

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

7 MW PELTON HİDRO TÜRBİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin YAZICI

**Kimya ve Süreç Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya ve Süreç Mühendisliği Programı**

OCAK 2015

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

7 MW PELTON HİDRO TÜRBİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yasemin YAZICI
(125107003)**

**Kimya ve Süreç Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya ve Süreç Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER

OCAK 2015

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **125107003** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yasemin YAZICI** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**7 MW PELTON HİDRO TÜRBİN TASARIMI**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER

Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği



Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER

Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği



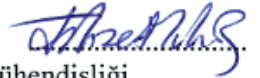
Prof. Dr. Jülide HIZAL YÜCESOY

Yalova Üniversitesi Kimya ve Süreç Mühendisliği



Prof. Dr. Fikret YÜKSEL

Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği



Teslim Tarihi : 14 Ocak 2015

Savunma Tarihi : 30 Ocak 2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında beni yönlendiren ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER'e, değerli jüri hocalarım Prof. Dr. Jülide HIZAL YÜCESOY ve Prof. Dr. Fikret YÜKSEL'e, tecrübelerini benimle paylaşan Leyla YILDIRIM ATALAY'a, Lenny CRAAG, Günay KÖSE ve Taşkın KÖSE'ye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven ve sevgi veren, maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiren, bütün zorluklara katlanarak yetişmemde emeği geçen aileme şükranlarımı sunarım.

Ocak 2015

Yasemin YAZICI
(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

ONAY	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji	1
1.2 Hidroelektrik Enerji.....	7
1.2.1 Dünya'nın hidroelektrik enerji potansiyeli	8
1.2.2 Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli	9
2. HİDROELEKTRİK SANTRALLER	11
2.1 Hidroelektrik Santrallerin Yapısı	11
2.1.1 Su tutma yapıları	11
2.1.2 Su alma yapıları	11
2.1.3 İletim yapıları	12
2.1.4 Cebri (basınçlı) borular	12
2.1.5 Yükleme havuzu	12
2.1.6 Enerji nakil hattı.....	12
2.1.7 Transformatörler	13
2.1.8 Santral binası.....	13
2.1.9 Denge bacası	13
2.1.10 Kelebek ve küresel vanalar	13
2.1.11 Havalandırma sistemi.....	13
2.1.12 Izgaralar	14
2.2 Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	14
2.2.1 Düşülerine göre sınıflandırma.....	14
2.2.2 Ürettikleri enerjinin özellik ve değerine göre	14
2.2.3 Kapasitelerine (kurulu gücüne) göre sınıflandırma	15
2.2.4 Yapılarına göre sınıflandırma	15
2.2.5 Üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre.....	16
2.3 Küçük Hidroelektrik Santraller	19
2.3.1 Küçük hidroelektrik santrallerin avantajları	20
2.3.2 Türkiye'de küçük hidroelektrik potansiyeli	21
3. HİDROLİK TÜRBİNLER	25
3.1 Hidrolik Türbinlerin Sınıflandırılması	25
3.1.1 Suyun etki şekline göre	25
3.1.2 Suyun akış doğrultusuna göre	25
3.1.3 Türbin milinin durumuna göre	26

3.1.4 Özgül hıza göre	26
3.2 Hidrolik Türbin Tipleri.....	26
3.2.1 Reaksiyon türbinleri	26
3.2.2 Aksiyon türbinleri	28
3.3 Türbin Seçim Kriterleri	30
3.3.1 Özgül hız bağıntısı	32
3.4. Pelton Türbininin Yapısı ve Parçaları	35
3.4.1 Püskürtücü (enjektör)	36
3.4.2 Çark	36
3.4.3 İğne.....	36
3.4.4 Deflektör.....	36
3.4.5 Gövde	36
4. PELTON TÜRBİN TASARIM ALGORİTMASI ve DEREİÇİ	
UYGULAMASI	39
4.1 Proje Alanının Tanıtılması	39
4.2 Türbin Tasarımında Kullanılan Proje Karakteristikleri.....	39
4.3 Proje Sahasına Ait Ana Verilerin Belirlenmesi.....	40
4.3.1 Net düşü.....	40
4.3.2 Suyun akış hızı	41
4.3.3 Türbin giriş gücü	41
4.3.4 Türbin devir sayısı.....	42
4.3.5 Özgül hız	43
4.3.6 Su jetinin sahip olduğu hız	44
4.3.7 Çark teğetsel hızı.....	44
4.3.8 Çark çapı	45
4.3.9 Nozul boyutları.....	46
4.3.10 Kepçe sayısı.....	49
4.3.11 Kepçe boyutları	50
4.3.12 Cebri boru tasarımı.....	53
4.3.13 Maksimum türbin veriminin hesaplanması	54
4.3.14 Toplam türbin verimi	56
4.3.15 Türbin tarafından oluşturulan dönme momenti.....	57
5. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

BM	: Birleşmiş Milletler
cm	: Santimetre
cm²	: Santimetre kare
CO₂	: Karbondioksit
CPT	: Cam elyaf Takviyeli Polyester
d/d	: Dakikada devir sayısı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
g	: Gram
GSYİH	: Gayri Safi Millî Hasıla
GWh	: Gigawatt saat
HES	: Hidroelektrik Santral
Hz	: Hertz frekans birimi
İHD	: İşletme Hakkı Devri
kg	: Kilogram
KHES	: Küçük Hidroelektrik Santral
km	: Kilometre
km²	: Kilometre kare
kV	: Kilovolt
kVA	: Kilovolt amper
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
m	: Metre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
mm	: Milimetre
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt elektrik
MWm	: Megawatt mekanik
NO_x	: Azotoksit
OP	: Oto Prodüktör
s	: Saniye
SO₂	: Kükürt dioksit
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Sanayi ve Kalkınma Organizasyonu
W	: Watt
YİD	: Yap İşlet Devret

SEMBOL LİSTESİ

A_b	: Cebri boru çevresel alanı (m ²)
A_j	: Nozul ya da jet alanı (m ²)
A_r	: Cebri boru kesit alanı (m ²)
b	: Kepçenin aksenal genişliği (m)
C_n	: Nozul boşaltma katsayısı
C_x	: Çark teğetsel hız katsayısı
D_j	: Nozul ya da jet çapı (m)
D_{pn}	: Nozula bağlı cebri boru çapı (m)
D_{pt}	: Türbine bağlı cebri boru çapı (m)
D_r	: Çark çapı (m)
D_t	: Saptırıcı kalınlığı (m)
f	: Frekans (hz)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
H_b	: Brüt düşü (m)
H_n	: Net düşü (m)
H_t	: Toplam düşü (m)
H_{tl}	: Toplam düşü kaybı (m)
h	: Kepçenin radyal uzunluğu (m)
K_d	: Sürtünme katsayısı
L_n	: Nozul uzunluğu (m)
L_{pt}	: Su alımı ve türbin arasındaki cebri boru uzunluğu (m)
M_b	: Kepçe ağırlığı (kg)
N	: Türbin hızı (d/d)
N_q	: Özgül hız (d/d)
N_s	: Özgül hız (d/d)
n	: Jeneratörün hız
n_j	: Püskürtücü sayısı
n_p	: Cebri borunun Manning faktörü
P	: Türbine milinden alınan güç (W)
P_{ti}	: Türbine giren güç (W)
P_{to}	: Türbin tarafından oluşturulan çıkış gücü (W)
p	: Jeneratör çift kutup sayısı
Q_n	: Nozul debisi (m ³ /s)
Q_t	: Türbin debisi (m ³ /s)
R_{br}	: Çark merkezine kütlelin kepçe merkezinin yarıçapı (m)
R_r	: Çark yarıçapı (m)
T_t	: Türbin tarafından oluşturulan dönme momenti (N.m)
t	: Kepçenin derinliği (m)
t_p	: Cebri boru kalınlığı (m)
V_b	: Kepçe hacmi (m ³)
V_j	: Su jeti hızı (m/s)
V_{j1}	: Su jetinin mutlak hızı (m/s)

V_{j2}	: Çarktan ayrılan suyun mutlak hızı (m/s)
V_r	: Akım hızı (m/s)
V_{tr}	: Çark teğetsel hızı (m/s)
W_1	: Su jetinin çarka göre bağıl hızı (m/s)
W_2	: Çarktan ayrılan suyun çarka göre bağıl hızının yatay bileşeni
X_{nb}	: Nozul ve kepçe arasındaki mesafe (m)
X_{nr}	: Nozul ve çark arasındaki mesafe (m)
Z	: Kepçe sayısı
α_1	: Girişte mutlak hızın çevresel hızla yaptığı açı
α_2	: Çıkışta mutlak hızın çevresel hızla yaptığı açı
β	: Nozul uzantı açısı (derece)
β_1	: Girişte bağıl hızın çarkın çevresel hızı ile yaptığı açı
β_2	: Çıkışta bağıl hızın çarkın çevresel hızı ile yaptığı açı
ψ	: Kepçe pürüzlülük katsayısı
θ	: Jet ve kepçe arasındaki sapma açısı
ϕ	: $180 - \theta$
ρ_a	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_m	: Kepçe malzemesinin yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_w	: Suyun yoğunluğu (kg/m^3)
ω	: Çark hızı (radyan/s)
η	: Kaynak verimi
η_t	: Toplam verim
η_{th}	: Türbin hidrolik verimi
$\eta_{th(max)}$: Maksimum hidrolik verimi
η_{tm}	: Türbin mekanik verimi
η_{tw}	: Türbin rüzgârlama verimi
σ	: Akma gerilmesi (t/cm^2)

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 : Bazı ülkelerin yıllara göre elektrik tüketimi (GWh).....	2
Tablo 1.2 : 2011 yılı ülkelerin kişi başına elektrik enerjisi tüketimi ve enerji yoğunluğu.....	3
Tablo 1.3 : Çeşitli yenilenebilir kaynakların enerji maliyetleri	6
Tablo 1.4 : Dünyanın hidroelektrik enerji potansiyeli	9
Tablo 1.5 : Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli	11
Tablo 2.1 : Hidroelektrik santrallerin kapasitelerine göre sınıflandırılması	15
Tablo 2.2 : Küçük hidroelektrik santrallerin kapasiteye göre sınıflandırılması.....	20
Tablo 2.3 : Proje tiplerinin başlama ve tam kapasiteye ulaşma süreleri	21
Tablo 2.4 : Türkiye'de 2011 yılı sonu itibariyle kuruluş tiplerinin hidroelektrik güç santral kapasiteleri.....	23
Tablo 2.5 : 2012-2018 yılları arasında işletmeye girmesi öngörülen inşa halindeki kamu ve özel şirket santralleri (EPDK 2012 senaryo 1)	24
Tablo 3.1 : Türbinlerin özgül hıza göre sınıflandırılması	26
Tablo 3.2 : Özgül hıza (N_q) göre türbin tipleri	33
Tablo 3.3 : Özgül hıza (N_s) göre türbin tipleri.....	33
Tablo 4.1 : Türbin tasarımında kullanılan proje karakteristikleri.	39
Tablo 4.2 : Düşüye bağlı çark çapı eşitlikleri.....	46
Tablo 4.3 : Püskürtücü sayısına göre kepçe genişliği ampirik bağıntısı	50
Tablo 4.4 : Pelton türbini tasarımında elde edilen değerler	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 1999–2018 Yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi.....	2
Şekil 1.2 : Dünyada 2011 yılı birincil enerjiden elektrik enerjisi üretimi	4
Şekil 1.3 : 2012 yılında Türkiye'nin kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi.....	5
Şekil 1.4 : Enerji santrallerinin üretim maliyetleri	6
Şekil 1.5 : Hidrolik çevrim	7
Şekil 1.6 : Hidroelektrik enerji üretimi.....	8
Şekil 1.7 : Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli.....	10
Şekil 2.1 : Depolamasız bir hidroelektrik santralin kısımları	17
Şekil 2.2 : Depolamalı bir hidroelektrik santralin kısımları	18
Şekil 2.3 : Pompaj depolamalı HES kesiti.....	19
Şekil 3.1 : Francis türbini	27
Şekil 3.2 : Kaplan (Uskur) türbini	28
Şekil 3.3 : Pelton türbini	29
Şekil 3.4 : Turgo türbini	29
Şekil 3.5 : Banki-Michell Ossberger türbini.....	30
Şekil 3.6 : Debi ve düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (50 kW-2000 MW güç bölgesi için).....	31
Şekil 3.7 : Debi ve düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (10 kW-10 MW güç bölgesi için)	32
Şekil 3.8 : Özgül hıza bağlı olarak türbin tiplerinin kullanılma bölgeleri.....	34
Şekil 3.9 : Türbinlerin kısmi yüklerde çalışması durumunda verim eğrileri.....	35
Şekil 3.10: Tek püskürtülücü Pelton türbini ana elemanları.....	36
Şekil 3.11: Hız üçgenlerinin gösterimi	37
Şekil 4.1 : Pelton tipi türbinler için düşü- debi- devir sayısı ilişkileri (EİE).....	42
Şekil 4.2 : Pelton türbini için düşü- debi- devir sayısı kesişimi.	43
Şekil 4.3 : Pelton türbin kepçesinin boyutları.....	50
Şekil 4.4 : Pelton düzeleri ile su demeti saptırıcılarının genel görünümü	55

7MW PELTON HİDRO TÜRBİN TASARIMI

ÖZET

Enerji, yaşam standartlarının yükseltilmesinde önemli bir etkidir. Enerjiye olan gereksinim teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Türkiyede enerji tüketimi oldukça hızlı artmaktadır ve enerji tüketiminin %75'i dışarıdan karşılanmaktadır. Bu durum büyüme için önemli bir sorun haline gelmektedir. Dış alım faturasının % 22,4' ünü enerji dış alımına ödeyen ülkemizin 2011 enerji ithalat faturası ise 54 milyar dolara ulaşmaktadır. Bu nedenle ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmamız gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi, Biyoenerji, Jeotermal enerji, Güneş enerjisi ve Hidrolik enerji alternatif enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, enerji üretim maliyetinin düşük ve ülkemizde hidrolik potansiyelinin fazla olması bakımından Hidroelektrik Enerji'nin kullanılması büyük avantajdır.

Bu tez çalışmasında; ülkemizde son yıllara kadar tasarım ve imalatı olmayan Pelton türbinlerinin, imalat projesinin başlangıç verileri niteliğinde olan karakteristik büyüklükleri için tasarım algoritmasının verilmesi ve örnek bir proje üzerinde uygulama ile gösterilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, ülkemizin enerji durumu, hidroelektrik santrallerinin genel yapısı, son zamanlarda önemi artan Küçük Hidroelektrik Santraller ile enerji üretimi ve hidrolik türbinlerin genel tanımlarına da yer verilmiştir.

7 MW PELTON HYDRO TURBINE DESIGN

SUMMARY

Energy is an important factor in raising the standard of living. Energy needing is growing day by day together with widespread of technology. Energy consumption in Turkey is growing very fast and 75% of the energy demand is come from the outside. This situation is becoming a major problem for growth. The ratio of energy import through the overall import is about 22,4% and the total bill of energy of Turkey is about 54 billion USD. Therefore, it is needed to increase the use of renewable energy sources for reducing of the external dependency of Turkey. Wind energy, bioenergy, geothermal energy, solar energy and hydraulic energy are among the alternative energy sources. Among all renewable energy resources, the use of hydroelectric energy is a major advantage in terms of low cost energy production and he greater hydraulic potential in our country.

In this thesis study, giving the design algorithm of the characteristic dimensions, which may be assumed as the starter values for an as-built project, of Pelton turbines that there is not any existing domestic design or production, is aimed. The algorithm is supported with a case study. Moreover, the energy status of Turkey, general structure of hydroelectric plants, the energy production with Small Hydroelectric Power Plants, which have increasing importance recently and general descriptions of hydro turbines are also included place.

1. GİRİŞ

1.1 Enerji

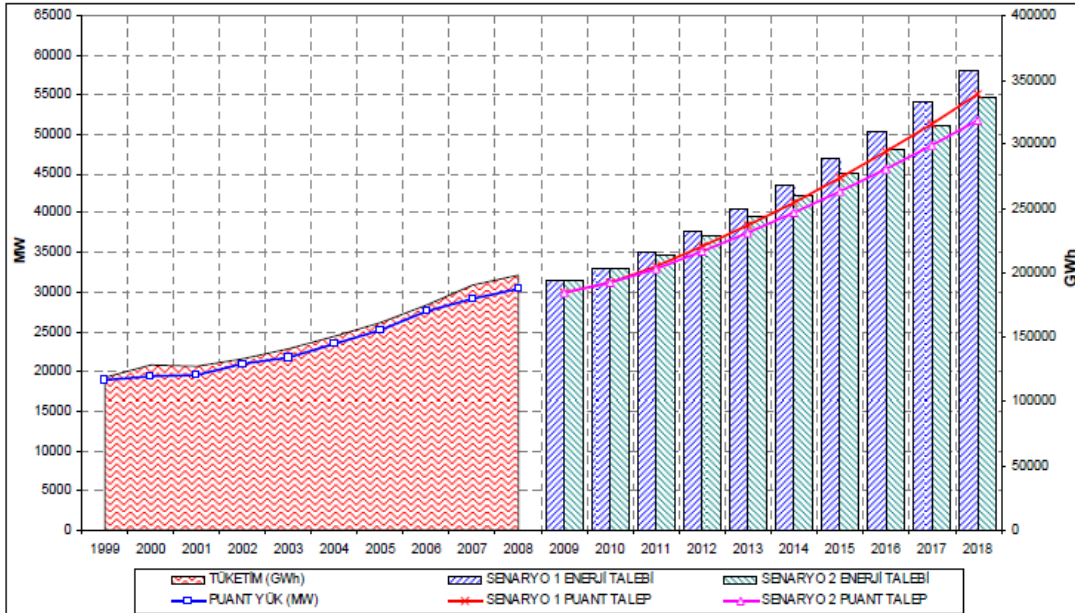
Dünyada nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme ve teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte enerjiye olan gereksinim sürekli olarak artmaktadır [1]. Günümüzde enerji ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biridir ve yaşam standartlarının yükseltilmesinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Enerjinin temiz, verimli ve ekonomik kullanımı, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önde gelen ölçütü olarak değerlendirilmektedir [2]. Birçok kaynakta ülkelerin gelişmişlik seviyesinin, o ülkenin kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi ve enerji yoğunluğuyla belirlendiği ve kişi başına elektrik enerjisi tüketiminin yüksek olmasının, o ülkenin ekonomik kalkınmışlık seviyesinin ve refah düzeyinin yüksekliğini gösterdiği kabul edilmektedir [3,4]. Bu bakımdan sürdürülebilir bir kalkınma için sürekli ve kaliteli bir enerjiye ihtiyaç vardır.

Tablo 1.1 de bazı ülkelerin nüfusa bağlı olarak 2006-2008 yılları arasındaki elektrik tüketim değerleri verilmiştir. 2006-2008 yılları arasında, Türkiye'nin elektrik tüketiminin diğer Avrupa ülkelerine nispeten daha fazla arttığı görülmektedir. Yıllık enerji ihtiyacı, gelişmekte olan ülkelerde yaklaşık % 4.1 ve gelişmiş ülkelerde % 2'nin altında iken, Türkiye'nin yıllık enerji talebindeki artış yaklaşık % 6-8'dir [3].

Tablo 1.1: Bazı ülkelerin yıllara göre elektrik tüketimi (GWh) [1].

	Nüfus	2006	2007	2008
Avusturya	8 milyon	61 000	63 000	63 000
Belçika	10 milyon	85 000	84 000	84 000
Finlandiya	5 milyon	86 000	87 000	83 000
Fransa	64 milyon	445 000	447 000	460 000
Almanya	82 milyon	547 000	547 000	544 000
İtalya	59 milyon	313 000	314 000	314 000
Hollanda	16 milyon	109 000	111 000	112 000
Polonya	38 milyon	125 000	129 000	132 000
İspanya	45 milyon	261 000	264 000	267 000
Türkiye	72,5 milyon	174 000	190 000	198 000

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), 1999-2018 kapasite projeksiyon raporunda Türkiye'nin enerji talebinin 2008 yılı sonunda yaklaşık 200 000 GWh ve 2018 yılı sonunda 360 000 GWh'e kadar ulaşacağını açıklamıştır. Ayrıca projeksiyon raporunda pik yük talebi 2008 yılı sonunda yaklaşık 30 000 MW tahmin edilmiştir ve 2018 yılı sonuna kadar yaklaşık 55 000 MW olacağı belirtilmiştir [5].



Şekil 1.1: 1999–2018 Yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi [5].

Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir [6]. Bir ülkenin

enerji yoğunluğu ne kadar düşükse, o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerji de o kadar düşük demektir ki, bu da enerjinin verimli kullanıldığına işaret etmektedir [4].

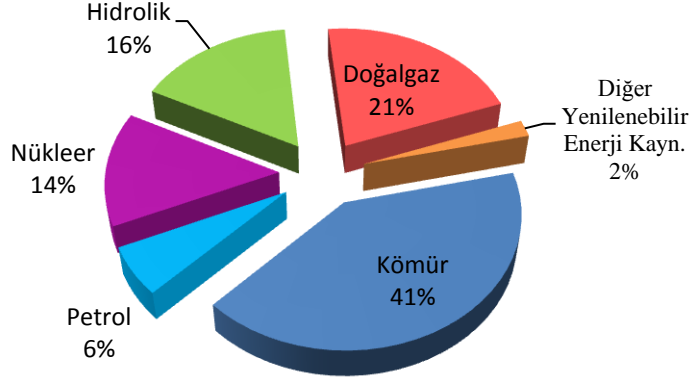
Tablo 1.2’de 2011 yılında ülkelerin kişi başına elektrik tüketimi ve enerji yoğunluğu verilmektedir. Tabloda dördüncü sütunda verilen enerji yoğunluğunun az olması, aynı miktar enerjiyle daha fazla iş yapılması anlamına gelmektedir [2,4].

