



## HAZAR GÖLÜ CANSUYU VE POMPAJ DEPOLAMALI HES PROJESİ (SUPPORTING HAZAR LAKE FOR LIFE WATER WITH PUMPED STORAGE HEPP)

M. Cihat TUNA<sup>1</sup>

### ÖZET/ABSTRACT

4628 ve 5346 sayılı Kanun kapsamında yapılacak olan depolamasız su kuvveti tesisleri kurulu gücümüzde büyük bir yer tutacaktır. Bu santrallerle üretilen fazla enerji, güç talebinin düşük olduğu saatlerde tüketilemeyecek ve üretilen enerjinin depolanması da mümkün olmadığından bir enerji kaybı ortaya çıkacaktır. Elektrik formunda depolanmayan bu enerji, talebin az fiyatın düşük olduğu saatlerde elektrik kullanılarak su formunda depolanmalı ve ihtiyacın yüksek olduğu saatlerde elektrige dönüştürülerek kullanıma sokulmalıdır. Elektrik enerjisi, arz ve talebini eşleştirmek için kullanılan böyle bir sistem ülkemizde mevcut olmadığından 1 Temmuz 2006 tarihinde 1210 MW kurulu gücündeki Bursa Doğal Gaz santrali arızalanıp devre dışı kalınca 13 şehrimiz 8 saat boyunca enerjisiz kalmıştır. Bu çalışmada gelişmiş ülkelerin enerji arz güvenliği ve fiyat dengesini sağlamak amacıyla yaygın olarak kullandığı ancak ülkemizde henüz bulunmayan bu sistem için bir ön fizibilite çalışması yapılmıştır. Büyük bir depolama kapasitesi ile inşa kolaylığı ve birçok ekonomik avantajı olan Hazar Gölü'nün sahip olduğu bu potansiyel araştırılarak firm enerji üretim kapasitesi ve maliyet çalışmaları yapılmıştır.

*Non-storage water power plants that will be built according to the law no. 4628 and 5346 will hold a big place in installed power of Turkey. The energy that is produced in these plants will not be consumed and energy lost will emerge because energy storage is not possible. This energy that is not stored in the form of electricity will be stored in the form of water at the time that demand is little and price is low and this water converted to electricity will be put in use at the time that demand is high. In 01 July 2006 and 12 January 2012, Bursa natural gas plant that has an installed capacity of 1210 MW broke down and electricity cuts occurred in Marmara Region because there is no any pumped storage system that will supply peak energy demand in Turkey. In this paper, a pre-feasibility study for pumped storage HEPP that Turkey has not had yet and is built to ensure security of energy supply and price equilibrium is made. The pumped storage facilities and firm energy capacity of Hazar Lake that has features like large reservoir capacity, a lot of economic benefits and ease of construction is investigated and profitability study is made.*

### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Pompaj depolamalı HES, Hidroelektrik enerji, Enerji tüneli  
*Pumped storage HEPP, Hydroelectric energy, Power tunnel*

<sup>1</sup> Cumhuriyet Ün., Çevre Müh. Böl., 58140 SİVAS

## 1. GİRİŞ

Türkiye'nin doğusunda bulunan Hazar Gölü, Doğu Anadolu Fay Kuşağı üzerinde oluşmuş tektonik bir göl olup eliptik bir geometriye sahiptir. Uzun eksenini doğu-güneydoğu ve batı-güneybatı yönünde yaklaşık 20 km'dir. Hazar Gölü'nün ortalama genişliği 4,5 km ve en geniş bölümü doğu kesiminde 5,4 km, dar bölümü 3,8 km'dir. Yüzey alanı 81 km<sup>2</sup>'dir. Rakımı deniz seviyesinin 1248 m üzerinde olup dünyada bu seviyede bulunan nadir göllerden biridir. Göl havzasının alanı basamaklı ve kırıktır. Hazar Gölü kuzeyde Çelemlik-Mastar sıradağları ve güneyden Hazar-Yaylın dağları tarafından kuşatılmıştır. Doğu Anadolu Fay Kuşağı gölün altından geçmektedir (Doğru ve Külahçı, 2004; Külahçı vd., 2006). Gölün en derin kesimi (yaklaşık 213 m) kuzeydoğu ucunda bulunmaktadır (Çetin vd., 2003).

1957 yılında elektrik üretimi ve sulama amaçlı inşa edilen Hazar Hidroelektrik Santrali'nin (HES-I) devreye girmesiyle bu çıkış kısmen kapanarak göl kapalı bir havza durumuna gelmiştir. Bu hidroelektrik santralin işletmeye açıldığı 1957 senesinde gölün seviyesi 1248 m kotunda iken 7,5.109 m<sup>3</sup> su hacmine sahip olduğu bildirilmiştir (DSİ, 1971). Hazar HES-I'i besleyen Hazar Gölü'nün suyunu takviye amacıyla 1958 yılında Dicle Nehri'ne suyunu gönderen Maden Çayı'nın bir kolu olan Behrimaz (Kavak) Deresi üzerinde 10 m'lik bir sedde inşa edilmiştir. Böylece Hazar Gölü Havzası içerisinde yer almamasına rağmen bir çevirme ile bu dere Hazar Gölü'ne bağlanmıştır. DSİ kayıtlarına göre bu sayede Hazar Gölü'ne giren su miktarı yaklaşık olarak %50 artmıştır. Hazar Gölü'nün drenaj alanı, Behrimaz derivasyonu dahil 275 km<sup>2</sup>'dir (DSİ, 1993). Uzun zaman periyodunda Hazar HES-I ve HES-II'nin çalıştırılmasıyla göl seviyesi 1248m'den 1236m'ye kadar düşmüştür. Gölün ekolojik dengeleri bozulduğundan özelleştirilmiş olan hidroelektrik santrallerin işletilmesi Ocak 2006'dan itibaren durdurulmuştur (Çoban, 2007).

