

### 3. BURSA ULUSLAR ARASI SU KONGRESİ VE SERGİSİ

22-24 MART 2013 BURSA

## BARAJ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN TİP SEÇİMİ: ÖYBK BARAJLARDA ETKEN FAKTÖRLER VE ILISU BARAJI ÖRNEĞİ

Kasım YENİGÜN

Harran Üniv. Mühendislik Fak.  
İnşaat Müh. Böl. Osmanbey Kampüsü  
Şanlıurfa Türkiye  
kyenigun@harran.edu.tr

Ferhat YÜZGÜL

DSİ 16. Bölge Müdürlüğü  
Ilısu Barajı Barajlar ve HES Şubesi  
Mardin Türkiye  
ferhatyuzgul@dsi.gov.tr

### ÖZET

Kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu (ÖYBK) barajlar; güvenli olmaları, büyük farklılıklar gösteren arazi koşullarına uyabilmeleri, yapılarının pratik ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden dolayı çoğunlukla tercih edilmeye başlanmıştır. Kayanın yüksek dayanımından yararlanarak su tutucu ön yüz betonunun desteklenmesi prensibi ile çalışan ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar bugüne kadar dünyanın çeşitli yerlerinde çok büyük yüksekliklerde bile başarı ile inşa edilmiştir. Bu tip barajların daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu tür barajlarla ilgili olarak yapılan incelemelerde, sorunların büyük oranda ön yüz beton tasarımı ve beton işçiliği ile alakalı olarak karşımıza çıkmakta olduğu görülmektedir.

Ilısu Barajının ülkemizde yapılan en büyük ön yüzü beton kaplı baraj olması nedeniyle, bu aşamada yapılacak çalışma ve değerlendirmeler ülkemiz için bilgi ve deneyim altyapısı oluşturacaktır. Ilısu Barajı'nın gövde tipi seçiminde projede yapılan değişiklikler ve projeye etki eden diğer güvenlik faktörleri ile bir arada değerlendirilmiştir. Önce kil çekirdekli kaya dolgu olarak planlanıp daha sonra Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraja dönüştürülen Ilısu Barajı'nın geçmişten günümüze aşama aşama gövde tipi seçiminde ve analizlerinde etkin olan faktörleri ele alınmış ve gerek Ilısu Barajı ve gerekse diğer benzer tür barajlarda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar, eldeki veriler ve gözlenen problemlerden alınan dersler çerçevesinde özetlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Baraj güvenliği, ÖYBK Barajlar, Ilısu Barajı

## GİRİŞ

Barajlar eski zamanlardan beri insanlığın su ihtiyacını karşılamak ve tarımsal alanların sulanması amacıyla inşa edilen su yapılarıdır. Günümüzün modern barajları stratejik olarak da çok büyük öneme sahiptirler. Özellikle enerji üretiminde gelişmekte olan ülkelerde büyük pay sahibi olmalarının yanında, ülkenin tarımsal hayatı için de depoladıkları su hacmi bakımından büyük önem taşırlar.

Tabi tüm bunların yanında barajların projelendirilmesinde gerekli hidrolojik, meteorolojik, jeolojik, topoğrafik, teknik, mali ve diğer tüm verilerin doğru ve yeterli olarak elde edilmesi ve analizlerinin yapılması da büyük önem arz etmektedir. Dahası proje etütlerinin ve diğer işletme alternatiflerinin gerektiği şekilde yapılması, tasarımdan işletmeye kadar gerekli tüm adımları kapsayan detaylı bir çalışmaya ihtiyaç duyulduğu ve yapılacak en ufak hataların bile çok uzun süreli onarımlarla ancak geri dönüşünün sağlanması söz konusudur. Değişik malzemelerden ve değişik amaçlı olarak inşa edilen barajlar büyük boyutlu mühendislik yapıları olduğundan, bu yapıların güvenliği her aşamada önem taşımaktadır.

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

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

Barajlarda görülen hasar ve yetersizlikleri analiz edildiğinde baraj tiplerine göre değişik yıkılma ve hasar sebepleri görüldüğü ve dolayısıyla baraj tiplerine göre alınması gereken önlem ve tasarım değerlendirmelerinin büyük önem arz ettiği, gerek yeni tasarımlarda ve gerekse inşa ve işletme aşamasında bulunan barajların bu çerçevede genel bir güvenlik

değerlendirmesine tabi tutulmalarının, mevcut barajların risk unsuru olarak ele alınan parametreler öncelikli olmak kaydıyla dinamik olarak izlenmesinin önem arz ettiği, gerekirse her aşamada revizyonun ve diğer önlemlerin devreye alınması gerekliliği de dikkat edilmesi gereken en önemli hususları oluşturmaktadır.

Bu çalışmada barajlarla ilgili genel güvenlik değerlendirmelerine yer verilerek, tip açısından barajlar ele alınacak, dünyada ve ülkemizde karşılaşılan önemli baraj hasarlarının özet bilgisine yer verilerek, bunların tiplerine göre oranları ve buradan yola çıkarak bu konuda oluşan genel kanaat değerlendirilecektir.

Ardından bu çalışmaya örnek teşkil edecek olan ILISU barajı ana hatlarıyla tanıtılacaktır. Bu barajın ilk tasarımındaki tip özellikleri ve proje detayları verildikten sonra hangi gerekçelerle bu tip seçiminden vazgeçildiği, hangi alternatiflerin değerlendirildiği ve yeni tip seçiminde etken faktörler, yeni seçilen Ön Yüzü Beton Kaplamalı (ÖYBK) tipiyle ilgili örnek değerlendirmeler baraj güvenliği açısından ele alınacaktır.

## **BARAJ TİPİ BAĞLAMINDA BARAJ GÜVENLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ, ÖN YÜZÜ BETON KAPLI KAYA DOLGU (ÖYBK) BARAJLAR**

Eldeki geniş bilgi veri tabanına rağmen sürmekte olan baraj hasar ve yetersizlikleri, meydana gelen ve gelmesi muhtemel kazalardan dolayı risk altında olan mal ve can, ulusal servet ve ekonomik kayıplar, bu alandaki çalışmalarını hala ve öncelikli olarak önemli kılmaktadır.