Tablo 1.2: 2011 yılı ülkelerin kişi başına elektrik enerjisi tüketimi ve enerji yoğunluğu [2].

Ülke	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (tep/kişi)	Enerji Yoğunluğu (tep/bin dolar)	Kişi Başına CO ₂ Emisyonu (ton/kişi)
İzlanda	53 072	17,42	0,52	10,52
Norveç	25 876	8,77	0,14	9,14
Kuveyt	20 965	11,92	0,26	32,87
Katar	18 395	15,7	0,17	39,95
Kanada	17 620	9,58	0,22	18,1
İsveç	16 656	5,34	0,14	5,8
ABD	13 926	7,28	0,17	19,31
BAE	13 837	11,05	0,19	28,73
Finlandiya	13 653	5,14	0,20	9,8
Türkiye	3058	1,59	0,11	4,33
Dünya	3155	1,87	0,19	4,88

Dünyada 2011 yılı kişi başına enerji tüketimi 1,87 tep (ton eşdeğer petrol), elektrik enerjisi tüketimi 3155 kWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye de ise, aynı yıl kişi başına 1,59 tep enerji tüketimi ve 3058 kWh elektrik enerjisi tüketimi değerleriyle dünya ortalamasının altında yer almıştır [2].

Dünyanın ticari enerji talebi, fosil yakıtlardan, nükleer yakıtlı termik ve doğal gazlı santraller ve hidrolik enerji kaynaklarından karşılanmaktadır.

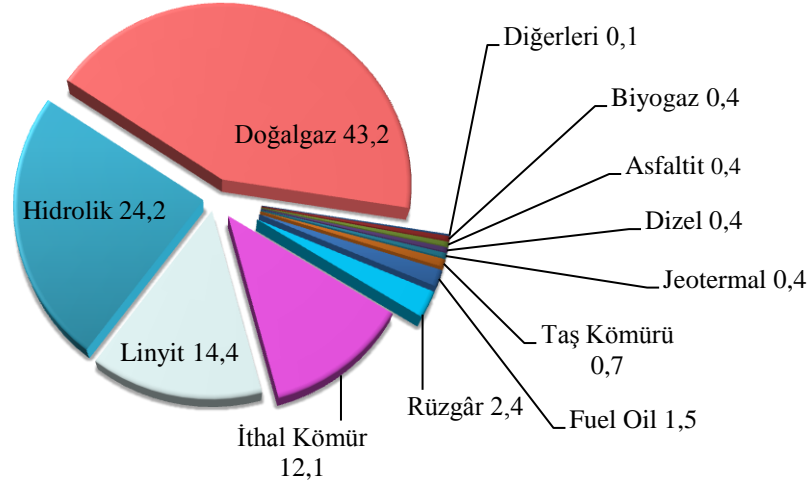


Şekil 1.2 Dünyada 2011 yılı birincil enerjiden elektrik enerjisi üretimi [2].

İkincil enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin üretilmesinde dünyada 2011 yılında en çok kullanılan kaynak %41 oranla kömür olmuştur. Bu konvansiyonel kaynağın çok kullanılmasının en önemli sebeplerinden birisi, dünyanın çok geniş bir coğrafyasına yaygın olması, yüzlerce yıldır kömür çıkarma teknolojilerinin geliştiriliyor ve yaygın olarak kullanılıyor olması ve ucuz olması gösterilebilir [7]. Fakat fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığı ve kullanımından kaynaklanan çevre kirliliğinin artması önemli sorunlardır. Bu tür yakıtlardan yanma neticesinde enerji elde edildiğinde yanma ürünleri (CO_2 , NO_x ve SO_2 gibi gazlar), baca gazı, nikel, kadmiyum, kurşun, arsenik gibi zehirli metaller atmosfer içinde dağılmakta ve dünyanın ekolojik dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır [1,8]. Bu nedenle bütün dünyada küresel ısınmaya neden olan havaya atılan sera gazlarının azaltılması için alternatif enerji kaynaklarının kullanılması teşvik edilmektedir [9].

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmalarda, küresel enerji talebinin 2030 yılına kadar yıllık 1,7 artışla yaklaşık %60 oranında artacağı ortaya koyulmuştur [10]. Bu artışın üçte biri kömür tüketiminden kaynaklanacaktır. Fosil kaynaklar içerisinde en büyük talep artışının ise doğal gaz kullanımında olması beklenmektedir [11].

Şekil 1.3' te 2012 yılında Türkiye'nin kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi gösterilmektedir. Enerji üretiminde doğalgazın çok fazla kullanıldığı görülmektedir. %43,2 doğalgaz, yaklaşık %25 hidroelektrik enerji santralleri ve %2 diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir.



Şekil 1.3: 2012 yılında Türkiye'nin kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi [12].

Kapasite projeksiyonlarında Türkiye'nin elektrik tüketiminin 2023 yılına kadar iki kat artacağı ön görülmektedir [5]. Elektrik üretiminde en fazla doğalgaz kullanılmaktadır. Ülkemizde doğalgazın büyük bir kısmı (%99) ithal edilmektedir. 2012 yılında elektrik üretiminin, %43'ü doğal gazdan elde edilmiştir [3]. Türkiye'nin enerji ihtiyacının % 75'ini dışarıdan karşılıyor olması büyüme için önemli bir sorun olmaktadır. Dış alım faturasının % 22,4' ünü enerji dış alımına ödeyen ülkemizin 2011 enerji ithalat faturası ise 54 milyar dolara ulaşmaktadır [13]. Çözüm konusunda, enerjide dışa bağımlılığı azaltacak alternatif arayışların zorunlu olduğu belirtilmektedir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynakları enerji kullanımında bir çeşitlilik oluşturarak dışa bağımlılığı azaltabilecek önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir [14].

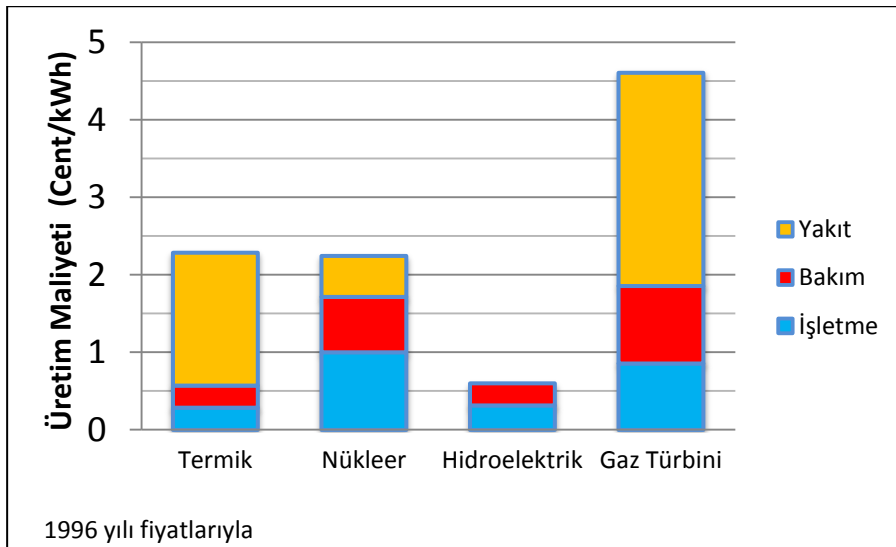
Yenilenebilir enerji, doğada mevcut bulunan ve kendini yenileyen bir enerji türüdür. Yenilenebilir enerji kaynakları genel olarak, biyoenerji, jeotermal enerji, güneş, rüzgâr, hidrojen, hidrolik, gelgit ve dalga enerjisi şeklinde sınıflandırılmaktadır [15]. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi hükümleri kapsamında, enerjinin ülke ekonomisindeki önemi ve çevrenin korunması göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık verilmesi gerekmektedir [1].

Çeşitli yenilenebilir kaynakların enerji maliyetlerinin karşılaştırılması Tablo 1.3'te verilmiştir. Hidroelektrik enerji için verilen değerler, küçük ve büyük hidroelektrik santrallere göre değişebilir fakat güneş ve rüzgâr enerjisiyle karşılaştırıldığında en ekonomik olanıdır.

Tablo 1.3: Çeşitli yenilenebilir kaynakların enerji maliyetleri [3].

TEKNOLOJİ		MALİYET (2009 yılı fiyatlarıyla /\$)
Biokütle Enerjisi		5 - 15 ¢/kWh
Rüzgâr Enerjisi		5 - 13 ¢/kWh
Güneş Enerjisi		25 -125 ¢/kWh
Hidroelektrik Enerji	Büyük Santraller	2 - 8 ¢/kWh
	Küçük Santraller	4 - 10 ¢/kWh
Jeotermal Enerji		2 - 10 ¢/kWh
Deniz Enerjisi	Gel-Git	8 - 15 ¢/kWh
	Dalga	8 - 20 ¢/kWh
	Akıntı	8 - 15 ¢/kWh

Şekil 1.4' te enerji santrallerinin üretim maliyetleri gösterilmektedir. Hidroelektrik santrallerin üretim maliyetleri diğer santrallere göre de daha düşüktür. Görüldüğü gibi termik ve hidroelektrik santrallerin ilk yatırım maliyetleri birbirine çok yakındır fakat hidroelektrik santrallerde yakıt kullanılmadığından genel üretim maliyeti en düşük olan hidroelektrik santrallerin kullanılması avantajdır.

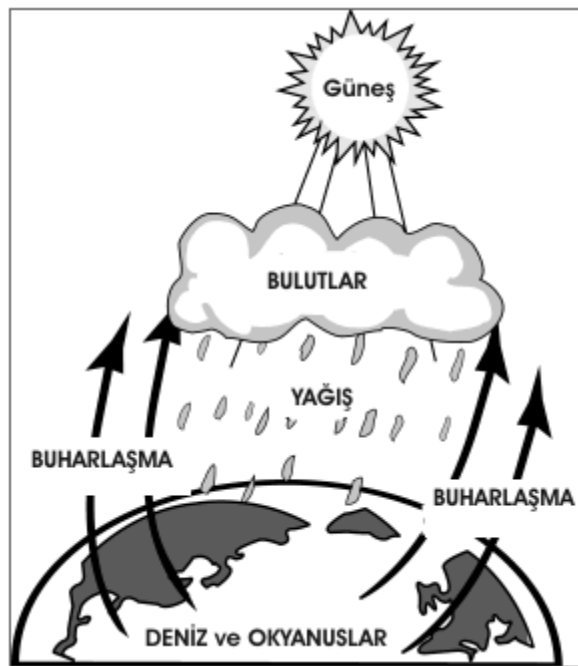


Şekil 1.4: Enerji santrallerinin üretim maliyetleri [3].

Görüldüğü gibi Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamasında en uygun çözümün, yenilenebilir olması, temiz olması, teknolojisinin yerli olabilmesi, diğer yenilenebilir kaynaklara nazaran daha yüksek potansiyele sahip olması gibi nedenlerden hidroelektrik enerji olduğu değerlendirilmektedir.

1.2 Hidroelektrik Enerji

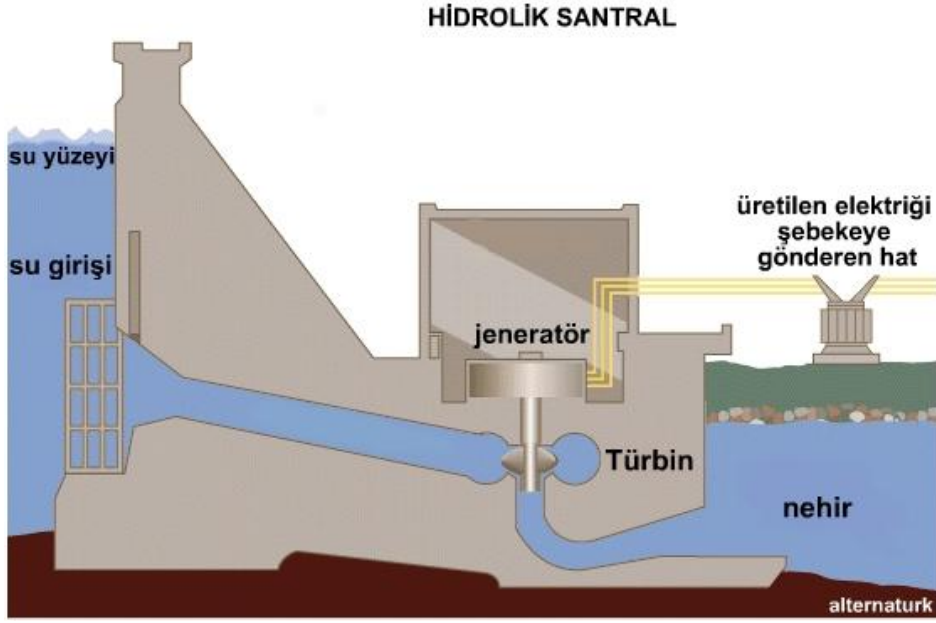
Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş enerjisinin sağladığı hidrolojik çevrim neticesinde dolaylı olarak oluşan bir enerji kaynağıdır [16]. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular, güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek atmosferik şartlarda yoğunlaşarak yağmur ve ya kar halinde yeryüzüne yağış olarak düşmekte ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır [17].



Şekil 1.5: Hidrolik çevrim [18].

İnsanoğlunun milâttan önce ilk çağlarda su değirmenleri ile faydalanmaya başladığı suyun gücü, günümüzde de halen vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür [19]. Hidroelektrik sistemlerde suyun akım enerjisinden faydalanmak için, su bir cebri boru veya kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilir. Türbinlere bağlı jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilir (Şekil 1.6). Ancak, bir su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüşüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır. Türbinden elde

edilen güç, suyun düşüşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır [20].



Şekil 1.6: Hidroelektrik enerji üretimi [21].

1.2.1 Dünya'nın hidroelektrik enerji potansiyeli

Bir ülkede, ülke sınırlarına veya denizlere kadar bütün doğal akışların %100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak mevcut tüm düşü ve ortalama debi kullanılarak hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin **Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyelidir**. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tümünün kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek maksimum potansiyele **Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli** denir. Öte yandan teknik yapılabilirliği olan her tesis ekonomik yapılabilirliği olan tesis demek değildir. Ülkenin brüt hidroelektrik potansiyelinin hem teknik hem de ekonomik olarak değerlendirilebilir bölümüne ise "**Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli**" denilmektedir [22].

Tablo 1.4: Dünyanın hidroelektrik enerji potansiyeli [23].

Bölge	Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)
Afrika	4 000 000	1 665 000	1 000 000
Asya	19 000 000	6 800 000	3 600 000
Avustralya/Okyanusya	600 000	270 000	105 000
Avrupa	3 150 000	1 225 000	800 000
Kuzey ve Orta Amerika	6 000 000	1 500 000	1 100 000
Güney Amerika	7 400 000	2 600 000	2 300 000
Dünya	40 150 000	14 060 000	8 905 000
Türkiye	433 000	216 000	127 820
Türkiye/Dünya (%)	1,07	1,54	1,84

1.2.2 Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli

Türkiye'de ilk hidroelektrik üretimi 1902 yılında Tarsus'ta küçük ölçekli hidroelektrik santral ile başlamıştır [24]. Büyük ölçekli ilk güç santrali ise 1913 yılında İstanbul'da inşa edilmiştir [25].

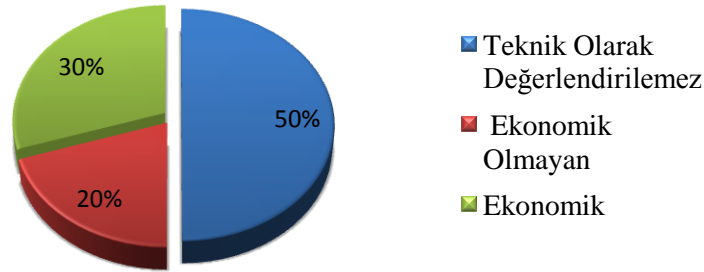
Türkiye Cumhuriyeti kurulduğu zamanki toplam kurulu kapasitesi 29,66 MW ve bu yıllardaki yıllık üretimi ise 45 GWh mertebesindeydi. Elektrik yalnızca İstanbul, Adapazarı ve Tarsus'ta elde edilebilmekteydi. 1932 yılında Türkiye'nin enerji talebini belirlemek ve su kaynaklarının hidrolik potansiyellerini ve diğer enerji kaynaklarının potansiyellerini geliştirmek için araştırma ve incelemeler yapmak amacıyla Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) kurulmuştur. Bu süreçteki önemli projeler; Seyhan, Sarıyer, Hirfanlı, Kesikköprü, Demirköprü ve Kemer Barajları ve Hidroelektrik Santralleri'dir. 1933'te Hidroelektrik enerji ile işleyen aydınlatma ve elektrik şebekesi ilk kez Ödemiş'te kurulmuştur. 1935 yılında elektrik üretimi ile ilgili birkaç devlet kuruluşu tesis edilmiştir [25].

Türkiye'nin yağış rejimi zaman ve yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişim gösterme niteliğine sahiptir. Bu durumda hidroelektrik üretimin de yıllara göre farklılıklar

göstermesi kaçınılmazdır. Uzun yılları kapsayan meteorolojik gözlemlere göre yılda ortalama 643 mm olan yağışlar 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değerin ancak 186 m³'ün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Akarsularımızın düzenlenmesi ve maksimum faydanın sağlanabilmesi için bugünkü etütlere göre 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir [TÜBİTAK-TTGV].

2002 yılında Türkiye'nin ekonomik ve teknik hidroelektrik enerji potansiyeli 125 000 GWh olarak hesaplanmıştır ve 2006 yılında Devlet Su İşleri tarafından 130 000 GWh'e yükselmiştir. Bu potansiyel 747 adet hidroelektrik projenin toplam enerji üretim kapasitesine göre hesaplanmıştır [26]. DSİ verilerine göre Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya teknik potansiyelinin %1,5'ine, Avrupa teknik potansiyelinin ise %17,6'sına denk gelmektedir. Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyel 433 000 GWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 000 GWh olarak hesaplanmıştır [23].

2012 yılı sonu itibariyle geliştirilen hidroelektrik potansiyelimiz yaklaşık 46 000 MW güce ulaşmış olup, 165 600 GWh/yıl enerji üretimine denk gelmektedir.



Şekil 1.7: Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli [27].

2006 yılında ekonomik potansiyelin % 35'ine karşılık gelen 48 000 GWh/yıl üretim ve 13 700 MW kurulu kapasiteye sahip 172 adet hidroelektrik santral faaliyete geçti [28]. 2012 yılı itibarıyla işletmeye alınan 370 adet hidroelektrik santralin kurulu gücü 19 936 MW ve ortalama yıllık üretimi 70 734 GWh'tır. Bu değer ekonomik potansiyelin %43'üne denk gelmektedir.

Tablo 1.5'te Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli verilmiştir. DSİ raporlarına göre henüz inşaatına başlanmamış 18 849 MW kurulu kapasitede 1058 hidroelektrik

santral bulunmaktadır. Sonuç olarak 2012 yılı sonu itibariyle geliştirilen potansiyelimiz 47 391 MW olup, bu potansiyelin tamamının devreye alınması durumunda yıllık ortalama hidroelektrik enerji üretim potansiyeli 165 000 GWh olan toplam da 1640 hidroelektrik santral düzeyine ulaşacaktır.

Tablo 1.5: Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli [3].

Potansiyel	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)			Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran % (2012)	Oran % (2009)
		Devlet	Özel	Toplam			
İşletmede	370	11 585	8351	19 936	70 734	43	35
İnşaat Halinde	212	1989	6617	8606	28 132	17	14
İnşaatına Henüz Başlanmayan	1058	970	17 879	18 849	66 132	40	51
Toplam	1640	14 544	32 847	47 391	165 000	100	100

Ülkemizde 2012 yılı sonu itibariyle kapasitesi 100 MW'ın üstünde 24 adet HES DSİ tarafından inşa edilmiştir [23].

2. HİDROELEKTRİK SANTRALLER

2.1 Hidroelektrik Santrallerin Yapısı

2.1.1 Su tutma yapıları

Rezervuarlı santrallerde baraj, kanal tipi santrallerde tünel ya da açık kanal, nehir tipi santrallerde ise regülatör şeklinde olabilir [29].

2.1.2 Su alma yapıları

Bir hidroelektrik tesiste, enerji amacı için kullanılacak suyun kaynağından alınarak iletim kanalı, kuvvet tüneli veya cebri boruya geçişini sağlayan yapıya su alma yapısı denir. Su alma yapıları, su alınacak yerin nehir, dere, sulama kanalı veya rezervuar (baraj) olacağına göre değişik özellikler gösterir [30].

2.1.3 İletim yapıları

Hidroelektrik tesisin işletmede öngörülen debideki suyu iletmesinde kullanılır. Trapez, duvarlı, kapalı duvarlı, tünel, veya doğrudan cebri borularla iletilebilir. Kanal sonu yükleme odasına bağlanır [29].

