1.30	1.67	2.04	2.23
100	0.80	3.29	1.37	1.77	2.16	2.36

s.k.: Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı
G.F.: Güvenlik Faktörü

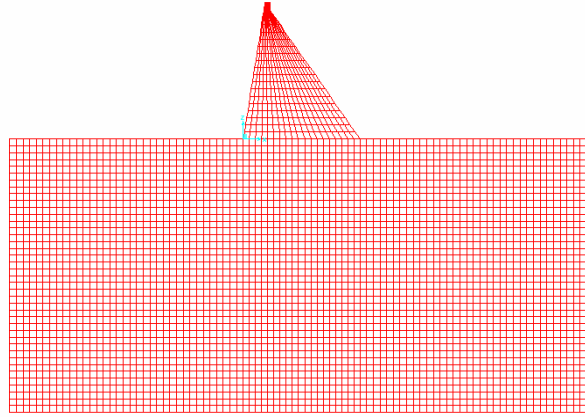
4.2 Lineer Elastik Statik Analizi

SSB barajın oturduğu alandaki ve sızma boyundaki değişimlerin gerilme durumuna etkisini incelemek amacıyla üç farklı geometrideki baraj enkesiti seçilmiştir. Bu üç kesit tipi üzerinde temelin elatisite modülünün etkisini ve mansap yüzeyi şevinin etkisi incelenmiştir. Çözümlerde baraj yüksekliğinin etkisini irdelemek amacıyla baraj yüksekliği 20, 35, 50 ve 100 m seçilmiştir. Temel ortamı lineer elastik olarak kabul edilmiş ve baraj yüksekliğine bağlı olarak temel sonlu eleman modeli teşkil edilmiştir. Sonlu eleman ağ sistemi sadece baraj ve temel ortamlarından teşkil edilmiştir.

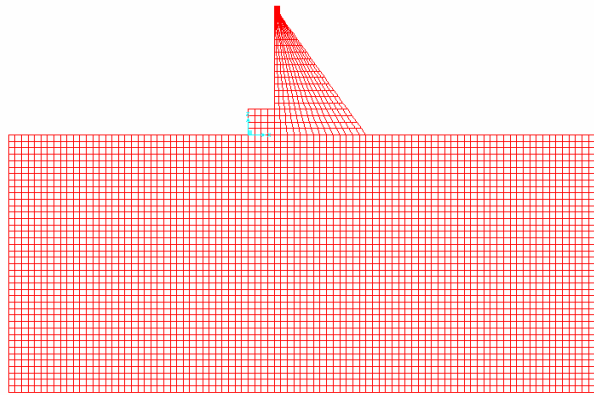
Şevlerin etkisini incelemek amacıyla (0.7y/1.0d), (0.75y/1.0d), (0.8y/1.0d) değerlerine sahip üç farklı şev seçilmiştir. Barajın kret genişliği tüm baraj-temel sonlu eleman ağ sistemlerinde 2 m alınmıştır. Baraj-temel sonlu eleman ağ sistemleri üç farklı baraj enkesiti için Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 4.2 Şev eğimi (0.7y/1.0d) baraj yüksekliğinin 50m olması halinde, a) Tip1 , b) Tip 2, c) Tip 3 için baraj-temel ortamlarına ait sonlu eleman modelleri

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

Bu çalışmada kaya olmayan temeller üzerine inşa edilmiş SSB 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 ve 0.50 olması durumları için elde edilmiştir. Çözümlerin her bir 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 1. Enkesit Tipi için dört farklı eşitlik elde edilmiştir.

Barajın elastisite modülü 10.00 GPa seçilmiş olup birim hacim ağırlığı, $\gamma_b = 24.5 \text{ kN/m}^3$ ve poisson oranı, $\nu_b = 0.2$ olarak seçilmiştir. Temelin elastisite modülü yukarıda verilen oranlar karşılığında 1.25, 2.50 ve 5.00 GPa olarak hesaba katılmıştır. Poisson oranı ise $\nu_t = 0.15$ olarak seçilmiştir.

4.2.1 Enkesit Tipi 1 için gerilme ve deplasman durumları

- **Deplasmanlar**

Baraj şev eğiminin $0.7y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.2, 0.911, 1.229 ve 5.823 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.43, -4.487, -8.945 ve -34.3 cm olarak elde edilmiştir. Bu çözümler neticesinde baraj yüksekliğindeki artışla beraber yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj şev eğiminin $0.75y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.19, 0.458, 1.098 ve 5.104 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.43, -4.494, -8.945 ve -34.561 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj şev eğiminin $0.8y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.188, 0.228, 1.002 ve 4.644 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.43, -4.462, -8.991 ve -34.747 cm olarak elde edilmiştir. Görülüyor ki; baraj yüksekliğinin artmasıyla yatay ve düşey deplasman değerleri de büyümüş, şev eğiminin artmasıyla yatay deplasmanlar azalırken, düşey deplasmanlar genel olarak artmıştır.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.2, 0.12 ve 0.08 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.43, -0.85 ve -0.5 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj kretinin yatay yer

değiřtirmeleri sırasıyla, 0.19, 0.12 ve 0.076 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -1.43, -0.85 ve -0.5 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.188, 0.11 ve 0.071 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -1.43, -0.85 ve -0.5 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey daplasmanların kūūldūęu, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęu, dūřey deplasmanların būyūdūęu gōrūlmūřtur.

Baraj yūkseklilięinin 35 m, řev eęiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.911, 0.732 ve 0.66 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -4.487, -2.77 ve -1.7 cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.75y/1.0d olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.458, 0.227 ve 0.111 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -4.494, -2.704 ve -1.597 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.228, 0.111 ve 0.0545 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -4.462, -2.662 ve -1.569 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey daplasmanların kūūldūęu, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęu, dūřey deplasmanların būyūdūęu gōrūlmūřtur.

Baraj yūkseklilięinin 50 m, řev eęiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.229, 0.781 ve 0.325 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.871, -5.269 ve -0.409 cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.75y/1.0d olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.098, 0.683 ve 0.47 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.945, -5.315 ve -3.112 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.002, 0.609 ve 0.408 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.991, -5.345 ve -3.132 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlünün artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey deplasmanların kūūldūęu, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęu, dūřey deplasmanların būyūdūęu gōrūlmūřtur.

Baraj yūkseklilięinin 100 m, řev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 5.823, 3.857 ve 2.834 cm dūřey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -34.3, -20.333 ve -11.851 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eğiminin 0.75y/1.0d olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 5.104, 3.242 ve 2.284 cm dūřey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, --34.561, -20.532 ve -12.008 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eğiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 4.644, 2.883 ve 1.981 cm dūřey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -34.747, -20.663 ve -

12.108 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey deplasmanların küçüldüğü, şev eğimlerinin artışıyla ise yatay deplasmanların küçüldüğü, düşey deplasmanların büyüdüğü görülmüştür.

- **Gerilme Değerleri**

Baraj şev eğiminin $0.7y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0222, -0.0376, -0.0567, -0.184 MPa ve -0.706, -1.393, -2.3, -8.04 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.118, 0.246, 0.419, 1.582 MPa ve -0.729, -1.543, -2.609, -7.387 MPa olarak elde edilmiştir. Bu çözümler sonucunda; baraj yüksekliğinin artmasına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin büyüdüğü, minimum asal gerilme değerlerinin de küçüldüğü (basınç gerilme değerlerinin artışı) gözlenmiştir.

Baraj şev eğiminin $0.75y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla -0.0225, -0.0411, -0.0592, -0.160 MPa ve -0.694, -1.062, -2.243, -7.945 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.116, 0.148, 0.412, 1.564 MPa ve -0.706, -1.585, -2.465, -6.797 MPa'dır. Aynı zamanda, Baraj şev eğiminin $0.8y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için, baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0223, -0.0582, -0.0585, -0.161 MPa ve -0.689, -1.24, -2.184, -7.853 MPa'dır. Baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.115, 0.216, 0.401, 1.547 MPa ve -0.694, -1.225, -2.356, -6.632 MPa'dır. Böylece baraj yüksekliğinin artmasına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin büyüdüğü, minimum asal gerilme değerlerinin de küçüldüğü (basınç gerilme değerlerinin artışı) gözlenmiştir.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0222, -0.0208, -0.0182 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.706, -0.599, -0.469 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.118, 0.105, 0.085 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.729, -0.639, -0.559 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin $0.75y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0225, -0.202, -0.184 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.694, -0.587, -0.459 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.116, 0.103, 0.083 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.706, -0.615, -0.533 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin $0.8y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen

maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0223, -0.207, -0.183 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.689, -0.584, -0.457 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.115, 0.103, 0.082 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.694, -0.605, -0.526 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin 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 35 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0376, -0.0325, -0.0249 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.393, -1.189, -0.944 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.24, 0.221, 0.178 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.543, -1.342, -1.164 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0411, -0.0445, -0.0478 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -1.063, -0.872, -0.712 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.148, 0.078, 0.054 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.585, -1.304, -1.059 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.582, -0.584, -0.567 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 1.24, -1.5, -0.886 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.216, 0.192, 0.15 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.224, -1.044, -0.883 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin 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 50 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0575, -0.0500, -0.0380 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.302, -1.957, -0.799 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.419, 0.374, 0.5 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.609, -2.267, -1.239 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0592, -0.0509, -0.0381 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -2.243, -1.903, -1.51 MPa'dır. Baraj

gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.412, 0.366, 0.289 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.465, -2.123, -1.82 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0585, -0.0494, -0.0359 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.184, -1.848, -1.463 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.401, 0.355, 0.278 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.356, -2.013, -1.711 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin 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 100 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.184, -0.193, -0.180 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -8.038, -6.938, -6.227 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.582, 1.424, 1.125 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.387, -6.547, -5.725 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.160, -0.163, -0.144 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -7.945, -7.044, -6.125 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 1.564, 1.405, 1.105 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.797, -5.474, -5.169 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.161, -0.163, -0.143 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.853, -6.954, -6.036 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.547, 1.387, 1.089 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.632, -5.808, -4.997 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin 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.