Küresel ısınma, insan etkisi vb. diğer etkilerle ekolojik dengesi bozulan ve kuruma tehdidi altında olan mavi bayraklı Hazar Gölü yer aldığı bölgede turizm, rekreasyon, balıkçılık, su sporları ve sulama amaçlı olarak kullanıldığından ekonomik olarak çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu kapsamda Göl'ün korunması için son yıllarda önemli tedbirler alınmaya başlamıştır. Hazar Gölü Çevre Bakanlığı tarafından 1994 yılında uluslararası öneme sahip B sınıfı sulak alan ilan edilmiştir. Ayrıca Bakanlar Kurulu kararı ile, Sivrice İlçesi mücavir alanlarının bir kısmı "Elazığ Hazar Gölü Sivrice, Güneyköy Turizm Merkezi" olarak ilan edilmiştir. Ancak ne yazık ki Doğu Anadolu Bölgesinin Batısını etkileyen küresel ısınma ile yağış miktarları önemli derecede azalmış ve göle giren su miktarı buna paralel olarak çok azalmıştır. Buna ilave olarak göl çevresinde her geçen gün artan yapılaşma gölün insan etkisi ile kirlenmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada tüm bu olumsuzlukların beraberinde getirdiği Hazar Gölü'nün kuruma ve kirlenmesi tehlikesinin giderilmesi amacıyla tasarlanan bir projenin detay çalışmaları yapılmış ve bütün Dünyada yaygın olarak kullanılan fakat ülkemizde henüz bulunmayan pompaj depolamalı hidroelektrik santraller açısından Hazar Gölü'nün sahip olduğu potansiyel ortaya konarak bu proje için bir ön fizibilite çalışması yapılmıştır.

## 2. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER

Ülkemiz elektrik enerjisindeki kurulu güç artışına paralel olarak artan enerji talebinin bir sonucu olarak günlük pik güç ihtiyacı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Talebe bağlı olarak artan pik güç ihtiyacının güvenilir bir şekilde karşılanmasında depolamalı hidroelektrik santraller kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisi talebi, ülkenin gelişmişlik düzeyi, sanayileşmesi gibi faktörlere bağlı olarak anlık dalgalanmalar göstermektedir. Dalgalanan elektrik talebinin sürekli hatta verilen

kısmını oluşturan baz yük için gerekli güç doğalgaz, termik ve nükleer santraller tarafından karşılanmaktadır. Baz yük dışında kalan pik yük ihtiyacını karşılamak içinse, kolayca devreye alınıp durdurulabilen ve aynı zamanda kısa bir sürede tam kapasite yüke çıkışa uyum sağlayabilen hidroelektrik santrallere ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemiz gibi kesintili karaktere sahip yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan ülkeler sahip oldukları bu kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmak istiyorlarsa enerji sistemlerinde hızla devreye girip çıkabilme özelliğine sahip santrallere ihtiyaç vardır. Zira bir doğalgaz santralının acil bir ihtiyaç durumunda devreye girip sisteme enerji vermesi en erken 4-5 saati bulmakta aynı işlem Nükleer santralde 5 gün sürmektedir. Hidroelektrik santraller ise 3-5 dakikada devreye girebilmekte ve ihtiyaç olan ani yükü karşılayabilme kapasitesine sahiptirler. Enerji arz güvenliğinin sağlanmasında bu özellik hidroelektrik santralleri çok önemli kılmaktadır.

Pik güç talebini karşılanmak için yaygın olarak kullanılan bu santrallerde amaç güç talebinin düşük olduğu zamanlarda suyu yüksek bir haznede depolamak ve daha sonra elektrik talebin yüksek olduğu pik zamanlarda biriktirilen su türbinlenerek güç talebini karşılamaktır (Ramage, 2000; Ter-Cazarian, 1994).

Teknolojik gelişmelerle beraber ilk pompaj hesler 1910 ve 1927 yılları arasında yapıldı. Dünya genelindeki PHES kurulu gücü hızlı bir şekilde arttı (Kuan, 1989).

Dünya genelinde 120 bin megavat (MW) kurulu gücünde pompaj HES inşa edilmiştir. Amerika, Almanya ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde bu sistem yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ülkemizde bu sistem henüz kullanılmamaktadır. Türkiye'nin elektrikte arz-talep projeksiyonları ve gerçekleşme durumu incelendiğinde depolama sistemlerinin gerekliliği açıkça görülmektedir.

Bütün bunlar birlikte değerlendirildiğinde Hazar Gölü için önerilen PHES projesi çok amaçlı ve faydalı bir su kaynakları projesidir. Bu çalışmada genel olarak kuruma tehlikesi yaşayan ve 81 km<sup>2</sup> yüzey alanı ile oldukça büyük doğal bir depolama kapasitesine sahip olan Hazar Gölünde yapılması tasarlanan pompaj depolamalı hidroelektrik santral teknik, ekonomik, finansal, politik ve sosyal yapılabirlik açısından faydaları sunulmaya çalışılacaktır.

## 2.1. Türkiye Puant Güç ve Enerji Talebi

Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi 2009 yılında 194.1 Milyar kWh, 2010 yılında ise % 8.4 artış ile 210.4 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye net tüketimi 2009 yılında 156.9 Milyar kWh, 2010 yılında ise 169,4 Milyar kWh olmuştur.

Türkiye enterkonnekte sistemi yıllar itibariyle ani puant talebi ve enerji gelişimi Çüzelge 1'de verilmektedir. 2009 yılında puant talep 29870 MW, minimum Yük 11123 MW olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılında ise puant talep 33392 MW, minimum Yük 13513 MW olarak gerçekleşmiştir.

## 3. PROJE SAHASI

Proje sahası ülkemizin doğu, güneydoğu sınırında, Elazığ ve Diyarbakır illeri arasında olmakla birlikte Elazığ hudutları içerisindedir. Elazığ İli, Doğu Anadolu Bölgesinin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 1. Türkiye puant güç talebi değişimi

YILLAR	PUANT GÜÇ TALEBİ (MW)	ENERJİ TALEBİ (GWh)
2005	25174	160794
2006	27594	174637
2007	29249	190000
2008	30517	198085
2009	29870	194079
2010	33392	210434

### 3.1. İklim

Proje sahasında genellikle karasal iklim koşulları geçerlidir. Yazları sıcak ve kurak, kış ayları kar yağışlı ve bahar ayları ise yağışlı geçer. Önemli kar yağışları Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olur. En kurak aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Elazığ meteoroloji istasyonunun 46 yıllık verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 12,9 °C'dir.

### 3.2. Yağışlar

Elazığ İlindeki rasat değerlerine göre yıllık ortalama yağış miktarı, 374 mm ile 903 mm (arasında değişmektedir. İlkbahar yağışlarının yıllık toplam yağışa göre oranı % 35 ile 49 arasında değişmektedir. İlkbahar mevsimini bu oranlara yakın değerlerle kış mevsimi takip etmektedir. Kış mevsimindeki oran artarak bu dönem en yağışlı mevsim durumunu almaktadır. Yaz aylarının toplam yağış miktarı oldukça düşüktür. Bölgede konvektif, orografik ve cephesel yağışların üçüde görülür. Proje bölgesinde bulunan meteoroloji istasyonlarında yağış gözlemleri bulunmaktadır. Proje sahasına çok yakın olan Karakaya meteoroloji istasyonunda ortalama yıllık toplam yağış 594.7 mm'dir.

