



Research Article / Araştırma Makalesi
HYDROELECTRIC ENERGY CAPACITY OF VAN LAKE

M. Cihat TUNA*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Received/Geliş: 30.01.2012 Revised/Düzeltilme: 12.03.2012 Accepted/Kabul: 27.03.2012

ABSTRACT

Lake Van, which has a volume of 607 km³, is the world's fourth, and Turkey's largest soda lake. Situated at 1,648 meters above mean sea level, the lake has a volcanic origin, created by huge lava flows from the Nemrut and Sipan volcanoes. Its surface area is 3,700 square kilometers with an average depth of 170 meters and a maximum depth of 457 meters.

Water level of Lake Van increased about 2 meters for 1987-1996 periods. Such a rise caused destruction of some socio-economical activities in the lake vicinity. Lake Van and its surroundings were announced as the natural disaster area. Moreover, this rise caused prohibition for settlement under elevation of 1655 m, moreover the areas under elevation of 1652 m were announced as national private.

Van Lake Basin is an efficiency basin in terms of hydropower generation possibility, due to its decreasing precipitation trend, important surface water potential and possibility of high head. In this study, as a clean, local and renewable energy source, potential of hydroelectric energy in Van Lake was examined in addition, to the hydropower center construction, feasibility and cost, installed capacity and amount of generated energy in the Van Lake Hydropower. Consequently, income and expense ratio (Profitability) were calculated as 3.51 for the Van Lake HEPP.

Keywords: Van Lake, hydroelectric, profitability.

VAN GÖLÜ HİDROELEKTRİK ENERJİ KAPASİTESİ

ÖZET

Van Gölü 607 km³lük hacmiyle Dünyanın 4'üncü ülkemizin en büyük sodalı gölüdür. Göl yüzeyi 1648 m kotunda olup, Nemrut ve Süphan Dağının büyük lav akımlarından meydana gelen volkanik kaynaklı bir göldür. Yüzey alanı 3700 km², ortalama derinliği 170 m ve en derin yeri 457 m olarak ölçülmüştür.

Van Gölü'nde su seviyesi, 1987-1996 döneminde ortalama 2 m yükselmiştir. Bu yükselme, göl civarında sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına ve Van Gölü civarının doğal afet bölgesi ilan edilmesine, 1655 m kotu altının yerleşime kapatılmasına ve 1652 m kotunun altındaki mülkiyetin kamulaştırılmasına neden olmuştur.

Van Gölü, aldığı yağış miktarı, önemli yüzeysel su potansiyeli ve yüksek düşü imkanıyla, hidroelektrik bir tesis açısından verimli bir konumdadır. Bu çalışmada; temiz, yerli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjinin Van Gölündeki potansiyeli incelenmiş ayrıca projenin inşa, fizibilite ve maliyet çalışmaları ile kurulu gücü ve üreteceği enerji miktarları belirlenmiştir. Sonuç olarak Van Gölü HES projesinin rantabilite katsayısı 3.51 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Van Gölü, hidroelektrik enerji, rantabilite.

* mctuna@firat.edu.tr, tel: (424) 237 00 00 / 5437

1. GİRİŞ

Hidroelektrik enerji, suyun sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Suyun üst kotlardan alt kotlara düşürülmesi sonucu ortaya çıkan enerji, türbinlerin dönmelerini sağlamak ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Elektrik üretimi maksatlı inşa edilen biriktirmeli hidroelektrik santraller bu işlevlerinin yanında pik güç faydası ile elektrik arz güvenliği sağlamak gibi bir amaca da hizmet etmektedir. Hidroelektrik santraller diğer üretim tipleri ile kıyaslandığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime haizdirler.

Ülkemizin elektrik ihtiyacının karşılanmasında; öncelikle mevcut hidroelektrik enerji potansiyelinin geliştirilmesinin ele alınması gerekmektedir. Bununla beraber acil elektrik ihtiyaçları için ve ileriki yıllarda rantabilitesi yüksek hidroelektrik santral imkânlarının gerçekleştirilmesinden sonra, ülkemizin baz elektrik enerjisi ihtiyacının diğer imkânlardan karşılanmasının planlanması uygun görülmektedir [1].

2008 yılında Türkiye’de kişi başına yıllık elektrik tüketimi 3000 kWh iken, dünya ortalaması 2500 kWh, gelişmiş ülkelerde 8900 kWh, Çin’de 827 kWh, ABD’de ise 12322 kWh civarındadır. Ülkemizin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasının sağlanması için endüstrileşme bir hedef olduğuna göre bu endüstrinin ve diğer kullanıcı kesimlerin ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması gerekmektedir [2].

Ayrıca Hidroelektrik santraller, çevreye zararsız, ucuz ve sisteme kolay adapte edilebilen bir enerji kaynağıdır [3].

