

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**HAZNELİ POMPALI HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİN TÜRKİYE AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ**

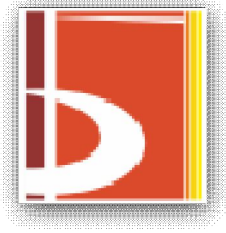
Mehmet BOZDEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet KURBAN

BİLECİK, 2013



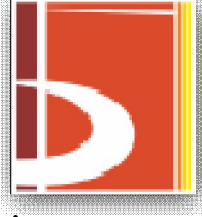
BİLECİK ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY
Graduate School of Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program

**EVALUATION AND ANALYSIS OF PUMPED-STORAGE
HYDROELECTRIC PLANTS FOR TURKEY**

Mehmet BOZDEMİR
Master of Science Thesis

Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Mehmet KURBAN

BİLECİK, 2013

 <p>BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ</p> <p>FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ</p>	<p>YÜKSEK LİSANS</p> <p><u>JÜRİ ONAY FORMU</u></p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/05/2013 tarih ve 13/1 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/06/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mehmet BOZDEMİR'in "HAZNELİ POMPALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TÜRKİYE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ" başlıklı tez çalışması Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Mehmet KURBAN

ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Ayhan GÜN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Ülkemizdeki elektrik enerjisi talep artışının her geçen gün artmasının bir sonucu olarak günlük puant güç ihtiyacı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu puant güç ihtiyacının karşılanmasında hazneli (barajlı) pompalı hidroelektrik santralleri (HES) iyi bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Hazneli pompalı HES, talebin az olduğu saatlerde üretilen elektrik enerjisini kullanarak içerdiği pompalar yardımıyla üst hazneye su depolayan ve depolanan bu suyun alt hazneye düşürülerek elektrik enerjisi üretilen santrallerdir. Bu santraller, puant (tepe) saatlerde kısa bir sürede devreye girerek ihtiyaca cevap verebilmektedirler.

Bu tez çalışmasında, Dünyada ve Türkiye’de hidroelektrik enerji üretimi ele alınarak meydana gelebilecek puant güç açığının giderilmesi, elektrik enerjisi teminindeki güvenilirliğin sağlanması ve enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla uygulanan hazneli pompalı HES’ler incelenmektedir. Ayrıca, bu santrallerin Türkiye’deki göller üzerinde kurulabilme olanaklarının ve işletme koşullarının araştırılması yapılarak ülkemizdeki mevcut durum analiz edilmektedir. Bu kapsamda uygulama olarak Elazığ ili Sivrice ilçesinde bulunan Hazar gölü ele alınmakta ve burada 600 MW gücünde bir hazneli pompalı HES kurulmasına yönelik planlanan projenin analizi ve hesaplamaları yapılmaktadır. Planlanan proje her yönüyle ele alınarak Türkiye açısından da önemi göz ardı edilemeyecek bu konu detaylı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan veriler, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Devlet Su İşleri (DSİ), Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden (DMI) ve diğer ilgili kuruluşlardan alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik enerjisi, hidroelektrik enerji, hazneli pompalı sistem, puant güç.

ABSTRACT

In Turkey, Daily peak power demand is increasing rapidly as a result of developing country. To meet this power demand pumped (power plant dam) hydroelectric power plants (HPP) is emerging as a potential solution. Pump chamber HPP Works as a pump during low power demand times to store water to upper reservoir and use it as a turbine during high power demand times. These plants Works as a turbine generator when the power demand is high.

In this study, the production of hydroelectric power in the world and in Turkey and being a possible efficient productive part of solutions to meet increasing electricity demand via the pumped hydroelectric power plants (HPP) are examined. In addition, possible installation and operating conditions of these plants on the lakes of Turkey are being analysed. In this context, the application of Elazığ Sivrice addressed in the district where the Caspian lake pump chamber HPP 600 MW power analysis and calculations are performed for the establishment of the proposed Project. The data used in this study has been taken from the Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIE), the State Hydraulic Works (DSI), Meteorological Service (DMI) and other relevant organizations.

Key Words: Electrical power, hydroelectric power, pumped-storage system, the peak power.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda bana yardımcı olan, çalıőmalarıma yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Mehmet KURBAN'a, uygulama aşamasında katkıda bulunan Prof. Dr. Recep BAKIŞ 'a ve Arő. Gör. Yıldırım BAYAZIT'a, ayrıca çalıőmalarım boyunca gösterdiğim emek ve sabra destek olan ailem, eőim ve çocuklarıma ve Okul Müdürüm Arif AKBIYIKOĐLU'na teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet BOZDEMİR

Mayıs, 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Daha önce yapılmış çalışmalar.....	1
1.2. Tezin amacı ve içeriği.....	4
2. HİDROELEKTRİK ENERJİ	6
2.1. Dünyada hidroelektrik enerji.....	9
2.2. Türkiye’de hidroelektrik enerji	12
2.2.1. Türkiye’deki Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	12
2.2.2. Türkiye açısından üretim tüketim dengesi ve HES’lerin yeri	13
2.2.3. 2001-2010 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi	14
2.2.4. 2010 Yılı elektrik enerjisi tüketiminin günlük incelemeleri	14
2.2.5. Talep tahminleri.....	15
2.2.6. Türkiye hidroelektrik enerji potansiyeli.....	17
3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN SINIFLANDIRILMASI	20
3.1. Düşülerine göre HES çeşitleri.....	20
3.2. Ürettiklerin enerjinin karakter ve değerine göre HES çeşitleri.....	21
3.3. Kapasitelerine göre HES çeşitleri	21
3.4. Yapılışlarına göre HES çeşitleri	22
3.5. Üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre HES çeşitleri	23
3.6. Baraj gövdesi tipine göre HES çeşitleri.....	25
4. HAZNELİ POMPALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER	26
4.1. Hazneli pompalı HES’lerin planlanması	27
4.2. Hazneli pompalı HES’lerin temel bileşenleri	29
4.3. Hazneli pompalı HES’lerin çeşitleri.....	33

4.3.1. Tek iletim yapılı hazneli pompalı HES.....	33
4.3.2. Farklı iletim yapılı hazneli pompalı HES.....	33
4.3.3. İki hidrolik makinalı hazneli pompalı HES.....	34
4.3.4. Tek hidrolik makinalı hazneli pompalı HES.....	34
4.4. Hazneli pompalı HES'lerin dünyadaki durumu	35
4.5. Hazneli pompalı HES'lerin Türkiye'deki mevcut durumu.....	38
5. UYGULAMA	41
5.1. Çalışma alanının tanıtılması.....	41
5.2. Tasarlanan hazneli pompalı HES'in üst rezervuarına ait teknik özellikler	55
5.3. Tasarlanan hazneli pompalı HES'in yapısı ve özellikleri.....	57
5.4. Tasarlanan hazneli pompalı HES kurulu gücü ve enerji hesabı.....	59
5.5. Maliyet analizi.....	70
6. SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1: Değişik tip santrallerin devreye girme ve tam kapasiteye ulaşma süreleri	5
Çizelge 2.1: Dünya ülkelerindeki hidroelektrik enerji potansiyel gelişimi	11
Çizelge 2.2: Kuruluş temelinde program (YTD) ve gerçekleştirme ile bir önceki yıla göre artış miktarı	13
Çizelge 2.3: 2001-2010 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi	14
Çizelge 2.4: Talep tahmini (yüksek talep)	16
Çizelge 2.5: Talep tahmini (düşük talep)	17
Çizelge 4.1: Hazneli pompalı HES'lerin dünyadaki durumu	35
Çizelge 4.2: İlk etüt seviyesinde çalışılan projeler	39
Çizelge 5.1: Hazar Gölü yıllık ortalama göl seviyeleri	55
Çizelge 5.2: Hazar Gölü (alt rezervuar) teknik özellikleri	55
Çizelge 5.3: Tasarlanan üst hazneye ait teknik özellikler	55
Çizelge 5.4: Hıza bağlı debi ve havuz hacmi	59
Çizelge 5.5: Seçilen türbine ait teknik özellikler	62
Çizelge 5.6: Belirlenen türbin ve generatöre ait teknik bilgiler	64
Çizelge 5.7: Üst rezervuar maliyet tablosu	73
Çizelge 5.8: Tasarlanan hazneli pompalı HES maliyet tablosu	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Hidroelektrik çevrim	6
Şekil 2.2	: HES enerji dönüşüm şeması	6
Şekil 2.3	: HES'in genel yapısı	7
Şekil 2.4	: Yapı ve bileşenleri ile HES blok diyagramı	8
Şekil 2.5	: Hidroelektrik enerji üretim seyri.....	9
Şekil 2.6	: Dünya'nın teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli	10
Şekil 2.7	: Dünyada mevcut, inşa halinde ve planlanmış hidroelektrik kurulu gücü.....	10
Şekil 2.8	: Dünyada üretilen hidroelektrik enerjinin kıtalara göre dağılımı	11
Şekil 2.9	: Türkiye'deki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı	12
Şekil 2.10	: Elektrik enerjisi tüketiminin maksimum olduğu 17. 08. 2010 tarihinde santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları	15
Şekil 2.11	: Elektrik enerjisi tüketiminin minimum olduğu 16. 11. 2010 tarihinde santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları	15
Şekil 2.12	: Talep tahmini (yüksek talep)	16
Şekil 2.13	: Talep tahmini (düşük talep)	17
Şekil 2.14	: Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli	18
Şekil 3.1	: Kaplan türbin prensip şeması.....	20
Şekil 3.2	: Francis türbin	20
Şekil 3.3	: Pelton türbin	21
Şekil 3.4	: Hasan Uğurlu HES.....	22
Şekil 3.5	: Keban HES	23
Şekil 3.6	: Nehir santrali.....	24
Şekil 3.7	: Kanal santrali	24
Şekil 3.8	: Baraj tipi santral.....	25
Şekil 3.9	: Hazneli pompalı HES.....	25
Şekil 4.1	: Hazneli pompalı HES.....	26
Şekil 4.2	: Günlük yük ihtiyacı ve üretim.	27
Şekil 4.3	: Günlük yük değişiminin hazneli pompalı santralle karşılanması.	28

Şekil 4.4	: Mevsimsel yük dağılımı	29
Şekil 4.5	: Hazneli pompalı HES'lerin temel bileşenleri	29
Şekil 4.6	: Hazneli pompalı HES'lerde üst hazneler.	30
Şekil 4.7	: Hazneli pompalı HES'lerde üst hazneler.	30
Şekil 4.8	: Hazneli pompalı HES'lerde suni göllet.....	31
Şekil 4.9	: Tek iletim yapılı hazneli pompalı HES.	33
Şekil 4.10	: Farklı iletim yapılı hazneli pompalı HES.....	34
Şekil 4.11	: Çift tip ünite.....	34
Şekil 4.12	: Tersinir ünite.....	34
Şekil 4.13	: Dünya ülkelerinde hazneli pompalı HES potansiyeli.	36
Şekil 4.14	: Dinorwig hazneli pompalı HES'in kesiti.	36
Şekil 4.15	: Guannghzhou hazneli pompalı HES görünümü.	37
Şekil 4.16	: Amerika – Ludington hazneli pompalı HES	37
Şekil 4.17	: Japonya-Okinawa hazneli pompalı HES.....	38
Şekil 5.1	: Çalışma alanı.....	42
Şekil 5.2	: Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonları.....	43
Şekil 5.3	: Hazar gölü ve çevresinin aylık ortalama yağış grafiği.....	44
Şekil 5.4	: Hazar gölü ve çevresinin aylık maksimum yağış grafiği.....	44
Şekil 5.5	: Hazar gölü ve çevresinin aylık minimum yağış grafiği	44
Şekil 5.6	: Hazar gölü ve çevresinin yıllık yağış haritası.....	45
Şekil 5.7	: Hazar gölü ve çevresinin aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	45
Şekil 5.8	: Hazar gölü ve çevresinin aylık maksimum sıcaklık değerleri.....	46
Şekil 5.9	: Hazar gölü ve çevresinin aylık minimum sıcaklık değerleri.....	46
Şekil 5.10	: Hazar gölü yıllık sıcaklık haritası	46
Şekil 5.11	: Hazar gölü ve çevresinin aylık ortalama nisbi nem değerleri	47
Şekil 5.12	: Hazar gölü ve çevresinin aylık maksimum nisbi nem değerleri.....	47
Şekil 5.13	: Hazar gölü ve çevresinin aylık minimum nisbi nem değerleri.....	48
Şekil 5.14	: Hazar gölü ve çevresinin aylık ortalama buharlaşma değerleri.....	49
Şekil 5.15	: Hazar gölü ve çevresinin aylık maksimum buharlaşma değerleri	49
Şekil 5.16	: Hazar gölü ve çevresinin aylık minimum buharlaşma değerleri	49
Şekil 5.17	: Hazar gölü ve çevresinin yıllık buharlaşma haritası	50
Şekil 5.18	: Hazar gölü ve çevresine ait kabartılmış DEM haritası.....	50

Şekil 5.19 :	Hazar gölü ve çevresinin ait yükseklik (topografya) haritası.....	51
Şekil 5.20 :	Hazar gölü ve çevresinin ait eğim haritası	52
Şekil 5.21 :	Hazar gölü ve çevresinin ait bakı haritası.....	52
Şekil 5.22 :	Hazar gölü ve çevresinin ait gölge kabartma haritası	53
Şekil 5.23 :	Hazar gölü (alt rezervuar).....	53
Şekil 5.24 :	Tasarlanan üst rezervuara ait konum haritası	56
Şekil 5.25 :	Tasarlanan üst rezervuara ait kesit görünümü	56
Şekil 5.26 :	Tasarlanan üst rezervuarın görünümü	57
Şekil 5.27 :	Tasarlanan üst rezervuar ait hacim alan eğrileri	57
Şekil 5.28 :	Tasarlanan santralin cebri boru ve santral binası yerleşimi.....	58
Şekil 5.29 :	Tasarlanan santralin cebri boru ve santral binası kesit görünüşü	58
Şekil 5.30 :	Debi ve düşü değerlerine göre türbin seçimi	62
Şekil 5.31 :	Dikey eksenli Francis türbini.....	63
Şekil 5.32 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in şalt sahası tek hat şeması	65
Şekil 5.33 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in şalt sahası tek hat şeması (KıSım I)	66
Şekil 5.34 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in şalt sahası tek hat şeması (KıSım II)	67
Şekil 5.35 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in şalt sahası tek hat şeması (KıSım III)	68
Şekil 5.36 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in şalt sahası tek hat şeması (KıSım IV)	69
Şekil 5.37 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'in sedde kesit görünümü.....	70
Şekil 5.38 :	Tasarlanan hazneli pompalı HES'e ait su tahliye kanalı.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
	(Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu)
AB	: Avrupa birliği
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
CTP	: Cam elyaf takviyeli boru
DEM	: Dijital elevatinon model
DMİ	: Devlet meteoroloji işleri
DSİ	: Devlet su işleri
EİE	: Elektrik işleri etüt idaresi
EPDK	: Enerji piyasası düzenleme kurulu
ETKB	: Enerji ve tabi kaynaklar bakanlığı
EÜAŞ	: Elektrik üretim anonim şirketi
HES	: Hidroelektrik santral
ICOLD	: İnternational Commission on Large Dams
IDW	: Inverse distance weighting
Q	: Toplam debi (m ³ /s)
TETAŞ	: Türkiye elektrik ticaret ve taahhüt anonim şirketi
YTD	: Kuruluş temelinde program
ΔH	: Toplam düşü kaybı (m)
$\cos \gamma$: Güç faktörü
D_2	: Rotor Çapı (m)
D_3	: Stator karkas çapı (m)
D_4	: Hava kaputu çapı (m)
E	: Pompanın harcadığı enerji(GW)
γ	: Suyun birim hacim ağırlığı (kg/l)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
H_1	: Stator yüksekliği (m)
H_2	: Stator yüksekliği (m)
H_3	: Stator yüksekliği (m)
H_4	: Şaft uzunluğu (m)
H_b	: Brüt düşü yüksekliği (m)

H_m	:	Manomoetrik düşü yüksekliği (m)
H_n	:	Net düşü yüksekliği (m)
I	:	Ünite akımı (A)
K	:	Çıkış katsayısı
L	:	Stator nüve yüksekliği (m)
n_1	:	Devir sayısı-1 (dev/dak)
n_{s2}	:	Özgül hız-2 (m-kW)
n_{s1}	:	Özgül hız-1 (m-kW)
n	:	Senkron devir sayısı (dev/dak)
N	:	Ünite gücü-Görünen (kVA)
p	:	Kutup sayısı
P_2	:	Türbin ünite gücü (kW)
P_H	:	Pompa hidrolik gücü (kW)
P_t	:	Türbin gücü (kW)
Q_1	:	Ünite debisi (m^3/s)
T	:	Zaman (Saat)
U	:	Ünite gerilimi (kV)
V	:	Hacim (m^3)
W	:	Bir yılda üretilen enerji miktarı (MW/yıl)
η_g	:	Genaratör verimi
η_t	:	Türbin verimi
η_{tr}	:	Trafo verimi
η	:	Verim katsayısı
v	:	Suyun hızı m/s)

1. GİRİŞ

1960'lardan beri dünyada hazneli pompalı HES inşa edilmektedir. Türkiye'de ise hazneli pompalı HES bulunmamaktadır. Hazneli pompalı HES'lerin çalışma prensibi; alt haznedeki suyun üste yapılan bir hazneye pompalanarak depolanması ve bu suyun, elektrik enerji sıkıntısı olan puant saatlerde kullanılması prensibine dayanır. Suyun üst hazneye pompalanmasında kullanılacak elektrik enerjisi, yenilenebilir (rüzgar, güneş gibi) kaynaklarından ya da enerjinin az kullanıldığı saatlerde şebekeden karşılanabilir. Fakat buradan üretilen elektrik enerjisinin verimi % 75'tir.

Türkiye'de üretim planlama çalışmalarında hidrolik projeler, yük faktörlerine göre; % 35'in altında olanlar ve üstünde olanlar olmak üzere puant ve temel santraller olarak iki grup altında tanımlanırlar ve ihtiyaca göre çalıştırılırlar. Ancak ülkemizde puant talebin karşılanması sorunu vardır ve HES'lerin sürekli aşırı yüklenerek çalıştırılması puant talebin karşılanmasında olumsuzluklar yaratmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışla birlikte daha da ciddi boyutlara ulaşmakta olan puant yükün karşılanması sorununun çözümü için hazneli pompalı HES'ler kullanılmalıdır. Ülkemizde Uluslararası büyük barajlar komisyonu (ICOLD) kriterlerinde çeşitli amaçlarla inşa edilmiş işletmede yaklaşık 600 adet baraj, 45 adet doğal göl ve 14 adet yapay göl vardır (Tutuş,2006). Ayrıca ülkemiz, üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olup bu tür uygulamalar için uygun bir topografyaya sahiptir. Bu özellikler hazneli HES'ler için ilk yatırım maliyetini ciddi ölçüde azaltıcı ve diğer depolama sistemlerine göre avantaj sağlayıcı özelliklerdir. Japonya'da alt hazne olarak deniz suyunun kullanıldığı projeler geliştirilirken henüz ülkemizde hazneli pompalı HES uygulaması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, Elazığ ili Sivrice ilçesinde bulunan Hazar Gölü üzerinde bir hazneli pompalı HES uygulaması yapılacak ve buradan çıkan sonuçlarla Türkiye'deki Hazneli pompalı HES kapasiteleri hakkında bilgiler verilecektir.

1.1. Daha önce yapılmış çalışmalar.

Bu tez konusuna öncü olan çalışmaların bazıları aşağıda verilmiştir:

Öziş, 1968 yılında yaptığı çalışmada elektrik üretimi ile ilgili araştırma ve planlama çalışmalarında, pompalı santrallerin muhtemel yerini araştırmıştır. Yaptığı

çalışma sonucunda ise Türkiye'nin gelecekteki elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında büyük depolamalı HES'lerin, önemli bir yeri olacağına dikkat çekmiştir.

Zhang ve Renhui, 2009 yılında yaptığı çalışmada pompalı tribünlerin yeni dizayn metotları ve performanslarını hakkında değerlendirme yapmışlar.

Ramos ve Borga, 1999 yılında enerji üretiminde geleneksel harici yaklaşımla pompalı türbinlerin kullanılması ile ilgili çalışma yapmışlardır.

Nowicki, 2009 yılında pompalı tribünlerde modern tasarımla ilgili çalışma yapmıştır.

Keck, Angehrn, Sallaberger, Winkler, Nowicki , 2002 yılında büyük Francis ve pompalı tribün dizayn ve üretiminde yeni teknolojiler adlı bir çalışma yapmışlardır.

Sick, Doerfler, Michler, Sallaberger, 2004 yılında Francis ve pompalı tribünlerde kısmi yük kararsızlıkları hakkında bir çalışma yapmışlardır.

Wright, 2009 yılında pompalı depolamalı HES'lerde en iyi verim alma yöntemleriyle ilgili bir çalışma yapmıştır.

Kuwabara, Shibuya, Furuta, Kita, Mitsuhashi, 1996 400MW hıza ayarlı pompalı depolamalı ünitenin dizaynı ve dinamik tepki karakteristikleri ile ilgili çalışmaları.

Lung, Lu, Hung, Kao, 2006 yılında ayarlanabilir hızlı pompalı depolamalı ünitenin modellenmesi ve dinamik tepkileri ile ilgili çalışma yapmışlardır.

Pannatier, Kawkabani, Nicolet, Simond, Schwery, Allenbach, 2010 yılında değişken hızlı pompalı türbinlerde basitleştirilmiş konverter modelleri kullanarak kontrol stratejilerinin oluşturulması ile ilgili çalışma yapmışlardır.

Pannatier, Kawkabani, Nicolet, Schwery, Simond, 2010 yılında ayarlanabilir hızlı pompalı türbinlerde pompa modunda başlama ve senkronizasyon çalışması yapmışlardır.

Brown, Peças Lopes, Matos, 2008 yılında entegresiz güç sistemlerinde pompalı depolamalı HES'lerin optimizasyonları ile ilgili çalışma yapmışlardır.

Pannatier, 2008 yılında ayarlı hızlı hazneli pompalı santrallerde dinamik tepkilerle ilgili çalışması.

Carravetta, 2011 yılında pompalı türbinlerin güvenlik ve performanslarında sayısal simülasyon ilgili çalışma yapmıştır.

Ramos, Borga, 2000 yılında enerji üretiminde pompalı santrallere alışılmadık yaklaşımlar adlı çalışmaları.

Suul, 2008 yılında değişken hızlı pompalı depolamalı HES ağına rüzgar gücü entegrasyonu ile ilgili çalışması.

Dell ve Rand, 2001 yılında enerji depolaması global enerji sürdürülebilirliğin anahtar teknolojisi adlı çalışmaları.

Ceralis ve Zervos, 2007 yılında rüzgar ve pompalı depolamalı HES'lerde enerji sistemleri kombinasyonu analizini yapmışlardır.

Ikeda, Inagaki, Niikura, Oshima, 2000 yılında 700 m, 400 MW sınıflı çok yüksek hızlı hazneli pompalı türbinler ilgili çalışmaları.

Liang, 2010 yılında pompalı depolamalı HES'lerde geçici ve dinamik karakteristikler hakkında çalışma.

Yorgancılar ve Kökcüoęlu, 2009 Pompalı Depolamalı HES'lerin Türkiye'de geliştirilmesi incelemiştir.

Taniguchi, Nagao ve Higasa, 1992 güç sistemleri kararlılığında pompalı depolamalı HES modelinin geliştirilmesi.

Hannett, Lam, Prabhakara, Qiu, Ding ve Bian, 1998 yılında güç sistemleri stabilizesinde pompalı depolamalı HES'lerin modellenmesi ilgili çalışmaları.

Gao ve Wang, 2006 yılında güç sistemleri analizinde pompalı depolamalı santral modelinin detayları.

Rau ve Neculescu, 1984 yılında Enterkonnekte sistemlerde enerji depolamalarına yeni bir bakış ilgili bilgi verilmiştir.

Roth, 1958 tersine pompalı depolamalı ünitelerin elektrik donanımlarını ele almıştır.

Nicolet, Pannatier, Kawkabani, Schwery, Avellan, Simond, 2009 yılında değişken hızlı pompalı depolamalı HES'lerin faydaları hakkında çalışmaları.

Suul, Uhlen, Undeland, 2008 yılında rüzgar enerjisinin pompalı depolamalı santrallere entegrasyonu ele almıştır.

Sapin, Hodder, Simond, Schafer, 2000 yılında 300MW ayarlanabilir hızlı sürücülü pompalı depolamalı HES uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Pannatier, 2012 yılında pompalama modunda ayarlanabilir hızlı pompalı türbinlerde başlama süresinin optimizasyonunu ele almıştır.

Önkol, 2003 yaptığı çalışmada Orta Akdeniz bölgesindeki hidroelektrik üretimin daha verimli kullanılabilmesi için pompalı depolama uygulamasının yapılabirliği incelenmiştir.

Hannett, Lam, Prabhakara, Qiu, Ding ve Bian, 1998 yılında güç sistemleri stabilizesinde pompalı depolamalı HES'lerin modellemesi ilgili çalışmaları.

Warnick, 1984 yılında yayınladığı kitabında pompalı depolamalı HES kavramını, işletmeye alma koşullarını ve çeşitlerini açıklamıştır.

Masonryi, 1966 yılında yayınladığı "Hydroelectric Power Plants" adlı kitabında pompa depolamalı HES'lere bir bölüm ayırarak bu konuyu anlatmıştır.

Saraç, 2009 Pompalı Depolamalı HES'lerin Dünyadaki örnekleri ve Türkiye'deki durumu hakkında bilgi vermiştir.

Tutuş, 2006 Pompalı Depolamalı HES'ler hakkında bilgi vermiştir.

Kurban ve Uysal, 2003 Hazneli Su santrallerinde alternatif rüzgâr enerjisinin kullanılması. Burada su basmak için kullanılan pompa enerjisinin bir kısmının rüzgâr ve güneş enerjisiyle karşılanması ele alınmıştır.

Bu alanda birçok makale, bilimsel yayın, kitap ve tez bulunmaktadır.

1.2. Tezin amacı ve içeriği

Enerji ihtiyacının gün içindeki artan talebini karşılamak için bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de hidrolik santraller puant santral olarak işletilmektedir. Fakat ülkemizde puant talebin karşılanması sorunu vardır ve HES'lerin sürekli aşırı yüklenerek çalıştırılması puant talebin karşılanmasında olumsuzluklar yaratmaktadır. Türkiye elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünün ithal kaynaklardan ve fosil yakıtla çalışan santrallerden sağlıyor olması, sistem güvenilirliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Sistemin güvenilirliğini sağlamak ve frekans kontrolü yapabilmek için 3-5 dakika içerisinde devreye girebilecek santrallere ihtiyaç vardır. Mevcut sistem içinde bunu sağlayabilecek olan santraller hazneli pompalı HES'lerdir. Değişik tipteki santrallerin devreye girme ve tam kapasiteye ulaşma zamanları ile ilgili yapılan bir çalışmanın sonuçları Çizelge 1.1'de verilmiştir. Bu çalışma için ilgili santrallerde üretime 8 saat ara verildikten sonra tekrar çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır (Tutuş, 2006).

Çizelge 1.1.Değişik tip santrallerin devreye girme ve tam kapasiteye ulaşma süreleri.

Proje Tipi	Başlama ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süresi
Klasik HES'ler	3-5 Dakika
Hazneli Pompalı HES'ler	3-5 Dakika
Fuel Oil Santraller	3 Saat
LNG-Doğal Gaz Santraller	3 Saat
LNG-Çevrim Santraller	1 Saat
Kömür Santralleri	4 Saat
Nükleer Santraller	5 Gün

Enerji talebindeki hızlı artışla birlikte daha da ciddi boyutlara ulaşmakta olan puant yükün karşılanması sorununun çözümünde hidroelektrik enerjiden daha fazla yararlanmak gerekir. Bu çalışmanın amacı, talebin az olduğu saatlerde üretilen enerjiyi kullanarak su depolayan ve puant saatlerin de kısa sürede devreye girerek ihtiyaca cevap veren hazneli pompalı HES projelerinin geliştirilerek sisteme alınmasına katkıda bulunmaktır.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş olmak üzere kalan bölümlerde ele alınan konuların içerikleri aşağıda verilmektedir:

İkinci Bölümde Dünya'daki ve Türkiye'deki hidroelektrik enerji potansiyeli hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü Bölümde genel hatlarıyla HES çeşitleri ele alınmıştır.

Dördüncü Bölümde hazneli pompalı HES'ler tanıtılmış ve Türkiye açısından bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Beşinci Bölümde Elazığ İli Sivrice ilçesinde bulunan Hazar gölü üzerinde bir hazneli pompalı HES planlanmış ve bu santralin uygulaması yapılmıştır.

Altıncı Bölümde sonuçlar verilmiş ve son değerlendirmeler yapılmıştır.

2. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Genellikle enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş ışınımından dolayı olarak oluşan bir enerji kaynağı olup, hidrolik çevrim Şekil 2.1 'de verilmiştir. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgarın etkisiyle sürüklenerek, dağların yamaçlarında yağmur veya kar halinde yeryüzüne ulaşmakta ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır.



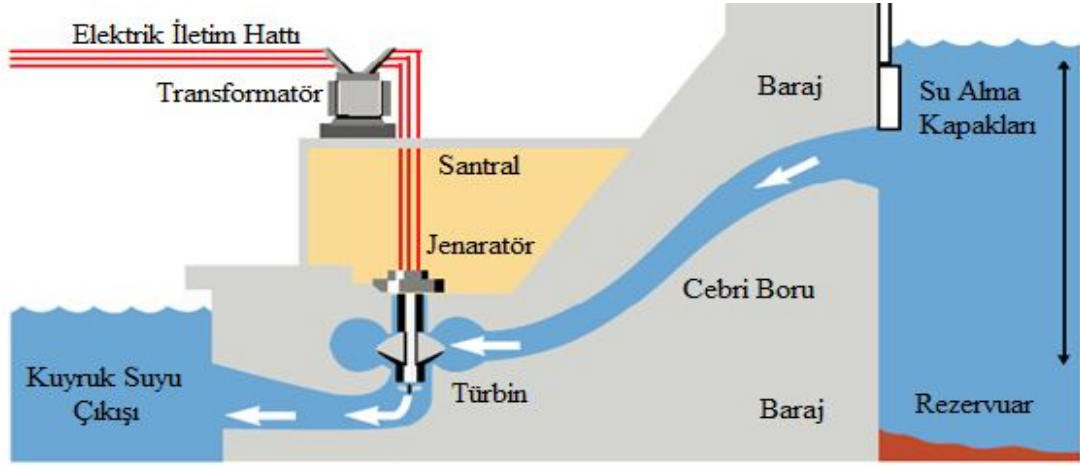
Şekil 2.1. Hidrolik çevrim (Evans ve Porlman 2009).

Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır. Hidroelektrik enerji dönüşüm şeması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. HES enerji dönüşüm şeması.

HES'lerde giriş gücü, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden oluşmaktadır. Rezervuardan cebri boruya gelen su, sahip olduğu potansiyel enerji ve türbine kadar kazanmış olduğu kinetik enerji ile türbini çevirir ve çıkışta elektrik enerjisi elde edilir. Basit bir HES'in yapısı Şekil 2.3 'te gösterilmiştir. HES 'lerin ana bölümleri;



Şekil 2.3.HES'in genel yapısı (Survey,1997).

Izgaralar: Kanal tipi ve nehir tipi HES'lerin tahrik suları, özellikle ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ağaç yaprakları ve parçaları, ot, yosun vb. yabancı maddeleri de beraberinde sürükler. Bu yabancı maddeler, tünel ve cebri borulara, oradan da türbine giderek ayar kanatları ve çark kanatlarında büyük hasarlar meydana getirirler. Bu tahribatı önlemek amacıyla, tünele girmeden önce, suyun yabancı maddelerden arındırılması gerekir. Bunun için suyun tünele girdiği yerlere ızgaralar yerleştirilmiştir.

Su kaynağı yapısı: Rezervuarlı santrallerde baraj, kanal tipi santrallerde ise bir tünel ya da açık kanaldır.

Su alma ağız yapısı: Cebri boruya suyun giriş kısmıdır. Izgaralar, kapak ve kapak açma-kapama mekanizmalarından oluşur. Rezervuarlı santrallerde su girişi, yüzen cisimlerin borulara girmemesi için baraj gövdesinin orta kotlarında yapılırlar.

Enerji Tünelleri: HES 'lerde, türbin tahrik suyunun iletimi için kullanılan tüneller; su yüzeyi havaya açık basınçsız tüneller, basınçlı tüneller ve cebri boru tünelleri olmak üzere üçe ayrılırlar. Üstü açık su iletim kanalları, don, heyelan, sel suları gibi tabiat şartlarından ve ağaç yaprakları gibi dış etkenlerden kolayca etkilendikleri ve büyük su basıncına dayanamadıkları için, büyük su basınçlarının ve debilerinin iletilmesinde, kanalların yerine enerji tünelleri kullanılır. Su iletim tünelleri çok sağlam, su sızdırmaz olarak ve iç yüzeyleri pürüzsüz olarak inşa edilmelidir.

Cebri (basınçlı) Borular: Su alma ağız ile santral arasında, ölçüleri debi ve düşü ye göre hesaplanan kalın etli büyük çaplı çelik ya da CTP (Cam elyaf TakViyeli Plastik) borulardır. Santralin jeolojik yapısına göre gömülü oldukları gibi, görünür olanları da vardır. Türbin çarkını çeviren suyun geçişine olanak sağlar.

Salyangoz: Cebri boru sonuna monte edilen, salyangoz biçimindeki basınçlı su haznesi, suyun çarka çevresel olarak ve her bir noktadan eşit debide girmesini sağlar. Çevresel olarak sabit kanatçıkları suya yön verir, açılıp-kapanabilir kanatçıkları ise çarka verilen suyun debisini ayarlar. Çoğu santralde, cebri boru ile salyangoz birleşme noktasında kelebek ya da küresel tabir edilen, hidrolik basınç ile çalışan, cebri boru çapına uygun vanalar bulunur. Bazı santrallerde bu vana tesis edilmeyebilir.

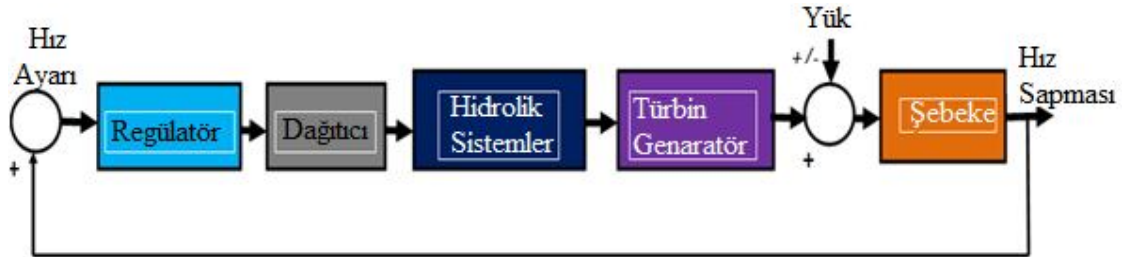
Türbin: Türbin çarkı, türbin şaftı, türbin kapağı, hız regülatör sistemi, basınçlı yağ sistemi, türbin yatağı, soğutma sistemi, kumanda panosu ve yardımcı teçhizattan oluşur. Türbin şaftı, suyun kanatlarına çarparak döndürdüğü türbin çarkı ile jeneratör rotoru arasında akuple olup jeneratör rotorunun dönmesini sağlar.

Alternatör: Alternatör rotoru, statoru, yatağı, ikaz(uyartım), soğutma sistemi, koruma sistemi, kumanda ve işletim sistemi, doğru akım sistemi kesici ve ayırıcılar ile yardımcı organlardan oluşur. Rotor, güçlü tesis edilmiş yatak üzerinde sabit hızla döner. Dönüş sayısı frekans ve kutup sayısı ile doğru orantılıdır. Enerji stator sargılarından alınır.

Senkron motor: Yükü değiştiği halde devir sayısı sabit kalan motorlardır. Eğer yükün momenti, motorun en yüksek momentinden büyük olursa motor durur. Motor senkron hızda donduğu için devir sayılan yalnız frekans ve kutup sayılarına bağlıdır. Bu sebeple bu motorları senkron motor adı verilmiştir.

Transformatörler: Gerilimi yükseltme ya da alçaltma işlevini üstlenmişlerdir. Tek fazlı, üç fazlı olabilirler. Her üniteye bir transformatör olabileceği gibi birden fazla üniteye bir transformatörde olabilir. Ana gövde, soğutma sistemi, yangın sistemi, koruma sistemi bölümlerinden oluşur.

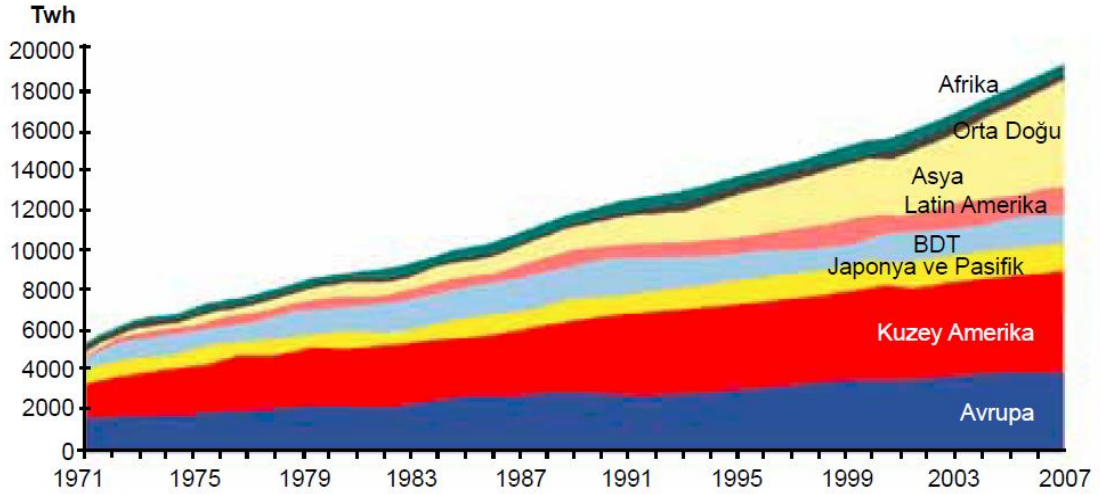
Şalt Sahası: Transformatörlerden çıkan yüksek gerilim enerjinin iletim hatlarına bağlantı noktasıdır. Kesiciler, ayırıcılar, topraklama sistemi, koruma sistemi, basınç sistemi, ölçü sistemi, iletim hatları üzerinden haberleşme sistemi kısımları vardır. Yapı ve bileşenleri ile bir HES'in blok diyagramı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil:2.4. Yapı ve bileşenleri ile HES blok diyagramı (Özbay ve Gençoğlu 2009).

2.1. Dünyada Hidroelektrik Enerji

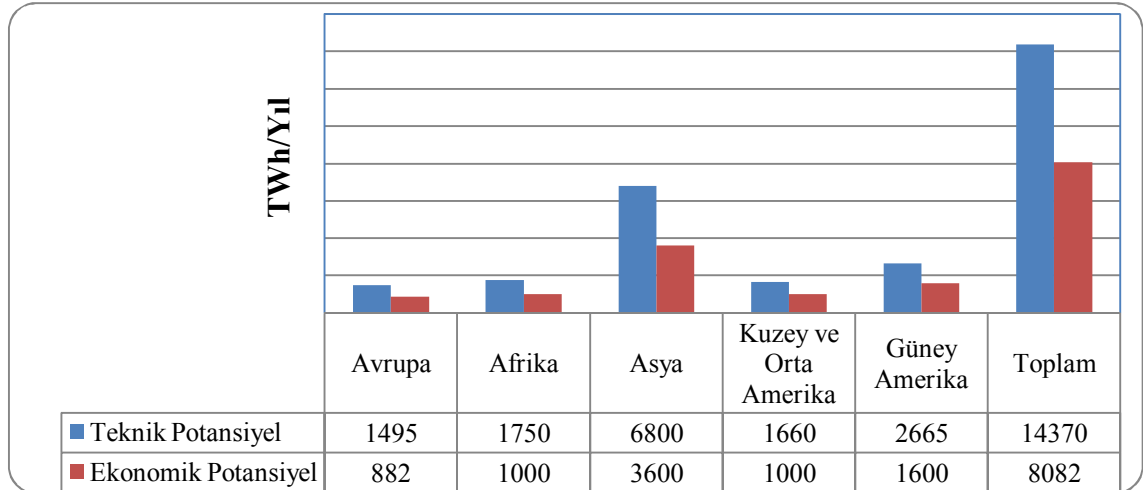
Hidroelektrik enerji çevre dostu ve ucuz bir enerji kaynağı olması sebebiyle, birçok ülkede HES inşaatları önem kazanmıştır. Bu santrallerin inşa amaçlarından, birincisi sulama (%38), ikincisi de enerji (%18) dir. Dünya’da mevcut enerji amaçlı işletme halinde 8.200 büyük baraj bulunmaktadır (DSİ, 2010). Dünya’daki hidroelektrik enerji üretim seyri Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5. Hidroelektrik enerji üretim seyri (1991-2007).

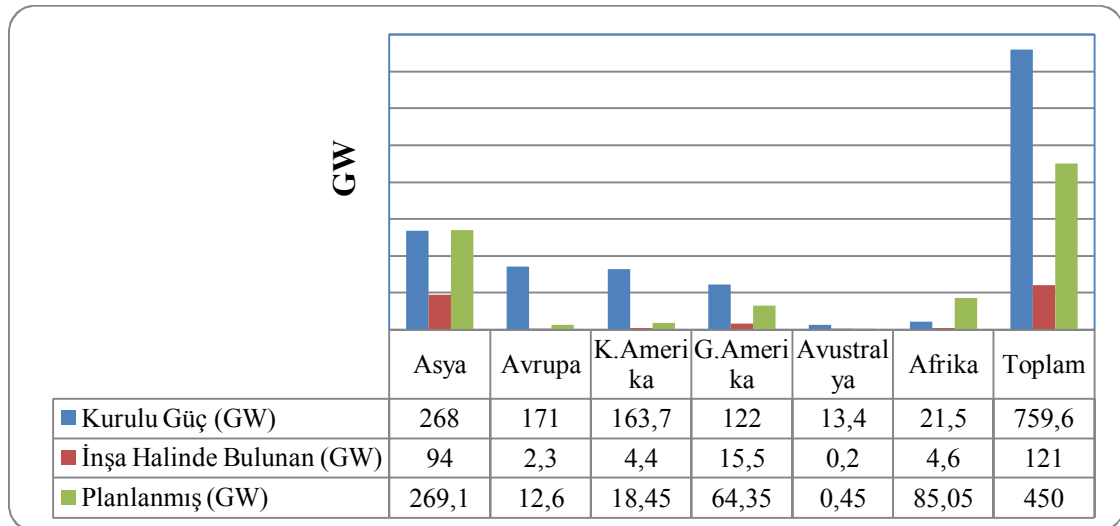
Uluslararası Hidroenerji Birliği’ne (International Hydropower Association–IHA) göre küresel elektrik ihtiyacının %16’sı hidroenerjiden elde edilmektedir. Hidroenerjinin, yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerji üretimi içindeki payı ise %80’e ulaşmaktadır. Günümüzde Kuzey Amerika kullanılabilir hidroenerji kaynaklarının %70’ini, Avrupa ise %75’ini kullanmaktadır. Hidroenerji alanında en önemli büyüme fırsatını ise Güney Amerika, Asya ve özellikle Afrika’da gözlenmektedir (DSİ, 2010). Dünya’nın hidroelektrik teknik kapasitesi 14370 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu kapasitenin %56,2’lik bölümünü 8082 TWh/yıl ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelini oluşturmaktadır (Şekkel ve Keçecioğlu,2011).

Dünya’nın teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji yıllık üretim potansiyeli, Şekil 2.6’da sunulmuştur. Dünya’daki teknik kapasitenin %56,24’nün ekonomik kapasite olduğu ve en büyük kapasitenin Asya kıtasında olduğu, Asya kıtasını sırasıyla Güney Amerika, Afrika, Kuzey Amerika, Avrupa ve Okyanusya kıtalarının izlediği görülmektedir.



Şekil 2.6. Dünya'nın teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli.

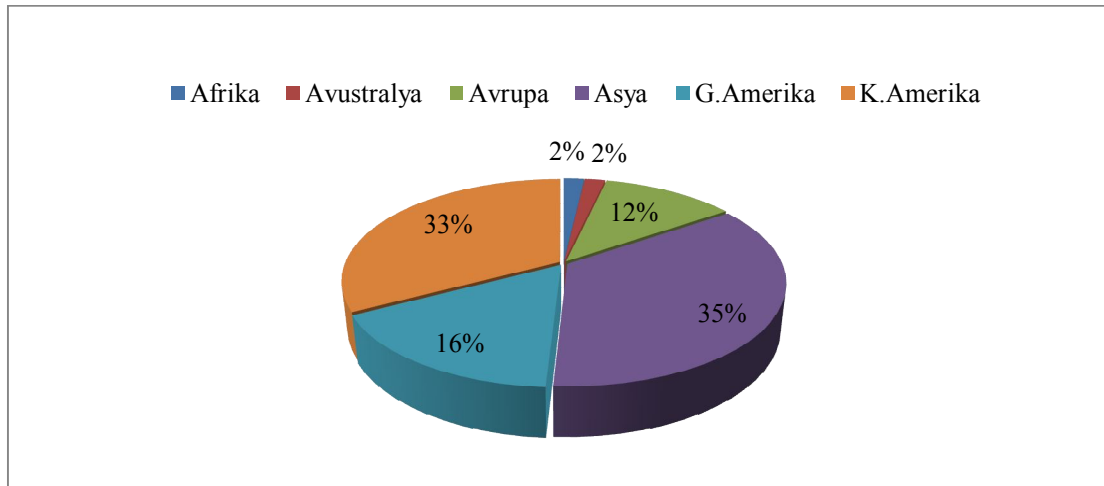
Dünyadaki mevcut, inşa halinde ve planlanmış HES'lerin kurulu güç dağılımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Dünyada 11 bin santral, 27 bin türbin ve generatör ile toplam 150 ülkede hidroelektrik enerji üretilmektedir. Dünyadaki mevcut hidroelektrik kurulu güç 759,6 GW, inşa halindeki kurulu güç 121 GW, planlanmış kurulu güç 450 GW'tır. Asya 268 GW'lık hidroelektrik kurulu güç ile dünyada birinci sıradadır (Şekilli ve Keçecioglu, 2011).



Şekil 2.7. Dünyada mevcut, inşa halinde ve planlanmış hidroelektrik kurulu güç.

Dünyada üretilen hidroelektrik enerjinin kıtalara göre dağılımının oranları grafik olarak Şekil 2.8'de gösterilmiştir. 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminin %20'sini yenilenebilir enerjilerden elde etmeyi amaçlayan Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde,

özellikle hidroelektrik enerji kapasitesinin artırılmasına yönelik yatırımlar hızla artmaktadır (Şekkeli ve Keçecioğlu, 2011).



Şekil 2.8. Dünyada üretilen hidroelektrik enerjinin kıtalara göre dağılımı.

Çizelge 2.1. Dünya ülkelerindeki hidroelektrik enerji potansiyel gelişimi.

Ülke	Mevcut Hidroelektrik Kurulu Güç (MW)	Elektrik Üretimine Hidroelektrikten Karşılama Oranı (%)
Norveç	27.569	99.4
Fransa	25.200	15
İspanya	20.076	20
İsveç	16.200	55
İtalya	15.267	18.49
İsviçre	13.240	57.9
Avusturya	11.700	70.4
Romanya	5.860	34.8
Ukrayna	4.732	6.7
Almanya	4.525	2.6
Portekiz	4.394	27
Yunanistan	3.080	9.6
Yugoslavya	2.910	35
Bosna Hersek	2.380	46
Finlandiya	2.340	21.5
Türkiye	12.494	25.21

AB ülkeleri 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminin beşte birini yenilenebilir enerjilerden elde etmeyi hedeflemektedir. Özellikle hidroelektrik enerji kapasitesinin artırılması ve mevcut santrallerin yenilenmesine yönelik yatırımlar hızla artmaktadır. Dünyadaki hidroelektrik enerji potansiyeli Çizelge 2,1’de verilmiştir. Avrupa’da kurulu

hidroelektrik enerji kapasitesi 170 bin MW civarındadır. Hidroelektrik enerji üretiminde ilk sırada gelen ülkeler Norveç, Avusturya, İsviçre, İsveç ve İspanya'dır. Norveç elektrik ihtiyacının % 98,2'sini, Avusturya ise % 70,4'lük kısmını HES'lerden karşılamasına rağmen, Almanya'nın sadece % 2,6'sının karşılaması dikkat çekmektedir. Türkiye'de bu oran % 25 mertebesindedir (Arman, 2013).

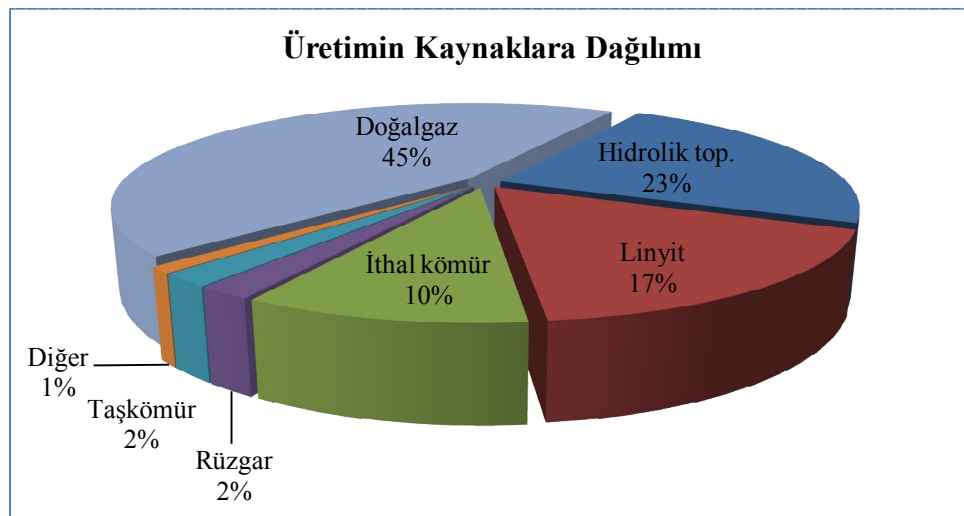
Batı ülkelerinde izlenen yeni enerji politikası, mevcut HES'lerin kapasitesini yeni donanım ve teknolojiler yoluyla artırmaktır. Sonuçta suyun öz kaynak olarak önem taşıdığı birçok ülkede, hidroelektrik üretimin toplam elektrik enerjisi üretimi içindeki payı oldukça yüksektir.

2.2. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji

Ülkemizde tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık % 50'si sanayide kullanılmaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde diğer doğal kaynakları dışında kullanabileceği çok zengin bir hidroelektrik potansiyeli vardır. Buna rağmen, Türkiye elektrik üretiminde giderek daha çok dışa bağımlı hale gelmektedir. Bundan dolayı hidroelektrik enerji üretimini artıracak yeni projelere ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2.1. Türkiye'deki Enerji Üretimine Kaynaklara Göre Dağılım

Türkiye'deki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Elektrik enerjisi üretiminde doğalgazın ağırlığı devam etmektedir. 2011 yılı itibarıyla doğalgazın enerji üretimindeki payı % 45 tir. Hidrolik, linyit ve ithal kömür santralleri ise sırasıyla % 23, % 17 ve % 10 paya sahiptirler (EPDK, 2011) .



Şekil 2.9. Türkiye'deki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

2.2.2. Türkiye Açısından Üretim Tüketim Dengesi ve HES'lerin Yeri

2010 yılı elektrik enerjisi üretim-tüketim programı hazırlanırken tüketimin yaklaşık % 4,9 artış ile 202,7 milyar kWh olacağı tahmin edilmiş, ancak fiili olarak elektrik enerjisi tüketimi programa göre % 8,4 artış ile 210,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Tüketimi karşılamak için 155,8 milyar kWh termik, 51,8 milyar kWh hidroelektrik, 2,9 milyar kWh rüzgar ve 668,2 milyon kWh jeotermal kaynaklarından enerji üretim yapılmış ve 1.917,6 milyon kWh elektrik enerjisi ise ihraç edilmiştir (TEİAŞ, 2010). Kuruluş temelinde program (YTD-534) ve gerçekleşme ile bir önceki yıla göre artış Çizelge 2.2' de verilmektedir. HES'lerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye'deki elektrik enerjisinin yaklaşık %20-30'u sudan üretilmektedir.

Çizelge 2.2.Kuruluş temelinde program (YTD-534) ve gerçekleşme ile bir önceki yıla göre artış miktarı (TEİAŞ,2010).

Değerler		2009 Üretim (GWh)	Programlanan 2010 Üretim İmkani (GWh)	Gerçekleşen 2010 Üretim (GWh)
Kaynaklar	Termik	156.923,5	196.246,1	155.827,6
	Hidrolik	35.958,4	44.822,4	51.795,5
	Rüzgar	1.495,4	2.896,5	2.916,4
	Jeotermal	435,7	554,6	668,2
Türkiye Üretimi Toplam		194.812,9	244.519,7	211.207,7
Dış Alım		812,0	720,0	1.143,8
Toplam Tüketime Sunulan		195.624,9	245.239,7	212.351,6
Dış Satım		1.545,8	3.720,0	1.917,6
Türkiye Tüketim Toplamı		194.079,1	241.519,7	212.351,6

Üretim kapasite projeksiyonunun çalışma periyodu, 2011 – 2020 yıllarını kapsamaktadır. Mevcut, inşası devam eden ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nca (EPDK) Ocak 2011 dönemi ilerleme raporlarına göre iki ayrı senaryo halinde (Senaryo 1 ve Senaryo 2) hazırlanan 2011 – 2020 yılları arasında işletmeye gireceği öngörülen projelerin bu periyottaki üretim kapasiteleri ve güçleri dikkate alınarak iki talep serisine göre Arz-Talep dengeleri, güç ve enerji olarak hesaplanmıştır. Mevcut termik ve hidrolik santrallerin 10 yıllık proje ve güvenilir üretim değerlerine ilişkin bilgiler Elektrik Üretim Anonim şirketi (EÜAŞ), Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim şirketi (TETAŞ) ve DSİ Genel Müdürlüklerinden alınmıştır. Lisans almış santraller için

EPDK tarafından verilen, Aralık 2010 tarihi itibariyle lisans almış tesislerin ‘‘Ocak 2011 Dönemi İlerleme Raporları’’ dikkate alınarak güncel bilgileri kullanılmıştır.

2.2.3. 2001-2010 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Talebi

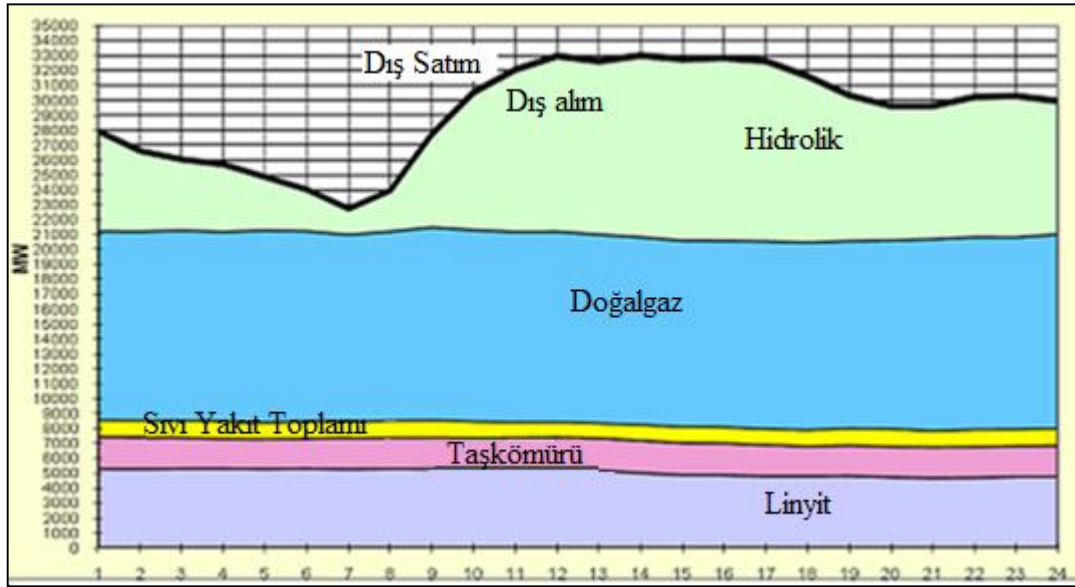
Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi+dış alım–dış satım) 2009 yılında % 2 azalarak 194,1 milyar kWh, 2010 yılında ise % 8,4 artış ile 210,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye net tüketimi (iç tüketim, şebeke kaybı ve kaçaklar hariç) 2009 yılında 156,9 milyar kWh, 2010 yılında ise 169,4 milyar kWh olmuştur. Türkiye enterkonnekte sistemi yıllar itibariyle ani puant talebi ve enerji gelişimi Çizelge 2.3’te verilmektedir. 2009 yılında puant talep 29870 MW, minimum yük 11123 MW olarak gerçekleşmiştir. Minimum yükün maksimum yüke oranı % 37 olmuştur. 2010 yılında ise puant talep 33392 MW, minimum yük 13513 MW olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılında minimum yükün maksimum yüke oranı % 40,5 olmuştur (TEİAŞ, 2011).

Çizelge 2.3. 2001 – 2010 Yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi.

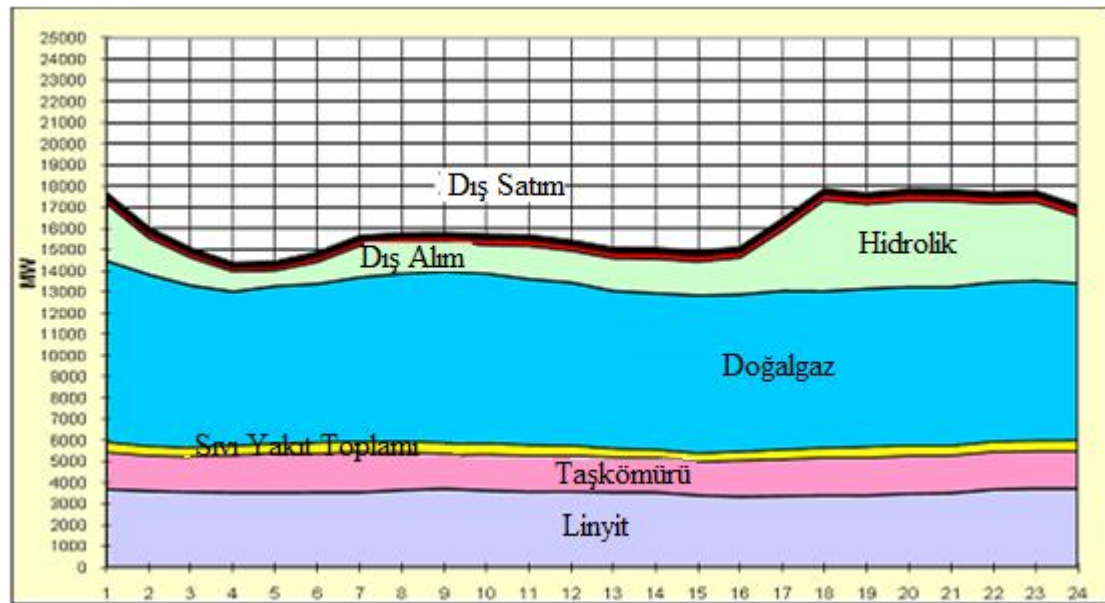
Yıllar	Puant Güç Talebi (Mw)	Artış	Enerji Talebi	Artış(%)
2001	19612	1,1	126871	-1,1
2002	21006	7,1	132553	4,5
2003	21729	3,4	141151	6,5
2004	23485	8,1	150018	6,3
2005	25174	7,2	160794	7,2
2006	27594	9,6	174637	8,6
2007	29249	6,0	190000	8,8
2008	30517	4,3	198085	4,2
2009	29870	-2,1	197079	-2,0
2010	33392	11,8	210434	8,4

2.2.4 . 2010 Yılı Elektrik Enerjisi Tüketiminin Günlük İncelemeleri

2010 yılında elektrik enerjisi talebinin maksimum ve minimum olduğu günlerin yük eğrisi Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de, verilmiştir. 2010 yılında en yüksek tüketimin olduğu günde puant talep 32688 MW olarak gerçekleşmiştir (TEİAŞ, 2011).



Şekil 2.10. Elektrik enerjisi tüketiminin maksimum olduğu 17. 08. 2010 tarihinde santrallerin enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları (TEİAŞ, 2011).



Şekil 2.11. Elektrik enerjisi tüketiminin minimum olduğu 16. 11. 2010 tarihinde enerji kaynağı türlerine göre çalışma durumları (TEİAŞ, 2011).