### 3.3. Su Kaynakları

Hazar Gölünü besleyen akarsular, çevre dağlardan dik yamaçlar boyunca inen genellikle küçük derelerdir. Bu derelerin büyük bir kısmı fay kaynaklarından aldıkları suları göle taşımaktadırlar. Ancak taşıdıkları suyun azlığından dolayı fazla dikkat çekmemektedirler. Bu akarsulardan en büyükleri, göle batıdan karışan Kürk, doğudan karışan Zıkkım ile Savsak dereleridir.

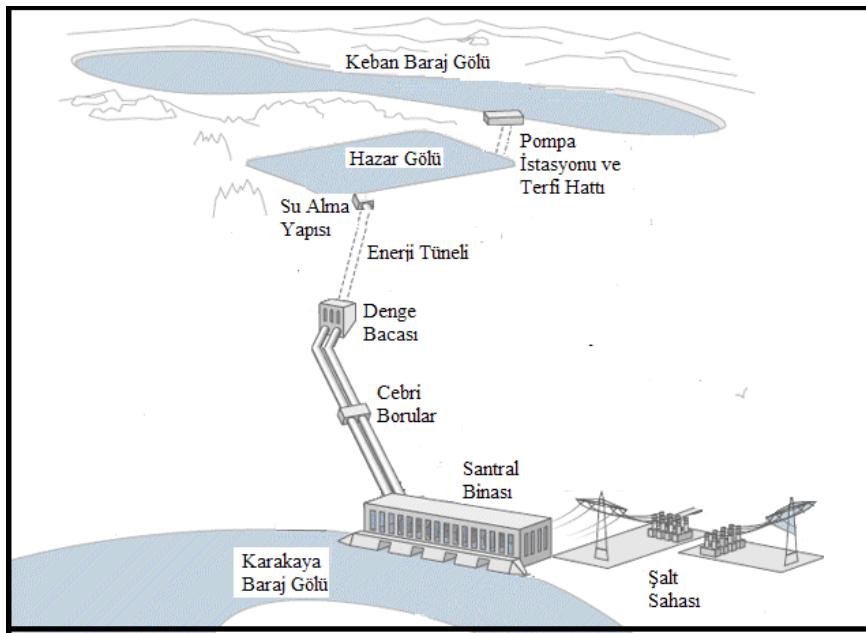
### 3.4. Jeolojik Özellikler

Hazar Gölü ve çevresinin kendine özgü bir tektonik yapısının olduğu kabul edilir. Hazar Gölünün genel olarak doğrultu atılımlı sol yönlü bir fay zonu olan Doğu Anadolu Fay (DAF) zonu üzerinde meydana gelmiş bir çek-ayır (pull-apart) havza olduğu görüşü benimsenmektedir (Tatar vd., 1995).

## 4. HAZAR GÖLÜ POMPAJ HES PROJESİ

Yapımı tasarlanan Hazar Gölü ve PHES projesi Keban Barajı Gölünden su takviyesini öngörmektedir. 835 m kotundaki Keban Barajından 1248m kotundaki Hazar Gölüne pompaj işlemi yapılacaktır. Yapılacak bu pompaj işlemi, yatırımı 1960'lı yıllarda yapılan fakat 2006 yılında Hazar Göl'ünün ekolojik dengesini bozduğu gerekçesiyle kamulaştırılıp faaliyetine

son verilen ve günümüzde atıl olarak bekleyen Hazar-1 Hidroelektrik santralının enerji tüneli, cebri boruları ve santral binasının kullanılması düşünülmektedir. Mevcut sistem gerekli revizyon işlemleri yapıldıktan sonra tersine çalıştırılarak Keban Baraj Gölü kıyısından aldığı suyu Hazar Gölüne terfi ettirecek ve su burada depolanacaktır. Depolanan bu suyun enerjiye dönüşmesi için ise; 1248 m kotundaki Hazar Gölü Sivrice kıyısında su alma yapısı inşa edilecek ve buradan 15 km uzunluğunda enerji tüneli açılıp, Karakaya Baraj Gölü kıyısında 690 m kotunda inşa edilecek santral binasına, 560 m düşü ile aktarılacaktır. Böylelikle proje temel iki amaca hizmet edecektir. Bunlardan ilki, küresel ısınma, insan etkisi gibi nedenlerle kuruma ve kirlenme tehdidi altındaki ülkemizin en büyük doğal göllerinden biri olan Hazar Gölü'ne can suyu sağlanması, ikincisi ise henüz ülkemizde bulunmayan pompaj biriktirmeli HES projesi ile 952 MW pik güç sağlayacak hidroelektrik tesis yapılmasıdır. Projenin ana bileşenleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Proje ana bileşenleri

#### 4.1. Pompa istasyonu ve Rezervuar İşletme Politikası

Hazar Gölü PHES projesi su alma yapısı, Keban Baraj Gölü rezervuarından beslenecek olup bütün yıl boyunca güvenilir bir şekilde alınabilecek bir akıma sahiptir. Zira Keban Baraj gölü ülkemizin en büyük nehirleri tarafından beslenmekte olup *Fırat Nehrinin taşıdığı ortalama yıllık debi* 31.6 Milyar m<sup>3</sup> tür. Keban baraj rezervuarından Hazar Gölüne terfi ettirilecek akım için Hazar-1 Hidroelektrik Santrali iletim tüneli kullanılacağından akımın 30 m<sup>3</sup>/s olması planlanmıştır. Böylelikle günde 2.5 Milyon m<sup>3</sup> su Hazar Gölüne terfi ettirilecektir.

81 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip olan Hazar Gölünde her 1m'lik su dilimi 81 milyon m<sup>3</sup> su hacmine karşılık gelmektedir.

Pompaj HES'ler günlük pik ihtiyaca göre çalıştırılacağından ülkemizin mevcut pik enerji durumunu göz önüne alarak Hazar Gölü PHES'i günde 3 saat çalışmak üzere hesap yapılmıştır. Bu kabuller doğrultusunda;

Hazar Gölüne her yıl Keban Baraj Gölünden yaklaşık 1 Milyar m<sup>3</sup> su aktarılacak bunun 790 Milyon m<sup>3</sup>'ü Pompaj HES vasıtasıyla Karakaya Baraj Gölüne deşarj edilecektir. İşletme

çalışmalarında firm enerji hesabı için, gölden alınacak akımın tamamı, kapasite kullanım oranını % 95 yapan firm debi olarak hesaba katılmıştır.