2.1.4 Cebri (basınçlı) borular

İletim hattı ile santral arasında, ölçüleri debi ve düşüye 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 [29]. Cebri boruların ölçülendirilmesi hidroelektrik güç tesisi tasarımında önemli bir faktördür. Boru uzunluğu maliyet yönünden en ekonomik ve kayıplar yönünden en asgari olacak şekilde hesaplanmalıdır. Aksi takdirde gereksiz kurulum maliyetleri ortaya çıkar ve net düşü de azalma meydana gelir [20]. Cebri boru güzergâhı kesinlikle heyelan bölgesinden, yamaç molozu, kil ve ya benzeri zayıf zeminlerden geçirilmemelidir [31].

2.1.5 Yükleme havuzu

Yükleme havuzu bir toplayıcı - dağıtıcı veya küçük hacimli bir haznedir. Tünel veya açık kanal gibi serbest yüzeyli akım ile cebri borudaki basınçlı akım arasında geçişi sağlamak ve türbinlerin debi ihtiyaçlarındaki değişimleri karşılamak için yükleme haznesi tesis edilmektedir [30,32].

2.1.6 Enerji nakil hattı

Hidroelektrik güç sistemlerindeki jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisinin kullanılacak birimlere iletilmesinde enerji nakil hattı kullanılır. Elektrik hatlarının döşenmesinde maliyet, iletim hattının güzergâhı, coğrafik durum, arazi durumu, hattın güvenlik konumu gibi hususlar incelenir. Elektrik hattının güvenli bir şekilde yapımı ve elektriğin minimum kayıplarla iletilmesi çok önemlidir [33]. Nakil hattı uzadıkça enerji kaybı oluşur ve gerilim düşümü artar. Su kaynağından enerji kullanım merkezine olan mesafesi ise oluşacak kayıpları ve gerilim düşümünü en aza indirmek için transformatörler kullanılır [20].

2.1.7 Transformatörler

Gerilimi yükseltme ya da alçaltma işlevini üstlenmişlerdir. Tek fazlı, üç fazlı olabilirler. Her üniteye bir transformatör olabileceği gibi birden fazla üniteye bir transformatör de olabilir. Ana gövde, soğutma sistemi, yangın sistemi, koruma sistemi bölümlerinden oluşur [34].

2.1.8 Santral binası

İçinde türbinler ve yardımcı ekipmanlar ile jeneratörler ve yardımcı ekipmanlar gibi elektromekanik teçhizatın ve koruma kontrol-kumanda gibi elektrik teçhizatın ve diğer yardımcı teçhizatın yerleştirilmesi için gereklidir [35]. Santral yapısı genelde betonarme kısmen de çelik yapılabilir. Cebri borulardan gelen su santral içindeki jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülür [30].

2.1.9 Denge bacası

HES tesislerinde enerji tüneli veya cebri borularda oluşabilecek ani basınç yükselmeleri sönmek için cebri borunun veya enerji tünelinin baş kısmına veya sonuna yakın bir noktaya tesis edilen yapıdır [35].

2.1.10 Kelebek ve küresel vanalar

Küçük düşülü, kanal tipi veya nehir tipi HES 'lerde türbinlerden önce kapama organı olarak sürgülü kızaklı kapakların kullanılması yeterlidir. Ancak, yüksek ve orta düşülü santrallerde, türbinlerden önce daha hızlı açılıp kapanabilen ve emniyetli kapama organlarına ihtiyaç vardır. Orta düşülü santrallerde, cebri borunun sonunda ve türbinden önce kapama organı olarak kelebek vanalar, yüksek düşülü ve uzun cebri borulu santrallerde ise, küresel vanalar kullanılır [36,37]

2.1.11 Havalandırma sistemi

Herhangi bir nedenle türbin - jeneratör ünitelerinin devreden çıkması ve cebri borunun boşaltılması esnasında, cebri boru içinden boşalan suyun yerine yeterli miktarda havanın girmesi ve cebri boru içindeki basıncın atmosfer basıncı altına düşerek, cebri borunun zarar görmemesi için özel havalandırma donanımları kullanılır. Aynı şekilde, boş olan cebri boruya su doldurulması esnasında, cebri boru içindeki havanın sıkışmaması ve açık havaya atılması için de yine aynı havalandırma donanımının bulunması gerekir [37].

2.1.12 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 ve türbine giderek ayar kanatları ve çark kanatlarında büyük hasarlar meydana getirirler. Bu tahribatı önlemek amacıyla, tünele girmeden önce, suyun yabancı maddelerden fiziksel olarak arındırılması gerekir. Bunun için suyun tünele girdiği yerlere izgaralar yerleştirilmiştir [37]. Izgaralar, kapak ve kapak açma-kapama mekanizmalarından oluşur [29].

2.2 Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

2.2.1 Düşülerine göre sınıflandırma

Alçak düşülü santraller: $H < 15$ m

Genellikle debisi büyük, düz arazilerde akan, yatak eğimi az nehirler üzerinde kurulan ve çoğunlukla Kaplan türbini kullanılan santrallerdir [30, 38].

Orta düşülü santraller: $15\text{m} < H < 50$ m

Çeşitli debilerdeki nehirler üzerinde kurulan Kaplan veya Francis türbini kullanılan santrallerdir. Bu santrallerin uzunca bir cebri boru sistemi yoktur [30, 38].

Yüksek düşülü santraller: $H > 50$ m

Genellikle engebeli veya dağlık araziden akan nehirler veya barajlar üzerinde kurulan santrallerdir. Debiler değişken olup bir yaklaşım kanalı veya tüneli ile bir cebri borusu vardır. Francis veya Pelton türbinleri ile donatılmışlardır [30, 38].

2.2.2 Ürettikleri enerjinin özellik ve değerine göre

Baz (taban) santraller:

Devamlı olarak enerji üreten santrallerdir. Biriktirmesiz santraller bu tipe uygundur [39].

Pik (doruk) santraller:

Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürede çalışan santrallerdir. Biriktirmeli santraller bu tipe uygundur [39].

2.2.3 Kapasitelerine (kurulu gücüne) göre sınıflandırma

Ülkemizde, Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO) tarafından yapılmış olan sınıflandırma sistemi benimsenmiştir [40].

Tablo 2.1: Hidroelektrik santrallerin kapasitelerine göre sınıflandırılması [40].

Sınıfı	Güç (kW)
Büyük HES	>100 000
Orta HES	10 000-100 000
Küçük HES	1000-10 000
Mini HES	100-1000
Çok Küçük	5-100
Piko	0-5

2.2.4 Yapılarına göre sınıflandırma

Yerüstü santralleri

Yüksek basınçlı santrallerde su alma yerinden alınan su genellikle tünel veya basınçlı galeriyle denge bacasına getirilir. Vana odasından sonra dik olarak inen basınçlı borular yerüstü santrallerinde son bulur. Türbinden çıkan su bir boşaltım kanalıyla tekrar akarsuya verilir.

Yeraltı santralleri

Jeoloji ve topografya ile ilgili mevcut durum ve 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 göz önüne alınarak santralın yeraltına yapılmasına karar verilebilir. Prensip olarak üç değişik yeraltı santral tipi vardır:

- Yukarı tesis: Santral su alma yerine yakın bir yerde düzenlenir. Bu durumda denge bacasına gerek kalmaz fakat boşaltım galerisinin boyu uzar.
- Orta tesis: Santral su alma yeri ile boşaltım deresinin ortasında planlanır.
- Aşağı tesis: Santral boşaltım galerisinin çıkışına yakın bir yerde planlanır.

Gel-Git santralleri

Gel-git meydana gelen denizlerde, su seviyesi farkı yeterince büyükse salınım yapan su kütlesi sonucu su seviyesi farkından yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir.

Gel-git hareketi sonucu su seviyesi farkı, Kanada sahilllerinde 15 m, İngiltere'deki Bristol Kanalı'nda 14m, Fransa sahilleri Mani Denizi'nde 13,5 m, Kuzey Denizinde 3,5-4 m'ye ulaşmaktadır. Ülkemizde bu tip santral yoktur.

Çevirme santralleri

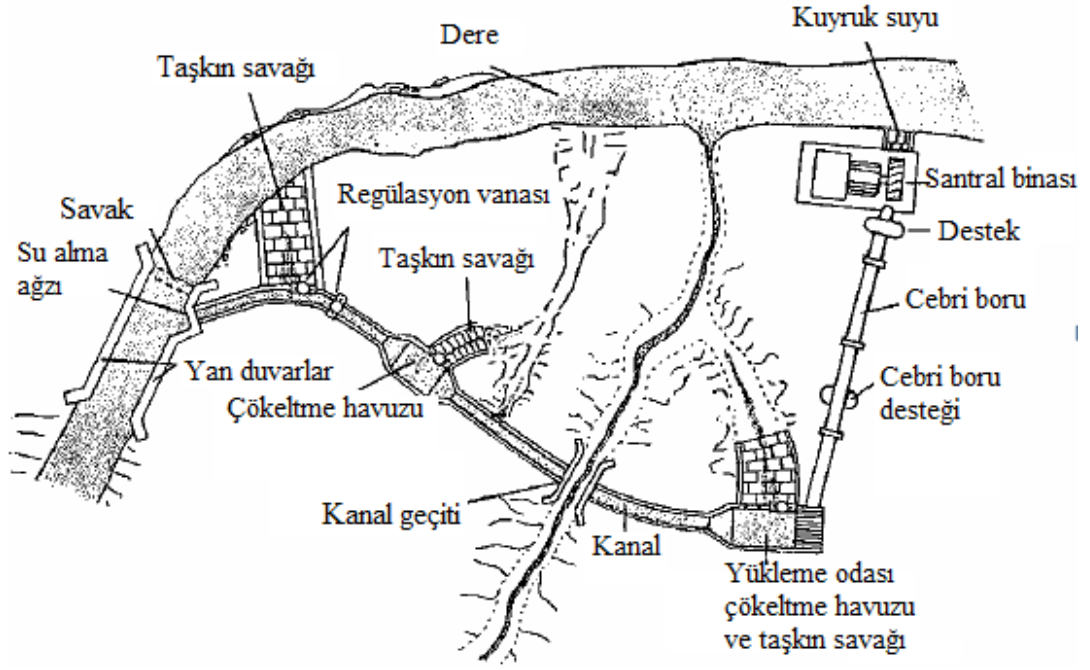
Bu santraller bir akarsu yatağında barajla yapılabilecek kabartmanın üzerinde düşüler meydana getirmek için, enerji kayıplarını asgari mertebede tutacak bir iletim sistemiyle suyun çevrilmesi ve topografyanın elverişli bir kesiminde düşürülmesi prensibine dayanır.

2.2.5 Üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre

Nehir tipi (depolamasız) santraller

Bu santraller genellikle eğimin küçük, arazinin düz olduğu akarsuların mansap bölgelerinde planlanır. Düşü yüksekliği küçük, işletme debisi büyük tesislerdir [39]. Bu tip tesislerde debi düzenlemesi olmaz. Santralin üreteceği elektrik enerjisi mevsimlere bağlı olarak değişir. Üretilen güvenilir enerji akarsuyun doğal şartlarda gelen minimum debisi ile sınırlıdır, dolayısıyla küçük bir miktardır. Fakat nehir tipi santrallerin ilk yatırım masrafları düşüktür. Yakıt masrafları yoktur işletme ve bakım masrafları cüz'üdür. Bu sebeplerden dolayı ürettikleri enerjinin maliyeti düşük olur.

Depolamasız sistemlerde bir saptırma savağı ve su alma ağzından kanala verilen su bir yükleme odasına kadar getirilir. Yükleme odasındaki fazla su için bir taşkın savağı bulunur. Su bir basınçlı borudan geçirilerek türbine verilir ve burada hidrolik enerji mekanik enerjiye çevrilir. Bu sistemlerde suyun önü kesilmez, sadece bir kısmı bir kanal içerisine alınır. Genelde mikro ve mini hidroelektrik santraller bu şekilde kurulur. Yükleme odasında günlük bazda yapılan ayarlarla da su debisi kontrol edilir [17,20].



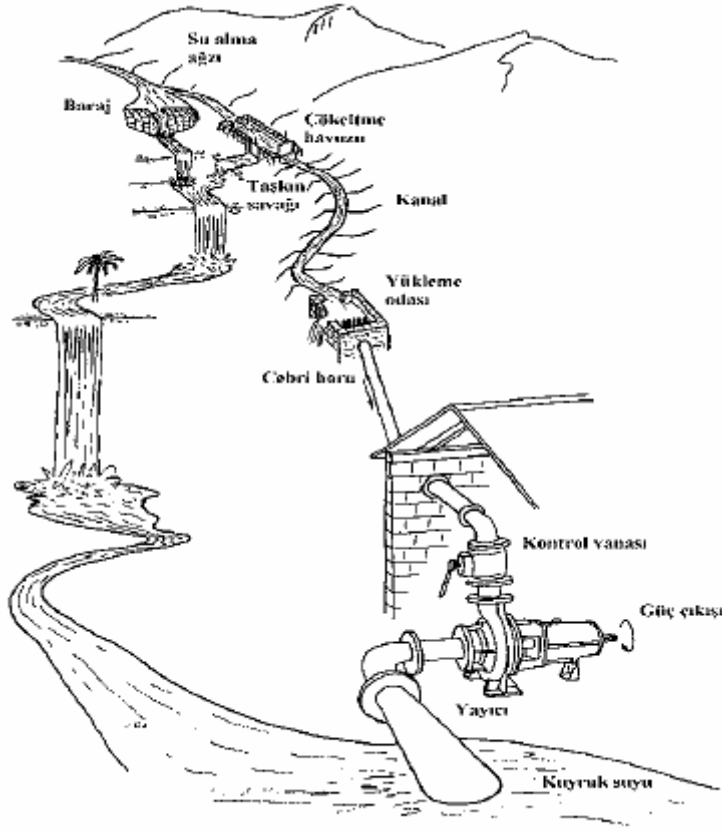
Şekil 2.1: Depolamasız bir hidroelektrik santralin kısımları [17].

Kanal santraller

Bu santraller topografya özelliklerinden yararlanarak daha büyük bir düşüm elde etmek, esas yatağı taşkınlarda aynen kullanabilmek gibi amaçlarla santralin akarsuyun esas yatağı yerine doğal veya yapay bir yan kanal üzerine kurulması sonucu oluşur. Kanal santralleri, elverişli duruma göre yan kanalın başında, ortasında veya sonunda kurulabilir [39].

Baraj (depolamalı) santraller

Depolamalı sistemde suyun önü bir baraj ile kapatılarak, barajın gerisinde bir rezervuar oluşturulur. Yağışlı sezonda akarsuyun debileri bu rezervuarda biriktirilir. Yağışsız ve kurak sezonda ihtiyaç duyulan su eksigi bu birikmiş su hacminden temin edilir. Rezervuarda biriken sular baraj yüksekliğine yakın bir düşü de kazanarak potansiyel enerjilerini artırmış olurlar. Bilindiği gibi enerji üretimi düşü ile debinin çarpımıyla doğru orantılıdır. Bir taraftan debi, diğer taraftan düşü ne kadar artarsa, üretilecek enerji de o kadar artar [17, 20].



Şekil 2.2: Depolamalı bir hidroelektrik santralin kısımları [17].

Barajların en büyük avantajı, debi düzenlemesidir. Halk açısından barajların en büyük faydası, üzerinde inşa edildikleri akarsuyun doğal şartlarda yaratabileceği taşkın tehlikesinin ve taşkınlardan kaynaklanan çok büyük mal ve can kayıplarının azaltılmasıdır.

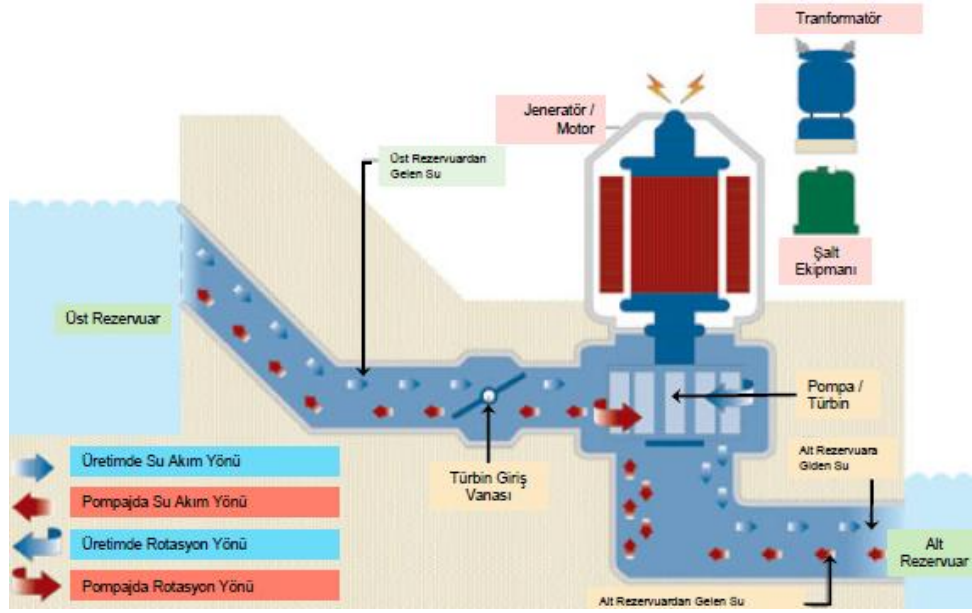
Depolamalı sistemler daha karmaşık yapıya sahiptir bu nedenle inşaat süreleri uzundur. İlk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın, yakıt parası ödenmediği ve işletme-bakım masrafları çok düşük olduğu için uzun vadede en ekonomik enerji türüdür.

Pompaj ve rezervuarlı hidroelektrik santraller

Elektrik enerjisi talebinin ve elektrik fiyatının düşük, elektriğin fazla olduğu saatlerde suyun yüksekteki bir rezervuara pompalanarak depolanması ve ihtiyacın yüksek enerjinin pahalı olduğu pik saatlerde enerji üreterek alt rezervuara aktarılması yöntemidir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller başlıca bir alt ve bir üst rezervuar ve bu iki rezervuar arasında bir cebri boru ile elektrik üreten veya suyu pompalayan

türbin/pompa ve jeneratör/motor grubu ve bunlarla ilgili hidromekanik ve elektromekanik ekipmanlardan oluşur [41].



Şekil 2.3: Pompaj depolamalı HES kesiti [42]

Gerçekte pompajlı depolamalı santraller ülkenin toplam enerji üretimini artırmazlar, sadece kullanılmayan, ziyan olan enerjiyi enerjinin en kıymetli, en pahalı olduğu zamana taşıyarak arz-talep dengesini sağlamaya hizmet ederler [1].

Tez kapsamında gerçekleştirilecek olan 7 MW Pelton Hidro Türbin tasarım çalışması, Tablo 3.1'de verilen hidroelektrik santrallerin kapasitelerine göre sınıflandırılmasında, 1 – 10 MW küçük hidroelektrik santraller sınıfına girmektedir. Bu nedenle, **Küçük Hidroelektrik Santraller** ayrı başlık altında daha detaylı olarak incelenecektir.

2.3 Küçük Hidroelektrik Santraller

Küçük hidroelektrik santral tanımı yerel olarak değişiklik göstermektedir. Tablo 2.2'de çeşitli ülkeler için küçük hidroelektrik santrallerin kapasiteye göre sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 2.2: Küçük hidroelektrik santrallerin kapasiteye göre sınıflandırılması [3].

Ülke	Mikro (kW)	Mini (kW)	Küçük (MW)
ABD	<100	100-1000	1-30
Çin	-	<500	0,5-25
Rusya	<100	-	0,1-30
Fransa	5-5000	-	-
Hindistan	<100	101-1000	1-15
Brezilya	<100	101-1000	1-30
Nepal	<100	101-1000	1-10
Türkiye	<100	101-1000	1-50

Ülkelerin enerji kullanımlarına göre birkaç kW dan 50 MW'a kadar değişik güçler, farklı ülkeler tarafından Küçük Hidroelektrik Santral olarak adlandırılmaktadır. Genellikle 100 kW'tan az olan projeler mikro, 101 ile 1000 kW arasında olanlar mini, 1 ve 50 MW arasında olanlar küçük hidroelektrik santraller olarak sınıflandırılır. Bazı çalışmalarda küçük hidroelektrik santraller 50 MW' a kadar tanımlanır ama genellikle birçok resmi kurumların faaliyet raporlarında 10 MW' a kadardır. Küçük hidroelektrik üst sınırı, gelişmişlik endeksi ve diğer kaynaklar arasında hidroelektrik oranı ile ilişkilidir. Bu nedenle küçük hidro elektrik santrallerin tanımı ülkelere göre değişiklik gösterir [3].

2.3.1 Küçük hidroelektrik santrallerin avantajları

- Yüksek kalitede elektrik enerjisi sağlar.
- Fosil yakıtlı fiyat dalgalanmalarından bağımsız yerli enerji üretiminde güvenli bir kaynaktır. Dışa bağımlı olmadığından yaşanabilecek krizlerden etkilenmez [43].
- Düşük başlangıç yatırımıyla uzun ömrü vardır [44].
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Birim maliyeti termal, nükleer ve gaz türbin santrallerine göre Şekil 1.4'de gösterildiği gibi daha düşüktür ve Tablo 1.3'te diğer yenilenebilir kaynaklar ile karşılaştırıldığında daha makul olduğu görülmektedir.
- Var olan su veya elektrik sisteminde uygulanabilir.

