

3105

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

YAN GÖLÜ'NDEN ENERJİ ÜRETİMİ

Seza ŞENGÜLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

Bu tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu
İle Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

Danışman

(İmza)

(İmza)

ÖZET**YÜKSEK Lisans Tezi****YAN GÖLÜ'NDEN ENERJİ ÜRETİMİ****Seza ŞENGÜLER****Fırat Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****1991, Sayfa : 58**

Bu çalışmada, dünyanın en büyük göllerinden biri olan Van Gölü'nden nasıl enerji üretileceği problemi irdelenmektedir. Van Gölü, 3700 km². yüzölçümüne ve 1648 m. denizden yüksekliğe sahiptir. Gölün güneybatısında bulunan Dicle Nehri'nin ana kolları üzerindeki HES 'Hidroelektrik Santraller' ve barajların çalışmaları devam etmektedir.

Yıllık raporlara göre, göldeki yıllık su seviyesi değişimi 50 cm. civarındadır. Yaklaşık olarak bu miktar buharlaşmayla kaybolmaktadır. Buharlaşan bu suyun enerji üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir. Araştırmalar sonucunda, en uygun su alma yeri Tatvan yakınlarıdır. En uygun ve en yakın su götürme yeri de 1239 m. kotunda, Bitlis Çayı üzerindeki Bitlis Regülatörü'nün yakınlarıdır. Bu bölgede, su alma yerinden 22 km. uzaklıkta Van HES kurulacaktır.

Tatvan yakınlarından alınan su, galeri ile Van HES'ne getirilecektir. Buna müteakip Bitlis Çayı'nı takip ederek Bitlis HES'ne geçecek ve sonra Baykan Barajı'na varacaktır. Daha sonra, su Ilısu Barajı'na gelecek ve ardından Cizre Barajı'na erişecektir. Sonra kendi akışıyla ülke sınırlarını terkedecektir.

Doğal olarak, gölden alınan ve ülke sınırlarını terkeden bu su miktarı, düşü yükseklikleri ile enerji üretimini sağlayacaktır. Yaptığımız hesaplarda, bu enerji miktarı, yaklaşık olarak 4.69 milyar kWh. tir.

ANAHTAR KELİMELER: Van Gölü, enerji üretimi, HES, barajlar, kWh.

SUMMARY**Masters Thesis****PRODUCING ENERGY FROM LAKE YAN****Seza ŞENGÜLER****Fırat University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Civil Engineering****1991, Page : 58**

In this study, it has been undertaken the problem of how to produce energy from one of the largest lakes of the world, Lake Yan. Lake Yan has a 3700 km². area and a 1648 m. altitude. A couple of HPP 'Hydroelectric Power Plants' and dams on the main branches of River Dicle which is located in the southwest of the lake, are already under construction.

According to the annual reports, the annual changing of the water-level of the lake is about 50 cm. Almost all of the this amount of water loses by evaporating. It is thought that, the evaporated water could be taken for use in energy production. At the end of all researches, the most suitable place of taking out the water is near Tatvan. Also, most suitable and nearest place for out let is near Regulator Bitlis, which is on Bitlis Stream and has a 1239 m. altitude. In this area, Yan HPP which has a distance 22 km. from the intake, will be constructed.

The water, which is taking from near Tatvan, is brought with a gallery to the HPP Yan. Following this, it will flow through the Stream Bitlis, will pass through HPP Bitlis and then will reach Dam Baykan. Later on, the water will come to Ilisu Dam and then will arrive at Dam Cizre. Then it will leave the country borders with its own flow.

Naturally, the water quantity, which is taking from the lake and leaving country borders, will supply the energy production with its falling altitude. In our calculations, amount of this energy is about 4.69 billion kWh.

Key Words : Lake Yan, energy production, HPP, dams, kWh.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılmasında, yoğun çalışmalarına rağmen değerli yardımlarını ve yakın ilgisini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Ahmet TUNA'ya teşekkürü bir görev addediyorum.

Ayrıca, yardımlarını esirgemeyen Yüksek Lisans programını yürüten Fırat Üniversitesi değerli yöneticilerine ve bölüm hocalarıma, bu tezin yazılmasında titizlik gösteren İhsan GENÇ'e, çizim ve tabloların hazırlanmasında bana yardımcı olan Şehir Plancısı Gülay AYGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER	vii
TABLolar	viii
SİMGELER	ix
KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. SU KUYRETİ TESİSLERİ	5
2.1. Tanımlar	5
2.2. Tabii Kaynağımız Sudan Nasıl Faydalanılır?	6
2.3. Gün ve Yıl Sürecinde Elektrik Enerjisi İhtiyacının Değişimi	8
2.4. Su Gücünün Belirlenmesi	9
2.5. Su Kuvveti Tesislerinin Sınıflandırılması	11
2.6. Su Kuvveti Tesislerinin Yapı Tipleri	12
2.6.1. Alçak basınçlı tesisler	12
2.6.1.1. Akarsu santralleri	12
2.6.1.2. Kanal santralleri	13
2.6.2. Yüksek basınçlı tesisler	13
2.6.2.1. Baraj santralleri	13
2.6.2.2. Çevirme santralleri	14
2.6.3. Pompaj biriktirmeli santraller	15
3. SU KUYRETİ TESİSİNİN YAPI ELEMANLARI	17
3.1. Hazneli Tesislerde Kurulu Güç ve Debinin Tayini	17
3.2. İsale Tesisleri (Galeriler)	19
3.2.1. Serbest yüzeyli akımlarla isale	23
3.2.2. Basınçlı akımlarla isale	30

3.3. Yükleme Odaları ve Denge Bacaları	32
3.3.1. Yükleme odaları	32
3.3.2. Denge bacaları	33
3.4. Basınçlı Borular	35
4. TÜRBİNLER, JENERATÖRLER, TRANSFORMATÖRLER	39
4.1. Türbinler	39
4.2. Jeneratörler ve Transformatörler	42
5. YAN GÖLÜ'NDEN ENERJİ ÜRETİMİ	43
5.1. Yan Gölü Kapalı Havzası Su Seviyesindeki Yıllık Değişimler	46
5.2. Gölde Çekilecek Debinin ve Üretilecek Enerjinin Tayini	47
5.3. Basınçlı Galeri Hesabı	48
5.3.1. Kaplamasız hal için	49
5.3.2. Kaplamalı hal için	50
5.4. Bitlis Çayı ve Müteakiben Elde Edilecek Enerji Miktarları	51
5.5. Değişik Debi Değerleri İçin Alternatif Çözümler	57
6. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	62

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Bir akarsuda düşüm yüksekliğinin oluşturulması	7
Şekil 2.2. Elektrik enerjisi ihtiyacının gün ve yıl boyunca değişimi	8
Şekil 2.3. Yeraltı santrallerinin düzenleme tipleri	15
Şekil 3.1. Hazneli tesislerin şematik gösterimi	18
Şekil 3.2. İsale tesisinden bir kesit	22
Şekil 3.3. Kanal inşasında istinat duvarlarının durumları	23
Şekil 3.4. Serbest yüzeyli galeri	24
Şekil 3.5. Eşkenar trapez kesit	27
Şekil 3.6. Basınçlı galeri	30
Şekil 3.7. Ekonomik çapın belirlenmesi için maliyet çap hesabı	31
Şekil 3.8. Yükleme odası	32
Şekil 5.1. Gölden alınacak suyun takip edeceği güzergah	44
Şekil 5.2. Gölden alınacak suyun takip edeceği boykesit	45
Şekil 5.3. Bitlis Çayı enerji imkanları boykesiti	52
Şekil 5.4. Dicle Nehri Havzası enerji imkanları boykesiti (Alternatif - I)	53
Şekil 5.5. Dicle Nehri Havzası enerji imkanları boykesiti (Alternatif - II)	54

TABLolar

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Geliştirme Durumu	3
Tablo 1.2. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Proje Durumlarına Göre Dağılımı	4
Tablo 5.1. Kaplamasız Hal İçin Maliyet Hesabı	49
Tablo 5.2. Kaplamalı Hal İçin Maliyet Hesabı	50



SİMGELER

A	: Akım alanı	m^2
a	: Dalga hızı	m/sn
b	: Kanal taban genişliği	m
C	: Askı halindeki malzeme cinsine bağlı olan katsayı	
D	: Galeri çapı	m
D_{ek}	: Galeri ekonomik çapı	m
E	: Elektrik enerjisi	kgm
e	: Galerinin kaplama kalınlığı	m
e_{min}	: Basıncılı borularda minimum et kalınlığı	cm
E_p	: Potansiyel enerji	kgm
F	: Denge bacası kesit alanı	m^2
F_1	: Açık kanallarda enkesit alanı	m^2
F_{Thoma}	: Thoma'ya göre denge bacası kesit alanı	m^2
f	: Galeri kesit alanı	m^2
f_b	: Betonun birim fiyatı	TL/ m^3
f_e	: Elektrik satış fiyatı	TL/kW
f_h	: Hafriyatın fiyatı	TL/ m^3
G	: Cismin ağırlığı	kg
g	: Yerçekimi ivmesi	m/sn^2
H	: Düşü yüksekliği	m
H_1	: Müsaade edilebilen maksimum su derinliği	m
H_b	: Brüt düşüm yüksekliği	m
H_G	: Basınç yüksekliği	m
H_i	: Düşü yüksekliği	m
H_n	: Net düşüm yüksekliği	m
H_S	: Statik emme yüksekliği	m
h	: Su yüksekliği	m
h_0	: Permanant rejimde basınçlı galeride meydana gelen yük kayıpları	

I_0	: Taban eğimi	
J	: Piyezometrik eğim	
k	: Pürüzlülük katsayısı	
L	: Galeri uzunluğu	m
M	: Toplam maliyet	TL
M_b	: Kaplamamın maliyeti	TL
M_e	: Galerinin maliyeti	TL
M_g	: Elde edilecek gelir	TL
M_h	: Hafriyatın maliyeti	TL
M_{min}	: Minimum maliyet	TL
N	: Tesisin gücü	kW
N'	: Tek grup adedine düşen güç	BB
N_b	: Tesisin net gücü	kW
n	: Şev açısı	(°)
n_s	: Özgül dönme sayısı	
n_1	: Emniyet katsayısı	
P	: Tesisin kurulu gücü	kW
p	: Basınç	kg/cm ²
P'	: Islak çevre	m
P_d	: Atmosfer basıncı	kg/cm ²
P_j	: Jeneratörün çift kutup sayısı	
R	: Hidrolik yarıçap	m
r	: Serbest yüzeyli galerilerde yarıçap	m
Q	: Donatım debisi	m ³ /sn
Q_1	: İşletme debisi	m ³ /sn
Q_i	: Gölden çekilecek debi miktarı	m ³ /sn
Q_2	: Kanaldan çıkan maksimum debi	m ³ /sn
T	: Santralin yıllık çalışma süresi	saat
t	: Zaman	sn
V	: Akım hızı	m/sn
V'	: Yükleme odasının minimum hacmi	m ³
V_i	: Gölden alınacak su hacmi	m ³

v_1	: Çökelme olmaması için gereken minimum hız	m/sn
v_0	: Permanant rejimde basınçlı galerideki hız	m/sn
w	: Tesisin üreteceği toplam enerji	kWh
w_i	: Tesisin üreteceği enerji	kWh
α	: Amortisman yıllık payı	
γ	: Suyun özgül ağırlığı	kg/m ³
φ	: Serbest yüzeyli galerilerde merkez açısının yarısı	(°)
Δp	: Basınçlı borularda basınç artması	
η	: Toplam randıman katsayısı	
η_J	: Jeneratör randıman katsayısı	
η_T	: Türbin randıman katsayısı	
η_{TR}	: Transformator randıman katsayısı	

KISALTMALAR

BB	Beygir Gücü
E.A.S.S.	En Alçak Su Seviyesi
E.Y.S.S.	En Yüksek Su Seviyesi
GW	Gigavat
GWh	Gigavat Saat
HES	Hidroelektrik Santralı (Santralleri)
HPP	Hydroelectric Power Plant (Plants)
kW	Kilovat
kWh	Kilovat Saat
MW	Megavat
SKT	Su Kuvveti Tesisi
TW	Teravat
TWh	Teravat Saat

1. GİRİŞ

19. asrın sonunda keşfedilen elektrik enerjisi, asrımızın başından beri giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Yeryüzünde primer kaynakların bolluğu, üretiminin biraz karışık ve pahalı olması yanında, iletiminin ışıık hızı ile ve çok az kayıpla yapılabilmesi, istenildiği anda diğer enerji şekillerine dönüşebilmesi, bu enerjinin yaygın kullanımının başlıca nedenlerindendir.

Bugün evlerimizdeki gerek aydınlatma ve soğutmada kullanılan cihazlar gerekse radyo, TV., ütü, buzdolabı v.s. gibi cihazlar bu enerjiyi kullanırken, sanayide motorlar da bu enerjiyle çalışmaktadır. Elektrik enerjisi, kendisini kullanan milletlere refah, ülkelere de gelişmişlik niteliği kazandırmaktadır.

Ülkemiz enerji kaynakları bakımından çok zengin bir ülke değildir. Hidroelektrik enerji potansiyelimizin bugün için fizibil olan miktarı 122 milyar kwh/yıl olup, halen bunun %20 kadarından istifade edilmektedir. İnşa halindeki baraj ve hidroelektrik santrallerin servise girmesi ile bu oran %31'e yükselecektir. Petrol bakımından yeterli olmayan ülkemizde bugün için kömürden enerji üretebilme kapasitemiz genelde linyit kömürüne dayalı olarak yılda 106 milyar kwh olup bunun da halen %26'sından istifade edilmektedir. Programdaki tesislerin tamamlanmasına bağlı olarak bu oranın %35'e yükselmesi beklenmektedir.

1990 yılında yapılan bir araştırmaya göre 1990-94 yıllarında gerekli olan enerji talebinin halen işletmede bulunan ve bu dönem içinde tamamlanacak olan işletmelerce karşılanacağı saptanmıştır. 1990 yılı içindeki güç talebi 9.500 MW "Megavat", enerji talebi 56.490 GWh. "Gigavat saat", 1994 yılı için ise güç talebinin 12.340 MW., enerji talebinin de 75.430 GWh. olacağı tahmin edilmektedir (Tablo 1.1 ve Tablo 1.2) (Erke, 1981).

Uzun döneme ilişkin olarak çeşitli varsayımlara göre yapılan tahmin çalışmalarının sonuçları 2000 yılında güç talebinin yaklaşık 19.600 MW., enerji talebinin yaklaşık 120

milyar kwh, 2010 yılında ise güç talebinin yaklaşık 43.300 MW., enerji talebinin yaklaşık 258 milyar kwh.lık bir seviyeye yükseleceğini göstermektedir.

Ülkemiz petrol, kömür gibi enerji kaynakları bakımından sınırlı olanaklara sahiptir. Ayrıca kömür, petrol gibi kaynaklardan üretilen enerjinin çevreyi kirletici ve ekolojik dengeyi bozucu etkileri önemli boyutlardadır. Hidroelektrik enerjisinin ise yenilenebilir nitelikte oluşu, çevreyi kirletici etkisinin olmaması gibi önemli özellikleri vardır. Avrupa ülkeleri arasında Norveç'ten sonra ikinci sırada olan hidroelektrik potansiyelimizin tükenmeyen yerli kaynak olarak elektrik enerji taleplerinin karşılanmasında önemli ve avantajlı bir konuma sahiptir.

Hidroelektrik santrallerin diğerlerine göre avantajları saymakla bitmez. Örneğin; termik santrallerle karşılaştırma yaptığımızda, hammadde, çevre ve hava kirliliği, işletme giderleri v.s. bakımından oldukça avantajlıdır.

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

Ülkemizde 1988 yılı sonuna kadar 121 baraj inşaatı tamamlanarak hizmete sokulmuştur. Bunlardan 18 tanesi hidroelektrik santralli barajdır. Ayrıca 40 adet santral ve ilgili tesisler tamamlanarak servise sokulmuştur.

Türkiye'de yıllık yağışlar 220-2500 mm. arasında değişmekte olup bu yıllık 501 km^3 suya tekabül eder. Bu suyun yaklaşık 186 km^3 lük bölümü akış haline geçer. İlgili kuruluşlarca yapılan çalışmalara göre inşa olunacak yaklaşık 684 baraj ve 478 H.E.S. vasıtasıyla akarsularımız düzenlenebilecek ve azami fayda sağlanacaktır (D.S.İ, 1989).

Bu baraj ve H.E.S.'lar bitirildiği takdirde, toplam 33.723 MW. kurulu gücündeki santrallerle yılda 122 TWh. "Teravat saat", elektrik enerjisinin üretilmesi imkan dahiline

girecek; ayrıca sulama, taşkın koruma, içme, kullanma ve sanayi suyu faydaları da artacaktır.

