



GİRESUN  
ÜNİVERSİTESİ



# FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİNDE  
FRANCİS TÜRBİN TASARIMI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Volkan ÖZ  
20142108011  
Temmuz 2019**

GİRESUN

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

**BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİNDE  
FRANCİS TÜRBİN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Volkan ÖZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan ADATEPE**

**Temmuz 2019**

T.C.  
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİNDE  
FRANCİS TÜRBİN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Volkan ÖZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği**

**Bu tez 02/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**



**Doç. Dr.  
Hasan GEDİKLİ  
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.  
Hakan ADATEPE  
Üye**



**Doç. Dr.  
Onur Özdal MENGİ  
Üye**

**Doç. Dr.  
Bahadır KOZ  
Enstitü Müdürü**

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

  
Volkan ÖZ  
02/07/2019

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının hazırlanmasında öncelikle beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen beraber çalıőmaktan onur duyduğum, göstermiş olduğu bütün hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli tez danışmanım Doç. Dr. Hakan ADATEPE'ye, aynı şekilde beraber çalışma imkânı bulduğum ve desteğini gördüğüm Doç. Dr. Onur Özdal MENĐİ'ye, ayrıca zamanını ayırıp jüri hocalığını yapan çok değerli Doç. Dr. Hasan GEDİKLİ 'ye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan güven, sevgi ve desteklerini esirgemeyen başta babam olmak üzere annem ve sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
SUMMARY .....	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli .....	3
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Hidroelektrik Santral Tesisleri ve Görevleri .....	5
2.1.1. Baraj gövdesi ve gölü.....	5
2.1.2. Su alma tesisleri .....	6
2.1.3. Su yolları tesisleri.....	7
2.1.4. Denge bacası .....	7
2.1.5. Santral binası.....	7
2.1.6. Vanalar .....	8
2.1.7. Salyangoz .....	8
2.1.8. Ayar kanadı .....	8
2.1.9. Santral çıkış suyu kanalı.....	9
2.1.10. Şalt tesisleri .....	9
2.1.11. Dip savak tesisleri .....	9
2.1.12. Dolu savak tesisleri .....	9
2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	10
2.2.1. Ürettikleri enerjiye göre .....	10
2.2.1.1. Baz santraller.....	10

2.2.1.2. Pik santraller.....	10
2.2.2. Kurulu güç kapasitelerine göre .....	11
2.2.3. Düşülerine göre .....	12
2.2.3.1. Alçak düşülü santraller.....	12
2.2.3.2. Orta düşülü santraller .....	12
2.2.3.3. Yüksek düşülü santraller .....	12
2.2.4. Yapılarına göre.....	12
2.2.4.1. Yerüstü santralleri .....	12
2.2.4.2. Yeraltı santralleri.....	13
2.2.5. Su rezervuar durumuna göre .....	13
2.2.5.1. Depolamasız (nehir tipi) santraller.....	13
2.2.5.2. Depolamalı (barajlı) santraller .....	14
2.2.5.3. Pompaj depolamalı santraller.....	15
2.3. Hidrolik Türbinler .....	17
2.3.1. Hidrolik türbinlerin sınıflandırılması .....	17
2.3.1.1. Düşüye göre .....	17
2.3.1.2. Türbin çıkış gücüne göre .....	17
2.3.1.3. Türbin milinin durumuna göre .....	18
2.3.1.4. Suyun akış doğrultusuna göre .....	18
2.3.1.5. Suyun etki şekline göre .....	18
2.3.2. Aksiyon türbinleri .....	18
2.3.2.1. Turgo türbinleri .....	19
2.3.2.2. Banki türbini (Cross-flow veya Michell-Ossberger) .....	19
2.3.2.3. Pelton türbini .....	20
2.3.3. Reaksiyon türbinleri .....	22
2.3.3.1. Kaplan (Uskur) türbini .....	23
2.3.3.2. Francis türbini .....	24
BÖLÜM 3. YÖNTEM .....	28
3.1. Türbin Seçim Kriterleri .....	28
3.1.1. Türbin özgül hız .....	30
3.2. Türbin Gücünün Tespiti .....	32
3.3. Türbin Devir Sayısının Tayini .....	35

3.4. Türbin Verimi.....	35
3.5. Hız Üçgenleri .....	39
3.6. Boyutlandırma.....	42
3.6.1. Francis türbini salyangozu boyutlandırılması .....	42
3.6.2. Francis türbin çarkının boyutlandırılması .....	45
3.6.3. Francis türbini emme borusu boyutlandırılması .....	47
3.6.4. Francis türbinlerde çark kanat sayısının belirlenmesi.....	49
3.6.5. Ayar kanatları.....	50
3.7. Örnek Türbin Seçimi, Türbin Çarkı, Salyangoz ve Emme Borusu Boyutlandırması .....	53
3.7.1. Santral karakteristikleri .....	54
3.7.2. Türbin gücünün tespiti .....	54
3.7.3. Türbin tipinin seçimi .....	54
3.7.4. Türbin devir sayısı tayini .....	55
3.7.5. Türbin çarkı boyut hesabı.....	56
3.7.6. Türbin salyangoz boyut hesabı.....	57
3.7.7. Emme borusu boyut hesabı .....	59
BÖLÜM 4. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR .....	64
ÖZGEÇMİŞ .....	70



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\gamma$	: Suyun Özgül Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
$\eta_t$	: Türbin Verimi
$v_0$	: Suyun Ayar Kanadından Çıkış Hızı (m/sn)
$v_{0r}$	: 0 Noktasındaki Radyal Hız
$v_{0u}$	: 0 noktasındaki Çevresel Hız
$\rho$	: Su Yoğunluğu ((kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma_t$	: Kavitasyon Katsayısı
$\sigma_{kr}$	: Kritik Kavitasyon Katsayısı
$\omega$	: Açısal Hız (d/d)
$D_1$	: Çark Su Giriş Çapı (m)
$D_2$	: Çark Orta Kısım Çapı (m)
$D_3$	: Çark Çıkış Çapı (m)
$f$	: Sistem Frekansı (Hz)
$g$	: Yerçekimi İvmesi (m/s <sup>2</sup> )
$H_a$	: Atmosfer Basıncı (mss)
$H_d$	: Net Düşü (m)
$H_g$	: Hidrolik Düşü (m)
$H_n$	: Net Hidrolik Düşü (mss)
$H_s$	: Çark Ekseni ile Çıkış Suyu Seviyesi Farkı (m)
$H_v$	: Akışkanın Buharlaştırma Basıncı (mss)
$n_s$	: Türbin Özgül Hızı (d/d)
$N$	: Türbin Gücü (BG, kW)
$P$	: Suyun Harcadığı Güç (W)
$P_\zeta$	: Suyun Çark Çıkış Gücü (W)
$P_g$	: Suyun Çark Giriş Gücü (W)
$P_{kt}$	: Kutup Sayısı (adet)

Q	: Su debisi (m <sup>3</sup> /sn)
T	: Tork (N.m)
Z <sub>f</sub>	: Çark Kanat Sayısı
BG	: Beygir Gücü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
GWh	: Gigawatt Saat
HES	: Hidroelektrik Santral
kWh	: Kilowatt Saat
MWh	: Megawatt Saat
PDHES	: Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali
TWh	: Terawatt Saat
UNIDO	: Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Hidrolik Döngü .....	1
Şekil 1.2. Türkiye'nin Yıllara Göre Elektrik Tüketimi .....	2
Şekil 1.3. Türkiye'nin Yıllara Göre Kişi Başı Elektrik Tüketimi .....	2
Şekil 1.4. Hidroelektrik Santral .....	3
Şekil 2.1. Baraj Gölü ve Gövdesi .....	6
Şekil 2.2. Su Alma Tesisi.....	6
Şekil 2.3. Denge bacası görev şeması .....	7
Şekil 2.4. Salyangoz .....	8
Şekil 2.5. Dolu savak Tesisi .....	10
Şekil 2.6. Atatürk Barajı ve HES .....	11
Şekil 2.7. Depolamasız bir hidroelektrik santrali .....	13
Şekil 2.8. Depolamalı hidroelektrik santrali. ....	14
Şekil 2.9. Atatürk Barajı .....	15
Şekil 2.10. Pompaj Depolamalı HES Kesiti .....	16
Şekil 2.11. Turgo Türbini .....	19
Şekil 2.12. Banki Türbini .....	20
Şekil 2.13. Nozuldan çarka gönderilen su jeti .....	21
Şekil 2.14. Pelton türbini .....	21
Şekil 2.15. Kaplan Tipi Türbin .....	23
Şekil 2.16. Uskur Tipi Türbin .....	24
Şekil 2.17. Boru Tipi Kaplan Türbini .....	24
Şekil 2.18. Francis Türbini .....	25
Şekil 2.19. Türbin Salyangozu .....	26
Şekil 2.20. Türbin Ayar Kanadı .....	27
Şekil 3.1. Su Düşüsü .....	29
Şekil 3.2. Düşü ve debi değerlerine göre türbin seçim grafiği .....	30
Şekil 3.3. Yatay eksenli Francis türbinler için düşü-debi-devir ilişkisi .....	33

Şekil 3.4. Düşey eksenli Francis türbinler için düşü-debi-devir ilişkisi .....	34
Şekil 3.5. Hidrolik Türbinlerin Karakteristik Verim Eğrileri .....	37
Şekil 3.6. Girdap olayının optimum yüklerde davranışı .....	38
Şekil 3.7. Ayar kanadı çıkışı hız üçgeni.....	40
Şekil 3.8. 0 noktasındaki hız üçgeni .....	40
Şekil 3.9. Çarka giriş ve çıkışdaki hız üçgenleri.....	41
Şekil 3.10. 1 noktasındaki hız üçgeni .....	41
Şekil 3.11. 2 noktasındaki hız üçgeni .....	42
Şekil 3.12. Francis Türbin Çarkı D3 Çıkış Çapı .....	43
Şekil 3.13. Francis Türbin Salyangozu Ana Boyutları (üstten görünüş) .....	43
Şekil 3.14. Francis Türbin Salyangoz Kesiti.....	45
Şekil 3.15. Francis Türbin Çarkı Boyutları .....	46
Şekil 3.16. Francis Tipi Türbin Emme Borusu Boyutları .....	48
Şekil 3.17. Francis türbinleri için özgül devir sayısına göre çark kanat sayısı .....	50
Şekil 3.18. Kapalı Ayar Kanadı Şeması .....	51
Şekil 3.19. Türbin Ayar kanatları Şeması .....	52
Şekil 3.20. Türbin Çark Tipi Tayini.....	55
Şekil 3.21. Türbin Seçimine ait Excel formatında hazırlanan hesap tablosu.....	56
Şekil 3.22. Türbin Çarkı boyutlandırmasına ait Excel Hesap Tablosu.....	57
Şekil 3.23. Türbin Salyangoz boyutlandırmasına ait Excel hesap tablosu .....	59
Şekil 3.24. Emme Borusu boyutlandırmasına ait Excel hesap tablosu.....	61