Konu ülkemiz açısından değerlendirildiğinde, karşılaşılan az sayıda kaza ve yetersizlik oranının, ülkemizi barajlarının çoğunun genç olma niteliğinden kaynaklandığını ancak önümüzdeki sürecin yaşlanmayla beraber yapılmaya devam edecek (özellikle küçük) barajların artışı ile gözle görülür bir şekilde önem kazanacağını söylemek uzak görüşlülük olmayacaktır.

20. Yüzyılda dünyada yaklaşık 200 dikkati çeken rezervuar yetersizliği olmuş ve 8000'den fazla insan hayatını yitirmiştir. 1929'da Berlin'de yapılan Dünya Enerji Konferansında, baraj mühendisliğinin gelişmesi üzerindeki geniş bilgi ICOLD'un kurulmasına ön ayak olmuştur. ICOLD tarafından hazırlanan bir tabloda, tarihi çağdan 1965'e kadar uzanan bir zaman diliminde oluşan büyük baraj yetersizliklerinin sayısı 202 olarak verilmektedir (Uzel,1991).

Teksas Su Komisyonunun yaptığı çalışma, 1963-83 yılları arasında, Amerika'da 18 baraj yıkılmasını tespit etmiş ve bunları insan yaşamı kaybı ve ekonomik kayıp olarak iki aşamalı olarak ele almıştır. Aynı komisyon, ele aldığı dört aşamalı bir plan çerçevesinde, baraj güvenlik programı çalışmalarını; mevcut barajların güvenlik değerlendirmeleri, baraj inşaatı ve büyük onarım işlerinin plan ve şartnamelerinin incelenmesi, mevcut ve yeni barajların inşaat işlerinin periyodik kontrollerinin yapılması, acil eylem planının incelenmesi ve onayı, şeklinde sıralamıştır (Anonymous, 1998).

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

- **Baraj Yaşı:** Hasar ve yıkılmaların en az % 50'si baraj işletmeye açıldıktan sonraki ilk beş yıl içinde meydana gelmiştir. Dolayısıyla barajların yaşlılığının yıkılmada öncelikli faktör olma özelliği ortadan kalkmaktadır. Genel olarak, 1940'tan sonra inşa edilen barajlarda yıkılma olasılığı daha eski barajlara göre azalma göstermiştir. Sadece 1971-1980 yılları arasında yıkılma olasılıklarında bir artış göze çarpmıştır. Bunun nedeni de bu periyotta ABD'de çok sayıda baraj kazası ve yıkılmasının yaşanmasıdır.
- **Baraj Tipi:** Kaya dolgu ve payandalı barajlarda yıkılma ve kaza olasılığı, diğer tiplerden daha fazladır. Öte yandan beton barajlardaki yıkılma olasılığı diğer tip barajların yıkılma olasılığı ile hemen hemen aynıdır.
- **Baraj Büyüklüğü:** 15 m'den alçak barajların yıkılma olasılıkları 50 m'den daha yüksek barajlarından çok daha yüksektir. Bunun sebebi olarak daha büyük barajlarda; tasarım, inşaat, yönetim ve işletme alanlarında daha çok dikkat gösterilmesi söylenebilir. Öte yandan yıkılma ve kaza risklerinin farklı yükseklikteki barajlarda benzer olasılıklar göstermesi, baraj yüksekliğinin yıkılma veya kaza risklerinde pek belirleyici olmadığını göstermektedir (Cheng, 1993; Yenigün, 2007).

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

- beton barajlardaki hasarların; % 29'u baraj üzerinden su aşması, % 53'ü temel problemleri, % 18'i diğer nedenler,
- dolgu barajlardaki hasarların; % 35'i baraj üzerinden su aşması, % 21'i temel problemleri, % 38'i borulanma ve sızıntı, % 6'sı diğer nedenler,

• ve bütün tipteki baraj hasarlarının; % 34'ü baraj üzerinden su aşması, % 30'u temel problemleri, % 28'i borulanma ve sızıntı, % 8'i diğer nedenler ile oluştuğu gözlenmiştir (Anonymous, 1998; Yenigün 2001)

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

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

Yakın zamanlı baraj hasar ve yıkılmalarına örnek olarak Ka Loko Barajı [Hawai-2006], Zippingpu Barajı [Çin-2008], Lake Delhi Barajı [Iowa, ABD-2010] ve Gökdere-Köprü Barajı [Türkiye-2012] verilebilir (Yenigün ve Sepetçioğlu, 2012).

Çalışmanın önceliğini oluşturan ve kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşan ön yüzü beton kaplı kaya dolgu (ÖYBK) barajlar ise; güvenli olmaları, büyük farklılıklar gösteren arazi koşullarına uyabilmeleri, yapılarının pratik ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir.

Kayanın yüksek dayanımından yararlanarak su tutucu ön yüz betonunun desteklenmesi prensibi ile çalışan ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar bugüne kadar dünyanın çeşitli yerlerinde çok büyük yüksekliklerde bile başarı ile inşa edilmiştir. Kayanın yüksek geçirgenliği, sızma durumunda bile borulanma tehlikesi yaşanmamasını sağlar. Dayanımın yüksek olması da duraylılık ve uzun süreli sehimleri engeller (DSİ, 2012).

Tablo 1 bu konuda bazı örnekleri göstermesi açısından önemlidir.