Tablo 4.4 Enkesit tipi 1 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b = 0.125, 0.25$ ve 0.50 $m= 0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yük. H (m)	Şev Eğimi m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
20	19	0.70	0.125	0.200	-1.430
20	19	0.70	0.250	0.120	-0.850
20	19	0.70	0.500	0.080	-0.500
20	19	0.75	0.125	0.190	-1.430
20	19	0.75	0.250	0.120	-0.850
20	19	0.75	0.500	0.076	-0.500
20	19	0.80	0.125	0.188	-1.430
20	19	0.80	0.250	0.110	-0.850
20	19	0.80	0.500	0.071	-0.500
35	34	0.70	0.125	0.543	-4.356
35	34	0.70	0.250	0.335	-2.592
35	34	0.70	0.500	0.229	1.520
35	34	0.75	0.125	0.458	-4.494
35	34	0.75	0.250	0.227	-2.704
35	34	0.75	0.500	0.111	-1.597
35	34	0.80	0.125	0.228	-4.462
35	34	0.80	0.250	0.111	-2.662
35	34	0.80	0.500	0.055	-1.569
50	49	0.70	0.125	1.229	-8.871
50	49	0.70	0.250	0.781	-5.269
50	49	0.70	0.500	0.325	-0.409
50	49	0.75	0.125	1.098	-8.945
50	49	0.75	0.250	0.683	-5.315
50	49	0.75	0.500	0.470	-3.112
50	49	0.80	0.125	1.002	-8.991
50	49	0.80	0.250	0.609	-5.345
50	49	0.80	0.500	0.408	-3.132
100	97	0.70	0.125	5.823	-34.300
100	97	0.70	0.250	3.857	-20.333
100	97	0.70	0.500	2.834	-11.851
100	97	0.75	0.125	5.104	-34.561
100	97	0.75	0.250	3.242	-20.532
100	97	0.75	0.500	2.284	-12.008
100	97	0.80	0.125	4.644	-34.747
100	97	0.80	0.250	2.883	-20.663
100	97	0.80	0.500	1.981	-12.108

Aynı zamanda, E_t/E_b oranının artışı baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine, minimum asal gerilme değerlerinin ise büyümesine (çekme ve basınç gerilme değerlerinin küçülmesine) , baraj-temel ara yüzeyinde minimum gerilme değerlerinin büyümesine neden olmaktadır.

Tablo 4.5 Enkesit tipi 1 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ 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 Yük. H (m)	Şev Eğimi m (-)	E_t/E_b (-)	Baraj Gövdesi σ_{min} (kN/m^2)		Baraj-Temel Ara Yüzeyi σ_{min} (kN/m^2)	
				σ_{min} (kN/m^2)	σ_{max} (kN/m^2)	σ_{min} (kN/m^2)	σ_{max} (kN/m^2)
20	19	0.70	0.125	-729.16	118.14	-705.68	-22.24
20	19	0.70	0.250	-639.19	105.74	-599.49	-20.83
20	19	0.70	0.500	-559.15	84.76	-469.46	-18.52
20	19	0.75	0.125	-706.71	116.14	-694.05	-22.53
20	19	0.75	0.250	-614.90	103.47	-587.53	-20.19
20	19	0.75	0.500	-533.33	82.35	-458.66	-18.37
20	19	0.80	0.125	-694.17	115.53	-689.46	-22.33
20	19	0.80	0.250	-605.08	103.00	-584.22	-20.74
20	19	0.80	0.500	-525.62	82.03	-456.68	-18.26
35	34	0.70	0.125	-1543.13	246.14	-1393.40	-37.55
35	34	0.70	0.250	-1342.08	221.50	-1188.95	-32.46
35	34	0.70	0.500	-1163.83	178.10	-944.06	-24.92
35	34	0.75	0.125	-1584.65	148.16	-1062.63	-41.08
35	34	0.75	0.250	-1303.50	77.77	-872.81	-44.46
35	34	0.75	0.500	-1058.85	53.87	-712.28	-47.76
35	34	0.80	0.125	-1224.27	215.77	-1239.65	-58.22
35	34	0.80	0.250	-1044.23	191.59	-1050.13	-58.41
35	34	0.80	0.500	-883.27	150.45	-886.60	-56.73
50	49	0.70	0.125	-2609.48	419.46	-2302.02	-57.52
50	49	0.70	0.250	-2266.53	374.38	-1957.23	-50.03
50	49	0.70	0.500	-1960.13	297.71	-1554.44	-38.03
50	49	0.75	0.125	-2465.43	411.96	-2243.27	-59.22
50	49	0.75	0.250	-2123.07	140.21	-1903.37	-50.89
50	49	0.75	0.500	-1819.96	289.16	-1510.48	-38.06
50	49	0.80	0.125	-2355.83	400.82	-2184.03	-58.52
50	49	0.80	0.250	-2013.49	354.64	-1847.91	-49.44
50	49	0.80	0.500	-1710.81	278.22	-1463.57	-35.93
100	97	0.70	0.125	-7387.45	1582.29	-8037.75	-183.60
100	97	0.70	0.250	-6547.31	1424.19	-6938.34	-192.77
100	97	0.70	0.500	-5724.58	1125.12	-6226.96	-179.60
100	97	0.75	0.125	-6797.22	1564.45	-7944.90	-160.17
100	97	0.75	0.250	-5474.36	1404.93	-7043.50	-163.37
100	97	0.75	0.500	-5168.83	1105.28	-6125.17	-143.51
100	97	0.80	0.125	-6632.37	1546.75	-7853.22	-160.46
100	97	0.80	0.250	-5808.34	1387.21	-6953.59	-163.34
100	97	0.80	0.500	-4997.21	1088.52	-6036.01	-142.91

4.2.2 Enkesit Tipi 2 için gerilme ve deplasman durumları

- **Deplasmanlar**

Baraj şev eğiminin $0.7y/1.0d$, $E_t/E_b=0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin $20, 35, 50$ ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, $-0.16, 0.418, 1.037$ ve 3.436 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, $-1.492, -4.28, -8.606$ ve -37.724 cm olarak

elde edilmiştir. Bu çözümler neticesinde baraj yüksekliğindeki artışla beraber yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj şev eğiminin $0.75y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0046, 0.214, 0.822 ve 2.366 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.453, -4.41, -8.776 ve -38.121 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj şev eğiminin $0.8y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.00145, 0.149, 0.561 ve 1.476 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.464, -4.479, -9.127 ve -38.509 cm olarak elde edilmiştir. Görülüyor ki; baraj yüksekliğinin artmasıyla yatay ve düşey deplasman değerleri de büyümüş, şev eğiminin artmasıyla yatay deplasmanlar azalırken, düşey deplasmanlar genel olarak artmıştır.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.167, -0.0705, -0.0228 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.492, -0.874, -0.508 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0046, 0.0215, 0.0292 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.43, -0.85 ve -0.5 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.8y/1.0d$ olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.00145, 0.02168, 0.0251 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.464, -0.863, -0.503 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey deplasmanların küçüldüğü, şev eğimlerinin artışıyla ise yatay deplasmanların küçüldüğü, düşey deplasmanların büyüdüğü görülmüştür.

Baraj yüksekliğinin 35 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.18, 0.268, 0.191 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.573, -2.524, -1.474 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.214, 0.18, 0.16 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.41, -2.593, -1.51 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.8y/1.0d$ olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.149, 0.141, 0.134 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.479, -2.633, -1.533 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey deplasmanların küçüldüğü, şev eğimlerinin artışıyla ise yatay deplasmanların küçüldüğü, düşey deplasmanların büyüdüğü görülmüştür.

Baraj yüksekliğinin 50 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 1.037, 0.682, 0.499 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -8.606, -5.074, -2.955 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj

kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.822, 0.556, 0.992 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.776, -5.173, -2.746 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 0.561, 0.428, 0.356 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -9.127, -5.364, -3.319 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlūnūn artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey deplasmanların kūūldūęū, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęū, dūřey deplasmanların būyūdūęū gōrūlmūřtur.

Baraj yūkseklīęinin 100 m, řev eęiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 3.436, 2.399, 1.858 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -37.724, -22.061, -12.764 cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.75y/1.0d olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 2.366, 1.777, 1.459 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -38.121, -22.277, -12.887 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.476, 1.264, 1.134 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -38.509, -22.487, -13.008 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlūnūn artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey deplasmanların kūūldūęū, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęū, dūřey deplasmanların būyūdūęū gōrūlmūřtur.