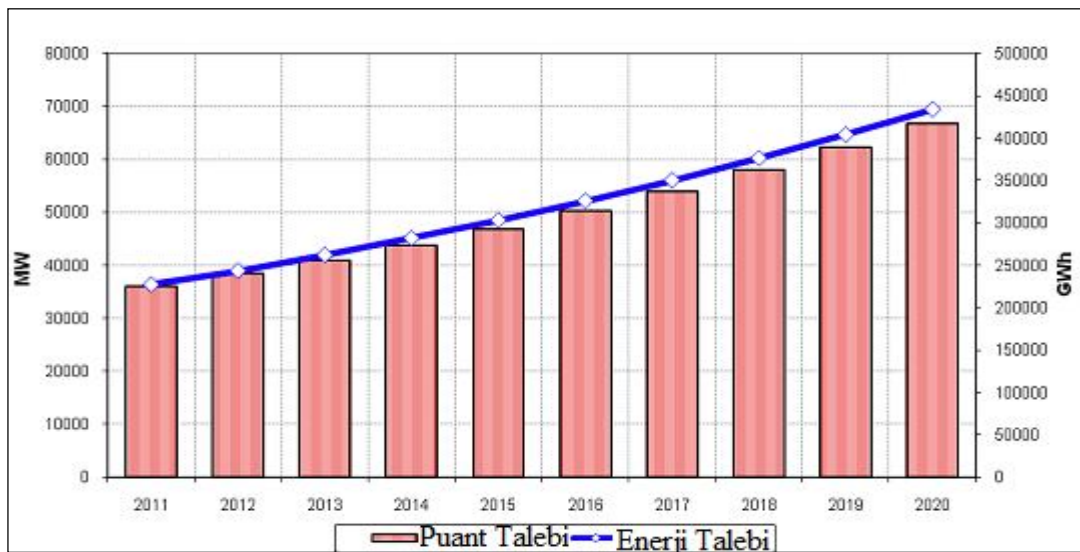
2.2.5 .Talep Tahminleri

2011 – 2020 dönemini kapsayan üretim kapasite projeksiyon çalışmasında Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından, yılın ilk 5 ayındaki gerçekleştirmeler de dikkate alınarak, makro ekonomik hedeflere uygun olarak Haziran 2011’de yapılan model çalışması sonucunda elde edilen yüksek ve düşük talep tahmin serileri

kullanılmıştır. Talep serileri belirlenirken; 2011 yılında her iki talep serisi için de bu yılın ilk 5 ayında gerçekleşen talep artışları doğrultusunda revize edilen tüketim tahminleri alınmış, sonraki yıllarda ise yüksek talep serisinde ortalama % 7,5, düşük talep serisinde ise % 6,5 olarak gelişen ETKB tarafından hesaplanan talep serileri kullanılmıştır. Ayrıca bu dönem için yük eğrisi karakteristiğinin değişmeyeceği kabulü ile puant yük serileri elde edilmiştir. ETKB tarafından hazırlanan elektrik enerjisi talep tahmini çalışmalarının gerçekleşme analizleri Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te, Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Talep tahmini (Yüksek talep) (TEİAŞ, 2011).

Yıl	Puant Talebi		Enerji Talebi	
	MW	Artış (%)	GWh	Artış (%)
2011	36000	7,8	227000	7,9
2012	38400	6,7	243430	7,2
2013	41000	6,8	262010	7,6
2014	43800	6,8	281850	7,6
2015	46800	6,8	303140	7,6
2016	50210	7,3	325920	7,5
2017	53965	7,5	350300	7,5
2018	57980	7,4	376350	7,4
2019	62265	7,4	404160	7,4
2020	66845	7,4	433900	7,4



Şekil 2.12. Talep tahmini (Yüksek talep) (TEİAŞ, 2011).

Çizelge 2.5. Talep tahmini (Düşük talep) (TEİAŞ, 2011).

Yıl	Puant Talebi		Enerji Talebi	
	MW	Artış(%)	GWh	Artış(%)
2011	36000	7,8	227000	7,9
2012	38000	5,6	241130	6,2
2013	40130	5,6	257060	6,6
2014	42360	5,6	273900	6,6
2015	44955	6,1	291790	6,5
2016	47870	6,5	310730	6,5
2017	50965	6,5	330800	6,5
2018	54230	6,4	352010	6,4
2019	57685	6,4	374430	6,4
2020	61340	6,3	398160	6,3

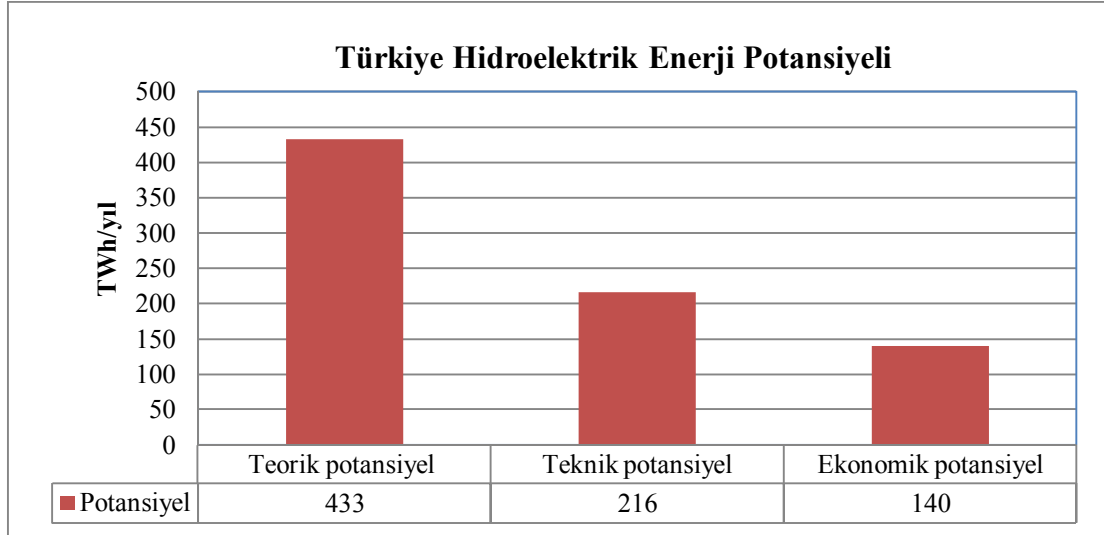


Şekil 2.13. Talep tahmini (Düşük talep) (TEİAŞ, 2011).

2.2.6. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları nedeniyle tercih edilmelidir. Bu tür santraller ani talep değişimlerine cevap verebilmektedir. Bu nedenle ülkemizde de puant santral olarak kullanılmaktadır. HES'ler, çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, puant talepleri karşılayabilen, yüksek verimli (% 90'ın üzerinde), yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa

(4-10 yıl), işletme gideri çok düşük, dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır. Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesini, Şekil 2.14'te verildiği gibi üç bölümde incelenebilir:



Şekil 2.14. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli

Teorik Potansiyel: Bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teorik üst sınırını gösteren brüt su kuvveti potansiyeli; mevcut düşü ve ortalama debinin oluşturduğu potansiyeli ifade etmektedir. Topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan brüt hidroelektrik enerji potansiyeli, ülkemiz için 433 milyar kWh mertebesindedir (EİE, 2010).

Teknik Potansiyel: Teknik yönden değerlendirilebilir su kuvveti potansiyeli; bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teknolojik üst sınırını göstermektedir. Uygulanan teknolojiye bağlı olarak düşü, akım ve dönüşümde oluşabilecek kaçınılmaz kayıplar hariç tutulmaktadır. Bölgede planlanan hidroelektrik projelerin teknik açıdan uygulanabilmesi mümkün olan bütün projelerin gerçekleştirilmesi ile elde edilecek hidroelektrik enerji üretiminin sınırlarını temsil etmektedir. Bu niteliğiyle teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyel, brüt potansiyelin bir fonksiyonu olmakta ve çoğunlukla onun yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Ülkemizin teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kWh'tir (EİE, 2010).

Ekonomik Potansiyel: Ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik optimizasyonunun sınır değerini gösteren, gerek teknik açıdan geliştirilebilmesi mümkün, gerekse ekonomik yönden tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir.

HES'lerin ekonomik yapılabilirliğinin hesaplanabilmesi için; enterkonnekte sistemde aynı enerjiyi üretecek kaynaklar gözden geçirilmekte ve en ucuz enerji kaynağı belirlenerek HES projesi bu kaynakla mukayese edilmekte ve ancak daha ekonomik bulunursa önerilmektedir. Ekonomik HES potansiyeli içindeki tüm projeler; termik santrallere göre getirileri daha yüksek projelerdir. Ülkemizin 2010 yılı itibariyle tespit edilen ekonomik HES potansiyeli 140 milyar kWh'tir (EİE, 2010). Bu potansiyel; en az ilk etüt seviyesindeki hidroelektrik projelerle, ön inceleme, master plan, fizibilite, kesin proje, inşa ve işletme aşamalarından oluşan 747 adet hidroelektrik projenin toplam enerji üretim kapasitesini ifade etmektedir.

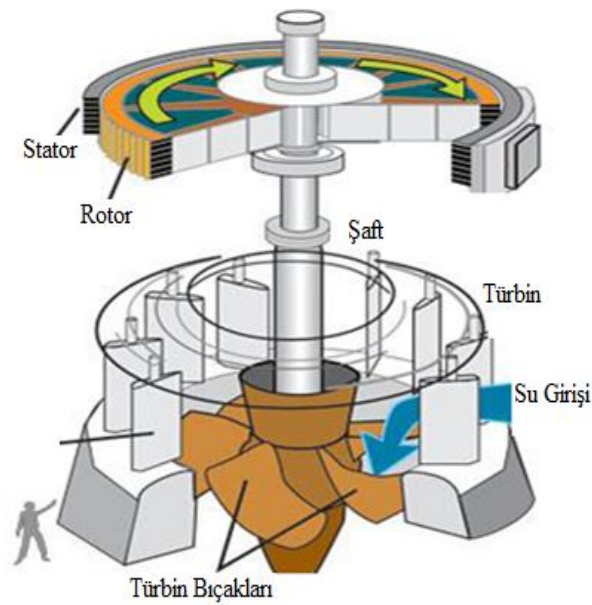
Havza gelişme planlarının farklı zamanlarda hazırlanmış olmalarından dolayı projeler sonraki tarihlerde ekonomik yönden tutarsız duruma gelebilmektedir. Bununla birlikte zaman içinde enerji fayda ve maliyetlerinde meydana gelen değişikliklere göre ekonomik bulunabilecek tesislerin, ilk etütlerde terk edilmiş olmalarına da rastlanılmaktadır. Bunlara karşılık, su kaynaklarının geliştirilmesinde görev üstlenen EİE ve DSİ gibi kuruluşların yapmış oldukları, yeni enerji kaynaklarının yaratılmasına yönelik ilk etüt çalışmalarıyla bu potansiyele her yıl ilaveler olabilmektedir. Bütün bu olumlu ve olumsuz etkilerin de dikkate alınmasıyla, Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik potansiyeli yıldan yıla ufak farklılıklar göstermekle birlikte bugün için 140 milyar kWh olduğu kabul edilir. Türkiye 433 milyar kWh brüt teorik hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyeli içinde % 1 paya sahiptir. 140 milyar kWh ekonomik olarak yapılabilir potansiyeli ile Avrupa ekonomik potansiyeli içinde yaklaşık % 16 hidroelektrik potansiyeline sahip bulunmaktadır (EİE, 2010).

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN SINIFLANDIRILMASI

HES'ler düşülerine, ürettikleri enerjinin karakter ve değerine, kapasitelerine, yapılarına ve üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

3.1 Düşülerine Göre HES Çeşitleri

Alçak Düşülü HES: Düşüsü 15 m 'den az olan, genellikle debisi büyük, düz arazilerde akan, yatak eğimi az nehirler üzerinde kurulan, çoğunlukla kaplan tipi türbin kullanılan santrallerdir. Şekil 3.1'de kaplan türbinin prensip şeması verilmiştir.



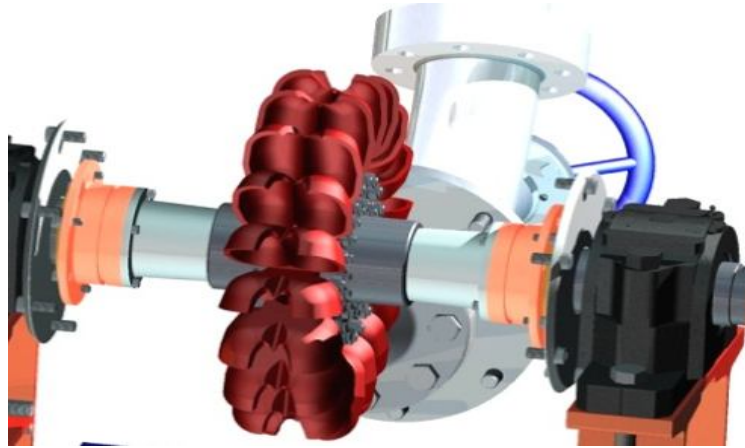
Şekil 3.1. Kaplan türbin prensip şeması

Orta Düşülü HES: Düşüsü 15–50 m olan, çeşitli debilerdeki nehirler üzerinde kurulan, uzun cebri boru sistemi olmayan, kaplan veya Francis tipi türbin kullanılan santrallerdir. Francis türbin prensip şeması Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Francis türbin

Yüksek Düşümlü HES: 50 m 'den büyük düşüsü olan, genellikle engebeli veya dağlık araziden akan nehirler veya barajlar üzerinde kurulan santrallerdir. Debiler değişiktir, yaklaşım kanalı ve tüneli vardır, uzun bir cebri borusu vardır, Francis veya Pelton tipi türbinler kullanılır. Pelton türbin prensip şeması Şekil 3.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Pelton türbin

3.2 Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre HES Çeşitleri

Temel Santraller: Devamlı olarak % 30 'un üzerinde kullanma faktörü ile enerji üreten yıllık tam yükte çalışma süreleri 5000 ila 8760 saat arasındadır. Bu tip santraller büyük güçleri karşıladıkları için büyük güçte yapılırlar.

Puant Santraller: Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu zamanlarda çalışan santrallerdir, kullanma faktörü % 30 'un altında olabilir yıllık çalışma saatleri en fazla 2000 saat civarındadır. Enerji talebinin fazla olduğu akşam saatlerinde ve kış mevsiminde kullanılırlar.

3.3 Kapasitelerine Göre HES Çeşitleri

Büyük ölçekli hidroelektrik sistemler: Bu sistemlerin gücü 50 MW 'ın üzerindedir.

Orta ölçekli hidroelektrik sistemler: Güç bölgeleri 10–50 MW arasındadır.

Küçük hidroelektrik sistemler: Güç bölgeleri 0,5–10 MW arasındadır.

Mini ölçekli hidroelektrik sistemler: Bu sistemler ulusal enerji şebekesine daha az katkıda bulunurlar. Bunlar 100 – 500 KW güç bölgesinde çalışırlar.

Mikro ölçekli hidroelektrik sistemler: Çok daha küçük ölçekte olurlar ve ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlamazlar. Ana yerleşim bölgelerinden uzaktaki alanlarda, yani ulusal enerji şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde kullanılırlar. Güçleri, genellikle

sadece bir yerleşim yeri veya çiftlik için yeterlidir. Güç bölgeleri, 200 W 'dan başlayarak, bir grup evin veya çiftliğin aydınlatma, pişirme ve ısınma enerjisini sağlayacak şekilde, 100 kW'a kadar çıkabilir. Küçük fabrikaların veya balık çiftliklerinin enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde ve ulusal enerji sisteminin bir parçası olmaksızın çalışabilirler. Mikro hidroelektrik sistemlerde, elektrik enerjisi üretimi de şart değildir. Birçok uygulamada, mekanik enerjisinden yararlanılarak değirmen sistemlerinde kullanılabilir. Her iki kullanım için de sistem özellikleri aynıdır. Enerji literatüründe büyük HES'ler, klasik yenilenebilir kaynak grubunda ele alınırken, küçük, mini ve mikro HES'ler, yeni ve yenilenebilir kaynaklar grubuna sokulmaktadır. Küçük hidroelektrik sistemler çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır.

3.4 Yapılışlarına Göre HES Çeşitleri

Yer Altı Santrali: Topoğrafik, jeolojik, ekonomik ve emniyet nedenleri ile santral yer altında yapılır. (Hasan Uğurlu HES, Doğan kent II HES, Oymapınar HES vb.) Yer altı santrale örnek Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Hasan uğurlu HES (DSİ, 2012).

Yarı Gömülü veya Batık Santral: Açıkta yer yoksa santral dar ve kayalık bir vadide yapılacaksa, santralin yarısı yer altında, yarısı açıkta olabilir veya santral kot itibarı ile tamamen yer altında yapılabilir. (Keban HES, Yahşihan HES vb.) Yarı gömülü santrale örnek Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



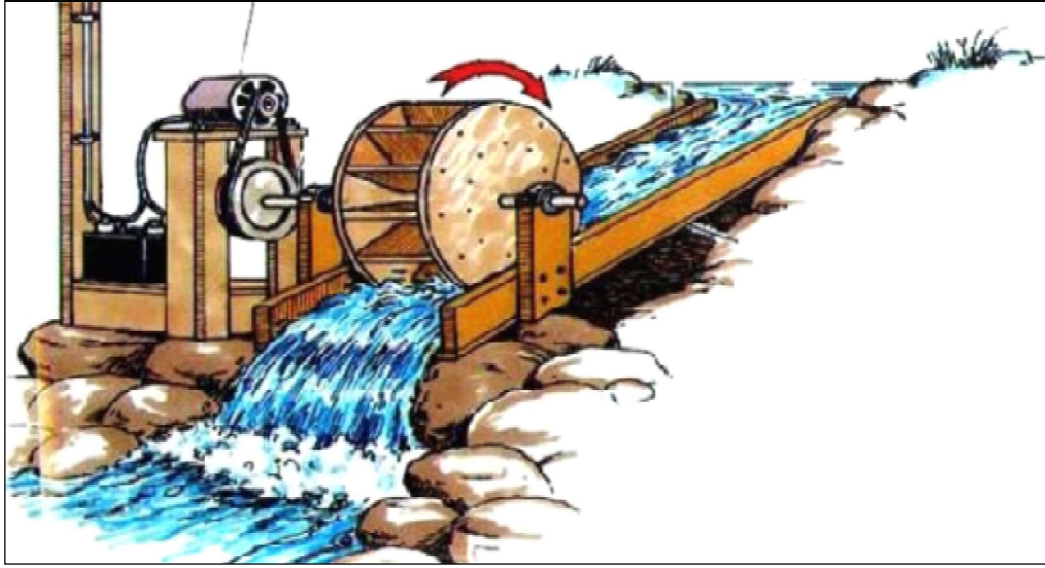
Şekil 3.5. Keban HES (DSİ, 201).

Yer Üstü Santrali: Bu santrallerde türbin ve jeneratör holü yaklaşık olarak çevre düzenleme kotunda bulunmaktadır. Bu tip bir seçimin yapılabilmesi için türbin tipinin uygunluğu ve taşkın riskinin bulunmaması gerekmektedir. Generatörler ve santral binası yerin üstündedir.

3.5 Üzerinde Kuruldukları Suyun Özelliklerine Göre HES Çeşitleri

Nehir Santralleri: Yüksek debili akarsu yataklarında, suyun hızından dolayı kazanmış olduğu kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek elektrik enerjisi üretilir. Şekil 3.6'da nehir tipi santralin prensip şeması verilmiştir. Elektrik enerjisi üretmek için baraj yapılmaz. Akarsu, bir kanal veya tünele alınarak belli bir meyil kazandırılır. Türbin ise bir köprü gibi kanalın üzerine kurulur. Barajsız HES'lerin kurulacağı akarsuyun, türbin milini çevirebilecek potansiyele ve yıllık debisinin asgari elektrik enerjisi üretimine yetecek kadar olması gerekir. Ülkemizde Dicle nehri Botan kolu üzerinde bu tarz bir sistem bulunmaktadır.

Kanal Santralleri: Bir regülatör vasıtasıyla suyun normal akış yatağından çevrilmesi ve iletim kanalı veya iletim tüneli içinden taşınarak, düşü noktasına göre yükseklik kazandırılmasıyla elektrik enerjisi üretilir. Kanal tipi veya barajsız santraller ırmak veya nehirlerin üzerinde kurulur. Bu santraller EPDK'dan lisans alındıktan sonra işletmeye geçer ve genel de kurulu güçleri 1 MW dan 50 MW'a kadar çıkabilir. Bazılarının kurulu gücü 50 MW'ı geçebilmektedir. Şekil 3.7'de kanal tipi santral görülmektedir (EPORT,2011).



Şekil 3.6. Nehir santrali



Şekil 3.7. Kanal santrali (EPORT, 2011)

Baraj Santralleri: Akarsu üzerine barajlar yapılarak (Şekil 3.8), önce büyükçe bir yapay göl meydana getirilir ve burada su biriktirilir. Bu suyun belli bir potansiyel enerjisi vardır. Dolayısıyla, kurak geçen yıllarda bile bu tip HES'lerde elektrik enerjisi üretilebilir. Barajlı HES'ler enterkonnekte sisteme uyum sağlarlar ve puant yüklerini çok rahat karşılarlar. Dünyada en yaygın kullanılan HES çeşididir. Türkiye'de bugüne kadar uluslararası ölçütlere göre baraj niteliğinde olan 504 adet depolama tesisinin yapımı gerçekleştirilmiştir. Atatürk, Keban, Altinkaya ve Karakaya HES'leri ülkemizin önemli depo tipi (barajlı) santralleridir.



Şekil 3.8. Baraj tipi santral. (DSİ,2012a)

Pompa Rezervuarlı Santraller: Şekil 3.9’da verildiği gibi iki adet rezervuarı vardır. Elektriğin birim fiyatının ucuz olduğu saatlerde türbinler pompa olarak çalıştırılarak, alt rezervuardan üst rezervuara su basılır. Enerjiye ihtiyacın ve elektrik birim fiyatının yüksek olduğu puant saatlerde, üst rezervuardan bırakılan sular alt rezervuara geçer. Tez çalışmasının konusunu oluşturan bu santraller 4.bölümde daha geniş bir biçimde incelenecektir.



Şekil 3.9.Hazneli pompalı HES

3.6 Baraj Gövdesi Tipine Göre HES Çeşitleri

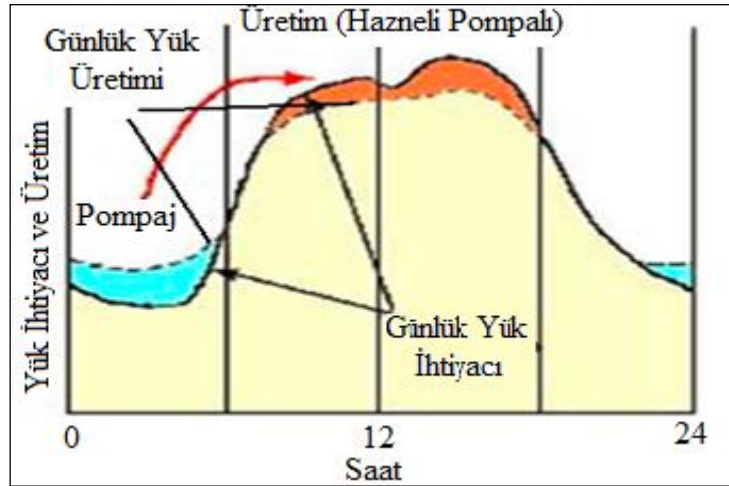
HES ’ler baraj gövdesinin tipine göre, ağırlıklı beton gövdeli barajlı, beton kemer gövdeli barajlı, kaya dolgu gövdeli barajlı ve toprak dolgu gövdeli barajlı HES ’ler şeklinde sınıflandırılabilirler.

4. HAZNELİ POMPALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER

Hazneli pompalı HES'ler enerji depolayan tesislerdir. Temel yük için gerekli güç yüksek kapasiteli ve sabit yükle çalışan termik ve nükleer santraller tarafından karşılanabilir. Bu santrallerin, tüketimin az ve elektriğin ucuz olduğu saatlerde ürettiği tüketim fazlası olan elektrik enerjisini kullanarak, Şekil 4,1'de görüldüğü gibi su bir alt haznedeki üst hazneye basılır. Üst haznedeki su, tüketimin fazla ve fiyatın yüksek olduğu saatlerde aşağı rezervuara düşürülerek elektrik enerjisi üretilir. Pompalamada kullanılan enerji miktarı aynı hacim suyun türbinlerden geçirilmesiyle elde edilen enerjiden daha fazladır. Fakat sabit yüklü santrallerin üretim fazlası enerjisi kullanıldığı için, hazneli pompalı HES'lerin puant saatlerde ürettiği enerjinin parasal değeri, üretim fazlası enerjinin üç kat değerinde olduğundan hazneli pompalı santraller inşa edilir.



Şekil 4.1. Hazneli pompalı HES (ThomasNet,2013)



Şekil 4.2. Günlük yük ihtiyacı ve üretimi (Yorgancılar ve Kökçüoğlu, 2009).

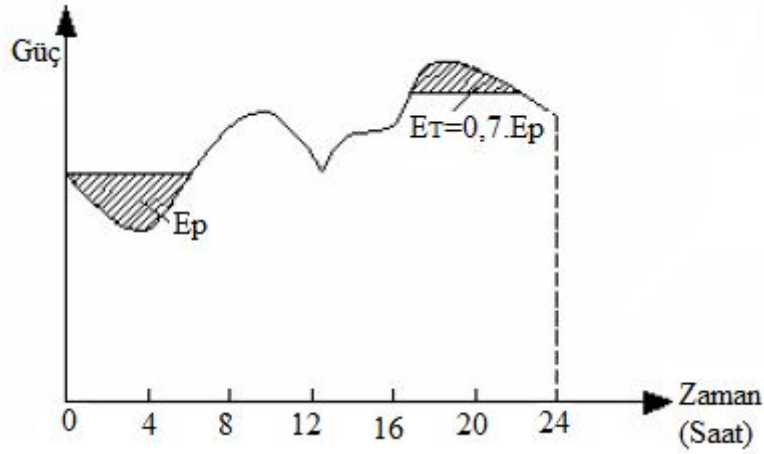
Şekil 4.2 Hazneli pompalı HES'ler hidrolik, termik ve rüzgar santrallerinden kurulu enterkonnekte sistemin günlük, haftalık veya sezonluk işletme şartlarını düzenlemekte olup, normal HES'lerde olduğu gibi nehir akımından etkilenmeyip talebin az olduğu ve enerji üretimine gerek olmadığı durumlarda durdurulabilir (Yorgancılar ve Kökçüoğlu, 2009).

4.1. Hazneli Pompalı HES'lerin Planlanması

Türkiye sistemi saatlik yük eğrisinde sabah puantı 9⁰⁰-13⁰⁰ saatleri arasındadır. Aksam puantı ise genellikle saat 16⁰⁰' da artışa geçmekte 18⁰⁰ civarında maksimum seviyeye ulaşmakta, daha sonra giderek düşmektedir. En yüksek güç çekilmesi 17⁰⁰-22⁰⁰ saatleri arasındadır. Bu durum sonuçta çok zamanlı (puant) elektrik satış tarifeleri uygulamasını gündeme getirmiş, sistem yük eğrisindeki tepe noktalarının günün diğer saatlerine kaydırılmasına çalışılmıştır. En pahalı elektrik üretimi bu saatler arasında oluşmaktadır. Hazneli pompalı HES'ler günlük haftalık ve sezonluk biriktirmeler şeklinde planlanabilmektedir.

Günlük Biriktirme: Günlük çevrimde, puant saatlerde üretimde kullanılan suyun tamamı aynı gün puant dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır. Şekil 4.3'te bir günlük enerji tüketimi verilmiştir. Gece saatlerinde (22:00 – 06:00) güç santrallerinin ürettiği enerji tüketimden fazladır. Bu saatler arasında üretilen enerji ile üst hazneye su basılır. Puant saatlerde üst haznedeki su türbinlerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu örnekte puant yükün % 72'si hazneli pompalı HES tarafından karşılanmaktadır. Pompalamada kullanılan enerji alttaki taraflı alanlarda kWh olarak verilmiştir. Üretilen elektrik enerji

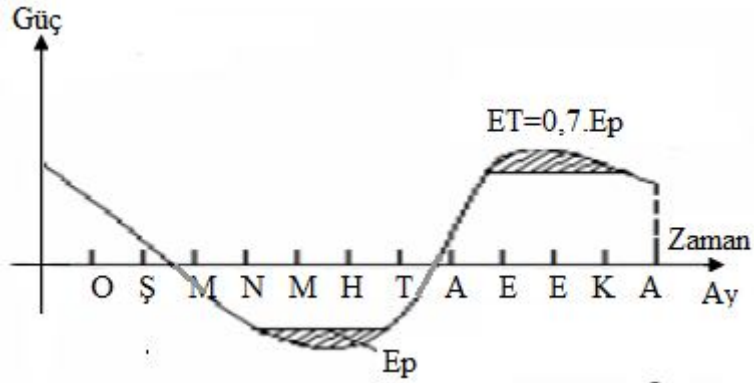
ise üstteki taralı alandır. Enerjinin dönüşümünden dolayı tüketilen enerji üretilen enerjiden daha fazladır (Öziş, 1991).



Şekil 4.3. Günlük yük değişiminin hazneli pompalı santralle karşılanması (Öziş, 1991).

Haftalık Biriktirme: Haftalık çevrimde ise, hafta içi günlerde puant saatlerde üretimde kullanılan suyun bir kısmı aynı gün puant dışı saatlerde üst rezervuara pompalanır, hafta içi günlerin sonunda tamamen boşalan üst rezervuar hafta sonu günlerinde (Cumartesi, Pazar) puant dışı saatlerde pompa yapılarak tekrar doldurulur. Bu santralde puant yükün % 82'si hazneli pompalı HES'lerden karşılanmaktadır. Hazne hacimleri oldukça büyüktür.