Bu bilgiler ışığında Van Gölü gibi büyük yüzölçümüne sahip bir gölden yararlanmak, ülkemizin elektrik enerjisi ihtiyacını büyük ölçüde rahatlatacaktır.

$$1 \text{ km}^3 = 1 \text{ milyar m}^3$$

$$1 \text{ TWh} = 1 \text{ milyar kWh}$$

$$1 \text{ GWh} = 1 \text{ milyon kWh}$$

Tablo 1.1. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Geliştirme Durumu

Hidroelektrik Santral Projelerinin Durumu	HES Adedi	Toplam Kurulu Gücü MW	Ortalama Yıllık Üretimi GWh/yıl	Yüzde Oran %	Ardışık Oran %
1- 1990 yılı başı itibarı ile işletmede olan	59	6689	24625	19.9	19.9
2- 1990 Programında bulunan					
a) İnşa edilmesine daha önce başlanmış olup 1990 yılında devam edilecek olan	20	4077	13904	11.3	32.2
b) 1990 programında olup inşa edilmesine geçilemeyen	10	1862	4368	3.5	34.7
(2.) Ara Toplam (a + b)	30	5939	18272	14.8	---
Ara Toplam (1. + 2.)	89	12628	42897	34.7	---
3- Gelecek yıllar programına teklif edilecek	388	22264	80619	65.3	100.0
4- Toplam Potansiyel	477	34892	122516	100.0	---

Tablo 1.2. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Proje Durumlarına Göre Dağılımı

Hidroelektrik Santral Projelerinin Durumu	Proje Adedi	Kurulu Gücü MW	Toplam Enerji Üretim Kapasitesi				
			Güvenilir GWh	Ortalama GWh	Ardışık GWh	Ortalama %	Ardışık %
1- İşletmede	59	6689	19087	24625	24625	19.9	19.9
2- İnşa halinde	20	4077	10201	13904	38529	11.3	31.2
3- Kesin projesi bitmiş	24	4714	9235	14564	53093	11.8	43.0
4- Kesin projesi yapılmış	11	2418	4309	7705	60798	6.2	49.2
5- İnşaatı var HES tesisi yok (*)	4	60	104	222	61020	0.2	49.4
6- Planlaması bitmiş	84	4419	8848	15100	76120	12.2	61.6
7- Planlaması yapılmakta	40	2344	3793	8221	84341	6.7	68.3
8- Master plan aşamasında	46	2828	5335	9244	93585	7.5	75.8
9- İstikşaf aşamasında	189	7343	17134	29931	122516	24.2	100.0
Toplam Potansiyel	477	34892	78546	122516		100.0	

(*) Baraj inşaatı bitmiş ancak, henüz HES tesis edilmemiştir.

2. SU KUVVETİ TESİSLERİ

2.1. Tanımlar

Bir su kuvveti tesisi, diğer tanımıyla bir hidroelektrik tesis, suyun potansiyel ve kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Böyle bir tesis su kütlesinin düşey bir mesafeden düşürülmesi prensibine göre çalışır (Çeçen, 1979).

Ayrıca bir su kuvveti tesisinde bulunan diğer elemanları tanımlamak gerekirse; brüt, yani teorik düşüm yüksekliği, doğal veya yapay bir su iletim yolunun iki ardışık kesitinin su yüzeyleri arasındaki kot farkına eşittir. Net, yani faydalı, düşüm yüksekliği, brüt düşüm yüksekliğinden suyun iletilmesi sırasında meydana gelen kayıpları çıkarmak suretiyle elde edilir. Net düşüm yüksekliği türbin giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç farkı, yani yük farkı olarak da tanımlanır. Su kuvveti tesislerinde maliyet yönünden düşüm yüksekliğini büyük seçmek, küçük seçmekten genellikle daha ekonomik olur.

Donatım debisi, bir hidroelektrik tesiste yapı elemanlarının özellikle türbinlerin boyutlandırılmasında esas alınan debiye denir. Belirli bir zamanda enerji talebini karşılamak için kullanılabilecek debiye ise, faydalı debi denir. Donatım debisi faydalı debinin maksimum değeridir. Bir su kuvveti tesisinde yükseklik değişimi, belirli sınırlar içinde kaldığından üretilen enerji büyük ölçüde debiye bağlıdır.

Güç, tesiste bir saniyede üretilen enerjiye denir. Tesisin kurulu gücüne ise, ana gruplarda üretilmesi mümkün olan maksimum aktif güçlerin toplamına denir. Bu güç türbin mili üzerindeki mekanik güçlerin toplamına eşit alınabilir. Tesisten alınabilen maksimum güç, grupların verebilecekleri en büyük güçlerin toplamıdır. Tesisten devamlı elde edilebilecek güce sürekli yük veya diğer adıyla taban yükü denir. Tüketici şebekesinde oldukça kısa sürelerde ihtiyaç duyulan ve tesisin şebekeye vermesi gereken en büyük güce ise pik yük denir. Garanti

edilmiş güç, bir santralin kurak bir yılın pik saatlerinde sürekli olarak üretebileceği güçtür. Ayrıca belirli bir zaman sürecinde tüketilen ortalama yükün tesisin pik yüküne oranına denir.

Üretilen enerji miktarını, tesisin güç gidiş çizgisinin yani yük eğrisinin altında kalan kapalı alan gösterir. Bir hidroelektrik tesiste belirli bir zaman diliminde ideal işletme şartlarında üretilmesi mümkün olan enerji miktarına üretilebilir enerji, hem kurak ve hem de sulak yıllarda emniyetle üretilebilen enerjiye güvenilir yani firm enerji denir. Bir akarsuyun güvenilir enerjisi biriktirme tesisleri ile önemli ölçüde artırılabilir. Üretim ve kapasitesi önceden tahmin edilemeyen ve herhangi bir zamanda beklenen talebi karşılamada güvenilmeyen enerjiye ise güvenilir olmayan, yani sekonder enerji denir. Kapasite faktörü, bir su kuvveti tesisinin belirli bir sürede ürettiği enerjinin, tam kurulu güç ile çalışması durumunda üretebileceği enerjiye oranı olarak tanımlanır (Brown, 1965)

Bölgeler arasında iletişim şebekesi kurularak çeşitli enerji üretim kaynaklarının birlikte çalışmasının sağlanmasına enterkonnekte sistem denir. Bu sayede besleyici sistemin yük faktörü büyük ölçüde artırılır (Erkek, 1986).

2.2. Tabii Kaynağımız Sudan Nasıl Faydalanılır?

Yeryüzeyindeki enerji taşıyıcısı olan suyun, aşağıdaki dört ayrı halinin dikkate alınması gerekir.

a- Göllerde ve nehirlerde, vahşi derelerde ve düşülerde seviye farkından dolayı yerçekimi kuvvetinin tesiriyle, potansiyel ve kinetik enerjiye sahip olan sular,

b- Dünyanın dönüşü ile bağlantılı olarak, ayın ve güneşin çekimi dolayısı ile oluşan gelgit olaylarından ötürü kabilen ve alçalan ve böylece kinetik ve potansiyel enerji meydana getiren deniz suları,

c- Rüzgarlardan aldığı enerjiyi okyanus kıyılarına kinetik enerji halinde getiren dalgalar,

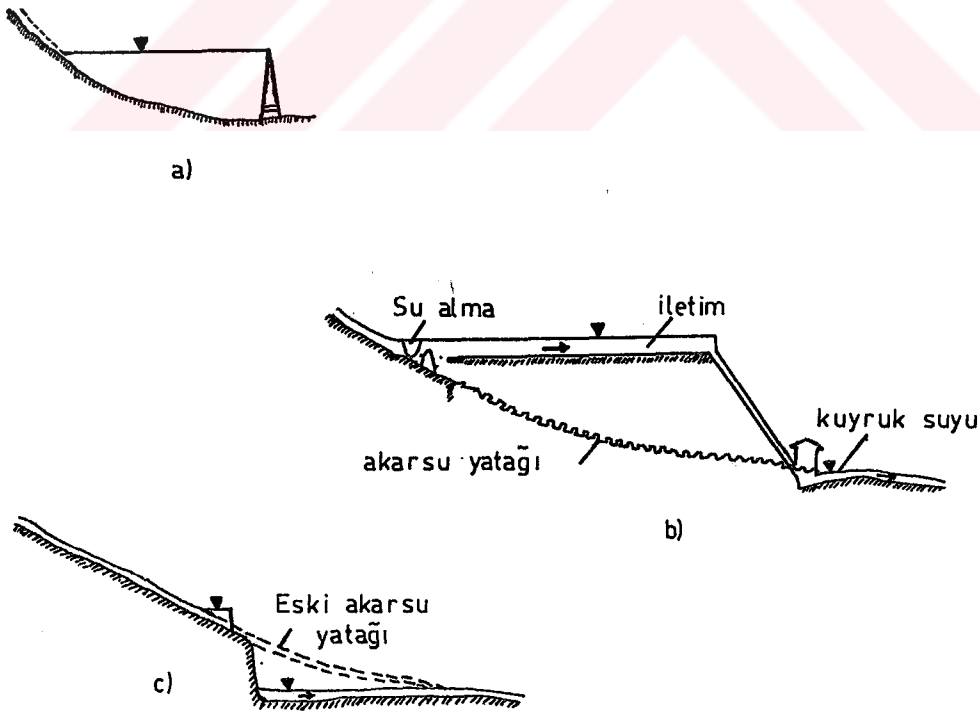
d- Aralarında sıcaklık derecesi farkı bulunan derin ve yüzeysel deniz tabakalarıdır (Dönmezer, 1976).

Bir akarsuyun enerjisinin önemli bir bölümü suyun türbülanslı hareketi, su yolundaki cidar dirençleri, dirsekler, daralmalar, genişlemeler, çevrıntiler, katı madde taşınımı gibi enerjiyi tüketici unsurlar tarafından termik ve ses enerjisine dönüştürülerek harcanır. Su kuvveti tesisleri ile bu kayıplar azaltılır. Ye prensip olarak üç değişik şekilde doğal eğim bir noktada toplanarak düşüm yüksekliği elde edilir. Bunlar;

a- Kabartma tesisi,

b- Çevirme ve iletim tesisi,

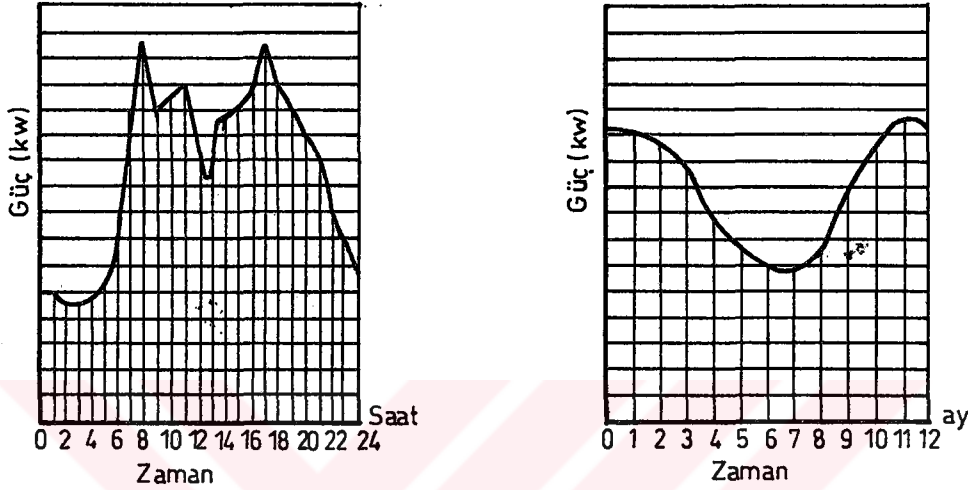
c- Taban kotunun düşürülmesidir (Brater, 1959).



Şekil 2.1. Bir akarsuda düşüm yüksekliğinin oluşturulması.

2.3. Gün ve Yıl Sürecinde Elektrik Enerjisi İhtiyacının Değişimi

Elektrik enerjisi ihtiyacı gün ve yıl içinde sürekli olarak değişmektedir.



Şekil 2.2. Elektrik enerjisi ihtiyacının gün ve yıl boyunca değişimi

Elektrik enerjisi ihtiyacı, gün boyunca kısa zaman aralıkları ile değişir. Sabah saatlerinde işyerleri çalışmaya başlayınca elektrik tüketimi yükselir ve iş makinelerinin devreye girmesiyle ilk pik oluşur. Belki sabahın geç saatlerinde ikinci bir pik noktasına erişilir. Öğle tatilinde elektrik tüketimi belirgin bir şekilde azalır. Öğleden sonra sabahın geç saatlerindeki ikinci pik değerine erişilir. Yukarıdaki günlük ihtiyacı gösteren şekildeki gibi de akşam iş makinelerinin durduğu, işi bırakma saati açıkça görülmektedir. Aydınlatmanın başladığı saatlerde tekrar yüksek bir pik enerji tüketimi oluşur ve sinema, tiyatro, lokanta ve eğlence yerlerinin kapandığı saatlerde tekrar düşer. Enerji tüketim çizgisi diğer çalışma günlerinde de aynen tekrarlanmasına rağmen pik saatlerinde mevsimsel değişimler meydana gelir. İhtiyaçtaki bu büyük değişimler enerji teminini büyük ölçüde pahalılaştırır. Pik ihtiyaçlarını karşılayacak enerji üretim makineleri ancak çok kısa bir sürede tam olarak kullanılabilmektedir. Bu sebeple tek bir makinenin yalnız başına elektrik enerjisi talebini

karşılması yerine bir çok küçük makinenin beraberce karşılaması tercih edilir. Bu gibi durumlarda yalnız bazı makine üniteleri gece ve gündüz sürekli çalışın baz enerji üretirken, diğerleri ihtiyaç olduğu zamanlarda devreye girerler.

2.4. Su Gücünün Belirlenmesi

Bir cisimle kıyaslayarak hesaplayacak olursak, ağırlığı G olan bir cismin H yüksekliğinden düşmesi ile yapacağı iş,

$$E_p \text{ (kgm)} = G.H. \quad \text{değerine eşittir.}$$

Bunun yanında işletme debisi $Q \text{ (m}^3/\text{sn)}$ olan ve $t(\text{sn})$ zamanı içinde toplanmış bir suyun $H(m)$ yükseklikten düşmesi halinde sahip olduğu potansiyel enerji,

$$E_p \text{ (kgm)} = \gamma.Q.H.t \quad \text{eşitliği ile bulunur.}$$

Suyun geliş yolunda meydana gelen kayıpların düşüm yüksekliği hesabında gözönüne alınıp alınmadığına göre tesisin brüt veya net enerjisinden söz edilebilir.

Suyun potansiyel enerjisi mekanik enerjiye türbinlerde dönüştürülür. Türbin çarkını çevirmekle elde edilen mekanik enerji, jeneratörler yardımı ile elektrik akımına dönüştürülür. Kıvılcım sıçramalarını önlemek ve tüketicilerin elektrikli ev aletlerini tehlikesizce kullanmalarını sağlamak için elektrik üreten makinelerde ve tüketici elektrik şebekelerinde alçak gerilim olması gerekir. Jeneratörlerden düşük gerilimde çıkan bu akım büyük mesafelere taşındığında, yüksek gerilime göre çok daha büyük kayıplar meydana geldiğinden, iletim hatlarında yüksek gerilim gereklidir. Bu görevi üstlenen araç ise transformatörlerdir.

Bir su kuvveti tesisinde türbin, jeneratör ve transformatörde ısı enerjisine dönüşerek kaybolan enerji su kuvveti tesisinin toplam randıman katsayısı ile ifade edilir. Buna göre bu değer,

$\eta = \eta_T \cdot \eta_j \cdot \eta_{TR}$ eşitliği ile hesaplanır.

Bu eşitlikte kullanılan semboller,

$\eta_T = 0.85-0.90$ arasında,

$\eta_j = 0.91-0.96$ arasında,

$\eta_{TR} = 0.96-0.985$ arasında değişir.

Bu eşitliklerden faydalanarak, toplam randıman katsayısının sınır değerlerini bulalım.

$\eta = 0.85 \times 0.91 \times 0.97 = 0.75$ ve

$\eta = 0.90 \times 0.96 \times 0.985 = 0.85$ bu iki değer arasında değişmektedir.

Daha önceden kullandığımız potansiyel enerji eşitliği ile hesaplanan enerji karşılığı elde edilecek elektrik enerjisi miktarı içinse şu şekilde yazabiliriz.

$$E = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n \cdot t$$

Tesisin gücü,

$$N = \frac{E}{t} = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot H \quad (\text{kgm/sn}) \quad \text{bağıntısı ile bulunur.}$$

Tesisin brüt gücüne, yani teorik gücüne gelince,

1 Beygir Gücü (BB) = 75 kgm/sn.

1 Kilowat (kW) = 102 kgm/sn. olduğuna ve suyun özgül ağırlığı 1000 kg/m^3

olduğuna göre bu eşitlik şu şekle dönüşür.

$$N_b = \eta \cdot 1000 \cdot Q \cdot H_n$$

$$N_b = 13,3 \cdot \eta \cdot Q \cdot H_n \quad (\text{BB})$$

$$N_b = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H_n \quad (\text{kW}) \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

Toplam randıman katsayısının sınır değerleri dikkate alınarak tesisin net gücü,

$$N_b = (10 \text{ ile } 11) \cdot Q \cdot H_n \quad (\text{BB})$$

$$N_b = (7 \text{ ile } 8) \cdot Q \cdot H_n \quad (\text{kW}) \quad \text{eşitlikleri ile hesaplanabilir.}$$

Bir yılda üretilen enerji için yıl 8760 (365×24) saat alınarak hesap yapılır. Su kuvveti tesislerinde güç birimi olarak genellikle aşağıdaki değerler kullanılır.

$$MW = 10^6 \text{ wat} = 10^3 \text{ kW}$$

$$GW = 10^9 \text{ wat} = 10^6 \text{ kW}$$

$$TW = 10^{12} \text{ wat} = 10^9 \text{ kW.} \quad (\text{Erkek, 1986}).$$

2.5. Su Kuvveti Tesislerinin Sınıflandırılması

1) Kurulu gücüne göre,

- a- Çok küçük SKT : ≤ 100 kW
- b- küçük SKT : 100 - 999 kW
- c- orta SKT : 1000 - 9999 kW
- d- büyük SKT : >10000 kW

2) Biriktirme haznesinin bulunup bulunmadığına göre,

- a- Tabii debili,
- b- Biriktirme hazneli.

3) Düşüm yüksekliğine göre,

- a- Alçak basınçlı tesisler ($H < 50$ m)
- b- Yüksek basınçlı tesisler ($H > 50$ m)

4) Suyun mekanik enerjisinden faydalanma şekline göre,

- a- Akarsuların enerjisinden faydalanan,
- b- Denizlerin enerjisinden faydalanan,
- c- Pompaj biriktirmeli,

olarak sınıflandırılabilir (Schleiermacher, 1967).