- **Gerilme Değerleri**

Baraj řev eęiminin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0334, -0.0435, -0.0698, -0.179 MPa ve -1.113, -2.561, -4.469, -12.73 MPa dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.082, 0.201, 0.389, 1.125 MPa ve -0.824, -1.816, -3.019, -8.149 MPa olarak elde edilmiřtir. Bu cōzūmler sonucunda; baraj yūkseklīęinin artmasına baęlı olarak baraj-temel ara yūzeyinde ve baraj gōvdesinde maksimum asal gerilme deęerlerinin būyūdūęū, minimum asal gerilme deęerlerinin de kūūldūęū (basıncı gerilme deęerlerinin artıřı) gōzlenmiřtir.

Baraj řev eęiminin 0.75y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla -0.0335, -0.0406, -0.0717, -0.189 MPa ve -1.039, -2.326, -4.329, -12.423 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.07, 0.169, 0.342, 1.065 MPa ve -0.761, -1.626, -2.84, -7.82 MPa'dır. Aynı zamanda, Baraj řev eęiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0318, -0.0481, -0.0761, -0.199 MPa ve -1.001, -2.375, -4.078, -12.117 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise

sırasıyla, 0.006, 0.175, 0.308, 1.002 MPa ve -0.736, -1.632, -2.713, -7.511 MPa'dır. Böylece baraj yüksekliğinin artmasına bağlı olarak baraj-temel ara yüzeyinde ve baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin büyüdüğü, minimum asal gerilme değerlerinin de küçüldüğü (basınç gerilme değerlerinin artışı) gözlenmiştir.

Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalışına), baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0334, -0.0377, -0.045 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.113, -1.042, -0.899 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0822, -0.0734, -0.0553 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.824, -0.786, -0.711 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0335, -0.0379, -0.0447 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -1.04, -0.969, -0.83 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.07, 0.062, 0.045 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.761, -0.725, -0.652 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0318, -0.0375, -0.0441 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.001, -0.926, -0.786 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.06, 0.053, 0.038 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.737, -0.694, -0.618 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 35 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0435, -0.0703, -0.0847 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.622, -2.357, -1.982 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.201, 0.175, 0.129 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.815, -1.728, -1.538 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0406, -0.0648, -0.0773 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -2.326, -2.147, -

1.81 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.169, 0.146, 0.106 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.626, -1.559, -1.396 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0481, -0.0637, -0.0748 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.375, -2.154, -1.772 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.175, 0.149, 0.106 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.632, -1.536, -1.346 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 50 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0698, -0.0775, -0.0911 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.469, -4.098, -3.413 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.389, 0.333, 0.244 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.019, -2.911, -2.594 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0717, -0.0793, 0.109 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -4.329, -3.849, -3.785 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.342, 0.29, 0.25 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.84, -2.718, -2.869 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0761, -0.0865, -0.0995 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -4.078, -3.832, -3.0 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.308, 0.257, 0.181 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.713, -2.583, -2.259 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 4.6 Enkesit tipi 2 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yük. H (m)	Şev Eğimi m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
20	19	0.70	0.125	-0.167	-1.492
20	19	0.70	0.250	-0.071	-0.874
20	19	0.70	0.500	-0.023	-0.508
20	19	0.75	0.125	0.005	-1.453
20	19	0.75	0.250	0.022	-0.855
20	19	0.75	0.500	0.029	-0.499
20	19	0.80	0.125	-0.001	-1.466
20	19	0.80	0.250	0.017	-0.863
20	19	0.80	0.500	0.025	-0.503
35	34	0.70	0.125	0.180	-4.573
35	34	0.70	0.250	0.268	-2.524
35	34	0.70	0.500	0.191	-1.474
35	34	0.75	0.125	0.214	-4.410
35	34	0.75	0.250	0.180	-2.593
35	34	0.75	0.500	0.160	-1.510
35	34	0.80	0.125	0.149	-4.479
35	34	0.80	0.250	0.141	-2.633
35	34	0.80	0.500	0.134	-1.533
50	49	0.70	0.125	1.037	-8.606
50	49	0.70	0.250	0.682	-5.074
50	49	0.70	0.500	0.499	-2.955
50	49	0.75	0.125	0.822	-8.776
50	49	0.75	0.250	0.556	-5.173
50	49	0.75	0.500	0.992	-2.746
50	49	0.80	0.125	0.561	-9.127
50	49	0.80	0.250	0.425	-5.364
50	49	0.80	0.500	0.356	-3.119
100	97	0.70	0.125	3.436	-37.724
100	97	0.70	0.250	2.399	-22.061
100	97	0.70	0.500	1.858	-12.764
100	97	0.75	0.125	2.366	-38.121
100	97	0.75	0.250	1.777	-22.277
100	97	0.75	0.500	1.459	-12.887
100	97	0.80	0.125	1.476	-38.509
100	97	0.80	0.250	1.264	-22.487
100	97	0.80	0.500	1.134	-13.008

Baraj yüksekliğinin 100 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının $0.125, 0.25$ ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, $-0.179, -0.191, -0.210$ MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, $-12.73, -11.308, -9.025$ MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, $1.125, 0.906, 0.625$ MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, $-8.149, -7.863, -6.826$ MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin $0.75y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının $0.125, 0.25$ ve 0.50

olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.189, -0.202, -0.221 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -12.423, -10.971, -8.646 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 1.065, 0.851, 0.579 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.82, -7.519, -6.459 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.199, -0.212, -0.232 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -12.117, -10.635, -8.279 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.002, 0.794, 0.533 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.511, -7.194, -6.117 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 4.7 Enkesit tipi 2 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b=0.125, 0.25$ ve 0.50 $m=0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin maksimum değerleri

Baraj Yüksekliği	Rezervuar Su Yük.	Şev Eğimi		Baraj Gövdesi		Baraj-Temel Ara Yüzeyi	
H_b	H	m	E_t/E_b	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}
(m)	(m)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
20	19	0.70	0.125	-824.05	82.20	-1113.24	-33.38
20	19	0.70	0.250	-786.49	73.39	-1041.73	-37.71
20	19	0.70	0.500	-710.70	55.27	-898.79	-44.96
20	19	0.75	0.125	-761.02	69.89	-1039.64	-33.48
20	19	0.75	0.250	-724.64	61.71	-968.68	-37.85
20	19	0.75	0.500	-651.93	45.33	-829.79	-44.71
20	19	0.80	0.125	-736.85	60.05	-1001.23	-31.83
20	19	0.80	0.250	-694.34	53.03	-926.34	-37.45
20	19	0.80	0.500	-617.79	38.01	-786.05	-44.13
35	34	0.70	0.125	-1815.71	201.10	-2561.63	-43.46
35	34	0.70	0.250	-1727.78	174.65	-2357.12	-70.27
35	34	0.70	0.500	-1537.50	128.89	-1982.22	-84.69
35	34	0.75	0.125	-1625.61	169.20	-2325.88	-40.56
35	34	0.75	0.250	-1558.93	145.91	-2146.51	-64.78
35	34	0.75	0.500	-1396.38	106.29	-1809.75	-77.32
35	34	0.80	0.125	-1632.11	175.05	-2375.13	-48.10
35	34	0.80	0.250	-1536.09	148.96	-2153.56	-63.65
35	34	0.80	0.500	-1345.89	106.21	-1771.68	-74.78
50	49	0.70	0.125	-3018.80	389.13	-4469.40	-69.80
50	49	0.70	0.250	-2911.39	332.71	-4098.25	-77.54
50	49	0.70	0.500	-2593.87	243.84	-3413.41	-91.10
50	49	0.75	0.125	-2839.74	342.25	-4329.27	-71.67
50	49	0.75	0.250	-2718.45	289.78	-3849.36	-79.33
50	49	0.75	0.500	-2869.44	250.35	-3785.04	-108.77
50	49	0.80	0.125	-2862.42	320.17	-4269.86	-76.11
50	49	0.80	0.250	-2693.77	267.67	-3832.01	-86.50
50	49	0.80	0.500	-2335.12	188.88	-3102.99	-99.51
100	97	0.70	0.125	-8148.98	1124.95	-12725.80	-178.88
100	97	0.70	0.250	-7862.85	906.14	-11307.50	-190.74
100	97	0.70	0.500	-6825.76	624.56	-9025.39	-209.69
100	97	0.75	0.125	-7820.08	1065.21	-12423.00	-189.38
100	97	0.75	0.250	-7518.78	850.74	-10970.55	-201.67
100	97	0.75	0.500	-6458.59	578.96	8645.93	-221.20
100	97	0.80	0.125	-7510.56	1002.38	-12117.11	-199.24
100	97	0.80	0.250	-7194.25	793.65	-10634.85	-211.91
100	97	0.80	0.500	-6116.97	532.97	-8279.01	-231.93

4.2.3 Enkesit Tipi 3 için gerilme ve deplasman durumları

- **Deplasmanlar**

Baraj şev eğiminin $0.7y/1.0d$, $E_t/E_b=0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin $20, 35, 50$ ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, $0.0708, 0.286, 2.282, 8.793$ cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, $-1.346, -4.129, -8.407, -34.065$ cm olarak

elde edilmiştir. Bu çözümler neticesinde baraj yüksekliğindeki artışla beraber yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin büyüdüğü görülmektedir.