Ülkemizde yıllık yağışlar 220-2500 mm arasında değişmekte olup, ortalama 642,6 mm’dir. Bu değer yıllık ortalama 501 milyar m³ yağış miktarına tekabül eder. Bu miktarın takriben 186 milyar m³ ‘lük kısmı akış haline geçer. İlgili kuruluşlarca yapılan çalışmalara göre inşa olunacak yaklaşık 684 baraj ve bir çok hidroelektrik santralleri vasıtasıyla akarsularımız düzenlenebilecek ve elektrik üretimi açısından azami fayda sağlanacaktır. Bu baraj ve HES’ler bitirildiği takdirde toplam 43.723 MW kurulu gücündeki santrallerle yılda 159 TWh, elektrik enerjisinin üretilmesi imkan dahilinde girecek ayrıca sulama, taşkın koruma, içme, kullanma suyu faydaları da artacaktır [4].

Bu bilgilerden sonra büyük bir potansiyele sahip olan Van Gölü’ne değinecek olursak, 60.000 yıl önce aktif olan volkanik dağların etkisiyle meydana gelmiş olan Van gölü yüzeysel çıkışı olmayan Van kapalı havzasında hidrolojik sürekliliği sağlayan ana yapıdır. Van gölü su seviyesi tarih boyunca büyük değişiklikler göstermiş ve bir dönemde bugünkü su kotundan 74 m yükselerek çevresini su altında bırakmıştır. Göl seviyesi mevsimsel etkilere bağlı olarak ortalama 30~60 cm’lik (yıllık ortalama) dalgalanmalar göstermiştir. Van Göl’ünde uygun bir kota yapılacak olan su alma yapısı ile hem gölün yükselme tehlikesi kontrol altına alınacak hem de bölge için oldukça önemli bir puant güce sahip, hidroelektrik santral olarak hizmet edecektir.

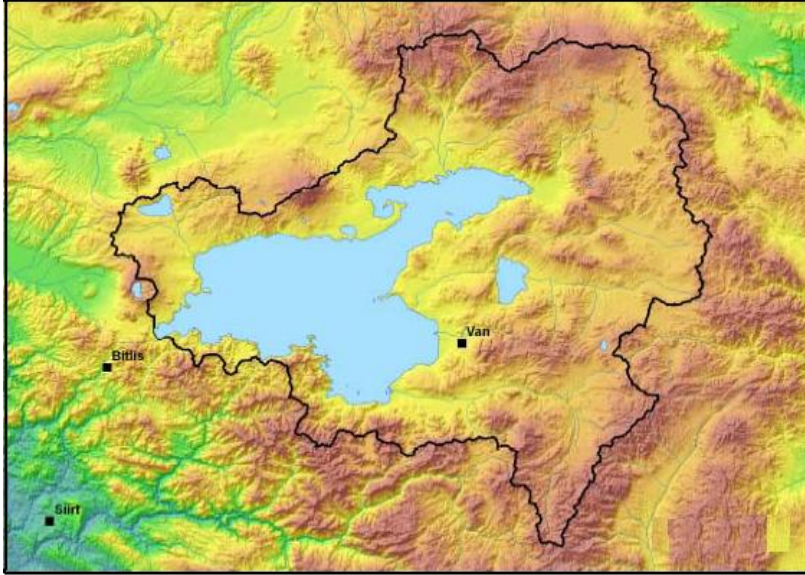
Bu çalışmada, Van Gölü’nün sahip olduğu hidroelektrik enerji potansiyeli ve bunun nasıl değerlendirilebileceği ortaya konmuş, şimdiye kadar tasarı halinde olan bu proje için bir ön fizibilite çalışması hazırlanarak buraya inşa edilecek olan enerji tesisinin ana bileşenlerinin karakteristikleri ve maliyetleri hesaplanmış daha sonra bir ekonomik analiz çalışması ile maliyet-fayda araştırması yapılmıştır.

2. PROJE SAHASI VAN GÖLÜ VE HAVZASI

Van gölü, Nemrut Yanardağı’nın püskürttüğü lavların Rahva vadisini doldurmasıyla oluşmaya başlamış ve günümüzde yaklaşık 607 km³’lük hacmiyle dünyadaki en büyük sodalı göl konumundadır. Göl yüzeyi 1648 m kotunda olup yüzey alan 3700 km² ile Türkiye’nin en büyük gölü konumundadır. Ortalama derinliği 170 m, en derin yeri 457 m olarak ölçülmüştür. Gölün suyu çok miktarda sodyum karbonat, sodyum klorürün yanı sıra magnezyum klorür, magnezyum

sülfat, kalsiyum sülfat ve potasyum klorür içermektedir. Göl suyunun tuzluluğu %2, PH' ı 9.9 dur.[5]

Van Gölü' nün su girdileri göl alanına düşen yağışlar ile göle dökülen irili ufaklı 101 adet akarsulardan oluşmakta, su kaybının ise yalnızca buharlaşma ile gerçekleştiği bilinmektedir. (Şekil. 1) Ancak tabandan su kaybı veya kazancı hakkında kesin bir bilgi yoktur.