2.6. Su Kuvveti Tesislerinin Yapı Tipleri

2.6.1. Alçak basınçlı tesisler

Nüfus yoğunluğu fazla olan veya düz vadilerde biriktirme haznesi planlaması tercih edilir. Bu tip tesisler genellikle akarsuyun getirdiği debiye göre çalıştığından işletme debisi teorik olarak en alçak ve en yüksek debi arasında seçilebilir. Bütün sene boyunca gözetilmiş minimum debinin işletme debisi olarak seçilmesi durumunda orta ve yüksek debilerin büyük kısmından yararlanılamaz. Fakat, yıl boyunca güvenilir bir enerji elde edilmiş olur. Buna karşılık işletme debisi ne kadar büyük seçilirse, kullanılmadan mansaba verilecek debi de o kadar azalır. Bununla beraber bu debi ile bir yıl boyunca enerji üretilen gün sayısı da çok az olur.

İşletme debisi, genel olarak mevsimlere göre ihtiyaçları karşılayabilen bir debi olarak seçilir. Pratikte tabii debili su kuvveti tesislerinde işletme debisi olarak akarsuda senenin doksan ile yüzirmi gününde mevcut olan debi seçilir.

Alçak basınçlı su kuvveti tesislerinde düşüm yüksekliği birinci derecede debiye bağlı olarak değişmektedir. Debi arttıkça genellikle düşüm yüksekliği azalır. Bu tipte santral binası ya akarsu yatağında veya bir çevirme kanalı üzerinde kurulur. Buna göre akarsu santralleri veya kanal santrali olmak üzere isimlendirilir.

2.6.1.1. Akarsu santralleri

Alçak basınçlı su kuvveti tesislerinden biri olan akarsu santralleri genellikle eğimin küçük, arazinin düz olduğu akarsuların mansap bölgelerinde planlanır. Düşüm yüksekliği küçük, işletme debisi büyük tesislerdir. Akarsu yatağı genellikle bir bağlama ile kapatılır. Bağlamanın bir uzantısı olan kuvvet santrali su alma ağız ve iletim tesisi ile bir bütün teşkil

eder. Ayrıca akarsu santrallerinin çok değişik tipleri mevcuttur.

2.6.1.2. Kanal santralleri

Kanal santrallerinde amaç, kabartma yapıları bazında, çevirme kanalının topografik şartlarından da yararlanılarak daha büyük bir düşüm yüksekliği kazanılması amaçlanır. Ayrıca taşkın esnasında akarsu yatağı aynen kullanılabilir.

2.6.2. Yüksek basınçlı tesisler

Yüksek basınçlı tesisler de, alçak basınçlı tesisler gibi ikiye ayrılır. Bunlardan biri baraj santralleri, bir diğeri de çevirme santralleridir.

2.6.2.1. Baraj santralleri

Günümüzde, su ve enerjiye olan ihtiyacın artması sonucu biriktirme tesislerinin önemi de artmıştır. Bu tip tesislerde suların fazla olduğu zamanlarda biriktirilen sular debinin küçük olduğu zamanlarda kullanılır ve işletme debisi büyük ölçüde dengelenir. Uzun yılların ortalamasını işletme debisi olarak seçmek, akım rejimi düzensiz akarsularda çok büyük hazneye ihtiyaç gösterdiğinden bunu gerçekleştirmek ekonomik olarak mümkün olmaz. Bu nedenle teknik ve ekonomik yönden seçilen hazne hacminin dengelendiği debi, işletme debisi olarak seçilir. Su kuvveti tesislerinde hazneler günlük, haftalık, mevsimlik, yıllık ve çok yıllık olarak işletilir.

Baraj santralleri genellikle orta ve yüksek düşümlü olarak planlanır. Kuvvet santrali, etek santrali, derivasyon santrali ve yeraltı santrali şeklinde düzenlenebilir.

2.6.2.2. Çevirme santralleri

Yüksek basınçlı su kuvveti tesisleri büyük düşüm yükseklikleri ile çalıştıklarından düşüm yüksekliği değişimleri fazla bir önem taşımazlar. Fakat işletme debisindeki kayıplar kendini hissettirir. Çevirme santralleri de kendi arasında iki tip santrale ayrılır. Biri yerüstü santralleri, diğeri yeraltı santralleridir.

a- Yerüstü santralleri

Yüksek basınçlı çevirme santrallerinde su alma yerinden alınan su açık kanal veya serbest yüzeyli galeri ile denge bacasına getirilir. Yana odasından sonra dik olarak inen basınçlı borular yerüstü santrallerinde son bulur. Birçok hallerde küçük eğimle bir basınçlı galeri ile dağın altından geçilerek denge bacasına gelinir. Buna daha sonra sırasıyla kapatma vanaları, basınçlı boru ve kuvvet santrali takip eder. Türbinden çıkan su bir boşaltma kanalı ile tekrar akarsuya verilir.

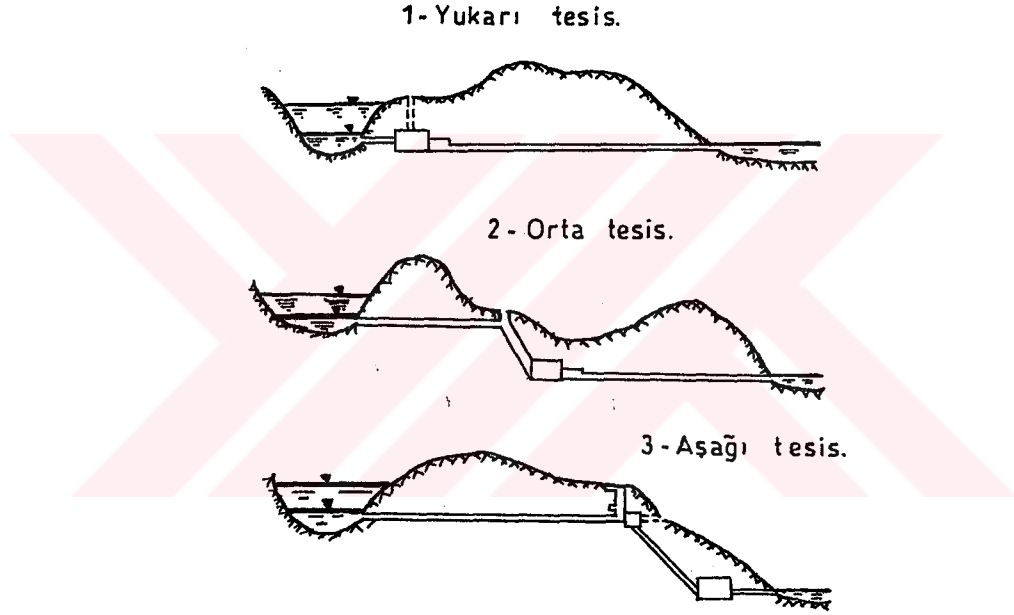
b- Yeraltı santralleri

Jeoloji ve topografya ile ilgili mevcut durum, yerel şartlar, ekonomik analizler, kısa iletim tesisleri, statik, hidrolik ve yapı ile ilgili hususlar, kış aylarında da inşaat çalışmalarına devam edilebilmesi, daha büyük işletme emniyeti ve daha iyi estetik şartlar, çığ ve heyelan tehlikesi ve askeri nedenler gözönüne alınarak kuvvet santralının dağın altında yapılmasına karar verilebilir. Jeolojik şartların elverdiği yerlerde son çeyrek asırda çok sayıda yeraltı santrali inşa edilmiştir. Prensipte olarak üç değişik yeraltı santrali tipi mevcuttur.

1- Kuvvet santrali su alma yerine yakın bir yerde düzenlenir. Bu durumda denge bacasına gerek kalmaz. Fakat boşaltım galerisinin boyu uzar. Bu tipin geneline **yukarı tesis** denir.

2- Kuvvet santrali, su alma yeri ile boşaltım deresinin ortasında planlanır. Buna **orta tesis** denir.

3- Kuvvet santrali, boşaltım galerisinin çıkışına yakın bir yerde planlanır. Bu şekildeki sisteme **aşağı tesis** denir.



Şekil 2.3. Yeraltı santrallerinin düzenleme tipleri.

2.6.3. Pompaj biriktirmeli santraller

Pompaj biriktirmeli tesislerde suyun terfi ettirildiği yerde bir hazne öngörülür. Genellikle haznenin tabii akışları yoktur. Bu tip tesislerde, üretilen baz enerjinin tamamının kullanılmadığı saatlerde, ki bu saatler genellikle 24 ile 05 saatleri arasındadır, ihtiyaç fazlası

elektrik akımı ile pompalar çalıştırılır ve akarsudan alınan su bir terfi hattı ile yukarıdaki bir haznede toplanır. Bu su, ihtiyaç olduğu saatlerde türbinlere verilerek çok değerli pik enerjisi talebinin karşılanması için kullanılır. Bu tip tesislerde üretilen enerjinin harcanan enerjiye oranı, yani randıman katsayısı, 0.5 ile 0.6 arasında bulunmaktadır. Buna rağmen pik enerjisi, baz enerjisinden çok daha değerli olduğundan bu tip tesisler sanayileşmiş ülkelerde yaygın olarak planlanmıştır (Kuiper, 1965).

Pompaj biriktirmeli tesislerde aynı iletim hattı genellikle suyun yükseltilmesinde terfi hattı, enerji üretiminde ise türbine su getiren basınçlı boru hattı olarak kullanılmaktadır. Santral binasındaki makine grupları, pompa, türbin, motor ve jeneratörden oluşur. Suyun yükseltilmesinde jeneratörün motor olarak kullanılması yaygın olarak uygulanır.

3. SU KUYUETİ TESİSİNİN YAPI ELEMANLARI

Bir hidroelektrik tesiste genellikle şu kısımlar bulunur.

- 1- Biriktirme veya kabartma tesisi,
- 2- Su alma tesisi,
- 3- İsale tesisi (serbest yüzeyli kanal; serbest yüzeyli veya basınçlı galeri),
- 4- İsalenin serbest yüzeyli olarak yapılması halinde yükleme odası,
İsalenin basınçlı olarak yapılması halinde denge bacası,
- 5- Basınçlı borular,
- 6- Santral,
- 7- İade tesisleri (kanal veya galeri) (Ünsal, 1980).

3.1. Hazneli Tesislerde Kurulu Güç ve Debinin Tayini

Hazne hacmine bağlı olarak bir tesisin kurulu güç ve debisinin belirlenmesi için; haznedeki su derinliğine bağlı olarak (h, V) değişiminin bilindiği, üretilecek gücün $N = 8QH$ (kW) bağıntısı ile belirleneceği, ayrıca h_i ve h_{i+1} kotları arasındaki suyun T_i süresinde boşalacağı, ortalama debinin Q_i ve düşü yüksekliğinin H_i bu kotlara tekabül eden ortalama düşü yüksekliği olduğu kabul edilsin.

$$N_i = 8 \cdot Q_i \cdot H_i \quad (\text{kW}) \quad \text{olduğuna göre,}$$

$$W_i = 8 \cdot Q_i \cdot H_i \cdot T_i \quad (\text{kWh}) \quad \text{olur. Buradan haznenin faydalı hacminden elde}$$

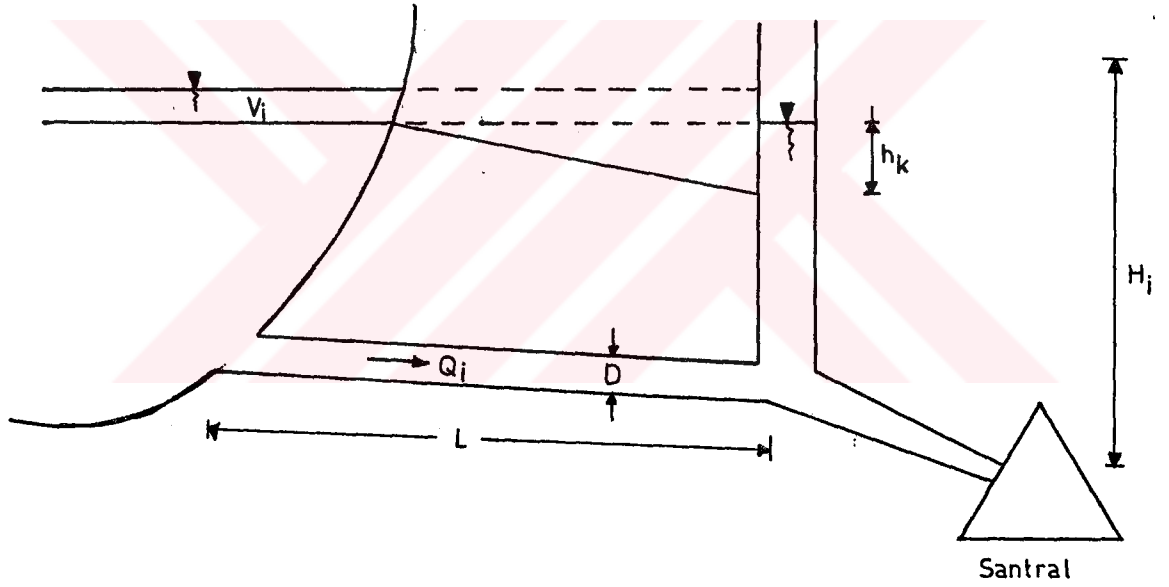
edilebilecek toplam enerji,

$$W = \sum_i . W_i = \sum_i (Q_i . H_i . T_i) \quad (\text{kWh}) \quad \text{olur.}$$

Diğer yandan h_i ve h_{i+1} kotları arasında kalan V_i hacminin T_i süresinde boşalacağı kabul edilmiş olduğuna göre,

$$V_i = Q_i . T_i . 3600 \quad \text{m}^3 \quad \text{olur veya bunu}$$

$$Q_i . T_i = \frac{V_i}{3600} \quad \text{olarak da yazabiliriz.}$$



Şekil 3.1. Hazneli tesislerin şematik gösterimi.

Buradan tesisin üreteceği toplam enerji,

$$W = 8 . \sum_i . (Q_i . H_i . T_i) = \frac{8}{3600} \sum_i . (V_i . H_i) \quad (\text{kWh}) \quad \text{olur.}$$

Bundan da tesisin kuruluş gücünü hesaplamak istersek,

$$P = \frac{W}{T} = \frac{8}{3600} \cdot \frac{\sum (V_i \cdot H_i)}{T} \quad (\text{kW}) \quad \text{olur.}$$

Donatım debisinin belirlenmesi için en üst ve en alttaki dilimlere karşılık gelen minimum ve maksimum debiler hesaplanır. Bu debilerin hesabı için, tesisin kuruluş gücü, gözönüne alınmış bulunan dilime karşılık gelen ortalama düşü yüksekliğine bölünür.

$$Q_i = \frac{P}{8 \cdot H_i}$$

Maksimum ve minimum debiler bu şekilde belirlendikten sonra, bu iki değer aritmetik ortalaması alınarak, tesisin kuruluş debisi belirlenebilir.

$$Q = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}$$

Ortalama kuruluş debisinin belirlenmesi için her bir dilime karşılık gelen kuruluş debilerinin belirlenmesi ve bunlar yardımıyla, tesisin ortalama kuruluş debisinin belirlenmesi de düşünülebilir (Press, 1959).

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

3.2. İsale Tesisleri (Galeriler)

Hidroelektrik tesislerin ana kısımlarından biri olan isale tesislerine su, etek santralleri haricinde kalan hidroelektrik tesislerde, biriktirme haznesi veya kabartma tesisinden gelir.

İletim yolunu kısaltmak için yüksek bir tepenin veya dağın altından geçmek gerektiği durumlarda su alma yerinden denge bacasına kadar galeriler kullanılır. Galeriler, serbest yüzeyli ve basınçlı galeriler olmak üzere ikiye ayrılır.

Serbest yüzeyli galerilerin hidrolik hesapları aynen açık kanallarda olduğu gibi yapılır. Basınçlı galerilerde bütün kesit alanı suyu götürmek için kullanıldığından bu tip tercih edilir. Basınçlı galerilerde tepe noktası su alma yerindeki en düşük su seviyesinde oluşacak basınç çizgisinin en az 1 ile 2 m. altında kalacak şekilde planlanır.

Basınçlı galeriler tepe noktasında basınç yüksekliğine göre sınıflandırılır. Buna göre,

	Basınç Yüksekliği (H_G)	Kaplama Durumu
Alçak Basınçlı Galeriler	$H_G < 5 \text{ m}$	Kaplamasız $H < 20 \text{ m. beton}$
Orta Basınçlı Galeriler	$5 \text{ m} < H_G < 100 \text{ m}$	$H > 20 \text{ m. betonarme}$
Yüksek Basınçlı Galeriler	$H_G > 100 \text{ m.}$	Çelik veya öngerilmeli beton.

Bir galeride bulunması gereken başlıca hususlar şöyle sıralanabilir.

- 1- Galerî kesiti bütün yol boyunca sabit kalmalı,
- 2- Galerî cidarları mümkün olduğu kadar pürüzsüz olmalı,
- 3- Galerî güzergahında asitli sular ve kayada çatlaklar bulunmamalı,
- 4- Minimum galerî kesiti $3,5 - 4,0 \text{ m}^2$ olmalıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi, galeriler serbest yüzeyli veya basınçlı galeriler olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Her iki halde de hız hesapları aynı şekilde yapılır. Böylece her iki durumda da hız,

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (\text{MANNING - STRICKLER})$$

bağıntısı ile belirlenir. Buna karşılık serbest yüzeyli üniform akımlarda J piyezometrik

eğimi, I_0 taban eğimine eğit olacağından, bu halde,

$$V = k \cdot R^{2/3} \cdot I_0^{1/2}$$

elde edilir. Basınçlı akımlarda ise J piyezometrik eğimi sadece debinin fonksiyonudur ve isale tesisinin taban eğiminden bağımsızdır. Dolayısıyla basınçlı sistemlerde akış hızıyla, taban eğimi arasında bir ilişki yoktur.