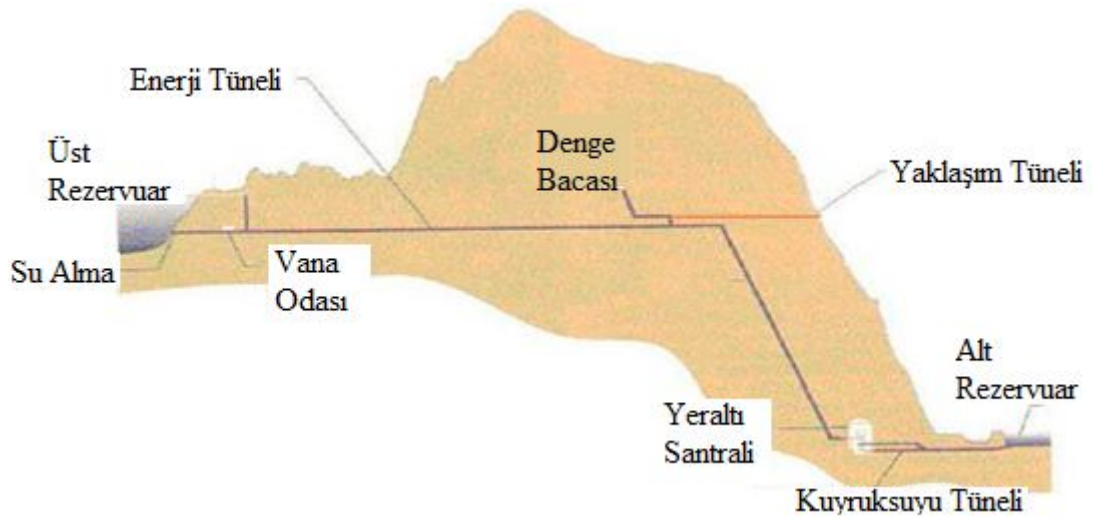
Sezonluk Biriktirme: Sezonluk biriktirmede ise nehir akımının ve enerjinin fazla olduğu dönemde su, üst rezervuara pompalanır ve akımın az olduğu dönemde üst rezervuarda depolanan sudan firm enerjiyi arttırmak için enerji üretilir. Şekil 4,4'te mevsimlik (yıllık) düzenlemeli bir hazneli pompalı HES verilmiştir. Tüketimin minimum değeri haziran ayında ve maksimum değeri şubat ayındadır. Sistemde nisan ve temmuz ayları arasındaki fazla enerji üretimi ile kış aylarındaki (ocak ve şubat) puant tüketim karşılanmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi puant tüketimin % 82'si hazneli pompalı HES'lerden karşılanmaktadır. Pompalama için kullanılan elektrik enerjisinin her zaman üretilen elektrik enerjiden fazla olduğu unutulmamalıdır (Öziş, 1991).



Şekil 4.4. Mevsimsel yük dağılımı (Öziş, 1991).

4.2.Hazneli Pompalı HES'lerin Temel Bileşenleri

Hazneli pompalı HES'ler orta ve yüksek düşümlü santrallerle aynı kısımlardan oluşur (Şekil 4.5). Bu tip santrallerde unutulmaması gereken boru aksamındaki akımın çift yönlü olmasıdır. Membadan başlayarak bir hazneli pompalı HES'de yer alan kısımlar ve bunların temel özellikleri aşağıda verilmiştir (YGM, 2012).



Şekil 4.5. Hazneli pompalı HES'lerin temel bileşenleri (YGM, 2012).

Üst Hazne: Hazneli pompalı santralin üst rezervuarlar inşa edilecek havuzlar dışında nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı veya deniz olabilir. Hazneli pompalı HES'lerde üst hazneler genellikle üç tipte inşa edilir. Şekil 4.6'da akarsu yatağına baraj yapılarak su haznesi oluşturulur. Baraj yapılacak arazinin jeolojik, topografik ve bölgede bulunan malzemeye bağlı olarak betonarme, toprak veya kaya dolgu tipinde olur.



Şekil 4.6. Hazneli pompalı HES'lerde üst hazneler.

Şekil 4.7'de bir dağ veya tepe üzerinde bulunan nispeten çukur bir alanın etrafına seddeler yapılarak hazne oluşturulur. Gerekli hazne hacmine bağlı olarak sedde yükseklikleri tespit edilir. Seddeler toprak veya betonarme olarak inşa edilir.



Şekil 4.7. Hazneli pompalı HES'lerde üst hazneler.

Şekil 4.8'de bir dağ veya tepe üzerinde hafriyat yapılarak gerekli hazne hacmini sağlayacak şekilde oluşturulan yapay hazneler genelde daire planlıdır. Hazne yan duvarlarının şev eğimi zeminin özelliğine bağlıdır. Yan duvarların ve tabanın geçirimsizliği sağlanmalıdır. Yapay haznelerin üstünlükleri şunlardır;



Şekil 4.8. Hazneli pompalı HES’lerde sunî gölet

Alt hazneye planda en yakın alanı seçmek olanağı vardır. Bunda amaç aynı bir H düşü yüksekliği için basınçlı boru boyunu (L) kısaltmaktır (daha küçük L/H oranı). Hazneli pompalı HES’ler tepe üstünde inşa edildikleri için arazi değeri oldukça düşük olup, genelde yerleşme bölgeleri ve kara yollarına uzak olup kamulaştırma bedeli de oldukça düşük olur. Bir barajla oluşturulan hazneye göre hazne içindeki su seviye salınımları belli sınırlar içinde tutulabilir. Yapay haznelere göre su sızdırma sorunları ortaya çıkarır. Bunun nedeni ise yapay hazne taban kazıları sırasında geçirimsizliği çok zemin ortaya çıkacaktır. Bu gibi durumlarda hazne şevleri ile tabanının da asfalt, beton veya geomembran gibi değişik malzemelerle kaplanmalıdır. Yüksekliği az seddeler genelde toprak veya kayalarla yapılır. Bu seddelerin iç yüzleri sızmaya karşı kaplanır. Buharlaşma kayıplarının ise alt hazneden ilaveten karşılanması gereklidir. Çok soğuk bölgelerde buzlanma olayını dikkate almak gerekir. Eğer sedde yan yüzleri eğimi oldukça az ise suyun havayla temas eden yüzey alanı artar ve buralarda buzlanmalar görülür, burada biriken buz kalınlığı bölgeye göre 10 – 50 cm arasındadır. Havanın ısınması ve su seviyesinin düşmesiyle bu buz tabakaları kayarak sedde kaplamasının yırtılmasına neden olur. Aynı zamanda su alma ağzına da zarar verir. Çok soğuk bölgelerde seddeleri düşey yapmak buna bir çözümdür. Büyük haznelerde az eğimli seddelerde rüzgârdan oluşan dalga tırmanma yükseklikleri dikkate alınmalıdır. Günlük haznelerde su dolumu ve boşalımı hızlı ve tekrarlanan bir olay olduğundan, eğer seddelerin kaplaması arkasında zemin içinde su varsa, kaplamanın patlamasına neden

olabilir. Günlük hazneli pompalı HES' in seddeleri bu olay göz önünde tutularak inşa edilmelidir.

Alt Hazne: Alt haznelerin yapılması daha kolaydır. Bölgede doğal bir göl veya deniz varsa bu amaçla kullanılabilir. Genellikle akarsu üzerinde bir baraj veya bağlama yapılarak hazne oluşturulur. Debisi yüksek ve akımı düzenli akarsulardan hiçbir biriktirme yapısı yapmadan da su alınarak üst hazneye basılabilir. Bu durumda şu koşullara dikkat edilmelidir. Akarsu su seviye değişimleri ve derinliği pompanın emme yüksekliğini sağlayacak şekilde olmalıdır.

Sualma Ağızı: Pompa biriktirmeli santrallerde, üst hazneden su alma yapısı genellikle bir su alma kulesi, bazen yamaçtan tünel girişi şeklinde tertiplenerek, üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilir.

İletim Yapısı: İletim yapısı ise cebri boru veya özellikle yeraltı santralli hazneli pompalı HES'lerde iletim yapısı olarak shaft ve enerji tüneli kullanılır, santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da kuyruksuyu tüneli ile sağlanmaktadır. Tek cebri boru daha ucuz bir çözümdür, ama sonradan türbin ya da pompa önceliği belirlenmelidir. Çift cebri boru ise işletmede esneklik ve türbine ihtiyaç duyulduğunda hızlı yanıt sağlar.

Denge Bacası: Galeriler basınçlara karşı hassastırlar, bu nedenle türbin vanalarının kapatılması sonucunda doğan aşırı basınçların galeriye intikalini önlemek veya çok küçük düzeyde intikalini sağlamak için denge bacası inşa edilir.

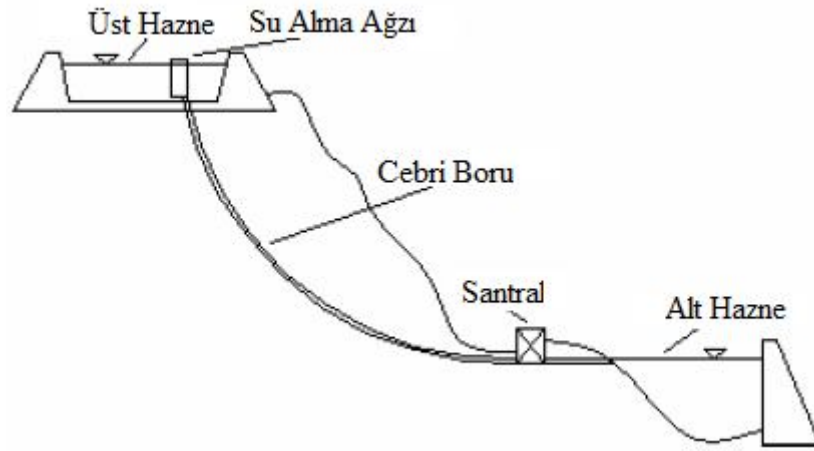
Santral Odası: Mansap su seviyesi fazla oynamıyorsa kuvvet santralinde makineler yatay eksenli olarak düzenlenmektedir. Böylece daha alçak bir yapı, az temel kazısı, kolay montaj gibi faydalar sağlanmakta; buna karşılık santral boyu uzamakta, elektrik makinelerinin sızan sulardan korunması özel itina istemektedir. Mansap su seviyesi büyük oynamalar gösteriyorsa makineler düşey eksenli düzenlenmektedir. Böylece santral boyu kısalmakta, elektrik makineleri yukarıda olduğundan sızan sulara karşı korunmaları kolaylaşmakta; buna karşılık derin kazılara ve yüksek yapılara gidilmesi gerekmektedir.

Kuyruksuyu Kanalı: Türbinlenen suyun alt rezervuara iletilmesini ve pompalanacak olan suyun alt rezervuardan alınmasını sağlar. Bu kısımların hepsi bütün santrallerde olması gereken kısımlardır. Hazneli pompalı HES'lerde genelde basınçlı boru doğrudan üst hazneye bağlandığından basınçlı galeri, denge bacası ve ayrı bir vana odası gerekmez.

4.3. Hazneli Pompalı HES Çeşitleri

4.3.1 Tek İletim Yapılı Hazneli Pompalı HES

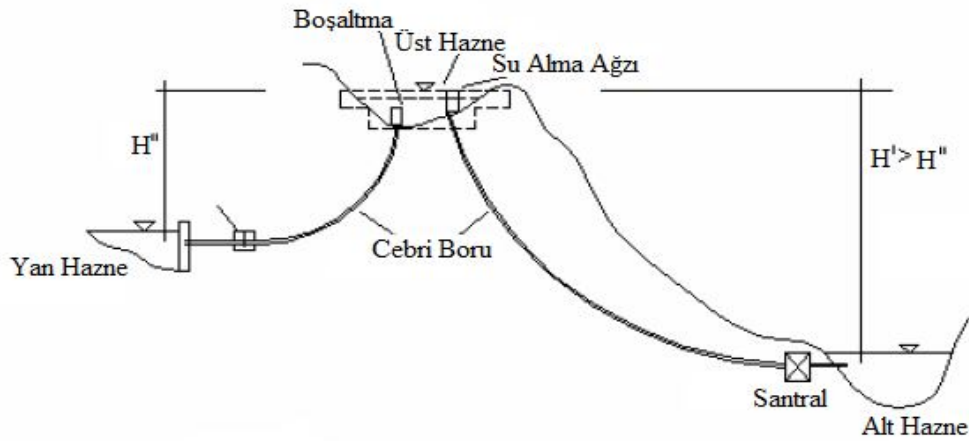
Hazneli pompalı HES'lerin uygulamada en çok rastlanılan tertibi, gerek enerji üretiminde, gerekse suyun yükseltilmesinde aynı iletim hattının kullanıldığı tesislerdir (Şekil 4.9). Bu tür santrallerde, üretilen enerjinin tüketilen enerjiye oranı olarak tanımlanan genel verim 0,7 mertebesinde bulunmakta; ancak, belirtildiği gibi zirve güç talebinin karşılanmasında sistemin gücüne önemli katkı sağlamaktadır (Çeçen, 1983).



Şekil 4.9 Tek iletim yapıları hazneli pompalı HES (Çeçen, 1983).

4.3.2 Farklı İletim Yapılı Hazneli Pompalı HES

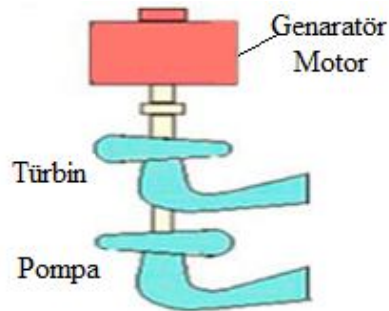
Suyu, enerji üretiminde değerlendirilen daha küçük bir düşü ile başka bir kesimden yükseltme olanağının bulunması halinde, farklı iletim hatlarına sahip hazneli pompalı tesisler kurulmaktadır (Şekil 4.10). Bu tür tesislerde iki düşünün farkı çok büyükse, sürekli pompa yapılmak suretiyle, puant güç talebinin karşılanmasında başka ek enerji üretimi de sağlanabilmekte; genel verim 1,0'in üzerine de çıkabilmektedir (Öziş, 1991).



Şekil 4.10. Farklı iletim yapıları hazneli pompalı HES (Öziş, 1991).

4.3.3 İki Hidrolik Makineli Hazneli Pompalı HES

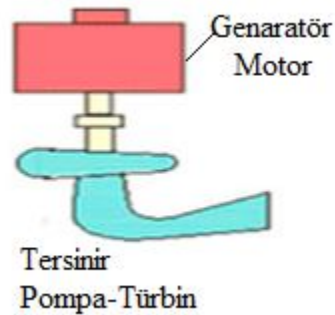
Hazneli pompalı HES'lerde türbin ayrı, pompa ayrı makineler olarak düzenlenebilir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Çift tip ünite

4.3.4. Tek Hidrolik Makineli Hazneli Pompalı HES

Hazneli pompalı HES'lerde türbin ayrı, pompa ayrı makineler olarak tertiplenebileceği gibi, her iki yönde çalışan tek makine kullanılması da mümkün olmaktadır (Şekil 4.12). (Yorgancılar ve Kökçüoğlu, 2009)



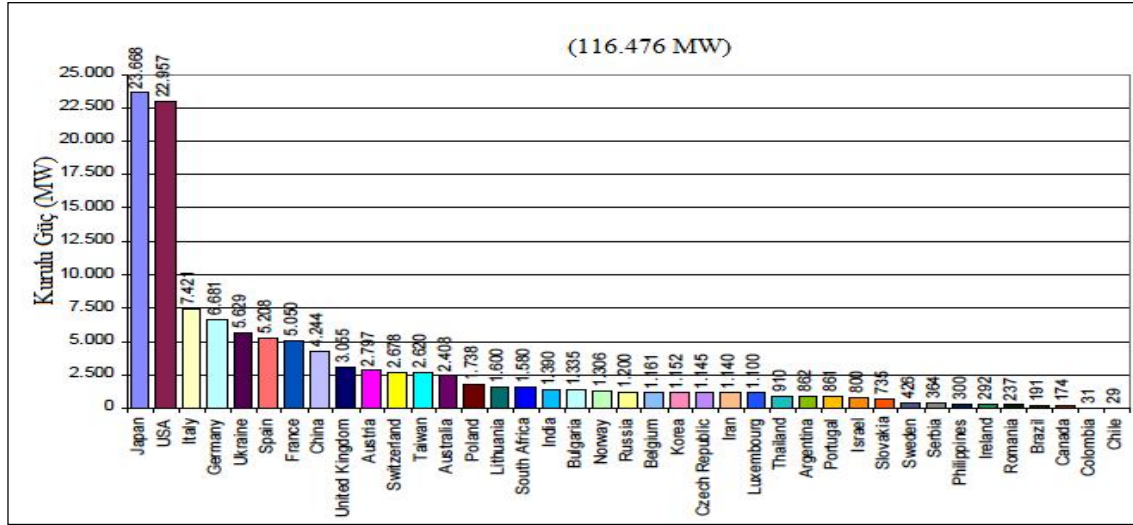
Şekil 4.12. Tersinir ünite

4.4. Hazneli Pompalı HES'lerin Dünyadaki Durumu

İlk hazneli pompalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'dedir. Dünyada işletme halindeki 290 adet hazneli pompalı HES'in kurulu gücü 116.476 MW tır. İnşa halindeki 42 adet hazneli pompalı HES'in kurulu gücü ise 30.000 MW' tır. Ülke bazında işletmede olan hazneli pompalı HES kurulu güçleri Çizelge 4.1 ve Şekil.4.13'te verilmiştir (Saraç, 2009).

Çizelge 4.1. Hazneli pompalı HES'lerin dünyadaki durumu (Saraç, 2009).

Sıra No	Ülke Adı	Kurulu Güç (MW)	Sıra No	Ülke Adı	Kurulu Güç (MW)
1	Japonya	23.668	21	İngiltere	3.055
2	ABD	22.957	22	Avusturya	2.797
3	İtalya	7.421	23	İsviçre	2.678
4	Almanya	6.681	24	Tayvan	2.620
5	Ukrayna	5.629	25	Avustralya	2.408
6	İspanya	5.208	26	Polonya	1.738
7	Fransa	5.050	27	Litvanya	1.600
8	Çin	4.244	28	G.Afrika	1.580
9	Hindistan	1.390	29	İsrail	800
10	Bulgaristan	1.335	30	Slovakya	735
11	Norveç	1.306	31	İsveç	426
12	Rusya	1.200	32	Sırbistan	364
13	Belçika	1.161	33	Filipinler	300
14	Kore	1.152	34	İrlanda	292
15	Çek Cumhuriyeti	1.145	35	Romanya	237
16	İran	1.140	36	Brezilya	191
17	Lüksemburg	1.100	37	Kanada	174
18	Tayland	910	38	Kolombiya	31
19	Arjantin	862	39	Şili	29
20	Portekiz	861	TOPLAM: 116.476 MW		



Şekil 4 .13. Dünya ülkelerinde hazneli pompalı HES potansiyeli (Saraç, 2009).

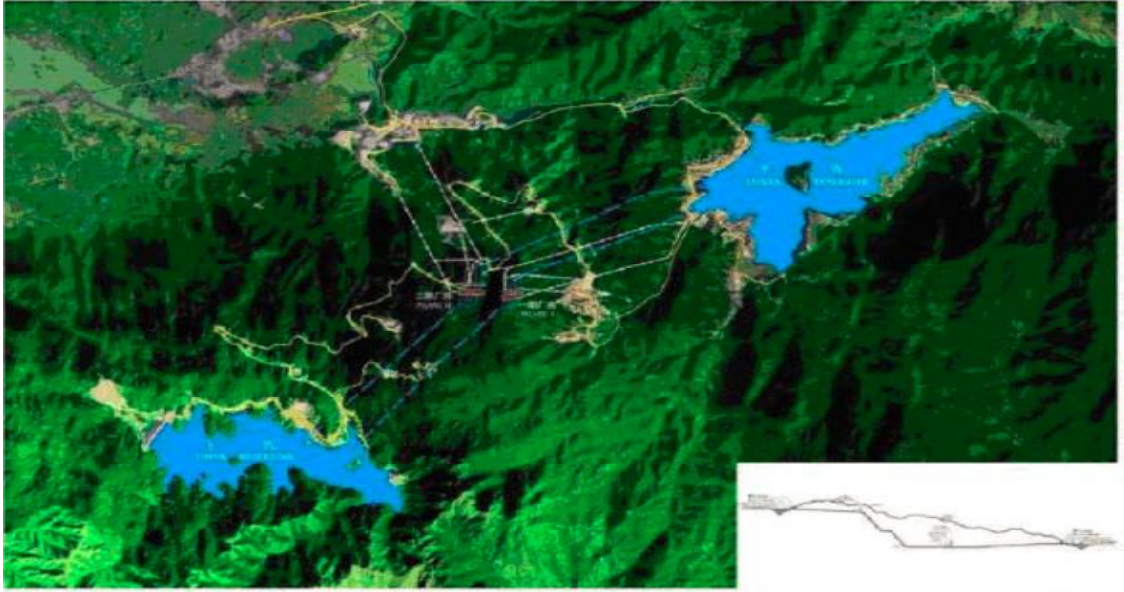
Dünyadaki örnek hazneli pompalı HES'lerden bazıları şunlardır;

İngiltere – Dinorwig hazneli pompalı santrali: Şekil 4.14'te verilen 890 MW kurulu gücü ile İngiltere'nin en büyük pompalı sistemi olan, işletme ve puant yükteki düzenleyici özelliğiyle bugün bile hala dünyada tanınan ve Avrupa'da en büyük tesisidir. Tersinir türbinleri 16 sn den kısa bir sürede tam kapasite güce geçiş yapabiliyor.



Şekil 4.14 . Dinorwig hazneli pompalı HES'in kesiti.

Çin – Guangzhou hazneli pompalı santrali: Şekil 4.15'te gösterilen dünyadaki en büyük hazneli pompalı santraldir. İstasyonun sekiz adet tersini pompa/türbinlerinden toplam 2400 (8.300) MW kurulu güç elde edilir.



Şekil 4.15. Guangzhou hazneli pompalı HES'in görünümü.

Amerika – Ludington hazneli pompalı HES'i:1969 ve 1973 yılları arasında inşa edildiğinde dünyadaki en büyük hazneli santraldi. Michigan gölü kenarında 34 m derinliğinde, 4 km uzunluğunda ve 6 km genişliğinde hacmi 100 milyon m³ olan bir hazneden oluşur (Şekil 4.16). Toplam kurulu gücü 1872 MW olan her biri 312 MW gücünde 6 adet tersinir türbini ve her biri 340 m uzunluğundaki 6 adet cebri borusu vardır.



Şekil 4.16. Amerika – Ludington hazneli pompalı HES

Japonya – Okinawa hazneli pompalı HES’i: Japonya’nın etrafı denizlerle çevrilidir. Topografyası deniz suyu hazneli pompalı HES’i inşası için oldukça elverişlidir. Şekil 4.17’de verilen Okinawa santrali dünyanın ilk deniz suyu hazneli pompalı HES’i dir.Proje debisi $26 \text{ m}^3/\text{sn}$, yüksekliği 136 m olup kurulu gücü 30 MW dır.



Şekil 4.17. Japonya – Okinawa hazneli pompalı HES

4.5. Hazneli Pompalı HES’lerin Türkiye’deki Mevcut Durum

Ülkemizde elektrik enerjisindeki kurulu güç artışına paralel olarak yükselen enerji talebinin bir sonucu olarak günlük puant güç ihtiyacı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Gün içinde talebe bağlı olarak artan puant güç ihtiyacının karşılanmasında bütün dünyada hazneli pompalı HES’ler puant santral olarak işletilmektedir. Ülkemizde ilk kez EİE genel müdürlüğü tarafından hazneli pompalı HES çalışmalarına 2005 yılında başlanmıştır. Artan enerji ihtiyacı ve puant güç talebi göz önüne alınarak hazneli pompalı HES’lerin diğer sistemlerle de entegre edilerek çalıştırılması ve ülke çapında yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Ülkemizde ilk etüt seviyesinde hazırlanan bu projelerin toplam kurulu gücü yaklaşık 15000 MW’ tır. Hazneli pompalı HES’ler genel olarak puant talebin karşılanması amacıyla planlanmaktadır. Ülkemiz hidroelektrik potansiyelinin önemli bir kısmı (36.000 MW) barajlı HES’lerdir. Hazneli pompalı HES’ler hakkında EİE genel müdürlüğü olarak önemli çalışmalar yapılmaktadır. 2009 yılında yapılan çalışmalarla hazneli pompalı HES proje sayısı 16 adede ulaşmıştır. Çizelge 4.2’de bu projelere ait değerler verilmiştir. Bu Projenin bazılarının detayları şunlardır:

Çizelge 4.2. İlk etüt seviyesinde çalışılan projeler (Karaçay, 2010).

Proje Adı	Yeri	Kurulu Güç (MW)	Proje Debisi (m ³ /sn)	Düşü (m)
Kargı HPES	Ankara	1000	238	496
Sarıyar HPES	Ankara	1000	270	434
Gökcekaya HPES	Eskişehir	1600	193	962
İzmit-I HPES	Bursa	1500	687	255
İzmit-II HPES	Bursa	500	221	263
Yalova HPES	Yalova	500	147	400
Demirköprü HPES	Manisa	300	166	213
Adıgüzel HPES	Denizli	1000	484	242
Burdur Gölü HPES	Burdur	1000	316	370
Eğirdir Gölü HPES	Isparta	1000	175	672
Karacaören-II HPES	Burdur	1000	190	615
Oymapınar HPES	Antalya	500	156	372
Aslantaş HPES	Osmaniye	500	379	154
Bayramhacılı HPES	Kayseri	1000	720	161
Yamula PHES HPES	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu HPES	Samsun	1000	204	570

Bayramhacılı Hazneli Pompalı HES: Bayramhacılı hazneli pompalı HES Kayseri il sınırları içerisinde. İlk etüt seviyesinde 1000 MW Kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in alt rezervuarı Bayramhacılı Barajı, üst rezervuarı ise 161 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede, 305 m şaft ve 160 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli $650 \cdot 10^6$ \$'dır (Karaçay, 2010).

Hasan Uğurlu Hazneli Pompalı HES: Hasan Uğurlu hazneli pompalı HES Samsun il sınırları içerisinde. İlk etüt seviyesinde 1000 MW Kurulu gücündeki Hazneli pompalı HES'in üst rezervuarı 570 m yükseklikte beton kaplamalı havuzu, alt rezervuarı ise Hasan Uğurlu Barajıdır. Projede 635 m şaft ve 965 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli $660 \cdot 10^6$ \$'dır (Karaçay, 2010).

Adıgüzel Hazneli Pompalı HES: Adıgüzel hazneli pompalı HES Denizli il sınırları içindedir. İlk etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in üst rezervuarı 242 m yükseklikte beton kaplamalı havuz, alt rezervuarı ise Adıgüzel Barajıdır. Projede 216 m cebri boru, 303 m şaft ve 447 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli $635 \cdot 10^6$ \$'dır (Karaçay, 2010).

Kargı Hazneli Pompalı HES: Ankara il sınırları içerisinde. İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in, üst rezervuarı 513 m yükseklikte

sıkıştırılmış kil havuzu, alt rezervuarı ise Kargı Barajıdır. Projede 1815 m cebri boru, 367 m şaft ve 580 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 670.10^6 \$'dır (Karaçay, 2010).

Yalova Hazneli Pompalı HES: Yalova il sınırları içerisindedir. İlk Etüt seviyesinde 500 MW Kurulu gücündedir. Alt rezervuarı Yalova Regülâtörü, üst rezervuarı ise 400 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 800 m şaft ve 300 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 320.10^6 \$'dır (Karaçay, 2010).

Yamula Hazneli Pompalı HES: Yamula hazneli pompalı HES Kayseri il sınırları içerisindedir. İlk etüt seviyesinde 500 MW Kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in alt rezervuarı Yamula Barajı, üst rezervuarı ise 260 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 1540 m cebri boru, 80 m şaft ve 300 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 430.000.000 US\$'dır (Karaçay, 2010).

Oymapınar Hazneli Pompalı HES: Oymapınar hazneli pompalı HES Antalya il sınırları içerisindedir. İlk etüt seviyesinde 500 MW Kurulu gücünde hazneli pompalı HES'in alt rezervuarı Oymapınar Barajı, üst rezervuarı ise 372 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede, 419 m şaft ve 500 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 320.10^6 US\$'dır (Karaçay, 2010).

Aslantaş Hazneli Pompalı HES: Aslantaş hazneli pompalı HES Osmaniye il sınırları içerisindedir. İlk etüt seviyesinde 500 MW Kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in alt rezervuarı Aslantaş Barajı, üst rezervuarı ise 154 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 875 m cebri boru ve 225 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 410.10^6 US \$'dır (Karaçay, 2010).

Demirköprü Hazneli Pompalı HES: Demirköprü hazneli pompalı HES Manisa il sınırları içerisindedir İlk etüt seviyesinde 300 MW kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in alt rezervuarı Demirköprü Barajı, üst rezervuarı ise 215 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 473 m cebri boru, 157 m şaft ve 832 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 220.10^6 US\$'dır (Karaçay, 2010).

Sarıyar Hazneli Pompalı HES: Sarıyar hazneli pompalı HES Ankara il sınırları içerisindedir. İlk etüt seviyesinde 1000 MW Kurulu gücündeki hazneli pompalı HES'in üst rezervuarı 435 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Alt rezervuarı ise Sarıyar Barajıdır. Projede 595 m cebri boru, 387 m şaft ve 815 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 650.10^6 US \$'dır (Karaçay, 2010).

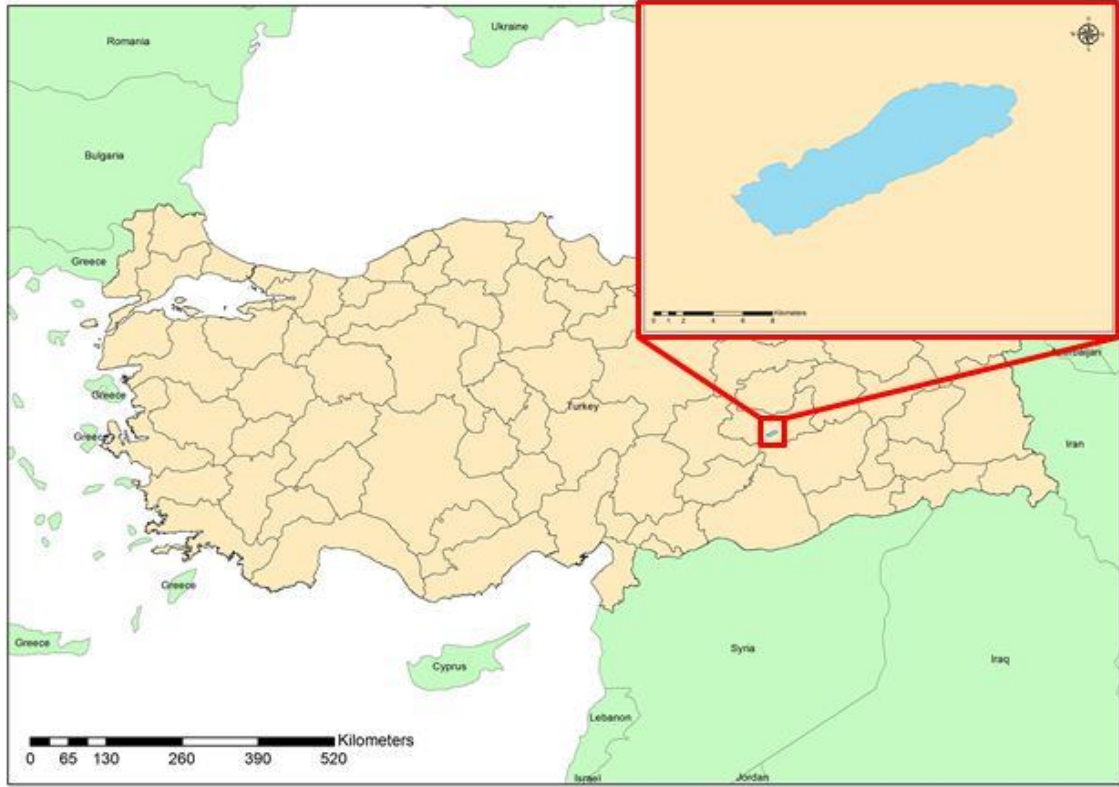
5.UYGULAMA

Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığından 1/25.000 ölçekli 4 adet raster ve vektör haritalar, Hazar Gölü ve çevresinin mekânsal analizleri (spatial analysis), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS-ArcGIS 10-Geographic Information System-GIS) yazılımı (Anonim, 1992a; 1992b). ile analiz edilmiştir. Havzanın meteorolojik özelliklerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma, nisbi nem, rüzgâr, vb.) uzun dönemli (41yıl) büyüklüklerin belirlenmesi için gerekli veriler, DMİ'den temin edilmiştir.