- Genellikle yerleşim yerlerinde tehciye neden olmaz.
- Enerji geri ödeme oranı, büyük hidroelektrik santrallere göre daha yüksektir.
- Küçük hidro santraller, şebekeye bağlanmanın güç olduğu yerleşim yerlerinde enerji ihtiyacını karşılama gücüne sahiptir.
- Küçük hidroelektrik santrallerde üretilen enerji genellikle bölgede kullanıldığı için uzun iletim şebekelerine lüzum yoktur [45].
- Küçük hidroelektrik santral projeleri ayrıca, kırsal bölgelerin sosyo-ekonomik ve kültürel kalkınmasını destekler.
- Türbin-jeneratör gruplarının standartlaştırılması mümkündür. Böylece, üretim, işletme ve bakımı çok ekonomik hale gelir. Türbin-jeneratör grubu standart tasarımları üretilmiştir ve tam otomatik, insansız kontrol sistemleri ile sağlanır. Aynı bölgedeki çok sayıda santral bir tek teknisyen tarafından kontrol edilebilir. Bunun neticesi olarak işletme maliyetleri azalır.
- Ani yük artışlarında ve daha büyük yük taleplerinde beş dakikadan daha kısa sürede devreye girerler.

Tablo 2.3: Proje tiplerinin başlama ve tam kapasiteye ulaşma süreleri [41].

Proje Tipi	Başlama ve Tam Kapasiteye Ulaşma Süresi
Klasik Hidroelektrik Santraller	3-5 dakika
Pompaj Depolamalı Santraller	3-5 dakika
Fuel Oil Santralleri	3 saat
LNG-Doğal Gaz Santralleri	3 saat
LNG- Çevrim Santralleri	1 saat
Kömür Santralleri	4 saat
Nükleer Santraller	5 gün

Tablo 2.3'te görüldüğü üzere pompaj depolamalı hidroelektrik santraller ile klasik hidroelektrik santraller dışındaki santrallerin hiç biri, hidroelektrik santraller kadar kısa sürede pik ihtiyacı karşılama yeteneğine sahip değildir [41].

2.3.2 Türkiye’de küçük hidroelektrik potansiyeli

Türkiye’de Küçük Hidroelektrik ekonomik uygulanabilir kapasitesi yıllık 20 000 GWh olarak kabul edildi ve potansiyelinin % 3,3’ü geliştirildi [46]. Türkiye’de 10 MW’ ın altında olan küçük hidroelektrik santrallerin brüt teorik güçleri 16 500 MW,

yıllık üretilebilecek enerji kapasitesi 50 000 GWh olarak verilmiştir. Bu potansiyelin içinde 6500 MW'lık kısmın ekonomik olarak uygulanabilir olduğu ve yılda 20 000 GWh enerji üretme kapasitesinin olduğu, ancak şu ana kadar bu kapasitenin 177 MW'lık kısmının değerlendirildiği ve değerlendirilen kısmın yılda yalnızca 673 GWh enerji üretebildiği ifade edilmektedir. 2001 yılına kadar, sadece 203 KHES projesi geliştirildiği ve bu projelerden 70 tanesinin işletmeye alındığı belirtilmektedir [47].

2006 yılı itibariyle, toplam işletme kapasitesi 953 MW olan 105 KHES faaliyete geçmiştir. Bu santrallerin toplam kapasiteleri Türkiye'deki KHES'lerin ekonomik ve uygulanabilir potansiyelinin % 6,7'si olarak hesaplanmıştır. Aynı yıl işletme kapasitesi 54 MW olan 5 KHES'in son tasarımları, 2107 MW olan 134 KHES'in fizibilite aşamaları, 1215 MW olan 65 KHES'in master planları ve 2390 MW olan 238 KHES'in de ön çalışmaları tamamlanmıştır. Ayrıca, 473 MW işletme kapasiteli 24 KHES in yapımı devam etmekte olduğu belirtilmiştir [48].

Tablo 2.4'te Türkiye'de 2011 yılı sonu itibariyle kuruluş tiplerinin hidroelektrik güç santral kapasiteleri verilmiştir. 2012 yılında en fazla güvenilir üretim kapasitesi Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) tarafından elde edilmiştir [49]. Bu sonuç, 2000'li yıllara kadar, hidroelektrik enerji üretim lisansının özel sektöre verilmemesinden ve yalnızca devlet tarafından yapılmasından kaynaklanmaktadır. EÜAŞ'ye ait 52 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 11559,6 MW'tır. EÜAŞ tarafından projelendirilen 10 MW'ın altında 4 adet ve İşletme Hakkı Devri (İHD) tarafından projelendirilen 26 adet Küçük Hidroelektrik Santrallerin toplam kurulu gücü 32,2 MW'tır. EÜAŞ ve İHD kuruluşlarının KHES toplam kurulu güçleri aynı olmasına rağmen, KHES sayısı fazla olan İHD'nin toplam kurulu kapasitesi 121,4 GWh ve toplam güvenilir üretim kapasitesi 91,5 GWh'tir. 10 MW'ın altında olan Küçük Hidroelektrik Santral sayısı en fazla Özel kuruluş tarafından projelendirilmiş olup, 87 adet KHES'in toplam kurulu gücü 453,7 MW'tır.

Tablo 2.4: Türkiye’de 2011 yılı sonu itibariyle kuruluş tiplerinin hidroelektrik güç santral kapasiteleri [49].
Kaynak: Enerji piyasası düzenleme kurumu (EPDK) 2014.

Kurulu Güç (MW)	Lisans Tipi	Güç Santrallerinin sayısı	Toplam Kurulu Güç (MW)	Toplam Kurulu Kapasite (GWh)	Toplam Güvenilir Üretim Kapasitesi (GWh)
< 10	EÜAŞ ¹	4	32,2	118,9	64,1
< 50	EÜAŞ ¹	11	385,1	1419,2	1044,5
> 50	EÜAŞ ¹	37	11 172,3	38 726,3	39 540,6
EÜAŞ TOPLAM		52	11 589,6	40 264,4	40 649,2
< 10	İHD ²	26	32,2	121,4	91,5
< 50	İHD ²	2	44,5	25	22
> 50	İHD ²	1	51,2	36,2	24,4
İHD TOPLAM		29	127,9	182,6	137,9
< 10	YİD ³	5	19	91	90
< 50	YİD ³	6	77,8	316	317
> 50	YİD ³	4	856	2944	2944
YİD TOPLAM		15	952,8	3351	3351
< 10	OP ⁴	3	4,2	13,3	13,3
< 50	OP ⁴	0	0	0	0
> 50	OP ⁴	1	540	1620	1170
OP TOPLAM		4	544,2	1633,3	1183,3
< 10	Özel	87	453,7	1884	1119
< 50	Özel	82	1938,8	7548	4224
> 50	Özel	13	1531,2	5038	2661
Özel TOPLAM		182	3923,7	14 470	8004

EÜAŞ¹: Elektrik Üretim Anonim Şirketi

İHD²: İşletme Hakkı Devri

YİD³: Yap İşlet Devret

OP⁴: Oto Prodüktörleri

Tablo 2.5’te Devlet Su İşleri (DSİ) ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK), 2012-2018 yılları arasında işletmeye girmesi öngörülen inşa halindeki hidroelektrik santrallerin kurulu güçleri verilmiştir. EPDK’nın 2012 ve 2013 yılları

toplam kurulu gücü 2888,1 MW olup 2014 yılında 2830,3 MW'a ulaşmıştır. DSİ 2014 yılında faaliyete geçmemiştir. 2012 senaryo 1 projeksiyonuna göre, EPDK'nın 2018 yılına kadar toplam kurulu gücü 8323,6 MW olması öngörülmektedir.

Tablo 2.5: 2012-2018 yılları arasında işletmeye girmesi öngörülen inşa halindeki kamu ve özel şirket santralleri (EPDK 2012 senaryo 1) [49].

Kuruluş	Yıl	Santral Kurulu Gücü (MW)	Proje Üretim (GWh)	Güvenilir Üretim (GWh)
DSİ	2012	1396,2	4495	2840
EPDK	2012	1937,1	6836	3865,3
DSİ	2013	39,5	118	18
EPDK	2013	951	3287,7	1859
EPDK	2014	2830,5	10 245,3	5793
2014'e kadar		7154,3	24 982	14 375
Kuruluş	Yıl	Santral Kurulu Gücü (MW)	Proje Üretim (GWh)	Güvenilir Üretim (GWh)
DSİ	2015	1200	3833	2459
EPDK	2015	2511,7	9339,3	5280,7
EPDK	2016	3603,3	11 945,2	6754,2
EPDK	2017	1788	4585,9	2593,0
EPDK	2018	420,6	1556,3	880
2015-2018 TOPLAM		9523,6	31 259,7	17 966,9
Genel TOPLAM		16 677,9	56 241,7	32 342,2

3. HİDROLİK TÜRBİNLER

Su türbinleri, diğere bir deyişle hidrolik türbinler 135 yıldan beri imal edilmektedir. 19. yüzyıl içinde FOURNEYRON, JONVAL, HENSCHEL, SCHWAMKRUG, ZUPPINGER vs. tarafından geliştirilmiş olan basit ve küçük güçlü su türbinleri çok yaygınlaşmış ve su türbinlerinin tahrik ettiği jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisi 1891 yılında OSKAR von MILLER tarafından enerji iletim hattı ile uzak yerlere nakledilmiştir.

Ancak, modern anlamda otomatik olarak yük-frekans ayarlaması yapılabilen Francis, Kaplan ve Pelton tipi hidrolik türbinlerin üretimi 1920'lerden itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Artık bu tip türbinler çok yaygın olarak kullanılmakta, günümüzde imal edilen büyük güçlü hidrolik türbinlerin verimleri %93-95 mertebesine kadar yükselmiş bulunmaktadır.

Su türbinleri; kullanım alanlarına, ürettikleri güce, güç üretme biçimlerine göre birçok şekilde sınıflandırılmaktadırlar.

3.1 Hidrolik Türbinlerin Sınıflandırılması

3.1.1 Suyun etki şekline göre

Suyun etki şekline göre türbinler reaksiyon ve aksiyon olmak üzere ikiye ayrılır.

- Reaksiyon türbinlerinde esas olarak suyun basınç enerjisinden yararlanılır (Francis-Uskur-Kaplan türbinleri).
- Aksiyon türbinlerinde suyun kinetik enerjisi kullanılır. Çark giriş ve çıkışında basınç enerjisi aynı kalır. Tip olarak Pelton, Turgo, Banki türbinleri.

3.1.2 Suyun akış doğrultusuna göre

- Eksenel akışlı türbinler (Kaplan Uskur)
- Radyal akışlı türbinler (Francis)
- Diyagonal akışlı türbinler (Yüksek hızlı Francis)
- Teğetsel akışlı türbinler (Pelton)
- Sapık akışlı türbinler (Turgo)

3.1.3 Türbin milinin durumuna göre

- Yatay eksenli türbinler
- Düşey eksenli türbinler
- Eğik eksenli türbinler

3.1.4 Özgül hıza göre

Tablo 3.1: Türbinlerin özgül hıza göre sınıflandırılması [17,40].

TÜRBİN TİPİ	ÖZGÜL HIZ (N_s) (d/d)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Banki Michell-Ossberger	20-80
Francis	80-400
Uskur veya Kaplan	340-1000

3.2 Hidrolik Türbin Tipleri

3.2.1 Reaksiyon türbinleri

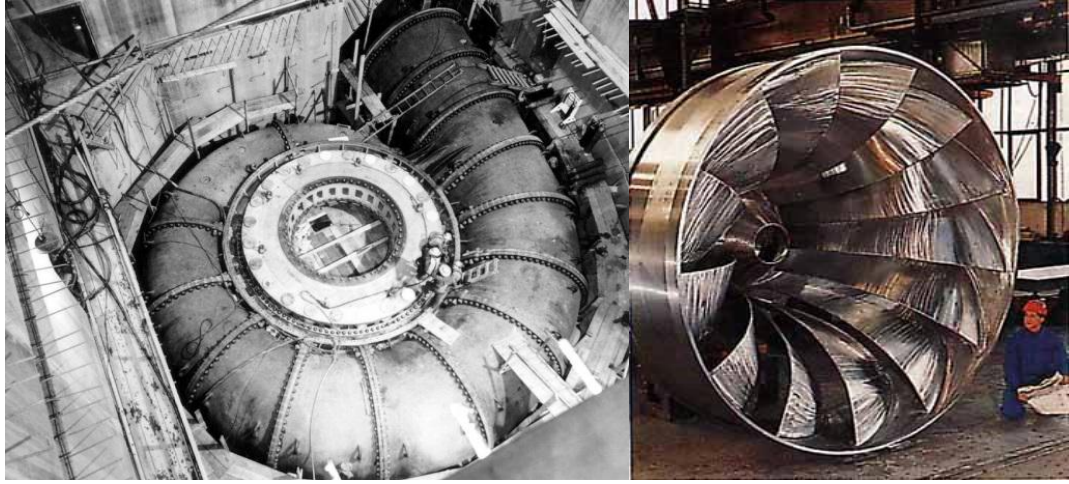
Reaksiyon (tepki) esasına dayanan ilk endüstriyel çark 1826 da Fransız Mühendisi Benoit Fourneyron tarafından gerçekleştirilmiştir. Tepki türbinleri tamamen suyun içinde olup gövdesi basınca dayanıklı olarak imal edilmiştir. Türbinin kanatlarında oluşan basınç farkı rotorun dönmesini sağlamaktadır [50].

Reaksiyon türbinleri aynı düşü ve debi değerinde aksiyon türbinlerinden daha hızlı döner. Burada kullanılan türbinler Francis, Uskur ya da Kaplan türbinleridir. Yapımları aksiyon türbinlerine göre daha zordur. Bu nedenle mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılmaktadır.

Francis türbini

Francis tipi hidrolik türbinler ilk defa 1838 yılında Amerika'lı HOWD tarafından keşfedilmiş ve 1848 yılında yine Amerikalı FRANCIS tarafından geliştirilerek denenmiştir [51].

Francis türbinine su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder [20]. Francis tipi hidrolik türbinler genel olarak orta yükseklikteki su düşülerinde ve orta değerlerdeki su debilerinde kullanılırlar [52].



Şekil 3.1: Francis türbini [53,54].

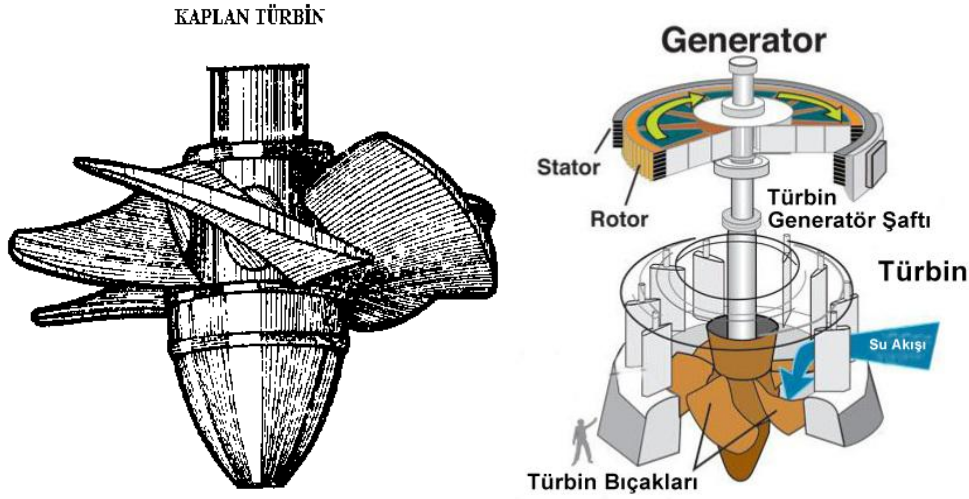
Francis tipi hidrolik türbinler 2 m ile 600 m hidrolik düşümler ve 2 kW ile 600 MW güçleri arasında imal edilmektedirler. Günümüzde, gücü 800 MW olan Francis tipi hidrolik türbinler imal edilmiş bulunmaktadır [51].

Bu türbin tipinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırılmasıdır. Bu nedenle imalatı ekonomiktir. Yurdumuzda Devlet Su İşlerinin denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda Francis tipi türbin kullanılmaktadır [20].

Kaplan (Uskur) türbini

Kaplan tipi hidrolik türbinler ise 1912 yılında Prof. Dr. VIKTOR KAPLAN tarafından geliştirilerek bugünkü anlamda modernleştirilmiştir. Kaplan tipi türbinler klasik nehir türbinleri olarak da ifade edilirler. Propeller (Uskur), Bulb, Tube (Boru). Kaplan türbininin, gemi pervanesine benzeyen, ama onun tersi biçimde çalışan bir çarkı vardır. Bir motorun çevirdiği gemi pervanesi gemiyi ileriye doğru hareket ettirmek için suyu geriye iter; Kaplan türbininin çarkı çevresinden geçen suyun etkisiyle döner. Bu türbinlerde su girişi ve çıkışı aynı eksendedir. Yani suyun girişi ile çıkışı arasında basınç farkı vardır.

Kaplan türbinleri Francis türbinlerine nazaran daha hızlı dönerler. Bu büyük avantaj nedeniyle jeneratöre arada kayış kasnak veya dişli olmadan da direkt bağlanabilir. Kaplan tipi hidrolik türbinler büyük su debilerinde ve küçük düşümlerde kullanılırlar.



Şekil 3.2: Kaplan (Uskur) türbini [55,56].

Kaplan tipi hidrolik türbinlerde 2 m ile 60 m hidrolik düşümler ve 2 kW ile 200 MW güçler arasında imal edilmektedirler. Günümüzde, gücü 500 MW olan Kaplan tipi türbinler imal edilmiş bulunmaktadır.

Kaplan türbinleri salyangoz gövdeli veya boru tipi olarak imal edilirler. 20 metre düşüme kadar beton salyangoz gövdeli, daha büyük düşümlerde ise salyangoz gövde saçıtan imal edilmelidir. Bunun en büyük sebebi oluşan basınca karşı koyabilmesi içindir. Kaplan türbinleri genellikle salyangoz gövde biçiminde ve dikey olarak kullanılırlar. Yatay olması gereken durumlarda ise farklı bir uygulaması olan boru tipi türbinler kullanılmaktadır. Bu tip türbinler kaplan tipine nazaran daha düşük düşümlerde tercih edilirler.

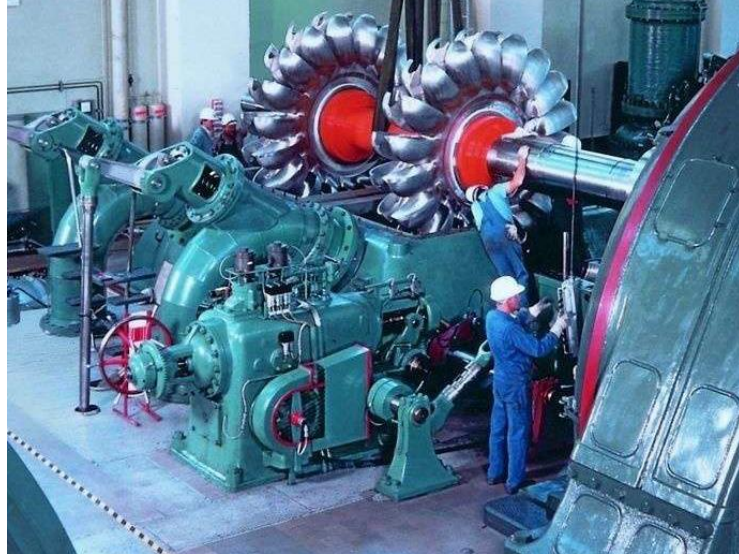
3.2.2 Aksiyon türbinleri

Etki türbinlerinde kanatlar, tepki türbinlerinden farklı olarak hava içindedir ve püskürtülen basınçlı su ile çalışmaktadır. Su kanatlara temastan önce ve sonra aynı atmosfer basıncında kalmaktadır [50]. Bu türbinlerde akışkan kepçelere veya çarka atmosfer basıncında girip yine atmosfer basıncında çıkar. Bu yüzden bu tip türbinlere eş basınçlı türbinler adı verilmiştir.

Pelton türbini

Amerikalı mühendis Lester A. Pelton (1829-1908) tarafından 1879 yılında geliştirilen ve onun adını taşıyan Pelton türbinleri aksiyon tipi türbinler içinde en çok kullanılanlarıdır. Genel olarak yüksek düşü ve küçük debiler için uygundur (max düşü değerleri 1500 m'nin üstündedir). Özgül devir sayıları düşüktür. Su huzmeleri

basit bir şekilde dizayn edilmiş kepçelere çarptırılarak moment elde edilir. Verimleri %78-%92 civarındadır [57].



Şekil 3.3: Pelton türbini [58].

Pelton tipi hidrolik türbinlerde nozuldaki su Pelton çarkının çevresindeki kepçelere teğetsel olarak çarpar. Bu çarpma ile suyun hız enerjisi (kinetik enerjisi) mekanik işe dönüşmüş olur ve türbin rotoru döner. Türbin rotorunun çevresindeki kepçelere suyun çarptırılması bir veya birkaç Pelton düzesi ile yaptırılabilir. Genellikle küçük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 1 veya 2 nozul olmasına karşın büyük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 4 veya 6 adet nozul bulunur.

Turgo türbini

Turgo türbinler 1919 yılında Peltonları tasarlayan Gilkes tarafından geliştirilmiştir. Genellikle 50-250 m'lik su düşüleri için uygun olan bu türbinler, Pelton türbinlere benzemektedir. Peltonlardan farklı olarak kepçe yapıları farklılık göstermektedir [59].