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli .....	4
Tablo 3.1. Özgöl hıza (nq) göre türbin tipi seçimi .....	31
Tablo 3.2. 50 Hz frekansta kutup adetlerine göre devir sayıları .....	35
Tablo 3.3. Novalev Özgöl Devir Sayısı- Çark Kanat Sayısı İlişkisi .....	50
Tablo 3.4. Torul HES Karakteristik Tablosu .....	53

# BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİNDE FRANCİS TÜRBİN TASARIMI

## ÖZET

Teknolojinin gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaçta aynı paralelde artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Ülkemizde enerji kullanımını son yıllarda her yıl ortalama % 4,5 oranında artış göstermiştir. Türkiye'nin toplam yenilebilir enerji kurulu gücü 2018 rakamlarıyla % 50 seviyelerine ulaşmıştır. Her ne kadar yıllar geçtikçe oranı azalsa da hala % 50 oranında dışa bağımlılığımız sürmektedir. Dışa bağımlılığın azalmasında yenilebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payının artması gerekmektedir. Yenilebilir enerji kaynaklarından da Hidrolik enerji, yaklaşık olarak %68 ile yenilebilir enerji kaynakları arasında elektrik üretimi sağlama bakımından ilk sıradadır. Hidrolik enerji, hem enerji üretim maliyeti düşük hem de ülkemizdeki hidrolik potansiyelin fazla olması sebebiyle ilk tercih edilen enerji üretim yöntemidir.

Ülkemizdeki hidroelektrik santrallerinin tamamına yakını yabancı üretim olmakla beraber son yıllarda yerli üretim sanayinde çalışmalar yapılmaya başlanmış ancak henüz yeterli seviyeye ulaşamamıştır. Bu tez çalışması, Hidrolik santrallerde yaygın olarak kullanılan türbin tipi olan Francis türbin tasarımında, gerekli olan parametreleri ve ampirik ifadelerini, türbin tasarlarken nelerin bilinmesi gerektiği ve dikkat edilmesi gereken hususların neler olduğunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında Hidrolik santraller için çeşitli tanımlar, sınıflandırmalar, tez konusu olan Francis türbin tasarımı için karakteristik bilgiler ve Türbin Salyangoz, Çark ve Emme borusu boyutlandırma için gerekli parametreler verilmiş, bir hidroelektrik santralinde kullanılan türbin kısmının boyutsal hesaplaması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Francis Türbini, Hidroelektrik Santral

# FRANCIS TURBINE DESIGN IN A HYDROELECTRIC POWER PLANT

## SUMMARY

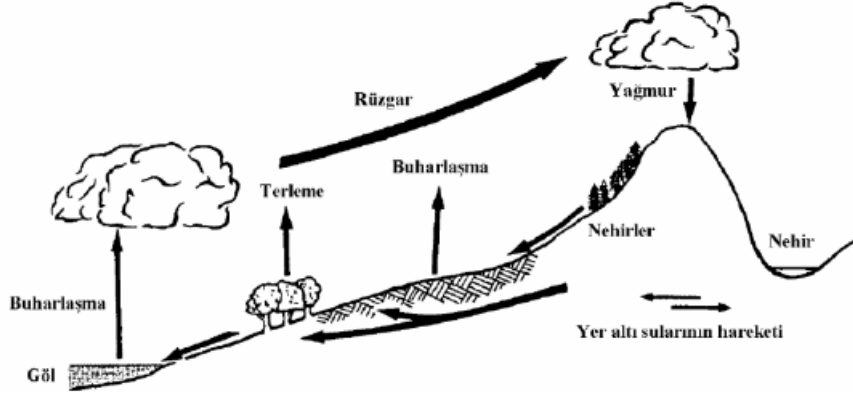
With the development of technology, the need for energy has increased same in parallel and continues to increase. Energy use in our country has increased by 4.5% on average every year in recent years. Turkey has reached a total installed capacity of renewable energy to 50% on 2018 year. Although the rate decreases over the years, we still have 50% dependence on foreign sources. The share of renewable energy sources in production should increase in order to reduce dependence on foreign sources. Among renewable energy sources Hydraulic energy, is at the forefront in terms of generating electricity between renewable energy sources with approximately 68%. Hydraulic energy is the first preferred energy production method due to the low energy production cost and the high hydraulic potential in our country.

Although almost all of the hydroelectric power plants in our country are foreign production, studies have started to be carried out in the domestic production industry in recent years, but they have not reached a sufficient level yet. In this thesis, Francis turbine design, which is widely used in hydraulic power plants, is designed to determine the necessary parameters and empirical expressions, what should be known when designing the turbine and what are the issues to be considered. Within the scope of the thesis, various definitions, classifications, characteristic information for Francis turbine design and parameters required for Turbine Spiral Case, Runner and Draft Tube sizing are given and dimensional calculation of turbine part used in a hydroelectric power plant is made.

**Keywords:** Francis Turbine, Hydroelectric Power Plant

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

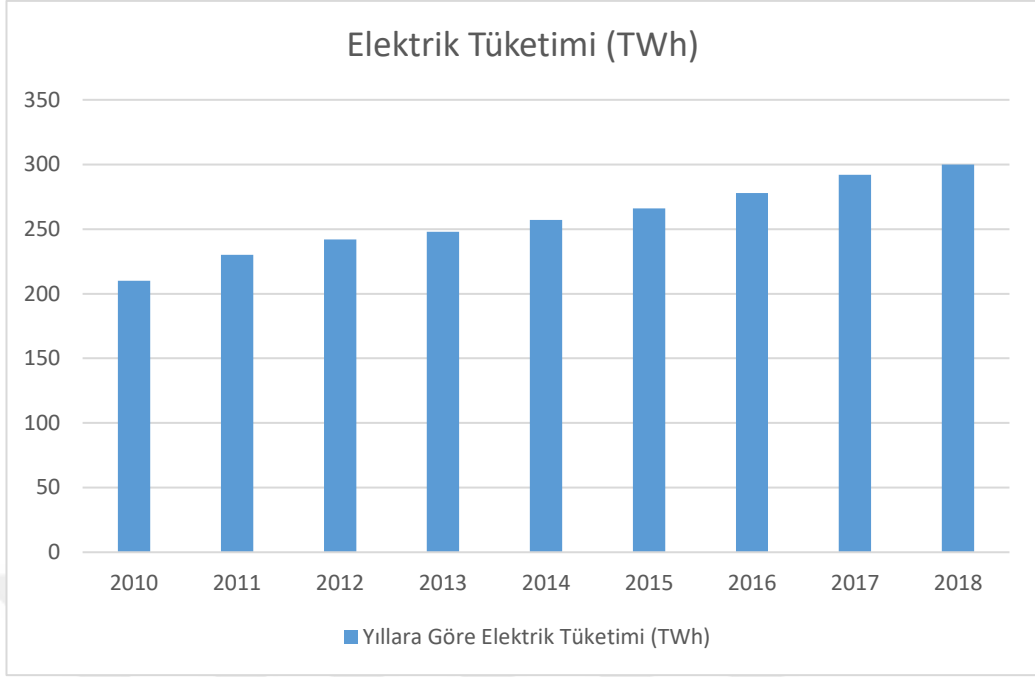
Dünya üzerinde bulunan enerji kaynakları güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkisinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji; su birikintileri ve akarsuların güneş enerjisine maruz kalmasıyla buharlaşıp, oluşan buharın yağmur ve kar halinde yeryüzüne ulaşması ve su kaynaklarını beslemesidir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi bir döngü şeklinde olan hidrolik enerji sürekli kendini yenileyebilen bir enerji kaynağıdır.



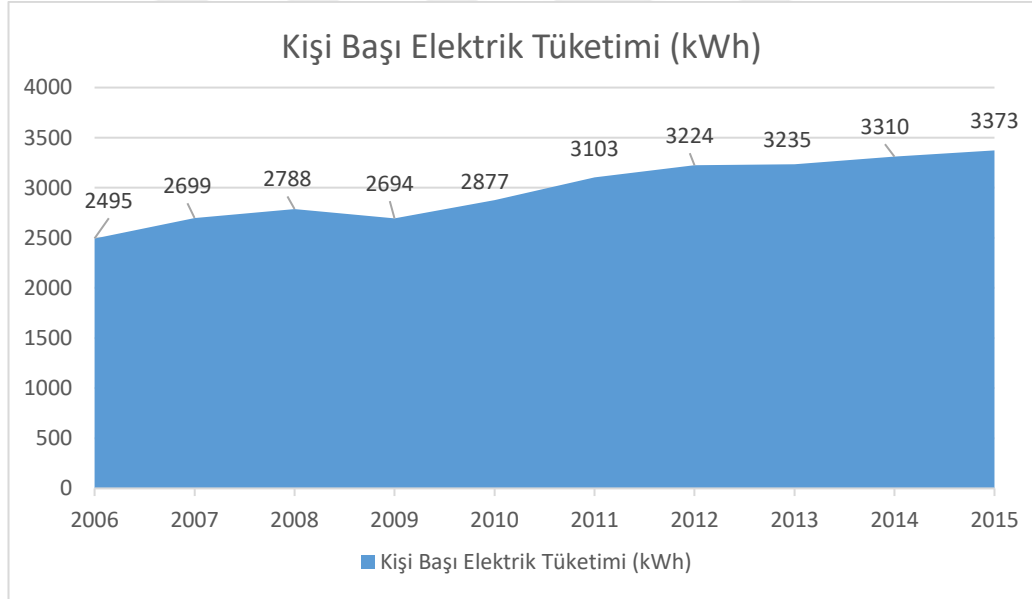
Şekil 1.1. Hidrolik Döngü [1]

Ülkelerin gelişmişlik seviyesinin, o ülkenin kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi ile belirlendiği ve elektrik enerjisi tüketiminin artmasıyla, o ülkenin ekonomik olarak kalkındığını ve refah seviyesinin yükseldiğini gösteren araştırmalar, elektrik enerjisinin insanlık için vazgeçilemez bir enerji çeşidi olduğunu belirtiyor. Şekil 1.2’de Türkiye’nin yıllık toplam elektrik tüketimi, Şekil 1.3’te ise kişi başına tüketilen elektrik miktarları gösterilmektedir.