#### 4.2. Alt ve Üst Rezervuar

Yapılması Düşünülen Hazar Gölü PHES projesinde su Keban Baraj Gölü'nden alınacak ve buradan terfi ettirilen akım üst rezervuar olan Hazar Gölüne aktarılacaktır. Pompaj HES'den türbinlenen akım Karakaya Baraj Gölüne deşarj edilecektir. Dolayısıyla her iki rezervuarda doğal biriktirme yapısına sahip olduğundan bu yapılar içi ayrı bir inşa faaliyeti ve masrafı yapılmayacaktır. Şekil 2'de alt ve üst rezervuar uydu fotoğrafı aracılığıyla verilmiştir.



Şekil 2. Proje sahası uydu fotoğrafı

#### 4.3. Pompa İstasyonu ve Terfi Hattı

Yapımı düşünülen proje için terfi hattı olarak Hazar1-2 Hidroelektrik santrallerinin enerji tüneli ve cebri boruları kullanılacaktır. Pompa istasyonu ise Keban Baraj Gölü kıyısı Koçkale mevkinde inşa edilecektir. Keban Baraj Gölünden alınan akımı güvenilir bir şekilde Hazar Gölüne terfi ettirmek için 150 MW gücünde pompalar ile teşkil edilecek santral binası inşa edilecektir.

Pompalar her bir günün pik olmayan 21 saati boyunca çalışacağından:

$$W = N * T = 150.000 \times 21 \times 330$$

$$W = 1.039.500.000.000 \text{ kWh.} \text{ 'lık bir enerji kullanacaklardır.}$$

#### 4.4. PHES Kurulu Gücünün Belirlenmesi

Yapılması düşünülen Pompaj depolamalı hidroelektrik santralin gücü;

$$N = 8,5 \times Q \times H_b$$

$$N = 8,5 \times 200 \times 560 = 952.000 \text{ kW}$$

$$W = N * T = 952.000 \times 3 \times 330$$

$$W = 932.580.000 \text{ kWh.} \text{ 'lık bir enerji elde edilmiş olur.}$$

#### 4.5. Enerji Tüneli Hesapları

Sivrice kıyıları 1640 m kotundan alınan Göl suyunun, Karakaya Baraj Gölü kıyısındaki Üyürük Köyü civarında kurulacak olan santral binasına aktarılması düşünülmektedir. Buranın kotu 690 m dir. Bu kota kadar 15 km uzunluğunda basınçlı galeri açılacaktır. İnşa edilecek enerji tüneli ekonomik çapını belirlemek üzere yapılan çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur. Optimum Tünel Çapının Belirlenmesi hesapları sürtünme kayıpları, ilk yatırım maliyeti ve yıllık gider hesapları dikkate alınarak yapılan bir eniyileme çalışmasıdır. Bu doğrultuda toplam maliyetin en az olduğu optimum tünel çapı 9 m olarak bulunmuştur. At nalı kesitli olarak seçilen tünelde su hızı 3.15 m/s, tünel eğimi ise  $6.86 \times 10^{-4}$  olarak belirlenmiştir. Bu eğim ve hızda enerji tüneli boyunca yük kaybı 10.30 m olacaktır.

Çizelge 2. Enerji tüneli hesapları

D(m)	A(m <sup>2</sup> )	L(m)	f <sub>Kazı</sub>	% r	M <sub>h</sub> (10 <sup>5</sup> )	V(m/s)	J(10 <sup>-4</sup> )	T	M <sub>c</sub> (10 <sup>5</sup> )	ΣM
6	28.26	15000	1000	0.10	423.90	7.08	59.57	7920	3007.69	3431.59
7	38.47	15000	1000	0.10	576.98	5.20	26.15	7920	1320.31	1897.29
8	50.24	15000	1000	0.10	753.60	3.98	12.88	7920	650.31	1403.91
<b>9</b>	<b>63.59</b>	<b>15000</b>	<b>1000</b>	<b>0.10</b>	<b>953.78</b>	<b>3.15</b>	<b>6.86</b>	<b>7920</b>	<b>346.36</b>	<b>1300.14</b>
10	78.50	15000	1000	0.10	1177.50	2.55	3.91	7920	197.42	1374.92
11	94.99	15000	1000	0.10	1424.78	2.11	2.36	7920	119.16	1543.93
12	113.04	15000	1000	0.10	1695.60	1.77	1.48	7920	74.73	1770.33

#### 4.6. Cebri Boru Hesapları

Enerji tüneli vasıtasıyla 1150 m kotuna getirilen göl suyu buradan itibaren 750 m uzunluğundaki cebri boru ile santral binasına indirilecektir. Hazar PHES projesinde cebri boru güzergahı, topoğrafik ve jeolojik şartların en uygun olduğu yerde seçilmiştir. Cebri boru mümkün olduğunca sağlam zeminden geçirilecektir.

Yapılan optimizasyon çalışması sonucu en uygun çap 7 m olarak bulunmuştur. Bu çapta cebri boruda toplam 1.52 m yük kaybı olacaktır. Cebri boru çap değişimi ile boruda oluşan hız farkları neticesinde bir sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünme sonunda bir düşü ve enerji kaybı meydana gelmektedir. Cebri boru çapı azaldıkça hız artacağından düşü kaybı fazla olacaktır. Bununla birlikte düşük çapta ilk yatırım maliyeti az olacaktır.

Bunun tam tersi düşünülürse yani çap artarsa sürtünme ve hızlar azalacak dolayısıyla düşü kaybı az olacaktır. Fakat bu seferde boru çapları büyük seçildiğinden ilk yatırım maliyetleri artacaktır.

İşte tam bu noktada sürtünme kayıpları ve cebri boru çapını optimum yapan bir değer vardır ki buda toplam maliyeti minimize eden değerdir. Yapılan optimizasyon çalışmasına ait detaylar Çizelge 3 ‘de verilmiştir.