Tablo 1: Dünyada ve ülkemizde ÖBKB örnekleri (Ergeneman, 2012)

<b>ÖN YÜZÜ BETON KAPLI BARAJ</b>	<b>YÜKSEKLİĞİ (m)</b>	<b>TAMAMLANMA TARİHİ</b>
ITAIPU, Paraguay/Brezilya	190	1982
TSQ 1, Çin	187	1998
ANTAMINA, Peru	140	2001
MOHALE, Lesotho	145	2002
CAMPOS NOVOS, Brezilya	202	2005
BARRA GRANDE, Brezilya	140	2005
BAKUN, Malezya	205	2011
SHUIBUYA, Çin	233	2008
KÜRTÜN, Gümüşhane	110	2003
TORUL, Gümüşhane	137	2008
DİM, Antalya	123.5	2009
ATASU, Trabzon	118	2011
SİLVAN, Diyarbakır	158.5	İnşaat halinde

Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajların tamamı kuru olduğundan deprem sallamaları kaya dolgu boşluklarında boşluk suyu basıncı oluşturmaz. Bu özelliğinden dolayı da ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu baraj depreme karşı dayanıklı kabul edilebilir. Kret oturmaları ise nispeten düşüktür. İlk birkaç yıldan sonra bu oranda çok büyük düşme gözlenmektedir. Bu tip barajlardan ciddi deprem yüküne maruz kalındığı pek kaydedilmemiştir. Boşaltmaya neden olacak kadar ciddi bir deprem yüküne maruz kalan ve hasar gören ZipingPu Barajı bu konuda önemli bir örnek teşkil etmektedir. Kısa ve orta yükseklikteki bu tip barajların küçük ve orta dereceli depremlerde sızma artışı göstermeleri normal karşılanmıştır. Yüksek deprem riskli yapılarda ise plak kalınlığının artırılması yoluna gidilmiştir(DSİ, 2012).

ÖYBK kaya dolgu barajların günümüzde yaygın olarak kullanılmasının temel nedenleri şöyledir:

- Modern ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajların tüm teknik açıdan iyi bir tip olması,
- Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajların çoğunlukla düşük maliyette inşa edilebilmesi,
- Sıkıştırılmış kaya dolgu inşası ve geliştirilmiş derz detayları ile yığma kaya dolgu barajlarda gözlenen aşırı oturmaların ve su kaçağı problemlerinin ortadan kaldırılmış olmasıdır. Şekil 1’de ÖYBK Barajlarında ön yüzey beton uygulaması verilmiştir.



Nessa CFRD, İran (General Mechanic, 2013)

Shuibuya CFRD, China (Gzbgı, 2013).

Şekil 1. Ön yüzey betonu uygulaması

Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajların seçiminde dünyanın birçok yerinde artışlar gözlemlenmiştir. Bu tip barajların daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Bu tür barajlarda, kaya dolgu açık bir sızma hattı sağladığı için iç su basıncı ve iç erozyon oluşturmamakta ve dolayısıyla sızma olağan kabul edilmektedir. Bu durum kumçakıl dolgu barajlar için geçerli değildir. Yüksek inşa edilen ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlarda, özellikle dolum aşamasında ön yüz beton plaklarında ciddi çatlak ve sızma artışı kaydedilmiş, dolayısıyla hızlı boşaltma yapma durumu söz konusu olmuştur(DSİ, 2012).

Bu tür barajlarla ilgili olarak yapılan incelemelerde, sorunların büyük oranda ön yüz beton tasarımı ve beton işçiliği ile alakalı olarak karşımıza çıkmakta olduğu görülmektedir (Ergeneman, 2012).

Aşağıda Campos Novos, TSQ 1, Barra Grande, Mohale ve ZipingPu Barajları güvenlik sorunları bağlamında örneklendirilmiştir;

a. Brezilya'daki 140 m yüksekliğindeki Barra Grande Barajı 2005 yılında rezervuarın ilk doldurulması sonrası, uygun olmayan merkezi düşey büzülme derzleri ve yüksek basınç gerilmesi nedeniyle memba yüzeyinde çatlamlar meydana gelmiş ve 1280 lt/sn sızmaya sebep olmuştur. Bakım sonrası baraj güvenli bir şekilde çalışmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Barra Grande Barajı ve beton çatlakları (Anonymous, 2013a)

b. Yine Brezilya'da bulunan 202 m yüksekliğindeki Campos Novos Barajında, 2006 yılında Yüksek basınç gerilmesi sonucunda Ön yüzey beton kırılması gerçekleşmiş ve 1400 l/s sızıntı oluşmuştur. Rehabilitasyon sonrası 2007 yılında yeniden rezervuar doldurulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: Campos Novos Barajı ve beton kırılmaları (Schexnayder, 2013)

c. Çin'de bulunan 187 m yüksekliğindeki TSQ 1 (Tianshengqiao) Barajı, , 1998 yılında Uygun olmayan merkezi düşey büzülme derzleri ve Yüksek basınç gerilmesi nedeniyle Ön yüzey beton kırılmasına maruz kalmış ve 70 l/s lik bir sızma ortaya çıkmıştır. (Anonymous, 2013b), (Şekil 4).





Şekil 4:TSQ 1 (Tianshengqiao) Barajı ve beton kırılmaları

d. Lesotho (Africa) da bulunan 145 m yüksekliğindeki Mohale barajı ise aşırı yağışlar sonrası düşey büzülme derzi kırılması ve krette hasar yaşamış 600 l/s değerinde bir sızma gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Mohale Barajı ve beton kırılmaları (Anonymous 2013c)

e) 12 Mayıs 2008 tarihinde Çin'in güneyindeki Sichuan eyaletinde meydana gelen ve yaklaşık 80 000 insanın ölümüne neden olan 7,9R ölçekli deprem sonrası, depremin merkez üssüne 10 km mesafede bulunan ZipingPu Barajında şu hasarlar kaydedilmiştir:

- beton yüzeyin alt kesimlerinde yaklaşık 1000 m<sup>2</sup> civarında deformasyon,
- barajın üst orta kesimlerinde 50 cm'yi bulan ayrışmalar,
- baraj yüzeyi boyunca yapı elemanlarında görülen sapma ve deformasyonlar,
- yaklaşık 15 cm'yi bulan derz genişlemeleri,
- rezervuar boyunca sağ ve sol sahilde görülen heyelanlar (Şekil 6).