Şekil 1.2. Türkiye'nin Yıllara Göre Elektrik Tüketimi [2]

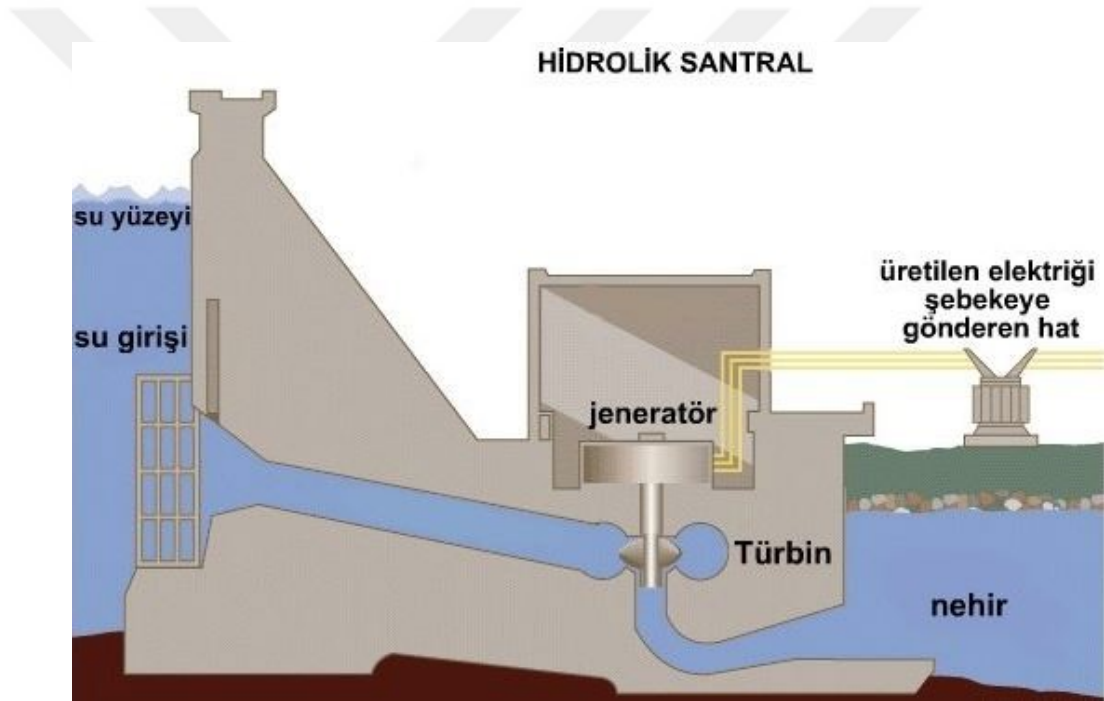


Şekil 1.3. Türkiye'nin Yıllara Göre Kişi Başı Elektrik Tüketimi [2]

Bu doğal Hidrolik döngüden yararlanarak elektrik enerjisi üretmek hem ekonomik hem de doğaya zarar vermeden üretilebilecek elektrik enerjisi metotlarının başında ve en verimlisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek yamaçlarda yağmur ve kar şeklinde biriken su aşağılara doğru aktıkça bir enerji ortaya çıkartır. İşte suyun doğal yollarla kendi kendine ortaya çıkarttığı bu enerjiye suyun Kinetik enerjisi diyoruz. Elektrik

enerjisi üretiminde suyun kinetik enerjisi çok önemlidir zira suyun Kinetik enerjisi ne kadar çok artarsa üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı da o kadar artabilecektir.

Hidroelektrik sistemlerde suyun kinetik enerjisinden faydalanılır. Su bir cebri boru vasıtasıyla yuksekten alınıp türbine verilerek türbini döndürmeye başlar. Yani suyun kinetik enerjisinden mekanik enerjiye dönüşüm olur. Türbin ile aynı ekseninde bulunan ve shaft adı verilen miller ile türbine bağlı bulunan jeneratörde aynı dönme hareketini kazanarak elektrik enerjisi üretir. Şekil 1.4'te hidroelektrik santralının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.4. Hidroelektrik Santral [3]

### 1.1. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE)'nin verilerine göre Türkiye'nin bürüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh civarındadır [3]. Bürüt hidroelektrik enerji; bir akarsu havzasının teorik hidroelektrik enerji üretiminin üst sınırını ifade etmektedir.

Bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin teknolojik üst sınırına ise teknik yönden değerlendirilebilir enerji potansiyeli denir. Ülkemizin teknik yönden değerlendirilebilir enerji potansiyeli ise 216 milyar kWh civarındadır [3].

DSİ verilerine göre Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya teknik potansiyelinin %2'ine, Avrupa teknik potansiyelinin ise %18'ine denk gelmektedir. Ülkemiz bu potansiyeli ile Avrupa ülkeleri içerisinde Rusya'dan sonra en büyük potansiyele sahip ikinci ülke konumundadır. Türkiye bu potansiyelin sadece % 45'ini geliştirebilmiştir [5]. Tablo 1.1'de Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli verilmiştir. Tablodaki verilere göre ülkemizin yaklaşık 1/3'lük elektrik potansiyeli hala kullanılmamıştır.

Tablo 1.1. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli [5]

<b>HES POTANSİYEL DURUMU</b>				
<b>Potansiyel</b>	<b>HES Adedi</b>	<b>Toplam Kurulu Kapasite (MW)</b>	<b>Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)</b>	<b>Oran (%)</b>
İşletmede	644	28.423	99.051	62,15
İnşaat Halinde	55	4.370	13.427	8,42
İnşaatına Henüz Başlanmayan	554	15.387	46.907	29,43
<b>Toplam</b>	<b>1.253</b>	<b>48.180</b>	<b>159.385</b>	<b>100</b>

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Hidroelektrik santral tesisleri, suyun Hidrolik akım enerjisini (kinetik enerji) elektrik enerjisine dönüştürmek ve sudan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan tesislerdir. Enerji miktarı suyun düşüsüne, miktarına ve dolaylı olarak debisine bağlıdır. Türbine gelen suyun düşü yüksekliği ve debisi üretilen güçü belirlemektedir [6]. Hidroelektrik santral tesisleri kurulacakları yerin topoğrafik durumuna göre çeşitli tiplerde ve şekillerde tesis edilirler [7].

### **2.1. Hidroelektrik Santral Tesisleri ve Görevleri**

#### **2.1.1. Baraj gövdesi ve gölü**

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi nehir suyunun depolanmasına ve su düşüsünün elde edilmesine hizmet eder. Düşü; bir hidroelektrik santralde türbinin kullanabileceği suyun en üst noktası ile en düşük noktası arasındaki farka denir. Düşünün fazla olması, suyun basınç enerjisini arttıracığından elde edilecek enerjinin yüksek olması anlamına gelmektedir.



Şekil 2.1. Baraj Gölü ve Gövdesi [8]

### 2.1.2. Su alma tesisleri

Baraj gölündeki veya nehir yatağındaki suyun su iletim tesislerine alınmasına ve gerektiğinde suyun iletim kanalına geçişinin kapatılması işlerini yapar. Şekil 2.2 de su alma tesisi ve ızgaraları gösterilmektedir. Bu ızgaralar su içerisinde bulunan büyük hacimli parçaların (ağaç parçası, kaya kütlesi vs) su iletim kanalına ve akabinde türbinlere ulaşmasına mani olmaktadır.



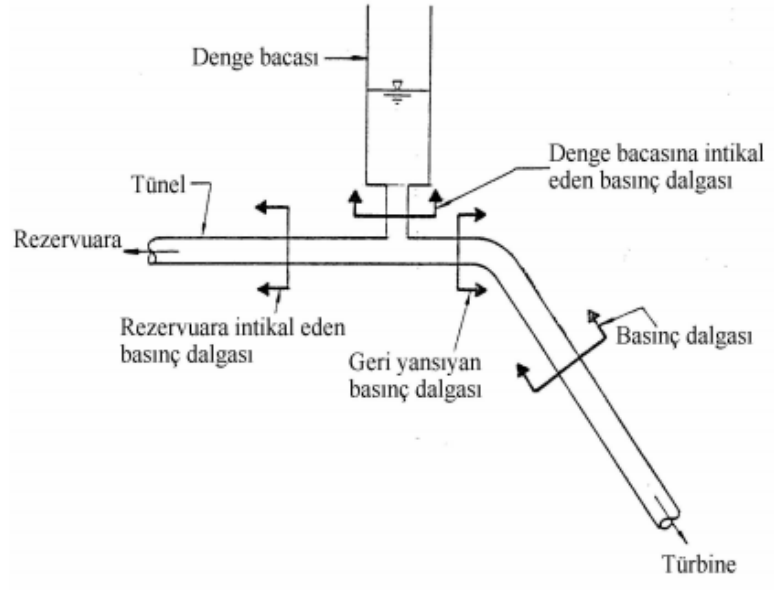
Şekil 2.2. Su Alma Tesisi

### 2.1.3. Su yolları tesisleri

Su iletim kanalı, basınçsız tünel, basınçlı tünel veya cebri boru vs. gibi su iletim tesisleri, suyun türbinlere iletilmesini sağlar.

### 2.1.4. Denge bacası

Hidroelektrik santral tesislerine ait basınçlı su iletim tüneli ve cebri borularda meydana gelecek ani basınç yükselmeleri ve düşmelerini (su koçu) sönmüleyecek cebri borunun ve basınçlı tünelin hasar görmelerini önleyen yapılardır. Denge bacası Şekil 2.3'de gibi sistemin en üst noktasına tesis edilir.



Şekil 2.3. Denge bacası görev şeması [6]

### 2.1.5. Santral binası

İçinde türbinler, jeneratörler ve yardımcı elektromekanik teçhizat ile kontrol-kumanda gibi elektrik teçhizatın bulunduğu ve enerjinin üretildiği yerdir.