5.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Çalışma Alanı: Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümünde, Elazığ il sınırı içerisinde bulunmaktadır. Elazığ'ın 22 km güneydoğusunda yer alan Hazar Gölü, Güneydoğu Toros Dağları arasındaki bir çöküntüyü işgal etmiştir. Göl, 274,9 km² lik göl havzası ve 82,5 km² lik su yüzeyine sahiptir. Güneybatı-kuzeydoğu istikametinde ortalama 20 km uzunluğunda, güneydoğu-kuzeybatı istikametinde ortalama 5,4 km genişliğindedir. Havzanın en düşük noktası; göl kod'unda 1237 m, en yüksek noktası; Gökçen Tepe zirvesinde 2347 m dir. Belli başlı dağ ve tepeler; gölün güneyinde Hazarbaba Dağı (2347 m), kuzeydoğusunda Mastar Dağı (2171 m), güneybatısında Kauymışlık Dağı (2016 m), batısında Kuşakçı Dağları (1908 m), kuzeyinde Çelemlik Dağı (1658 m) bulunmaktadır. Ayrıca Çataltaş Tepe (2070 m), Baklaya Tepe (1747 m), Acevsüzağa Tepe (1404 m), Koyunluk Ziyareti Tepe (1658 m), Yıldırım Taşı Tepe (1470 m), Cevrani Tepe (1647 m), Kuresevi Tepe (1681 m), Siselek Tepe (1544 m), Beyaztaş Tepe (1599 m), Meteris Tepe (1497 m), Hılvari Tepe (1966 m), Kırdım Tepe (1499 m), Hoştoziyaret Tepe (2097 m) ve Ziyaret Tepe (1824 m) ile kuşatılmıştır (Özdemir, 1995). Göl havzası, doğudan göle dökülen Zikkım Deresi ile Keban Baraj Gölüne (baraj yapılmadan önce Fırat Nehrinin büyük kollarından biri olan Murat Nehrine) dökülen Kumyazı Deresi arasındaki plato eşiği ile sınırlanmaktadır. Gölün batı bölümünde yer alan üç önemli eşik, göl ile diğer havzalar arasındaki sınırı belirler. Bunlar; Uluova ile Sivrice arasındaki Kazgediği plato eşiği, batıdaki Kavak Ovası ile Gözeli Ovası arasındaki plato eşiği, Kürk Çayı ile Karakaya Baraj Gölüne dökülen Bölük Dere arasındaki yüksek plato eşikleridir. Belirtilen eşikler günümüzde olduğu gibi, tarihi dönemlerde de havzayı çevredeki yerleşmelere bağlayan önemli yolların geçtiği gediklerdir.

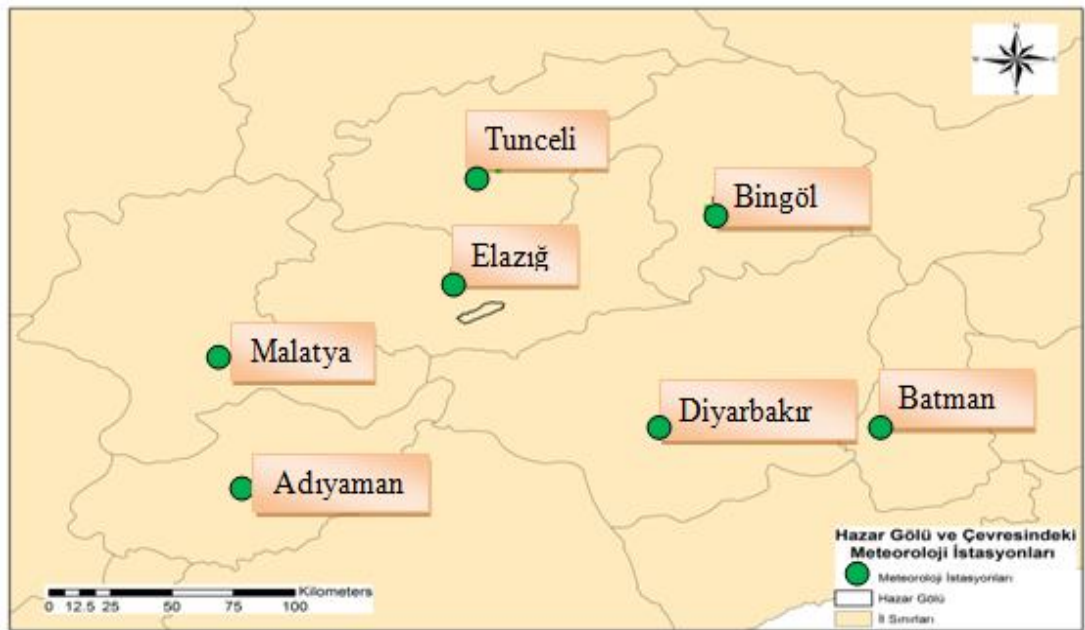
Şekil 5.1’de Planlanan çalışma alanının konumu gösterilmektedir. Bu çalışma alanının coğrafi koordinatları; 38°29’58.8’’ K boylamları ile 39°20’27.16’’ D enlemindedir.



Şekil 5.1. Çalışma alanı

Hazar Gölü ve çevresinin kendine özgü bir tektonik yapısının olduğu kabul edilir. Hazar Gölünün genel olarak doğrultu atımlı sol yönlü bir fay zonu olan Doğu Anadolu Fay (DAF) zonu üzerinde meydana gelmiş bir çek-ayır (pull-apart) havza olduğu görüşü benimsenmektedir. Gölün çevresindeki jeolojik yapıyı, gölsel depolar, deltalar ve birikinti konilerinden oluşan Kuvaterner yaşlı genç çökeller ayrı tutulursa, 3 büyük birim meydana getirmektedir (Tatar, vd., 1995). Bunlardan Yüksekova karmaşığı, genellikle temelalt, diyatemel, granodiyorit ve tüfitlerle temsil edilmekte olup, kuzey ve kuzeybatı da geniş bir yayılım göstermektedir. Gölün doğu ve kuzeydoğusunu çevreleyen Hazar formasyonu bir fliş fasiyesinde olup, kireçtaşı-şeyl ve kumtaşı araldanmasıdır. Maden karmaşığı ise, gölün güneyinde mostra vermekte, batıdan doğuya doğru önce spilit, temelalt ve diyorit, daha sonra ise kireç taşı, kumtaşı ve şeyl’e geçmektedir (Tonbul ve Yiğit, 1995).

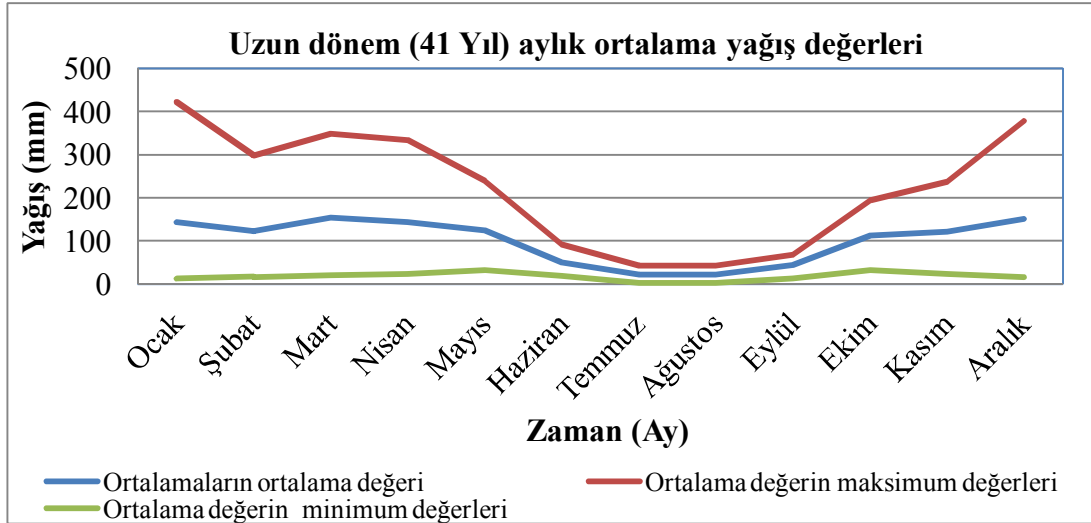
Hazar Gölü ve Çevresinin İklimi: Hazar Gölü, Doğu Anadolu bölgesinin diğer kesimlerine oranla daha az karasal olan ve yukarı Fırat bölümünün batı yarısında hüküm süren iklim ile Akdeniz ve Doğu Anadolu karasal iklimleri arasında bir geçiş sahasında yer almaktadır. İnceleme alanının coğrafi konumu ve yer şekillerine bağlı olarak yöresel iklimi, yazları çevresine göre daha serin ve daha az kurak, kışları ise daha yağışlı ve biraz daha soğuktur. Diğer taraftan yağışın yıl içerisindeki dağılımına bakıldığında, en yağışlı mevsimin kış ve ilkbaharlara rastlaması (Sivrice’de yıllık yağışın yaklaşık % 75’i, kış ve ilkbahar aylarında görülmektedir) özelliğinden dolayı Akdeniz yağış rejimine benzer bir özellik arz etmektedir.



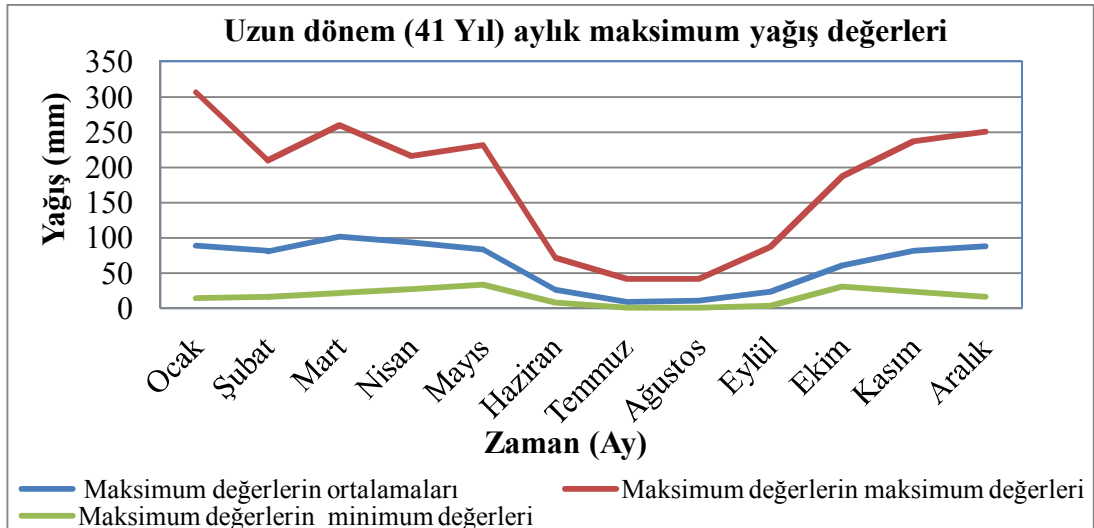
Şekil 5.2. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonları

Şekil 5.2’de gösterilen meteoroloji istasyonlarının verileri 1970-2011 yıllarını kapsamaktadır. Bu veriler DMI’den temin edilmiştir. Alınan bu veriler ilk olarak Excel ortamında analiz edilerek uzun yıllara dayalı (41 yıl) aylık minimum, ortalama ve maksimum yağış, sıcaklık ve buharlaşma değerleri hesaplanmıştır.

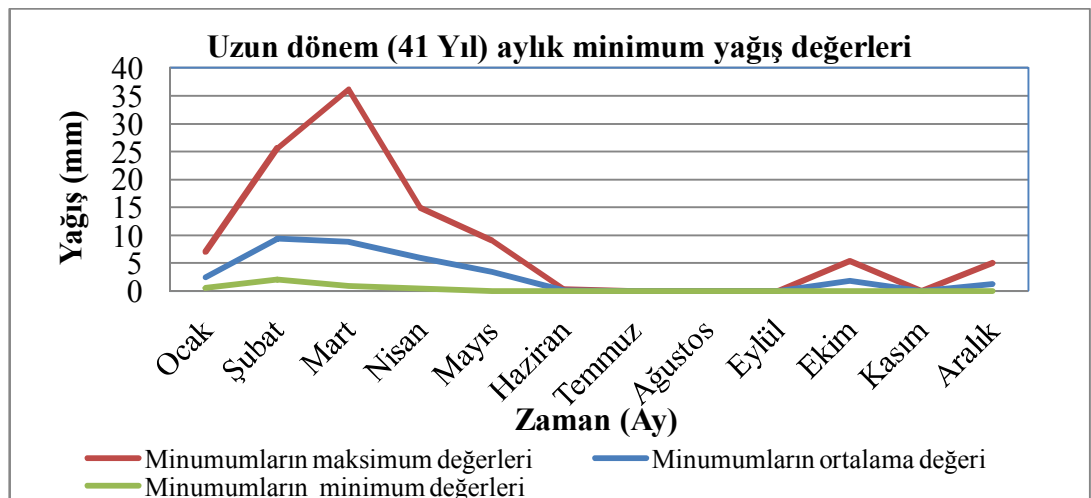
Yağış Değerleri: DMI’den alınan yağış değerleri analiz edilerek Excel ortamında Şekil 5.3’te aylık ortalama yağış grafiği, Şekil 5.4’te aylık maksimum yağış grafiği, Şekil 5.5’te aylık minimum yağış grafiği çizilmiştir. Daha sonra bu veriler CBS veri tabanına geçirilerek konumsal interpolasyonu yapılarak IDW (Inverse Distance Weighting) metoduna göre dağılımı yapıp Şekil 5.6’da gösterilen Hazar Gölü yıllık toplam yağış dağılım haritası çıkarılmıştır.



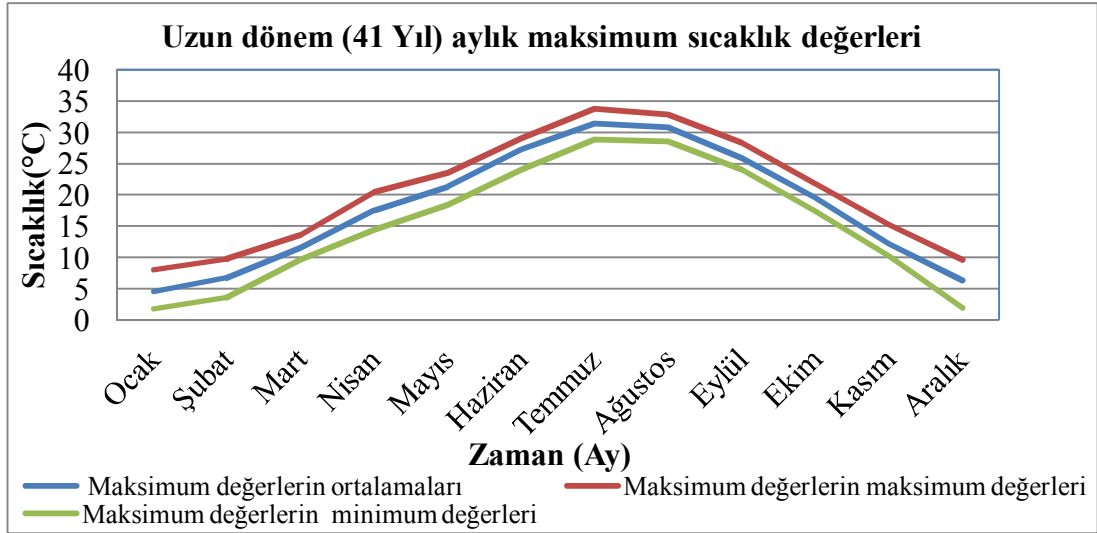
Şekil 5.3. Hazar Gölü ve çevresinin aylık ortalama yağış grafiği



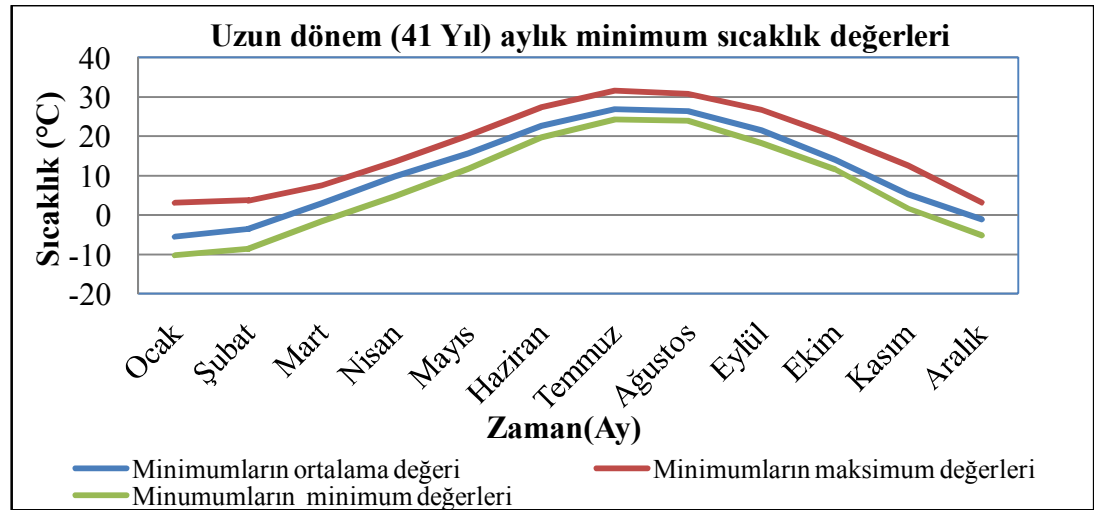
Şekil 5.4. Hazar Gölü ve çevresinin aylık maksimum yağış grafiği



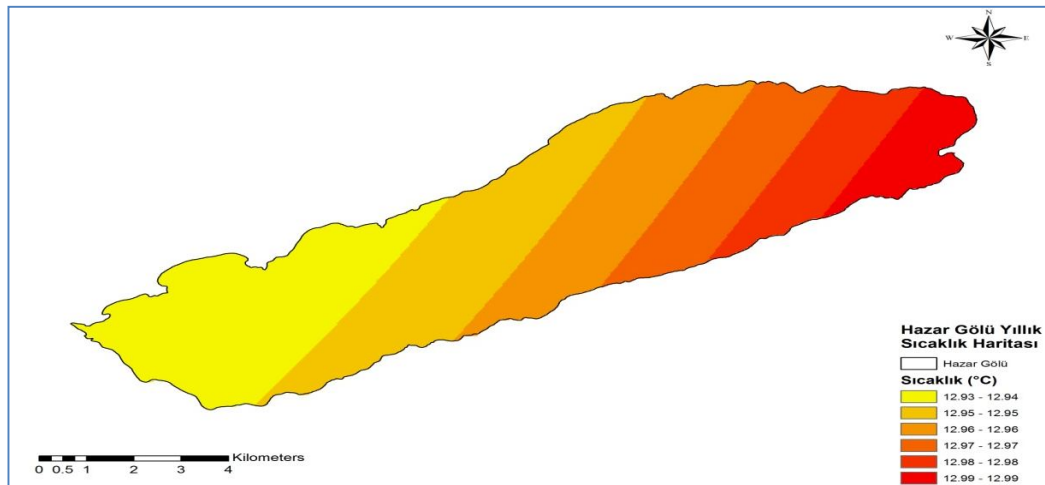
Şekil 5.5. Hazar Gölü ve çevresinin aylık minimum yağış grafiği



Şekil 5.8.Hazar Gölü ve çevresinin aylık maksimum sıcaklık değerleri

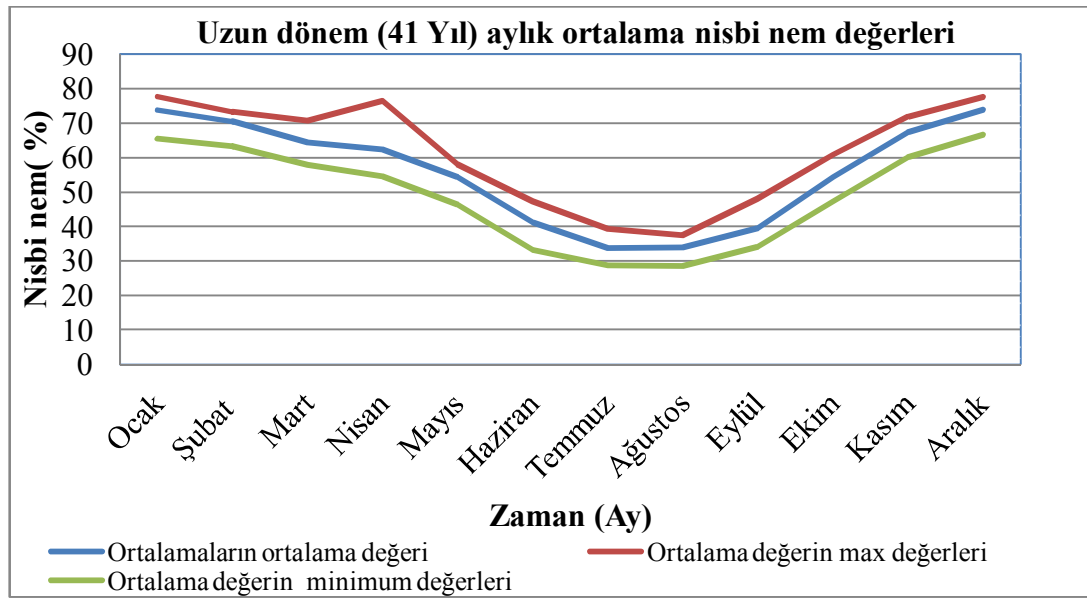


Şekil 5.9. Hazar Gölü ve çevresinin aylık minimum sıcaklık değerleri

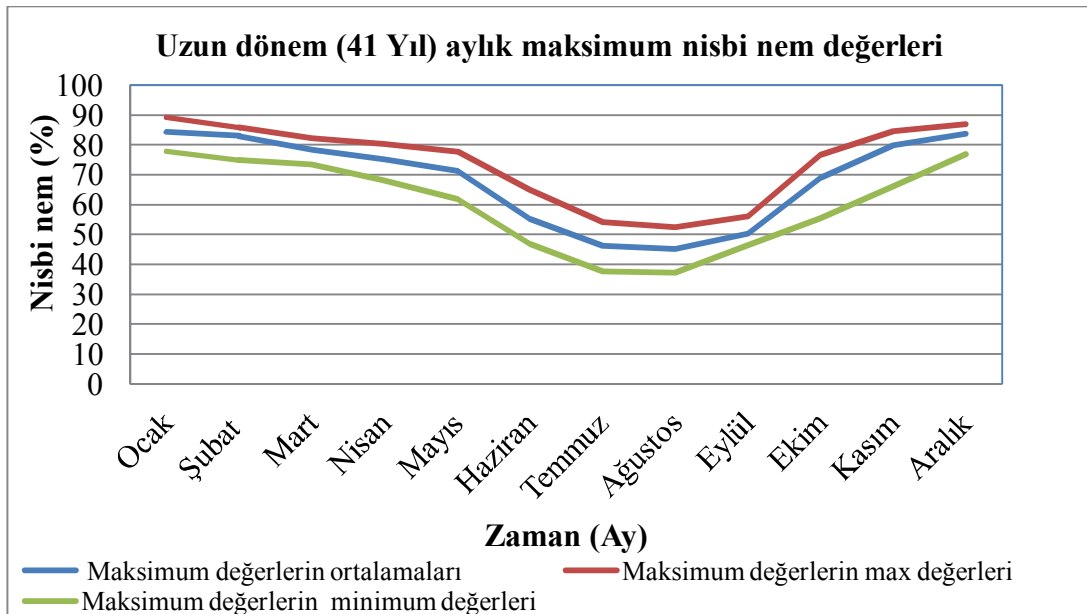


Şekil 5.10.Hazar Gölü yıllık sıcaklık haritası

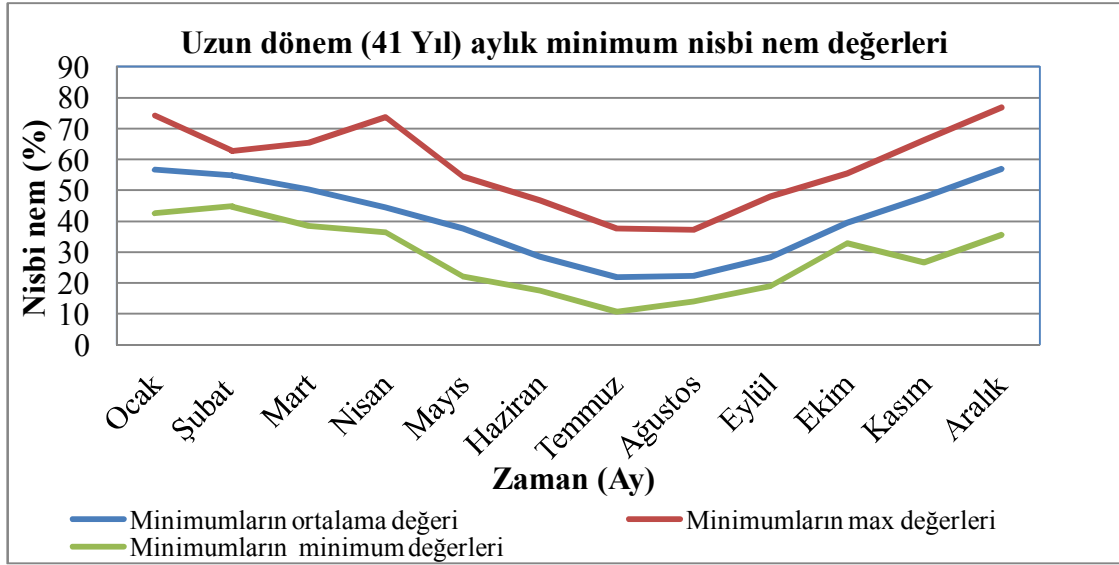
Nisbi Nem Değerleri: Belirli bir sıcaklıktaki hava kütesinin içinde bulunan nem miktarının, o sıcaklıkta alabileceği en fazla nem miktarına oranıdır. Bağıl (Nisbi) nem havada bulunan nemin yüzde cinsinden değeridir. Bağıl nem havanın nem açığını veya neme doyma oranını verir. Bir yerde yağış olabilmesi için bağıl nem %100 'ü aşması gerekir. DMİ'den alınan nisbi nem değerleri analiz edilerek Excel ortamında Şekil 5.11'de aylık ortalama nisbi nem grafiği, Şekil 5.12'de aylık maksimum nisbi nem grafiği, Şekil 5.13'te aylık minimum nisbi nem grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.11. Hazar Gölü ve çevresinin aylık ortalama nisbi nem değerleri



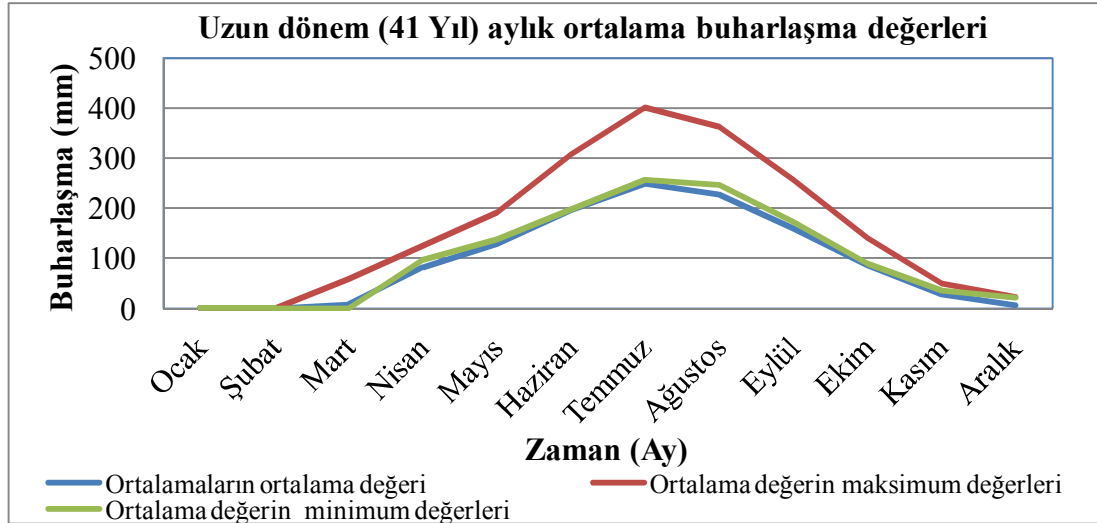
Şekil 5.12. Hazar Gölü ve çevresinin aylık maksimum nisbi nem değerleri



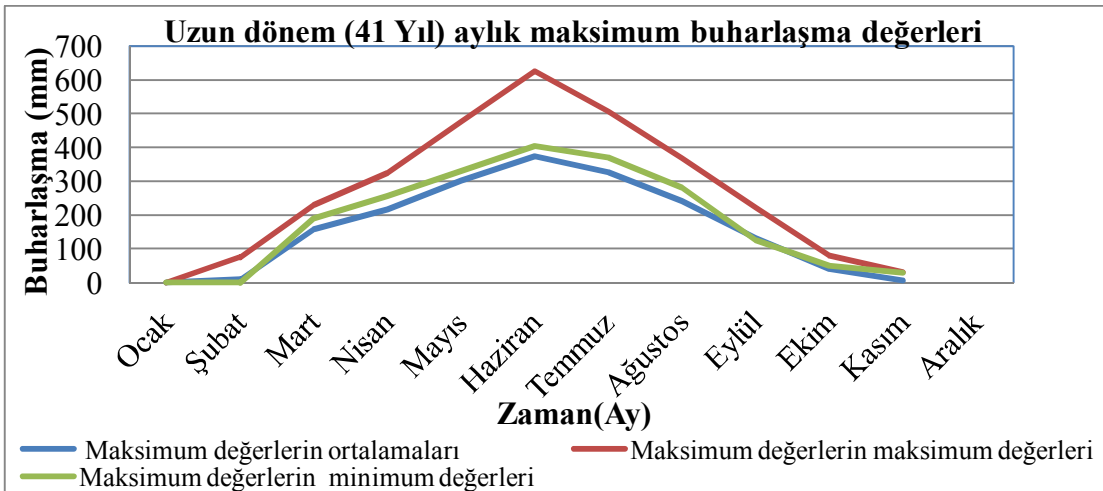
Şekil 5.13.Hazar Gölü ve çevresinin aylık minimum nisbi nem değerleri

Açık Yüzey Buharlaşması: Tabiatda suyun hidrolojik çevriminin önemli bir unsurunu teşkil eden buharlaşma, yeryüzünde sıvı ve katı halde değişik şekil ve şartlarda bulunan suyun meteorolojik faktörler etkisiyle atmosfere gaz halinde dönüşü olarak tarif edilir. Yeryüzünde su içeren her yüzey, atmosferdeki su buharının kaynağıdır. Denizler, göller, akarsular, nemli topraklar, karla örtülü veya buzla kaplı yüzeyler, ormanlar, bitki örtüsüne sahip araziler üzerinde devamlı buharlaşma meydana gelmektedir. Hidrometeorolojik ve hidrolojik açıdan açık su yüzeyinde yapılan buharlaşma ölçümleri önemlidir.