Şekil 6. ZipingPu Barajında Gözlenen Hasar ve Deformasyonlar

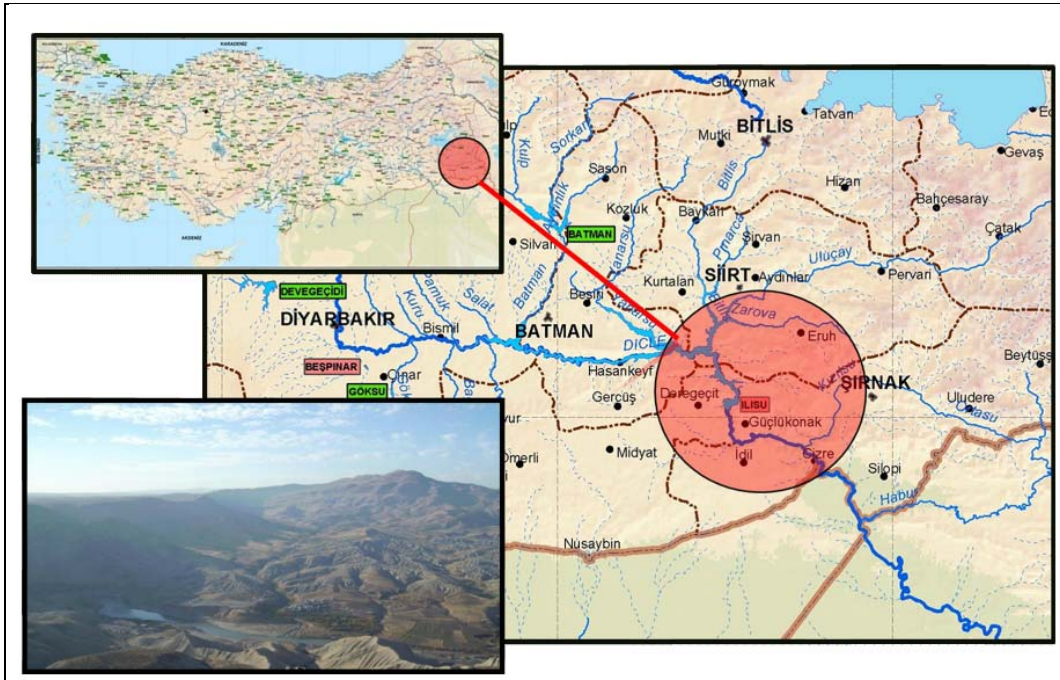
ZipingPu Barajı, zararların değerlendirilmesinin ardından, rezervuara yakın kasaba ve özellikle Dujiangyan kenti için potansiyel bir felaket riskini en aza indirmek için acil olarak dolusavak çalıştırılarak deşarj edilmiştir (Lekkas, 2012; Anonymous, 2008).

## ILISU BARAJI

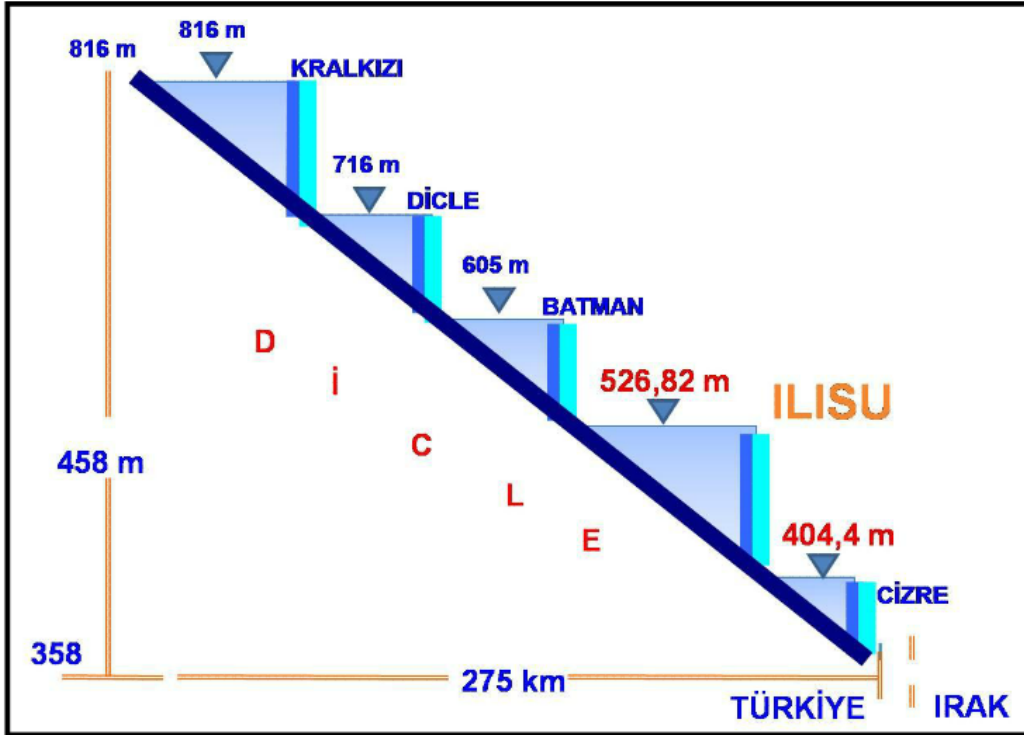
Bu çalışmada ele alınan ve ilk önce kil çekirdekli kaya dolgu olarak planlanıp daha sonra Ön Yüzü Beton Kaplı Baraja dönüştürülen Ilısu Barajı'nın gövde tipi seçiminde ve analizlerinde etkin olan faktörler ele alınarak değerlendirilmiştir.

Ilısu barajı çalışmalarında gelinen son durum değerlendirmesi yapılarak günümüzde kullanılan bu teknolojinin faydaları ve muhtemel güvenlik açıkları örnekler üzerinden alınan derslerle irdelenecektir.

GAP'ın can damarı Dicle - Fırat Nehirleri Türkiye su potansiyelinin yaklaşık % 28,5'ini oluşturmaktadır. Ilısu Projesi, dünyanın en büyük su projelerinden birisi olan GAP'ın temel unsurlarındandır. Ilısu Barajı; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Suriye sınırına yaklaşık 45 km mesafede, Dicle Nehri üzerinde inşa edilecek olup, tamamlandığında 1 200 MW kurulu güç ile yılda ortalama 3 833 GWh enerji üretecektir.