Şekil 1. Van Gölü Kapalı Havzası

2.1. Proje Sahası Topografyası

Havza dağlıklılı olup eğilimleri dik, yükselti farkları oldukça büyüktür. 3000m yüksekliği geçen İspiriz, Pirraşit, İsabey, Erk, Sudis, Hirabit, Mengene, Başet dağları sıradağlar şeklinde İran sınırından başlayıp gölün güney ve doğu kesiminde yer alırlar. Havzanın kuzeyinde 4435m yüksekliğinde Süphan Dağı, batısında ise yüksekliği 2800 m (ortalama) olan Nemrut Dağı yer alır. Ayrıca kuzeydoğusunda 3238 m yüksekliği ile Aladağlar ve 3533 m yüksekliği ile Tendürek Dağı yer alır.

2.2. Proje Sahası Morfolojisi

Havzanın güneyinde yer alan dik yamaçlı sıradağlar paleozoik şist ve kalkerin yanı sıra yer yer mesozoik ve tersiyer' e ait kalker marn gibi kitleleri de içine alır. Havzanın doğusunda yer alan dağlar güneye oranla daha alçak ve aralıklı olup bu dağlar arasında ovalar uzanmaktadır. Bu dağlar çeşitli kitlelerden oluşmuş karışık bir yapı göstermekle birlikte genelde andezit yığınlarından ibarettir [6].

2.3. Proje Sahası İklimi

Doğu Anadolu Bölgesine karasal iklim hakim olup yaz ayları sıcak ve kısa, kış ayları soğuk ve uzun geçmektedir. Bahar aylarının çok kısa olduğu Doğu Anadolu Bölgesinin bu iklimi Van Gölü Havzasında daha yumuşak (ılıman) olduğu gözlenmiştir. Van Ovasında ölçülen uzun yıllar

ortalama yıllık yağış 383 mm iken yıllık buharlaşma 1024 mm olarak tespit edilmiştir. Yine Van Ovasında ölçülen ortalama yıllık nem oranı %65 en düşük nem oranı ise %48'dir. En yüksek ortalama sıcaklık +22°C, en düşük -4°C olarak ölçülmüştür [7].

2.4. Proje Sahası Yüzeysel Sular

Van Gölü'ne Zilan Çayı, Deliçay, İrşat, Kotum, Gevaş, Karasu, Bendimahi, Süfrezor (Yoğurtyemez), Hoşap (Güzelsu), Engil dereleri başlıca olmak üzere 101 adet akarsu boşalmaktadır. E.İ.E tarafından yapılan ölçümler sonucunda Van Gölü'ne boşalan 101 adet akarsuya ait yıllık ortalama tahmini debi 2,94 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır [8].

2.5. Van Gölü Su Bütçesinin Tahmini

Klasik su bütçesi (dengesi) yöntemleri ile yöntemle yapılan tahminlerde aşağıdaki eşitlikten faydalanılmaktadır. [1]

$$I_s + I_{ss} + P = E - Q_s - Q_{ss} \pm \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Eşitlikte bulunan elemanlardan (I_{ss}) yüzey altı su girişi ile (Q_{ss}) yüzey altı su çıkışını doğrudan ölçülmesi imkansızdır. Ancak hesaplarda Van Göl'ünden yüzey altı çıkışı ile yüzey çıkışının olmadığı kabulü ile yüzey su girişi, yağış ve buharlaşma ile ilgili meteorolojik veri ve ölçümlerden faydalanılmıştır[9].

2.6. Van Gölü Su Seviye Artışının Depremlerle İlişkisi

Çok eski devirlerden bu yana bölgenin depremlerden sıkça zarar gördüğü bilinmektedir.%93'ü aktif deprem kuşağı üzerinde bulunan ve nüfusunun yaklaşık % 98'i deprem riski altında olan ülkemizde, çalışılan saha Bakanlar Kurulunun 18 Nisan 1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe giren "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası"na göre 1. derecede tehlikeli bölge içinde kalmaktadır [10].