#### 4.7. Denge Bacası Hesapları

Enerji tüneline  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ , Enerji tüneli çapı: 9.00 m, ( $A = 63.59 \text{ m}^2$ ),

Enerji tüneline uzunluğu  $L = 15000 \text{ m}$ , Cebri boru uzunluğu  $L_c = 750 \text{ m}$ ;

Cebri boru (şaft) çapı: 7.0 m,  $v_{\text{maks}} = 5.2 \text{ m/s}$

Santralin türbin eksenine göre brüt düşüsü  $H_b = 560 \text{ m}$

Enerji tüneline maksimum hız  $v=3.15$  m/s, Enerji tüneline sürtünme kaybı 10.30 m  
Türbin eksenine göre net düşü  $H_{net}= 560 - 10.30 = 549.70$  m  
Denge bacasının minimum kesit alanı (Thoma)

$$\beta = \frac{L}{k^2 R^{4/3}} = 1.038, \quad F = \frac{1.8xLxA}{2g\beta H_{net}} = 153,36m^2$$

Seçilen  $D= 15.00$  m,  $F= 177 m^2 > 153,36 m^2$

Çizelge 3. Cebri boru hesapları

ÇAP D	DÜŞÜ KAYBI	NET DÜŞÜ	HIZ	AŞIRI BASINÇ	ET KALINLIĞI	MALİYET	YILLIK MALİYET	KAYBEDİLEN ENERJİ	YILLIK ENERJİ KAYBI MALİYETİ	TOPLAM YILLIK MALİYET
(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	(mm)	(ABD \$)	(ABD \$)	(kWh)	(ABD \$)	(ABD \$)
6	3.46	556.5	7.07	5.41	70.71	28570059.0	3428407.0	46611673.6	3728933.8	7157340.9
6.7	1.92	558.0	5.67	4.34	78.66	35492678.6	4259121.4	25876314.3	2070105.1	6329226.5
<b>7</b>	1.52	<b>558.4</b>	<b>5.20</b>	3.97	<b>82.06</b>	38681122.1	<b>4641734.6</b>	<b>20485433.1</b>	<b>1638834.6</b>	<b>6280569.3</b>
7.2	1.31	558.6	4.91	3.76	84.31	40881150.7	4905738.0	17627662.1	1410212.9	6315951.0
7.5	1.05	558.9	4.53	3.46	87.70	44293164.0	5315179.6	14178859.3	1134308.7	6449488.4
7.7	0.92	559.0	4.30	3.28	89.95	46642660.1	5597119.2	12322083.9	985766.7	6582885.9

$$Y_{maks} = v \sqrt{\frac{LxA}{gxF}} = 73.83m$$

Kabarma Yüksekliği için:  $Y_k = [Y_{maks} - \frac{2}{3} H_{KT} + \frac{1}{9} \frac{H_{KT}^2}{Y_{maks}}]$

formülünden,

$$Y_k = 67.13m \text{ bulunur. Minimum hava payı} = 73.83 \times 0.2 \cong 14.00 \text{ m}$$

Denge bacasının üst kotu:  $1250.00 + 67.13 + 14.00 \cong 1331.00$  m

Denge Bacası Yüksekliği:

$$1331 - 1150 - 4.5 = 176.5 \text{ m olarak bulunur.}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda Hazar Gölü PHES projesi için yapılacak olan denge bacasının 176.5 m yüksekliğinde ve 15 m çapında ve tek gözlü basit tip betonarme olarak yapılmasına ve mevcut topografyada dağa yaslanarak imal edilmesine karar verilmiştir.

#### 4.8. Santral Binası ve Kuyruk Suyu Kanalı

Hazar Gölü PHES santral binası yeri, Karakaya Baraj Gölü'ne karışan Uluçay üzerinde 690 m kotunda en uygun topoğrafik ve jeolojik parametrelere uygun olarak seçilmiştir. Sağ sahilde yerleştirilecek olan santral binasının boyutları 100x125 m, yüksekliği ise 35 m'dir. Kuyruk suyu kanalı, Karakaya Baraj Gölü'ne deşarj edilecektir. Hazar Gölü PHES'den 926 MW pik güç ile yıllık ortalama 1 Milyar KWh firm enerji üretimi planlanmaktadır.



#### 4.9. Türbin Tipi, Ünite Gücü ve Adedi

Türbin tipi seçilirken, proje debisi ve proje düşüsü dikkate alınmış ve iki adet düşey eksenli Pelton türbin proje için uygun bulunmuştur. İşletme kolaylığı açısından iki adet seçilmiştir. Türbin karakteristikleri;

Adedi	: 2 takım
Tipi	: Pelton türbini
Kurulu Net Gücü	: 926 MW (Toplam: 463 MW)
Ünite Adedi	: 2
Tasarım debisi	: 100 m <sup>3</sup> /s (Toplam: 200 m <sup>3</sup> /s)
Brüt Düşü	: 560.00 m
Net Düşü	: 545.00 m

#### 4.10. Şalt Sahası ve Enerji İletimi

Hazar Gölü PHES projesinde üretilen enerjinin sisteme bağlanması santral binası yanında inşa edilecek şalt sahası vasıtasıyla olacaktır. Üretilen elektriğin enterkonnekte sisteme bağlanması, şalt sahasında bulunan kesiciler tarafından senkronize edildikten sonra otomatik olarak yapılacaktır. Şalt sahasındaki teçhizatların kontrolünü yapabilmek için kumanda odasına, santral kontrol sistemi yerleştirilecektir. Bu sistem sayesinde üretilen enerjinin kontrolü ve ölçümü ekranda görüntülenebilecek ve istenilen merkezdeki bilgisayara ethernet ağı ile yansıtılıp, takibatı yapılabilecektir. Santralde üretilen enerji 380 kV'luk 40 km uzunluğunda bir yüksek gerilim hattı ile Keban-Karakaya TM'ye taşınıp buradan ulusal şebekeye dağıtımı yapılacaktır.

### 5. MALİYET ÇALIŞMALARI

Hazar Gölü PHES projesi için önerilen tesislerin ayrı ayrı keşif bedelleri çıkartılmıştır. Keşif bedellerinin hesaplanmasında DSİ Genel Müdürlüğü Proje ve İnşaat Dairesi ile Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2011 yılı birim fiyatları kullanılmıştır (BİB, 2011). Elektro mekanik donanım yurt dışından temin edileceğinden, keşfi hesaplanırken yurt dışı firmalarından alınan fiyatların ortalaması baz alınmıştır. Bunların dışında bazı yurt içinden alınabilecek donanım için yurt içi üretici firmaların fiyatları esas alınmıştır. Elde edilen maliyetler 2011 ortalama dolar alış kuru olan 1\$ = 1.65 TL üzerinden ABD dolarına çevrilmiştir. Elektro-mekanik aksamın yurt dışından gelecek olması ve projenin uzun bir zamanda gerçekleşecek olması, hesaplamaların dolar kurunda yapılmasına etken olmuştur. Yapılan keşifleri verme imkanı olmadığından hidroelektrik tesisin her bir bileşeni için hesaplanan rakamlar Çizelge 4'de verilmiştir. Önerilen sistemin tesislerinin yapım süresi; 6 ay hazırlık dönemi ve 3.5 yıl tesis dönemi olmak üzere toplam 4 yıl olarak planlanmıştır.