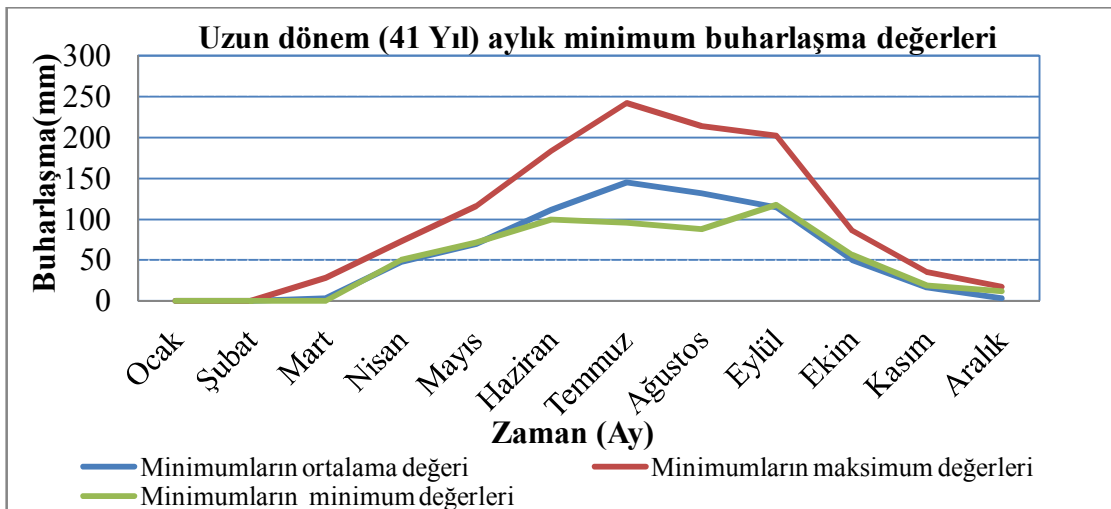
DMI'den alınan buharlaşma değerleri analiz edilerek Excel ortamında Şekil 5.14'te aylık ortalama buharlaşma grafiği, Şekil 5.15'te aylık maksimum buharlaşma grafiği, Şekil 5.16'da aylık minimum buharlaşma grafiği çizilmiştir. Daha sonra bu veriler CBS veri tabanına geçirilerek konumsal interpolasyonu yapılarak IDW metoduna göre dağılımı yapıp Şekil 5.17'de gösterilen Hazar Gölü ve çevresinin aylık ortalama toplam buharlaşma dağılım haritası çıkarılmıştır.



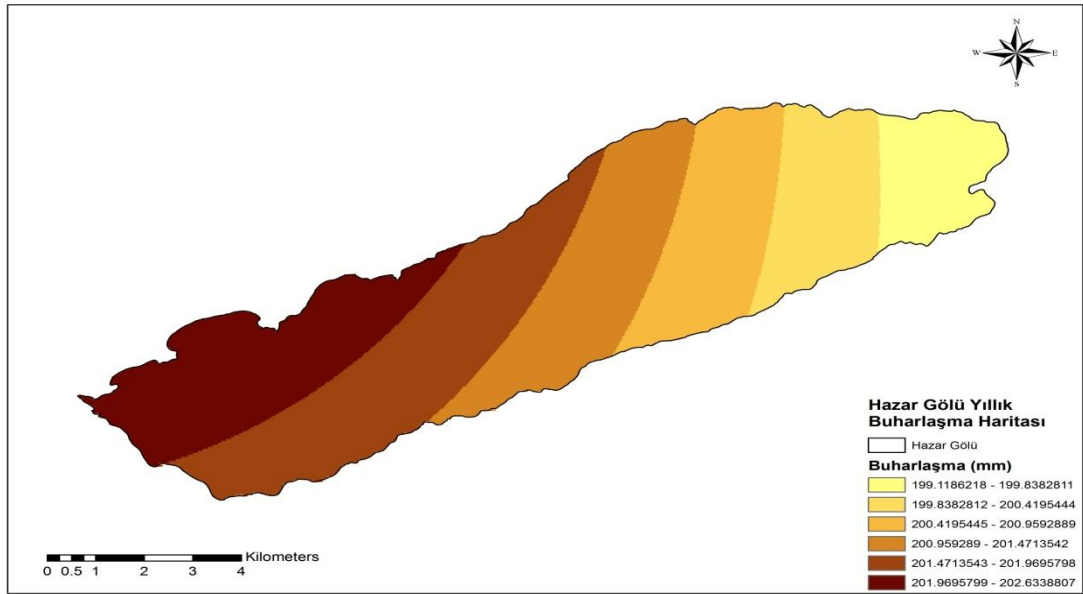
Şekil 5.14 . Hazar Gölü ve çevresinin aylık ortalama buharlaşma değerleri



Şekil 5.15. Hazar Gölü ve çevresinin aylık maksimum buharlaşma değerleri

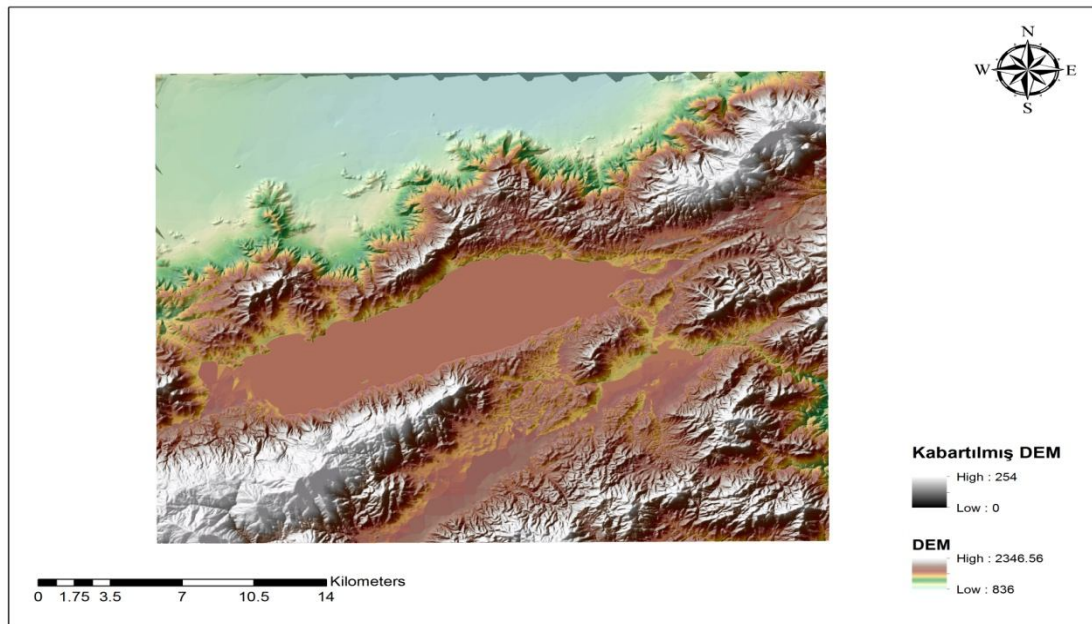


Şekil 5.16. Hazar Gölü ve çevresinin aylık minimum buharlaşma değerleri



Şekil 5.17. Hazar Gölü ve çevresinin yıllık buharlaşma haritası

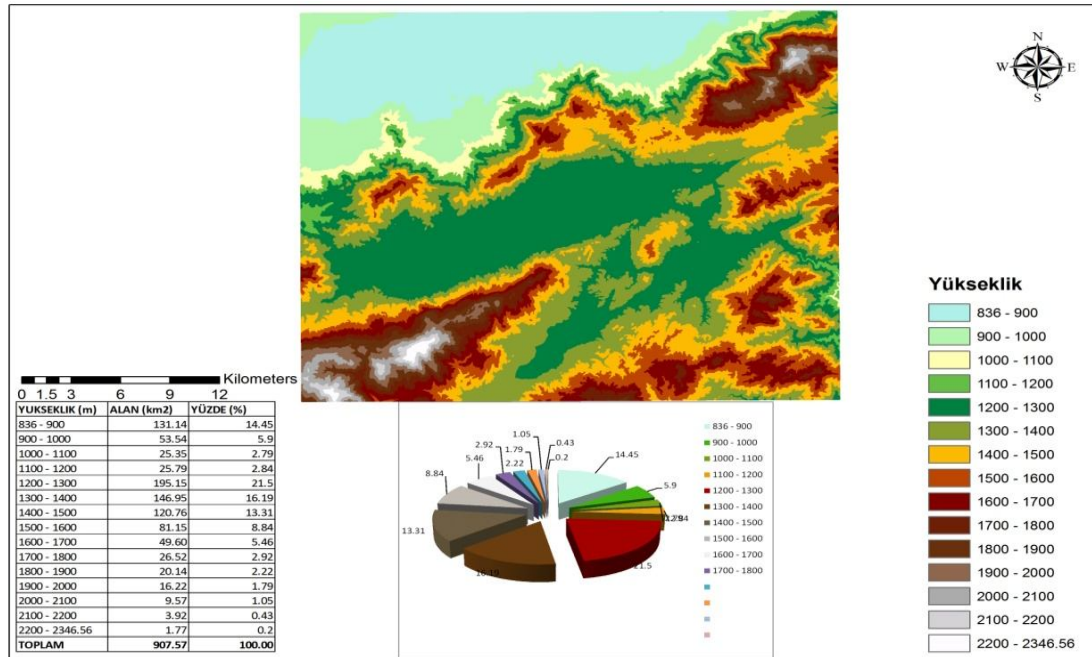
Hazar Gölü ve Çevresine Ait Bölgesel Özellikler: Meteorolojik ve hidrolojik verilerin analizi ve havza yüzey özelliklerinin belirlenmesi halinde, planlanan suni göle ait hidroelektrik potansiyelinin tespiti daha güvenilir olacaktır. Bu amaçla, çalışma bölgesine ait özellikler, sayısallaştırılmış haritalar yardımı ile belirlenmiştir. Havzanın Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM), 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış vektör haritalar kullanılarak çıkarılmıştır. Hazar Gölü ve çevresine ait Kabartılmış DEM, Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Hazar Gölü ve çevresine ait kabartılmış DEM haritası.

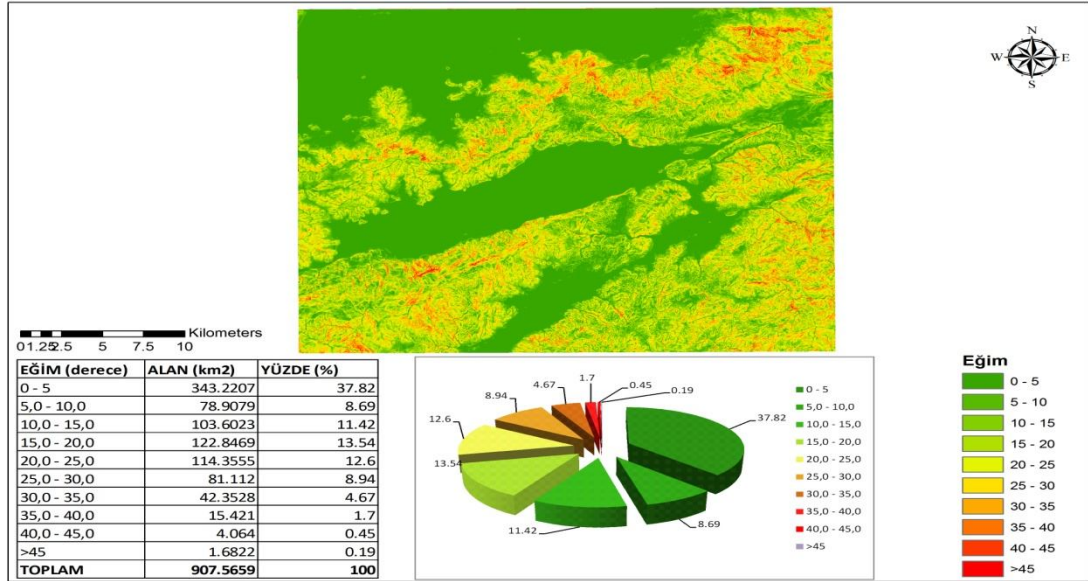
Hazar Gölü ve çevresinin DEM'i kullanılarak, havzaya ait yükseklik, eğim, bakı, gölgeli kabartma haritası ve buna benzer daha pek çok veri bu haritanın elde edilmesi ile çalışma alanına ait mekânsal özellikler çıkarılmıştır. Her bir veri, suni gölün planlamasında önemli bir bilgi demektir. Çalışma alanına ait mekânsal özellikler, jeo-istatistik yöntemle sınıflandırılarak her bir mekânsal özelliğe karşılık gelen alan ve yüzde değerleri hesaplanmıştır.

Yükseklik (Topografya) Haritası: Çalışma bölgesinin topoğrafik haritaları incelendiğinde minimum yükseklik 836 m iken maksimum yüksekliğin 2346,56 m olduğu görülmüştür. Bölgenin ortalama yüksekliği 1200-1300 m kotları arasında değişmektedir. Şekil 5.19 'da görülen yükseklik haritasına göre 1200-1300 m kotlarını kapsayan toplam alan 195,15 km² 'dir. Bu değer toplam çalışma alanımızın (907,57 km²) %21,5'ini oluşturmaktadır.



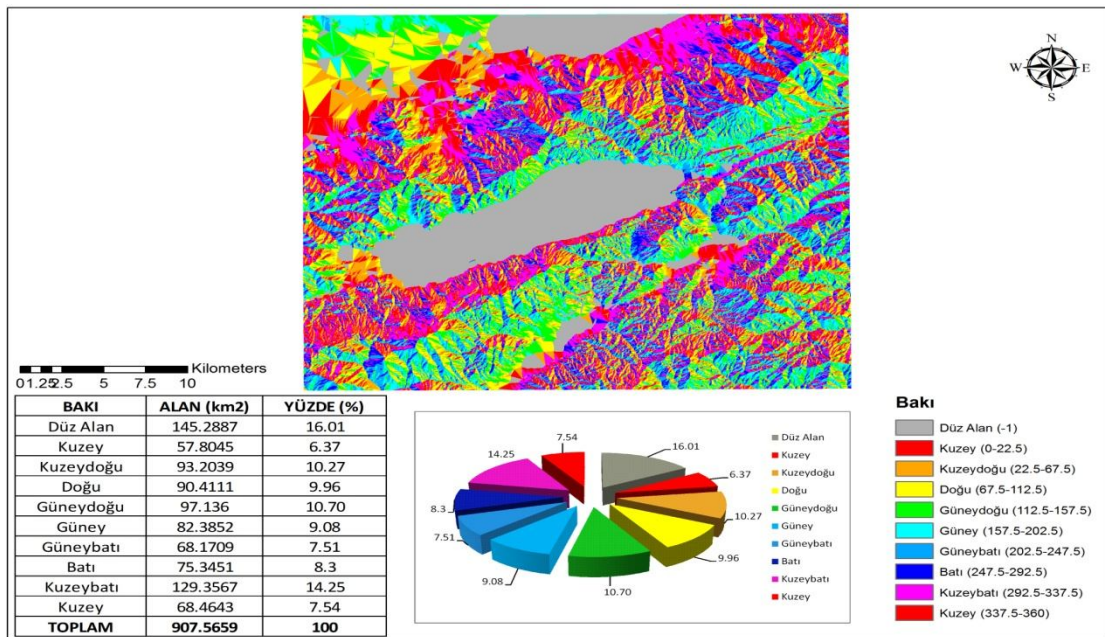
Şekil 5.19. Hazar Gölü ve çevresine ait yükseklik (topografya) haritası.

Eğim Haritası: Çalışma bölgesinin Şekil 5.20'de eğim haritası incelendiğinde bölgenin büyük bir kısmının eğiminin düşük olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi ise çalışma bölgesinde Hazar Gölü'nün bulunmasıdır. Hazar Gölü 274,9 km² 'lik yüzey alanına sahip doğal bir göldür. Bölgenin eğiminin düşük olmasına rağmen 45 dereceyi aşan eğimler de tespit edilmiştir. Planlanan suni gölden üretilecek elektrik enerjisi düşüye bağlı olarak değişeceğinden suni gölün yerinin tespitinde eğim haritasında yüksek eğimli bölgelerin belirlenmesi planlama açısından çok önemlidir.



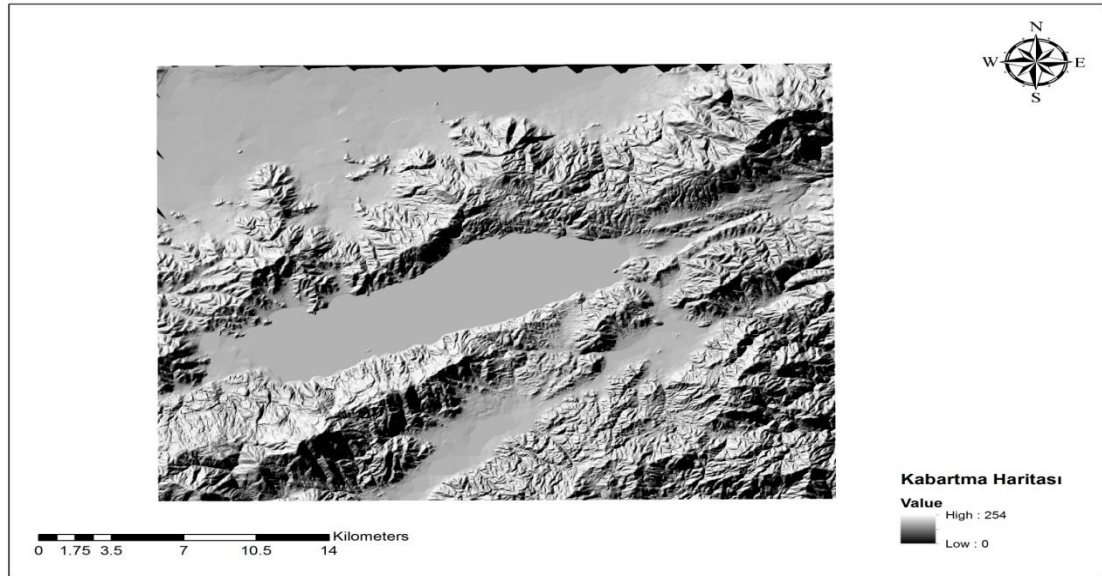
Şekil 5.20. Hazar Gölü ve çevresine ait eğim haritası.

Bakı Haritası: Bakı analizleri, yüzeyin kuzeyle yaptığı coğrafik açı olup, çalışma alanının yaklaşık %24.52'si (222,5406 km²) Kuzeybatı-Kuzeydoğu yönüne bakan yamaçlardan oluşmaktadır. Bakı haritası planlanan suni gölün hangi yamaçlara bakan bölgede planlandığının tespiti açısından önemlidir. Bu da arazinin güney bakısına sahip bir bölgesinde buharlaşmanın yüksek olacağını, kuzey bakısına sahip bir bölgenin ise buharlaşmasının düşük olacağını gösterir. Yeri belirlenen suni gölün Şekil 5.21'de kuzeydoğu bakısına sahip bir konumda olduğu görülmüştür.



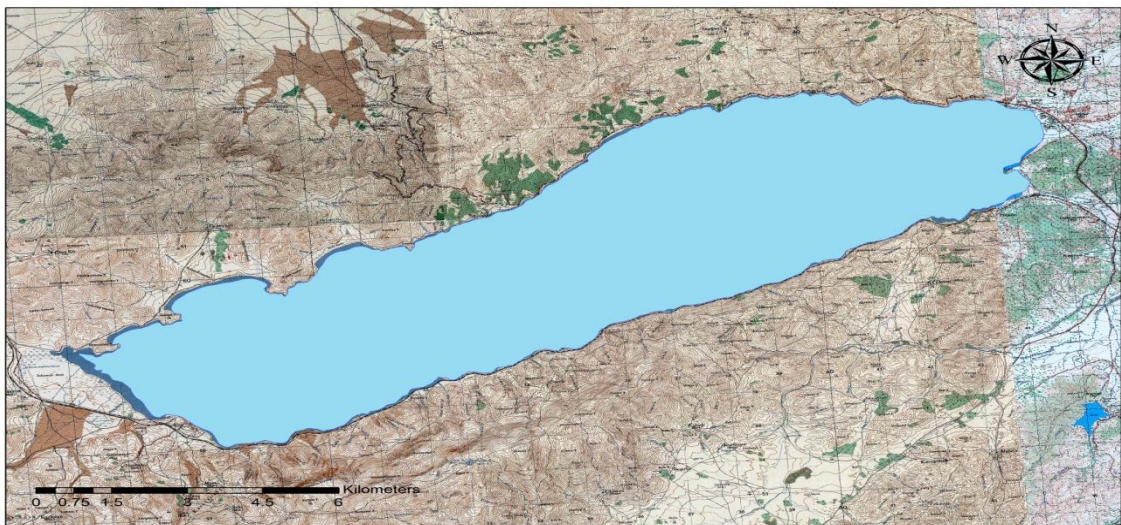
Şekil 5.21. Hazar Gölü ve çevresine ait bakı haritası.

Gölgeli Kabartma Haritası: Şekil 5.22’de gölgeli kabartma haritasından, genel olarak çalışma bölgesinin arazi yapısı ve düz alanlarını daha net görünmek mümkündür.



Şekil 5.22.Hazar Gölü ve çevresine ait gölgeli kabartma haritası.

Alt Rezervuar: Alt rezervuar olarak kullanılacak (Şekil.5.23) Hazar Gölü'nü besleyen akarsular, çevre dağlardan dik yamaçlar boyunca inen genellikle küçük derelerdir. Bu derelerin büyük bir kısmı fay kaynaklarından aldıkları suları göle taşımaktadırlar. Bu nedenle havzadaki dereler, boyları kısa olmakla birlikte, yılın büyük bir kısmında su taşırlar. Bununla birlikte, bu derelerden üç tanesi topografyada oldukça belirgin olup, bunlar göle batıdan karışan Kürk, doğudan karışan Zıkkım ve Savsak dereleridir.



Şekil 5.23.Hazar Gölü (alt rezervuar).

Kürksuyu: Hazar Gölü'ne batıdan kavuşan Kürksuyu ya da Kürk çayı batıda Kavak köyü güneyinde oldukça gür iki kaynağın birleşmesiyle Kavak deresinde ortaya çıkar. Yedipınar ile Kürk köyü arasında fay hattına yerleşmiş derin bir vadi içinde geçer. Hazar Dağı eteklerinde yüzeye çıkan birçok fay kaynağının suyunu da alır ve Sivrice batısından göle karışır. Kürksuyu kış ve özellikle bahar aylarında yatağında bol su bulundurur. Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında ise taşıdıkları su miktarı oldukça düşüktür.

Zikkım Deresi: Hazar Gölü'ne su taşıyan diğer önemli bir akarsu kaynağı da Zikkım deresidir. Gölün kuzeydoğusunda yer alan Mastar dağlarının güney eteklerinde yüzeye çıkan iki ayrı kaynağın Küçükova köyü yakınında birleşmesiyle oluşur. Zikkım deresi, oldukça kısa (2 km) olmasına rağmen yerleşmiş olduğu, iki taraftan faylı çöküntü alanını getirdiği malzeme ile doldurulmuş ve geniş tabanlı bir vadi görünümündedir. Bu dere yağışsız mevsimlerde az olmasına rağmen her mevsim su taşır.

Sevsak Deresi: Hazar Gölü çevresinin bir diğer akarsuyu, kuzey batı ve güney doğu yönünde akan ve Çelemlik dağları üzerinde geniş bir tepelik alanı oldukça derin kazmış olan Sevsak deresidir. Gölardı köyü önlerine kadar sokulan bu kertik vadinin boyu yaklaşık 5 km. kadardır. Derenin yağışlı mevsimlerde fazlalaşan suları, yaz aylarında kuruyacak derecede azalmaktadır.

Kavak (Behrimaz) Çayı: Hazar Gölü havzası içinde yer almamasına rağmen sonradan bir kanalla göle bağlanmış olan Kavak çayı, Başkaynak köyü yakınlarında, Hazar dağının güney eteklerinde ortaya çıkan kaynaklardan beslenmektedir. DSİ tarafından çevirme kanalında yapılan ölçümlere göre; Kavak çayı, Hazar Gölü'ne yıllık ortalama 30 milyon m³ kadar su taşımaktadır. Hazar Gölü'ne ait yıllık ortalama göl seviyeleri göl üzerinde hidroelektrik santral işleten Bilgin Enerjiden alınmış ve Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Tez çalışmasında alt rezervuar olarak kullanılacak Hazar Gölü 1344,97 m maksimum su kodunda $7,5 \cdot 10^9$ m³ hacimli, 93 m ortalama derinlikte, 20 km uzunluğunda, 5,4 km genişliğinde, yüzey alanı 82,5 km² ve yağış alanı 274,9 km² dir. Hazar Gölü'ne ait teknik özellikler Çizelge 5.2' de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Hazar Gölü yıllık ortalama göl seviyeleri (Bilgin, 2010).

Yıl	Yıllık Ortalamam göl seviyesi (m)
1996	1241,79
1997	1241,57
1998	1344,97
1999	1240,94
2000	1239,83
2001	1238,49
2002	1237,84
2003	1237,09
2004	1237,53
2005	1236,09

Çizelge 5.2. Hazar Gölü (alt rezervuar) teknik özellikleri.

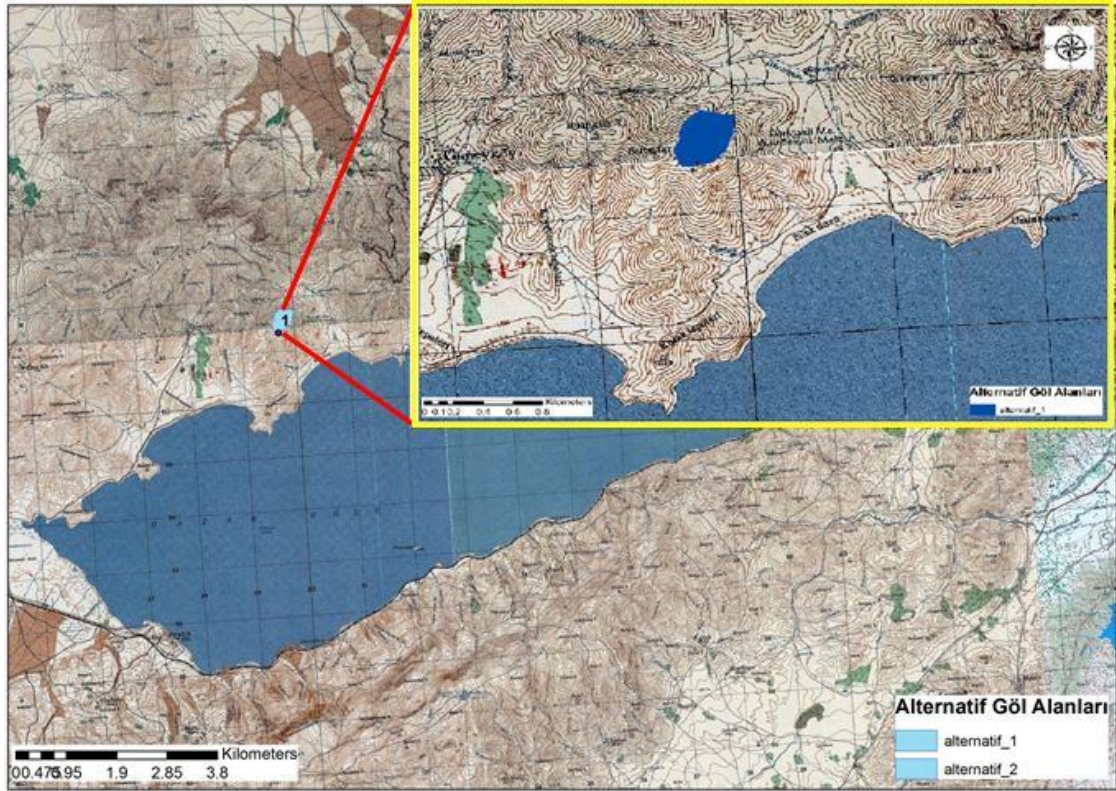
Göl Suyu	Tatlı Su
Göl Toplam Hacmi (m³)	7,5.10 ⁹
Yağış Alanı (km²)	274,9
Göl Yüzey Alanı (km²)	82,5
Uzunluk (km)	20
Genişlik (km)	5,4
Gölün Maksimum Su Seviyesi (m)	1344,97
Gölün Minimum Su Seviyesi (m)	1236,09
Ortalama Göl Seviyesi (m)	1249,61
Ortalama Göl Derinliği (m)	93

5.2. Tasarlanan Hazneli Pompalı HES'in Üst Rezervuarına Ait Teknik Özellikler

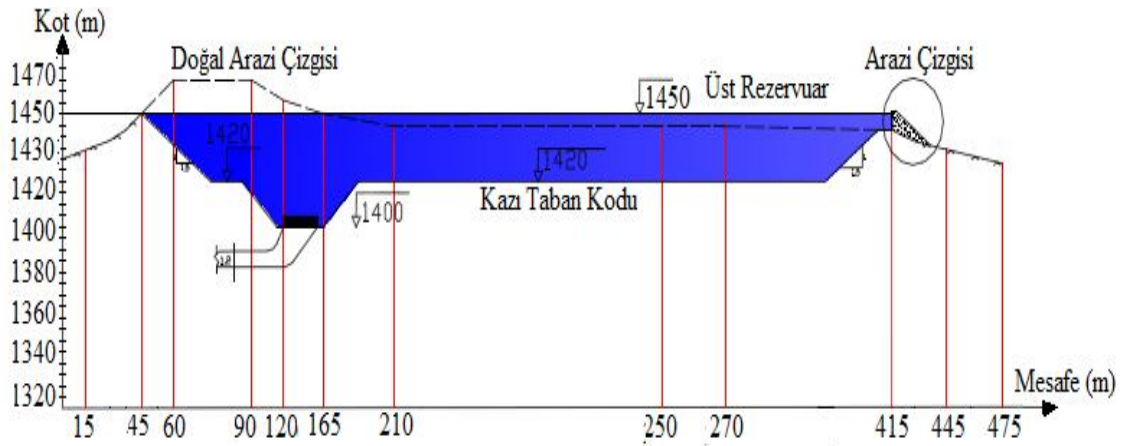
Bu çalışması kapsamında tasarlanan üst rezervuara beton kaplamalı seddeli olacak. Göle ait coğrafi koordinatlar (Şekil 5.24); 38°.29'.58.33" K boylamları ile 39°.20'.26.51" D enlemindedir. Tasarlanan hazneli pompalı HES'in üst rezervuarı sabit derilikte 1450 m maksimum, 1420 m minimum su kotunda, su alma tabanı 1400 m, 8,05.10⁶ m³ hacimli ve 370 m uzunluğundadır. Üst rezervuara ait teknik özellikler Çizelge 5.3'te kesit görüntüsü Şekil 5.25'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Tasarlanan üst hazneye ait teknik özellikleri.