Baraj şev eğiminin $0.75y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0396, 0.181, 2.011, 7.701 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -11.346, -4.151, -8.555, -34.196 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, baraj şev eğiminin $0.8y/1.0d$, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yüksekliğinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0132, -0.0887, 1.816, 6.625 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.349, -4.334, -8.602, -34.676 cm olarak elde edilmiştir. Görülüyor ki; baraj yüksekliğinin artmasıyla yatay ve düşey deplasman değerleri de büyümüş, şev eğiminin artmasıyla yatay deplasmanlar azalırken, düşey deplasmanlar genel olarak artmıştır.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0708, 0.0405, 0.025 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.346, -0.803, -0.474 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla 0.0396, 0.022, 0.0134 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.346, -0.803, -0.475 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.8y/1.0d$ olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.0132, 0.00609, 0.00327 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -1.349, -0.806, -0.476 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey deplasmanların küçüldüğü, şev eğimlerinin artışıyla ise yatay deplasmanların küçüldüğü, düşey deplasmanların büyüdüğü görülmüştür.

Baraj yüksekliğinin 35 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.286, 0.166, 0.106 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.129, -2.459, -1.449 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 0.181, 0.102, 0.064 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.151, -2.473, -1.458 cm olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.8y/1.0d$ olması durumu için baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, -0.0887, -0.0607, -0.0466 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -4.304, -2.567, -1.517 cm olarak elde edilmiştir. Buradan temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey deplasmanların küçüldüğü, şev eğimlerinin artışıyla ise yatay deplasmanların küçüldüğü, düşey deplasmanların büyüdüğü görülmüştür.

Baraj yüksekliğinin 50 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer değiştirmeleri sırasıyla, 2.282, 1.353, 0.887 cm düşey yer değiştirme değerleri ise sırasıyla, -8.407, -4.975, -2.900 cm olarak elde edilmiştir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve şev eğiminin $0.75y/1.0d$ olması durumunda baraj

kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 2.011, 1.183, 0.766 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.555, -5.067, -2.959 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 1.816, 1.057, 0.676 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -8.602, -.5098, -2.981 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlūnūn artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey daplasmanların kūūldūęū, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęū, dūřey deplasmanların būyūdūęū gōrūlmūřtur.

Baraj yūkseklīęinin 100 m, řev eęiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 8.793, 5.276, 3.504 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -34.065, -20.165, -11.735cm olarak elde edilmiřtir. E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.75y/1.0d olması durumunda baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 7.701, 4.65, 3.105 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -34.196, -20.251, -11.803 cm olarak elde edilmiřtir. Aynı zamanda, E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması ve řev eęiminin 0.8y/1.0d olması durumu iin baraj kretinin yatay yer deęiřtirmeleri sırasıyla, 6.625, 3.891, 2.512 cm dūřey yer deęiřtirme deęerleri ise sırasıyla, -34.676, -20 549, -12.007 cm olarak elde edilmiřtir. Buradan temel ortamı elastisite modūlūnūn artıřına baęlı olarak yatay ve dūřey deplasmanların kūūldūęū, řev eęimlerinin artıřıyla ise yatay deplasmanların kūūldūęū, dūřey deplasmanların būyūdūęū gōrūlmūřtur.

- **Gerilme Değerleri**

Baraj řev eęiminin 0.7y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0234, -0.0501, -0.065, 0.149 MPa ve -1.046, -2.501, -5.115, -13.423 MPa dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.071, 0.210, 0.415, 1.171 MPa ve -0.777, -1.765, -3.506, -8.666 MPa olarak elde edilmiřtir. Bu cōzūmler sonucunda; baraj yūkseklīęinin artmasına baęlı olarak baraj-temel ara yūzeyinde ve baraj gōvdesinde maksimum asal gerilme deęerlerinin būyūdūęū, minimum asal gerilme deęerlerinin de kūūldūęū (basıncı gerilme deęerlerinin artıřı) gōzlenmiřtir.

Baraj řev eęiminin 0.75y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla -0.0249, -0.0503, -0.0613, -0.188 MPa ve -1.147, -2.556, -4.997, -13.168 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, 0.091, 0.229, 0.0399, 1.020 MPa ve -0.803, -1.718, -3.377, -8.904 MPa'dır. Aynı zamanda, Baraj řev eęiminin 0.8y/1.0d, $E_t/E_b = 0.125$ olması ve baraj yūkseklīęinin 20, 35, 50 ve 100 m olması durumları iin, baraj-temel ara yūzeyinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.024, -0.0473, -0.0586, -0.0566 MPa ve -1.11, -2.027, -6.729, -12.984 MPa'dır. Baraj gōvdesi üzerinde elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeler ise

sırasıyla, -0.081, -0.249, 0.785, 1.051 MPa ve -0.777, -1.376, -5.629, -7.997 MPa'dır. Böylece baraj yüksekliğinin artmasına bağlı olarak baraj gövdesinde maksimum asal gerilme değerlerinin büyüdüğü, minimum asal gerilme değerlerinin de küçüldüğü (basınç gerilme değerlerinin artışı) baraj-temel ara yüzeyinde minimum asal gerilme değerlerinin azaldığı (basınç gerilmelerinin arttığı) gözlenmiştir.

Aynı zamanda, şev değerlerinin artışına bağlı olarak, baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin azalmasına; minimum asal gerilme değerlerinin de büyümesine (basınç gerilme değerlerinin azalışına) neden olmaktadır.

Baraj yüksekliğinin 20 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0234, -0.0373, -0.0451 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.045, -0.97, -0.83 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.071, 0.062, 0.045 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.776, -0.739, -0.665 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0249, -0.0355, -0.0432 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -1.146, -1.05, -0.874 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.09, 0.079, 0.058 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.802, -0.754, -0.665 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0240, -0.034, -0.0416 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.11, -1.017, -0.843 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.08, 0.07, 0.05 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -0.776, -0.731, -0.643 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 35 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.05, -0.0579, -0.0699 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.5, -2.274, -1.887 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.209, 0.182, 0.143 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.765, -1.646, -1.437 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.0504, -0.058, -0.0701 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -2.556, -2.310, -1.883

MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.228, 0.197, 0.143 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.718, -1.604, -1.393 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.473, -0.599, -0.715 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -2.027, -1.825, -1.48 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.249, 0.127, 0.089 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -1.376, -1.28, -1.108 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 50 m, şev eğiminin 0.7y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.065, -0.083, -0.0995 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -5.115, -4.621, -3.796 MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.415, 0.348, 0.248 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.506, -3.335, -2.93 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin 0.75y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.061, -0.084, -0.1 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -4.997, -4.469, -3.614 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 0.399, 0.324, 0.234 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -3.377, -3.178, -2.751 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin 0.8y/1.0d ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.058, -0.079, -0.094 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -6.729, -6.16, -5.209 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 0.785, 0.733, 0.647 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -5.629, -5.167, -4.466 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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 4.8 Enkesit tipi 3 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b = 0.125, 0.25$ ve 0.50 $m= 0.7y/1.0d$, $0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ olması durumları için baraj kretinin yatay ve düşey yer değiştirme değerleri

Baraj Yüksekliği H_b (m)	Rezervuar Su Yük. H (m)	Şev Eğimi m (-)	E_t/E_b (-)	Maksimum Yatay Deplasmanlar (cm)	Maksimum Düşey Deplasmanlar (cm)
20	19	0.70	0.125	0.071	-1.346
20	19	0.70	0.250	0.041	-0.803
20	19	0.70	0.500	0.025	-0.474
20	19	0.75	0.125	0.040	-1.346
20	19	0.75	0.250	0.022	-0.803
20	19	0.75	0.500	0.013	-0.475
20	19	0.80	0.125	0.013	-1.349
20	19	0.80	0.250	0.006	-0.806
20	19	0.80	0.500	0.003	-0.476
35	34	0.70	0.125	0.286	-4.129
35	34	0.70	0.250	0.166	-2.459
35	34	0.70	0.500	0.106	-1.449
35	34	0.75	0.125	0.181	-4.151
35	34	0.75	0.250	0.102	-2.473
35	34	0.75	0.500	0.064	-1.458
35	34	0.80	0.125	-0.089	-4.304
35	34	0.80	0.250	-0.061	-2.567
35	34	0.80	0.500	-0.047	-1.517
50	49	0.70	0.125	2.282	-8.407
50	49	0.70	0.250	1.353	-4.975
50	49	0.70	0.500	0.887	-2.900
50	49	0.75	0.125	2.011	-8.555
50	49	0.75	0.250	1.183	-5.067
50	49	0.75	0.500	0.766	-2.959
50	49	0.80	0.125	1.816	-8.602
50	49	0.80	0.250	1.057	-5.098
50	49	0.80	0.500	0.676	-2.981
100	97	0.70	0.125	8.793	-34.065
100	97	0.70	0.250	5.276	-20.165
100	97	0.70	0.500	3.504	-11.735
100	97	0.75	0.125	7.701	-34.196
100	97	0.75	0.250	4.650	-20.251
100	97	0.75	0.500	3.105	-11.803
100	97	0.80	0.125	6.625	-34.676
100	97	0.80	0.250	3.891	-20.549
100	97	0.80	0.500	2.512	-12.007