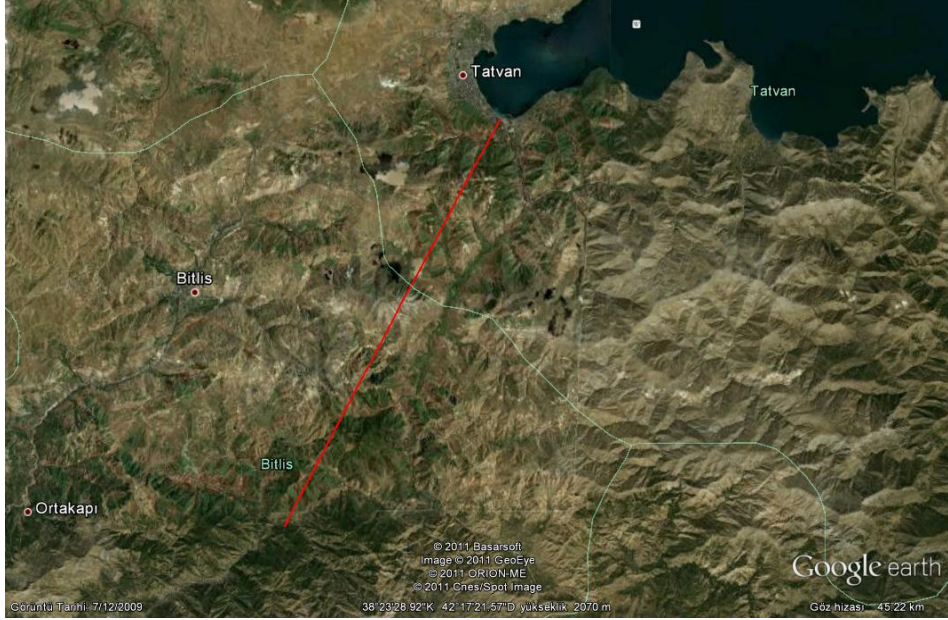
Tarihsel veriler incelendiğinde Van Gölü etrafında büyük depremlerin sıkça olduğu görülmektedir. Bu depremler ile gölün seviye yükselmeleri arasında fiziksel bir bağın olduğu henüz bilimsel olarak kanıtlanmış değildir. Ancak gölün yüksek seviyelerde seyretmesi sonrasında büyük çöküntüler meydana gelerek, Tatvan ve Erciş kıyılarını oluşturduğu bilinmektedir. 23 Ekim 2011 tarihinde yaşadığımız Van Depremi sonrasında, göl ve çevresinde oluşan obruklarda bu çökmelerin bir sonucudur. Konu ile ilgili Tarihsel verileri içeren Cumhuriyet Ansiklopedisi bilgilerine göre 1870'li yıllarda Van Gölü'nün yine yükseldiği ve akabinde bölgede 1871'den 1900'e kadar altı büyük deprem meydana geldiği bilinmektedir. Van'ın ilk deprem raporunun Serasker Ali Saib tarafından 1891 yılında Padişaha hitaben yazıldığı kaynaklar tarafından bildirilmektedir [11].

Tüm bunlar birlikte düşünüldüğünde deprenselliği oldukça fazla olan Van Bölgesi için gölün yüksek su seviyeleri bölge için bir tehlike unsuru olarak ortaya çıkmaktadır.

3. VAN GÖLÜNDEN ENERJİ ÜRETİMİ

Gölden alınacak suyun yeri Tatvan yakınlarında Hanelmalı mevkiinde ve 1635 m kotunda olmasına karar verildi. Şekil 2'deki harita da kırmızı çizgi ile gösterim enerji tüneli hattıdır. Çizginin Tatvan yakınındaki ucu su alma yapısı diğer ucu ise denge bacasına giren kısmını ifade etmektedir. Kezer Çayı üzerinde yapılan kot araştırmaları sonunda ise suyun Kezer Çayının üst drenajlarında Ilıcak Mevkii Kaplıca Köprüsü civarında kurulacak olan santral binasına aktarılması düşünülmektedir. Buranın yaklaşık kotu 1250 m'dir. Su alma yapısı ile santral binası arasında

Şekil 2'de görüldüğü üzere 21 km uzunluğunda basınçlı galeri açılacaktır. Buradan türbinlenen su Şirvan Barajı'na ve daha sonra Ilisu Barajı'na ulaşacaktır. En son olarak 365 m kotundaki Cizre Barajına gelen su, daha sonra ülke sınırlarını terk edecektir.



Şekil 2. Proje yerleşim haritası

3.1. Rezervuar İşletme Politikası ve Dizayn Debisi Seçimi

Van Gölü HES projesi su alma yapısı, sadece Van Gölü rezervuarından beslenmekte olup bütün yıl boyunca güvenilir bir şekilde alınabilecek bir akıma sahiptir. Su alma yapısı vasıtasıyla alınan su, enerji tüneline buradan da denge bacasına boşalacak olan akım cebri boru ile santrale iletilecektir. 1853.28 hm³ yıllık toplam akım geçirmek için tasarlanan su alma yapısı için yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda, en uygun yerin 1630 m kotunda olmasına karar verildi. Göl alanı dikkate alındığında 1853.28 hm³'lük yıllık su hacmi, göl yüzeyinde yaklaşık 50 cm yüksekliğinde bir su dilimini ifade etmektedir. Van Gölü su seviyeleri değişimi uzun yıllar itibarı ile ortalama olarak 50 cm civarındadır. İşletme çalışmalarında firm enerji hesabı için, gölden alınacak akımın tamamı, kapasite kullanım oranını %95 yapan firm debi olarak hesaba katılmıştır.