Ancak genellikle galerilerin boyutlandırılmasında akış hızları için aşığıdaki değerler kullanılır.

Çok pürüzlü kaya yüzeyleri	1.0 - 2.0 m/sn.
Pürüzsüz (düzgün) kaya yüzeyleri	1.5 - 3.0 m/sn.
Beton kaplamalı galeri	2.5 - 4.0 m/sn.
Çelik kaplamalı galeri	3.0 - 7.0 m/sn.

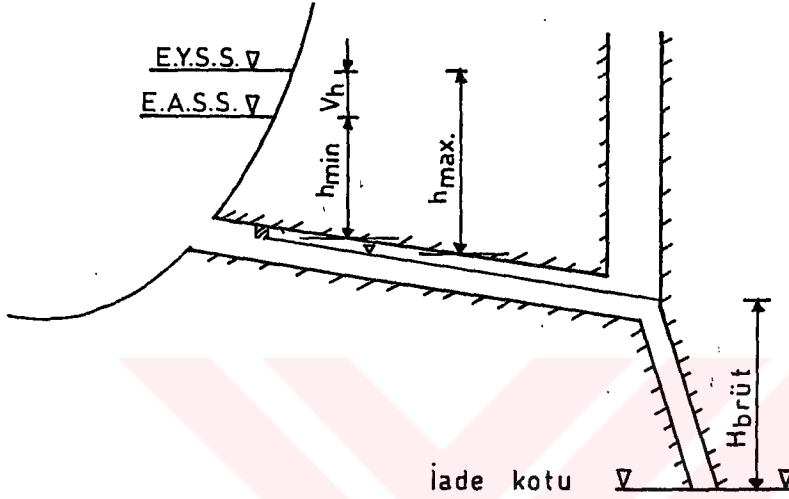
k pürüzlülük katsayısına gelince, bu değer için de aşığıdaki değerler esas alınır.

<u>Kaplama Durumu</u>	<u>$k = 1/n$</u>
Kaplamasız Galeride	22 - 25
Pürüzlü Beton Yüzeyler	28 - 40
Kaba Sıvalı Beton Yüzeyler	60
İnce Sıvalı Beton Yüzeyler ve Çelik Kaplama	80 - 100

Bu bilgiler ışığında bir kıyaslama yapmak gerekirse, örneğin, tabii bir gölden galeride açıp bir isale tesisi beslensin ve biriktirme haznesinin mevcut olduğu kabul edilsin. Galerideki akımın A vanası aracılığı ile serbest yüzeyli olması sağlansın. Göldeki su seviyesindeki değişim, isalenin serbest yüzeyli yapılması halinde, enerji üretiminde bir fayda sağlamaz ve üretilecek enerji $H_{brüt}$ kot farkının fonksiyonu olur. A vanasının tamamen açılması halinde ise, su galeride enkesitini dolduracağından, galeride basınçlı bir akım elde edilir ve enerji

üretiminde faydalanılan düşü yüksekliği,

$(H_{brüt} + h_{min})$ ile $(H_{brüt} + h_{max})$ arasında değişir ve dolayısı ile aynı debiyle daha fazla enerji üretilir.



Şekil 3.2. İsale tesisinden bir kesit.

Serbest yüzeyli akımlarda debi değişimleri $a \approx V$ olan bir dalga hızıyla yayılır. Bu nedenle türbin vanaları açılıp daha büyük debiler çekilmeye başladığında aynı debinin isale tesisinin baş kısmından gelmesi çok uzun zaman gerektirir. Dolayısıyla bu süre içinde türbinlerin beslenebilmesi için isale tesisinin ucuna yükleme odası adı verilen çok büyük hacimli su depolarının inşası gerekir.

Örneğin isale tesisinin boyu 900 m, $a = 3$ m/sn. alınırsa, yükleme odası $9000/3 = 300$ sn = 50 dakika türbinleri besleyecek kapasitede olmalıdır.

Öte yandan basınçlı akımlarda "a" dalga yayılma hızı 1000 m/sn. mertebesindedir. Dolayısıyla aynı tesiste isalenin basınçlı yapılması halinde türbin vanaları açıldıktan $9000/1000 = 9$ sn. sonra su alma ağzından bu manevra hissedilecek ve böylece türbinlerin

ihtiyacı çok daha çabuk karşılanabilecektir.

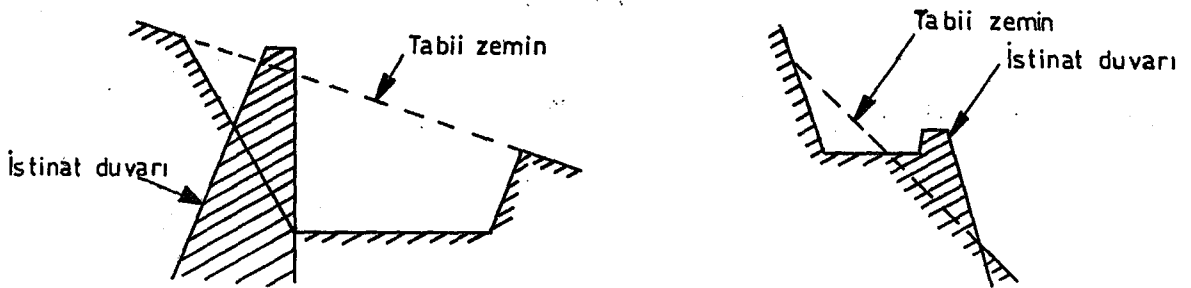
İsalenin serbest yüzeyli olarak yapılması halinde kanal veya galerinin eğimi ancak akış doğrultusunda olabilir. Zira bu halde hız taban eğimine bağlıdır. Buna karşılık basınçlı isale yapılması halinde hız piyezometrik eğimin fonksiyonu ve taban eğiminden bağımsız olduğundan, istenildiği takdirde, isale tesisi boyunca ters eğimler dahi kullanılabilir. Bu durum isale tesisinin inşaatında büyük kolaylık sağlar ve çalışma alanlarının arttırılmasını mümkün kılar; böyle durumlarda açılan pencere galerileri yardımı ile çalışma enkesitlerinin sayıları arttırılır.

Bu saydığımız nedenlerden dolayı, görüldüğü gibi hidroelektrik tesislerde basınçlı isale tercih edilmelidir.

Bu açıklamalara bir de her iki isale şeklini birer birer açıklayacak olursak;

3.2.1. Serbest yüzeyli akımlarla isale

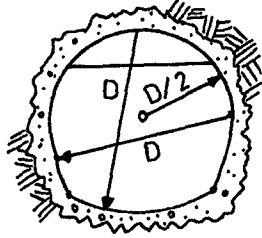
Serbest yüzeyli akımlarla isalenin kanallarla veya galerilerle yapılması mümkündür.



Şekil 3.3. Kanal inşasında istinat duvarlarının durumları.

Üstü açık serbest yüzeyli kanallar, aralarda inşa edilir. Dik yamaçlarda kaya ve çığdan korunmak için üstü kapalı olarak inşa edilirler. Kanallar yamaçlarda genellikle pahalı istinat

duvarı gerektirirler. Pratikte istinat duvarı yapmamak için zeminin ıslak haldeki tabii şev açısının seçilmesi istenir.



Şekil 3.4. Serbest yüzeyli galeri.

Kanal veya tabii akarsularda sıvının yüzeyi serbest olup, atmosferle temas halindedir. Şu halde, örneğin basınçla çalışan borulardaki sıvı hareketine göre, serbest akımlarda akışkanın etüdü bir derece daha basittir. Çünkü hareketin her enine kesiti sabit kalmayıp değişir halde olsa bile, olay serbest yüzeyin yerine bağlıdır.

Bu tip hareketlere etki yapan kuvvete gelince, bu yerçekiminden ibarettir. Serbest yüzeyli permanent hareketleri hidrolikte üç kısma bölmek gerekir.

- 1- Üniform hareketler,
- 2- Azar azar değişken hareketler,
- 3- Çabuk değişken hareketler (Taner, 1972).

Serbest yüzeyli isale kanalları da kendi arasında iki ana bölüme ayrılır.

a) Açık Kanallarla İsale:

Açık kanallar genellikle, yamaç ve vadileri takip ettiklerinden çok kıvrıntılı olabilirler ve dolayısıyla boyları uzun olur. Boyu kısaltmak için vadilerde köprü, çıkıntılarda galeri, bazen ise sifon gibi yapıların yapılması gerekir. Bu tesisler ise pahalı yapılardır. Kanalların plandaki yerine jeolojik durum, çatlak, kaya mukavemeti, dona dayanıklılık, parçalanmış veya

parçalanmamış kaya mevcudiyeti tesir eder. Bu inceleme sonunda:

- 1- Şev açısı,
- 2- Kazı, dolgu derecesi,
- 3- İstinat duvarı, anroşman gibi koruyucu tesislerin boyutları,
- 4- Kaplama cinsi ve kaplama yapılacak kısımlar belirlenir.

Kanal kesitleri, yamaç eğimi, zemindeki kaya veya dolgu malzemesiyle yakından ilgilidir.

Diğer bir taraftan kanalda sürüntü maddesi varsa taban tahkimatı arttırılmalıdır. Sonuçta:

- 1- Yamaçların kayması,
- 2- Yamaçların çok dik olması,
- 3- Yamaçlardan taş v.s. yuvarlanması ihtimalinin mevcut olması,
- 4- Çığ tehlikesi mevcut olması hallerinde,
- 5- Veya uzun ve sert kışlar dolayısıyla donma tehlikesi varsa kanal inşaatı yerine galeri

inşaatı öngörülmelidir.

Açık kanalların incelenmesinde çok sıkça kullanılan deyim ve kavramlar aşağıdaki gibidir.

Islak kesit = Su ile dolu olan kesit (m^2)

Akış kesiti = Akımın Q debisinin geçtiği kesit (m^2)

Islak çevre = Su ile kaplı olan çevre (m)

Hidrolik yarıçap = Akış kesitinin, ıslak çevreye oranı (m)

Ortalama hız = Debinin akış kesitine oranı (m/sn) (Çeçen, 1969).

Açık kanal enkesitinin planlanması sırasında şu hususlara dikkat edilmesi gerekir:

- 1- İstimlak bedellerini azaltmak için kanal genişliği küçük tutulmalıdır.
- 2- Kanal kesiti işletme debisini emniyetle akıtacak boyutlarda olmalıdır.
- 3- Bakım kolaylığı, hafriyat bedeli ve sızma kayıpları derinlikle süratle arttıklarından derinlik küçük olmalıdır.

4- Hafriyat bedelinin az olması için enkesit küçük olmalıdır.

5- Kaplama masraflarını arttırmamak için ıslak çevre küçük olmalıdır.

6- Bir iletim kanalı, mümkün olan en küçük taban eğimi ile işletme debisini santrale götürmelidir. Kanallarda eğim genellikle 0.002 ile 0.0002 arasında seçilir.

7- Kanallardaki hız, çökelmelere sebep olmayacak kadar küçük olmalıdır. Kaplamasız kanallarda ortalama hız 0,7 ile 1,2 m/sn. arasında seçilir. Kaplamalı kanallarda ise hız 1,5 - 2,0 m/sn. dir. Çökelmeleri önlemek için minimum hızlar 0,3 m/sn'den küçük olmamalıdır.

8- İletim kanallarında şev açısı toprak cinsine bağlı olarak 25° ile 50° arasında değişmektedir.

9- Ekonomik açıdan en iyi kanal dolgu ile yarma arasında bir denge temin eden kanaldır.

10- Kanal kesitini küçük tutmak ve kayıpları azaltmak için kanalın kaplamalı yapıp yapılmayacağına ve kaplama cinsine karar vermek de önemlidir.

Aşağıda zemin cinsine bağlı olarak seçilebilecek bazı maksimum hız değerleri verilmiştir.

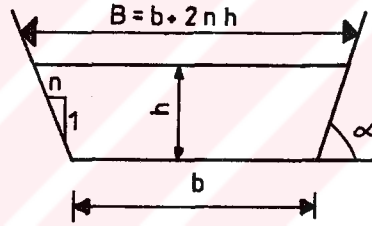
İnce kum	0.15	m/sn.
Yumuşak kil	0.20-0.25	m/sn.
Normal kum	0.40	m/sn.
Normal kil	0.50-0.70	m/sn.
İnce çakıl	1.00-1.20	m/sn.
İri çakıl, taş	1.20-1.50	m/sn.
Yumuşak şist	1.80	m/sn.
Tabakalaşmış kaya	2.25	m/sn.
Sıkı kaya	4.00	m/sn.
Beton	4.50	m/sn.
Yumuşak ahşap	0.80	m/sn.
Sert ahşap	1.20	m/sn.

Proje hazırlanırken, şev eğimi ve pürüzlülük katsayısından çok kanalın taban eğiminde meydana getirilecek değişiklikler, yukarıda sayılan tüm parametrelere daha çok etki yapar. Boyutlandırma sırasında önce yukarıdaki şartlardan üçüncü ve dördüncü şartlar araştırılır ve kanalın boyutları ona göre seçilir. Bundan sonra hız konusuna önem verilir.

Hidrolik bakımından en uygun kesit yarım dairedir. Fakat inşaat ve bakım zorlukları genellikle bunların kullanılmamasına sebep olur. Bu nedenle pratikte en çok eşkenar trapez enkesit kullanılır. Enkesite bağlı olarak taban eğimleri için şu değerler tavsiye edilir:

$F_1 = 1 \text{ m}^2$	$I_0 = 0.00105 - 0.00210$
$= 5 \text{ m}^2$	$= 0.00065 - 0.00125$
$= 10 \text{ m}^2$	$= 0.00052 - 0.00100$
$= 20 \text{ m}^2$	$= 0.000415 - 0.00082$
$= 50 \text{ m}^2$	$= 0.00031 - 0.00060$
$= 100 \text{ m}^2$	$= 0.000245 - 0.00049$
$= 150 \text{ m}^2$	$= 0.000215 - 0.00043$

Eşkenar trapez kesit:



Şekil 3.5. Eşkenar trapez kesit.

Pratikte karşılaşılan durum şu şekilde oluşur: İsalei istenen bir Q debisi mevcuttur. Bu debiyi akıtacak olan kanalın I_0 taban eğimi tesbit edilmiş ve kanalın inşa edileceği zeminin cinsine göre, kanalın n şev açısı ve k pürüzlülük katsayısı belirlenmiştir. Bu değerlere göre kanalın boyutlandırılması istenmektedir. Mevcut bağıntı;

$$Q = V \times A$$

süreklilik denklemdir. Daire kesit kullanılması halinde belirlenecek tek bir büyüklük mevcuttur. Bu da kesitin r yarıçapıdır. Çünkü $V = k I_0^{1/2} \cdot R^{2/3}$ olduğundan, V hızı da

r yarıçapı cinsinden ifade edilebilir. Buna karşılık, pratikte daha çok kullanılan eşkenar trapez enkesitinin seçilmesi halinde, belirlenmesi gereken iki boyut bulunur.

- b, taban genişliği,
- h, su yüksekliği.

Bundan dolayı yukarıdaki denkleme ilave olarak ikinci bir denklemden faydalanılması gerekir. Bu amaçla iki yol takip edilmektedir.

- 1- En uygun trapez kesitin kullanılması,
- 2- Amprik bağıntılardan faydalanılması.

İsale edilecek debilerin çok küçük veya çok büyük olması hallerinde en uygun trapez kesit kullanımı pratikte kabul edilemeyecek boyutlar verirler. Bu nedenle bu gibi hallerde ikinci şarta geçilir. Yani amprik formüller uygulanır.

Küçük debilerin isalesinde;

- Bureau of Reclamation formülü : $h/\sqrt{A} = 1/2$
- Hindistan formülü : $h/\sqrt{A} = 1/\sqrt{3}$

Büyük debilerin isalesinde;

$$\frac{h}{\sqrt{A}} = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{S^{2m}} + \frac{A^m}{H_1^{2m}} \right]^{1/2m}}}$$

Burada H_1 müsaade edilebilen maksimum su derinliğini göstermektedir. Pratikte $m=1$ alınır. Bu halde,

$$\frac{h}{\sqrt{A}} = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{S^2} + \frac{A}{H_1^2} \right]^{1/2}}}$$

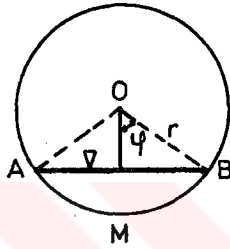
elde edilir.

Kanalda tatbik edilebilecek minimum hız değerini hesaplamak için KENNEDY formülü kullanılabilir.

$$V_1 = C \cdot h^{0.64}$$

Burada $C = 0.40 - 0.90$ arasında değişir.

b) Serbest Yüzeyli Galeriler:



Daire Kesit: Minimum hafriyat gerektirmesi, kaplama yüzünün aynı alanlı diğer kesitlere nazaran daha küçük olması ve toprak itkisine çok iyi mukavemet etmesi nedeniyle, genellikle tercih edilen profildir. O halde, galerideki su seviyesinin AB olması halinde

ψ açısının fonksiyonu olarak, debi değişimi aşağıdaki gibi elde edilir. Akım alanı için,

$$\begin{aligned} A &= A_{AMBO} - A_{BAO} \\ &= \psi \cdot r^2 - \frac{2r \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi \cdot r}{2} \end{aligned}$$

$$A = \psi \cdot r^2 - \frac{r^2 \cdot \sin 2\psi}{2} = r^2 \left(\psi - \frac{\sin 2\psi}{2} \right) \quad \text{yazılır.}$$

Islak çevre için $P' = 2r \cdot \psi$ yazılır ve hidrolik yarıçap,

$$R = \frac{\psi - \frac{\sin 2\psi}{2}}{2} = r \cdot \frac{2\psi - \sin 2\psi}{4} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

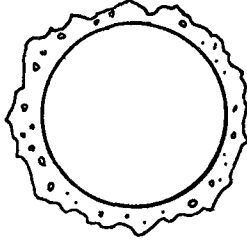
İlgili değerler Q denkleminde yerlerine yazılırsa;

$$Q = k \cdot I_0^{1/2} \left(r \cdot \frac{2\psi - \sin 2\psi}{4} \right)^{2/3} \cdot \left(r^2 \left(\psi - \frac{\sin 2\psi}{2} \right) \right)$$

$$Q = k \cdot I_0^{1/2} \cdot A^{2/3} / P^{2/3} = k \cdot I_0^{1/2} \cdot f(\psi) \quad \text{elde edilir.}$$

3.2.2. Basınçlı akımlarla isale

Bu durumda basınçlı galeriler kullanılır ve serbest yüzeyli galerilerde kullanılan profiller tatbik edilir.