Çizelge 4. Hazar Gölü PHES Maliyet Çalışması

İŞİN CİNSİ	YATIRIM YILLARI				TOPLAM (TL)	TOPLAM (USD \$)
	2		4			
	1.Yıl	2. Yıl	3. Yıl	4. Yıl		
İŞLETME,ŞANTIYE TESİSLERİ	5.000.000	-	-	-	5.000.000	3.030.303
ULAŞIM YOLLARI	1.000.000	1.000.000	-	-	2.000.000	1.212.121
SU ALMA YAPILARI	-	1.316.574	1.316.574	6.356.545	8.989.693	5.448.299
ENERJİ TÜNELİ	26.765.767	26.765.767	26.765.767	26.765.767	107.063.068	64.886.708
DENGE BACASI	-	2.202.345	2.679.875	5.768.791	10.651.011	6.455.158
CEBRİ BORU	-	-	33.823.234	30.000.122	63.823.356	38.680.822
SANTRAL BİNALARI	-	-	7.324.567	8.762.251	16.086.818	9.749.587
BİLİNMEYEN (%5)	1.638.288	1.564.234	3.595.501	3.882.674	10.680.697	6.473.150
<b>İNŞAAT TOPLAMI</b>	<b>34.404.055</b>	<b>32.848.920</b>	<b>75.505.518</b>	<b>81.536.150</b>	<b>224.294.643</b>	<b>135.936.147</b>
TÜRBİN, GENERATÖR, ŞALT SAHASI VE MONTAJ	-	100.000.000	150.000.000	150.000.000	400.000.000	242.424.242
ENERJİ NAKİL HATTI	-	-	10.000.000	15.000.000	25.000.000	15.151.515
<b>ELEKTRO MEKANİK TOPLAMI</b>	<b>0</b>	<b>100.000.000</b>	<b>160.000.000</b>	<b>165.000.000</b>	<b>425.000.000</b>	<b>257.575.758</b>
<b>TOPLAM TESİS BEDELİ</b>	<b>34.404.055</b>	<b>132.848.920</b>	<b>235.505.518</b>	<b>246.536.150</b>	<b>649.294.643</b>	<b>393.511.905</b>
ETÜT,PROJE,KONTR.GİDERLERİ	3.375.000	3.375.000	3.375.000	3.375.000	13.500.000	8.181.818
KAMULAŞTIRMA	5.000.000	10.000.000	-	-	15.000.000	9.090.909
SİGORTA GİDERİ	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	4.000.000	2.424.242
<b>ARA TOPLAM - 1</b>	<b>9.375.000</b>	<b>14.375.000</b>	<b>4.375.000</b>	<b>4.375.000</b>	<b>32.500.000</b>	<b>19.696.970</b>
KDV HESABI	7.880.230	26.500.306	43.178.493	45.164.007	122.723.036	74.377.597
<b>TOPLAM PROJE BEDELİ</b>	<b>51.659.285</b>	<b>173.724.226</b>	<b>283.059.011</b>	<b>296.075.157</b>	<b>804.517.679</b>	<b>487.586.472</b>
<b>YATIRIM DÖNEMİ KREDİ FAİZİ</b>	<b>0</b>	<b>7.748.893</b>	<b>26.058.634</b>	<b>42.458.852</b>	<b>76.266.378</b>	<b>46.222.047</b>
<b>YATIRIM DÖNEMİ KREDİ MASRAFI</b>	<b>439.104</b>	<b>1.476.656</b>	<b>2.406.002</b>	<b>2.516.639</b>	<b>6.838.400</b>	<b>4.144.485</b>
<b>TOPLAM YATIRIM BEDELİ</b>	<b>52.098.389</b>	<b>182.949.775</b>	<b>311.523.647</b>	<b>341.050.647</b>	<b>887.622.458</b>	<b>537.953.005</b>

## 6. EKONOMİK ANALİZ

### 6.1. Yıllık Faydalar

Hazar Gölü PHES tesislerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılırken projenin ömrü 50 yıl olarak öngörülmüştür. İnşaat işleri keşif bedelleri hesaplanırken maliyet bölümünde anlatıldığı gibi kurulması planlanan tesislerin her biri için ayrı metraj ve keşifler çıkartılmıştır. Enerji amaçlı tesis edilecek olan proje için DSİ tarafından belirlenen enerji faydaları esas alınmıştır. Pompaj HES'te üretilen elektrik için firm enerji faydası 27.37 krs/kWh, pompaj işlemi için harcanan enerji masrafı ise pik olmayan saatler için 18.71 krs/kWh alınmıştır. Hazar Gölü PHES tamamen biriktirmeli olduğundan pik güç faydası sürekli olarak kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu her yıl 932.580.000 KWh firm enerji üretimi planlanmaktadır. Üretilen enerjinin belirtilen enerji faydalarıyla çarpılması sonucu Hazar Gölü PHES projesinin enerji faydası 255.247.100 TL (154.695.200 \$) olarak bulunmuştur.

### 6.2. Yıllık Giderler

Proje kapsamında dikkate alınan yıllık giderler iki kısımda incelenmiş olup faiz ve amortisman giderleri ile işletme ve bakım giderlerinin toplamından oluşmaktadır. Enerji amaçlı yatırımlarda faiz ve amortisman faktörü olarak % 9.5, faiz oranı ve 50 yıllık ekonomik proje ömrüne karşılık gelen 0.09603 değeri kullanılmaktadır. Faiz + amortisman giderine, yıllık işletme ve bakım gideri de eklenmiştir. İşletme ve bakım giderleri içinse Keban Baraj Gölünden Hazar Gölüne terfi işlemi için harcanacak yıllık enerji gideri ile her bir ünite için DSİ kriterlerine uygun işletme ve bakım faktörleri dikkate alınmıştır. Pompaj için puan

olmayan saatlerde ise pompa istasyonunda bir yılda 1.039.500.000 KWh enerji harcanacaktır. Tüketilen enerjinin belirtilen enerji fiyatlarıyla çarpılması sonucu Hazar Gölü PHES projesinin enerji gideri 194.490.450 TL (117.873.000 \$) olarak bulunmuştur. Buna bakım masrafları da eklenince projenin toplam yıllık gideri 260.221.611 TL (157.710.100 \$) olarak hesaplanmış ve detayları Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Rantabilite çalışması