Şekil 2: Ilısu Barajı Yeri (DSİ,2013)



Şekil 3: Ilısu Barajının Dicle Nehri Üzerindeki diğer barajlara göre konumu, (DSİ, 2013)

Tesis işletmeye alındığında; gövde hacmi açısından (45 milyon m<sup>3</sup>) Türkiye'nin 2., kurulu güç bakımından da 4. büyük barajı olacaktır. 2008 yılında temeli atılan barajın 2015 yılında bitirilmesi hedeflenmektedir. Ilısu Barajı ve Hidroelektrik Santralinin yeri ve Dicle Nehri üzerindeki diğer barajlara göre olan konumu Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

Tablo 2: Ilısu Barajı Teknik Bilgiler (DSİ, 2013)

Ilısu Barajı	
Amaç	Elektrik
Gövde dolgu tipi	Kaya
Yükseklik	138.00
Göl hacmi	11.000 hm <sup>3</sup>
Göl alanı	526,82 km <sup>2</sup>
Yağış Alanı	35 509 km <sup>2</sup>
Yıllık Ortalama Akım	15 500 hm <sup>3</sup>
Muht. Maks. Fey. Piki	20 357 m <sup>3</sup> /s
Derivasyon Fey. Piki	6 914 m <sup>3</sup> /s

Ilısu Barajına ait genel teknik bilgiler Tablo 2'de ve Ilısu Barajı inşaat aşaması ile ilgili güncel fotoğraf Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Ilisu Barajı İnşaat Aşaması Genel Görünüm

Derivasyon tünelleri görüntüsü ve bazı bilgiler şekil 5’te verilmiştir.

<p><b>Derivasyon Tünelleri</b></p>	
<p>Kesit Tipi: Dairesel- Beton Kaplama</p>	
<p>Sayısı: 3 Adet</p>	
<p>Çapı: 12 m</p>	
<p>Top Deşarj: 10.275 m<sup>3</sup>/s</p>	
<p>Boyu (T1+T2+T3): 1063,99 m. 1016,09 m. 915,34 m.</p>	

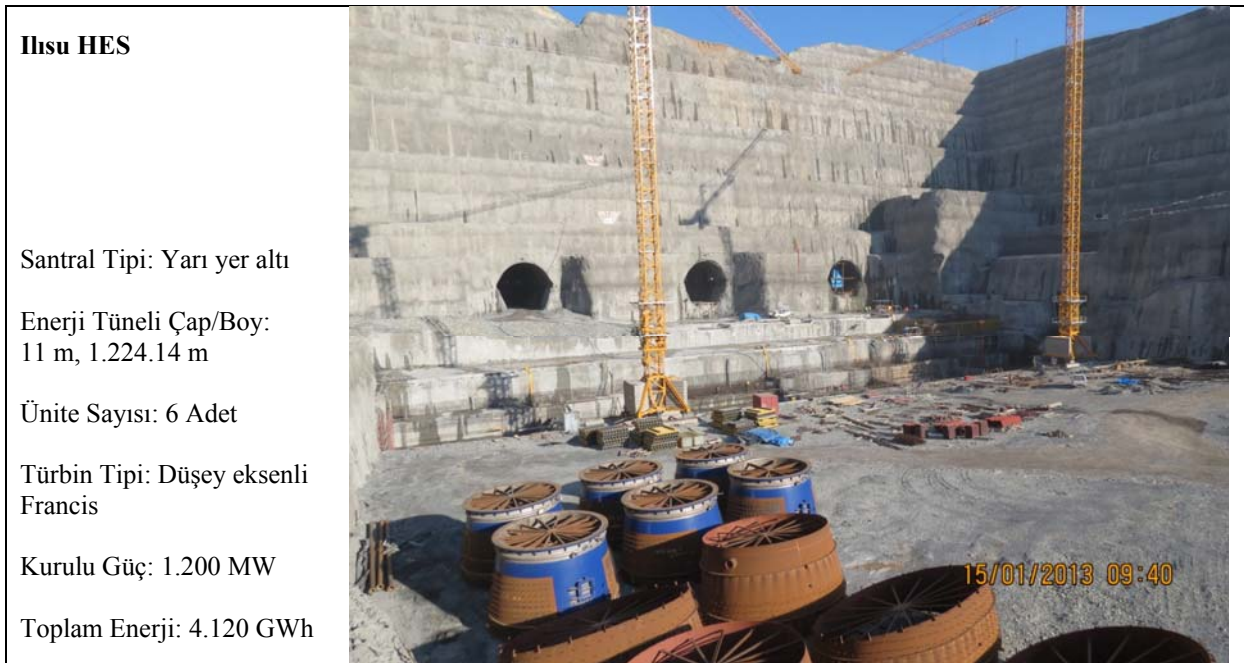
Şekil 5. Ilisu Barajı Derivasyon Tünelleri

6 adet, 16 m x16.88 m boyutlarındaki radyal tipli dolusavakların deşarj kapasitesi 21.100 m<sup>3</sup>/s olup Şekil 6’da verilmiştir.