Şekil 3.6. Basınçlı galeri.

Yandaki daireesel kesitin boyutlandırılması şu şekilde olur. (Diğer profiller için benzer şekilde hareket edilir.) Basınçlı galerilerde hız 2.0 - 3.0 m/sn. arasındadır. Zeminin yeterli derecede mukavemete sahip olması durumunda; galerinin kaplamalı veya kaplamasız olarak yapılacağına ancak ekonomik incelemelerden sonra karar verilebilir. Bu amaçla, önce kaplamasız, daha

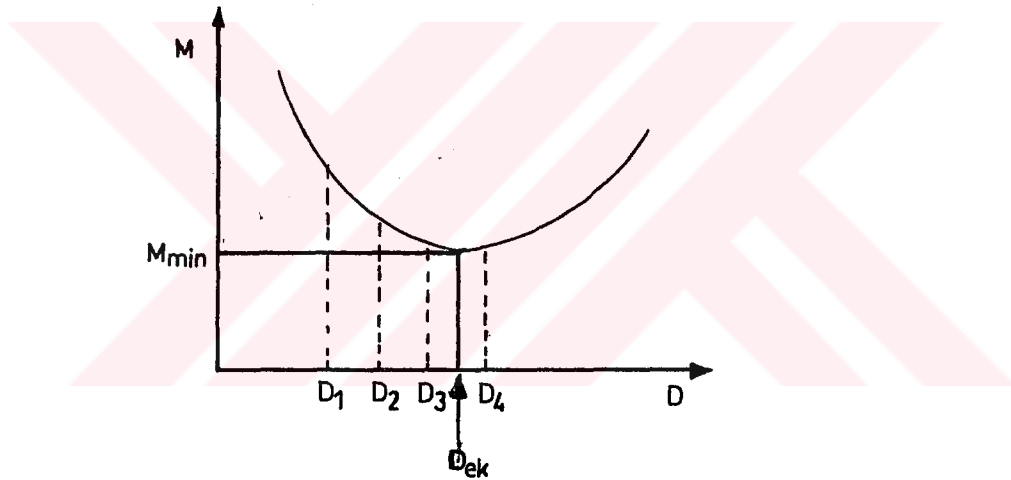
sonra kaplamalı hal için en ekonomik enkesit belirlenir. Bundan sonra bu iki çözümden en ekonomik olanı tercih edilir. Hafriyat sırasında ve kaplama sırasında ortaya çıkan zorluklar dolayısıyla minimum galeri enkesitinin 4.0 m² olması istenir. Galeri çapı için bir değer seçilir. Buna göre enkesit belirlenir. Bulunan değer yukarıdaki açıklamaya uygun olarak 4 m² den büyük olmalıdır. Bundan sonra galerideki akış hızı bulunur. Bu değer yardımıyla MANNING bağıntısı kullanılarak akımın piyezometrik eğimi ve dolayısıyla gelecek güç kaybı ve bir yılda meydana gelecek enerji kaybı belirlenir.

$$J = \frac{v^2}{k^2 \cdot R^{4/3}}$$

MANNING FORMÜLÜ.

Bu değer elektriğin satış fiyatı ile çarpıldığı zaman yük kayıpları nedeniyle satış imkanı olmayan enerjinin bedeli elde edilir. Bu değer M_h olsun. Bundan sonra aynı çap için galerinin maliyeti hesaplanır. Bulunan değer, tesisin amortisman katsayısı ile çarpılır. Bunun değeri de M_e olsun. Bundan sonra $M = M_h + M_e$ belirlenir. Ye (D = çap, M) eksenlerine elde edilen

noktalar işaretlenir. Bundan sonra yeni bir çap seçilerek, ikinci bir nokta bulunur ve bu böylece devam eder. Elde edilen noktalar birleştirilir. Bir eğri elde edilir. Bu eğride toplam maliyetin minimum olduğu noktaya (M_{min}) tekabül eden çap en ekonomik çaptır. Kaplamasız hale ait en ekonomik çap belirlendikten sonra, sıra kaplamalı hale ait ekonomik çapa gelir. Bu da aynı hesaba benzer bir hesap tarzıyla hesaplanır. Ancak kaplamalı halde, hafriyatın maliyeti (M_h), kaplamanın maliyeti (M_b) ve galerinin maliyeti (M_g) toplanarak toplam maliyet elde edilir. Bu da $M = M_h + M_b + M_g$ şeklinde elde edilir. Ye aynı şekilde ($D = \text{çap}, M$) eksenlerine bu noktalar yerleştirilir ve en ekonomik çap elde edilir.



Şekil 3.7. Ekonomik çapın belirlenmesi için maliyet çap hesabı.

Kaplamalı ve kaplamasız hale ait çaplardan daha ekonomik olan, projede tatbiki uygun olan çap değeridir. Serbest yüzeyli kanal veya galerilerin, basınçlı boruların ekonomik boyutlandırmaları sırasında da aynı şekilde hareket edilir.

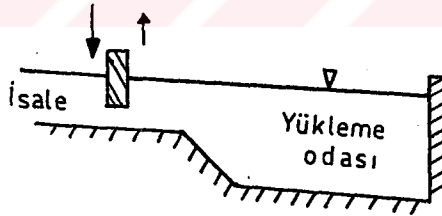
3.3. Yükleme Odaları ve Denge Bacaları

3.3.1. Yükleme odaları

Su iletiminin serbest yüzeyli olarak yapıldığı durumlarda iletim tesisinin sonunda ve basınçlı boru girişinin önünde, basınçlı isale tesislerindeki denge bacalarının bütün görevlerini üstlenen, ayrıca çökeltim havuzu görevi de gören bir su deposu öngörülür. Bu depo yükleme odasıdır.

Yükleme odasının görevleri şunlardır:

- a) Türbin vanaları açıldığında gereken debi isale kanalının baş tarafından gelinceye kadar, türbinlerin ihtiyacını karşılar,
- b) Debi değişimleri sırasında aynı görevi yapar,
- c) Küçük salınımların sönümlenmesini temin ederek, sabit güçte çalışmayı sağlar,
- d) Türbinler durdurulduğunda gelen suları tutar.



Şekil 3.8. Yükleme odası.

Yükleme odalarındaki su kotunu kontrol etmek ve türbinlerin ani durdurulmasında kanaldan gelen suları tahliye etmek amacıyla bir yan savak, yani dolu savak, çökelen maddeleri yıkamak için de bir dip savak öngörülür. Bu sular kuvvet santralının mansabındaki akarsu yatağına bir yamaç boşaltma kanalı ile verilir. Basınçlı boru giriş ağzında eşik, ızgara ve yedek kapak yuvaları planlanır.

Su derinliği, yükleme odasında basınçlı boru çapının en az 2,5 katı alınır. Ayrıca boru girişi üstündeki havuz hacmi santralin en az bir dakikalık ihtiyaını karşılayacak büyüklükte planlanır.

Tesis gücünün ani değişmesi durumunda, yükleme odalarında kararlı olmayan dalga hareketleri meydana gelir. Normal işletme seviyesine göre su seviyesinin yükselmesi, yani pozitif dalga veya alçılması, yani negatif dalga meydana gelir. Bu dalgalar memba ve mansaba doğru yayılırlar. Yükleme odasının açılma durumu esas alındığında minimum hacmi,

$$V' = \frac{L}{V_2} (Q_2 - Q_1) + 60 Q_2$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada L kanal uzunluğu, V_2 kanaldaki hız, Q_2 kanaldan çıkan maksimum debi, Q_1 işletme debisidir. Eşitlikteki ikinci terim yükleme odasının, türbinlerin bir dakika süreyle ihtiyaçlarının yalnız başına karşılayacak şekilde boyutlandırılmasını ifade etmektedir. Tam kapanmada gelen fazla sular yan savaktan boşaltıldığından genellikle özel bir hacim ayırmaya gerek yoktur.

Yükleme odasında, bir dip vanası ve bir yıkama vanası inşa edilmelidir. Çünkü burada malzeme çökmesi imkan dahilindedir. Yükleme odasının tabanı basınçlı boru girişine doğru eğimli olmalıdır.

3.3.2. Denge Bacaları

İsalenin basınçlı olarak yapılması halinde kullanılan bacalardır. Denge bacaları, türbinlerin durdurulması veya ayarlanması anında meydana gelen aşırı basınçların boru ve

galeriye verebileceği zararları önlemek için galerinin basınçlı boruya geçiş kesitinde öngörülen serbest yüzeyli su depolarıdır. Başlıca görevleri;

- 1- Aşırı basıncı yansıtarak galeriye az miktarda geçmesini sağlar,
- 2- Türbinlerin ani açılmasında galeriden işletme debisi tam olarak gelinceye kadar gerekli suyu temin eder,
- 3- Türbinlerin ani kapanmasında galeriden gelen fazla suyu depo eder,
- 4- Küçük salınımların sönümlenmesini sağlayarak tesisin sabit güçle çalışmasını sağlar,
- 5- Debi değişimlerinde büyük salınımların sönümlenmesine yardımcı olur.

Denge bacalarında normal, ani tam veya kısmi kapanma, ani tam veya kısmi açılma olmak üzere çeşitli işletme durumları mevcuttur.

Denge bacalarının çok değişik tipleri vardır ve üst tarafları daima atmosfere açık olarak planlanır.

Kuyu tipi denge bacası (basit denge bacası) : Silindir şeklinde sabit alanlı kuyulardır. Kesit alanı büyük ve salınımları çok geç söner.

Giriş ağız daraltılmış denge bacaları (boğulmalı denge bacası) : İletim tesisleri ile bağlantı yeri daraltılmıştır. Girişteki yük kayıpları arttırılarak salınımların kısa sürede sönümlenmesi amaçlanır.

Yanal hücreli denge bacaları : Denge bacası kesiti küçük alınır ve belirli yüksekliklerde yanal hücrelerle genişletilir. Minimum enkesitleri THOMA şartıyla belirlenir. Kuyu kısmının enkesiti, diğer denge bacalarına göre çok küçük olduğundan salınımlar daha hızlı olur ve sönümlenme daha çabuk temin edilir.

Differansiyel denge bacaları (JOHNSON tipi) : Ortada veya yanda düşey bir ek bacası bulunur. Kesiti küçük çıkar ve salınımlar çabuk sönümlenir. Ani kapanmada aşırı basınçlar önlenir.

Denge bacalarının hesabında, denge bacası, kapanma sırasında suyun savaklanmasına sebep olmamalıdır, açılma sırasında ise basınçlı borulara hava kaçırılmamalıdır. Bu gayeyle

denge bacasında meydana gelecek maksimum ve minimum kotlar belirlenmelidir.

Denge bacalarının F enkesiti THOMA şartı olarak bilinen bir şartı gerçekleştirmelidir.

Buna göre denge bacasına verilecek minimum enkesit;

$$F > \frac{V_0^2}{2g} \cdot \frac{f \cdot L}{h_0 (H_b - h_0)} = F_{thoma} \quad \text{olmalıdır.}$$

Bu şartın gerçekleşmesi halinde denge bacasındaki seviye salınımları kararsız olur. Bu yüzden pratikte,

$$F = n_1 \cdot F_{thoma}$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada $n_1 = 1,7 - 3,0$ arasında değişen bir emniyet katsayısıdır.

Denge bacası enkesiti ikinci olarak SPARE şartını sağlamalıdır.

$$F \geq f$$

Bu şart ile, denge bacasının borudan gelen basınç dalgasını, yani su darbesini, galeriye sokmadan geri yansıtabilmesini sağlar.

Denge bacasındaki seviye değişimleri de, FRANK tabloları yardımı ile çözülür. Bu tablolar açılma ve kapanmanın ani olması hali için hazırlanmıştır.

3.4. Basınçlı Borular

İletim kanalı ile yükleme odasına veya basınçlı galeri ile denge bacasına getirilen işletme debisi buradan basınçlı borular, yani cebri borular ile santrale verilir. Basınçlı borular açıkta veya toprak altında döşenirler. Basınçlı borular, çelik, betonarme, ahşap, font ve PVC

malzemeden imal edilirler. Su kuvveti tesislerinde bugün genellikle kaynaklı çelik borular kullanılmaktadır. Basıncılı boruların boyutlandırılması üç kritere göre yapılır.

1) Hız kriteri:

Basıncılı boru çapı akış hızları 2,5 - 8,0 m/sn. arasında seçildiği takdirde ekonomik olmaktadır. Bu durumda ekonomik boru çapı,

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{v} \quad \text{ve} \quad D = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi v}} \quad \text{olmak üzere}$$

$0.398 \sqrt{Q} < D < 0.714 \sqrt{Q}$ değerleri arasında olmaktadır.

2) İç basınca göre boyutlandırma :

Boru içindeki basınç (p), birim boydaki boruyu etkileyen toplam kuvvet (p d), enkesit alan (1 . e) ve malzemeye bağlı bir katsayı s olmak üzere,

$$v = \frac{(p d)}{s . e}$$

eşitliği yazılabilir. Burada $p = \gamma . H_B = 0.1 H_B$ (kg/cm²) olup hesaplarda aşırı basınç gözönüne alınarak $p = 0.12 H_B$ değeri esas alınır.

3) Dış basınca göre boyutlandırma :

Basıncılı borularda minimum et kalınlığı dış basınca karşı Allievi formülü esas alınarak,

$$e_{\min} = D \sqrt[3]{\frac{n_1 . P_d}{2E}}$$

eşitliği ile hesaplanır. n_1 bir emniyet katsayısı olup, zemin üzerine yerleştirilen borularda $n_1=2$, ara mesnetler üzerine oturtulan borularda $n_1=4$ alınır. Borunun elastisite modülü $E=2,1 . 10^6$ kg/cm², dış basınç (P_d) = atmosfer basıncı (1 kg/cm²) ve boru içinde tam bir

boşluk meydana geldiği esas alınarak minimum et kalınlığı $n_f=4$ için $e_{\min} = 0.01 D$ olarak bulunur. Burada $e_{\min}$, boru çapı ile aynı birimdedir.

Basınçlı borular her 100 ile 150 m. de ve yön değiştirdikleri noktalarda tesbit kütleleri ile sabitleştirilir. Büyük beton kütleleri olan tesbit kütlelerinin basınçlı boruların memba ve mansap uç noktalarında inşa edilenlerine uç tesbit kütleleri denir.

Tesbit kütlelerine 32 değişik kuvvet etki etmektedir. İnşaat sisteminin özelliğine göre bunlardan bazıları önemini yitirir veya tamamen ortadan kalkar. Bu kuvvetlerden en önemlileri statik ve dinamik su basıncı, tesbit kütlelerinin ve basınçlı borunun kendi ağırlığı, sürtünme kuvvetleri ve hacim değişimleridir.

Ara mesnetler, yani kayıcı mesnetler, boru eksenî yönünde oluşacak kuvvetleri ve su ile birlikte kendi ağırlığını taşıyacak şekilde, tesbit kütleleri arasında her 10 ile 20 m. de bir öngörülen ayaklardır. Ara mesnet üzerindeki borular mütemadi kiriş gibi düşünülerek hesaplar yapılır.

Basınçlı boruların sıcaklıkla genişmesi tesbit kütleleri arasında öngörülen genişleme derzleri ile sağlanır. Borular, gerek planda ve gerekse düşeyde, mümkün mertebe doğrusal olarak düşer. Boru eksenî mümkün olan yerlerde santrale doğru yönlendirilmez. Böylece boru patlamalarından santralin su altında kalması önlenir. Fakat bunu her zaman ekonomik olarak gerçekleştirmek mümkün olmaz.

Basınçlı boruya giden suyu tamamen kesmek için denge bacası veya yükleme odasının sonunda, her bir basınçlı borunun başlangıcında bir vana öngörülür. Vanaları yerleştirmek, ayrıca tamir ve bakım için gerekli teçhizatı depolamak için bir manevra odası planlanır.

Basınçlı boruların alt kısmı dağıtım borularına ayrılır. Türbinlere bu borular ile su verilir. Su darbesi, kapalı boruda akımın kısılması sonucu meydana gelen ve statik basıncın çok üstünde basınçların yeralabildiği basınç salınım olayıdır. Basınçlı boruların et kalınlığının hesabında su darbesinin gözönüne alınması gerekir. Ani ve hızlı kapama hallerinde boru içindeki

hızın V_a 'dan V_b 'ye düşmesi durumunda basınç artması,

$$\Delta h = a (V_a - V_b) / g$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada a basınç dalgasının boru içinde yayılma hızıdır. Allievi basınç dalgasının hızı için,

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} \left(\frac{1}{E_s} + \frac{1}{E_B} + \frac{d}{e} \right)}}$$

eşitliğini vermektedir. Burada, γ suyun özgül ağırlığı, g yerçekimi ivmesi, E_s suyun elastisite modülü (2.07×10^5 t/m²), E_B boru malzemesinin elastisite modülü (2.1×10^7 t/m²), d boru iç çapı ve e boru et kalınlığıdır. Çelik borularda su için $a = 1000$ m/sn. mertebesindedir (Erkek, 1986).