Tipi	Beton Kaplamalı –Seddeli
Geometrisi	Sabit derinlik
Toplam Hacim (m³)	8.050.000
Uzunluğu (m)	370
Üst Rezervuar Kret Kotu (m)	1450
Su alma Taban Kodu (m)	1400
Maksimum Su Seviyesi (m)	1445
Minimum Su Seviyesi (m)	1420

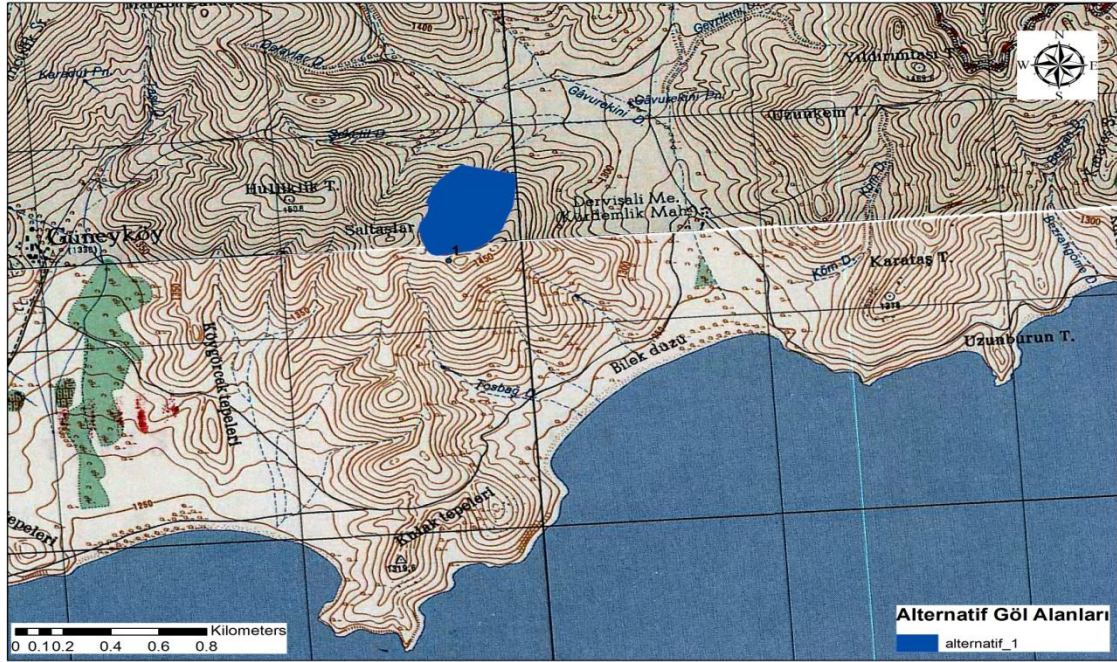


Şekil 5.24. Tasarlanan üst rezervuara ait konum haritası.

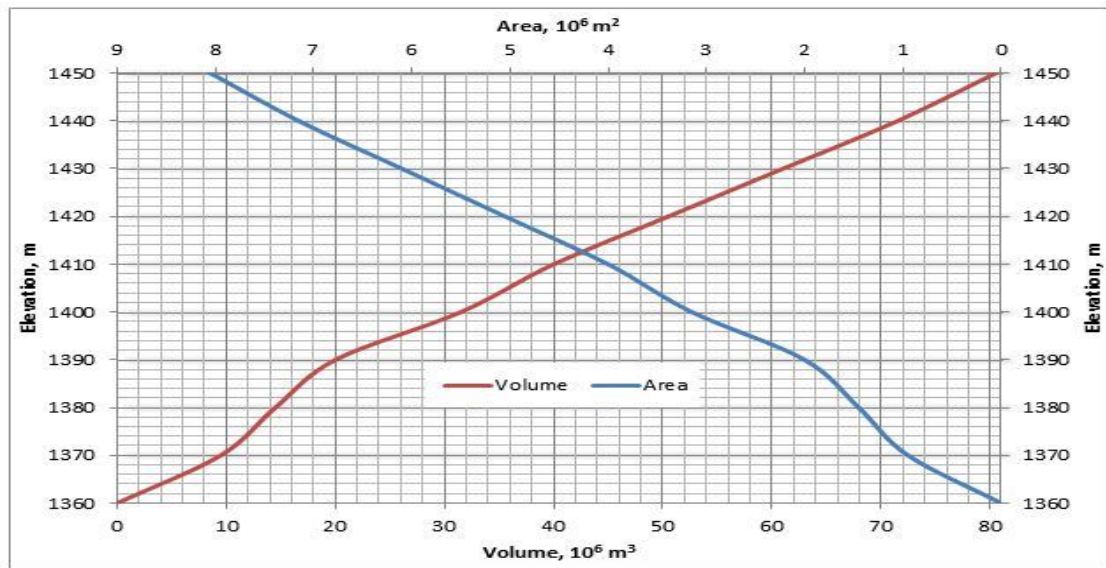


Şekil 5.25. Tasarlanan üst rezervuara ait kesit görünümü.

Şekil 5.26'da gösterilen üst rezervuarın geçirimsizliğini sağlamak amacı ile rezervuarın taban yüzeyine 10 cm et kalınlığında su alma yapısına akar oluşturacak şekilde %1 eğimle beton kaplama yapılması uygun görülmüştür. Üst rezervuara ait hacim alan grafiği, sayısal haritada gölün yeri belirlenerek Şekil 5.27'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Tasarlanan üst rezervuarın görünümü.



Şekil 5.27. Tasarlanan üst rezervuara ait hacim alan eğrileri.

5.3. Tasarlanan Hazneli Pompalı HES'in Yapısı ve Özellikleri

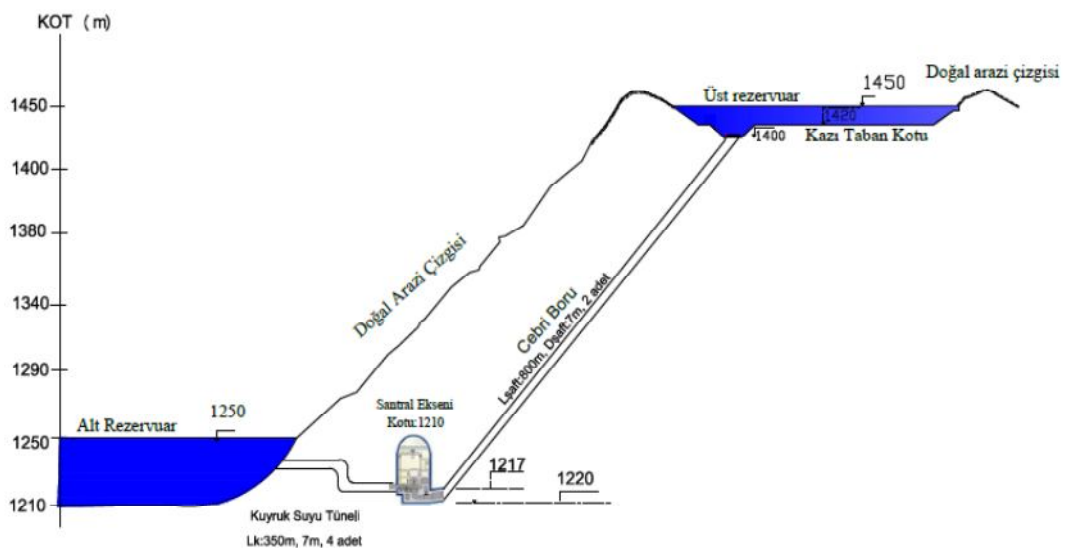
Cebri boru: Hazneli pompalı HES'lerde iletim yapısı olarak cebri boru shaft veya enerji tüneli kullanılır, santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da kuyruksuyu tüneli ile sağlanmaktadır. Tek cebri boru daha ucuz bir çözümdür, ama sonradan türbin ya da pompa önceliği belirlenmelidir. Çift cebri boru (Şekil 5.28) ise işletmede esneklik ve türbine ihtiyaç duyulduğunda hızlı yanıt sağlar.



Şekil 5.28. Tasarlanan santralin cebri boru ve santral binası yerleşimi.

Tasarladığımız hazneli pompalı HES’de cebri boru 800 m uzunluğunda 2 adet 7 m çapında ve çelik kaplamalı olacaktır. Cebri borunun geçirileceği derinlik ve toprak yükü belirlenirken $t_n = h_n \times 0,6$ dan faydalanılmıştır. Burada t_n boru yüzeyi ile doğal arazi yüzeyi arasındaki dik mesafeyi h_n üst rezervuar maksimum su seviyesi ile doğal arazi yüzeyi arasındaki dik mesafeyi gösterir.

Santral Binası: Tasarlanan hazneli pompalı HES’e ait santral binası 1.250 m eksen kotundadır. Santral binası boyutları derinliği 30 m, boyu 150 m, eni 50 m olan tam gömülü, 335 m uzunluğunda 3 adet kuyruksuyu tüneli ve alt rezervuarı Hazar Gölü’nde oluşan ve günde 6 saat çalışmak üzere hazneli pompalı HES’li tasarlanmıştır. Tasarlanan hazneli pompalı HES’e ait santral ve cebri boru kesit görünümü Şekil 5.29 ‘da verilmiştir.



Şekil 5.29. Tasarlanan santralin cebri boru ve santral binası kesit görünümü.

5.4 Tasarlanan Hazneli Pompalı HES Kurulu Güç ve Enerji Hesabı

Debi ve Hızın Hesaplanması: Herhangi bir akışkanın birim zamanda birim alandan geçen miktarına debi denilmektedir. Diğer bir ifadeyle, pompanın basabileceği su miktarına debi denir. Debinin birimi genellikle ‘metreküp/saniye (m^3/s) veya ‘litre/saniye (lt/s)’ olarak ifade edilir ve ‘Q’ harfi ile gösterilir. Tasarlanan hazneli pompalı HES’in çalışma süresi 6 saat, cebri boru çapı 7m ve oluşturduğumuz suni gölün hacmi $V=8,05.10^6 m^3$ ’tür. Su hızına bağlı olarak debi ve havuz hacmi değerleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Hıza bağlı debi ve havuz hacmi

V=Hız (m/s)	D=Boru çapı (m)	Q=Debi m^3/s	Vg=Gereken havuz hacmi (m^3)
3	7	230,91	$4,987.10^6$
3,5	7	269,39	$5,818.10^6$
4	7	307,88	$6,650.10^6$
4,5	7	346,88	$7,481.10^6$
4,6	7	354,06	$7,647.10^6$
4,7	7	361,75	$7,813.10^6$
4,8	7	369,45	$7,980.10^6$
4,9	7	377,15	$8,146.10^6$

Tatonman yapılarak tasarladığımız suni göl hacmine ve boru çapına uygun debi $Q=369,45 m^3/s$, hız 4,8 m/s (Çizelge 5.4) bulunmuştur.

Gereken Havuz Hacminin Tespiti: Çizelge 5.4’te hesaplanan pompa debisi $Q=369,45 m^3/s$ ile pompayı günde $T=6$ saat çalıştırdığımızda çalışan bu pompa $8,050.10^6$ olan havuz hacminin ne kadarını doldurabilecek bunun tespit edilmesi için $V_{\text{gereken}} (m^3)$ olarak “E.5.1” hesaplanmıştır.

$$V_{\text{gereken}} = Q.T \quad (E.5.1)$$

$$V_{\text{gereken}} = 369,45.6.60.60$$

$$V_{\text{gereken}} = 7,980.10^6 m^3$$

$$V_{\text{gereken}} = 7,980.10^6 m^3$$

Tasarladığımız suni gölün hacmi $8.050.10^6 m^3$ pompamızın basacağı su miktarının uygun olduğu görülmektedir.

Net Düşüm Yüksekliği (m): Suyolunda meydana gelen toplam kayıplar, toplam düşü yüksekliğinden çıkarılarak net düşü yüksekliği elde edilir. Bu yükseklik, kurulacak santralin yatırım maliyetinin belirlenmesinde çok önemlidir. Şekil 5.29’da üst

rezervuar su alma taban kodu 1400 m ve alt rezervuar türbin eksen kodu 1217 m cebri boru çapı $D=7$ m, cebri borunun uzunluğu $L=800$ m verilmiştir. Suyun hızı $v=4,8$ m/s, DSİ'deki kabullere göre cebri boru katsayısı $ck =1,1$, cebri boruda meydana gelen kayıplar $n_c=0,014$ alınmıştır. Brüt düşü yüksekliği H_b (m) "E.5.2", toplam düşü kayıpları ΔH (m) "E.5.3", net düşü yüksekliği H_n (m) "E.5.4", manometrik düşü yükseklik H_m (m) "E.5.5" hesaplanmıştır.

$$H_b = \text{Üst rezervuar su alma taban kodu} - \text{Türbin eksen kodu} \quad (\text{E.5.3})$$

$$H_b = 1400 - 1217$$

$$H_b = 183 \text{ m}$$

$$\Delta H = \frac{(n_c \cdot v)^2}{\left(\frac{D}{4}\right)^3} \cdot L \cdot ck \quad (\text{E.5.4})$$

$$\Delta H = \frac{(0,014 \cdot 4,8)^2}{\left(\frac{7}{4}\right)^3} \cdot 800 \cdot 1,1$$

$$\Delta H = 1,3 \text{ m}$$

$$H_n = H_b - \Delta H$$

$$H_n = 183 - 1,3$$

$$H_n = 181,7 \text{ m}$$

$$H_m = H_b + \Delta H \quad (\text{E.5.5})$$

$$H_m = 183 + 1,3$$

$$H_m = 184,3 \text{ m}$$

Pompa Gücü: Pompa debisi Çizelge 5.3'ten $Q=369,45$ m³/sn, yerçekimi ivmesi $g=9,81$ m/s² pompanın manometrik yüksekliği "E.5.5"den $H_m=184,3$ m, suyun birim hacim ağırlığı, $\gamma=1000$ kg/l kullanılarak pompa hidrolik gücü P_H (kW) olarak "E.5.6" hesaplanmıştır.

$$P_H = \gamma \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (\text{E.5.6})$$

$$P_H = 1 \cdot 9,81 \cdot 369,45 \cdot 184,3$$

$$P_H = 667959,3 \text{ kW}$$

Pompanın hidrolik gücü emniyet payı da göz önüne alınarak $P_H = 700$ MW alınmıştır.

Pompa Çıkış Debisi: Pompa gücü $P_H = 700$ MW pompa verimi 0,9145 yerçekimi ivmesi $g=9,81$ m/s² Pompanın manometrik basma yüksekliği $H_m=184,3$ alınarak pompanın çıkış debisi (Q_{pc}) "E.5.7"de hesaplanmıştır.

$$Q_{p\phi} = \frac{P_H \cdot 1000 \cdot \eta_p}{g \cdot H_m} \quad (\text{E.5.7})$$

$$Q_{p\phi} = \frac{700 \cdot 1000 \cdot 0,914}{9,81 \cdot 184,3}$$

$$Q_{p\phi} = 353,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

Üretilecek Elektrik Enerjisi Miktarı ve Türbin Gücünün Belirlenmesi: Üretilecek elektrik enerji miktarının hesaplanabilmesi için türbin, jeneratör ve transformatörün verimini hesaplamak gerekmektedir. Burada toplam verim katsayısı ($\eta = \eta_t \cdot \eta_j \cdot \eta_{tr}$) ile ifade edilir. DSI’deki kabullere göre, η_t : Türbin verimi (%92); η_g : Jeneratör verimi (%95); η_{tr} : Trafo verimi (%98)’dir. Toplam verim katsayısı η , “E.5.8” hesaplanmıştır.

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_j \cdot \eta_{tr} \quad (\text{E.5.8})$$

$$\eta = 0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,98$$

$$\eta = 0,87 \text{ dir}$$

Tasarlanan hazneli pompalı HES’in kurulu gücü için: Toplam verim $\eta = 0,87$, pompa debisi Çizelge 5.3’ten $Q = 369,45 \text{ m}^3/\text{sn}$, yerçekimi ivmesi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, net düşü yüksekliği “E.5.4” $H_n = 181,7 \text{ m}$ alınarak türbin gücü P_t (kW) olarak “E.5.9” hesaplanmıştır.

$$P_t = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_n \quad (\text{E.5.9})$$

$$P_t = 8,7 \cdot 369,45 \cdot 181,7$$

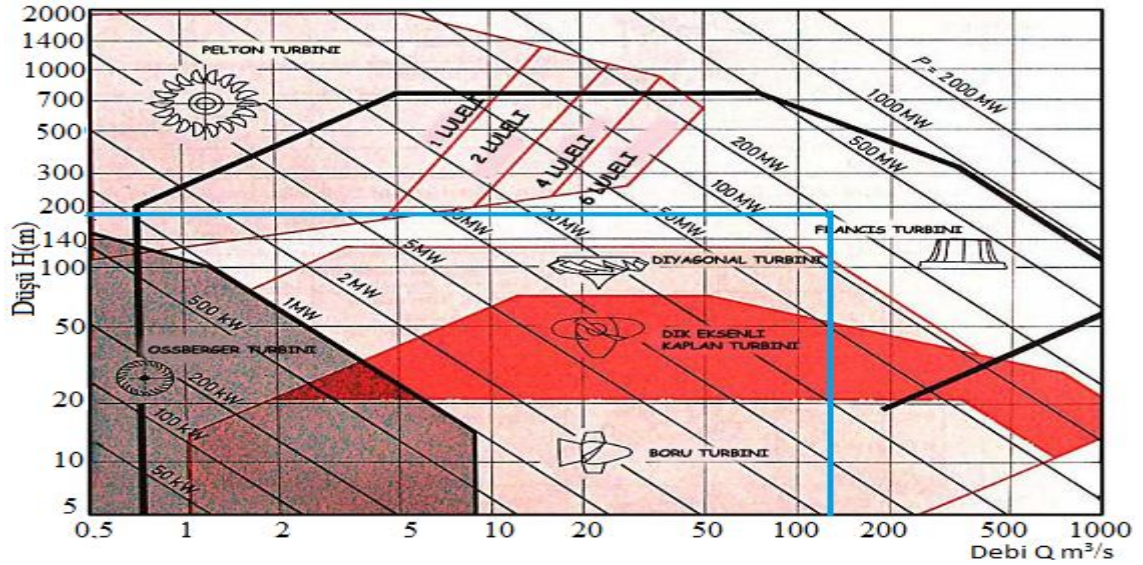
$$P_t = 584022,86 \text{ kW}$$

$$P_t = 584,02 \text{ MW}$$

Hesaplanan türbin gücü göz önüne alınarak tasarladığımız hazneli pompalı HES’in türbin gücü $P_t = 600 \text{ MW}$ alınmıştır.

Türbin Tipi, Ünite Gücü ve Adedi: Türbin tipi seçilirken, proje ünite debisi $117,77 \text{ m}^3/\text{sn}$, net düşü $181,7 \text{ m}$ dir. Şekil 5.30’dan bu değerler göz önüne alınarak 200 MW gücünde Francis türbin alınmıştır.

Buna dayanarak türbin ünite gücü 200 MW türbin tipi olarak Francis türbin proje için seçilmiştir. Projemizin toplam kurulu gücü 600 MW “E.5.9” bulunmuştur. Buradan alınan değerlerle türbin ünite sayımız üç alınarak toplam türbin gücümüz $3 \cdot 200 = 600 \text{ MW}$ olarak elde edilmiştir. Türbine ait teknik özellikler Çizelge 5.5’te verilmiştir.

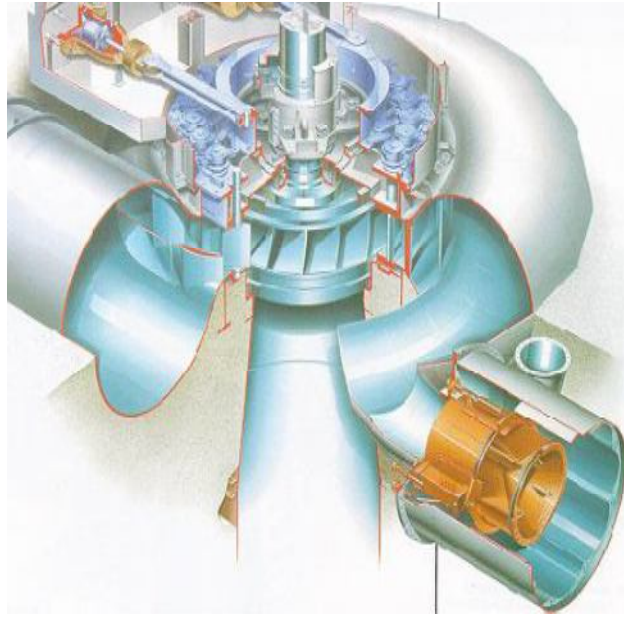


Şekil 5. 30. Debi ve düşü değerlerine göre türbin seçimi (Tekno, 2013).

Çizelge 5.5. Seçilen türbine ait teknik özellikler.

Tipi	Francis türbin
Ünite Adedi	3
Ünite Gücü (MW)	200
Toplam Güç (MW)	600
Toplam Debi (m³/sn)	369,45
Toplam Pompa Çıkış Debsi (m³/sn)	353,32
Ünite Debisi (m³/sn)	117,77
Brüt Düşü (m)	183
Net Düşü (m)	181,7

Francis türbin tipini ilk kez 19. yüzyılda Amerikalı Howd ile Francis geliştirdiklerinden türbine Francis adı verilmiştir. Francis türbinine su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Türbin tipi karşı basınçlıdır (Reaksiyon tipi). Şekil 5.31'de tipik bir Francis türbin görülmektedir. Francis tipi türbinleri 600 m düşüye kadar çalışırlar. Bu türbinlerden 500 MW'a kadar güç elde edilebilmektedir. Francis türbinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırmak mümkündür. Bu suretle imalattan dolayı bir hayli ekonomi sağlanır. Yurdumuzda DSİ'nin denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda Francis tipi türbin kullanılmaktadır (Tekno, 2013).



Şekil.5.31 Dikey eksenli Francis türbini (Tekno, 2013).

Pompa İçin Gerekli Enerji: Pompanın yıllık harcadığı enerji hesaplanırken pompa 365 gün günde T= 6 saat çalışacak şekilde planlamıştır. Pompanın hidrolik gücü “E.5.6” $P_H = 700$ MW alınmıştır. Tasarlanan suni göle suyun pompalaması için harcanan elektrik enerjisi E (GW) olarak “E.5.10” hesaplanmıştır.

$$E = \frac{P_H \cdot T \cdot 365}{1000} \quad (\text{E.5.10})$$

$$E = \frac{700 \cdot 6 \cdot 365}{1000}$$

$$E = 1533 \text{ GWh/yıl}$$

Pompa günde 6 saat çalışarak yılda toplam 1533 GW/yıl enerji harcayacaktır.

Tasarlanan hazneli pompalı HES'in yıllık üreteceği enerji miktarı: Burada, $P_t = 600$ MW türbin gücü, T=6 saat zaman (yıl) olarak alınmış ve W=Pompanın bir yılda ürettiği enerji (MW/yıl) miktarı “E.5.11” hesaplanmıştır.

$$W = P_t \cdot T \quad (\text{E.5.11})$$

$$W = 600 \cdot 6 \cdot 360$$

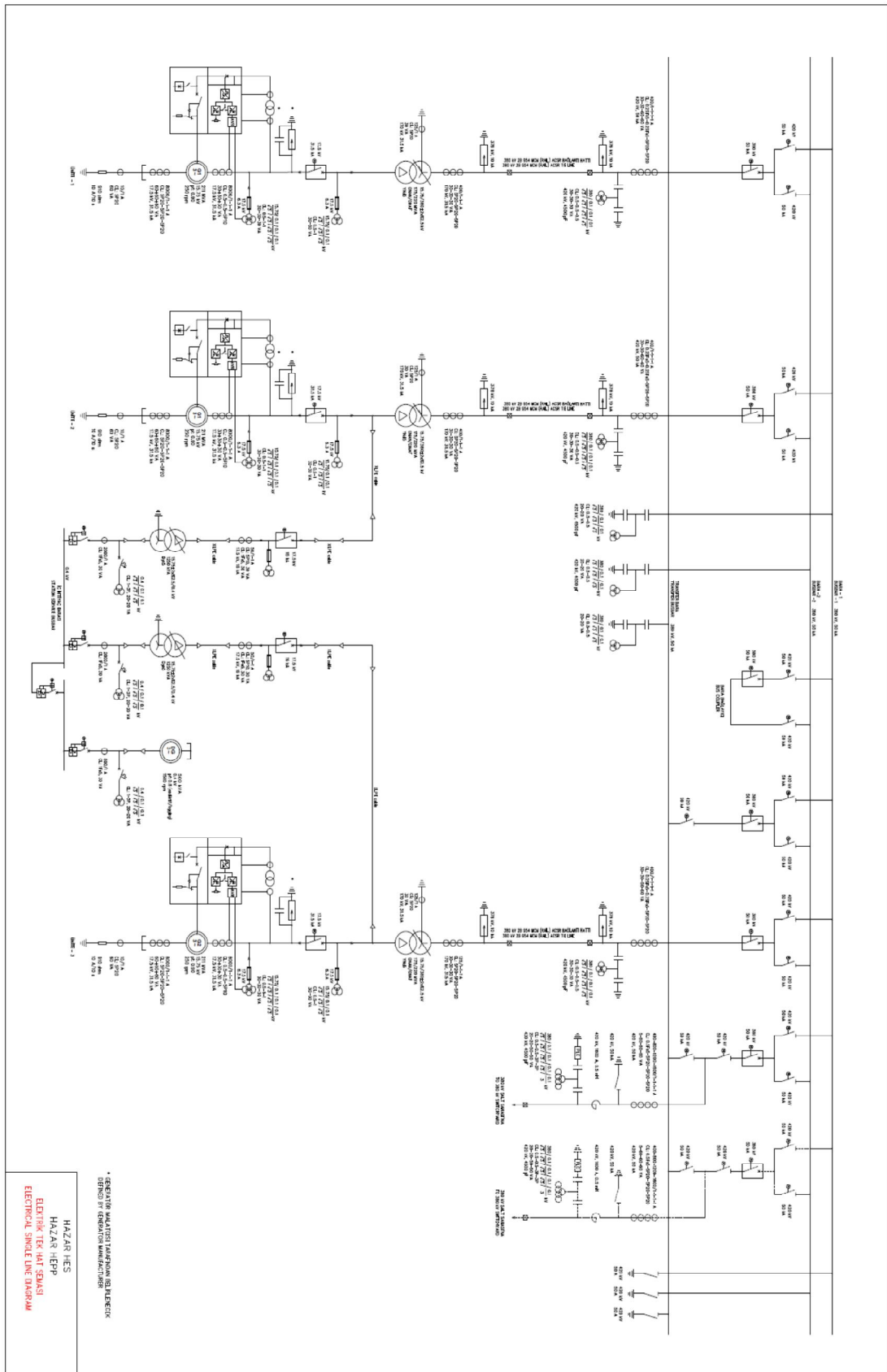
$$W = 1296000 \text{ MW/yıl}$$

Tasarladığımız santral günde 6 saat çalışarak yıllık 1296 GWh bir enerji üretecektir. Yapılan hesaplamalara sonunda türbin ve generatör için hesaplanan değerler Çizelge 5.6’da verilmiştir.