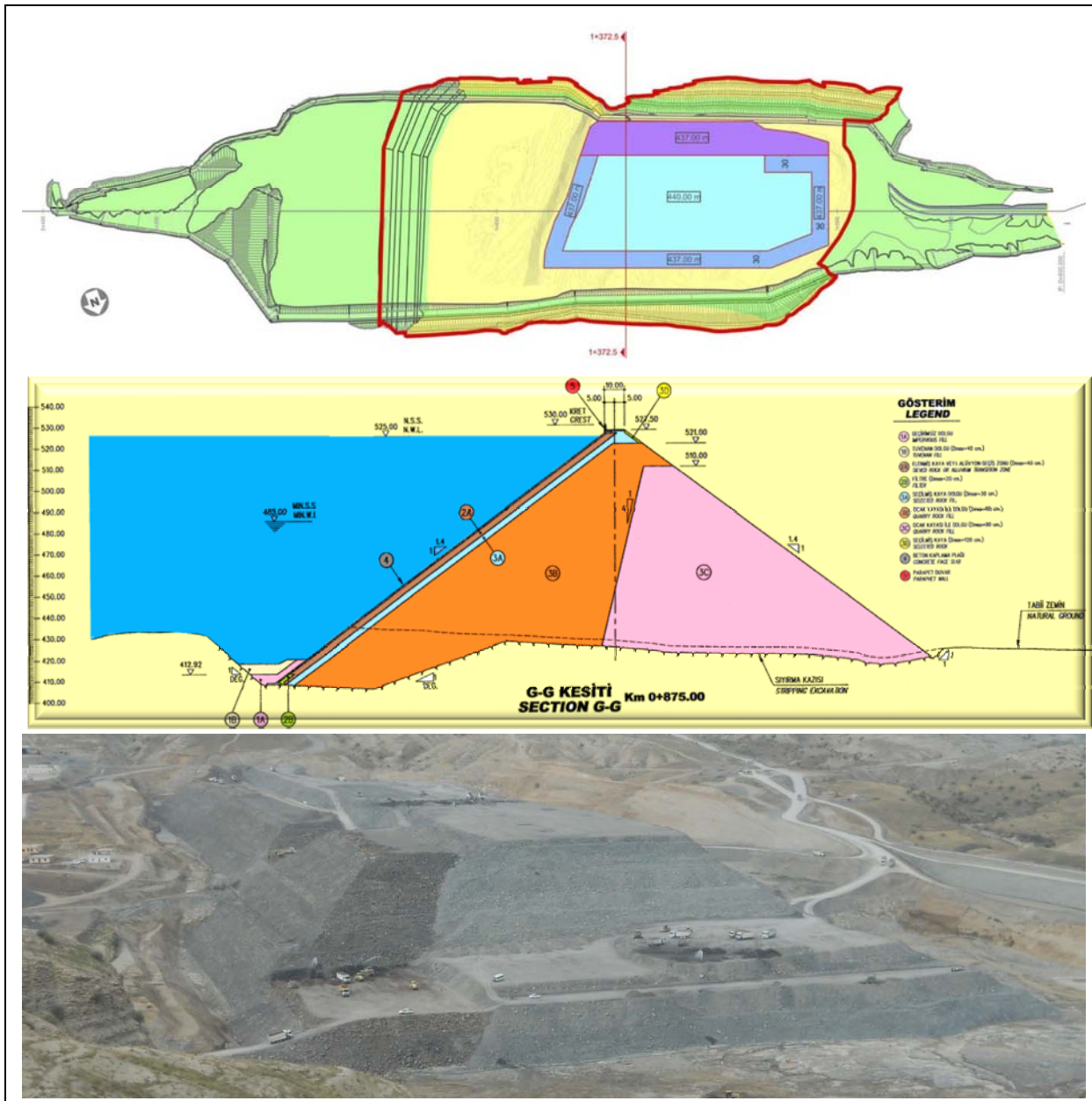
Şekil 6. Ilisu Barajı Dolusavak Kesiti ve İnşa Aşaması

Santral yapısına ait bazı teknik bilgiler ve görüntüler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Ilisu Barajı HES Detayları ve İnşa Aşaması

Gövde Tipi Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu olup gövde hacmi 24,10 hm<sup>3</sup>, kret kotu 530 m, kret uzunluğu 2.289 m, gövde yüksekliği (talvegden) 130 m, gövde yüksekliği (temelden) 141 m olan İlisu Barajına ait gövde kesit ve görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: İlisu Barajı Gövde Kesit ve İnşa Görüntüleri

## İLISU BARAJI GÖVDE TİP SEÇİMİ ve DEĞİŞİM KRİTERLERİ

İlisu Barajı ve HES projesi ile ilgili proje sürecinde yapılan çalışmalarda; baraj gövdesi için kullanılacak malzemeler arasında kireçtaşı, bazalt ve marnlı kireçtaşı olduğu fakat kireç taşının (tebeşirli kireç taşı) elimine edilebildiği belirtilmiştir. Sonuç itibari ile baraj gövdesinde kaya dolgu olarak kullanılmak üzere iki ana malzemenin kaldığı belirtilmiştir. Baraj tipinin ÖYBK Baraj veya Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj olarak yapılabileceği, fakat

her iki alternatif için kullanılabilir malzeme cinsinin belirtilen iki malzemedenden birisi olabileceği vurgulanmıştır. Sonraki çalışmalarda bu iki ana malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan deneme dolgusu sonuçlarına göre bazalt malzemesinin yüksek dayanıma sahip olduğu, fakat sıkıştırma oranlarının istenilen düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Bu durumda bazalt malzemesinin ÖYBK Baraj gövdesinde kullanılmasında problem teşkil edebileceği, bilahare gövdede oluşabilecek oturmalar sonrasında, malzemenin köşeli yapısı nedeni ile ön yüz beton kaplamasında çatlaklara neden olacağı önbilgisini doğurmuştur. Bu problemin ortadan kaldırılabilmesi için müşavir firmanın yaptığı çalışmalar neticesinde, baraj gövdesinin memba zonu için marnlı kireç taşı, mansap zonu için ise bazalt malzemesinin kullanılacağı bir kesit hazırlanmıştır. Bu kesit mevcut nihai kesittir. Marnlı kireç taşı malzemesinin baraj gövdesinde kaya dolgu olarak kullanılması hususunda oluşan bazı soru işaretlerinin giderilmesi için ÖYBK Baraja çevrilen baraj gövdesi için ilk kati projedeki Kil Çekirdekli Kaya Dolgu baraj alternatifi tekrar gündeme gelmiştir. Kil ile ilgili yapılan teknik çalışmaların sonucunda istenilen veriler elde edildiği takdirde baraj tipinin Kil Çekirdekli Kaya Dolgu baraja çevrilmesi alternatifinin tekrar düşünülebileceği belirtilmiştir. Buradaki en önemli konunun yeterli miktarda ve kalitede kil malzemesi olup olmadığıdır (Toplantı Notları, 2011).

Sonuçta projenin ilk kati projedeki hali olan Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajdan ÖYBK Baraja çevrilme sebepleri şu şekilde sıralanmıştır;

- Kireçtaşının gövde dolgusunda kullanılabilirliği
- Yeterli miktarda ve kalitede kilin olmaması
- Kilin işlem görerek kullanılabilir duruma gelmesi
- İnşaat süresinin yaklaşık iki yıl uzaması
- Gövde hacminin büyüklüğünün iki katına çıkması

Belirtilen bu sebepler nedeni ile baraj tipinin değiştirilmesi gerekli görülmüştür. Geline bu noktada kil ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda, Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj inşaatı için yeterli miktarda ve kalitede kil olup olmadığı süreç içerisinde tespit edilmiş ve yeterli kil olmadığı ayrıca eldeki kil miktarının büyük oranda şişme özelliği olduğu ayrıca homojenlik göstermediği tespit edilmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı proje çalışmalarını hızlandırmak ve maliyeti azaltmak amacıyla baraj gövde tipi ÖYBK baraj tipine dönüştürülmüştür (Toplantı Notları, 2011).