Günümüzde kullanılan basınçlı borular, çok yüksek mukavemete sahiptir. Bunun sonucu olarak da işletme sırasında fazla miktarda elastiki genleşme yapabilmektedirler. Bu durum bazı hallerde tesbit kütlesi betonunun çatlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde, dirsek kısımlarında basınçlı boruyu tesbit kütlesine betonlamama durumu mevcuttur. Bunun yerine boruya ters U şeklinde çelik parçalar kaynatılmakta, bunlar özel olarak beton kütlesi içine yerleştirilmiş teçhizata ankre edilmekte ve meydana gelen kuvvetler, bu şekilde alınmaktadır. Bu hareket tarzı, tesbit kütlesinin hesabına hiçbir değişiklik meydana getirmez.

4. TÜRBİNLER, JENERATÖRLER, TRANSFORMATÖRLER

4.1. Türbinler

Türbinler yatay veya düşey eksen etrafında dönen ve suyun kinetik enerjisini mekanik işe çeviren makinelerdir. Türbinler, kullandığı enerjinin yalnız kinetik veya hem kinetik, hem de basınç enerjisi olmasına bağlı olarak,

1- Serbest hüzmeli türbinler (aksiyon türbinleri)

a- Pelton türbinleri.

2- Reaksiyon türbinleri (basınç türbinleri)

a- Francis türbinleri,

b- Kaplan türbinleri,

c- Uskur çarkları olarak ayrılırlar.

1891 yılında V.Miller tarafından elektrik enerjisi bir hava hattı ile uzun bir mesafeye götürüldükten sonra türbin yapımında büyük gelişmeler gözlenmiştir. Su kuvveti tesislerinde yaygın olarak kullanılan klasik türbin tipleri : Francis (1948, A.B.D), Pelton (1880, A.B.D) ve Kaplan (1912, Avusturya) türbinleridir.

Bir su kuvveti tesisinde türbin tipi, türbin karakteristikleri gözönüne alınarak seçilir. Türbin gücü uygulamada türbin güçleri grup sayısı ikiden az olmamak üzere mümkün olduğu kadar küçük seçilerek ya da tesis debisi seçilen grup adedine bölünerek grup gücü bulunur. Teknik imkanlar, taşıma ve imalat güçlükleri gözönüne alınarak grup güçleri için ekonomik limitler belirlenir. Bu değerler Kaplan : 150.000 B.B, Francis : 250.000 B.B, Pelton : 250.000 B.B olarak verilebilir. Bir su kuvveti tesisinin gücü bilindiğinde yukarıdaki değerler yardımıyla türbinlerin gücü ve grup sayısı belirlenir.

Özgül dönme sayısı : Esas türbine benzer bir model türbinin 1 m. düşüm yüksekliğinde ve en iyi verimde bir beygirlik gücü sağlamak için dönmek zorunda olduğu devir sayısıdır. Bu sayı türbin tipi seçiminde ve türbinleri birbiriyle karşılaştırmada kullanılan en önemli büyüklüktür. Bu sayı,

$$n_3 = n' \sqrt{N'} / H^{5/4}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada n_3 = özgül dönme sayısı (d/dak.), n' = esas türbinin dönme sayısı (d/dak), H_n = net düşüm yüksekliği (m), N' = tek grup adedine düşen güçtür (BB).

Türbinlerin çalışma esnasındaki devir sayısı jeneratörün dönme sayısı $n' = 60 f' / p$ ifadesi ile hesaplanır. Burada f' = frekans (Türkiye'de : 50 Hz), p_j = jeneratörün çift kutup sayısıdır. Türbin tipi özgül dönme sayısı ve düşüm yüksekliği esas alınarak seçilebilir. Buna göre aşağıdaki gibi yazılabilir.

Türbin Tipi	Özgül dönme sayısı n_3 (d/dak.)	Düşüm yüksekliği H (m)
Pelton	10- 13	1800-1300
	13- 20	1300- 550
	20- 30	550- 300
Francis (Yavaş Dönen)	60-125	350- 150
(Normal Dönen)	125-225	150- 80
(Hızlı Dönen)	225-400	80- 20
Kaplan	350-600	35- 18
	600-800	18- 12
	800-1000	12- 5

Emme yüksekliği : Yatay eksenli türbinlerde mil ekseni ile, düşey eksenli türbinlerde ise yayıcıların alt düzlemi ile en düşük su seviyesi arasındaki kot farkıdır. Bu değer türbin tipine ve düşüm yüksekliğine bağlı olarak 5-6 m, en fazla 7 m. mertebesindedir. Thoma'ya göre mihsade edilen en büyük statik emme yüksekliği,

$$H_s = H_a - \nabla_{\min} \cdot H_n$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, H_a barometrik yükseklikten suyun buharlaşma basıncı çıkarılarak elde edilen değerdir. ∇ Thoma'nın kaviteasyon katsayısı, H_n net düşüm yüksekliğidir. Suyun buharlaşma basıncı ihmal edilerek $H_a \approx 10 \text{ m} - 0.00112 Z$ eşitliği ile hesaplanır. Z = santralin deniz seviyesinden yüksekliğidir.

Emme yüksekliği, düşüm yüksekliği, özgül dönme sayısı ve kaviteasyon arasında belirli bir ilişki mevcuttur. Kaviteasyon katsayısı özgül dönme sayısına bağlı olarak avan projeleri için $\nabla_{\min} = 0.024 (n_s/100)^{1.8}$ ifadesinden hesaplanabilir.

Türbin tiplerini tek tek açıklamak gerekirse,

1- Kaplan Türbini : Bu tip türbinler büyük debi ve küçük düşüm yüksekliklerinde kullanılır ve suyun aksel akışla çarkı çevirmesi prensibine göre çalışır. Propeller türbinlerde uskur çarkları dağıtıcı kanatları gövdeye sabit olarak bağlanmasına karşılık, bunların gelişmiş şekli olan kaplan türbinlerinde hareketlidir. Kaplan türbinleri genellikle düşey aksel, salyangozlu veya salyangozsuz olarak projelendirilir. Türbin çapı, genellikle çok büyüktür (10 m.'ye kadar).

2- Francis Türbini : Su içinde dönen türbinlerden olup salyangozlu tipte 10 ile 20 arasında değişen dağıtıcı kanat çark miline tutturulmuştur. Salyangoz ve basma borusu yerine basınçlı boru kullanılır. Eğri çark kanatları sayısında su radyal olarak girer ve aksel olarak çıkar. Francis türbinleri, yavaş, normal ve hızlı dönen olmak üzere üç grupta toplanır. Çark çapı, çark genişliği ve emme borusunun çıkış çapı türbin boyutlarını belirleyen en önemli büyüklüklerdir. Bu büyüklükler, Q , H , n ve n_s değerleri yardımıyla hesaplanır. Türbinin en önemli kısımları : Salyangoz, yani dağıtım odası, ön dağıtıcılar, dağıtıcılar, çark kumanda çemberi ve mekanizması ve emme borusudur.

3- Pelton Türbini : Basınçlı boruların uç kısmına yerleştirilen püskürtücülerden $v=(0,96 \text{ ile } 0,98) \sqrt{2g H_n}$ hızıyla çıkan su, çarkın çevresine yerleştirilen çift kaşıklı kepçelerin ortalarındaki keskin kısma çarparak iki eşit kısma ayrılır ve kaşıkların yüzeylerini takip ederek geriye döner, kepçeyi terk eder ve serbest olarak alta dökülür. Pelton türbinleri, serbest olarak havada döndüklerinden çevresindeki kepçelerin çalkantılı olan mansap su yüzeyinden en az 1 m. yukarıda olmasına dikkat edilmelidir. Pelton türbinleri, düşüm yüksekliğinin çok büyük ve işletme debisinin küçük olduğu yerlerde tercih edilir. Küçük güçlerde yatay, büyük güçlerde ise düşey eksenli olarak planlanır. Özgül dönme sayısı 5 ile 32 arasında değişir. Pelton türbininin başlıca kısımları, püskürtücü, iğne, saptırıcı, çark, kepçeler ve gövdedir.

4.2. Jeneratörler ve Transformatörler

Jeneratörler, türbin milindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sekron makinelerdir. Prensip olarak rotor ve statordan meydana gelir. Jeneratörün dönen kısmı olan rotoru döndüren mekanik enerji dış kısmındaki sabit stator sargılarında elektromotor kuvvetine dönüşür ve böylece elektrik enerjisine çevrilir. Belli kutup sayısı, şebeke frekansı ve dönüş sayısı ile çalışırlar. Su kuvveti tesislerinde üç fazlı alternatif akım jeneratörleri kullanılır.

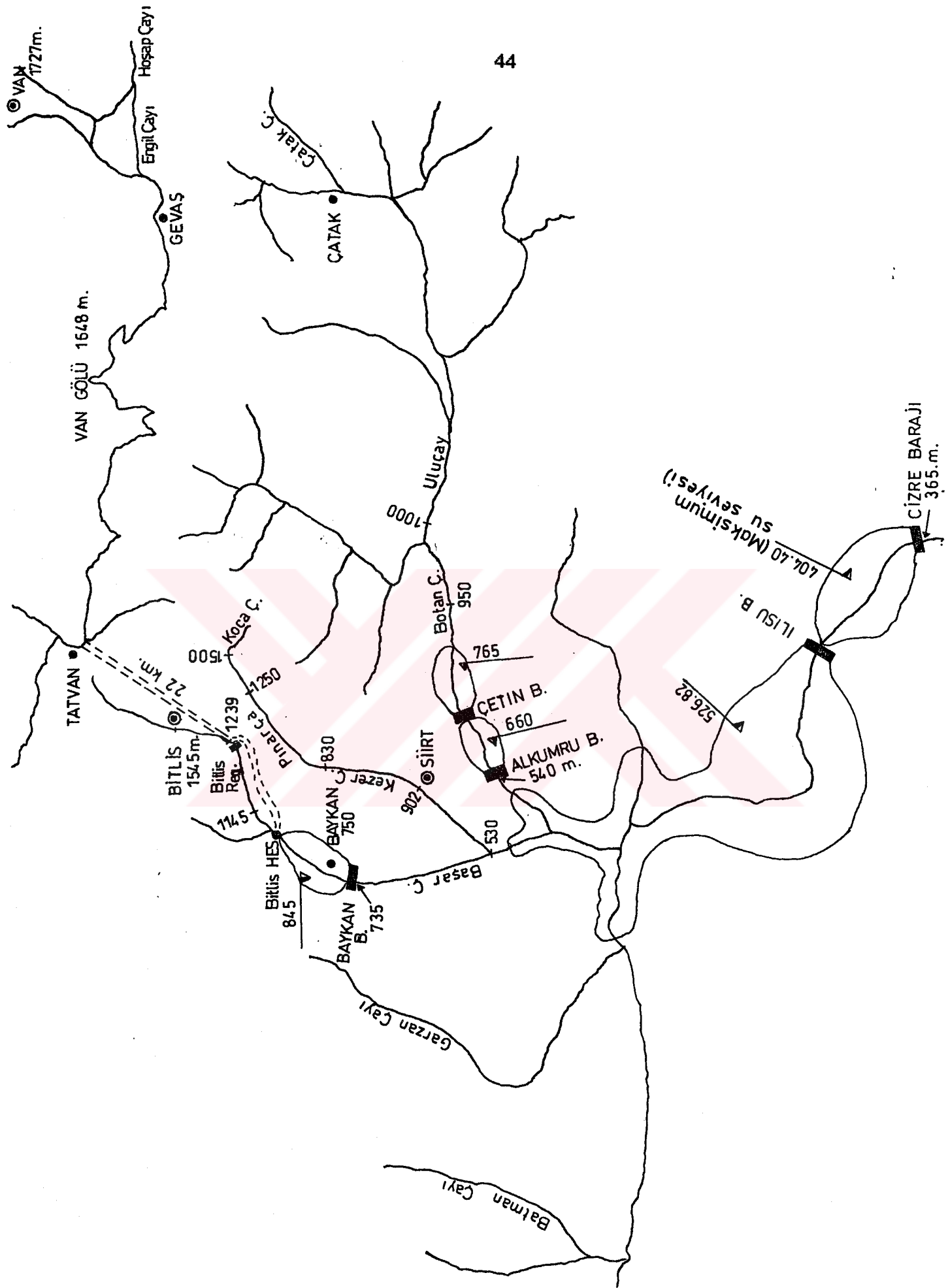
Transformatörler, jeneratörden çıkan düşük gerilimli elektrik akımını uzak mesafelere ekonomik olarak taşımak için yüksek gerilimli elektrik akımına dönüştüren makinelerdir. 33, 66, 220, 380 kV gibi gerilim kademeleri uygulanmaktadır.

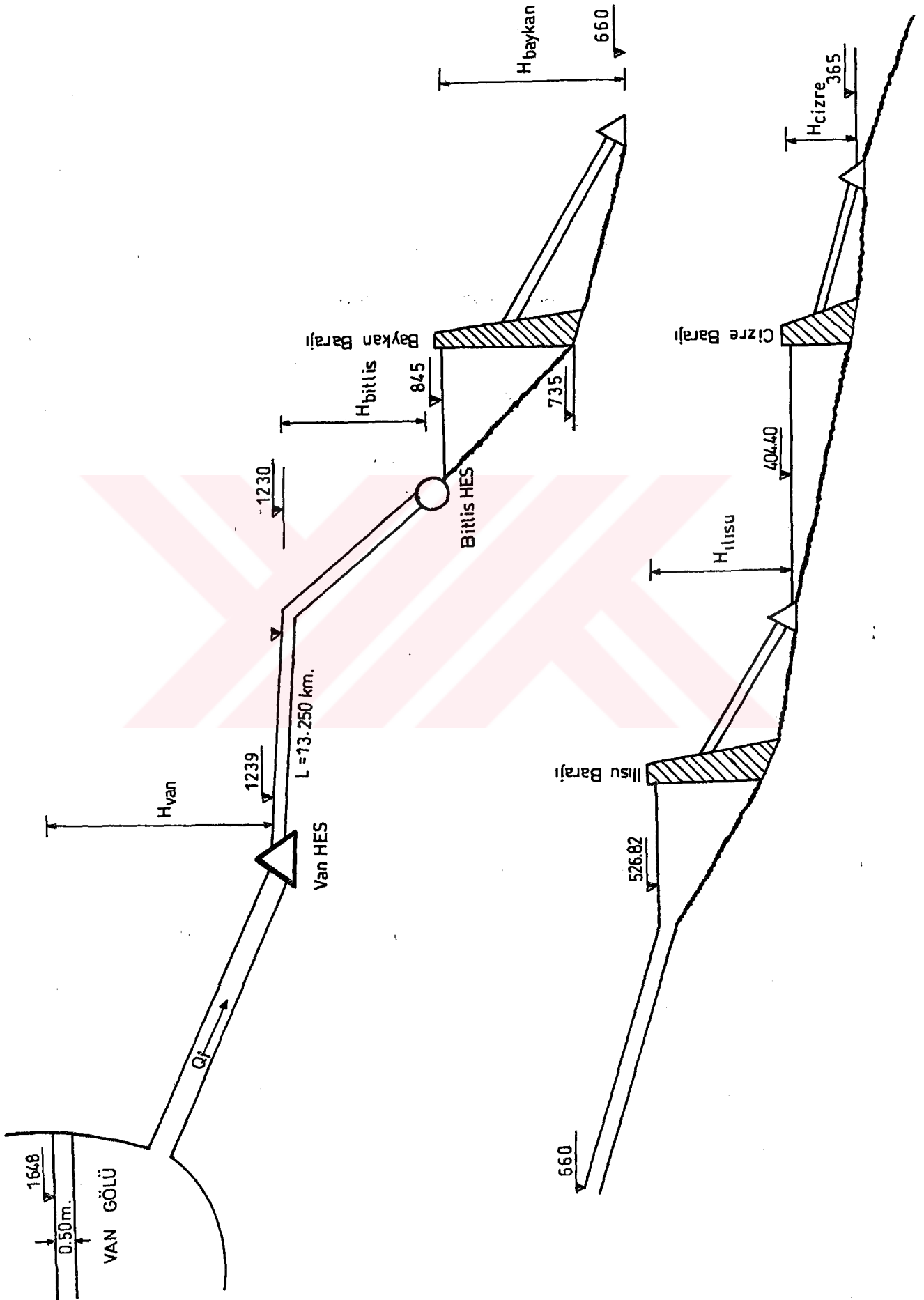
5. YAN GÖLÜ'NDEN ENERJİ ÜRETİMİ

Önce yaptığımız çalışmalarda, Yan Gölü'nün yıllık yağış miktarları ve en çok ve en az su seviyeleri tesbit edildi. Ayrıca göle diğer su kaynaklarından gelen su miktarları da araştırıldı. Daha sonra gölün güney kesimlerinde bir kot araştırması yapıldı. Bu kot araştırmasında amaç, gölden alacağımız suyun en uygun olarak nereye aktarılabilirdi. Gölde suyun nereden alınabileceğine de yapılan araştırmalar sonunda karar verildi.

Buna göre gölden suyun alınabileceği en uygun yerin Tatvan yakınlarında olabileceğine karar verildi. Bitlis Çayı üzerinde yapılan kot araştırmaları sonunda ise suyun Bitlis Regülatörü'ne yakın bir yerde kurulacak olan Yan HES'ye aktarılması düşünülmektedir. Buranın kotu 1239 m'dir. Bu kota kadar ise 22 km. uzunluğunda basınçlı galeri açılacaktır (Şekil 5.1). Buradan su Bitlis Regülatörü'ne verilecektir. Müteakiben dokuz metrelik bir kayıpla, 1230 m. kotuna ve ardından 845 m. kotundaki Bitlis HES'ine erişecektir. Su, yine kendi akışı ile 660 m. kotundaki Baykan Barajı'na ve 404.40 m. kotundaki Ilısu Barajı'na varacaktır. En son olarak 365 m. kotundaki Cizre Barajı'na gelen su, daha sonra ülke sınırlarını terkedecektir (Şekil 5.2).