### 2.1.6. Vanalar

Vanalar, akışkanın türbin sistemine girmeden önce uygun bir yere konumlandırılır. Görevleri türbin sistemine suyun girişini engellemektir. Ünitenin çalışmayacağı dönemde kapalı tutulur. Sızdırmaz özellikte olması istenir. Yüksek düşülü santrallerde küresel vana, alçak düşülü santrallerde kelebek vana tercih edilir.

### 2.1.7. Salyangoz

Salyangoz, cebri boruda hızını almış akışkanın türbin sistemine aynı basınçta iletilmesini sağlayan sistemdir. Akışkanın giriş tarafı çapı geniş, salyangozun bitiş tarafı çapı dardır. Kaplan ve Francis türbini kullanılan sistemlerde kullanılmaktadır. Türbin sistemine ait salyangoz şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Salyangoz [9]

### 2.1.8. Ayar kanadı

Salyangoz ve sabit kanatlardan çıkan suyun Türbin çarkına ulaşmasını sağlarlar. Ayar kanatları açıklığı ayarlanarak türbin çarkına giren suyun debisi ayarlanır.

### **2.1.9. Santral çıkış suyu kanalı**

Türbinlerden çıkan suyun santral binasını terk edip nehir yatağına ulaşmasını sağlayan kısımdır.

### **2.1.10. Şalt tesisleri**

Transformatörler, elektrik devre kesicileri, ayırıcılar, baralar, akım ve gerilim trafoları, parafudurlar vs gibi elektrik teçhizatlarının bulunduğu, santral binasında jeneratörlerde üretilen elektriğin toplanıp dağıtıldığı yerlerdir.

### **2.1.11. Dip savak tesisleri**

Baraj gölünün suyunun, su alma ve iletim tesisleri, santral binası vs gibi enerji üretmeye hizmet eden yerlere temas etmeden nehir yatağına bırakılmasını sağlayan yapılardır. Dip savak tesisleri ancak baraj gölü suyunun boşaltılması gerektiği zamanlarda çalışmak için hazırlanmışlardır.

### **2.1.12. Dolu savak tesisleri**

Baraj su seviyesi, maksimum su seviyesine ulaştığında baraj gövdesinin zarar görmemesini sağlamak için fazla gelen suyun nehir yatağına enerji üretmeye hizmet eden yerlerden geçmeden bırakılmasını sağlayan yapılardır. Bir nevi baraj ve gövdesinin emniyet supabıdır. Her şekil (kanallı, açık, kapaklı, kapaksız) ve tipte (dairesel, kare kesitli) yapılabilir. Şekil 2.5'te çalışan bir dolu savak tesisi görülmektedir.





Şekil 2.5. Dolu savak Tesisi [10]

## 2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

### 2.2.1. Ürettikleri enerjiye göre

Ürettikleri enerjiye göre Hidroelektrik santraller baz ve pik santraller olarak ikiye ayrılırlar.

#### 2.2.1.1. Baz santraller

Enerji üretimini sürekli yapan ve genellikle depolaması olmayan santrallerdir. Nehir tipi santraller depolaması olmadığı ve gelen suyun enerjiye çevrilme zorunluluğundan dolayı genellikle baz santral olarak adlandırılırlar.

#### 2.2.1.2. Pik santraller

Genellikle enerjiye ihtiyaç duyulduğu zaman çalıştırılan depolamalı (barajlı) santrallerdir. Bu santraller enerji tüketiminin yoğun olduğu zaman dilimlerinde çalışmak için yedekte bekletilir. İhtiyaç hasıl olduğunda devreye girerek enerji ihtiyacını karşılar.

### 2.2.2. Kurulu güç kapasitelerine göre

Kurulu gücü 100.000 kW'tan büyük Hidroelektrik santraller Büyük HES, kurulu gücü 10.000 ile 100.000 kW arasında olan HES'ler Orta HES, kurulu gücü 1.000 ile 10.000 kW arasında olan HES'ler Küçük HES, kurulu gücü 100 ile 1.000 kW arasında olan HES'ler Mini HES, kurulu gücü 5 ile 100 kW arasında olan HES'ler Çok Küçük HES" ve kurulu gücü 5 kW'a kadar olan HES'ler ise Piko HES olarak Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organzasyonu (UNIDO) tarafından benimsenmiş ve ülkemizde de kabul edilmiştir [10].

Ülkemizde kurulu gücü en yüksek santral 2400 MW gücüyle Şekil 2.6'da gösterilen ve Şanlıurfa'da bulunan Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santralidir. Her biri 300 MW olan 8 adet Türbin- Jenaratör ünitesi bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Atatürk Barajı ve HES [12]

Dünya'da ise en büyük kurulu güce sahip Hidroelektrik santrali Çin'de bulunan ve 22.500 MW kurulu güce sahip Üç Boğaz Barajı'dır. Her biri 700 MW gücünde bulunan 32 adet ve her biri 50 MW gücünde bulunan 2 adet Türbin-Jenaratör ünitesine sahiptir [13].

### **2.2.3. Düşülerine göre**

#### **2.2.3.1. Alçak düşülü santraller**

Düşüsü 15 m den az, debisi büyük, yatak eğimi az genellikle büyük ve düz arazilerde akan nehirler üzerine kurulan santrallerdir. Bu gibi santrallerde daha çok Kaplan tipi türbin çeşidi kullanılır.

#### **2.2.3.2. Orta düşülü santraller**

Düşüsü 15 m ile 50 m arasında olan bu tip santrallerde faklı debideki nehirler üzerine kuruludurlar. Bu tip santrallerde Kaplan ve Francis tipi türbinler kullanılabilir.

#### **2.2.3.3. Yüksek düşülü santraller**

Düşüsü 50 m den fazla olan ve dağlık arazilerden akan nehirler üzerine veya yüksek gövdeli barajlar üzerine kurulan santrallerdir. Değişken debilerde olabilir. Uzunca cebri borulara sahiptirler. Yaygın kullanılan türbin tipi Francis'tir ancak yüksek düşü ve düşük debilerde genellikle Pelton tipi türbinler kullanılır.

### **2.2.4. Yapılarına göre**

#### **2.2.4.1. Yerüstü santralleri**

Vana-Türbin-Jeneratör aksamaları yani santral binası yer üstünde kurulan santrallerdir. Su, su alma tesisinden alınarak cebri borular vasıtasıyla türbin giriş vanalarına, oradan türbinlere intikal eder. Bütün bu işlemler yeryüzü üzerinde olduğu için bu tip santrallere Yerüstü Santralleri denir.

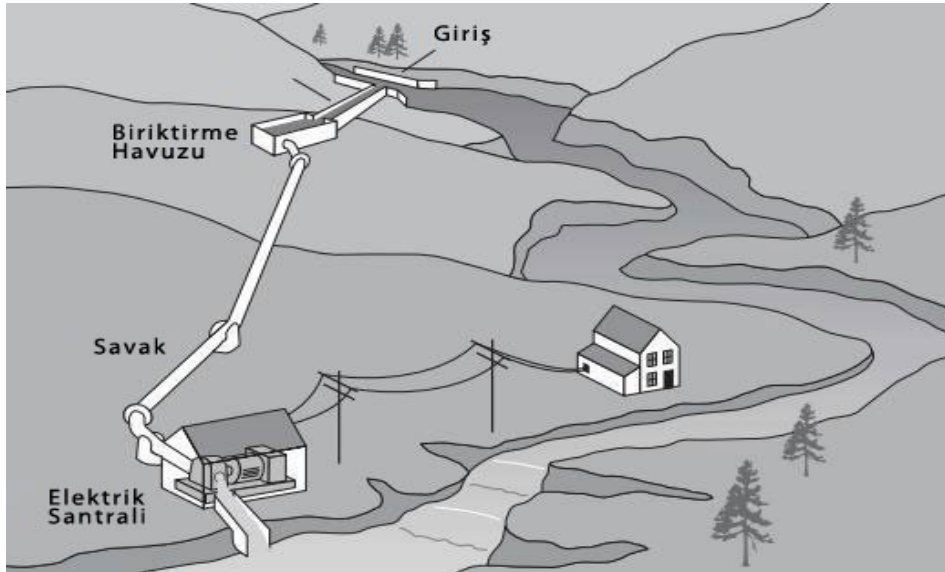
#### 2.2.4.2. Yeraltı santralleri

Yerüstü santrallerin aksine santral binası yeraltında bulunan ve bütün enerji üretimi ile ilgili kısımlar yeraltında olan santrallerdir. Bu tip santraller ekonomik analizler, askeri nedenler, yerel şartlar, kış aylarında da çalışılabilme, çığ, heyelan vs. tehlikelerden dolayı yeraltına kurulmaktadır.

#### 2.2.5. Su rezervuar durumuna göre

##### 2.2.5.1. Depolamasız (nehir tipi) santraller

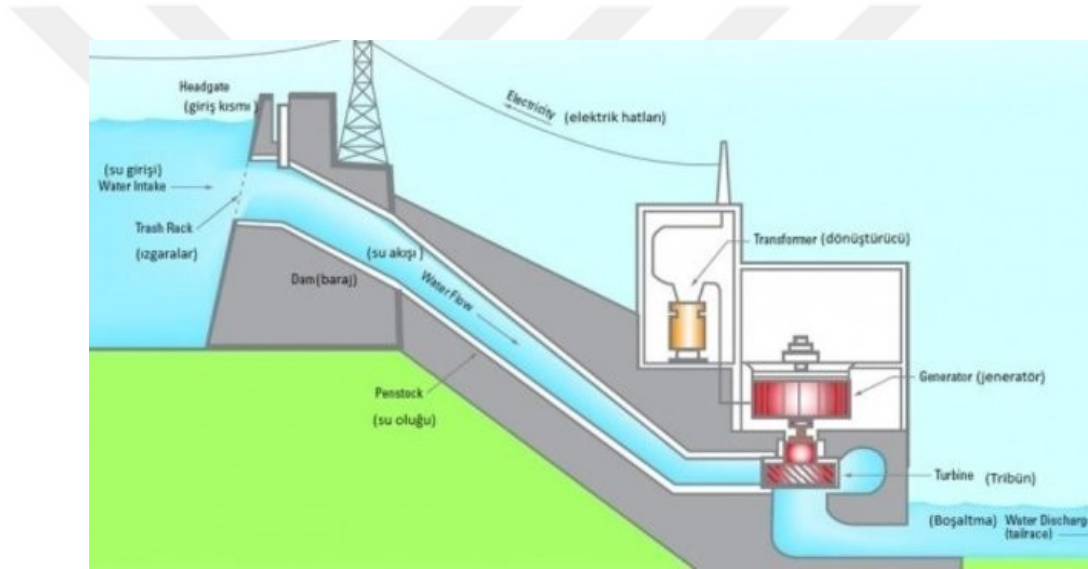
Depolamasız santraller debinin yüksek eğimin az ya da debinin az eğimin yüksek olduğu yerlere tesis edilir. Su herhangi bir yerde depolanmadığından mevcut su ile çalışılır. Üretilen enerji mevsim şartlarına göre değişkenlik gösterir. Depolama olmadığından su nehirden bir yönlendirme tesisleriyle iletim kanalına ya da tüneline alınarak denge bacasına iletilir. Denge bacası su iletim sisteminin en yüksek noktasında dizayn edilir ve buradan su cebri borular vasıtasıyla santral binasına ulaştırılır. Depolamasız hidroelektrik santral yapısı şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bu tip santrallerin ilk yatırım masrafları ve işletme-bakım masrafları düşüktür.