3.2. Kurulu Gücün Belirlenmesi

Yapılması düşünülen hidroelektrik santralin yılın 330 günü çalışacağı varsayımı ile;

$$N_{Van} = 8,5 \times Q \times H_{brut}$$

$$\frac{V}{330 * 86400} = 64.88$$

$$\text{Çekilecek debî miktarı : } Q_i = \text{m}^3/\text{s}$$

$$N_{Van} = 8,5 \times 64,88 \times 380 = 219.489 \text{ kW}$$

$$W_{Van} = N_{Van} * T = 219.489 \times 24 \times 330$$

$W_{\text{van}} = 1.738.353.197$ kWh.'lık bir enerji elde edilmiş olur.

3.3. Enerji Tüneli Hesapları

Hanelmalı mevkii 1635 m kotundan alınan Göl suyunun, Kezer Çayının üst drenajlarında Ilıcak Mevkii Kaplıca Köprüsü civarında kurulacak olan santral binasına aktarılması düşünülmektedir. Buranın kotu 1250 m'dir. Bu kota kadar 21 km uzunluğunda basınçlı galeri açılacaktır. İnşa edilecek enerji tüneli ekonomik çapını belirlemek üzere yapılan çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 1'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 7 m olarak bulunmuştur. At nalı kesitli olarak seçilen tünelde su hızı 1.69 m/s, tünel eğimi ise 5.41×10^{-4} olarak belirlenmiştir.(Çizelge 1)

Çizelge 1. Optimum Tünel Çapının Belirlenmesi

D(m)	A(m ²)	L(m)	f _{Kazı}	%α	M _h (10 ⁵)	V(m/s)	J(10 ⁻⁴)	T(Saat)	M _c (10 ⁵)	ΣM(10 ⁵)
5	19.63	21000	500	0.10	206.06	3.31	32.54	7920	747.54	953.60
6	28.26	21000	500	0.10	296.73	2.30	12.32	7920	283.03	579.76
6.5	33.17	21000	500	0.10	348.25	1.96	8.04	7920	184.70	532.95
7	38.47	21000	500	0.10	403.88	1.69	5.41	7920	124.28	528.17
7.5	44.16	21000	500	0.10	463.64	1.47	3.70	7920	85.00	548.64
8	50.24	21000	500	0.10	527.52	1.29	2.64	7920	60.65	588.17
9	63.59	21000	500	0.10	667.64	1.02	1.41	7920	32.39	700.03

$$M_h = A \cdot L \cdot f_h \cdot \alpha, M_c = 8.5 \cdot Q \cdot J \cdot L \cdot f_e$$

3.4. Cebri Boru Hesapları

Enerji tüneli vasıtasıyla 1535 m kotuna getirilen göl suyu buradan itibaren 700 m uzunluğundaki cebri boru ile santral binasına indirilecektir. Van Gölü HES 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 4.5 m olarak bulunmuştur. 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 2 'de verilmiştir.

Çizelge 2. Cebri Boru Eniyilemesi

Çap	Sürtünme kaybı	Net düşü	Hız	Aşırı basınç	Et Kalınlığı	Maliyet	Yıllık Maliyet	Sürtünmeden Kaybedilen Enerji	Yıllık Enerji Kaybı Maliyeti	Toplam Yıllık Maliyet
(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	(mm)	(\$)	(\$)	(kWh)	(\$)	(\$)
3.7	7.07	390.93	6.05	20.86	34.83	12729420.3	1527530.4	29863675.7	2389094.0	3916624.5
4	4.66	393.34	5.17	17.85	37.37	14764085.4	1771690.2	19704518.9	1576361.5	3348051.7
4.2	3.59	394.41	4.69	16.19	39.04	16196789.9	1943614.7	15189946.4	1215195.7	3158810.5
4.5	2.49	395.51	4.09	14.10	41.54	18463011.8	2215561.4	10513622.6	841089.8	3056651.2
4.7	1.97	396.03	3.75	12.93	43.20	20053042.2	2406365.0	8337398.2	666991.8	3073356.9
5	1.42	396.58	3.31	11.42	45.68	22558243.1	2706989.1	5993940.5	479515.2	3186504.4

3.5. Santral Binası ve Kuyruk Suyu Kanalı

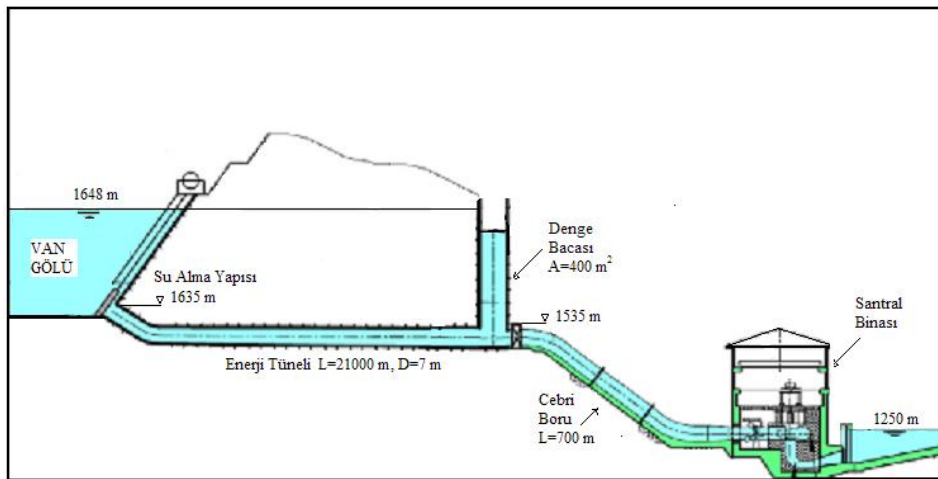
Van Gölü HES santral binası yeri, Kezer Çayı üzerinde 1250 m kotunda en uygun topoğrafik ve jeolojik parametrelere uygun olarak seçilmiştir. Sağ sahilde yerleştirilecek olan santral binasının boyutları 100x125 m, yüksekliği ise 35 m'dir. Kuyruk suyu kanalı, Kezer Çayına deşarj edilecektir. Van Gölü HES'den yıllık ortalama 1,738 Milyar KWh firm enerji üretimi planlanmaktadır. Yapımı tasarlanan Van Gölü HES'e ait tesislerin şematik gösterimi Şekil 3'de sunulmuştur.