Dolgu miktarının azalmasıyla toplam dolgu hacmi 43,8 Milyon m<sup>3</sup>'ten 25 Milyon m<sup>3</sup>'e indirilmiştir ve inşaat süresi kısalmıştır.

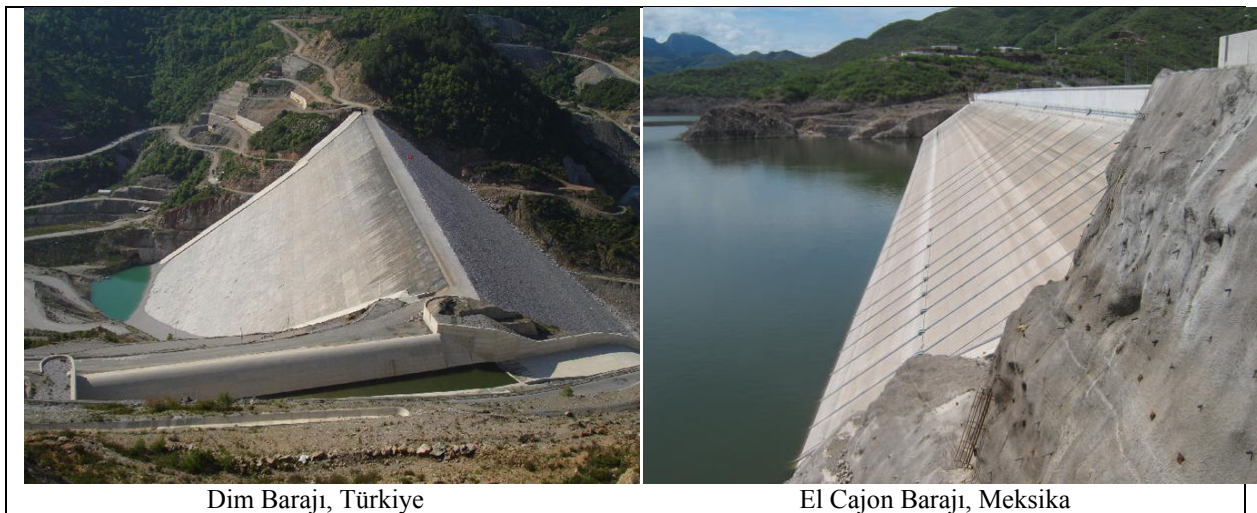


Toprak çekirdeği malzemesinin olmadığı yerlerde ÖYBK kaya dolgu barajların seçimi doğaldır. Bununla birlikte çoğu zaman ÖYBK kaya dolgu tipte seçilen ve proje çalışmaları sırasında bu tipin daha düşük maliyette yapılacağı anlaşılmış, hatta kil çekirdekli kaya dolgu için uygun malzemenin mevcut olması halinde bile bu durumun değişmediği sonucuna varılmıştır (Cooke, 1991).

Ilısu Barajının ÖYBK baraj tipine dönüştürülmesinde önemli değerlendirme aracı olarak ele alınan iki örnek barajdan da kısaca bahsetmek gerekmektedir (Şekil 9):

**Dim Barajı:** Antalya'da, Dim Çayı üzerinde, sulama, enerji ve içme suyu temini amacıyla 1998-2004 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Ön Yüzü Beton Kaplı ve Kaya Dolgu gövde tipi olan barajın gövde hacmi 5.190.000 m<sup>3</sup>, akarsu yatağından yüksekliği 135,00 m., normal su kotunda göl hacmi 250,63 hm<sup>3</sup>, normal su kotunda göl alanı 4,70 km<sup>2</sup>'dir. Baraj 6.600 hektarlık bir alana sulama hizmeti verirken, 38 MW güç ile de yıllık 127 GWh'lik elektrik enerjisi üretmektedir.

**El Cajon Barajı:** Meksika'da Rio Grande üzerinde (Santiago bölgesi) sulama ve enerji üretimi amaçlı ÖYBK olarak planlanan barajın inşaatına 2003 yılında başlanmış ve 2007 yılı Haziran ayında tamamlanmıştır. 800 milyon dolarlık bir maliyetle yaklaşık 4 yılda tamamlanmıştır. Uzunluğu 640 m ve yüksekliği 178 m olarak tamamlanan barajın rezervuar hacmi yaklaşık 5x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>'tür. 750 MW Kurulu güç ile yılda yaklaşık 1.228 GWh enerji üretilmesi planlanmıştır.



Dim Barajı, Türkiye

El Cajon Barajı, Meksika

Şekil 9. Dim Barajı ve El Cajon Barajı Görüntüleri

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda özellikle, Amerika, Avustralya, Brezilya ve dünyanın daha birçok yerinde ÖYBK kaya dolgu barajların inşasında çok büyük artışlar gözlenmiştir. Bununla birlikte, bu tip barajın daha ekonomik ve daha yüksek inşa edilmesi için bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Çalışmaların çoğunluğu, beton plağın oturtulduğu zon ile ilgilidir. Bu nedenle, bu baraj tipinin planlanması, inşası ve performansının iyi bilinmesi ülkemiz için önemlidir.

Beton yüzlü kaya dolgu barajların kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar özellikle güvenli olmaları, büyük farklılıklar gösteren arazi koşullarına uyabilmeleri, yapılarının pratik ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir. Bu tip, yüksek barajlarda güvenle kullanılabilir. Eldeki veriler bu tip barajların çok yüksek inşa edilmeleri halinde bile performanslarının sınır değerler içerisinde kaldığını, depreme karşı dayanıklı olabildiğini göstermektedir.