Şekil 2.7. Depolamasız bir hidroelektrik santrali [14]

### 2.2.5.2. Depolamalı (barajlı) santraller

Depolamalı sistemlerde nehir yatağından akan su, nehir yatağında belirlenen uygun bir yere inşaa edilen ve suyun akışını engelleyip suyun birikmesine neden olan bir gövde vasıtasıyla biriktirilerek santral binasına ulaştırılmak üzere tesis edilirler. Depolamalı hidroelektrik santral şeması şekil 2.8’de gösterilmiştir. Suyun depolanmasındaki amaç suyu daha verimli kullanmaktır. Yağışlı geçen dönemde su rezervuarda biriktirilerek, yağışsız ve kurak geçen dönemde kullanılarak elektrik üretimi yapılabilir. Depolama ayrıca kurak geçen sezonlarda arazi sulama için gerekli olan suyun da karşılanması görevini de ifa eder.



Şekil 2.8. Depolamalı hidroelektrik santrali.[15]

Depolamalı santrallerde, rezervuar kısmında fazla suyun deşarj edilmesini sağlamak amacıyla Dolu savak tesisi inşaa edilir. Yağışın çok olduğu zamanlarda baraj seviyesi maksimuma ulaştığında baraj gövdesini ve başka tesisleri korumak için fazla gelen suyun nehir yatağına bırakılmasını Dolu savak tesisi sağlar. Böylece baraj gövdesi olabilecek tehlikelerden muhafaza edilir.

Depolamalı santrallerin bir başka faydası da çok yoğun yağın yağışlarda nehir yatağında oluşabilecek sel ve taşkın tehlikesine karşı suyun nehir yatağına kontrollü bir şekilde verilmesini sağlayarak bu tehlikenin önlenmesini sağlar.

Türkiye'nin en büyük depolamalı santrali Şekil 2.9'da baraj gövdesi ve depolanmış suyu gösterilen Atatürk Barajıdır. Toplam su depolama hacmi 48,7 milyar m<sup>3</sup> tür. Gövde hacmi 84.5 milyon m<sup>3</sup>'tür. Atatürk Barajı, dolgu hacmi bakımından dünyanın en büyük 6. barajı durumundadır [7].



Şekil 2.9. Atatürk Barajı [16]

Artvin'de bulunan Deriner barajı ülkemizde bulunan en yüksek gövdeli barajdır. Deriner barajı tamamlandığı tarihte 249 m gövde yüksekliği ile Türkiye'nin en büyük, dünyanın 6. yüksek barajıdır.

Depolamalı santrallerin baraj gövdesi inşaat süresi uzun ve yatırım maliyetleri yüksektir.

### 2.2.5.3. Pompaj depolamalı santraller

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santralleri (PDHES)'nde; elektrik fiyatının yüksek olduğu zamanlarda mambada depolanan suyun diğer Hidroelektrik Santrallerdeki gibi cebri borular vasıtasıyla türbine gönderilmesiyle türbinin elde ettiği dönme hareketini jeneratöre ileterek elektrik üretilir. PDHES'lerde mansaba bırakılan suyun mansapta oluşturulan havuz ile depolanması sağlanır ve elektrik fiyatının ucuz olduğu zamanlarda türbin pompa gibi çalıştırılarak mansapta bulunan suyun mambadaki

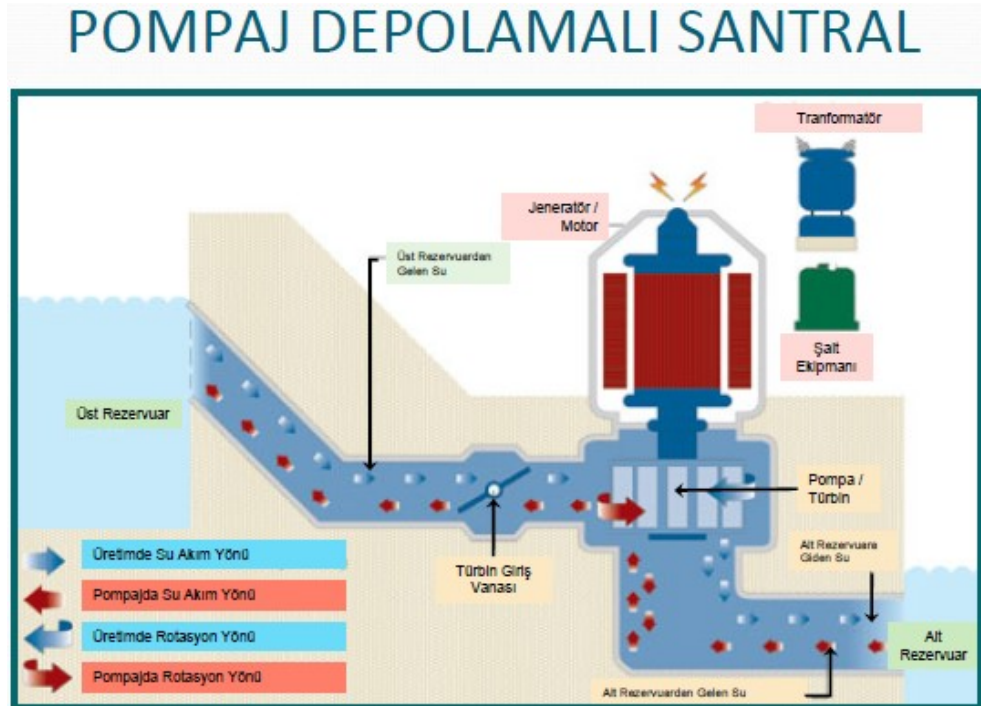
depolama alanına aktarılması sağlanır. PDHES'lerin çalışma şeması şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Burada mansaptaki suyun yukarıdaki depolama alanına pompalanması iki şekilde mümkün olabilir.

- 1- Türbin-jenaratör sistemine ek bir pompalama sistemi ilave edilebilir [17].
- 2- Seçilecek türbininin pompa/türbin olarak çalışması ve aynı şekilde jeneratörün de motor/jeneratör olarak çalışması şeklindedir [17].

Her ikisinde de elektrik üretimi, elektrik fiyatının yüksek olduğu zaman diliminde gerçekleşirken, su pompalama işlemi elektrik fiyatının düşük olduğu zaman diliminde gerçekleşir. Bu bakımdan diğer HES'lere göre belirli bir maliyet çıkabilmektedir.

İlk pompaj depolamalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'de görülmüştür. Japonya 25000 MW'lık PDHES kurulu gücü ile dünya ülkeleri arasında ilk sıradadır [18].



Şekil 2.10. Pompaj Depolamalı HES Kesiti [19]

## 2.3. Hidrolik Türbinler

Hidrolik türbinler suyun hidrolik akım enerjisini mekanik enerjiye çeviren hidrolik makinelerdir.

Hidrolik türbinler takriben 135 yıldan beri imal edilmektedirler. 19. Yüzyıl içinde FOURNEYRON, JONVAL, HENSCHER, SCHWAMKRUG, ZUPPINGER vs. tarafından geliştirilmiş olan basit ve küçük güçlü su türbinleri çok yayılmış ve su türbinlerinin tahrik ettiği jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisi 1891 yılında OSKAR von MILLER tarafından enerji iletim hattı ile uzak yerlerdeki müşterilere nakledilmiştir [20].

Modern çağda kullanılan otomatik olarak yük-frekans ayarlaması yapılabilen Francis, Kaplan ve Pelton tipi hidrolik türbinlerin üretimi 1920'lerden itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde üretilen büyük güçlü hidrolik türbinlerin verimleri % 95 mertebesine kadar yükselmiş bulunmaktadır [21].

### 2.3.1. Hidrolik türbinlerin sınıflandırılması

İşletme tarzlarına, yapılış şekillerine, hidrolik düşüye göre hidrolik türbinler pek çok şekilde sınıflandırılırlar.

#### 2.3.1.1. Düşüye göre [22]

$H < 50$ m,	Düşük basınçlı su türbini,
$20m < H < 400m$ ,	Orta basınçlı su türbini,
$H > 300m$ ,	Yüksek basınçlı su türbini,

#### 2.3.1.2. Türbin çıkış gücüne göre [22]

Yüksek güçlü hidrolik türbinler	(>100 MW)
Orta güçlü hidrolik türbinler	(20-100 MW)



Küçük güçlü hidrolik türbinler	(1-20 MW)
Mini hidrolik türbinler	(100 kW-1 MW)
Mikro hidrolik türbinler	(5 kW-100 kW)
Piko hidrolik Türbinler	(<5kw)

### **2.3.1.3. Türbin milinin durumuna göre [23]**

Yatay eksenli türbinler

Dikey eksenli türbinler

Eğik eksenli türbinler

### **2.3.1.4. Suyun akış doğrultusuna göre [23]**

Eksenel akışlı türbinler	(Kaplan,Uskur)
Radyal akışlı türbinler	(Francis)
Teğetsel akışlı türbinler	(Pelton, Banki)
Saptırılmış akışlı türbinler	(Turgo)

### **2.3.1.5. Suyun etki şekline göre [23]**

Aksiyon tipi türbinler (Pelton, Turgo, Banki)

Reaksiyon tipi türbinler (Francis, Kaplan, Uskur, Boru)

Genel kabul hidrolik türbinleri Aksiyon ve Reaksiyon türbinleri olarak iki ana gruba ayırır.