3.6. 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 Gücü : 110 MW (Toplam: 220 MW)
- Ünite Adedi : 2
- Tasarım debisi : 32.44 m³/s (Toplam: 64.88 m³/s)
- Brüt Düşü : 398.00 m
- Net Düşü : 380.00 m



Şekil 3. Van Gölü HES Ana Bileşenleri

3.5. Kuyruksuyu Enerji Kademeleri

Van Gölü Hidroelektrik tesisi santral binası türbininden çıkan 64.88 m³/s akımı, planlamada ve yapımı devam eden tesislerinde istifadesine sunmak mümkün olacaktır. Şöyle ki; 1250 m santral binasından çıkan akım, 350 m kotunda ülkemiz sınırlarını terk edecektir. Van Gölü HES'ten türbinlenecek su ile Kezer Çayı ve Dicle Nehri enerji kademeleri boyunca yapılacak olan barajların hem kurulu gücü hem de ürettikleri enerji miktarları önemli ölçüde artırılmış olacaktır. Projenin Van Gölü HES kuyruk suyundan itibaren ülke sınırlarını terk edinceye kadar olan kurulu güç ve enerji toplamı;

$$N = 8,5 \times 64,88 \times (1250 - 350) = 496.332 \text{ kW}$$

$$W = N \times T = 496.332 \times 24 \times 330$$

$$W = 3.930.949.440 \text{ kWh.}^{\text{7}} \text{lık bir ilave enerji elde edilmiş olur.}$$

Proje hayata geçirildiğinde toplam 5.5 Milyar KWh firm enerjiye sahip bir hidroelektrik tesis ülkemiz kurulu gücüne kazandırılmış olacaktır.

3.6. Şalt Sahası ve Enerji İletimi

Van Gölü HES projesinde üretilen enerjinin sisteme bağlanması için santral binası yanında şalt sahası inşa edilecektir. 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, takibati yapılabilecektir.

Santralde üretilen enerji 154 kV'luk, 10 km uzunluğunda bir hatla Bitlis Trafo Merkezi'ne taşınıp buradan ulusal şebekeye dağıtımı yapılacaktır. Hem şalt sahasına, hem de enerjinin bağlanacağı Trafo Merkezi' ne yerleştirilecek olan nümerik sayaçlarla enerji ölçümü yapılacaktır.

4. MALİYET ÇALIŞMALARI

Van Gölü HES 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 [12]. Elektro mekanik donanım yurt dışından temin edileceğinden, keşif 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 3'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 3. Van Gölü HES Maliyet Çalışması