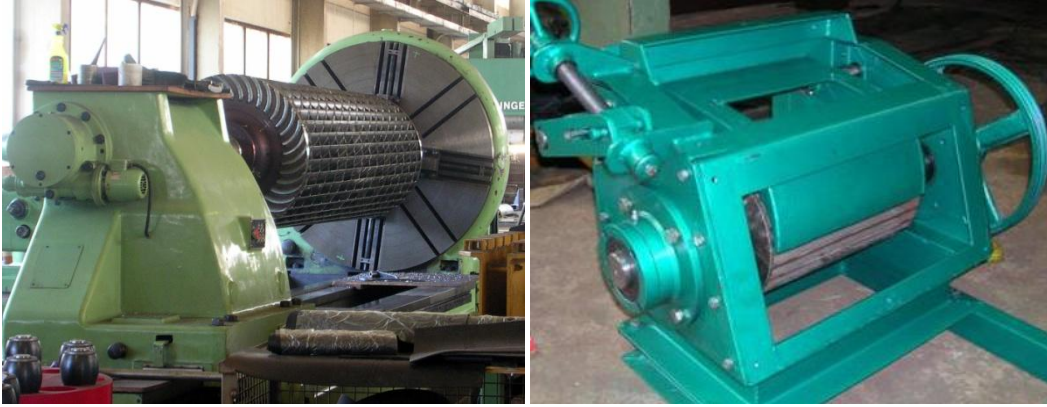


Şekil 3.4: Turgo türbini [60].

Ayrıca daha ucuz maliyet, daha hızlı devir sayısı ve aynı boyuttaki bir Pelton türbininden daha fazla su tutabilme gibi üstün özellikleri de vardır. Aynı güçteki bir Pelton türbininin çark çapının yaklaşık bir buçuk katıdır. Bu da daha yüksek devir sayılarına çıkmasını sağlar.

Banki (Michell-Ossberger) Türbinleri

Bu tip türbinler 1903 yılında Avusturyalı Mühendis M.MICHELL tarafından keşfedilmiş ve 1917 yılında da Macar Prof D. BANKI tarafından geliştirilmiştir. Avrupa'da bu türbinlerden binlerce imal edilmiştir.



Şekil 3.5: Banki-Michell Ossberger türbini [61,62]

Banki-Michell Ossberger türbininin en büyük özelliği suyun dönel çarktan iki kez girip çıkmasıdır. Küçük ve orta güçlü su kuvvetlerinde rahatlıkla kullanılırlar. Merkezi sistemden bağımsız yerel kuruluşlarca işletilmesi nedeniyle bakım ve onarımlarının kolaylıkla yapılabilir olması çok önem taşımaktadır. Piyasadan kolay temin edilebilen parçalardan oluşması nedeniyle banki türbinleri çalışma bölgelerinde çok avantajlıdır. Konstrüksiyonları diğer bütün türbin tiplerine göre son derece basittir. Bu nedenle türbin, ucuz olarak küçük atölyelerde kısıtlı olanaklarla imal edilebilir. Yatay ve dikey olarak kullanılabilirler.

20 lt/s ile 9 m³/s debiler için 1 m ile 200 m düşüleri de 1000 kW güce kadar çıkabilirler. Verimleri genel olarak % 80 civarındadır. Dönme sayıları ise 50 ile 200 d/d arasında değişir.

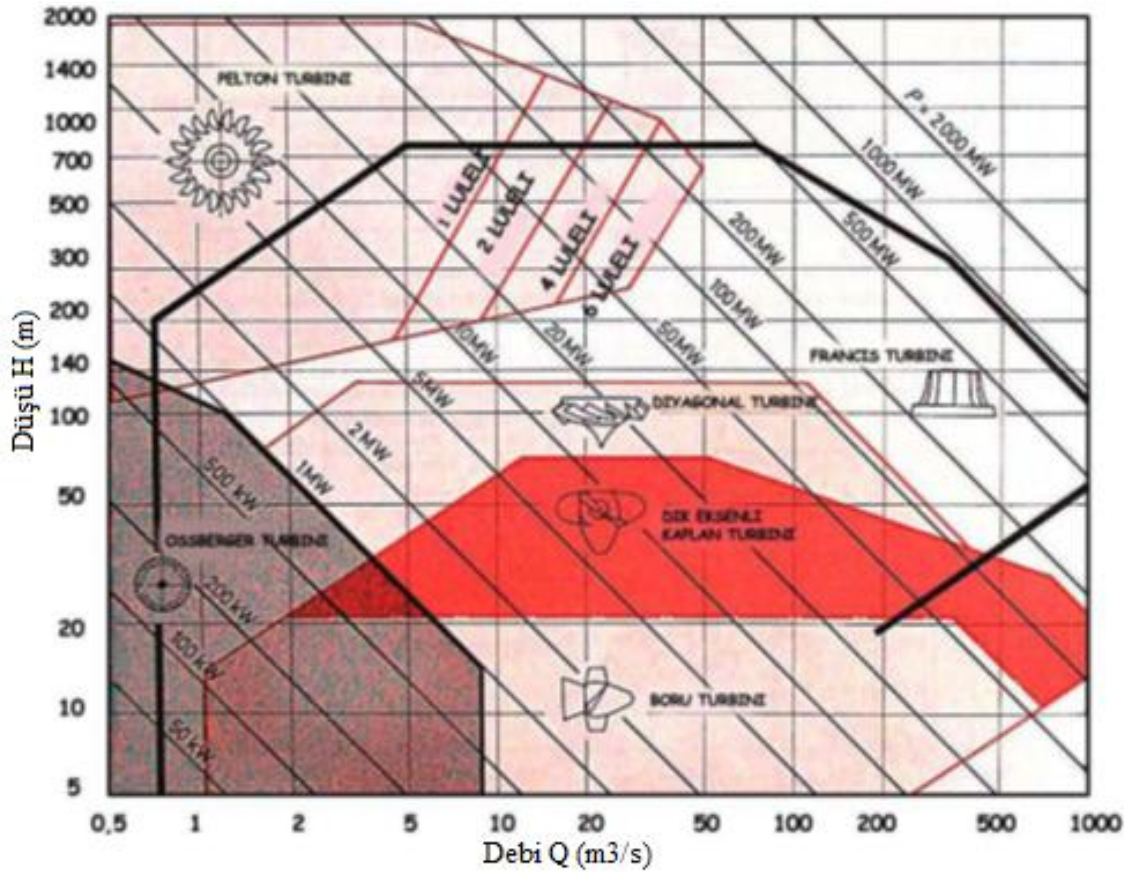
3.3 Türbin Seçim Kriterleri

Düşü, debi ve güç arasındaki bağıntı şu şekilde verilmektedir:

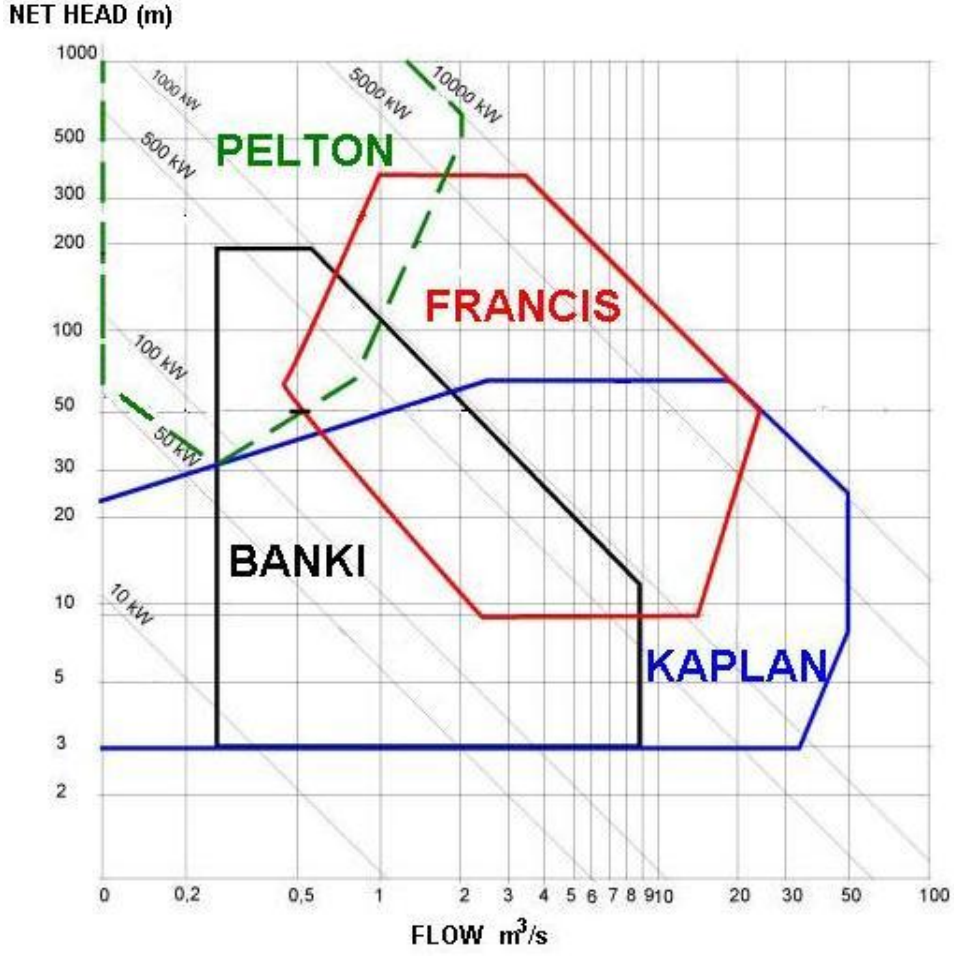
$$P = \rho_w g \dot{Q} H \eta_g \quad (3.1)$$

Burada P türbin milinden alınan gücü (W), ρ_w suyun yoğunluğunu (1000 kg/m^3), g yerçekimi ivmesini ($9,81 \text{ m/s}^2$), H net düşüyü (giriş ağız ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur, m), \dot{Q} türbine gelen debiyi (m^3/s), η_g genel verimi göstermektedir [63,64].

Türbin seçimi yapabilmek için öncelikle kuracağımız hidroelektrik güç tesisinin debi ve düşü değerlerinin bulunması gerekir. Ardından bu değerlerin kesiştiği noktayla türbinden elde edilecek güç miktarını gösteren doğrunun kesiştiği veya yaklaşık olarak kesiştiği nokta hangi türbin bölgesinde kalıyorsa, kuracağımız hidroelektrik güç tesisimizde o türbinin kullanılması verimlilik ve işletme şartlarının iyileştirilmesi bakımından en uygun seçimdir. Aşağıda Şekil 3.6' da 50 kW-2000 MW güç bölgesi için, Şekil 3.7'de ise 10 kW-10 MW güç bölgesi için farklı düşü ve debi bölgelerinde hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinler gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Debi ve düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (50 kW-2000 MW güç bölgesi için) [20].



Şekil 3.7: Debi ve düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (10 kW-10 MW güç bölgesi için) [65].

Türbin tipleri için yukarıda belirtilen düşü sınırları sadece bir ön fikir vermek içindir. Herhangi bir tesiste kullanılacak türbin tipi hakkında hemen bir şey söylenemez. Gerçekte HES'lerde kullanılacak türbin tipi özgül dönme sayısı ile belirlenir.

3.3.1 Özgül hız bağıntısı

Özgül hız kavramının birçok tanımı ve hesabı vardır. Özdemir, M.T., (2002)'ye göre özgül hız (N_q), $H = 1\text{ m}$ düşü ve $Q = 1\text{ m}^3/\text{s}$ olarak çalışan bir çarkın devir sayısıdır [66].

$$N_q = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (\text{d/d}) \quad (3.2)$$

N: Türbin devir sayısı (d/d)

(3.2) eşitliğinde N_q özgül hız bağıntısına göre türbin tipleri Tablo 3.2'de verilmektedir [57].

Tablo 3.2: Özgül hızı (N_q) göre türbin tipleri [57].

TÜRBİN TİPİ	ÖZGÜL HIZ (N_q) (d/d)
Pelton	1-30
Cross-Flow	20-130
Francis	80-400

Demirhan, A.Y., (2006)'ya göre özgül hız (N_s), pratikte çoğu kez imal edilmek istenen esas türbine benzer olan ve aynı cins akışkanla 1 m net düşü altında çalışıp en iyi verimle milinden 1 KW güç veren türbinin dakikadaki devir sayısıdır [51].

$$N_s = N \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (d/d) \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.3)'te verilen özgül hızı bağı türbin tipleri Tablo 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.3: Özgül hızı (N_s) göre türbin tipleri [40].

TÜRBİN TİPİ	ÖZGÜL HIZ (N_s) (d/d)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Banki Michell-Ossberger	20-80
Francis	80-400
Uskur veya Kaplan	340-1000

Thake, J., (2000)'e göre; Pelton türbini için özgül hız (N_s) ve net düşü (H_n) arasındaki korelasyon aşağıdaki gibidir [67]:

$$N_s = 85,49 \frac{\sqrt{n_j}}{H_n^{0,243}} \quad (d/d) \quad (3.4)$$

Burada n_j türbin nozul sayısıdır.

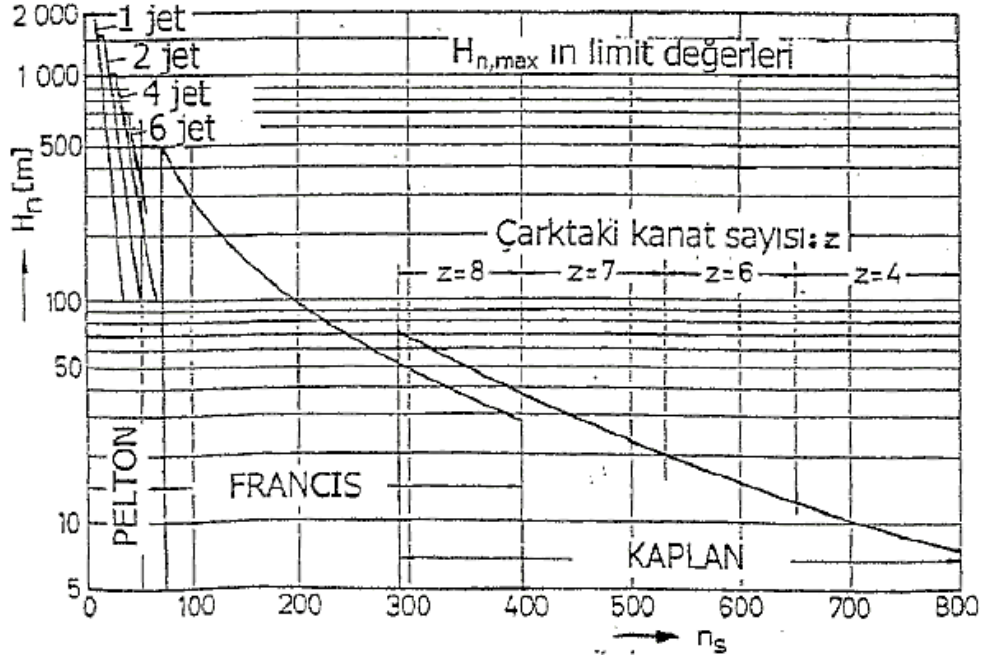
$$n_j = \frac{Q_t}{Q_n} \quad (3.5)$$

Q_t : Türbin su akış kapasitesi (m^3/s)

Q_n : Her bir nozulun su akış kapasitesi (m^3/s)

Özgül hız türbin tasarımlarında önemli bir faktördür. Francis türbinlerinde özgül hız 60'dan küçük olursa çark kanalı çok dar ve uzun olacağından verim çok düşer. Bu yüzden daha küçük özgül hızlı türbin yapmaktan kaçınılır. Ayrıca özgül hız 45'in altına düşünce konstrüktif bakımdan güçlükler doğar. Buna karşın Pelton türbinlerinde özgül hızın 30'dan yüksek değerlerinde kepçeler çarka göre çok büyük

olur. Aksine özgül hız çok küçülürse bu sefer çark çapı anormal derecede büyür. Bu yüzden her türbin tipinin uygun şekilde gerçekleştirildiği bir özgül hız alanı mevcuttur. Bu alan türbinlerin sınıflandırılmasında kullanılır. Şekil 3.8 de ise özgül hıza bağlı olarak türbin tiplerinin kullanılma bölgeleri görülmektedir.



Şekil 3.8: Özgül hıza bağlı olarak türbin tiplerinin kullanılma bölgeleri [20].

Türbin tipi seçiminde türbin veya jeneratörün hızı da önemlidir. Türbin tarafından döndürülen jeneratörler, tipik bir türbinin optimum hızından daha yüksek bir devirde dönerler. Bu bağlantı kayış kasnak, dişli mekanizması veya bir kavrama yardımıyla sağlanır. Burada hız oranının minimum olması tercih edilir. Bu durumda bağlantı daha kolay ve maliyet daha düşüktür. Kural olarak 3:1 oranından kaçınmak gerekir en azından 2,5:1 oranı veya altı tercih edilmelidir. Şayet 1500 d/d ile dönen bir jeneratör varsa seçilecek türbinin hızı en az 500 d/d veya üzeri olmalıdır. Türbin hızının jeneratör hızında olması durumunda jeneratör direkt olarak türbin miline bir kavrama ile bağlanır [68].

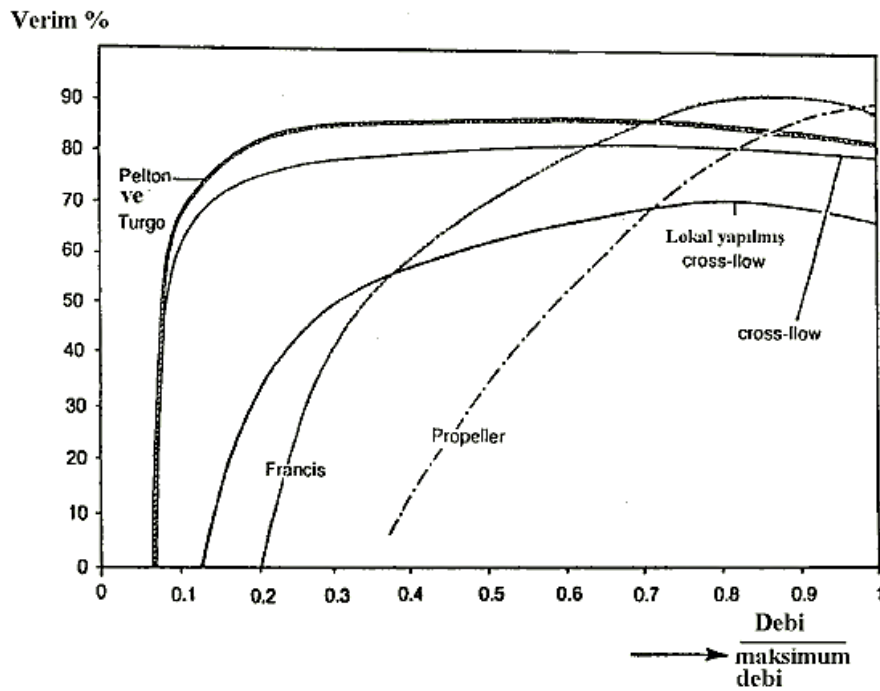
$$n = \frac{60 f}{p} \quad (3.6)$$

Burada: f: frekans (1 saniye 60 devir)

p: Jeneratör çift kutup sayısı

n: Jeneratörün hızı (d/d)

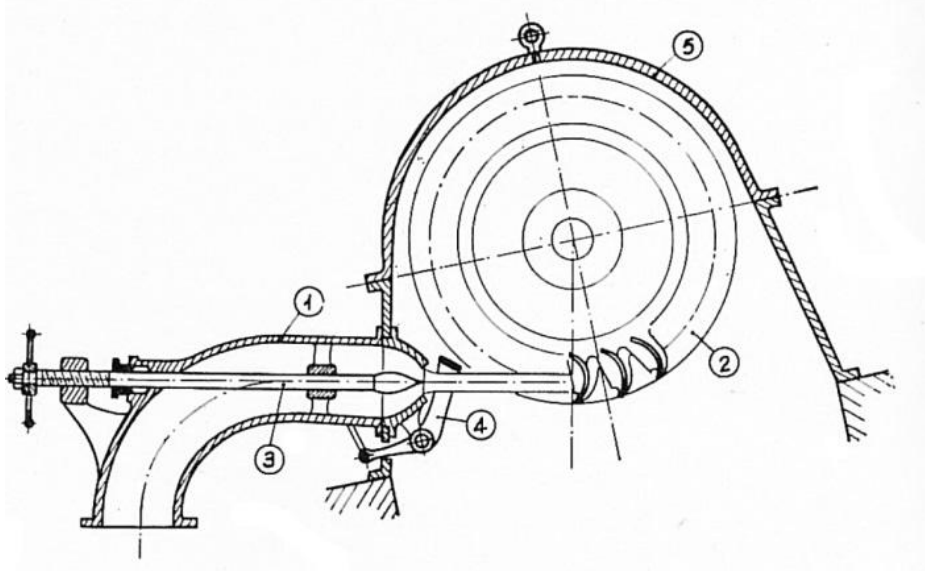
Türbin tipi seçiminde diğer bir kriter ise türbinin kısmi debi koşullarında çalıştırılıp çalıştırılmayacağıdır. Şekil 3.9'da kısmi yüklerde türbinlerin verim eğrilerinin değişimi verilmiştir. Tüm türbinler, bir güç-hız ve verim-hız karakteristiğine sahiptir. Pelton ve Cross-flow (Banki) türbinleri dizayn değerlerinin dışında farklı değerlerde de çalışmaları durumunda oldukça yüksek verim vermektedirler. Francis türbinlerinde kısmi yükler karşısında verim düşmektedir. Francis türbinleri büyük hidrolik sistemlerde oldukça popüler bir türbin olmasına karşılık karmaşık bir yapıya sahip olmaları ve kısmi yüklerdeki davranışı nedeniyle mikro hidrolik sistemlerde fazla kullanılmazlar.