### **2.3.2. Aksiyon türbinleri**

Bu tip türbinlerde akışkan kepçe veya çarklara atmosfer basıncında girip yine aynı basınçta çıkar. Aksiyon türbinlerin kanatları, reaksiyon türbinlerinin kanatlarından farklı olarak hava ile temas halindedir ve püskürtülen basınçlı su ile çalışmaktadır [24]. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan aksiyon türbini Pelton Türbini'dir. Diğer Aksiyon türbinler ise Turgo ve Banki Türbinlerdir.

### 2.3.2.1. Turgo türbinleri

Pelton türbinlerine benzemekle beraber Pelton tipinden daha yüksek spesifik hıza sahip olan bu türbinler basit aksiyon tipi ekipman olarak geliştirilmiştir. Bu sebeple belli bir açıda çarklar üzerine daha büyük su jetinin yönlendirilmesine izin verir. Genellikle 50-250 m'lik su düşüleri için uygun olan bu türbinlerin verimleri %90 seviyelerindedir [25]. Şekil 2.11 de bir Turgo Türbini verilmiştir.



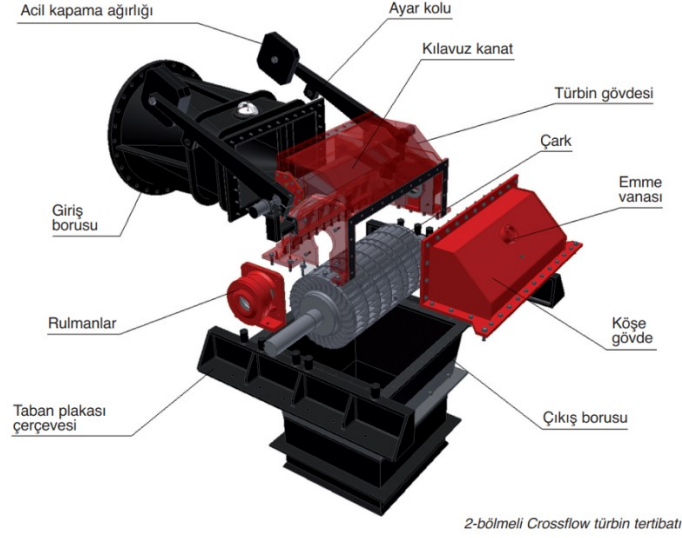
Şekil 2.11. Turgo Türbini [26]

### 2.3.2.2. Banki türbini (Cross-flow veya Michell-Ossberger)

Banki türbin tipini Macar asıllı Banki ve İngiliz asıllı Michell bulunmuştur. 1917 yılında Macar Prof. D. Banki tarafından geliştirilmiştir [20]. Genel olarak Banki (Michell-Ossberger) su türbini olarak adlandırılır.

Banki-Michell Ossberger türbini, püskürtme ağzı ve çark olarak iki ana parçadan oluşur. Su püskürtme ağzı debi ve güç ayarını sağlar. Bu türbin sisteminde su akımı türbin çarkı içinden geçer ve çarka karşılıklı iki noktadan etki eder. Birinci kez kanatları etkileyen su, iç boşluğu geçip çark iç çemberinden tekrar kanatların arasına

giderek ikinci bir kuvvet oluşturur ve türbinden çıkar. Şekil 2.12’de bir Banki Türbini ve elemanları gösterilmiştir. Banki türbinleri 1000 kw güce kadar çıkabilirler [27].



Şekil 2.12. Banki Türbini [28]

### 2.3.2.3. Pelton türbini

Amerika’lı mucit Lester Allan PELTON tarafından keşfedilmiştir. Pelton türbininde güçlü akıntı uygun şekle sahip bir borudan geçirilerek, önce nozul olarak adlandırılan yapı içerisine çarparak potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Aynı noktada oluşan yüksek hızlı su jeti Şekil 2.13’deki gibi suyun enerjisini türbin miline ileten kepçe şeklindeki kanatlara çarparak türbin milinin dönmesini sağlar ve mekanik enerji oluşmuş olur [29, 30]. Nozuldaki suyun debisi nozulun içinde hareket eden bir mızrak tarafından kontrol edilir. Bu mızrak ağız çıkışını kısmen ya da tamamen kapatabilir. Böylelikle su jetinin hızını, değişen yük ve su debileri için sabit tutmak mümkün olabileceğinden rotor farklı ağız açıklıklarında dahi aynı hızla dönebilir [30].



Şekil 2.13. Nozuldan çarka gönderilen su jeti [30]

Bir Pelton çarkının kepçeleri akışı ikiye bölüp yaklaşık  $180^{\circ}$  yön değiştirecek şekilde tasarlanır. İyi tasarlanmış bir Pelton türbininde kepçe çıkışındaki mutlak hız yaklaşık olarak sıfırdır. Bu durumda kinetik enerji hemen hemen tamamen mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur.



Şekil 2.14. Pelton türbini [31]

Genellikle küçük güçlü pelton tipi türbinlerde 1 veya 2 nozul olmakla beraber büyük güçlü Pelton türbinlerde 4 ila 6 adet nozul bulunur. Şekil 2.14 de 6 nozullu bir pelton türbini görülmektedir. Pelton tipi türbinlerin verimleri % 90 mertebesindedir [30]. Yüksek düşü ve düşük debilerde genellikle Pelton türbinleri tercih edilmektedir.

### **2.3.3. Reaksiyon türbinleri**

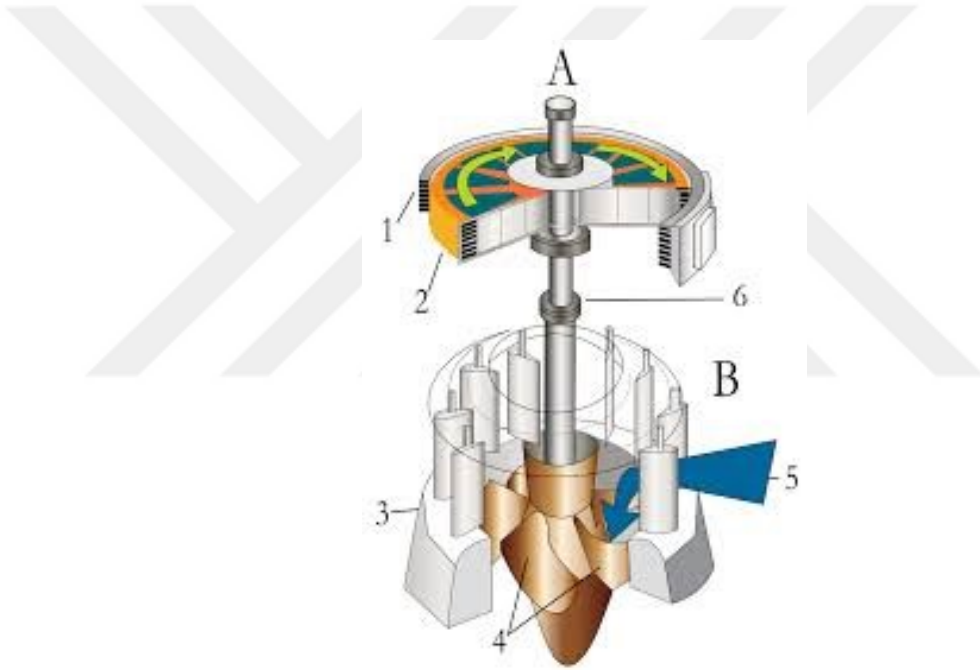
Reaksiyon tipi hidrolik türbinler suya batık olduklarından basıncın ve hareketli suyun etkisinden dolayı oluşan güç ile çalışırlar. Su türbin çark kanatlarına ulaştığında belirli bir basınca sahiptir. Çark kanat aralıklarında suyun basıncında düşme meydana gelir. Su basıncında meydana gelen bu düşme suyun hızlanmasına neden olurken hızlanan suyun türbin çarkının kanatlarına çarpmasıyla da sahip olduğu kinetik enerjisi, türbin çarkını döndürerek mekanik enerjiye dönüşür [30, 32]. Burada su basınç farkı ya da su emişi sağlanması için çarkın tamamen suyun içinde olması gerekir. Bu nedenle su miktarının fazla olması gerekmektedir [33]. Yani kısaca çark kanatlarının giriş ve çıkışında oluşan basınç farkı çarkın dönmesini sağlamaktadır.

Aynı düşü ve debi değerlerinde reaksiyon türbinleri, aksiyon türbinlere göre daha hızlı dönerler. Reaksiyon türbinleri tamamen suyun içinde olduğundan gövdeleri basınca dayanıklı olarak imal edilmesine karşın kavitasyona maruz kalırlar [34]. Kavitasyon; suyun çark kanatları arasında herhangi bir bölgede akış hızının artmasıyla basıncın suyun buharlaşma basıncı değerine kadar düşmesi, buradaki suyun buharlaşmasına ve yer yer içi, doymuş su buharı ile dolu olan vakumlu hacimciklerin oluşmasına neden olur. Bu vakumlu hacimciklerin genişip büzülerek ve ani olarak ortadan kalkmasıyla su zerrecikleri çok büyük bir hızda ve büyük gürültülü darbelerle malzeme yüzeyine çarparak malzeme yüzeyini süngerleştirip tahrip etmesi olayıdır [35].

En sık kullanılan Reaksiyon türbin tipleri Francis, Uskur ya da Kaplan tipi türbinlerdir.

### 2.3.3.1. Kaplan (Uskur) türbini

1913 yılında Prof. Victor KAPLAN tarafından geliştirilmiş ve bugünkü hale getirilmiştir. Kaplan türbini genellikle alçak düşülü ve fazla su hacmine sahip yerler için üretilir. Kaplan türbinleri, kanatların açısının herhangi bir zamanda maksimum verimliliği korumak için taleple değişmesine izin veren türbin türüdür [38]. Şekil 2.16’da gösterildiği gibi sabit kanatlara sahip türbinlere Uskur, Şekil 2.15’deki gibi hareketli kanatlara sahip türbinlere Kaplan türbini denmektedir. Genellikle hidrolik düşünün 2-60 m arasında olan küçük güçteki yerlerde kullanılmaktadırlar. Salyangoz gövdeli ya da boru tipi olarak imal edilirler [36].