İŞİN CİNSİ	Maliyet	Faiz+Amor.	İşl.+Bak.	Toplam
	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)
	1	2=(1)X0,09603	3=(1)*Katsayı	4=2+3
<b>İNŞAAT İŞLERİ</b>				
İşletme ve şantiye tesisleri	5.000.000	480.150	50.000	
Ulaşım Yolları	2.000.000	192.060	20.000	
Su Alma Yapıları	8.989.693	863.280	89.897	
Enerji Tüneli	107.063.068	10.281.266	1.070.631	
Denge Bacası	10.651.011	1.022.817	106.510	
Cebri Boru	63.823.356	6.128.957	638.234	
Santral Binası	16.086.818	1.544.817	160.868	
Bilinmeyenler (inşaat) %5	10.680.697	1.025.667	106.807	
<b>İnşaat İşleri Tesis Bedeli</b>	<b>224.294.643</b>	<b>21.539.015</b>	<b>2.242.946</b>	<b>23.781.961</b>
<b>ELEKTRO-MEKANİK İŞLER</b>				
Elektro-Mekanik Teçhizat ve Montajı	400.000.000	38.412.000	4.000.000	
Enerji Nakil Hattı	25.000.000	2.400.750	250.000	
<b>Elektro-Mekanik İşler Tesis Bedeli</b>	<b>425.000.000</b>	<b>40.812.750</b>	<b>4.250.000</b>	<b>45.062.750</b>
<b>TOPLAM TESİS BEDELİ</b>	<b>649.294.643</b>	<b>62.351.765</b>	<b>6.492.946</b>	<b>68.844.711</b>
Etüt-Proje-Kontrollük	13.500.000	1.296.405		28.809
Kamulaştırma	15.000.000	1.440.450		4.802
Sigorta gideri	4.000.000	384.120		3.841
<b>Diğer Giderler Toplamı</b>	<b>32.500.000</b>	<b>3.120.975</b>		<b>3.120.975</b>
Ara Toplam	<b>681.794.643</b>			
KDV	<b>122.723.036</b>			
<b>TOPLAM PROJE BEDELİ</b>	<b>804.517.679</b>	<b>68.593.715</b>	<b>6.492.946</b>	<b>75.086.661</b>
<b>YILLIK ÜRETİLEN FİRM ENERJİ</b>	<b>932.580.000</b>	<b>Kwh</b>		
<b>YILLIK TÜKETİLEN ENERJİ</b>	<b>1.039.500.000</b>	<b>Kwh</b>		
<b>YILLIK ENERJİ GELİRİ (YTL)</b>	<b>255.247.146</b>	<b>TL</b>		
<b>YILLIK GİDER</b>	<b>260.221.611</b>	<b>TL</b>		
<b>GELİR/GİDER</b>	<b>0,98</b>			

### 6.3. Gelir Gider Oranı

Dünya üzerinde yapılan PHES’lerde amaç karlılıktan çok o ülkenin puant andaki enerji ihtiyacını gidermektir. Bu projeleri herhangi hidroelektrik enerji tesisi gibi değerlendirmek yanlış olacaktır. Ancak puant zamanlarda üretilen enerjinin diğer zamanlara göre değerli oluşu bu projelerin en azından enerji masraflarını karşılamaktadır. Bu enerji yatırımının kendisini amorti etme süresi bir miktar uzunsa da işlevi açısından yatırımı kaçınılmaz tesislerdir. Bu esaslar doğrultusunda Hazar Gölü PHES projesinin gelir-gider durumu incelenecek olursa:

Projenin gelir gider oranı hesaplanırken, yıllık gelir ve yıllık gider dikkate alınmıştır. 255.247.100 TL (154.695.200 \$) olarak bulunan yıllık gelirin, 260.221.611 TL (157.710.100 \$) değerindeki yıllık gidere bölünmesi sonucu Hazar Gölü PHES projesinin gelir gider oranı yani rantabilite katsayısı 0,98 olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde hidroelektrik yatırımları yapan DSİ ve EİE, bir hidroelektrik tesisin ekonomik yapılabilirliği için rantabilite

katsayısının alt değerini 1(bir) olarak belirlemişlerdir. Rantabilite katsayısı 1 olan hidroelektrik tesisin inşaat finansmanı banka kredisinden sağlanırsa bu yatırım kendini amorti etme süresi yaklaşık sekiz civarında olmaktadır (Tuna, 2011). Fakat böyle pik güç için yapılan tesislerde özel sektör yatırımcı mantığı ile düşünmek doğru değildir. Burada amaç enerjiden para kazanmak değil ülkenin puant zamanlarda ihtiyacı olan enerji sıkıntısını gidererek enerji arz güvenliğini sağlamaktır. Zira böyle tesislerde alt ve üst rezervuarın inşası ve işletme giderlerinin de oldukça büyük bütçeler teşkil edeceği düşünülürse Hazar Gölü PHES projesinde doğal göller kullanılarak bu rezervuar ihtiyaçları tabiri caizse bedavaya gelecektir. Dünyadaki örneklerine bakılacak olursa hesaplanan rantabilite katsayısının böyle pompaj işlemi olan bir enerji yapısı için oldukça yüksek bir değer olduğu görülecektir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz hızlı bir sosyal ve ekonomik gelişim göstermektedir. Bu gelişmeye paralel olarak gereksinim duyulan elektrik enerjisini; öncelikle yerli enerji kaynaklarından elde etmek üzere projeler geliştirmeli ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Hazar Gölü PHES projesi hayata geçirildiği takdirde Hazar Gölü 'ne cansuyu sağlanacak ve küresel ısınma, insan etkisi gibi nedenlerden dolayı gölün kuruma ve kirlenme potansiyeli kontrol altına alınmış olacaktır.

Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan bu doğal enerji imkanından şimdiye kadar yararlanılmamıştır. Verilen bilgiler doğrultusunda bu imkandan yararlanılacak olursa ortaya büyük bir potansiyel çıkacaktır. Ülkemiz kurulu güç projeksiyonundaki firm enerji sorunu da yerli ve yenilenebilir olan bu kaynak kullanılarak bir miktar çözülmüş olacaktır.

Proje rantabilitesi 0.98 olarak belirlenmiş ve pompaj depolamalı hidroelektrik bir tesis için oldukça yüksektir. Böyle tesislerde yapılan pompaj depolama için alt ve üst rezervuar arasında döngü yapıldığından düşü ve terfi yüksekliği aynı olmakta, pompa yük kayıpları ve randımanı dikkate alındığında gelir-gider arasında büyük uçurumlar oluşmaktadır. Hazar Gölü PHES projesinde ise 400 m olan terfi yüksekliğine karşın 560m olan düşü yüksekliği aradaki gelir-gider farkını kapatmakta ve uzun vadede proje kendini amorti etmektedir. Dünyadaki diğer uygulamalara bakılacak olursa bu projelerin kendilerini salt maliyet yönünden amorti ettikleri söylenemez fakat gördükleri işlev açısından oldukça önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedirler.