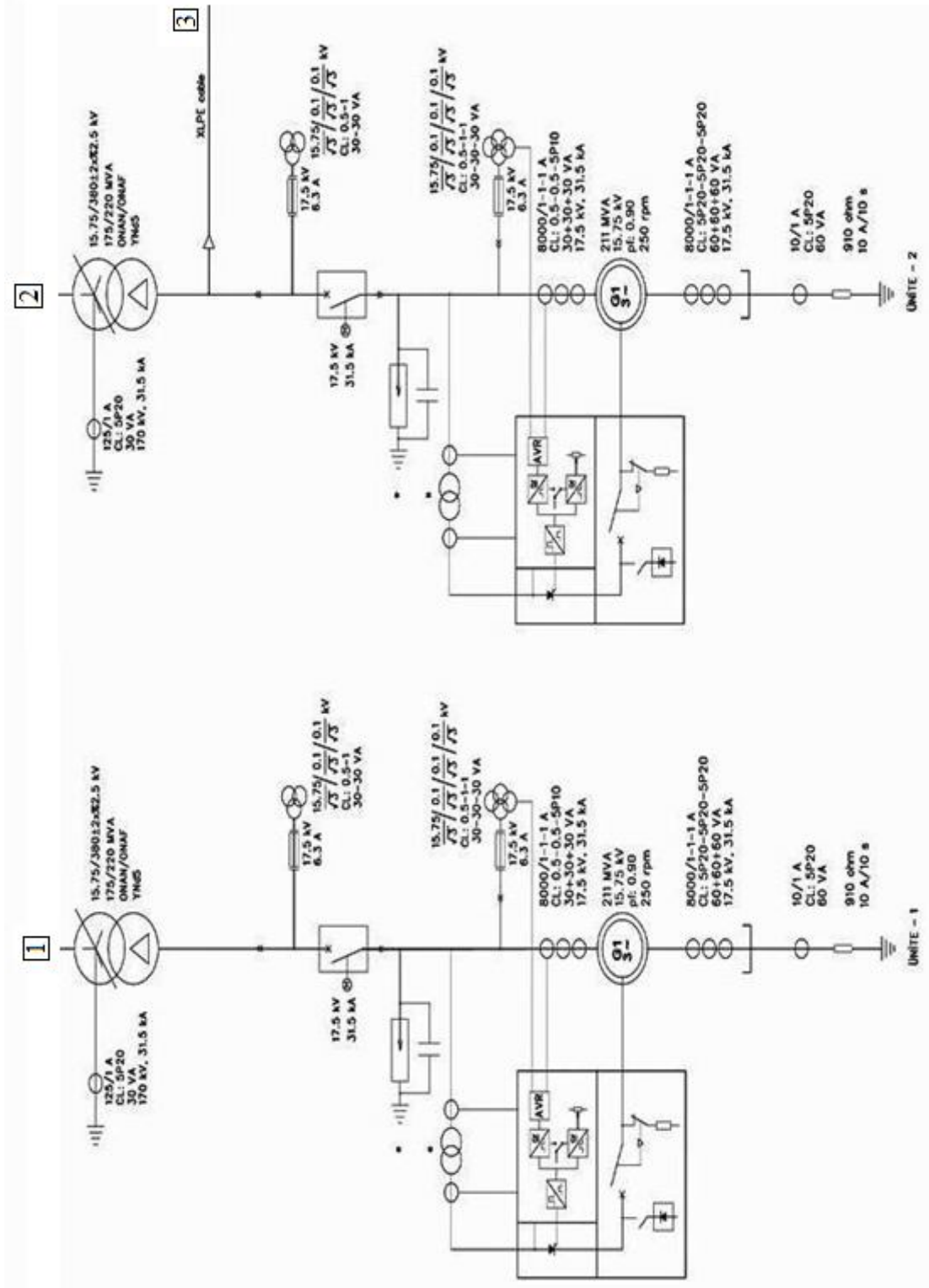
Çizelge 5.6.Belirlenen türbin ve generatöre ait teknik bilgiler

Net düşü (m)	H	181,310
Pompa Çıkış Debisi(m ³ /sn)	Q _{pc}	353,32
Türbin Verimi	η_t	0,92
Genaratör Verimi	η_g	0,95
Transformatör Verimi	η_{tr}	0,98
Toplam Güç (kW)	P	5583312,62
Ünite Debisi(m ³ /sn)	Q ₁	117,77
Ünite Sayısı	3	
Ünite Gücü-1 (kW)	P ₁	186104,2
Türbin Tipi		Francis
Özgül Hız-1 (m-kW)	n _{s1}	133,55
Devir Sayısı-1 d/dak	n ₁	202,45
Senkron devir Sayısı d/dak	N	250
Kutup Sayısı	P	24
Özgül Hız-2 (m-kW)	n _{s2}	164,91
Ünite Gücü -2 (kW)	P ₂	186104,2
Türbin Ünite Gücü (kW)	P	200000
Güç Faktörü	cos φ	0,90
Ünite Gücü-Görünen (kVA)	N	211111
Ünite Gerilimi (kV)	U	15,75
Ünite Akımı (A)	I	7738,73
Genaratör Tipi		Şemsiye tipi
kVA/rpm	N/n	84,44
Çıkış Katsayısı	K	6,79
Rotor Çapı (m)	D ₂	7,46
Stator Karkas Çapı (m)	D ₃	9,04
Hava Kaputu Çapı (m)	D ₄	11,39
Stator Nüve Yüksekliği (m)	L	2,24
Stator Yüksekliği (m)	H ₁	2,17
Stator Yüksekliği (m)	H ₂	2,17
Stator Yüksekliği (m)	H ₃	0,83
Şaft Uzunluğu (m)	H ₄	4,73
Rotor Ağırlığı (ton)		350
P/(H)0,5.N/n		12,54.10 ⁶
Türbin Ekseni-Genaratör Kaputu	11	m

Şalt Sahası: Tasarlanan hazneli pompalı HES projesinde üretilen enerjinin sisteme bağlanması için santral binası yanında şalt sahası inşa edilecektir. Üretilen elektrik enerjisinin enterkonnekte sisteme bağlanması, şalt sahasında bulunan kesiciler tarafından senkronize edildikten sonra otomatik olarak yapılacaktır. Generatörde üretilen 15,75 kV gerilim ile 7,73 kA akım trafo yardımı ile 15,75/ 380kV ve 7,73/50 kA ile 20 km mesafede bulunan Elazığ organize sanayinde sisteme bağlanacaktır. Şalt sahası tek hat olarak planlanmış ve tek hat şeması şekil 5.32’de çizilmiştir.



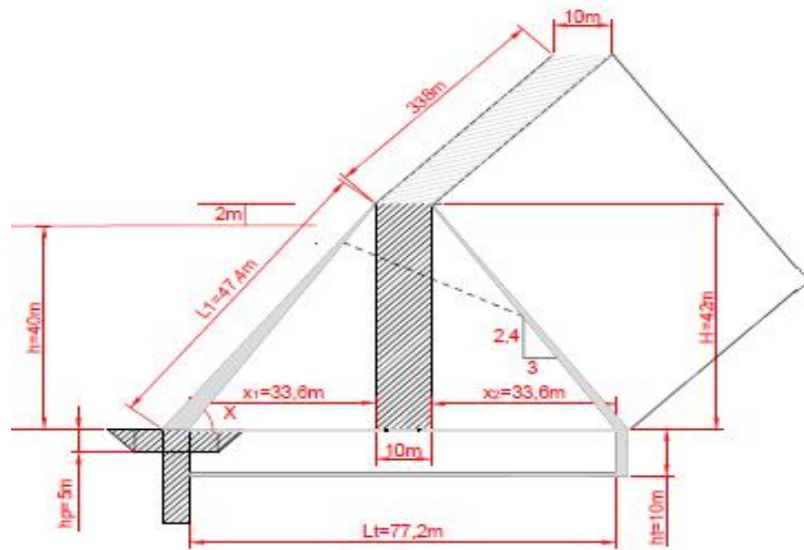
Şekil 5.32. Tasarlanan hazneli pompalı HES'e ait şalt sahası tek hat şeması



Şekil 5.35. Tasarlanan hazneli pompalı HES'e ait şalt sahası tek hat şeması (Kısım III)

5.5. Maliyet Analizi

Planlanan üst rezervuarın sedde kesiti ve boyutları aşağıdaki şekilde verilmiştir. Seddenin üst kret genişliği 10 m, taban genişliği 77,2 m, memba ve mansab yüzeylerinin eğimi 0,8, temel kalınlığı 10 m, sedde uzunluğu 338 m ve sedde yüksekliği 42 m olarak boyutlandırılmıştır. Memba şev yüzeyinin altına olası sızmaları önlemek için plint planlanmıştır. Plint kalınlığı 5 m, yüksekliği ise 20 m'dir. Yapılacak olan seddenin kesit görünümü Şekil 5.33'de verilmiştir.



Şekil 5.37. Tasarlanan hazneli pompalı HES'in sedde kesit görünümü

Suni Gölün Sedde Temel Düzenleme Kazısı: Planlanan seddenin oturacağı zemin ve arazi yapısı göz önünde bulundurularak seddenin temel düzenleme kazıları yapılacaktır. Burada temel boyu $L_t=77,2$ m, temel genişliği $L_g=10$ m, toplam sedde uzunluğu $L_s=338$ m, plint yüksekliği $H_p=20$ m, plint kalınlığı $L_p=5$ m alınarak V_t =temel kazısı (m^3) olarak "E.5.12", V = Toplam temel düzenleme kazısı (m^3) "E.5.13" hesaplanmıştır. Temel düzenleme kazıları için $1 m^3$ birim fiyatı için 1 US\$ alınmıştır (Bakış, vd., 2012).

$$V_t=(L_g.L_t).L_s \quad (E.5.12)$$

$$V_t=(10.77,2).338$$

$$V_t=0,26936. 10^6 m^3/s$$

$$V_p=\frac{(10+20).5}{2.338} - \frac{(5+7,5).5}{2.338}$$

$$V=V_p+V_t \quad (E.5.13)$$

$$V=0,00147. 10^6+0,26936. 10^6$$

$$V=0,31336.10^6 m^3$$

Temel Dolgusu: Seddenin için kazılan temel kazısının toplam dolgu hacmi “E.5.14” hesaplanmıştır. Temel dolgusu için 1 m³ birim fiyatı için 10 US\$ alınmıştır (Bakış, vd., 2012).

$$V_{td}=(L_t.L_{tg}).L_s \quad (E.5.14)$$

$$V_{td}=(77,2.10).338$$

$$V_{td}=0,26936.10^6 \text{ m}^3$$

Ön Yüzün Beton Kaplanması: Ön yüzün beton kaplaması için toplam beton hacmi V_b “E.5.15” % 10 fazlasıyla hesaplanmıştır. Kalıp ve derz de dahil 1 m³ birim fiyatı için 80 US\$ alınmıştır (Bakış, vd., 2012).

$$V_1=\frac{(0,35+0,5).47,4}{2}.338=6809,1 \text{ m}^3$$

$$V_2=\frac{(10+20).5}{2}.338=25350 \text{ m}^3$$

$$V_b=(V_1+V_2).1,10 \quad (E.5.15)$$

$$V_b=(6809,1+25350).1,10$$

$$V_b=35375 \text{ m}^3 \quad \text{beton hacmi bulunmuştur.}$$

Suni Göl Taban Yüzeyinin Beton Kaplaması: Tabanındaki sızma kayıplarını önlemek için taban alanı 10 cm et kalınlığında ve %1 eğimle beton kaplanacak. Taban alanımız 8,05 km² alınmış ve “E.5.16” toplam beton hacmi hesaplanmıştır. Kullanılan betonun m³ birim fiyatı 80 US\$ alınmıştır. (Bakış, vd., 2012)

$$V_t=\text{Taban alanı} \cdot \text{Beton et kalınlığı} \quad (E.5.16)$$

$$V_t=8,05. 10^6.0,1$$

$$V_t=0,805.10^6 \text{ m}^3$$

Betonarme Demiri: 1 m³ beton için 0,1 ton demir kullanılmaktadır. Burada toplam kayıplar göz önüne alınarak 515 artırılmış olarak hesaplanmıştır. Betonarme demiri işçilik ve nakliye dahil tonu 700 US\$ alınmıştır (Bakış, vd., 2012).

$$\text{Toplam demir} = 35375.0,1 = 3537,5 \text{ ton demir (}\%15 \text{ artırılmış) } 3537,5.1,15 = 4068,13 \text{ ton}$$

Sızdırmazlık Perdesi: Sızdırmazlık perdesi için m² birim fiyatı 100 US\$ alınmıştır. (Bakış, vd., 2012)

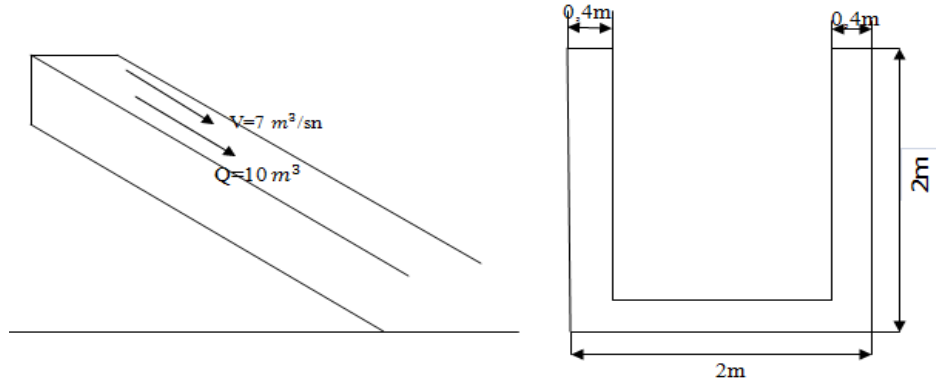
$$\text{Derinlik} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Genişlik} = 338 \text{ m}$$

$$V = 15.338$$

$$V = 5070 \text{ m}^2$$

Su Tahliye Yapısı: Göldeki olağanüstü durumlarda fazla suyu tahliyesinde kullanılacak kanal için betonun m^3 birim fiyatı 80 US\$,demirin tonu için birim fiyatı 700\$ alınmıştır (Bakış, vd.,2012).



Şekil.5.38. Tasarlanan hazneli pompalı HES'e ait su tahliye kanalı.

Kullanılacak beton hacmi= $1.0.4.2.925+0,5.2.925$

Kullanılacak beton hacmi= $1665 m^3$

Kullanılacak demir miktarı:($1 m^3$ betona 0.1 ton demir kullanılır.) = $1665.0.1=166,5$ ton.

Kuyruk Suyu Tüneli: 7m çapında santralin 3 ünite çıkışına bağlı olarak 335 metre uzunlukta beton kaplamalı ve dairesel kesite olacaktır. Birim maliyeti DSİ verilerine göre 7.500 US\$/m olarak alınmıştır.

Santral Binası: Santral binası birim maliyeti bulunurken daha önce EİE ön fizibilite çalışmalarını yaptığı Yalova hazneli pompalı HES ile Oymapınar hazneli pompalı HES'in maliyet tahminlerinden yararlanılarak santral binası birim maliyeti ortalama 40.000 US \$/MW alınmıştır.

Şalt Sahası: Şalt sahası birim maliyeti daha önce EİE ön fizibilite çalışmalarını yaptığı Yalova hazneli pompalı HES ile Oymapınar hazneli pompalı HES'in maliyet tahminlerinden yararlanılarak şalt sahası birim maliyeti ortalama 10.000 \$/MW alınmıştır.

Vana Odası: Maktuun $0,5.10^6$ US\$ alınmıştır.

Cebri Borular ve Enstrümanları: Cebri boru boyu 800 m ve 2 adet olarak alınmıştır. 1 m cebri boru maliyeti 1950 US\$ olarak alınmıştır (Bakış, vd.,2012).

Enerji İletim Hattı: Üretilen enerji 20 km uzaklıkta olan Elazığ organize sanayinden sisteme bağlanacaktır. İletim hattı birim maliyeti TEİAŞ birim fiyatları baz alınarak 150.000 US\$/ km alınmıştır.

Tersinir Türbin: Hem pompa hem türbin olarak çalışacak olana tersinir türbin için Yalova hazneli pompalı HES ile Oymapınar hazneli pompalı HES'in maliyet tahminlerinden yararlanılarak birim maliyeti 300 US\$/kW alınmıştır.

Projenin Yıllık Gideri: İki girdinin toplamından oluşur. Bu giderler suyun üst hazneye pompalanması için gerekli enerjinin yıllık gideri ile işletme ve bakım giderleridir. İşletme ve bakım giderleri olarak yatırım bedelinin %10 alınmıştır. Pompa için gerekli enerjinin yıllık gideri ise; pompa için gerekli enerji gideri ile birim enerjinin (8,75 cent/kWh) çarpımından elde edilmiştir. (Bakır, 2013).

Projenin Yıllık Geliri: Projenin yıllık geliri firm enerji faydası ile puant güç faydalarının toplamıdır. Firm enerji faydası; Planlanan hazneli pompalı HES yıl boyunca puant saatlerde çalışacağından sürekli firm enerji üreteceği göz önüne alınmış, enerji faydası hesaplamalarında firm enerji faydası kullanılmıştır. Firm enerji birim fiyatı hazneli pompalı HES'ler için 4,75 cent/kWh alınmıştır (Bakır, 2013).

Puant güç faydası; Planlanan hazneli pompalı HES sürekli puant saatlerde çalışacağından planlanan kurulu güç puant güç olarak alınmıştır. Hazneli pompalı HES'ler için puant güç faydası 240 US\$/kWh olarak alınmıştır (Bakır, 2013).Yapılan hesaplamalar sonucu yıllık 1296.10^6 kWh firm enerji, $0,6.10^6$ kWh puant enerji üretimi planlanmaktadır. Üretilen enerji miktarlarının belirtilen enerji faydalarına çarpımı sonucu toplam yıllık enerji faydası $211,56.10^6$ US\$ dolar olarak bulunmuştur.

Tasarlanan hazneli pompalı HES'in üst rezervuar yaklaşık maliyeti Çizelge 5.7'de,yaklaşık yatırım bedeli ise Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Üst rezervuar maliyet tablosu.

Yapılan işin maliyeti	Birim Fiyatı (US\$)	Miktarı	Birimi	Toplam Fiyatı (US\$)
Göl temel düzenleme kazıları	1	$0,31336.10^6$	m ³	$0,313.10^6$
Temel dolgusu	10.00	$0,26936.10^6$	m ³	$2,693.10^6$
Önyüze beton kaplama	80.00	35375	m ³	$2,830.10^6$
Taban beton kaplama	80.00	$0,805.10^6$	m ³	$64,40.10^6$
Betonarme demiri nakliye ve işçilik dahil	700.00	4068,13	Ton	$2,848.10^6$
Sızdırmazlık perdesi	100.00	5070	m ²	$0,507.10^6$
TOPLAM				$73,591.10^6$

Çizelge 5.8 Tasarlanan hazneli pompalı HES maliyet tablosu

Yapılan işin maliyeti	Birim Fiyatı (US\$)	Miktarı	Birimi	Toplam Fiyatı (US\$)
Üst Rezervuar	Çizelge 5.6'dan			73,591.10 ⁶
Su tahliye yapısı beton	80	1665	m ³	0,133.10 ⁶
Su tahliye yapısı demir	700	166.5	Ton	0,116.10 ⁶
Kuyruksuyu tüneli	7.500	335	m	2,51. 10 ⁶
Santral Binası	40.000	600	MW	24,00. 10 ⁶
Şalt Sahası	10.000	600	MW	6,00. 10 ⁶
Cebri boru ve enstrümanları	1950	800.2	m	3,12.10 ⁶
Vana odası	Maktuu	Maktuu	-	0,5. 10 ⁶
Enerji iletim hattı	160.000	20	km	3,2.10 ⁶
Tersinir Türbin	300	600.000	kW	180. 10 ⁶
Tesis Bedeli (T)				293,16.10 ⁶
%15 Etüt Proje Bedeli (0,15.T)				43,97.10 ⁶
Kamulaştırma Bedeli (K)				0,800.10 ⁶
Proje Bedeli (P=T+0.15T+K)				337,93.10 ⁶
İnşaat Süresince Faiz (F=0.080,n=2 yıl)				27,03.10 ⁶
Yatırım Bedeli (YB=P+P.F)				364,96.10 ⁶
Yıllık Gider (Yatırım Bedeli YB.0,1)				36,49.10 ⁶
Yıllık Gider (Pompa Enerjisi 1533.10 ⁶ .8.75 cent /kWh)				134,13.10 ⁶
Toplam Yıllık Gider (A)				170,62.10 ⁶
Yıllık Gelir (Enerji Geliri, 1296 .10 ⁶ .4,75 cent/kWh)				61,56.10 ⁶
Yıllık Gelir (Puant güç geliri 0,6. 10 ⁶ .250 US\$/kWh)				150.00.10 ⁶
Toplam Yıllık Gelir (B)				211,56.10 ⁶
Rantabilite (B/A)				1.23
Net Fayda (B-A)				40,94.10 ⁶

Planladığımız hazneli pompalı HES'in ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılırken projenin ömrü 50 yıl olarak öngörülmüştür. Proje rantabilitesi 1.23 olarak belirlenmiş. Proje yaklaşık maliyeti 340 milyon \$ civarında olmasına karşın yıllık getirisi yaklaşık 41 milyon \$ dır. Yani buraya inşa edilecek tesis 7 yıllık bir sürede kendini amorti etmektedir. Tesisin en önemli avantajının ülkenin puant yük ihtiyacına cevap verecek olmasıdır.

6. SONUÇ

Avrupa Elektrik İletim Sistemi kriterlerine uyumun esası, Türkiye'nin sistem frekansının sabit tutulmasına dayanmaktadır. Frekans kontrolüne katılımı sağlayabilen santrallerin başında barajlı HES'ler ve hazneli pompalı HES'ler gelmektedir. Hazneli pompalı HES'lerin barajlı HES'lere göre en büyük avantajı, elektrik depolayarak puant saatlerdeki puant talebi karşılayabilme özelliğidir. Bunun yanında Hazneli pompalı HES'lerin yükü takip edebilme ve ünite tahsisi, sistem minimum yükü artırmak, maksimum yükü azaltmak suretiyle santrallerin üretim kapasitelerini dengelemesi, yedek enerji tutabilmesi, gerilim ve güç faktörünün düzeltilmesi ve frekans regülasyonunun yapılabilmesi gibi birçok faydaları bulunmaktadır. Ani ihtiyaç halinde 3-5 dakika içinde devreye alınabilmesi işletmede önemli bir esneklik sağlamaktadır. Ülkemizde puant yük talebinin karşılanması ise doğalgaz çevrim santralleri, depolamalı HES'ler ve puant enerji ithali ile sağlanmaktadır. Bunlardan depolamalı HES'ler ülkemiz açısından sınırlı, doğalgaz çevrim santrali ve diğer ithal kaynaklar ise pahalı çözümlerdir. Tüm bu özellikleri dikkate alındığında bu çalışmada ele alınan ve planlanan hazneli pompalı HES'lerin ülkemizdeki enerji güvenirliliği ve sürekliliği için önemli bir fayda sağlayacağı öngörülmüştür.

Bu kapsamda, Harita Genel Komutanlığından 1/25000 ölçekli dört adet raster ve vektör haritalar alınarak CBS ArcGIS programı kullanılarak çalışma bölgesinin yüzey analizleri yapılmıştır. DMİ'den bölge ve çevresindeki illerin meteoroloji gözlem istasyonlarından alınan veriler kullanılarak Hazar Gölü'nün yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımları modellenerek haritaları çıkarılmıştır. Çalışmada alt rezervuar olarak belirlenen Hazar Gölü üzerinde daha önce yapılan HAZAR1 ve HAZAR2 HES'lerini işleten kuruluştan göle ait yıllık ortalama su kodları alınarak değerlendirildiğinde 1996 -2005 yılları arasında minimum, maksimum ve ortalama göl seviyesi sırasıyla 1236,09 m, 1344,97 m ve 1249,61 m olarak bulunmuş ve böylece gölün seviyesinde tehlikeli değişimlerin meydana gelmeyeceği gözlemlenmiştir. Üst rezervuarın belirlenmesinde ise bölgenin raster ve vektör haritalar kullanılarak ArcGIS'de arazi yapısı (jeolojisi, eğimi, bakışı, topografyası) incelenerek en uygun rezervuar yeri belirlenmiş ve daha sonra rezervuarın depolayabileceği su miktarı hesaplanarak hacim-alan grafiği oluşturulmuştur. Üst rezervuarın arazi yapısı dikkate

alındığında rezervuara beton kaplamalı sedde yapılması uygun görülmüştür. Üst rezervuar ile alt rezervuar arasında arazi yapısının eğimi ve düşü yüksekliği incelenerek iki adet 7 m çapında çelik kaplamalı cebri boru ve üç adet 335 m uzunluğundaki kuyruk suyu borusu ile alt rezervuara (Hazar Gölü) bağlanacak derinliği 30 m, boyu 150 m ve eni 50 m olan tam gömülü bir santral binası planlanmıştır. Debi ve düşü değerlerine göre tasarlanan hazneli pompalı HES'in kurulu gücü 600 MW, pompa gücü 700 MW hesaplanmış ve türbin tipi Francis türbin olarak seçilmiştir. Kurulu güç, pompa gücü ve günlük çalışma saatleri göz önüne alınarak pompanın yıllık harcayacağı enerji miktarı 1533 MWh ve santralin yıllık üreteceği enerji miktarı 1296 MWh olarak hesaplanmıştır. Üretilen enerjinin şebekeye bağlanması için santral binası yanında şalt sahası inşa edilmesi planlanmıştır. Generatörde üretilen 15,75 kV gerilim 15,75/ 380kV güç trafosu üzerinden 20 km mesafede bulunan Elazığ Organize Sanayi Bölgesi'ndeki şebekeye bağlanacaktır.

Tasarlanan hazneli pompalı HES'in maliyet analizi yapılarak tesis bedeli 293,16.10⁶ US\$, proje bedeli 337,93. 10⁶ US\$, toplam yatırım bedeli 364,96.10⁶ US\$, toplam yıllık gider 170,62. 10⁶ US\$ ve toplam yıllık gelir 211,56. 10⁶ US\$ olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre projenin rantabilitesi 1,23 olarak bulunmuştur. Projenin, ekonomik hesaplar yapıldığında, kendisini yaklaşık 7 yılda amorti edeceği bulunmuştur. Bu amorti süresi de santral ömrü yaklaşık 50 yıl olarak dikkate alındığında oldukça uygundur.

Her geçen gün artan enerji talebimizin puant kısmını karşılayacak ve yerli kaynakları kullanacak bu santraller, yaygın olarak tasarlanıp uygun koşullarda kullanıldıklarında ülke ekonomisi ve enerji güvenilirliği açısından çok büyük katkılar sağlayacaktır. Aynı zamanda hidrolik kaynaklarımızın daha verimli ve etkin kullanımı da sağlanmış olacaktır. Bu çalışmaların yanında diğer yenilenebilir kaynaklarla hibrid planlamalar değerlendirilerek daha verimli çözümler gerçekleştirilebilir ve bu şekilde enerji açısından en iyi çözümlere doğru gidilebilir.

KAYNAKLAR

- Arman,F. A. “Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Sorunları”.
http://www.hesiad.org.tr/hid_pot.htm,2013
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Tarifleri Kitabı. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. 2011.
- Bakır,N.,N.,”Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Avrupa Birliği Perspektifinde Türkiye’nin Elektrik Üretim Politikalarına Bakış”
<http://www.ere.com.tr/yayinlar.html>, 2013.
- Bakis, R., göncü, S., Gümüşlüoğlu, E.,”Zap Suyu Havzası Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması”, *Anadolu Üniv. Araştırma Projesi*, (Proje No.: 090234), Eskişehir. (2012)
- Çeçen, K.,” Su Kuvvetleri”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Ders Notları*,2000,(1983)
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü “Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik Enerji 2”,*Su Dünyası*, 94, 10-11(2010)
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü,”Hasan Uğurlu Barajı”,
<http://www.dsi.gov.tr/sosyal-faaliyetler>, 2013
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.”Atatürk Barajı ve Hes”,
<http://www.dsi.gov.tr/dsi-galeri/barajlar>, 2012
- Enerji Piyasası Denetleme ve Düzenleme Kurumu Elektrik Piyasası Dairesi Başkanlığı.
“Elektrik Piyasası Gelişim Raporu”.*EPDK, Ankara*,2011.
- Evans J, Porlman H U.S. Geological Survey . The Water Cycle
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> ,
- Enerji Port. “Mikro santrallerin kurulu gücü”,
<http://www.enerjiport.com/2011/04/11/mikro-santrallerin-kurulu-gucu-3-bin-2011>
- Hydropower and the Environment, *IEA Technical Report Paris*,2000 US Geological Survey. “Hydro Dams for Large-Scale Electricity Supply”
http://climatetechwiki.org/technology/hydro_large#top,1997
- Hydropower & Dams, World Atlas and Industry Guide, 2000
- Karaçay,P.,”Pompaj Depolamalı Santraller ve Türkiye’deki Durum”,Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,(2010)

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Özbay, E., Gençoğlu M.T, “Hidroelektrik santrallerin modellenmesi”.**5.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu**, Diyarbakır, 108-109 (2009)
- Öziş, Ü., 1991”Su Kuvveti Tesislerinin Planlama Esasları” **Dokuz Eylül Üniversitesi mühendislik Mimarlık Fakültesi** Yayınları No:197, 225 (1991).
- Özdemir, M.A.,“Hazar Gölü (Elazığ) Havzasında Erozyon Problemi ve Alınması Gereken Önlemler”; **1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu**, Elazığ/Sivrice, 229, (1995).
- Saraç, M.”Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller” **FORUM 2009 Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri**, Trabzon, 3-4 (2009).
- Şekkeli,M.,Keçecioğlu,Ö.F.,”Hidroelektrik Santrallerin Türkiye’deki Gelişimi ve Kahramanmaraş Bölgesi Örnek Çalışması”. **KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi**.14(2):21-22 (2011)
- Tatar, Y., Turan, M., Aksoy, E., “Hazar Gölü’nün Oluşumu ve Jeolojik Özellikleri”, **1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu**, Sivrice Elazığ/Sivrice,1–13 (1995).
- Tekno Tasarım,”Hidroelektrik Enerji ve Türbinler”
http://download.teknotasarim.com/urun_katalog/HIDROELEKTRIK_ENERJI_TURBINLER.2013
- Tonbul, S., Yiğit, A., , “Pleistosen’den Günümüze Hazar Gölündeki Seviye Değişmeleri, Çevresel Etkileri ve Hatunköy Kapması”, **1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu**, Elazığ/Sivrice,41–68 (1995)
- Tutuş A “ Pompa depolamalı HES’ler” **10.Enerji kongresi**. İstanbul,18 (2006).
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi “Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Faaliyet Raporu”.**TEİAŞ,2010,Ankara,2010**.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş:Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı (2010) Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. “Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli”
http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx..2010
- Yorgancılar,N. S., Kökçüoğlu,H, “Pompaj Depolamalı Santrallerin Türkiye’de Geliştirilmesi”, **Türkiye 11.Enerji Kongresi**, İzmir,(2009)
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. “Hidroelektrik Enerji Nedir.”
http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx, 2012

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet BOZDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Sivrice 19.02.1971

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri : -

İş Deneyimi

Stajlar : -TEDAŞ,Aksantaş
Projeler :-
Çalıştığı Kurumlar : Milli Eğitim Bakanlığında Teknik Öğretmen(1996'dan itibaren)

İletişim

Adres : Osmaneli Çok Programlı Lisesi Osmaneli/BİLECİK
Tel :
E-Posta Adresi : bozdemirmehmet2@gmail.com

Diğer: -

Tarih: 04.06.2013

İmza