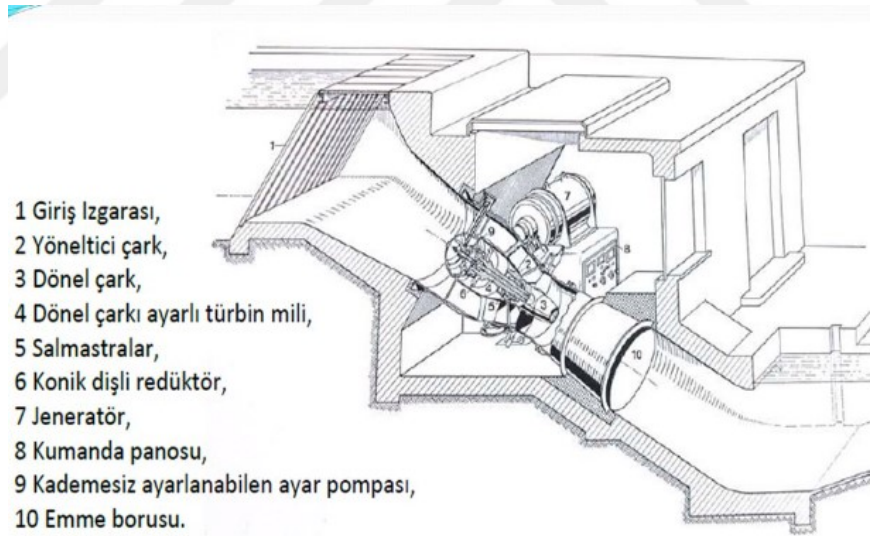


Şekil 2.15. Kaplan Tipi Türbin [37]



Şekil 2.16. Uskur Tipi Türbin [38]

Kaplan türbinleri genellikle dikey olarak ve suyun dağıtım şekline göre etrafında bir salyangoz yardımıyla su ile temas ederek dönme hareketini kazanırlar. Ancak yatay olması gereken durumlarda Şekil 2.17'deki gibi boru tipi türbinler kullanılmaktadır. Genellikle çok düşük düşülerde tercih edilirler.



Şekil 2.17. Boru Tipi Kaplan Türbini [39]

### 2.3.3.2. Francis türbini

1830'larda S.B. HOWD suyun kanatlara yönlendirildiği iç akışlı türbin tasarlayarak ABD patentini aldı. 1948 yılında James B. FRANCIS türbin verimliliğinin % 90

mertebelerine ulaşması için bilimsel prensipleri, matematiksel ve grafiksel metotları kullanarak yüksek verimli türbinlerin üretilmesini başardı [40].

Francis türbini orta ve büyük ölçekli hidroelektrik santrallerde en sık kullanılan türbin türüdür. Hem dikey kullanımda hem yatay kullanımda eşit derecede iyi çalıştılarından bu türbin tipi bu ölçekli santrallerde tercih sebebidir [41,44]. Genellikle küçük güçlü santrallerde yatay eksenli, büyük güçlü santrallerde dikey eksenli olarak kullanılırlar.

Francis türbin çarkı Şekil 2.18’de gösterildiği gibi belirli bir eğime sahip bıçakların birleşmesiyle oluşturulmaktadır. Bir Francis türbininin bıçakları, içinden akan sudan maksimum miktarda enerji elde etmek için dikkatlice şekillendirilir. Radyal olarak giren su, çarktan aksenal olarak çıkmaktadır. Bu özelliğinden dolayı Francis türbinlerine sadece reaksiyon türbini değil ayrıca karışık basınçlı türbin de denir [43]. Su bıçaklar üzerinden akarken basınç enerjisi düşmektedir. Bıçakların bu özelliği sayesinde çark çok daha verimli çalışmaktadır [42].

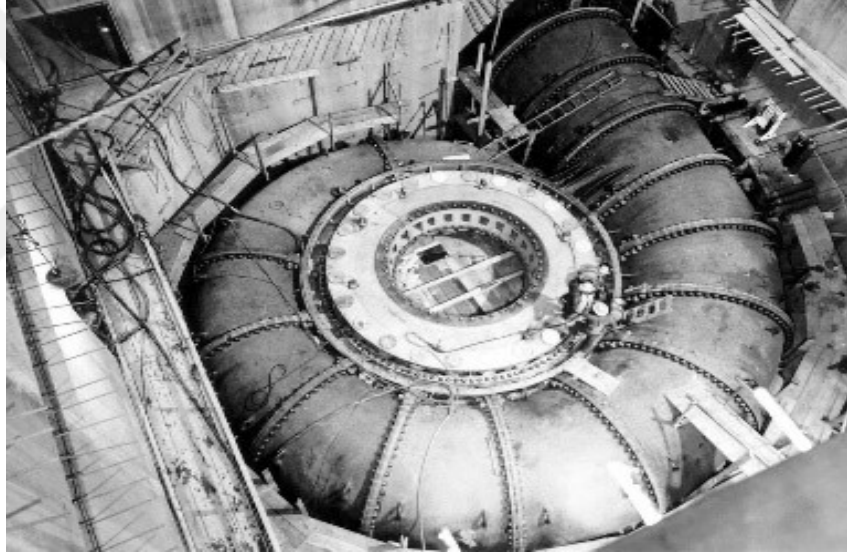


Şekil 2.18. Francis Türbini [44]



Francis tipi türbinlerde suyu çarka yönlendirmek için cebri borudan sonra 2 tane elaman vardır. Su cebri boruda hızını alarak ve basıncı yükselerek ilk olarak cebri borunun ucundaki şekil 2.19'da gösterilen Salyangoz adı verilen türbin çarkının etrafında yerleştirilmiş, suyun türbin çarkına her yönden eşit basınçta girmesini sağlayan kısma gelir. Daha sonra buradan salyangoz sabit kanatları ve güç devir sayısına ve istenen su debisine göre kendini ayarlayabilen Ayar Kanatları arasından geçerek türbin çarkının kanatlarına çarpar ve çark dönme hareketini kazanır. Bu santraller batık çalıştıkları için türbine giren su atmosfer basıncına açık değildir.

Türbin giriş ve çıkışındaki basınç farkından dolayı enerjisini bırakan su emme borusu vasıtasıyla dışarı atılır.



Şekil 2.19. Türbin Salyangozu [45]

Türbin girişi ile çıkışı arasındaki fark ne kadar büyük olursa türbinden alınan enerji o kadar büyük olacağından türbin verimi yüksek olacaktır. Türbin çıkışındaki basıncın düşük olması için emme borusu basıncı, atmosfer basıncından düşük olacak şekilde tasarlanır. Türbin çark kanatları ile türbin ayar kanatlarının arasından geçen su basıncında bir dalgalanma olmaması için genellikle türbin çark kanat sayısı tek sayı, ayar kanatları çift sayı olarak tasarlanırlar [35]. Şekil 2.20'de türbinlerde bulunan ayar kanatları gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Türbin Ayar Kanadı [46]

## BÖLÜM 3. YÖNTEM

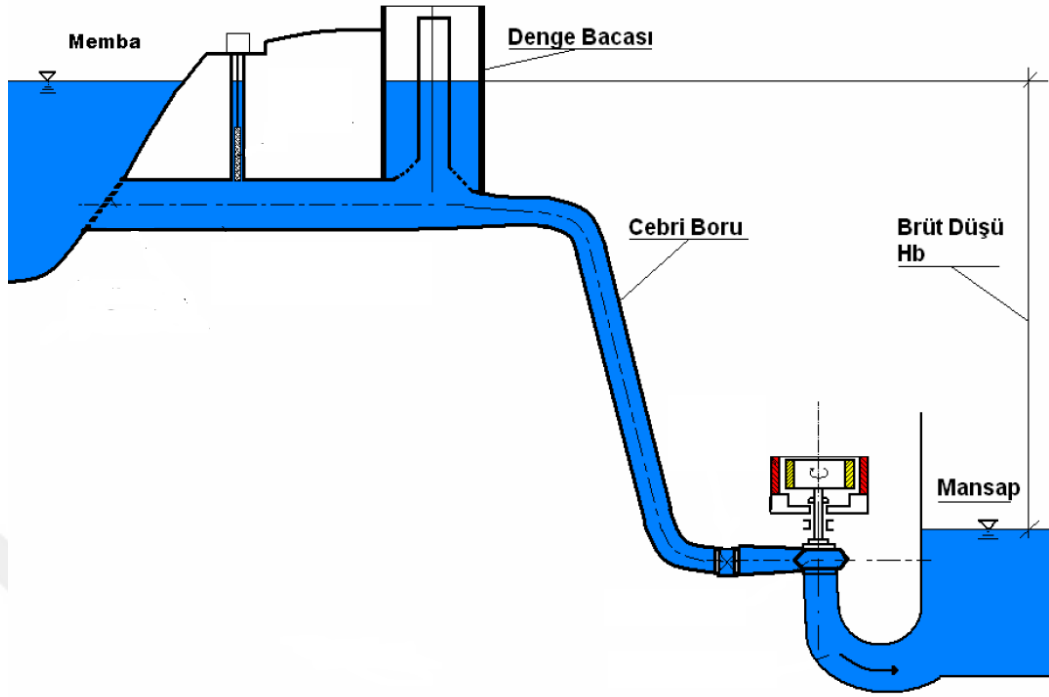
Francis türbin tasarımında ilk olarak su debisi ve düşüsü bilinen santralin kurulacağı yere en uygun türbin tipi seçimi yapılmalıdır. Daha sonra türbin gücünün belirlenebilmesi için ihtiyaç olan özgül hız- türbin verimi ve türbin devir sayısı gibi parametrelerin belirlenmesi zaruridir. Son olarak ta Türbin çarkı ve verime etkilerinden dolayı türbin salyangoz ve türbin emme borusu boyutlandırılmaları yapılmalıdır.

### 3.1. Türbin Seçim Kriterleri

Hidrolik türbinlerin kullanım alanları bazı parametrelere göre farklılıklar gösterir. Bu parametreler suyun giriş yerindeki en üst nokta ile kuyruk suyu üst noktası arasındaki yükseklik farkı olarak nitelendirilen Hidrolik Düşü ve türbin çarkı kanatları arasından saniyede geçen suyun miktarı Su Debisi olarak adlandırılır [37]. Hidrolik Düşü ve Su debisi o santralin hidrolik güç formülünün ana parametreleridir. Hidrolik güç ise türbin tipi seçiminde belirleyici faktördür. Aşağıdaki formül ile Hidrolik güç hesaplanır.