Tablo 4.9 Enkesit tipi 3 için $H_b=20, 35, 50$ ve 100 m, $E_t/E_b = 0.125, 0.25$ ve 0.50 $m= 0.7y/1.0d, 0.75y/1.0d$ ve $0.8y/1.0d$ 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 Yük. H (m)	Şev Eğimi m (-)	E_t/E_b (-)	Baraj Gövdesi σ_{min} (kN/m^2)		Baraj-Temel Ara Yüzeyi σ_{min} (kN/m^2)	
				σ_{max} (kN/m^2)		σ_{max} (kN/m^2)	
20	19	0.70	0.125	-776.99	71.24	-1045.75	-23.37
20	19	0.70	0.250	-739.72	62.62	-973.31	-37.26
20	19	0.70	0.500	-665.82	45.28	-832.77	-45.11
20	19	0.75	0.125	-802.69	90.72	-1146.98	-24.92
20	19	0.75	0.250	-754.57	79.44	-1050.57	-35.51
20	19	0.75	0.500	-665.41	58.08	-874.33	-43.24
20	19	0.80	0.125	-776.90	80.78	-1110.43	-24.02
20	19	0.80	0.250	-731.33	70.52	-1017.20	-34.02
20	19	0.80	0.500	-643.41	50.87	-843.05	-41.60
35	34	0.70	0.125	-1765.23	209.79	-2501.42	-50.08
35	34	0.70	0.250	-1646.80	182.89	-2274.85	-57.99
35	34	0.70	0.500	-1437.39	134.67	-1887.97	-69.97
35	34	0.75	0.125	-1718.26	228.59	-2556.32	-50.38
35	34	0.75	0.250	-1604.20	197.39	-2310.26	-58.01
35	34	0.75	0.500	-1393.00	143.78	-1883.21	-70.14
35	34	0.80	0.125	-1376.41	248.86	-2027.25	-47.26
35	34	0.80	0.250	-1280.09	126.90	-1824.80	-59.97
35	34	0.80	0.500	-1107.91	89.47	-1480.50	-71.51
50	49	0.70	0.125	-3506.51	415.20	-5115.01	-65.01
50	49	0.70	0.250	-3335.46	347.56	-4620.61	-82.95
50	49	0.70	0.500	-2929.60	248.45	-3795.56	-99.50
50	49	0.75	0.125	-3376.71	398.99	-4997.43	-61.33
50	49	0.75	0.250	-3177.66	324.63	-4469.00	-83.99
50	49	0.75	0.500	-2751.38	233.78	-3614.32	-100.10
50	49	0.80	0.125	-3222.27	378.41	-4871.87	-58.62
50	49	0.80	0.250	-3035.30	312.24	-4343.39	-78.39
50	49	0.80	0.500	-2615.57	218.07	-3483.34	-93.51
100	97	0.70	0.125	-8665.78	1171.31	-13422.91	149.03
100	97	0.70	0.250	-8286.32	942.98	-11875.24	-77.15
100	97	0.70	0.500	-7148.52	648.95	-9440.46	-126.72
100	97	0.75	0.125	-8903.60	1019.80	-13167.63	-188.38
100	97	0.75	0.250	-7709.83	803.88	-11424.81	-184.85
100	97	0.75	0.500	-6456.15	534.94	-8783.77	-155.81
100	97	0.80	0.125	-7997.04	1051.10	-12983.90	-56.66
100	97	0.80	0.250	-7581.43	827.49	-11327.00	-161.51
100	97	0.80	0.500	-6395.23	552.32	-8759.74	-186.87

Baraj yüksekliğinin 100 m, şev eğiminin $0.7y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının $0.125, 0.25$ ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, $0.149, -0.077, -0.127$ MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, $-13.423, -11.875, -9.440$ MPa olarak elde edilmiştir. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, $1.171, 0.943, 0.649$ MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, $-8.666, -8.286, -7.149$ MPa olarak elde

edilmiştir. Aynı zamanda, şev eğiminin $0.75y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.188, -0.185, -0.156 MPa, minimum asal gerilmeler sırasıyla, -13.168, -11.422, -8.784 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla 1.020, 0.804, 0.535 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -8.904, -7.710, -6.456 MPa'dır. Bunun yanı sıra, şev eğiminin $0.8y/1.0d$ ve E_t/E_b oranının 0.125, 0.25 ve 0.50 olması durumlarında; baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, -0.057, -0.162, -0.187 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -12.984, -11.327, -8.760 MPa'dır. Baraj gövdesinde elde edilen maksimum asal gerilmeler sırasıyla, 1.051, 0.827, 0.552 MPa, minimum asal gerilmeler ise sırasıyla, -7.997, -7.581, -6.395 MPa'dır. Buna göre şev eğiminin artışına bağlı olarak baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen minimum asal gerilme değerlerinin büyümesine (basınç gerilme değerlerinin de azalışına), baraj-temel ve baraj gövdesi üzerinde elde edilen maksimum asal gerilme değerlerinin küçülmesine 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.

4.2.4. 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 basınç gerilmesi değerlerinin artmasına neden olmaktadır.

Ayrıca E_t/E_b oranının 0.125 olması için bütün çözümlere ait baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde elde edilen minimum ve maksimum asal gerilme değerlerinin görünimleri Ekler bölümünde verilmiştir.

Bu çalışmada Tip 1 enkesitli (Şekil 4.1a) SSB baraj statik yükler altında boyutlandırılmasının yapılması için kullanılabilecek eşitlikler elde edilmiştir. Böylece nümerik uygulamalar neticesinde baraj gövdesi ve baraj-temel ara yüzeyi için elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmelerin en büyük değerleri,

$$\left(\frac{\sigma}{E_b}\right) = a + b \cdot \left(\frac{E_t}{E_b}\right) + c \cdot \left(\frac{H_b}{E_b} \gamma_b\right) + d \cdot \left(\frac{H_r}{E_b} \gamma_r\right) + e \cdot \left(\frac{m}{m_{\max}}\right) \quad (4.1)$$

olarak boyutsuz hale getirilmiştir. Burada σ gerilmeyi, E_t temelin elastisite modülünü, E_b betonun elastisite modülünü, H_r rezervuar su yüksekliğini ve γ_r ise suyun birim hacim ağırlığını, m mansap şev eğimini ve $m_{\max}$ ise bu çalışmada alınan maksimum mansap şev eğimini göstermektedir. Bu birimsizleştirme işlemi,

$$\tilde{\sigma} = a + b \cdot \tilde{E} + c \cdot \tilde{P}_1 + d \cdot \tilde{P}_2 + e \cdot \tilde{P}_3 \quad (4.2)$$

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

$$\tilde{\sigma} = \exp(-0.946\tilde{E}^{0.53} + 46.87\tilde{P}_1^{0.10} - 23.986\tilde{P}_2^{0.114} - 4.946\tilde{P}_3^{-0.002}) \quad (4.3)$$

olarak, minimum asal gerilmeler için ise,

$$\tilde{\sigma} = \ln(0.005\tilde{E}^{0.012} - 12.205\tilde{P}_1^{1.182} + 0.995\tilde{P}_2^{0.002} + 0.000033\tilde{P}_3^{-0.98}) \quad (4.4)$$

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

$$\tilde{\sigma} = \ln(1/(0.1271\tilde{E}^{-0.000005} - 7.793\tilde{P}_1^{1.761} - 0.000038\tilde{P}_2^{-2.767} + 0.873\tilde{P}_3^{0.000007})) \quad (4.5)$$

olarak, minimum asal gerilmeler için ise,

$$\tilde{\sigma} = \log(1.68\tilde{E}^{0.00013} - 0.14\tilde{P}_1^{0.011} + 0.003\tilde{P}_2^{26.892} - 0.555\tilde{P}_3^{-0.00016}) \quad (4.6)$$

eşitlikleri elde edilmiştir. Bu eşitliklerin korelasyon katsayıları (R^2) Eşitlik (4.3), (4.4), (4.5) ve (4.6) için sırasıyla 0.99, 0.98, 0.81 ve 0.97 olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı zemin dayanımlarına sahip kaya olmayan temeller üzerine inşa edilmiş SSB 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 ve 0.50 olması durumları için elde edilmiştir. Şevlerin etkisini incelemek amacıyla (0.7y/1.0d), (0.75y/1.0d), (0.8y/1.0d) değerlerine sahip üç farklı şev seçilmiştir. Aynı zamanda, baraj yüksekliğinin çözümler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla baraj yüksekliği 20, 35 ve 50 m alınarak çözümler yapılmıştır. Ayrıca, test edilen baraj kesitleri için devrilme ve kayma tahkikleri de yapılmıştır.

Yapılan statik analiz sonuçlarından elde edilen yer değiştirmeler incelendiğinde, temel ortamı elastisite modülünün artışına bağlı olarak yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. 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 basınç gerilmesi değerlerinin artmasına neden olmaktadır.

Test edilen üç enkesit tipine ait tablolar incelendiğinde görülmüştür ki; elde edilen minimum ve maksimum asal gerilme değerinin en büyük olduğu Tip 3 nolu enkesit olmuştur. Enkesit Tip 1’de minimum asal gerilme değerleri daha küçük olup, diğer enkesit tiplerine göre daha elverişli görülmüştür.