Böylece ilk çıkış yerinden itibaren kazandığı H yükseklikleri ile kazanacağı enerjiler hesaplandığında 4.69 milyar kWh.lik bir enerji elde edilmiş olacaktır.





5.1. Van Gölü Kapalı Havzası Su Seviyelerindeki Yıllık Değişimler

Van Gölü - Tatvan İstasyonu :

1980 su yılında en çok seviye : 196 cm (14.06.1980)
 1980 su yılında en az seviye : 145 cm (13.02.1980)
 1980 su yılında yıllık değişim : 51 cm

1981 su yılında en çok seviye : 190 cm (27.06.1981)
 1981 su yılında en az seviye : 145 cm (13.02.1981)
 1981 su yılında yıllık değişim : 45 cm

1982 su yılında en çok seviye : 194 cm (07.07.1982)
 1982 su yılında en az seviye : 142 cm (13.03.1982)
 1982 su yılında yıllık değişim : 52 cm

1983 su yılında en çok seviye : 185 cm (17.06.1983)
 1983 su yılında en az seviye : 144 cm (28.09.1983)
 1983 su yılında yıllık değişim : 41 cm

1984 su yılında en çok seviye : 194 cm (02.07.1984)
 1984 su yılında en az seviye : 144 cm (01.10.1983)
 1984 su yılında yıllık değişim : 50 cm

1985 su yılında en çok seviye : 201 cm (09.06.1985)
 1985 su yılında en az seviye : 143 cm (29.10.1984)
 1985 su yılında yıllık değişim : 58 cm

Bu değerler Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin çalışmalarından alınmıştır.

5.2. Gölde Çekilecek Debinin ve Üretilcek Enerjinin Tayini

Van Gölü kapalı havzası su seviyelerinde de görüldüğü gibi yıllar itibarı ile göl seviyesindeki değişimler ortalama olarak 50 cm. civarındadır. Bunu şu şekilde de hesaplayabiliriz.

<u>Yılı</u>	<u>Yıllık değişimi</u>
1980	51 cm.
1981	45 cm.
1982	52 cm.
1983	41 cm.
1984	50 cm.
1985	<u>58 cm.</u>
	297 cm. $297 / 6 = 49.5 \approx 50$ cm.

Dolayısıyla gölden alınacak su yüksekliği de takriben 50 cm., yani 0,5 m. olarak seçilmiştir. Burada kullanılacak bu debi yılda buharlaşmaya giden sudur. Kısacası bu durum buharlaşmaya giden suyu kullanmak düşüncesinden kaynaklanmaktadır.

Bulunan bu değere göre, burada gölden çekilecek debi miktarının ve bu debi ile üretilcek enerjinin ne olacağı tayin edilebilir.

Santralin Gücü :

Burada yılda 0,5 m.'lik su yüksekliğinin kullanıldığı kabul edilerek,

$$V = 0,5 \text{ m.} \times 3700 \text{ km}^2 \times 10^6$$

$$V = 18.5 \times 10^8 \text{ m}^3 \quad \text{elde edilmiş olur.}$$

Santralin senelik çalışma süresi de $T = 24 \times 360$ olarak alınırsa,

Gölün kotu : 1648 m.

Santral kurulacak yerin kotu : 1239 m.

$$N_{van} = \frac{8}{3600} \cdot \frac{\sum (Y_i \cdot H_i)}{T}$$

$$N_{van} = \frac{8}{3600} \cdot \frac{\sum (18.5 \times 108 \times (1648 - 1239))}{24 \times 360}$$

$$N_{van} = 194.612 \text{ kW}$$

$$W_{van} = N_{van} \times T$$

$$= 194.612 \times 24 \times 360$$

$$W_{van} = 1.681.447.680 \text{ kWh. lik bir enerji elde edilmiş olur.}$$

Çekilecek debi miktarı :

$$Q_i = \frac{N}{8H_i} = \frac{194.612}{8 \times (1648 - 1239)}$$

$$Q_i = 59.48 \text{ m}^3/\text{sn} \approx 60 \text{ m}^3/\text{sn.}$$

Yaptığımız bu hesaplara göre gölden senede 0,5 m.'lik bir dilimden elde edilecek debi yaklaşık 60 m³/sn. olarak ortaya çıkmıştır.

5.3. Basınçlı Galeri Hesabı

Yaptığımız araştırma ve yapılan hesaplara uygun olarak gölden alınacak debinin basınçlı galeriler ile iletilmesine karar verildi. Buna göre, daha önce (Bölüm 3) de anlatıldığı gibi basınçlı galerinin hesabında, önce kaplamasız, daha sonra kaplamalı haller için hesap yapılacak ve böylece ekonomik çap bulunacaktır (James, 1971).

5.3.1. Kaplamasız hal için

$$M_h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot f_h \cdot \frac{\alpha}{100}$$

$$M_e = 8 \cdot Q_i \cdot J \cdot L \cdot T \cdot f_e$$

$$M = M_h + M_e$$

Tablo 5.1. Kaplamasız Hal İçin Maliyet Hesabı.

D (m)	$\frac{\pi D^2}{4}$	L (m)	f _h TL/m ³	$\frac{\alpha}{100}$	M _h (TL)	Q _i m ³ /sn	J $J = \frac{v^2}{k^2 R^{4/3}}$	T Saat	f _e TL/kw	M _e (TL)	M = M _h + M _e (TL)
9	63.62	22.000	21590	0.1	3.02 × 10 ⁹	60	1.87 × 10 ⁻⁴	8640	300.00	5.12 × 10 ⁹	8.14 × 10 ⁹
10	78.54	"	"	"	3.73 × 10 ⁹	"	1.06 × 10 ⁻⁴	"	"	2.90 × 10 ⁹	6.63 × 10 ⁹
11	95.03	"	"	"	4.51 × 10 ⁹	"	6.43 × 10 ⁻⁵	"	"	1.76 × 10 ⁹	6.27 × 10 ⁹
12	113.10	"	"	"	5.37 × 10 ⁹	"	4.06 × 10 ⁻⁵	"	"	1.11 × 10 ⁹	6.48 × 10 ⁹
13	132.73	"	"	"	6.30 × 10 ⁹	"	2.63 × 10 ⁻⁵	"	"	7.20 × 10 ⁸	7.02 × 10 ⁹

5.3.2. Kaplamalı hal için

$$M_h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot f_h \cdot \frac{\infty}{100}$$

$$M_b = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi (D-2e)^2}{4} \right) \cdot L \cdot f_b \cdot \frac{\infty}{100}$$

$$M_e = 8 \cdot Q_i \cdot J \cdot L \cdot T \cdot f_e$$

$$M = M_h + M_b + M_e$$

$$e = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$k = 60$$

Tablo 5.2. Kaplamalı Hal için Maliyet Hesabı.

D (m)	$\frac{\pi D^2}{4}$	L (m)	f_h TL/m ³	$\frac{\infty}{100}$	M_h (TL)	$\frac{\pi(D-2e)^2}{4}$	f_b TL/m ³	M_b (TL)	Q_i m ³ /sn	$J = \frac{v^2}{k^2 R^{4/3}}$	T Saat	f_e (TL/kW)	M_e (TL)	M (TL)
9	63.62	22.000	21.590	0.10	$3.02 \cdot 10^9$	58.09	124.464	$1.52 \cdot 10^9$	60	$1.06 \cdot 10^{-6}$	8640	300.00	$2.90 \cdot 10^9$	$7.44 \cdot 10^9$
10	78.54	"	"	"	$3.73 \cdot 10^9$	72.38	"	$1.69 \cdot 10^9$	"	$5.96 \cdot 10^{-5}$	"	"	$1.53 \cdot 10^9$	$7.05 \cdot 10^9$
11	95.03	"	"	"	$4.51 \cdot 10^9$	88.25	"	$186 \cdot 10^9$	"	$3.50 \cdot 10^{-5}$	"	"	$9.58 \cdot 10^8$	$7.73 \cdot 10^9$
12	113.10	"	"	"	$5.37 \cdot 10^9$	105.68	"	$2.03 \cdot 10^9$	"	$2.18 \cdot 10^{-5}$	"	"	$5.97 \cdot 10^8$	$7.95 \cdot 10^9$
13	132.73	"	"	"	$6.30 \cdot 10^9$	124.69	"	$2.20 \cdot 10^9$	"	$1.39 \cdot 10^{-5}$	"	"	$3.80 \cdot 10^8$	$8.88 \cdot 10^9$

Bu iki hal sonucunda görüldüğü gibi kaplamasız olarak 11 m. lik çaptaki çözüm en ekonomik çözüm olacaktır.

5.4. Bitlis Çayı ve Müteakiben Elde Edilecek Enerji Miktarları

Van gölünden alınan su Bitlis Çayı'na ve ardından Dicle nehrine verilecektir (Şekil 5.3). Alınan $60 \text{ m}^3/\text{sn.}$ lik debi, hesapladığımız gibi önce Van HES'ne basınçlı galeri ile getirilerek $1.68 \times 10^9 \text{ kWh.}$ lik bir enerji sağlanmış olacaktır. Daha sonra, su kurulacak olan Bitlis Regülatörü'ne aktarılacaktır. Burada $L = 13.250 \text{ km.}$ lik bir yol katederek, $h_k = 9 \text{ m.}$ lik bir kayıpla 1230 m. kotuna erişecektir. Buradan Bitlis HES'ne gitmesi için $H_{\text{bitlis}} = 1230 - 845 = 385 \text{ m.}$ lik bir düşü yüksekliğine erişecektir. Böylece kazanacağı gücü hesaplayacak olursak,

$$N_{\text{bitlis}} = 8 Q_i \cdot H_{\text{bitlis}}$$

$$= 8 \times 60 \times 385$$

$$N_{\text{bitlis}} = 184.800 \text{ kW. eder. Buradan elde edeceğimiz enerji ise;}$$

$$W_{\text{bitlis}} = N_{\text{bitlis}} \cdot T$$

$$= 184.800 \times 24 \times 360$$

$$W_{\text{bitlis}} = 1.596.672.000 \text{ kWh. olur.}$$

Daha sonra $60 \text{ m}^3/\text{sn.}$ lik debimiz Bitlis HES'den Baykan Barajı'na gelecektir. Burada elde edeceğimiz düşü yüksekliği;

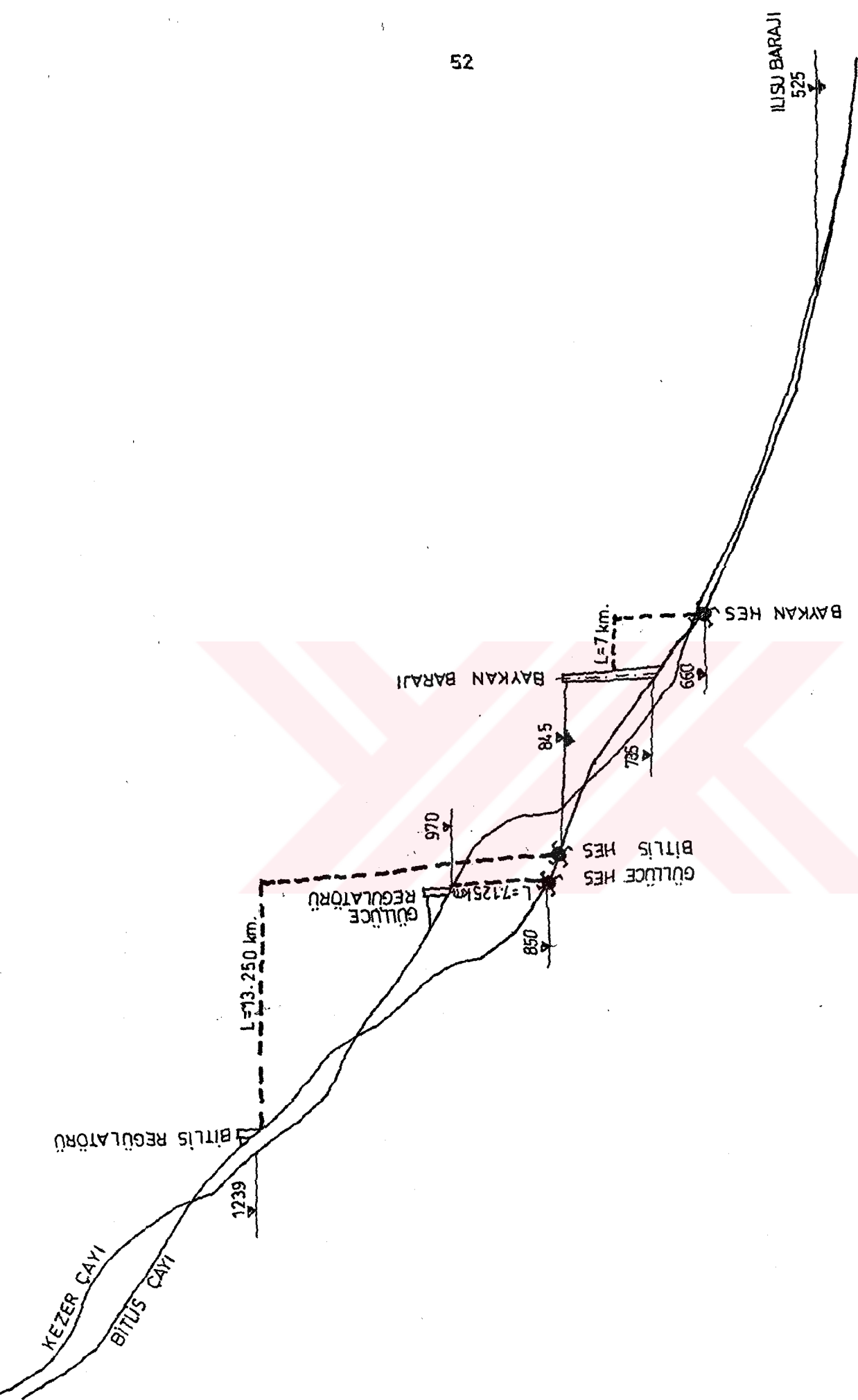
$$H_{\text{baykan}} = 845 - 660 = 185 \text{ m. dir.}$$

Buradan H_{baykan} 'la elde edeceğimiz güç,

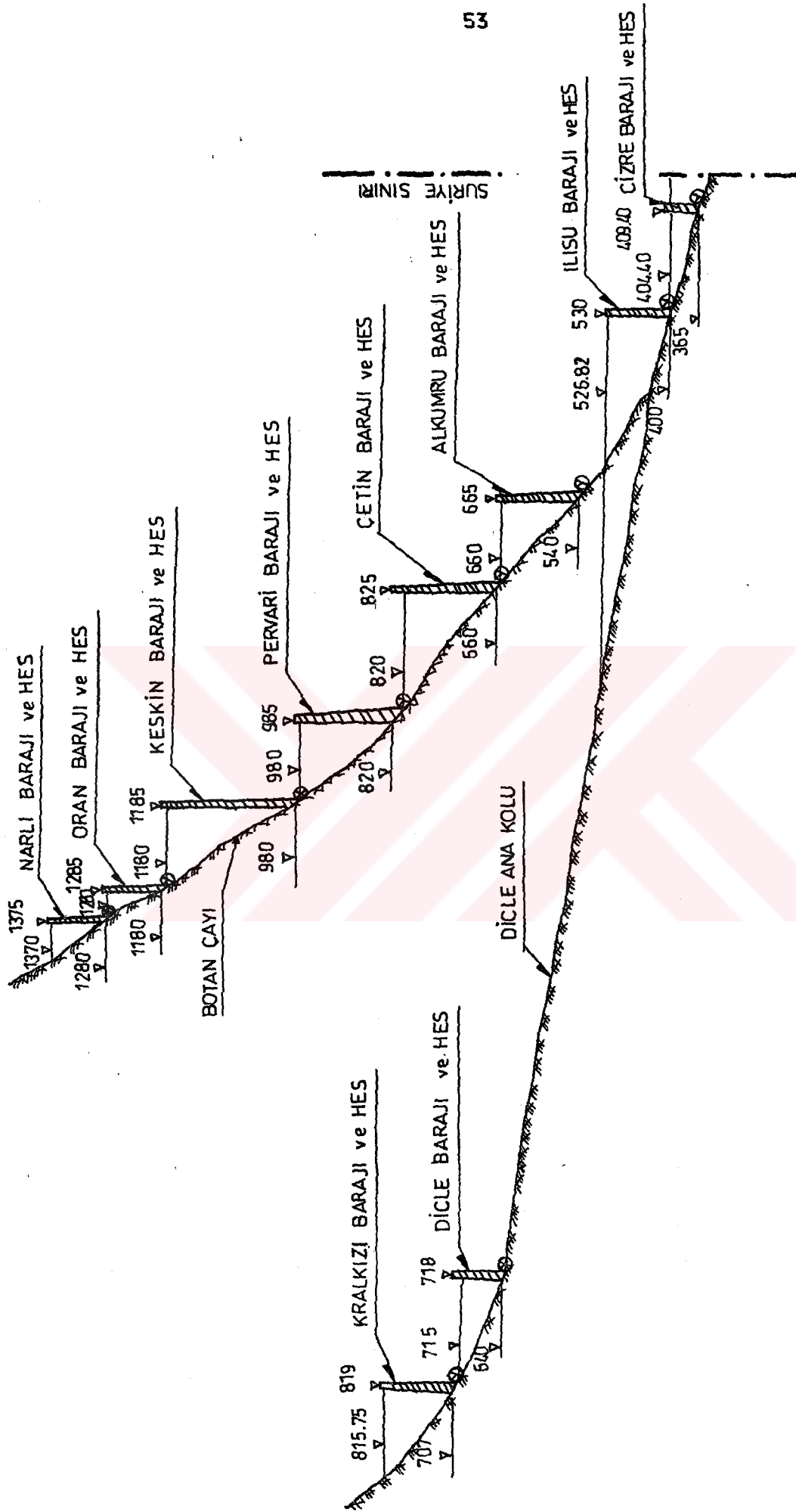
$$N_{\text{baykan}} = 8 \times Q \times H_{\text{baykan}}$$