Şekil 3.9: Türbinlerin kısmi yüklerde çalışması durumunda verim eğrileri [69].

3.4. Pelton Türbininin Yapısı ve Parçaları

Şekil 3.10'da tek püskürtüclü Pelton türbini ana elamanları gösterilmektedir [70]. Görüldüğü gibi Pelton türbini su gücüyle dönen bir çarktan ibaret olduğundan yapı itibarıyla, diğer türbinler arasında en basit olanıdır. Genel itibarıyla Pelton Türbini, suyun enerjisini aktardığı ve jeneratöre hareket veren çark, gelen suyun debisine göre ayar yapma imkânı sağlayan enjektör ve iğne mekanizmaları, devreden çıkarma işlemi için deflektör ve bütün türbin mekanizmasını bir arada tutan gövde kısmından oluşmaktadır.



Şekil 3.10: Tek püskürtülcü Pelton türbini ana elemanları [70].

3.4.1 Püskürtücü (enjektör)

Suyu çarka sevkederek bir jetten ibarettir. Gövde ve lüle kısmı olmak üzere iki parçadan oluşur.

3.4.2 Çark

Hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren organdır. Üzerinde bulunan kepçelere suyun çarpması ile bir itme kuvveti doğar. Bu kuvvet çarkı döndürür.

3.4.3 İğne

Lüleden fişkıran su jeti çapını, ileri ve geri hareketi ile, küçültüp büyüyen ve bu suretle debiyi ve gücü ayarlayan organdır.

3.4.4 Deflektör

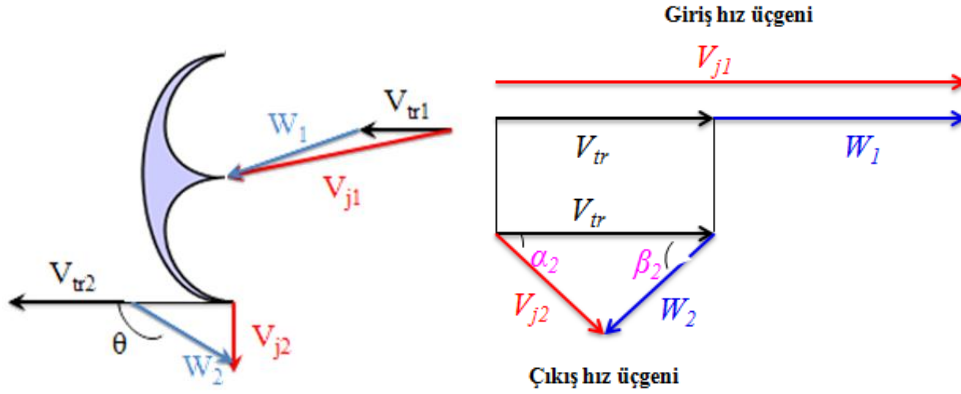
Ani yük değişimlerinde henüz iğne yeni durumunu almadan, çabuk harekete geçerek su jetini saptıran ve su jetinin çarka çarpmasını engelleyen elemandır. Bu suretle türbin yük değişimlerine daha çabuk uyar.

3.4.5 Gövde

Türbin çarkını kavrayan, yatakları ve püskürtücü lülenin tespit edildiği dökme demir veya kaynaklı sacdan bir kasadır.

Enerji Aktarım Mekanizması (Hız Üçgenleri);

Şekil 3.10'da gösterilen Pelton düzeneğinde püskürtücüden V_{j1} hızıyla çıkan su, kepçeye çarparak hız enerjisini kaybeder. Kepçeye mutlak V_{j1} hızı ile giren su çarkı V_{j2} hızıyla terkeder. V_{tr1} çarkın sürüklenme hızı, çıkıştaki V_{tr2} 'ye eşittir ($V_{tr} = V_{tr1} = V_{tr2}$). Kepçe kenarının teğetsel V_{tr} doğrultusu ile yaptığı açı β_2 'dir. Giriş ve çıkış hız üçgenleri Şekil 4.11'de gösterilmektedir [70].



Şekil 3.11: Hız üçgenlerinin gösterimi.

V_{j1} : Su jetinin mutlak hızı (m/s)

V_{j2} : Çarktan ayrılan suyun mutlak hızı (m/s)

V_{tr} : Çarkın çevresel hızı ($V_{tr} = r\omega$) (m/s)

W_1 : Su jetinin çarka göre bağıl hızı (m/s)

W_2 : Çarktan ayrılan suyun çarka göre bağıl hızının yatay bileşeni

θ : Kepçelerin suyu saptırma açısı

α_1 : Girişte mutlak hızın çevresel hızla yaptığı açı

α_2 : Çıkışta mutlak hızın çevresel hızla yaptığı açı

β_1 : Girişte bağıl hızın çarkın çevresel hızı ile yaptığı açı

β_2 : Çıkışta bağıl hızın çarkın çevresel hızı ile yaptığı açı

Su α_1 açısı ve V_{j1} hızıyla kepçeye çarptıktan sonra, çarkı V_{j2} hızı ve α_2 açısı ile terk etmesi durumunda, W akışkanın bağıl hızı, V_{tr} çevresel hız, V_j mutlak hızı olmak üzere bu hızlar arasında vektörel olarak aşağıdaki ilişki vardır.

$$V_j = V_{tr} + W \quad (3.7)$$

Özdemir, M.T., Orhan, A. ve Cebeci, M., (2004)'e göre; hidrolik türbinlerde verimin genel denklemi [71],

$$\eta_h = \frac{V_{j1}V_{tr1}\cos\alpha_1 - V_{j2}V_{tr2}\cos\alpha_2}{g.H} \quad (3.6)$$

şeklindedir.

4. PELTON TÜRBİN TASARIM ALGORİTMASI ve DEREİÇİ UYGULAMASI

4.1 Proje Alanının Tanıtılması

Tez kapsamında yapılan proje, Trabzon İli Maçka ilçesi sınırları içerisinde bulunan acı su deresi üzerine kurulması planlanan 7 MW gücünde Pelton hidroelektrik türbini tasarımıdır. Proje bölgesinde enerji üretim lisansı GÜN-TAŞ Enerji Elektrik Üretim A.Ş. firmasına ait olup, proje firmanın başvurusu ile başlatılmıştır.

Proje alanında; coğrafi durum, sosyal durum, ekonomik durum, arazi mülkiyet durumuna, ulaşım – haberleşme, iklim ve su kaynakları, meteoroloji gözlem istasyonları incelenmiştir ve projenin çevresel etkileri araştırılmıştır. Hidroelektrik santraller, insanları en az etkileyen faaliyetlerden birisidir ve en temiz enerji kaynağı olduklarından çevreyi kirletecek herhangi bir emisyon oluşturmamaktadır. Su kaynağının potansiyel enerjisi elektrik enerjisine çevrildikten sonra aynı akışı kirlenmeden devam etmektedir [72].

4.2 Türbin Tasarımında Kullanılan Proje Karakteristikleri

Türbin tasarımında kullanılan proje karakteristikleri Tablo 4.1’te verilmiştir.

Tablo 4.1: Türbin tasarımında kullanılan proje karakteristikleri [72].

HİDROLOJİ	
Regülatör Yeri Yağış Alanı	33,40 km ²
Yıllık Ortalama Doğal Akım	2,579 hm ³
Yıllık Ort. Debi	0,984 m ³ /s
Proje Taşkın Debileri (Q ₁₀₀)	44,31 m ³ /s
(Q ₅₀)	39,7 m ³ /s
(Q ₂₅)	29,57 m ³ /s
(Q ₁₀)	20,4 m ³ /s
(Q ₅)	15,75 m ³ /s
(Q ₂)	10,54 m ³ /s
YÜKLEME HAVUZU	
Su Yüzü Kotu	1924,39
Hacmi	287,5 m ³ (aktif hacim)
Uzunluğu	25 m
Genişliği	10 m

Derinliği	7 m
CEBRİ BORU	
Cebri Boru apı	Φ900 mm
Cebri Boru Boyu	640 m
Tasarım Debisi	2,40 m ³ /s
JENERATÖR	
Güç faktörü	0,90
Frekans	50 Hz
Devir Sayısı	600 d/dak
Kutup Sayısı	2 Çift (4Kutup)
Tahrik Şekli	Türbin miline direkt akuple
Verimi	0,97
DEREİÇİ HES PROJE EKONOMİSİ (DSİ 2010 Birim Fiyat)	
Toplam Keşif Bedeli	14 453 272 TL
Toplam Tesis Bedeli	16 621 263 TL
Toplam Proje Bedeli	18 583 389 TL
Proje Rantabilitesi	0,42 (DSİ)
	0,96 (0,075 \$/kWh)
	1,28 (0,100 \$/kWh)
İç Karlılık Oranı	% 1,75 (DSİ)
	% 9,02 (0,075 \$/kWh)
	% 12,51(0,100 \$/kWh)

4.3 Proje Sahasına Ait Ana Verilerin Belirlenmesi

İlk aşamada, net düşü ve suyun debisi belirlenir.

4.3.1 Net düşü

$$H_n = H_b - H_{tl} \text{ (m)} \quad (4.1)$$

H_b : Su alımındaki su seviyesi ve türbin arasındaki düşey mesafe, brüt düşüdür (m).

H_{tl} : Toplam yük kayıplarıdır (m).

Brüt ve net düşü değerleri Tablo 4.1'den alınmıştır.

$$H_b = 340,79 \text{ m}$$

$$H_n = 332,31 \text{ m}$$

4.3.2 Suyun akış hızı

$$V_r = \frac{\dot{Q}}{A_r} \text{ (m/s)} \quad (4.2)$$

V_r : Akış hızı (m/s)

\dot{Q} : Hacimsel debi (m^3/s)

A_r : Kesit alanı (m^2)

Cebri boruya ait değerler ve debi Tablo 4.1'den alınmıştır.

Cebri boru çapı: 0,90 m

Cebri boru boyu: 640 m

\dot{Q} : 2,40 m^3/s

(4.2) numaralı denklem de değerler yerine yazılarak suyun akış hızı;

$$V_r = \frac{\dot{Q}}{A_r} = \frac{2,40}{\frac{\pi \times (0,90)^2}{4}} = 3,77 \text{ (m/s)}$$

bulunur.

4.3.3 Türbin giriş gücü

Türbine giren güç şu şekilde hesaplanır:

$$P_{ti} = \rho_w g C_n^2 H_n \dot{Q} \text{ (Watt)} \quad (4.3)$$

C_n : Nozul boşaltma katsayısı ($\cong 0,98$)

ρ_w : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

g : yerçekimi ivmesi (m/s^2)

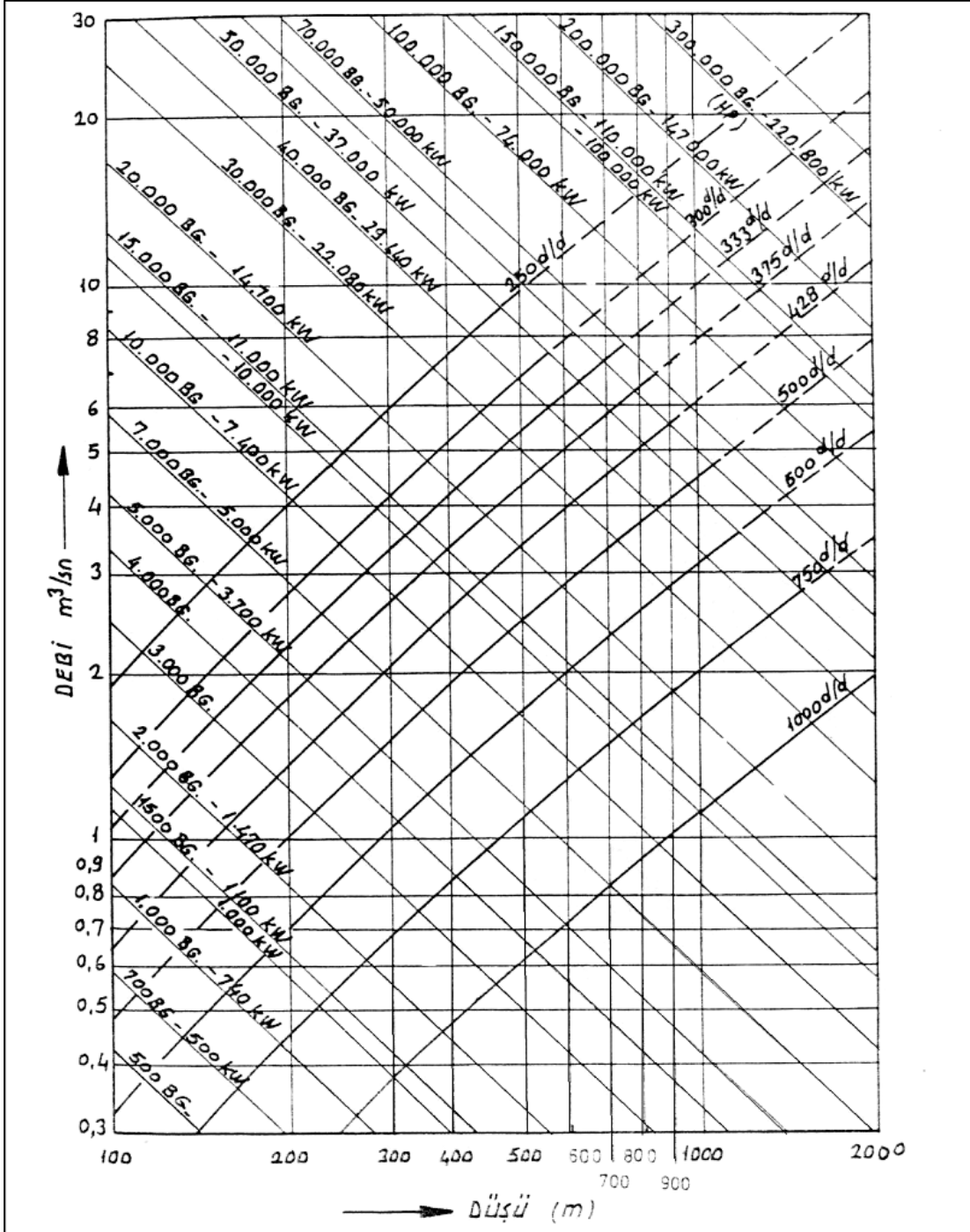
Çark milinin jeneratörün her iki tarafından çıkarılmasıyla aynı jeneratöre 2 adet çark bağlanması planlanmıştır. Böylece çark başına gelen debi yarı yarıya azalacağından çark ebatları daha küçük olacaktır. Ayrıca yağış rejimine göre debi azaldığında çarklardan birisi devreden çıkarılarak debiye bağlı verim kaybının bir miktar engellenmesi planlanmaktadır. Buna göre 1 adet Pelton çarkının gücü (4.3) numaralı denklemden;

$$P_{ti} = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (0,98)^2 \times 332,31 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}^3/\text{s} = 3757 \text{ kW}$$

bulunur.

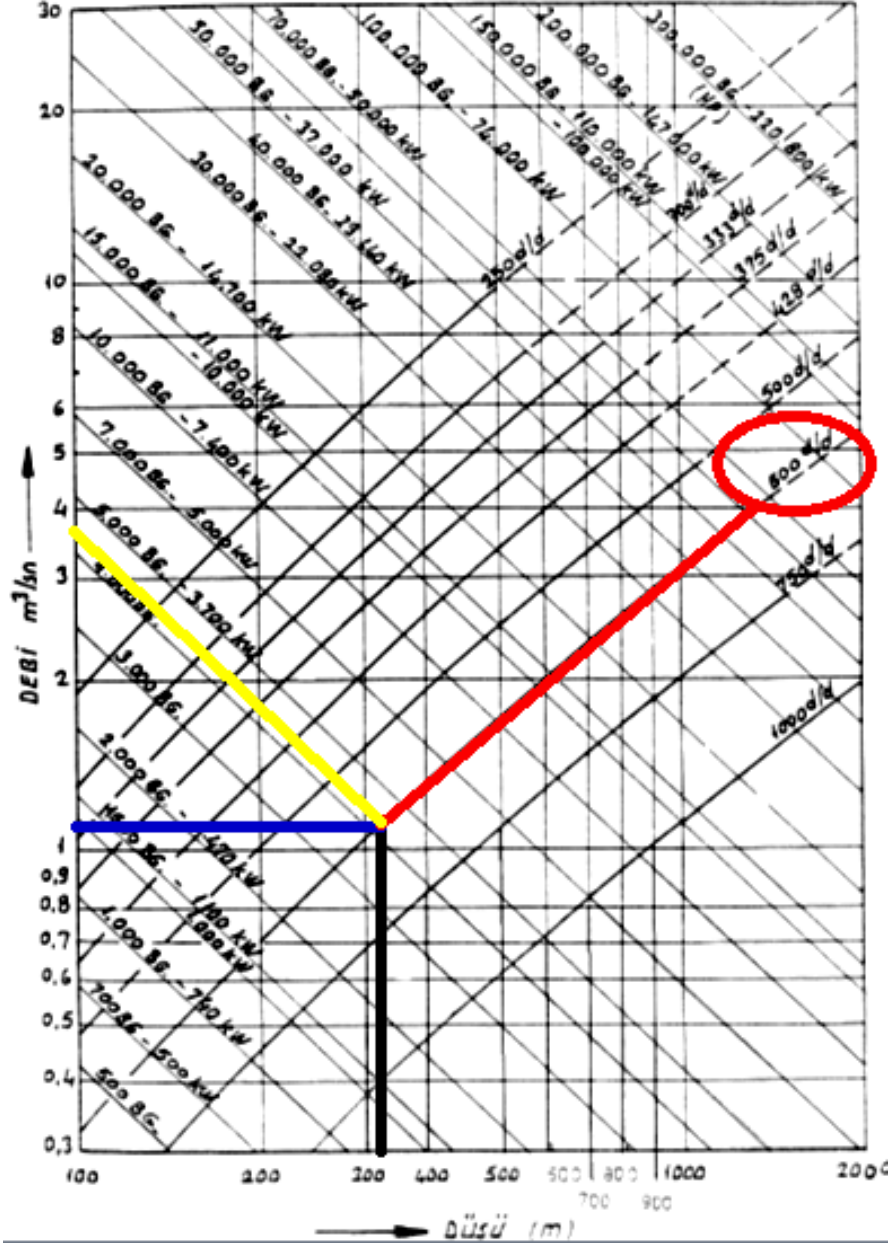
4.3.4 Türbin devir sayısı

Pelton tipi N (d/d), türbin devir sayısı- debi- düşü ilişkileri Şekil 4.1' de gösterilmiştir [51].



Şekil 4.1: Pelton tipi türbinler için düşü- debi- devir sayısı ilişkileri (EİE) [51].

Özgül hız hesabının yapılabilmesi için öncelikle türbin devir sayısının belirlenmesi gerekir. Şekil 4.2’de, 1,2 m³/s debi ile 332,31 m net düşü kesişimi gösterilmiştir. N türbin devir sayısı yaklaşık olarak 600 d/d olarak alınmıştır.



Sekil 4.2: Pelton türbini için düşü- debi- devir sayısı kesişimi.

4.3.5 Özgül hız

Özdemir, M.T., (2002)'ye göre (3.2) numaralı denklemden özgül hız (N_q);

$$N_q = N \frac{\sqrt{Q}}{H_n^{3/4}} = 600 \frac{\sqrt{1,2}}{332,31^{3/4}} = 8,44 \text{ (d/d)}$$

bulunur.

Tablo 3.2’de özgül hıza (N_q) bağlı türbin tipleri verilmiştir. 8,44 (d/d) değeri 1-30 arasında Pelton tipine denk gelmektedir.

Demirhan, A.Y, (2006)’ya göre (3.3) numaralı denklemden özgül hız (N_s);

$$N_s = N \frac{\sqrt{P_{ti}}}{H_n^{5/4}} = 600 \frac{\sqrt{3757}}{332,31^{5/4}} = 25,92 \text{ d/d}$$

bulunur.

Ayrıca özgül hız (N_s) Thake, J., (2000)’e göre; (3.4) eşitliğinden hesaplanır. Bu eşitlikte püskürtücü sayısı ve net düşüye bağlıdır.

$$N_s = 85,49 \frac{\sqrt{\pi_j}}{H_n^{0,243}} = N_s = 85,49 \frac{\sqrt{2}}{332,31^{0,243}} = 29,49 \text{ d/d}$$

bulunur.

Dikkat edilirse her üç bağıntı ile de özgül hız değerleri hesaplanabilmektedir. Ancak birinci denklemde debi, ikinci denklemde güç, üçüncü denklemde püskürtücü sayısı kullanılmaktadır. Tez kapsamında incelenen proje için özgül hız değerleri Tablo 3.3’te özgül hıza (N_s) bağlı türbin tipleri verilmiştir. Bulunan (N_s) değerleri 12-30 aralığında Pelton tipine denk gelmektedir.

4.3.6 Su jetinin sahip olduğu hız

$$V_j = C_n \sqrt{2 g H_n} \text{ (m/s)} \quad (4.4)$$

(4.4) numaralı denklemden su jetinin hızı (V_j) [67];

$$V_j = 0,98 \sqrt{2 \times 9,81 \times 332,31} = 79,13 \text{ m/s}$$

bulunur.