İŞİN CİNSİ	YATIRIM YILLARI				TOPLAM (TL)	TOPLAM (USD \$)
	2		4			
	1.Yıl	2. Yıl	3. Yıl	4. Yıl		
İşletme ve şantiye tesisleri	5.000.000	-	-	-	5.000.000	3.030.303
Ulaşım Yolları	2.000.000	2.000.000	-	-	4.000.000	2.424.242
Su Alma Yapısı	-	1.818.064	2.245.419	4.490.838	8.554.321	5.184.437
Enerji Tüneli	35.671.570	56.238.730	48.507.360	43.794.021	184.211.681	111.643.443
Denge Bacası	-	1.608.180	2.651.460	4.173.100	8.432.740	5.110.752
Cebri Boru	-	-	15.324.234	20.049.248	35.373.482	21.438.474
Santral Binası	-	-	5.481.200	6.152.251	11.633.451	7.050.576
Bilinmeyenler (inşaat) %5	2.133.579	3.083.249	3.710.484	3.932.973	12.860.284	7.794.111
İnşaat Toplamı	44.805.149	64.748.223	77.920.157	82.592.431	270.065.959	163.676.339
Türbin, Generatör, Şalt Sahası Ve Montaj	24.503.786	31.007.572	45.113.592	22.015.146	122.640.096	74.327.331
Enerji Nakil Hattı	-	-	-	5.000.000	5.000.000	3.030.303
Bilinmeyen(%5)	1.225.189	1.550.379	2.255.680	1.350.757	6.382.005	3.867.882
Elektro-Mekanik Toplamı	25.728.975	32.557.951	47.369.272	28.365.903	134.022.100	81.225.515
Toplam Tesis Bedeli	70.534.124	97.306.173	125.289.428	110.958.334	404.088.059	244.901.854
Etüt,Proje,Kontrol Giderleri	3.375.000	3.375.000	3.375.000	3.375.000	13.500.000	8.181.818
Kamulaştırma	5.000.000	10.000.000	-	-	15.000.000	9.090.909
Sigorta Gideri	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	4.000.000	2.424.242
Ara Toplam - 1	9.375.000	14.375.000	4.375.000	4.375.000	32.500.000	19.696.970
KDV Hesabı	14.383.642	20.102.611	23.339.597	20.760.000	78.585.851	47.627.788
Toplam Proje Bedeli	94.292.766	131.783.784	153.004.025	136.093.334	515.173.910	312.226.612
Yatırım Dönemi Kredi Faizi	0	14.143.915	19.767.568	22.950.604	56.862.086	34.461.871
Yatırım Dönemi Kredi Masrafı	801.489	1.120.162	1.300.534	1.156.793	4.378.978	2.653.926
Toplam Yatırım Bedeli	95.094.255	147.047.862	174.072.127	160.200.731	576.414.974	349.342.409

5. EKONOMİK ANALİZ

5.1. Yıllık Faydalar

Van Gölü HES 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. Firm enerji faydası 6 \$cent/kWh, sekonder enerji faydası 3,3 \$cent/kWh alınmıştır. Tesis tamamen biriktirmeli olduğundan pik güç faydası sürekli olarak kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu 1,738 Milyar KWh firm enerji üretimi planlanmaktadır. Üretilen enerjinin belirtilen enerji faydalarıyla çarpılması sonucu Van Gölü HES projesinin toplam enerji faydası 172.096.967 TL (104.301.192 \$) olarak bulunmuştur.

5.2. 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 her bir ünite için DSİ kriterlerine uygun işletme ve bakım faktörleri dikkate alınmıştır. Bu esaslar sonucunda projenin toplam yıllık gideri 49.087.407 TL (29.749.944 \$) olarak hesaplanmış ve detayları Çizelge 4'de gösterilmiştir.

5.3. Gelir Gider Oranı

Projenin gelir gider oranı hesaplanırken, yıllık gelir ve yıllık gider dikkate alınmıştır. 172.096.967 TL (104.301.192 \$) olarak bulunan yıllık gelirin, 49.087.407 TL, (29.749.944 \$) değerindeki yıllık gidere bölünmesi sonucu Van Gölü HES projesinin gelir gider oranı yani rantabilite katsayısı 3.51 olarak hesaplanmıştır. Bu değer hidroelektrik tesisler için oldukça büyük bir rakamdır. Zira 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 sağlansa bu yatırım kendini amorti etme süresi yaklaşık sekiz civarında olmaktadır[13].

Çizelge 4. Ekonomik Analiz

İŞİN CİNSİ	Maliyet	Faiz+Amortisman	İşletme+Bak.	Toplam
	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)
	1	2=(1)X0,09603	3=(1)*Katsayı	4=2+3
İNŞAAT İŞLERİ				
İşletme ve şantiye tesisleri	5.000.000	480.150	50.000	
Ulaşım Yolları	4.000.000	384.120	40.000	
Su Alma Yapısı	8.554.321	821.471	85.543	
Enerji Tüneli	184.211.681	17.689.848	1.842.117	
Denge Bacası	8.432.740	809.796	84.327	
Cebri Boru	35.373.482	3.396.915	353.735	
Santral Binası	11.633.451	1.117.160	116.335	
Bilinmeyenler (inşaat) %5	12.860.284	1.234.973	128.603	
İnşaat İşleri Toplamı	270.065.959	25.934.434	2.700.660	28.635.094
ELEKTRO-MEKANİK İŞLER				
Elektro-Mekanik Teçhizat ve Montajı	122.640.096	11.777.128	1.226.401	
Enerji Nakil Hattı	5.000.000	480.150	50.000	
Bilinmeyen (EMT) %5	6.382.005	612.864	63.820	
Elektro-Mekanik Ekipman	134.022.101	12.870.142	1.340.221	14.210.363
TOPLAM TESİS BEDELİ	404.088.060	38.804.576	4.040.881	42.845.457
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
Diğer Giderler Toplamı	32.500.000	3.120.975		3.120.975
Ara Toplam	436.588.060			
KDV	78.585.851			
Toplam Proje Bedeli	515.173.911	45.046.526	4.040.881	49.087.407
Yıllık Firm Enerji	1.738.353.197	Kwh		
Yıllık Enerji Geliri (TL)	172.096.967	TL	104.301.192	USD
Yıllık Gider	49.087.407	TL	29.749.944	USD
Gelir/Gider(Rantabilite)	3.51			

6. 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. Van Gölü HES projesi hayata geçirildiği takdirde Van Gölü kapalı havza olma durumundan çıkacak ve gölün yükselme potansiyeli kontrol altına alınmış olacaktır. Göl seviye kotunun uzun vadede 1630 m kotlarına düşürülmesiyle kırıklı bir yapıya sahip olan göl tabanı üzerindeki statik basınç azaltılmış olacak ve bölgede yaşanan çöküntüler azaltılmış olacaktır.

Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan bu 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 bir miktar çözülmüş olacaktır. Bunun yanında üretilecek enerji miktarını, maliyetle karşıtığımızda ülkenin büyük bir ekonomik kaybı giderilecektir.

Proje rantabilitesi 3.51 olarak belirlenmiş ve hidroelektrik kaynaklı bir tesis için oldukça yüksektir. Proje yaklaşık maliyeti 500 Milyon TL civarında olmasına karşın sadece Van Gölü HES'in yıllık getirisi 175 Milyon TL dir. Yani buraya inşa edilecek tesis üç yıldan kısa bir sürede kendini amorti etmektedir. Tesisten çıkacak suyun diğer barajlarda da enerjiye dönüşeceği de hesaba katılırsa tesisin ülkemiz bütçesine yıllık katkısı 500 Milyon TL civarında olacaktır.

Göl seviye kotunun aşamalı olarak aşağı düşürülmesiyle ortaya büyük miktarlarda yeni alanlar çıkacaktır. Bu yeni alanlar tarım ve rekreasyon alanları olarak değerlendirilebilecektir. Ayrıca bu alanlar için diğer önemli bir öneri ise buralara 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 Van Bölgesinin güneş enerjisi radyasyon değerleri buraya yapılacak yatırımlar için oldukça elverişlidir.[14]

Van Gölü'nden alınacak debi ile gölün 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 artmış olacak ki, bu da diğer bir yandan ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Tünel kazısı sonrası çıkacak olan yaklaşık 1.000.000 m³ malzeme, yaşadığımız elim Van depremi sonrası yeniden inşa edilecek olan Van Bölgesinde beton üretimi için kullanılabilir.

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, Van Gölünün sahip olduğu bu enerji imkanı ivedilikle işletmeye alınmalıdır.

SEMBOLLER

$I_s - I_{ss}$ = Yüzey ve yüzey altı su girişi,

P = Yağış,

E= Buharlaşma,

$Q_s - Q_{ss}$ = Yüzey ve yüzeysel su çıkışı,

$\Delta v / \Delta t$ = Belli bir zaman aralığındaki göl su hacim değişimi.

N: Güç(KWh),

W: Enerji(KWh/saat)

Q. Debi(m³/s),

T: Zaman(Saat),

H: Düşü yüksekliği(m),

D: Çap(m)

A: Alan(m²)
 L: Boy (m)
 f_h : Kazı Fiyatı(TL/m³)
 f_e : Elektirik satış fiyatı(TL/KWh)
 α : Amortisman yıllık payı
 M_h : Kazı toplam maliyeti(TL)
 V: Hız(m/s)
 J: Eğim
 M_e : Elektrik toplam maliyeti(TL)
 ΣM : Son maliyet(TL)

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Şengüler, S., Van Gölü'nden Enerji Üretimi, Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.
- [2] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.html> [Erişim Tarihi; 23 Aralık 2011].
- [3] Adıgüzel F., and Tutuş A. Small Hydroelectric Power Plants in Turkey. Paper presented in Hydro: Development, Management, Performance, Kırıs, Antalya, 283-293.2002.
- [4] Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Daire Başkanlığı, Ankara, 1999.
- [5] Kempe S, Kazmlerczak J and Landmann G., Largest Known Microbialites Discovered In Lake Van, Turkey. Macmillan Magazines 349: 605-608. 1991
- [6] MTA Bölge Müdürlüğü, Van ve Çevresinin Mühendislik Jeoloji Haritası
- [7] Akım Yıllıkları, Devlet Su İşleri, Ankara, 2006. Türkiye.
- [8] Van İli 2006 Yılı Çevre Durum Raporu, Van Çevre ve Orman Müdürlüğü, Van. 2007.
- [9] EİE., 2007. Göl Seviyeleri(1943-2005). EİE Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [10] Bayındırlık Bakanlığı Afet işleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi. Ankara
- [11] Cumhuriyet Ansiklopedisi, 1972, Van Gölü, n.11, p.3281. Arkın Kitap Evi, İstanbul.
- [12] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Tarifleri Kitabı. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. 2011.
- [13] Tuna MC., Feasibility Assessment of Hydroelectric Power Plant in Ungauged River Basin A Case Study Cardaklı HEPP. AJSE, Springer. Accept. In press. 2011.
- [14] GEPA(Turkish Solar Energy Potential Atlas). <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> [Erişim Tarihi; 23 Aralık 2011].