Sonuç olarak, 1.enkesit tipinde SSB baraj modelinin statik yükler altında baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde oluşturduğu maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin maksimumları kullanılarak dört farklı eşitlik elde edilmiş olup, bu tip barajların projelendirilmesinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Önerilen bu eşitlikler yardımıyla kaya olmayan temeller üzerine inşa edilecek bir SSB barajın ön boyutlandırması yapılabilecektir. Hesaplamalarda kaldırma basıncı da dikkate alınmıştır. Aynı zamanda, deprem gibi dinamik yükler altında bu tip barajların lineer olmayan davranışı hesaba katılarak araştırmanın genişletilmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Emiroglu, M.E. (1991) Baraj Tip Seçiminin Belirlenmesinde Uzman Sistem Kullanımı. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
2. Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., (1992). “Geotechnical Engineering of Embankment Dams”, A. A. Balkema / Rotterdam/ Brookfield.
3. Franklin, J. A. and Dusseault, M. B., (1991). “Rock Engineering Applications”, McGraw-Hill, Inc., New York
4. Thomas, H. H., (1976). “The Engineering Of Large Dams”, Jhon Wiley & Sons, London
5. Creager, W. P., Justin, J. D. and Hinds, J., (1957). “Engineering For Dams”, Jhon Wiley & Sons, Inc. New York.
6. USBR, 1986. “Design of Small Dams”, A Water Resources Technical Publication, Third Edition, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USA.
7. Ağralıoğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1-2, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2005.
8. Batmaz, S., 2004. SSB Barajlarında Temel Yaklaşımlar, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 105-109, Ankara, 2004.
9. Emiroğlu M.E., (1996). “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlarda İlk Tasarım Ve Maliyet Tahmini”, DSİ Teknik Bülteni, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Sayı: 87, Sayfa: 3-13.
10. 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.
11. Hansen, K.D., and Reinhardt, W.G., 1991, “Roller-Compacted Concrete Dams”, McGraw-Hill, Inc., New York, 299p.
12. Nagayama, I. (2002). “30 Years’ History of Roller-compacted Concrete Dams in Japan”, Public Works Research Institute, Japan, Shigeharu Jikan, Water Resource Development Public Corporation, Japan.
13. Karabatan, A.Y., 2004. Silindirle Sıkıştırılmış Katı Dolgu Beton (Hardfill) Barajlar Hakkında, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 133-138, Ankara, 2004.
14. Londe, P. and Lino, M., “The Faced Symmetrical Hardfill Dam : A New Concept For RCC”, International Water Power & Dam Construction , February 1992.
15. Kocabeyler, M.F., 2001. Silindirle Sıkıştırılmış Betonda Yeni Bir Uygulama Sert Dolgu (HARDFİLL), Kalite Kontrol Teknik Semineri, s. 42-62, Fethiye, 2001.
16. Öztürk, A., 1999. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Tasarım ve İnşa Esasları, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
17. Öztürk, A., 2001. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) ve Türkiye’deki Uygulamaları, Kalite Kontrol Teknik Semineri, s. 1-16, Fethiye, 2001.
18. 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.

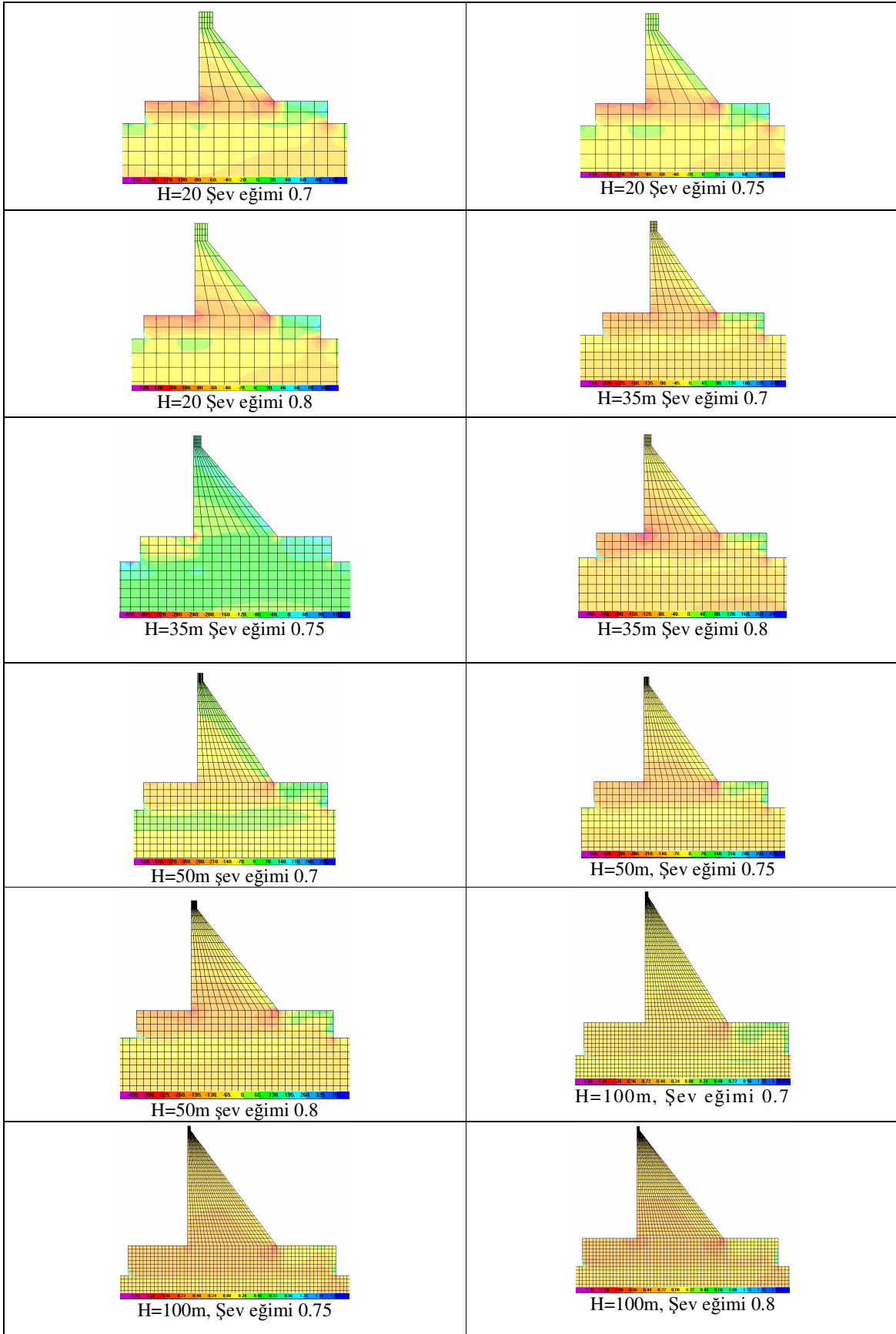
19. Emiroğlu M.E., (1998a). “RCC Barajlarda Yeni Tasarım Kavramları”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Yıl: 43, Sayı: 393, Sayfa: 57-64.
20. Duyar, O., Tezel, O., 2004. Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Kimyasal Katkı Kullanımı, 1. Ulusal Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Sempozyumu, s. 77-83, Ankara, 2004.
21. Demirci, İ., 1996. Silindirle Sıkıştırılmış Beton ve Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar, DSİ Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, Ankara.
22. Chanrupatla, T.R., Belegundu, A.D. 1991. Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
23. Dunstan, M.R.H., 1994, “The state - of - the - art of RCC dams”. The International Journal on Hydropower & Dams, March, pp. 44-54.