Öte yandan Ilısu barajı ile ilgili olarak önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların tasarım esasları planlama süreci yaşanan problemler, gövde tip seçiminde etken faktörler ele alınarak, projelendirme ve inşa yöntemleri daha önce yapılmış önemli uygulamalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. İlk önce kil çekirdekli kaya dolgu olarak planlanıp daha sonra Ön Yüzü Beton Kaplı Baraja dönüştürülen Ilısu Barajı'nın geçmişten günümüze aşama aşama gövde tipi seçiminde ve analizlerinde etkin olan faktörleri ele alınmıştır.

Ilısu Barajının ülkemizde yapılan en büyük ön yüzü beton kaplı baraj olması nedeniyle bu aşamada yapılacak çalışma ve değerlendirmeler gelecekte ülkemiz için örnek teşkil edecektir. Ilısu Barajı'nın gövde tipi seçiminde projede yapılan değişiklikler ve projeye etki eden faktörlerin bir arada değerlendirilmesi ve güvenlik değerlendirmeleri açısından irdelenmesi oldukça faydalı çıktılar sağlayacaktır.

Bu çalışma ile gerek Ilısu Barajı ve gerekse diğer benzer tür barajlarda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar, eldeki veriler ve gözlenen problemlerden alınan dersler çerçevesinde özetlenmeye çalışılmıştır.

- Ön yüzey betonu tasarımının doğru şekilde yapılması
- Ön yüzey betonunun davranışının nümerik modeller ile doğru şekilde analiz edilmesi
- Merkezdeki düşey büzülme derzlerinin ve düşey genleşme derzlerinin doğru şekilde seçilmesi

- Dik yamaçlar yakınında ve vadi faktörü dikkate alınarak gerektiğinde merkezi derzlerde panel genişliğini azaltarak, derz sayısının artırılması
- Merkezdeki ön yüzey betonunun daha kalınlaştırılması
- Merkezdeki düşey büzülme derzinde sıkışabilir ahşap malzemenin kullanılması,
- Ezilme donatısının kullanılması (Anti-spalling rebars),
- Derz üstündeki V şeklindeki girintinin azaltılması,
- Harç desteğinin teorik ön yüzey betonu hattı dışında tutulması,
- Bakır su tutucunun merkezindeki girintinin azaltılması,
- Ve elbette ki kaliteli işçilik ve beton kür işlemlerindeki hassasiyet gibi bazı maddelerin diğer bilinen genel güvenlik ve tasarım kriterlerine ek olarak öncelikli şekilde değerlendirilmesi doğru olacaktır.

## REFERANSLAR

Ağırlioğlu, N., 2011. Baraj Güvenliği, Beta Yayınları, 275 sayfa, İstanbul.

Anonymous 2008, web: <http://www.internationalrivers.org/resources/sichuan-earthquake-damages-dams-may-be-dam-induced-3619> , (Erişim tarihi: 11.02.2013).

Anonymous, 1998. Guidelines For Operation And Maintenance Of Dams In Texas, Office of Water Resource Management, Water Quantity Division, Flood & Weather Manag. Section, Dam Safety Team, Texas, USA.

Anonymous, 2013a, (<http://www.industcards.com/hydro-brazil-sc.htm> )

Anonymous, 2013b, ([http://www.docstoc.com/docs/19686033/tianshengqiao-1\(tsq-i\)](http://www.docstoc.com/docs/19686033/tianshengqiao-1(tsq-i)))

Anonymous, 2013c, ([http://www.trc.org.ls/news\\_pages/damcrack.htm](http://www.trc.org.ls/news_pages/damcrack.htm) )

Cheng, S.T., 1993. Statistics of Dam Failures, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.97, ASCE, New York, USA.

Cooke, J.B., 1991, Concrete-faced Rockfill Dam. *Int. Water Power and Dam Construction* 43:11, 11-15,

DSİ, 2012, Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi, Rehber No:003, 1.Barajlar Kongresi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ekim 2012, Ankara.

DSİ, 2013, web: [http://www2.dsi.gov.tr/pdf\\_dosyalar/ilisu\\_baraji\\_bilgilendirme\\_notu.swf](http://www2.dsi.gov.tr/pdf_dosyalar/ilisu_baraji_bilgilendirme_notu.swf) , (Erişim: 11.02.2013)

Emiroğlu M.E., 1998, “Ön Yüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Barajların Avantajları Ve İnşasındaki Son Gelişmeler”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Yıl: 43, Sayı: 393, Sayfa: 47-56.

Ergeneman, I., 2012, Ön yüzü beton kaplı dolgu barajlar, 1. Barajlar Kongresi, 11-12 Ekim 2012, Ankara.

General Mechanic, 2013, (<http://www.generalmechanic.com/ui/?file=project&operation=list&catId=4&type=0> )

Gzbgj, 2013, ([http://www.gzbgj.com/english/article.aspx?menuid=1385&tab=tab\\_e&tabid=1157](http://www.gzbgj.com/english/article.aspx?menuid=1385&tab=tab_e&tabid=1157) )

İlisu 2011. Devlet Su İşleri, 16.Bölge Müdürlüğü, Genel Koordinasyon Toplantıları, Dargeçit, Mardin.

- Lekkas, E, 2013, ZipingPu Dam Failures (Sichuan Prefecture, China) Caused by the 7.9R Earthquake on the 12th May 2008, web: [http://www.eeri.org/site/images/lfe/pdf/china\\_20080512\\_dam.pdf](http://www.eeri.org/site/images/lfe/pdf/china_20080512_dam.pdf) (Erişim tarihi: 11.02.2013)
- Schexnayder, 2013, web: <http://www.kleph.com/blog.php?b=8&e=336&pg=Campos+Novos+Dam>
- Uzel, T., 1991. Barajların Güvenliği, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Yenigün ve Sepetçioğlu, 2012, Güncel Baraj Hasarlarının Analizi, III. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, 10-12 Ekim 2012, Eskiřehir, Türkiye.
- Yenigün, K., 2007. Dolusavaklarda Taşkına Dayalı Güvenilirlik ve Baraj\_risk Programıyla Risk Analizi Uygulaması, 1. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Mayıs 28-30, Ankara.
- Yenigün,K., 2001. Barajların Güvenliği ve Dolusavak Boyutlarının Risk Düzeyine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yayımlanmamış doktora tezi), İstanbul.