4.3.7 Çark teğetsel hızı

$$V_{tr} = \omega R_r = \frac{\pi N D_r}{60} \text{ (m/s)} \quad (4.5)$$

Thake, J., (2000)’e göre çark teğetsel hızı aşağıdaki gibi de hesaplanabilmektedir:

$$V_{tr} = C_x V_j \text{ (m/s)} \quad (4.6)$$

C_x : çark teğetsel hızı ile nozul veya jet hızı oranı.(0,46-0,48) arasında değişmektedir [67].

(4.6) numaralı denklemde, çarkın teğetsel hız katsayısı C_x , literatüre paralel olarak 0,47 alınmıştır. Buna göre;

$$V_{tr} = 0,47 \times 79,13 = 37,19 \text{ m/s}$$

bulunur.

4.3.8 Çark çapı

Çark çapı birçok şekilde hesaplanmaktadır:

Özdemir, M.T., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., (2011)'e göre çark hesabı;

$$D_r = \frac{60 V_{tr} i}{\pi N} \quad (4.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, i iletim oranı (türbin, jeneratöre direk bağlı ise 1 alınır), N (d/d) türbin devir sayısı, V_{tr} çark teğetsel hızıdır [40].

Pelton türbinlerinde, çark çapının gelişigüzel seçilmesi mümkün değildir. Çark çapının, genelde su jeti çapının ve toplam düşünün fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Çark çapının su jeti çapının en az on katı olması istenir. Düşü arttıkça, çark çapının da büyümesi gerekmektedir. Ayrıca çarktan su kaybının minimuma indirilebilmesi için, çark çapı hiçbir zaman $[9,5D_j]$ ' den küçük seçilmemelidir [73].

Tablo 4.2: Düşüye bağlı çark çapı eşitlikleri [73].

Düşü (m)	D_r (Çark Çapı)
<500	$D_r = 10D_j$
500-1000	$D_r = 15D_j$
>1000	$D_r > 15D_j$

Pelton türbinin, yaygın olarak kullanıldığı düşü aralığından daha büyük, 400-1400 m arası bir düşü istenildiği takdirde, deneysel olarak elde edilen, ampirik formül kullanılabilir:

$$\frac{D_r}{D_j} = 8 + 0,005 H \quad (4.8)$$

Thake, J (2000)'e göre (4.7) ve (4.8) eşitliğinden çark çapı [67];

$$D_r = \frac{60 C_x}{\pi N} V_j \text{ (m)} \quad (4.9)$$

Maksimum verimlilik için (C_x), (0,46-0,48) arasındadır. Dolayısıyla maksimum verimde çark çapı (4.4) ve (4.9) numaralı eşitliklerden aşağıdaki şekilde ifade edilir [67]:

$$D_r = 38,6 \frac{\sqrt{H_n}}{N} \text{ (m)} \quad (4.10)$$

Nasir, B.A., (2013)'e göre; nozul ve Pelton çarkı arasında minimum güvenli mesafeye gereksinim duyulmasından ve kepçelerin imalatı sırasındaki tutarsızlıklar nedeniyle gerekli çark çapı bu değerden daha büyük olmalıdır [74].

Yüksüz durumda türbin hareket edebiliyorsa, çark teğetsel hızı jet hızına eşit olmalıdır.

$$V_{tr} = \omega \frac{D_r}{2} = \frac{\pi N_r D_r}{60} = V_j \quad (4.11)$$

ya da

$$N_r = \frac{60 V_j}{\pi D_r} \text{ (d/d)} \quad (4.12)$$

N_r hızı akış debisinden bağımsızdır.

Türbin tasarımında, (4.7) numaralı denklem kullanılarak çark çapı hesaplanır. Burada, jeneratör türbin miline direk bağlı olduğundan $i=1$ alınır.

$$D_r = \frac{60 V_{tr} i}{\pi N} = \frac{60 \times 37,19}{\pi \times 600} = 1,18 \text{ m}$$

bulunur.

4.3.9 Nozul boyutları

Nozul çapı (D_j):

Tutuş. A., (2008) ve Özbay, E., (2009)'a göre; nozul çapı (D_j) aşağıdaki gibi hesaplanır [36,37]:

$$D_j = \sqrt{\frac{4 Q_t}{\pi n_j V_j}} \text{ (m)} \quad (4.13)$$

Özdemir, M.T., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., (2011)'e göre; nozul çapı hesabında n_j püskürtücü sayısı formüle edilmemiştir [40]:

$$D_j = \sqrt{\frac{4 Q_t}{\pi V_j}} \text{ (m)} \quad (4.14)$$

Türbin tasarımında, nozul çapı (D_j), nozul hızına bağlı (4.13) numaralı denklemden hesaplanır. Buna göre;

$$D_j = \sqrt{\frac{4 Q_t}{\pi n_j V_j}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,2}{2 \pi 79,13}} = 0,098 \text{ m}$$

bulunur.

Her bir nozul için akış debisi (Q_n):

$$Q_n = V_j A_j \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (4.15)$$

(4.15) numaralı denklemden nozul akış debisi;

$$Q_n = V_j A_j = 79,13 \times 7,54 \times 10^{-3} = 0,596 \text{ m}^3\text{/s}$$

bulunur.

Nozul alanı (A_j):

$$A_j = \pi \frac{D_j^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} \quad (4.16)$$

(4.16) numaralı denklemden nozul alanı;

$$A_j = \pi \frac{D_j^2}{4} = \pi \frac{0,098^2}{4} = 7,54 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

bulunur.

Nozul uzunluğu (L_n):

$$L_n = \frac{D_{pn} - D_j}{\tan \beta} \text{ (m)} \quad (4.17)$$

D_{pn} : Nozula bağılı cebra boru çapı (m)

β : Nozul uzantı açısı (derece)

$$D_{pn} = \frac{D_{pt}}{\sqrt{n_j}} \text{ (m)} \quad (4.18)$$

D_{pt} : Türbine bağılı cebra boru çapı (m)

(4.18) numaralı denklemden, nozula bağılı cebra boru çapı (D_{pn}) hesaplanır:

$$D_{pn} = \frac{0,90}{\sqrt{2}} = 0,636 \text{ m}$$

bulunur.

Nozul uzunluğu (L_n), (4.17) numaralı denklemden;

$$L_n = \frac{0,636 - 0,098}{\tan 38} = 0,68 \text{ m}$$

bulunur.

Nozul ve çark arasındaki mesafe (X_{nr}):

Nasir, B.A., (2013)'e göre; tasarlanmış çaptan jetin uzaklaşmasını önlemek için, nozul çıkışı mümkün olduğu kadar Pelton çarkına yakın olmalıdır. Nozul ve çark arasındaki mesafe çark çapının %5'i kadar olmalıdır. Ayrıca acil saptırıcılar için 3 (mm) aralık da hesaba katılmalıdır [74].

$$X_{nr} = 0,05 D_r + D_t \text{ (m)} \quad (4.19)$$

D_t : Saptırıcı kalınlığı (m)

Nozul ve çark arasındaki mesafe (4.19) numaralı eşitlikten;

$$X_{nr} = 0,05 (1,18) + 0,003 = 0,062 \text{ m}$$

bulunur.

Nozul ve kepçe arasındaki mesafe (X_{nb}):

Nasir, B.A., (2013)'e göre; nozul ve kepçe arasındaki asgari mesafeyi dikkate alarak nozul ve kepçe arasındaki mesafe [74]:

$$X_{nb} = 0,625 D_r \text{ (m)} \quad (4.20)$$

Pelton çarkı ve nozul arasındaki güvenli asgari mesafe ihtiyacı ve kepçelerin imalatı sırasındaki tutarsızlıklar göz önüne alındığında, gerekli mesafe yukarıdaki hesaplanan değerden daha büyük olmalıdır.

(5.20) numaralı denklemden X_{nb} ;

$$X_{nb} = 0,625D_r = 0,625(1,18) = 0,737 \text{ m}$$

bulunur.

4.3.10 Kepçe sayısı

Akan su parçacıkları ve bitişik kepçeler arasındaki zararlı risklerin en aza indirilmesi sırasında, su parçacıklarının kaybı olmaması için her bir çark için kepçe sayısı belirlenmelidir.

Kepçe sayısı Nasir, B.A., (2013)'e göre; deneysel çalışmalar sonucu bulunan ve aşağıda verilen ampirik bağıntıdan hesaplanır [73,74]:

$$Z = 15 + 0,5 \frac{D_r}{D_j} \quad (4.21)$$

Özdemir, M.T., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., (2011)'e göre; belirtilen kepçe sayısı hesabı [40]:

$$Z = 0,5 \frac{\pi D_r}{D_j} \quad (4.22)$$

eşitliğinden hesaplanır.

D_j : Su jetinin çapı (m)

D_r : Çark çapı (m)

(4.21) numaralı denklemden kepçe sayısı,

$$Z = 15 + 0,5 \frac{D_r}{D_j} = 15 + 0,5 \frac{1,18}{0,098} = 21$$

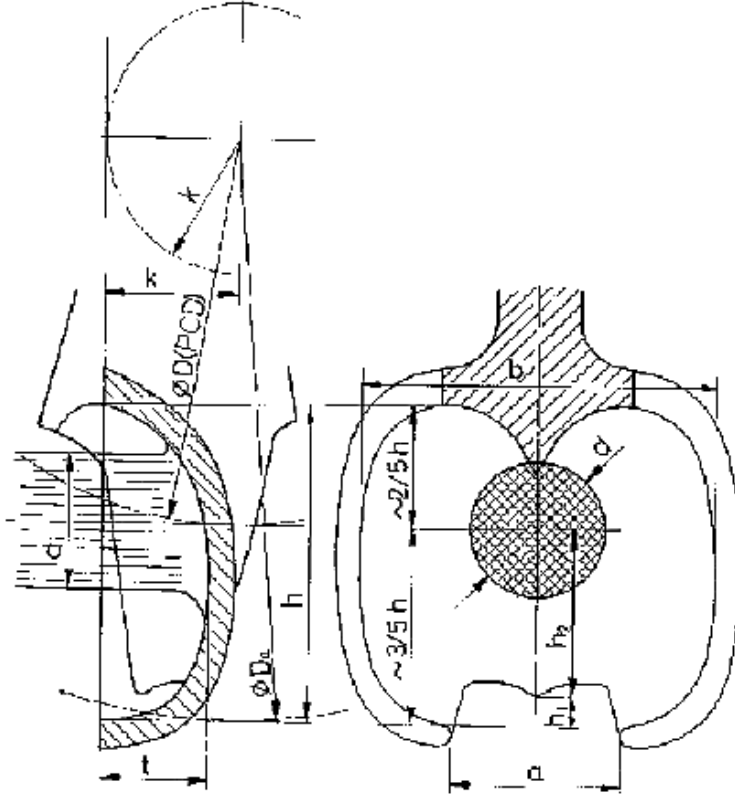
bulunur.

(4.22) numaralı denklemden kepçe sayısı,

$$Z = 0,5 \frac{\pi D_r}{D_j} = 0,5 \frac{\pi \times 1,18}{0,098} = 19$$

bulunur

4.3.11 Kepçe boyutları



Şekil 4.3: Pelton türbin kepçesinin boyutları [40].

Kepçe genişliği b (m):

Su jeti çapı ile, kepçe genişliği arasında kullanılan bağıntı ampirik olarak;

$$3,1 > \frac{b}{D_j} \geq 3,4 \quad (4.23)$$

olmaktadır [73].

Kepçe genişliği, aynı zamanda püskürtücü sayısına bağlıdır.

Tablo 4.3: Püskürtücü sayısına göre kepçe genişliği ampirik bağıntısı [73].

Püskürtücü Sayısı	b (Kepçe Genişliği)
1	$b = 3,1 D_j$
2	$b = 3,2 D_j$
4-5	$b = 3,3 D_j$
6	$b > 3,3 D_j$

2 püskürtücü için Tablo 4.3'te verilen $b = 3,2 D_j$ eşitliğinden kepçe genişliği;

$$b = 3,2 \times 0,098 = 0,313 \text{ m}$$

bulunur.

Kepçe uzunlukları h (m):

$$h = (2,1 - 2,7) D_j \quad (4.24)$$

$$h_1 = (0 - 0,35) D_j \quad (4.25)$$

$$h_2 = (0,85 - 1,5) D_j \quad (4.26)$$

(4.24) numaralı denklemden h ;

$$h = 2,4 \times 0,098 = 0,235 \text{ m}$$

(4.25) numaralı denklemden h_1 ;

$$h_1 = 0,25 \times 0,098 = 0,0245 \text{ m}$$

(4.26) numaralı denklemden h_2 ;

$$h_2 = 1,19 \times 0,098 = 0,1166 \text{ m}$$

değerleri bulunur.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi; $h_1 + h_2 = 3/5 h$ 'tir.

Kepçe derinliği t (m):

Özdemir, M.T., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., (2011)'e göre [40]:

$$t = 0,9 D_j \quad (4.27)$$

t (m) kepçe derinliği Thake, J., (2000)'e göre (4.28) eşitliği ile hesaplanır [67]:

$$t = 1,2 D_j \quad (4.28)$$

(5.27) numaralı denklemden kepçe derinliği;

$$t = 0,9 D_j = 0,9 \times 0,098 = 0,088 \text{ m}$$

bulunur.

Kepeenin uç açıklık genişliği a (m) [40]:

$$a = 1,2 D_j \quad (4.29)$$

(4.29) numaralı denklemden;

$$a = 1,2 D_j = 1,2 \times 0,098 = 0,117 \text{ m}$$

bulunur.

Kepeenin ofseti K (m) [40]:

$$K = (0,1 - 0,17) D_j \quad (4.30)$$

(4.30) numaralı denklemden;

$$K = 0,17 \times 0,098 = 0,0166 \text{ m}$$

bulunur.

Kepeenin moment kolu uzunluğu L_{ab} (m):

$$L_{ab} = 0,195 D_r \text{ (m)} \quad (4.31)$$

(4.31) numaralı denklemden;

$$L_{ab} = 0,195 D_r = 0,195 \times 1,18 = 0,23 \text{ m}$$

bulunur.

Çark merkezine kütleinin kepece merkezinin yarıçapı R_{br} (m):

$$R_{br} = 0,47 D_r \text{ (m)} \quad (4.32)$$

(4.32) numaralı denklemden;

$$R_{br} = 0,47 D_r = 0,47 \times 1,18 = 0,55 \text{ m}$$

bulunur.

Kepece hacmi V_b (m^3):

$$V_b = 0,0063 D_r^3 \text{ (m}^3\text{)} \quad (4.33)$$

(4.33) numaralı denklemden kepçe hacmi;

$$V_b = 0,0063 D_r^3 = 0,0063 \times 1,18^3 = 0,010 \text{ m}^3$$

bulunur.

Kepçe ağırlığı M_b (kg):

$$M_b = \rho_m V_b \text{ (kg)} \quad (4.34)$$

ρ_m : Kepçe malzemesinin yoğunluğu, (304 paslanmaz çelik, 8000 kg/m³)

(4.34) numaralı denklemden kepçe ağırlığı;

$$M_b = 8000 \times 0,010 = 80 \text{ kg}$$

bulunur.

4.3.12 Cebri boru tasarımı

Baraj gölü ile türbinler, yükleme odası ile türbinler veya denge bacası ile türbinler arasındaki basınçlı borulara cebri boru denir. Cebri boru malzemesi, sürtünme kaybı düşük ve yüksek basınca dayanıklı olmalıdır.

Cebri boru kalınlığı potansiyel su darbesi etkisine dayanıklı olarak seçilmelidir. Su darbesi, boru sistemindeki su hızının hızla değişmesinin neden olduğu basınç dalgalanmasıdır [67].

Thake, J., (2000)'e göre cebri boru kalınlığı (t_p) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [67]:

$$t_p = \left[\left(\frac{D_{pt} + 508}{400} \right) + 1,2 \right] \times 10^{-3} \text{ (m)} \quad (4.35)$$

$$D_{pt} = 2,69 \times \left(n_p^2 \times Q_t^2 \times \frac{L_{pt}}{H_b} \right)^{0,1875} \text{ (m)} \quad (4.36)$$

n_p : Cebri boru Manning faktörü

L_{pt} : Türbin ve giriş arasındaki cebri boru uzunluğu (m)

Cofcof, Ş., (2008)'e göre cebri boru kalınlığı (t_p), (4.37) numaralı denklem ile hesaplanır [75].

$$t_p = \left(\frac{H_b D_{pt}}{20 \sigma \eta} \right) \text{ (mm)} \quad (4.37)$$

D_{pt} : Türbine bağlı cebri boru çapı (m)

η : Kaynak verimi (0,95)

σ : (s_t 37 akma gerilmesi) $\times \frac{2}{3} = 1,47 \text{ t/cm}^2$

Hesapla bulunan cebri boru kalınlığına (t_p), 2 mm pas payı ilave edilir.

Cebri boru kalınlığı (t_p), (4.37) numaralı denklemden;

$$t_p = \left(\frac{340,79 \times 0,90}{20 \times 1,47 \times 0,95} \right) + 2 = 12,9 \text{ mm}$$

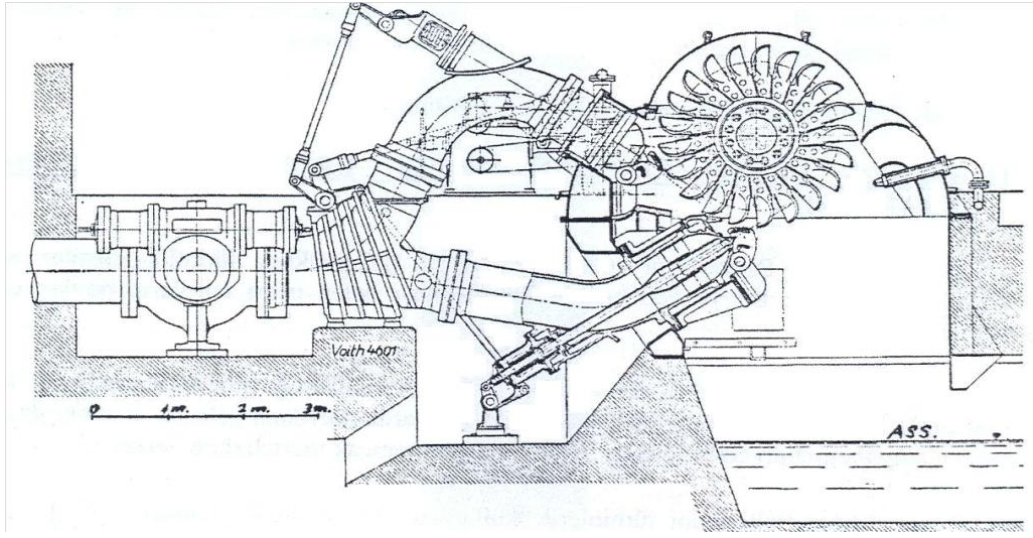
bulunur.

4.3.13 Maksimum türbin veriminin hesaplanması

Türbin verimi genellikle üç faktörden etkilenir:

- I. Keçede akış düzensizliği nedeniyle meydana gelen hidrolik kayıplar ya da güç kayıpları.
- II. Keçelerin hareketi sırasında hava direnci nedeniyle meydana gelen rüzgârlama kayıpları
- III. Türbinden jeneratöre güç aktarımı sırasında meydana gelen mekanik kayıplar. Eğer türbin direkt olarak jeneratöre bağlı olursa, türbinde mekanik kayıplar meydana gelmez.

Şekil 4.4' te Pelton düzeleri ile su demeti saptırıcılarının genel görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Pelton düzeleri ile su demeti saptırıcılarının genel görünümü [76].

Türbine giren güç:

$$P_{ti} = \frac{\rho_w Q_t V_j^2}{2} \text{ (W)} \quad (4.38)$$

(4.38) numaralı denklemden;

$$P_{ti} = \frac{\rho_w Q_t V_j^2}{2} = \frac{1000 \times 1,2 \times 79,13^2}{2} = 3757 \text{ kW}$$

bulunur.

Türbin tarafından oluşturulan çıkış gücü:

$$P_{to} = \rho_w Q_t V_{tr} [(V_j - V_{tr})(1 + \psi \cos(\phi))] \text{ (W)} \quad (4.39)$$

ψ : Keççe pürüzlülük katsayısı ($\cong 0,98$)

ϕ : $180 - \theta$

θ : Jet ve keççe arasındaki sapma açısı ($160^\circ \rightarrow 170^\circ$)

(4.39) numaralı denklemden;

$$\begin{aligned} P_{to} &= \rho_w Q_t V_{tr} [(V_j - V_{tr})(1 + \psi \cos(\phi))] \\ &= 1000 \times 1,2 \times 37,19 \times [(79,13 - 37,19)(1 + 0,98 \cos(180 - 165))] \end{aligned}$$

$$P_{to} = 3643 \text{ kW}$$

bulunur.

Türbinin hidrolik verim:

$$\eta_{th} = \frac{P_{to}}{P_{ti}} = \frac{2V_{tr}(V_j - V_{tr})(1 + \psi \cos(\phi))}{V_j^2} \quad (4.40)$$

$$\theta = 160^\circ \rightarrow 170^\circ \quad (4.41)$$

$$\frac{d(\eta_{th})}{d(V_{tr})} = 0 \text{ ya da } V_{tr} = 0,5 V_j \quad (4.42)$$

Türbinin hidrolik verimi (4.40) numaralı denklemden;

$$\eta_{th} = \frac{P_{to}}{P_{ti}} = \frac{3643}{3757} = 0,969$$

bulunur.