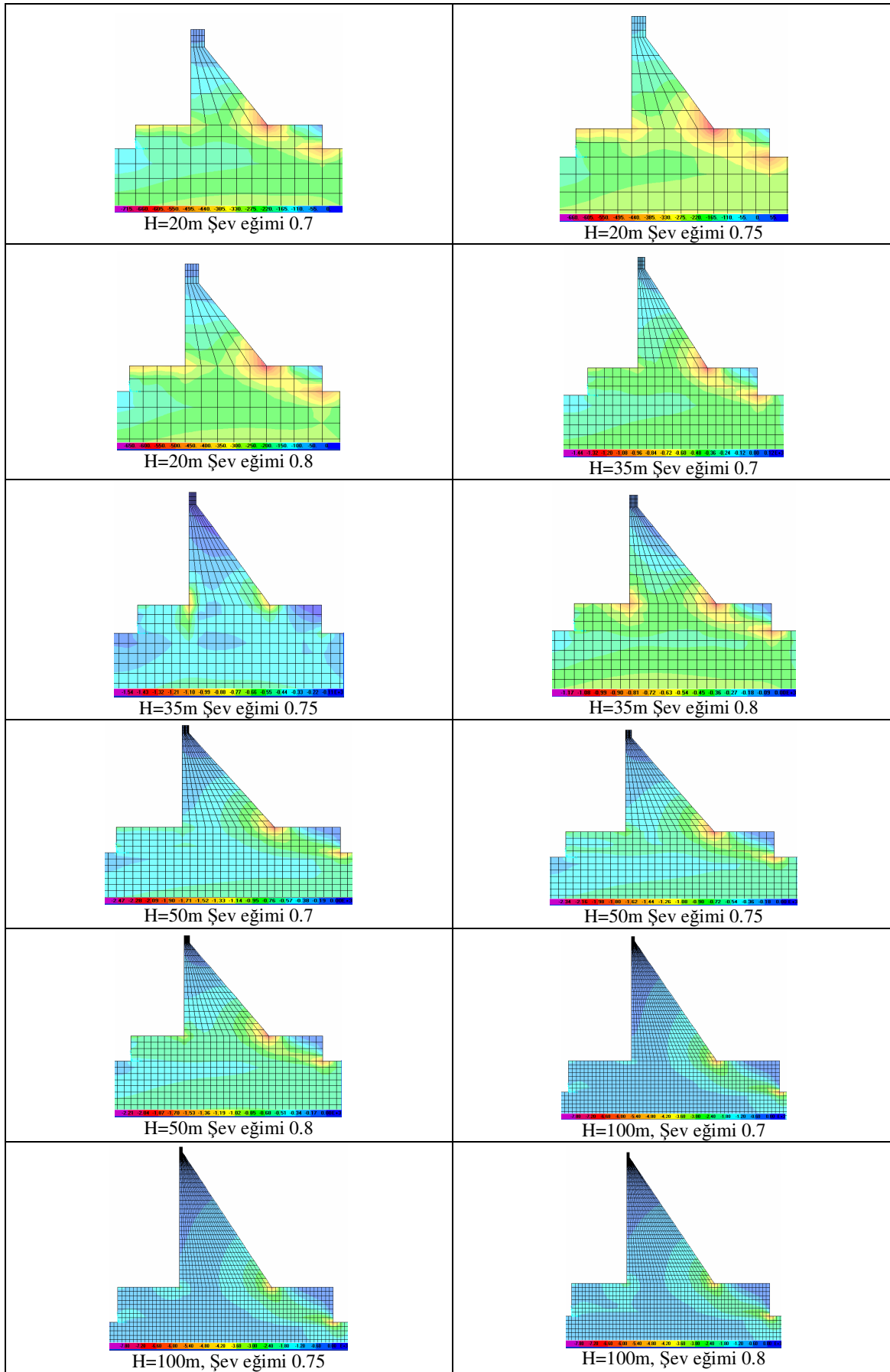
ÖZGEÇMİŞ

Zeyneb KILIÇ, 1984 yılında Elazığ ilinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. Lise öğrenimini 2002 yılında Elazığ Anadolu İmam Hatip Lisesinde tamamladı. 2002 yılında başlamış olduğu Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Dalında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

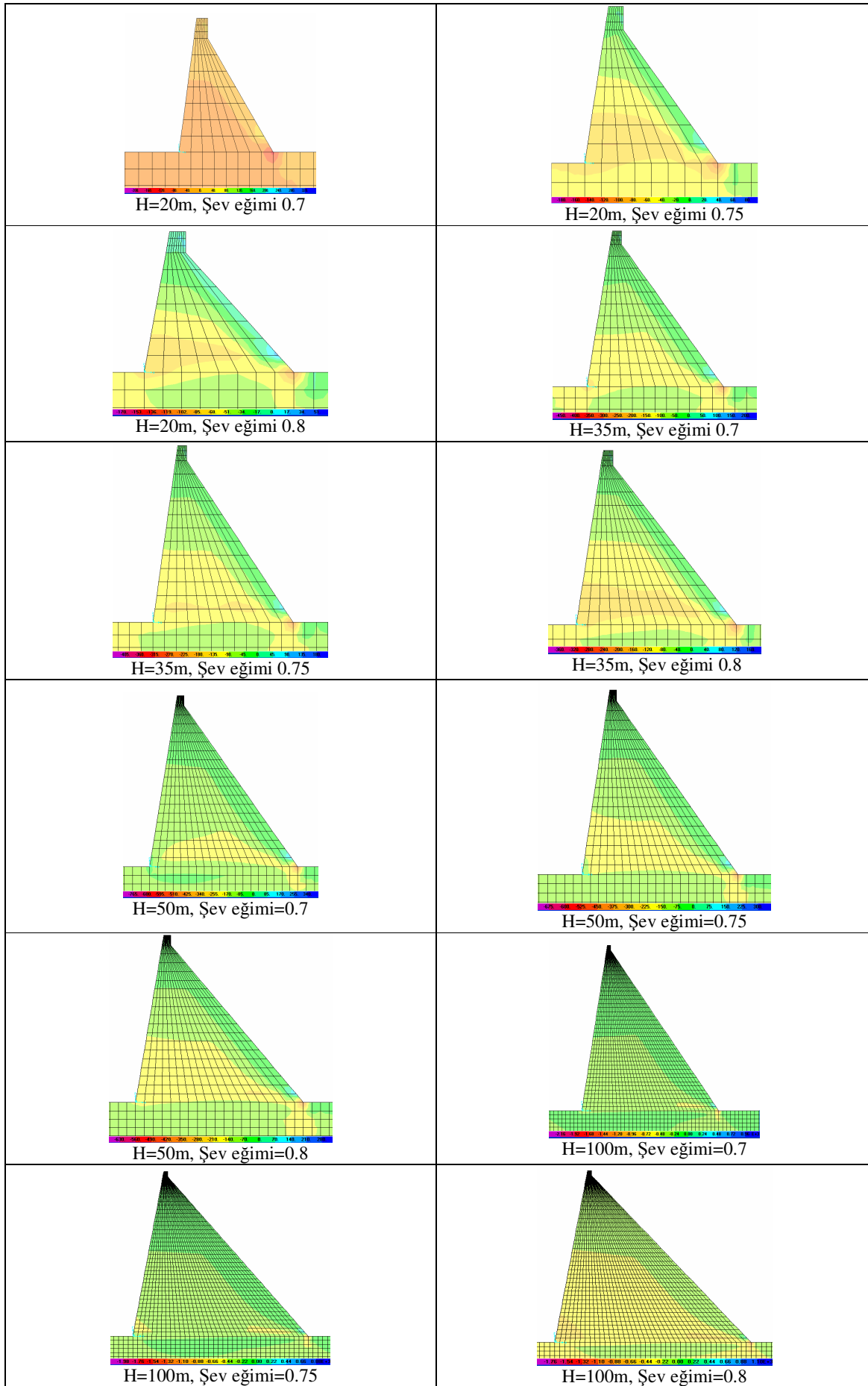
7.EKLER

EK.1. Baraj yüksekliği 20, 35, 50, 100 m, şev eğimlerinin (0.7y:1.0d), (0.75y:1.0d), (0.8y:1.0d) olması için; üç enkesit tipine ait baraj gövdesi ile baraj-temel ara yüzeyinde maksimum ve minimum asal gerilme görünümüleri.