$$= 8 \times 60 \times 185$$

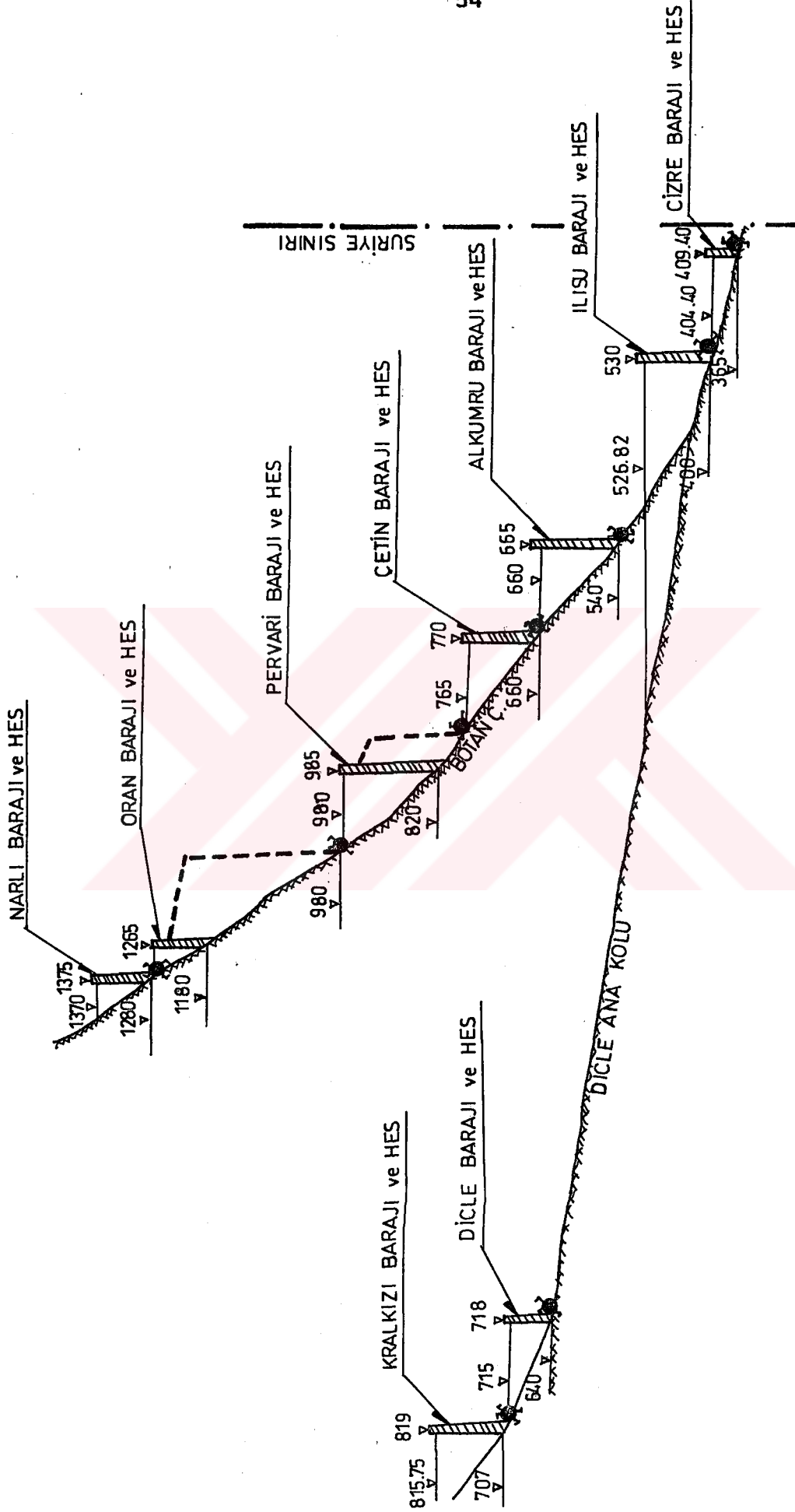
$$= 88.800 \text{ kW. olur.}$$



Şekil 5.3. Bitlis Cayı enerjii imkanları boykesiti.



Sekil 5.4. Dicle Nehri Havzası enerji imkanları boykesiti (Alternatif II)



Şekil 55: Dicle Nehri Havzası enerji imkanları boykesiti. (Alternatif I)

$$W_{baykan} = N_{baykan} \times T$$

$$= 88.800 \times 24 \times 360$$

$$W_{baykan} = 767.232.000 \text{ kWh.}$$

Daha sonra debimiz Bitlis Çayı'nı tabii bir yol olarak kullanarak belirli bir yol katedecek ve ardından Ilısu Barajı'na erişecektir. Burada elde edeceği düşü yüksekliği;

$$H_{ılısu} = 526.82 - 404.40 = 122.42 \text{ m.}$$

$$N_{ılısu} = 8 \times Q \times H_{ılısu}$$

$$= 8 \times 60 \times 122.42$$

$$N_{ılısu} = 58.762 \text{ kW.}$$

Bu güçle kazanacağı enerji ise,

$$W_{ılısu} = N_{ılısu} \times T$$

$$= 58.762 \times 24 \times 360$$

$$W_{ılısu} = 507.703.680 \text{ kWh. olur.}$$

Bundan sonra debimizin geçiş bölgesi Cizre Barajı'dır.

$$H_{cizre} = 404.40 - 365 = 39.40 \text{ m. Kazanacağı güç ve enerjiyi hesaplırsak,}$$

$$N_{cizre} = 8 \times Q \times H_{cizre}$$

$$= 8 \times 60 \times 39.40$$

$$N_{cizre} = 18.912 \text{ kW.}$$

$$W_{cizre} = N_{cizre} \times T$$

$$= 18.912 \times 24 \times 360$$

$$W_{cizre} = 163.399.680 \text{ kWh. olur.}$$

Debimizin Yan Gölü'nden çıkıp Cizre Barajı'nı aşarak Türkiye sınırlarını aşınca kadar katettiği mesafelerden elde edilecek enerji miktarlarını toplayacak olursak, şöyle bir sonuç ortaya çıkacaktır.

$$W_{\text{TOPLAM}} = W_{\text{van}} + W_{\text{bitlis}} + W_{\text{baykan}} + W_{\text{ilisu}} + W_{\text{cizre}}$$

$$= 1.68 \times 10^9 + 1.59 \times 10^9 + 0.76 \times 10^9 + 0.50 \times 10^9 + 0.16 \times 10^9$$

$$W_{\text{TOPLAM}} = 4.69 \times 10^9 \text{ kWh.}$$

Görüldüğü gibi bu 4.69 milyar kWh. lik enerji hiç de küçümsenmeyecek bir büyüklüktedir. Bu enerjiden kazanacağımız parasal değere gelince, elektriğin bugünkü fiyatıyla bu değeri çarptığımızda elde edeceğimiz gelirdir.

$$M_g = W_{\text{TOPLAM}} \times f_e$$

$$= 4.69 \times 10^9 \times 300.00$$

$$M_g = 1.41 \times 10^{12} \text{ TL.}$$

5.5. Değişik Debi Değerleri İçin Alternatif Çözümler

a) $Q_i = 40 \text{ m}^3/\text{sn.}$ ve $T = 12 \times 360$ saat için;

$$N_{\text{van}} = 8 \times Q_i \times H_{\text{van}}$$

$$= 8 \times 40 (1648 - 1239)$$

$$N_{\text{van}} = 130.880 \text{ kW.}$$

$$N_{\text{van}} = \frac{8}{3600} \cdot \frac{\sum (V_i \cdot H_{\text{van}})}{T}$$

$$V_i = N_{\text{van}} \times 3600 \times T / 8 \times H_{\text{van}} = 130.880 \times 3600 \times 12 \times 360 / 8 \times 409$$

$$V_i = 6.22 \times 10^8 \text{ m}^3$$

Göldeki seviye alçalması = $6.22 \times 10^8 / 3700 \times 10^6 \approx 0.17 \text{ m.}$ olarak elde edilir.

$$W_{\text{van}} = N_{\text{van}} \times T$$

$$= 130.880 \times 12 \times 360$$

$$W_{\text{van}} = 565.401.600 \text{ kWh.}$$

$40 \text{ m}^3/\text{sn.}$ lik debi ve 12×360 saatlik çalışma süresi için basınçlı galeri hesabı ise;

1- Kaplamasız hal için; galerinin ekonomik çapı daha önce yapılan (Sayfa 49'daki) hesap yöntemi ile hesaplandı ve 8 m. lik değer elde edildi.

2- Kaplamalı hal için; galerinin ekonomik çapı benzer şekilde (Sayfa 50'deki gibi) yapıldı ve 8 m. olarak tayin edildi.

Sonuç olarak her iki halde de 8 m. elde edildi, ancak kaplamasız halin maliyeti daha az olduğundan ekonomik olan çözüm kaplamasız olarak 8 m. yapmak olacaktır.

Müteakip enerji kademelerinden elde edilecek enerji miktarları ise aşağıda verilmektedir.

$$N_{bitlis} = 8 \times 40 \times 385 = 123.200 \text{ kW.}$$

$$W_{bitlis} = 123.200 \times 12 \times 360 = 532.224.000 \text{ kWh.}$$

$$N_{baykan} = 8 \times 40 \times 185 = 59.200 \text{ kW.}$$

$$W_{bitlis} = 59.200 \times 12 \times 360 = 255.744.000 \text{ kWh.}$$

$$N_{ılısu} = 8 \times 40 \times 122.42 = 39.174 \text{ kW.}$$

$$W_{ılısu} = 39.174 \times 12 \times 360 = 169.231.680 \text{ kWh.}$$

$$N_{cizre} = 8 \times 40 \times 39.40 = 12.608 \text{ kW.}$$

$$W_{cizre} = 12.608 \times 12 \times 360 = 54.466.560 \text{ kWh.}$$

40 m³/sn. lik debinin Van Gölü'nden Ülke sınırları dışına kadar katettiği yolda elde edilecek toplam enerji miktarı;

$$W_{TOPLAM} = 5.65 \times 10^8 + 5.32 \times 10^8 + 2.55 \times 10^8 + 1.69 \times 10^8 + 0.54 \times 10^8$$

$$W_{TOPLAM} = 15.75 \times 10^8 \text{ kWh. olur.}$$

Bu değeri, elektriğin bugünkü değeri ile çarparsak;

$$M_g = 15.75 \times 10^8 \times 300.00$$

$$M_g = 4.73 \times 10^{11} \text{ TL. lik gelir elde edilebilir.}$$

b) $Q_j = 20 \text{ m}^3/\text{sn.}$ ve $T = 8 \times 360$ saat için;

$$N_{van} = 8 \times 20 (1648 - 1239) = 65.440 \text{ kW.}$$

$$Y_j = 65.440 \times 3600 \times 8 \times 360 / 8 \times 409 = 2.07 \times 10^8 \text{ m}^3$$

Böylece göldeki seviye alçalması = $2.07 \times 10^8 / 3700 \times 10^6 = 0.06$ m. olarak elde edilir.

$$W_{van} = 65.440 \times 8 \times 360 = 188.467.200 \text{ kWh.}$$

20 m³/sn. lik debi ve 8x360 saatlik çalışma süresi için, basınçlı galeri hesabı ise;

1- Kaplamasız hal için; galerinin ekonomik çapı daha önce yapılan (Sayfa 49'deki) hesap yöntemi ile hesaplandı ve 6 m. lik değer elde edildi.

2- Kaplamalı hal için; galerinin ekonomik çapı benzer şekilde (Sayfa 50'deki gibi) yapıldı ve yine 6 m. elde edildi.

Sonuç olarak, her iki halde de 6 m. lik değer elde edildi, ancak kaplamasız halin maliyeti daha az olduğundan, ekonomik olan çözüm kaplamasız olarak 6 m. yapmak olacaktır.

Burada da aynı şekilde müteakip enerji kademelerinden elde edilecek enerji miktarlarını sırasıyla hesaplırsak;

$$N_{bitlis} = 8 \times 20 \times 385 = 61.600 \text{ kW}$$

$$W_{bitlis} = 61.600 \times 8 \times 360 = 177.408.000 \text{ kWh.}$$

$$N_{baykan} = 8 \times 20 \times 185 = 29.600 \text{ kW}$$

$$W_{baykan} = 29.600 \times 8 \times 360 = 85.248.000 \text{ kWh.}$$

$$N_{ilisu} = 8 \times 20 \times 120.42 = 19.587 \text{ kW.}$$

$$W_{ilisu} = 19.587 \times 8 \times 360 = 56.410.560 \text{ kWh.}$$

$$N_{cizre} = 8 \times 20 \times 39.40 = 6.304 \text{ kW}$$

$$W_{cizre} = 6.304 \times 8 \times 360 = 18.155.520 \text{ kWh.}$$

20 m³/sn. lik debinin, Van Gölü'nden ülke sınırları dışına kadar katettiği yolda elde edeceği toplam enerji miktarı ise;

$$W_{\text{TOPLAM}} = 1.88 \times 10^8 + 1.77 \times 10^8 + 0.85 \times 10^8 + 0.56 \times 10^8 + 0.18 \times 10^8$$

$$W_{\text{TOPLAM}} = 5.24 \times 10^8 \text{ kWh. olur.}$$

Bu değeri elektriğin bugünkü değeri ile çarparsak;

$$M_g = 5.24 \times 10^8 \times 300.00$$

$$= 1.57 \times 10^{11} \text{ TL. lik gelir elde edilebilir.}$$



SONUÇLAR

Türkiye'nin coğrafik yapısı nedeniyle en çok kar yağışı alan bölgelerinden biri olan Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki su kaynaklarının büyük bir bölümünü bu karların erime akımları oluşturur.

Ülkemiz çok büyük su kaynaklarına sahiptir. Ancak bunların bazılarında yararlanılarak üretime geçilebilinmiştir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan bu değerli gölden ne yazık ki, şimdiye kadar yararlanılmamıştır. Verilen bilgiler ışığında bu gölden bu şekilde yararlanılacak olursa ortaya büyük bir potansiyel çıkacaktır. Buradan üretilecek enerji ile ülkenin büyük bir bölümünün enerji sorunu çözülmüş olacaktır. Bunun yanında üretilecek enerji miktarını, maliyetle çarptığımızda ülkenin büyük bir ekonomik kaybı giderilecektir.

Ayrıca Van Gölü'nden alınacak $60 \text{ m}^3/\text{sn.}$ lik debi ile gölün sürekli olarak su değişimi sağlanacaktır. Bu su değişimi sayesinde gölün sahip olduğu tuzlu ve sodyum bikarbonatlı suyunun değişimi de sağlanmış olacak ve bu değişim sonucunda suyun tatlılaşması ile ileride gölde yaşayan canlıların artışı sağlanabilecektir. Böylece gölün canlı faaliyeti artmış olacak ki, bu da diğer bir yandan ekonomiye katkı sağlayacaktır. Çünkü suyun tatlılaşması ile çoğalacak olan balık türlerinin avlanıp satılması neticesinde ülke ekonomisine daha fazla yarar getirmiş olacaktır.

Sonuç olarak bu yararları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- 1- Üretilecek olan 4.69 milyar kWh. enerji ile ülke ekonomisine büyük katkılarda bulunulacaktır.
- 2- Göldeki su sirkülasyonu sağlanacağı için göl suyunun zamanla kısmi tatlılaşması sonucunda canlı faaliyetinin artışı sağlanacaktır.
- 3- Ülkenin su kaynaklarından daha fazla yararlanılması temin edilecektir.
- 4- 122 milyar kWh olan hidroelektrik enerji potansiyeli bu proje ile birlikte 126.69 milyar kWh. e çıkacaktır.

KAYNAKLAR

- BRATER, E.F., ve WISLER, C.D., (1959). **Hydrology**. Ann Arbor, Michigan, in U.S.A.
- BROWN, J.G., (1965). **Hydroelectric Practice**. Vol.1, Blackie and Son Limited. London.
- ÇEÇEN, K., (1979). **Su Kuvvetleri**. İ.T.Ü. İnşaat Fak. Ders Notları. İstanbul.
- ÇEÇEN, K., (1969). **Hidrolik**. Cilt 2. İ.T.Ü. İnş.Fak. Çağlayan Basımevi. İstanbul.
- DÖNMEZER, H., (1976). **Su Kuvveti Tesisleri**. İ.D.M.M.A. Kutulmuş Matbaası. İstanbul.
- D.S.İ., (1988). **Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller**.
- E.İ.E., (1991). **İdaresi Genel Müdürlüğü Baraj ve HES Proje Çalışmaları**.
- ENGİZ, N., (1964). **Su Yapıları**. Cilt 1, 2. İ.T.Ü. İstanbul.
- ERKE, H., (1981). **Su Kaynaklarının Enerji Potansiyeli ve Bugünkü Gelişme Durumu**. Cilt 1. s.224-303. Ankara.
- ERKEK, C., ve AĞIRALIOĞLU, N., (1986). **Su Kaynakları Mühendisliği**. Teknik Kitaplar Yayınevi. İstanbul.
- JAMES, L.D., ve LEE, R.R., (1971). **Economics of Water Resources Planning**. McGraw-Hill Book Company. London.
- KUIPER, E., (1965). **Water Resources**. Development: Planning, Engineering and Economics. Butterworth and CO. Limited. London.
- PRESS, H., (1959). **Wehre**, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. Berlin.
- SCHLEIERMACHER, H.E., (1967). **Su Kuvvetleri Tesisleri**. İ.T.Ü. Matbaası. İstanbul.
- TANER, N., (1972). **Hidrolik**. Cilt 2. İ.T.Ü. İnş.Fak. Çağlayan Basımevi. İstanbul.
- ÜNSAL, İ., (1980). **Su Kuvvetleri**. E.D.M.M.A. Yayınları. No: 29. Elazığ.