Maksimum hidrolik verim:

$$\eta_{th(max)} = \frac{[1 + \psi \cos(\phi)]}{2} \quad (4.43)$$

(4.43) numaralı denklemden;

$$\eta_{th(max)} = \frac{[1 + \psi \cos(\phi)]}{2} = \frac{[1 + 0,98 \times \cos(180 - 165)]}{2} = 0,973$$

bulunur.

Türbin rüzgârlama verimi:

$$\eta_{tw} = 1 - \frac{K_d \rho_a A_b C_x^3}{\rho_w A_j} \quad (4.44)$$

K_d : Sürtünme katsayısı

ρ_a : Havanın yoğunluğu ($1,23 \text{ kg/m}^3$)

A_b : Cebri boru çevresel alanı (m^2)

4.3.14 Toplam türbin verimi

Toplam türbin verimi, geri sıçrama, uniform olmayan kepçe akışı, rüzgârlama kaybı

ve rulmandaki sürtünmeler nedeniyle maksimum teorik verimden daha düşüktür. Hız artışıyla birlikte sürtünme ve rüzgârlama kaybı da hızla artar. Büyük makinelerde genellikle %85-90 verim elde edilebilmektedir. Yüksek verim elde edebilmek için, kepçelerin tasarımı uygun ve yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır. Eğer türbin jeneratöre direkt bağlı ise mekanik kayıplar ihmal edilebilmektedir [74].

$$\eta_t = \eta_{th}\eta_{tw}\eta_{tm} \quad (4.45)$$

η_{tm} : Türbin mekanik verimi

Toplam türbin verimi (4.45) numaralı denklemden hesaplanır. Proje şartlarımız için mekanik kayıplar ve rüzgârlama verimi yaklaşık 0,98 olarak kabul edilmiştir.

$$\eta_t = \eta_{th}\eta_{tw}\eta_{tm} = 0,969 \times 0,98 \times 0,98 = 0,93$$

bulunur.

4.3.15 Türbin tarafından oluşturulan dönme momenti

$$T_t = \frac{P_{to}}{\omega} = Q_t D_r (V_j - V_{tr}) \text{ (N.m)} \quad (4.46)$$

(4.46) numaralı denklemden;

$$T_t = \frac{P_{to}}{\omega} = Q_t D_r (V_j - V_{tr}) = 1,2 \times 1,18 (79,13 - 37,19) = 59,38 \text{ N.m}$$

bulunur.

Tablo 4.4: Pelton türbini tasarımında elde edilen değerler.

H_b	340,79 m
H_n	332,31 m
Q̇	2,4 m ³ /s
V_r	3,77 m/s
A_r	0,635 m ²
D_{pt}	0,90 m
L_{pt}	640 m
Q̇ (1ünite debisi)	1,2 m ³ /s
P_{ti} (1 Pelton gücü)	3757 kW

n_j	2
N_q	8,46 d/d
N_s	25,92 d/d
N_s	29,49 d/d
N	600 d/d
V_j	79,13 m/s
D_r	1,18 m
Q_n	0,596 m ³ /s
V_{tr}	37,19 m/s
A_j	7,54 x10 ⁻³ m ²
D_j	0,098 m
X_{nb}	0,737 m
X_{nr}	0,062 m
b	0,313 m
h	0,235 m
h₁	0,0245 m
h₂	0,1166 m
t	0,088 m
a	0,117 m
K	0,166 m
L_{ab}	0,23 m
D_{pn}	0,636 m
L_n	0,68 m
R_{br}	0,55 m
V_b	0,010 m ³
M_b	80 kg
t_p	12,9 mm
Z	21
T_t	59,38 N.m
P_{ti}	3756,9 kW
P_{to}	3643 kW

η_{th}	0,969
$\eta_{th(max)}$	0,973
η_{tw}	0,98
η_{tm}	0,98
η_t	0,93

5. SONUÇ

Enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılmasında, Ülkemizde hali hazırda bulunan mevcut teknolojilerin kullanımının artırılması gerekmektedir. Bu teknolojiler içerisinde, hidroelektrik santrallerde enerji üretimi diğer santrallere göre hem daha ucuz hem de çevreye etkisi en az olanıdır. Bu tez kapsamında tasarlanan 7 MW Pelton Hidro Türbini, kapasitesi yönünden Küçük Hidroelektrik Santraller sınıfına girmektedir. Küçük Hidroelektrik Santraller için hidrolik türbin seçiminde, türbinin hangi düşü ve debide nasıl bir karakteristiğe sahip olacağının bilinmesi gereklidir ve türbin boyutları, maliyet, imalat, bakım ve onarım özellikleri de türbin seçiminde önemli etkenlerdir.

Bu tez çalışması, Türkiye’de tasarım ve üretimi olmayan Pelton türbinlerinin dizayn prensiplerinin ortaya konulması ve bir uygulama üzerinde gösterilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında, suyun kinetik enerjisinden enerji üretimi sağlayan Pelton tipi türbinin tasarım algoritması detaylı olarak verildi.

Yapılan dereiçi HES uygulamasın da, brüt 340,79 m, net 332,31 m düşü ve toplam 2,4 m³/s debide, çark milinin jeneratörün her iki tarafından çıkarılmasıyla aynı jeneratöre bağlı 2 adet Pelton çarkı hesabı yapıldı. Sonuç olarak; 1,2 m³/s ünite debisi ve 600 d/d devir sayısı ile 1 adet Pelton çarkının gücü % 93 verimle 3757 kW, 2 adet Pelton çarkının gücü 7514 kW olarak bulundu.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Hidroelektrik Enerji Raporu 2012. adres@ http://www.mgm.gov.tr/files/imgtemp/hes-raporu_2402.pdf. Alındığı tarih: 05.04.2014
- [2] Koç, E., Şenel, M. C. (2013). “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme,” Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 32-44., Alındığı tarih: 11.12.2013.
- [3] Ünver, Ü. ve Yazıcı, Y. (2014) “Potential of Small Hydro Power of Turkey”, Uluslararası Enerji ve Güvenlik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1 sf 101-117, Eylül 2014, Kocaeli
- [4] Kavak, K., (2005), “Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, Uzmalık Tezi, Eylül 2005, Alındığı tarih: 19.12.2014
- [5] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, “Türkiye Elektrik Enerjisi 10 yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu, 2009. adres@ www.teias.gov.tr/KAPASITEPROJEKSİYONU2009.pdf. Alındığı tarih: 05.04.2014
- [6] Bulgurcu, H., İlten, N., Caner, İ. ve Kon, O., (2013), Bir Endüstriyel Tesisteki Pvc Kalıp Soğutma Sisteminin Enerji Analizi ve İyileştirilmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan, İzmir 2013.
- [7] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Enerji Raporu 2011”, ISSN: 1301-6318, Ankara, Aralık 2011. Alındığı tarih: 07.07.2014 adres @ <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjiraporu2012.pdf>
- [8] Temiz Enerji Yayınları Hidrojen Enerjisi, adres @ http://habitatalkinma.org/dl/kaynaklar/yayin/TemizEnerjiYayinlari/Y_O_Hidrojen.pdf Alındığı tarih: 12.12.2014
- [9] Duymuş, E., ve Ertöz, A.Ö., “Mini ve Mikro Düzeyde Hidrolik Enerjiden Yararlanma Yolları”, Vansan Makine Sanayi, ARGE Bölümü, adres@ <http://www.vansan.com.tr/docs/hidrolik.pdf>. Alındığı tarih: 08.04.2013
- [10] Özdabak, A., “Sanayide Enerjinin Verimli Kullanılması”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, 17-19 Aralık 2008, İstanbul, Alındığı tarih: 01.01.2015
- [11] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı “Enerji ve Tabii Kaynaklar Kamu Araştırma Programı”, Mayıs 2005, adres @ http://www.solar-bazaar.com/menus/Turkiye_Ulusal_Enerji_ve_Tabii_Kaynaklar_Arastirma_Programi_MAYIS-2005..pdf, Alındığı tarih: 02.01.2015

- [12] Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Faaliyet Raporları 2012. adres@ http://www.epdk.gov.tr/documents/strateji/rapor_yayin/yillik_faaliyet_raporlari/Sgb_Rapor_Yayin_Yillik_Faaliyet_Raporlari_2012.pdf. Alındığı Tarih: 10.04.2014
- [13] **Bobat, A.**, “HES Projelerinde 3E İlişkileri”, Kocaeli Üniversitesi, adres@ <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjikongresi12/7-AlaeddinBobat.pdf>, Alındığı tarih: 02.01.2015
- [14] **Demir, M.**, (2013), “Enerji İthalatı Cari Açık İlişkisi, Var Analizi İle Türkiye Üzerine Bir İnceleme”, Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, Yıl 5 Sayı 9, Kasım 2013, Alındığı tarih: 06.01.2015
- [15] **T.C. Milli Eğitim Bakanlığı** “Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi” 522EE0421, Ankara, 2012, adres@ <http://www.solar-academy.com/menus/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri-Kaynaklari-Onemi.164622.pdf>, Alındığı tarih: 02.01.2015
- [16] **Türkiye’de Genel Enerji Durumu ve Sanayinin Yapısı**, adres@ <http://www.turhancoban.com/kitap/enerji.pdf>, Alındığı tarih: 06.01.2015
- [17] **Hidroelektrik Enerji**, adres @ http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/hidro_elektrik_enerji_2.pdf, Alındığı tarih: 08.04.2013
- [18] Su döngüsü, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://turkoted.org/menu_detay.asp?kid=12&akid=2&akid2=&id=28
- [19] **TMMOB Hidroelektrik Santraller Raporu**, Ekim 2011, adres:@ http://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/682384b57999789_ek.pdf, Alındığı tarih: 06.01.2015
- [20] **Mühendislik Danışmanlık Eğitim Üretim Ticaret ve Sanayi A.Ş.**, Hidroelektrik Enerji ve Türbinler, adres@ <http://www.teknotasarim.com/> Alındığı tarih: 08.04.2013
- [21] Hidroelektrik santral, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ <http://www.alternaturk.org/hidro.php>
- [22] **Yıldız, D.**, Türkiye’nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Politikaları, Mart 2007, Stratejik Analiz, adres@ http://topraksuenerji.org/haberler/Turkiye_nin_Hidroelektirik_Enerji_Potansiyeli_ve_Politikalari.pdf, Alındığı tarih: 11.12.2013
- [23] **T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü**, “Faaliyet Raporu 2012”, adres@ <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2012-faal%C4%B1yet-raporu.pdf?sfvrsn=2>, Alındığı tarih: 05.03.2014
- [24] **Kaya, T.**, (2011), “Türkiye’de Su Gücü ve Küçük Hidroelektrik Santraller”, NEÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 1, sf 207-238,

- [25] Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ. ve Evcimen T.U., (2012) “Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış”, IMO Su Yapıları Kurumu, TMH-471, 2012, adres@ http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d8c5e9986a1c41b_ek.pdf?dergi=260 , Alındığı tarih: 12.12.2013.
- [26] Yılmaz, Ö., ve Kösem, L., (2011), Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Kullanımı ve Dışa Bağımlılığı, İzmir 2011, adres @ <http://www.solar-academy.com/menus/Turkiye-de-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklari.160920.pdf>, Alındığı tarih: 04.04.2013.
- [27] Hidroelektrik potansiyel, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://www.barajguvenligi.org/genel_hidro.htm
- [28] Ürker, O., “Türkiye’de Hidroelektrik Santraller’in Durumu (HES’ler) ve Çevre Politikaları Bağlamında Değerlendirilmesi”, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2012, Alındığı tarih: 02.01.2015.
- [29] Adres @ http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrik_santrali Alındığı tarih: 02.12.2014
- [30] Gölbaşı, H., (2010), “Karadeniz Bölgesi Küçük Hidroelektrik Santralleri ve Potansiyel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Ekim 2010, Zonguldak, Alındığı tarih: 10.04.2014
- [31] Elçi, M., “Türkiye’deki Hidroelektrik Santraller ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi (Endüstriyel Teknoloji Eğitimi), Mayıs 2004, Ankara, Alındığı tarih: 02.12.2014
- [32] Erdem, M., (2006), “Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tasarım Ölçütleri”, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2006, Denizli, Alındığı tarih: 07.04.2014
- [33] Enerji nakil hattı, adres@ <http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/enerji-iletim-hatlari/4176#ad-image-0> , Alındığı tarih: 06.01.2014
- [34] Adres@ <http://www.elektrikport.com/sector-rehberi/hidroelektrik-santrallerinin-calisma-prensibi/8639#ad-image-0> , Alındığı tarih: 06.01.2015
- [35] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.adres@http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx . Alındığı tarih: 01.12.2014
- [36] Tutuş, A., Hidroelektrik Santraller ve AR-Ge, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu- Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği ,2008, Ankara, adres@ http://www.emo.org.tr/ekler/26356d4802a1bfc_ek.pdf , Alındığı tarih: 16.04.2013
- [37] Özbay, E., (2009), “Küçük Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi ve Benzetimi”, Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Elazığ (2009), Alındığı tarih: 15.12.2014
- [38] Enerjisa İçin Gerçekleştirilen HES İşletmesi Temelleri Kısa Kursu, 29-30 Nisan, 2014, adres@ http://mvtenerji.com/wp-content/uploads/2014/06/kurs_notlar%C4%B1_EnerjiSA02.pdf , Alındığı Tarih 12.01.2015

- [39] **Çimenci, V.**, (2011), “Küçük Hidroelektrik Santraller ve Dere Yatağında Bırakılması Gereken Can Suyu Miktarı”, Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2011, Alındığı tarih: 10.04.2014.
- [40] **Özdemir, M.T., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M.**, (2011), Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkanlarla Değerlendirilmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011, Elazığ Türkiye, Alındığı tarih: 08.04.2013
- [41] **Tutuş, A. ve Pasin, S.**, “Pompa Depolamalı Hidroelektrik Santaller”, adres @ [http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji kongresi 10/aylatutus.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/aylatutus.pdf) , Alındığı tarih: 09.01.2015.
- [42] Pompaj depolamalı hidroelektrik santral, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ <http://xn--nallhan-ufb.com/nallihana-pompaj-depolamali-hes-projesi/>
- [43] **Adıyaman, Ç.**, (2012) Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Niğde 2012, Alındığı tarih: 12.12.2014
- [44] **Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü**, Mart 2011, Ankara, adres@ [http://www.ybtenerji.com/uploads/9/7/5/9/9759145/cevre temiz enerji.pdf](http://www.ybtenerji.com/uploads/9/7/5/9/9759145/cevre_temiz_enerji.pdf), Alındığı tarih: 12.12.2014
- [45] **Buttanrı, B.**, “Türkiye’de Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tarihsel Gelişimi ve Bugünkü Durum”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mayıs 2006. Alındığı tarih: 12.12.2014
- [46] **Karayılan, M.**, “Feasibility Assessment Of Small Hydropower Projects”, Master Thesis, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences, P: 82, Gaziantep, November 2011.
- [47] **Korkmaz, O.**, "A Case Study on Feasibility Assessment of Small Hydropower Scheme" Master Thesis. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University. p. 147, Ankara. December 2007.
- [48] **Çalamak, M.**, “Investigation Of Water hammer Problems In The Penstocks Of Small Hydropower Plants”, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University P: 157, Ankara, September 2010.
- [49] **Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü**, “Türkiye Elektrik Enerjisi 10 yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu, 2012”. adres@ [http://www.epdk.gov.tr/documents/elektrik/rapor_vayin/Elk Yayin Uretim Kapasite Projeksiyonu 2012 2021.pdf](http://www.epdk.gov.tr/documents/elektrik/rapor_vayin/Elk_Yayin_Uretim_Kapasite_Projeksiyonu_2012_2021.pdf). Alındığı tarih: 05.10.2014
- [50] **Aslan, Y., Yaşar, C. ve Karabörk, M.Ç.**, “Bir Mikro-Hidro Örneği: Kayaboğazı Barajı, adres@ [http://www.researchgate.net/publication/3714025 A rugged simplistic reliable micro hydro generation system](http://www.researchgate.net/publication/3714025_A_rugged_simplistic_reliable_micro_hydro_generation_system), Alındığı tarih: 19.12.2014

- [51] **Demirhan, A.Y.**,(2006) “Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi 2006, İstanbul, Alındığı tarih: 08.04.2013
- [52] **Özbay, E., ve Gençoğlu, M.T.**, (2009), Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, YEKSEM 2009 Haziran, Diyarbakır, adres@ http://www.emo.org.tr/ekler/c85deffa0b8b7a7_ek.pdf, Alındığı tarih: 08.04.2013
- [53] Francis türbini, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine
- [54] Francis türbin çarkı, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ <http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www.alternaturk.org/image/francisB.jpg&imgrefurl=http://www.alternaturk.org/hidro.php&h=380&w=300&tbnid=iibGFxtxDnpYOM:&zoom=1&doid=85wVyZUaCBx6UM&ei=jxXSVMLmB4yvUcrzguAH&tbnid=isch&ved=0CCYQMygLMAs>
- [55] Kaplan türbin çarkı, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://canmustafa57.tripod.com/hidro_e_index.htm
- [56] Kaplan türbini, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ <http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www.temsan.gov.tr/Images/kaplan.jpg&imgrefurl=http://www.temsan.gov.tr/turbin.aspx&h=415&w=405&tbnid=L0bsmb9VwsC86M:&zoom=1&doid=yIOMoA1p4C2oZM&ei=0jbSVJXOPMOrU-vzg4gN&tbnid=isch&ved=0CBkQMygAMAA>
- [57] Hidrolik makinalar deneysel uygulamaları, adres@ <http://bys.trakya.edu.tr/file/open/94497868> Alındığı tarih: 24.07.2014
- [58] Pelton türbini, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://en.wikipedia.org/wiki/Pelton_wheel
- [59] **Yerebakan, M.**, Mikro Enerji Santralleri, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2008-39, İstanbul, 2008 adres@ <http://www.ito.org.tr/itoyayin/0019355.pdf> , Alındığı tarih: 06.01.2015
- [60] Turgo türbini, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ <http://www.renewablesfirst.co.uk/hydro-learning-centre/pelton-turgo-turbines/>
- [61] Cross-flow turbine , Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine
- [62] Non-conventional turbines michell banki turbine, Alındığı tarih: 31.01.2015, adres@ http://www.cerpch.unifei.edu.br/en/michell_banki.php
- [63] **Küçükbeycan, M.**, Küçük Hidroelektrik Projelerin Ön Yapılabilirlik Analizi İçin Retscreen Karar Destek Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2008, Alındığı tarih. 02.01.2015

- [64] **Paish, O.**, “Small hydro power: technology and current status”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, sf 537-556, Şubat 2002, Alındığı tarih: 02.01.2015
- [65] **Özaktürk, M., Yanıkoğlu, E., Çavuş, T.F. ve Metin, A.**, Küçük Hidroelektrik Santralleri Gücünün Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini, adres@ http://www.emo.org.tr/ekler/2cdb13a83f73ccd_ek.pdf, Alındığı tarih: 12.12.2014
- [66] **Özdemir, M.T.**, (2002), “Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde Düşü, Debi, Yük ve Verim İlişkileri”, Yüksek Lisans Tezi 2002 Elazığ, Alındığı tarih: 18.09.2013
- [67] **Thake, J.**, The micro-hydro Pelton turbine manual, design, manufacture and installation for small-scale hydro power, ITDG Publishing, UK (2000).
- [68] **Olgun, H.**, (1999), “Mikro Ölçekli Hidrolik Su Türbinlerinin Yerel Uygulamalarda Kullanılması”, Bilim Günleri 5-6-7 MAYIS 1999, Makine Mühendisleri Odası Denizli Şubesi. Alındığı tarih: 12.12.2014
- [69] **Güner, E., Tör, O.B., Altın, M., Nadar, A.**, “Küçük Hidrolik Santrallerin Projelendirilmesinde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Bazı Temel Hususlar” adres@ http://www.emo.org.tr/ekler/1aac42920cb5e8e_ek.pdf, Alındığı tarih: 27.05.2013
- [70] **Özgür, C.** Su Makinaları Dersleri, Teknik Üniversite Matbaası Gümüşsuyu, Dördüncü baskı 1988, İstanbul.
- [71] **Özdemir, M.T., Orhan, A. ve Cebeci, M.**, (2004), “Çok Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tipinin Belirlenmesi”, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Mayıs 2004., Alındığı tarih: 08.12.2013
- [72] **GÜN-TAŞ Enerji Elektrik Üretim A.Ş.**, Dereiçi Regülatörü ve HES Revize Fizibilite Raporu Plansı, Ağustos 2010, Alındığı tarih: 05.08.2014
- [73] Hidroelektrik Santraller Dersi Ders Notları Bölüm 1. **Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER.** Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü. Yalova. 2014
- [74] **Nasir, B.A.**, Design of high efficiency Pelton turbine for micro-hydropower plant. International Journal of Electrical Engineering & Technology (Ijeet), Volume 4, Issue 1, 171-183 January- February (2013).
- [75] **Cofcof, Ş.**, (2008), Kanal Santrallerinde Su iletim Hattı ve Yükleme Havuzları, DOLSAR Müh. Ltd. Şti, Kasım 2008, Ankara.
- [76] **Başeşme, H.**, Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri. EÜAS Yayınları, Ankara (2003).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Yasemin YAZICI
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul-24.07.1990
E-Posta: yaseminyazicii@gmail.com
Lisans (2008-2012): Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü

Yayın ve Patent Listesi:

Ünver, Ü. ve Yazıcı, Y. (2014) "Potential of Small Hydro Power of Turkey", Uluslararası Enerji ve Güvenlik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1 sf 101-117, Eylül 2014, Kocaeli.