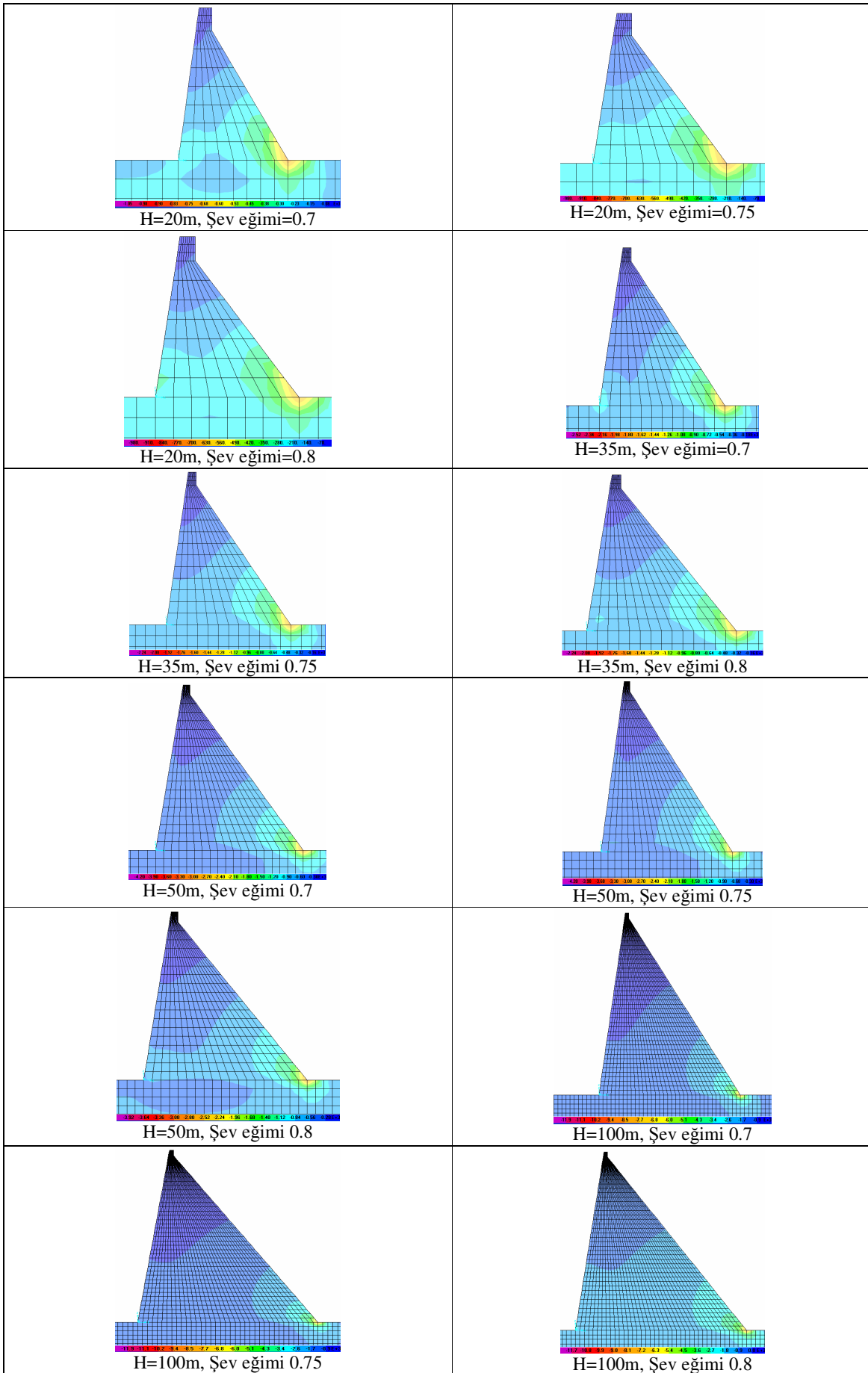




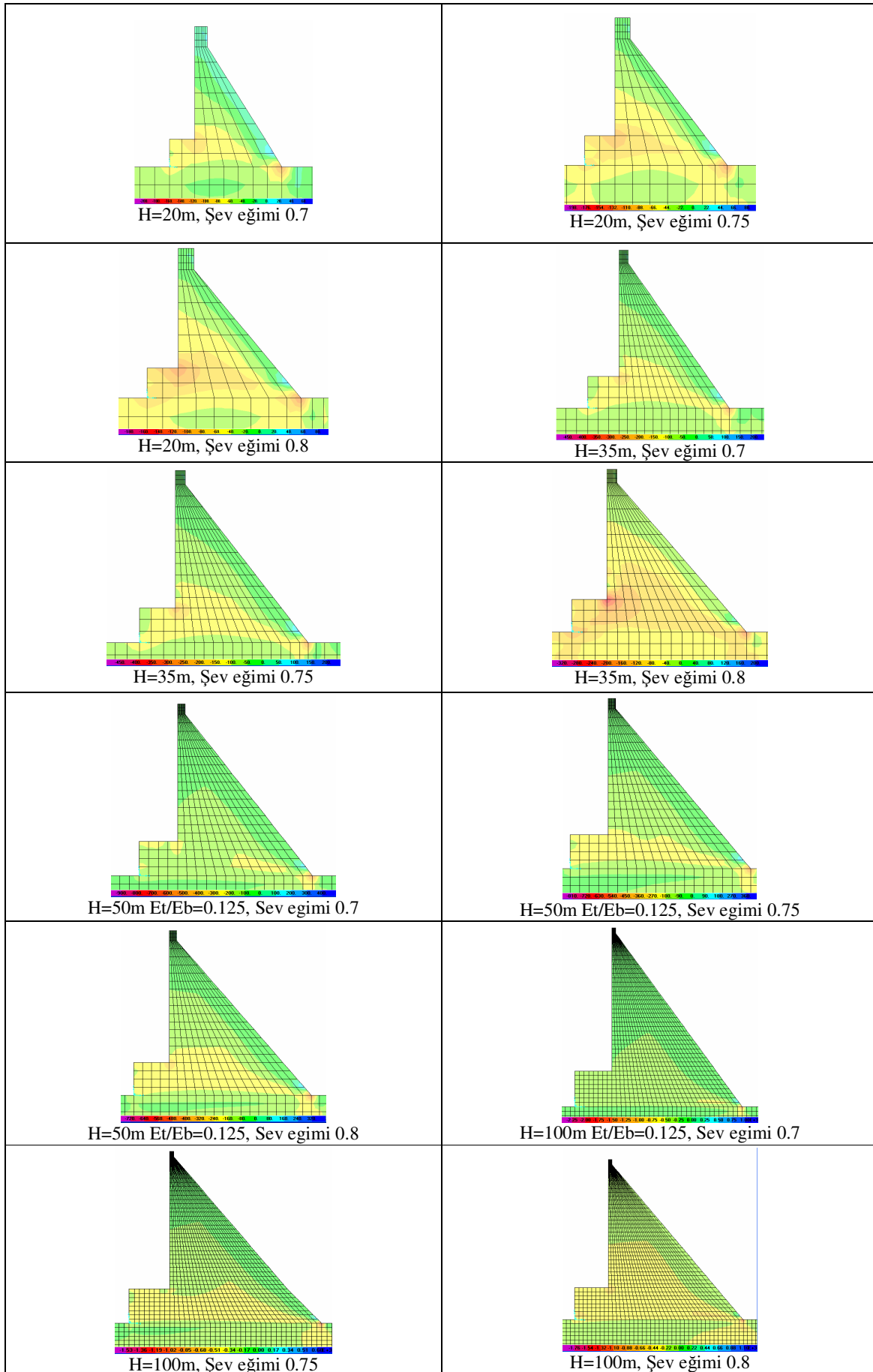
Şekil E.1.2 Enkesit tipi 1 için $E_f/E_b=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü



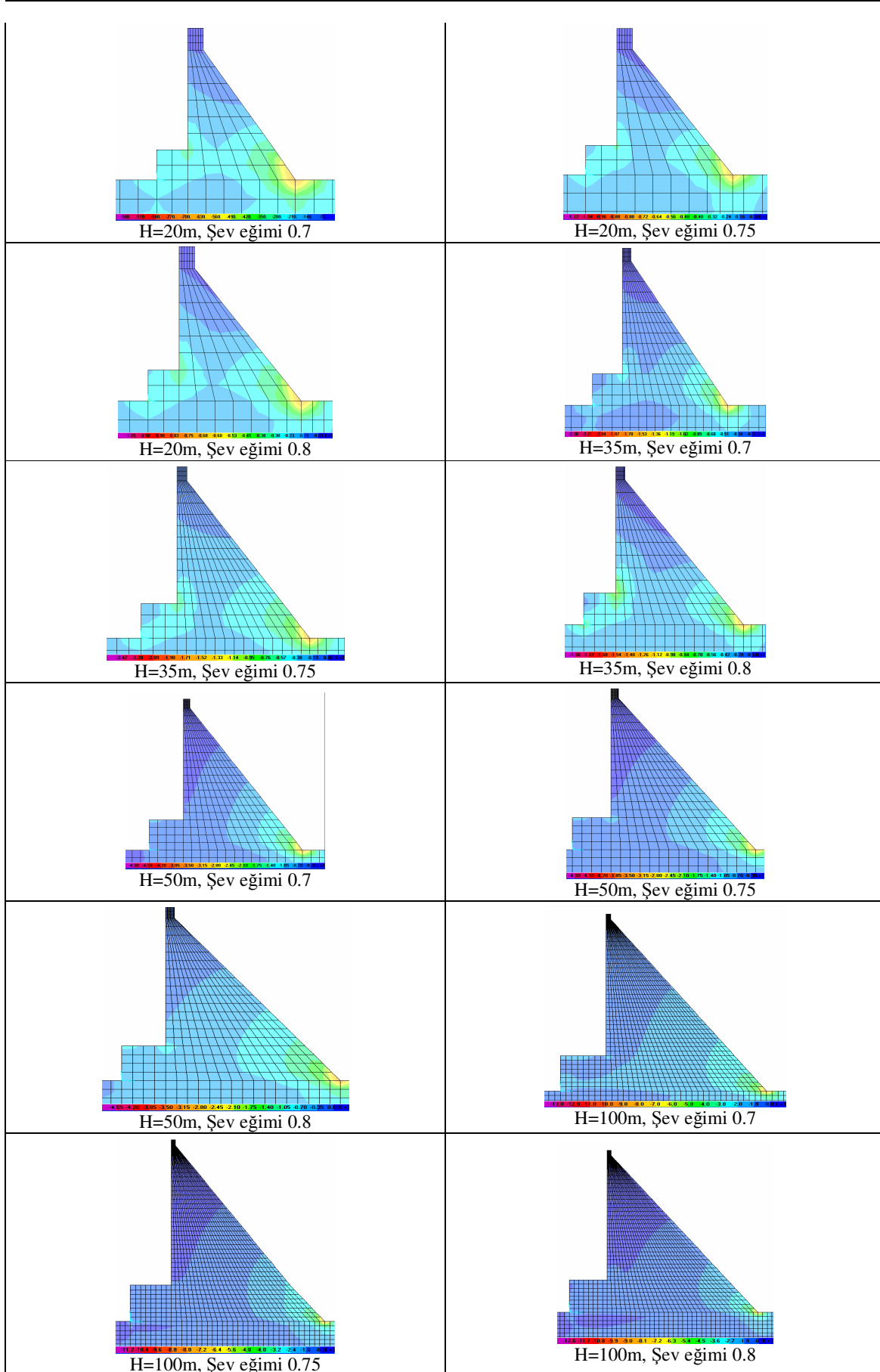
Şekil E.1.3 Enkesit tipi 2 için $E_f/E_b=0.125$ olması halinde maksimum asal gerilme görünümü



Şekil E.1.4 Enkesit tipi 2 için $E_t/E_0=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü



Şekil E.1.5 Enkesit tipi 3 için $E_t/E_b=0.125$ olması halinde maksimum asal gerilme görünümü



Şekil E.1.6 Enkesit tipi 3 için $E_r/E_0=0.125$ olması halinde minimum asal gerilme görünümü