Keban Baraj gölünden yapılacak terfi işleminin bir kısmı için diğer önemli bir öneri ise baraj gölü kıyısına büyük güneş enerjisi tarlaları yapmak ve bölgeyi enerji açısından cazibe merkezi haline getirmek olacaktır. Zira Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından açıklanan ülkemiz güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) verilerine göre bu bölgenin güneş enerjisi radyasyon değerleri ve arazi yapısı buraya yapılacak yatırımlar için oldukça elverişlidir (GEPA).

Keban Baraj Gölü'nden alınacak su ile Hazar Gölünün sürekli olarak su değişimi sağlanacaktır. Bu su değişimi sayesinde gölün sahip olduğu tuzlu ve sodyum bikarbonatlı suyunun değişimi de ile suyun tatlılaşması ve ileride gölde yaşayan canlıların artışına olanak sağlanabilecektir. Böylece gölün canlı faaliyeti artırılarak ekonomiye katkı sağlanacaktır.

4628 ve 5346 sayılı Kanun kapsamında özel sektör tarafından yatırımının yapılacağı öngörülen 36.770 MW gücünde biriktirmesiz su kuvveti santrallerinin kurulu gücümüzde büyük bir yer tutacağı açıktır. Depolamasız santrallerle üretilen enerji, güç talebinin düşük olduğu saatlerde tüketilmeyecek, üretilen enerjinin biriktirme olanağı da bulunmadığından saklanamayacak bir enerji fazlalığı ortaya çıkacaktır. Pompaj sistemi de bu sırada devreye girecek ve atıl durumda olan enerji kullanılarak su gücü cinsinden depolanacaktır.

Yaşadığımız şu iki olay bu enerji kaynağının faydasını göstermesi açısından oldukça önemlidir. 2006 yılında % 33 yedek kapasiteye sahip ülkemizde 27 Aralık 2006 tarihinde tüketimin en yüksek noktaya ulaştığı pik saatlerdeki 27500MW'lık talebin karşılanmasında sıkıntı yaşanmış ve elektrik fiyatı 170TL'den 1100 TL'ye yükselmiştir. 1 Temmuz 2006'da ise 1210 MW kurulu gücündeki Bursa Doğal Gaz santrali arızalanıp devre dışı kalınca batıda ki 13 ilimiz 8 saat boyunca karanlıkta kalmıştır (TEDAŞ). Hazar gölü PHES projesi gibi depolama sistemli bir pik güç tesisi inşa edilmiş olsaydı böyle bir enerji sıkıntısının yaşanmayacağı açıktır.

Sonuç olarak, hızla gelişen ve su kaynakları, küresel ısınma, insan etkisi vb. nedenlerle azalan günümüz Dünyasında su ve hidroelektrik enerji çok önemli ve stratejik bir hale gelmişken, ülkemiz enerji kaynaklarının daha proaktif kullanılması prensibiyle, Hazar Gölünün sahip olduğu bu enerji imkanı değerlendirilmelidir. Devletimiz tarafından önümüzdeki 10 yıl için yatırımı düşünülen PHES yatırımları arasına bu çalışmaya net faydaları ve ekonomik analizi gözler önüne serilen Hazar Gölü PHES tesisinin de eklenmesi ülkemiz açısından faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- BİB (2011): “Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Tarifleri Kitabı”.
- Çetin H., Güneş H., Mayer L. (2003): “Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar Segment of the East Anatolian Fault Zone”, Turkey, Tectonophysics, Cilt 374, s.163-197.
- Çoban F. (2007): “Hazar Gölü Su Kalitesinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğru M., Külahcı F. (2004): “Iso-Radioactivity Curves of the Water of the Hazar Lake”, Elazığ, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Cilt 260, No. 3, s.557-562.
- DSİ (1971): “Elazığ-Uluova Sulama Projesi”, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı Yayınları: Ankara.
- DSİ (1993): “Elazığ Hatunköy Projesi Planlama Raporu”.
- GEPA : <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- Kuan T. (1989): “Basic Planning Analysis of Pumped-Storage”, Doktora Tezi, Colorado State University, USA: Civil Engineering Department.
- Külahcı F., Özer A. B., Doğru M. (2006): “Prediction of the Radioactivity in Hazar Lake (Sivrice, Turkey) by Artificial Neural Networks”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Cilt 269, No. 1, s.63-68.
- Ramage J. (2000): “Hydroelectricity”, in Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, Oxford University Press: Glasgow; s.183–226.
- Tatar Y., Turan M., Aksoy E. (1995): “Hazar Gölünün Oluşumu ve Jeolojik Özellikleri”, 1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu Bildiriler, Sivrice Kaymakamlığı Yayın No: 2, s.1-13, Sivrice.
- TEDAŞ : “Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Projeksiyonu 2008-2017”.
- Ter-Cazarian A. (1994): “In: Energy Storage for Power Systems”, 1st ed. London: Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the IEE.
- Tuna M. C. (2011): “Feasibility Assessment of Hydroelectric Power Plant in Ungauged River Basin A Case Study Cardakli HEPP”, AJSE, Springer. Accept. In press.

## SEMBOLLER

N: Güç (KWh)

W: Enerji (KWh/saat)

Q. Debi ( $m^3/s$ )  
T: Zaman (Saat)  
HES: Hidroelektrik santral  
PHES: Pompaj depolamalı hidroelektrik santral  
H: Düşü yüksekliği (m)  
Hk: Düşü Kaybı (m)  
Hnet: Net düşü  
Hb: Brüt düşü  
HKT: Enerji tüneline yük kaybı (m)  
D: Çap (m)  
R: Hidrolik yarıçap  
A: Alan ( $m^2$ )  
F: Denge Bacası Alanı ( $m^2$ )  
Yk: Kabarma yüksekliği (m)  
Ymaks: Maksimum kabarma yüksekliği (m)  
L: Boy (m)  
Lc: Cebri boru uzunluğu (m)  
fh : Kazı Fiyatı ( $TL/m^3$ )  
fe : Elektirik satış fiyatı ( $TL/KWh$ )  
 $\alpha$  : Amortisman yıllık payı  
Mh : Kazı toplam maliyeti (TL)  
V: Hız (m/s)  
J: Eğim  
k: pürüzlülük katsayısı  
g: Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )  
Me : Elektrik toplam maliyeti (TL)  
 $\Sigma M$  : Son maliyet (TL)