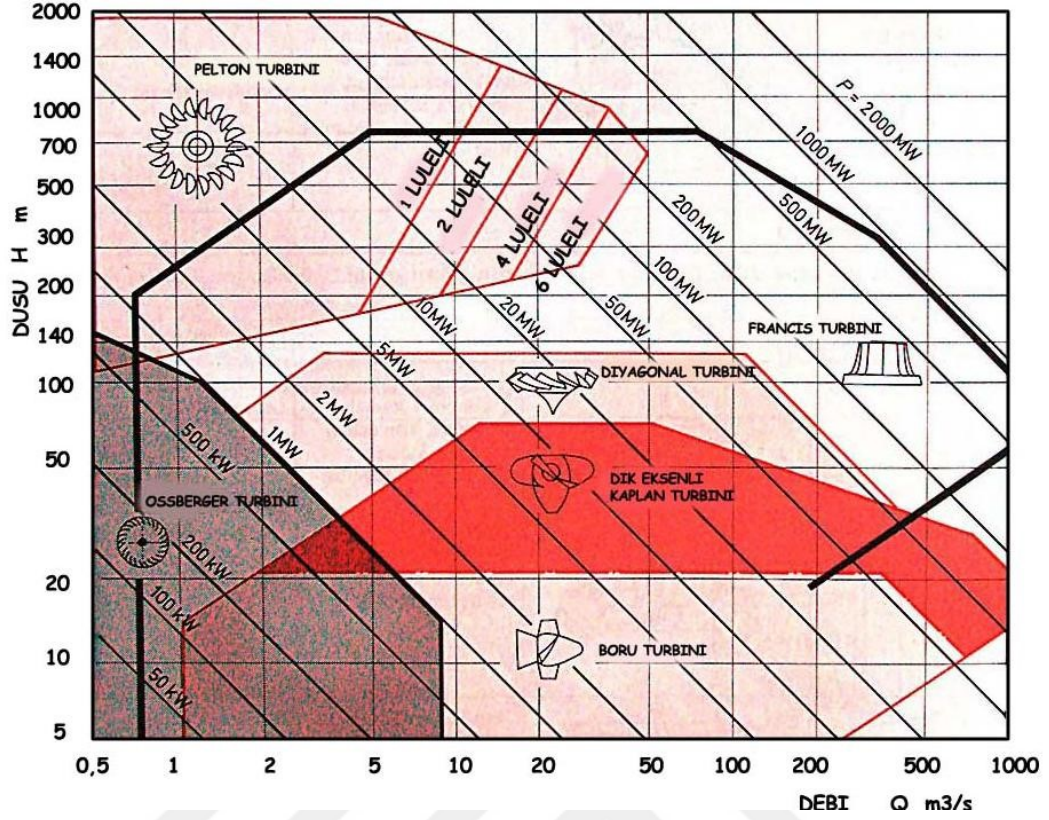
$$P=Q \cdot H_g \cdot \gamma \quad (3.1)$$

Burada  $P$ = suyun harcadığı güç (W),  $Q$  = debi ( $m^3/s$ ),  $H_g$  = hidrolik düşü (m) ve  $\gamma$  ise suyun özgül ağırlığıdır. Hidrolik düşü ifadesinde iki adet kavram vardır. Bunlar brüt düşü ve net düşüdür. Brüt düşü, suyun alındığı memba kısmında suyun en üst noktası ile kuyruk suyu çıkışındaki suyun en üst noktası arasındaki kot farkıdır. Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Net düşü ise Brüt düşüden su deşarjı esnasında su yolunda meydana gelen kayıpların çıkarılması ile elde edilir.



Şekil 3.1. Su Düşüsü

Hidrolik düşü ve su debisinin türbin seçiminde belirleyici bir faktör olduğundan bahsetmiştik. Genellikle Kaplan tipi hidrolik türbinler küçük hidrolik düşülerde ve büyük su debilerinde, Francis tipi türbinler orta yükseklikteki hidrolik düşülerde ve orta değerdeki su debilerinde kullanılırlar. Hidroelektrik santralin kurulacağı yerde hangi türbinin kullanılacağını bulmak için Şekil 3.2'den yararlanılır.



Şekil 3.2. Düşü ve debi değerlerine göre türbin seçim grafiği [1]

Hidroelektrik santral projesinde bulunan hidrolik düşü ile su debisinin yukarıdaki grafikte çakıştığı yer bize hangi türbinin kullanılacağı hakkında ön fikir vermesi açısından önemlidir. Türbin tipi seçimi özgül hızın değerlendirilmesine göre yapılır.

### 3.1.1. Türbin özgül hız

Türbin tipi seçimi aşağıda verilen formülde bulunan özgül hıza göre yapılır. Özgül hız ( $n_s$ ),  $H_d = 1$  m düşü ve  $Q=1$  m<sup>3</sup>/s olarak çalışan bir özgül hızı ise;

$$n_s = \frac{\sqrt{Q}}{(H_d)^{3/4}} \cdot n \text{ (dev/dk)} \quad (3.2)$$

Burada;

$Q$  = Debi, (m<sup>3</sup>/s) ,  $H_d$  = Net düşü, (m),  $n_s$  = Türbin Özgül Hızı, (dev/dk)

Tablo 3.1’de Türbin tiplerinin hangi özgül hız aralıklarında çalıştıkları gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Özgül hızı (n<sub>g</sub>) göre türbin tipi seçimi [56]

Model	Özgül Hız (dev/dk)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Cross-flow	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

Hidrolik türbinlerin özgül devir sayılarının tayini için değişik imalatçı firmalar ve araştırmacılar bazı ampirik formüller geliştirmişlerdir. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir [20].

A. Oesterlenê göre;

$$n_s = \frac{3500}{(H_d)^{0.7}}, \text{ (dev/dk)} \quad (3.3)$$

Voith’e göre;

$$n_s = \frac{4100}{(H_d)^{0.7}}, \text{ (dev/dk)} \quad (3.4)$$

Kuarner Brug ve Egyazarof’a göre;

$$n_s = \frac{5000}{(H_d)^{0.7}}, \text{ (dev/dk)} \quad (3.5)$$

USA Bureau of Reclamataion'a göre;

$$n_s = \frac{2334}{(H_d)^{0.7}}, \text{ (dev/dk)} \quad (3.6)$$

F.Siervo ve F.Leva'ya göre;

$$n_s = \frac{3470}{(H_d)^{0.65}}, \text{ (dev/dk)} \quad (3.7)$$

Francis türbinleri 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 [48].

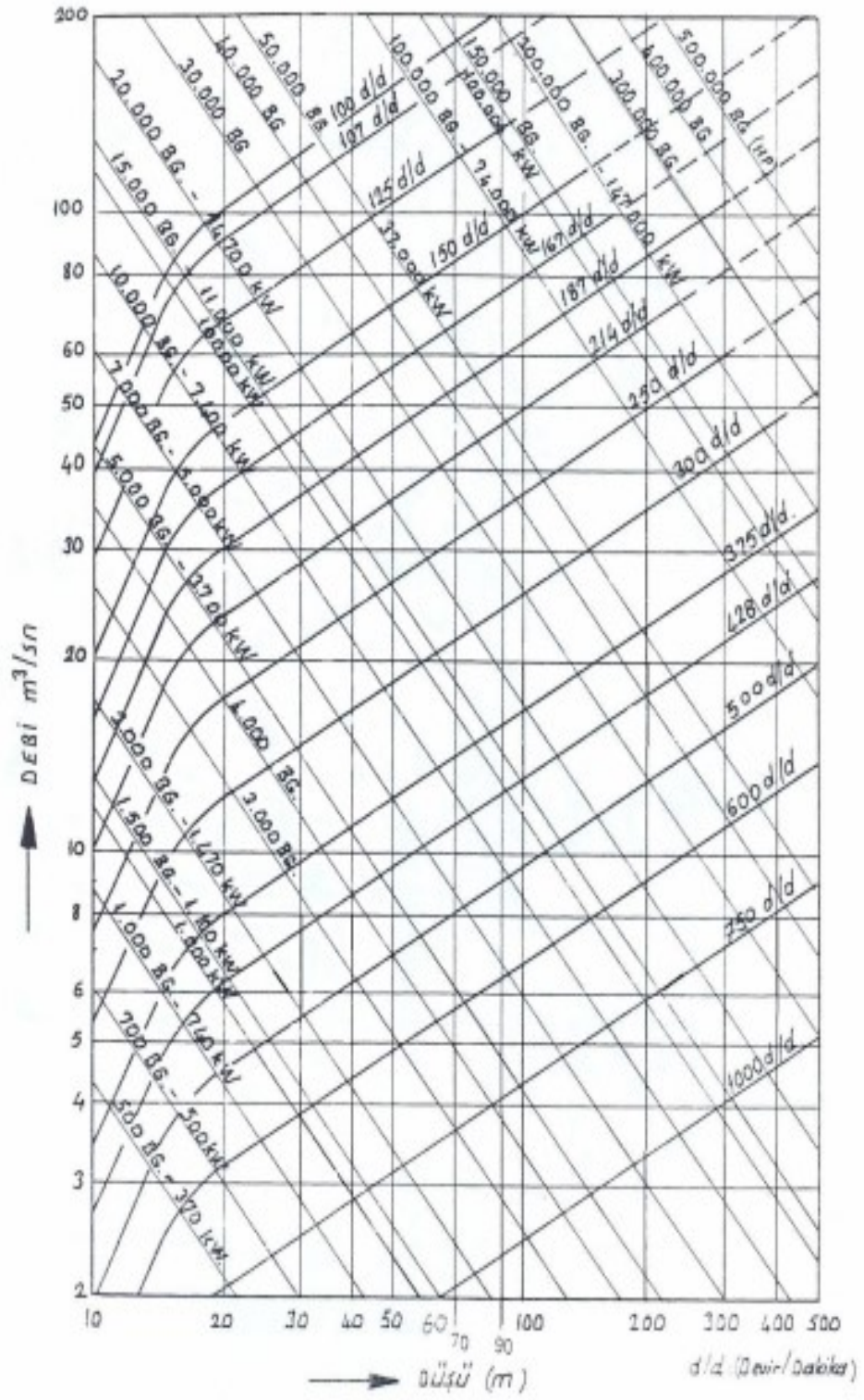
### 3.2. Türbin Gücünün Tespiti

Hidrolik Türbinlerin güçleri aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{75}, \text{ (BG)} \quad \text{veya} \quad N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{102}, \text{ (kW)} \quad (3.8)$$

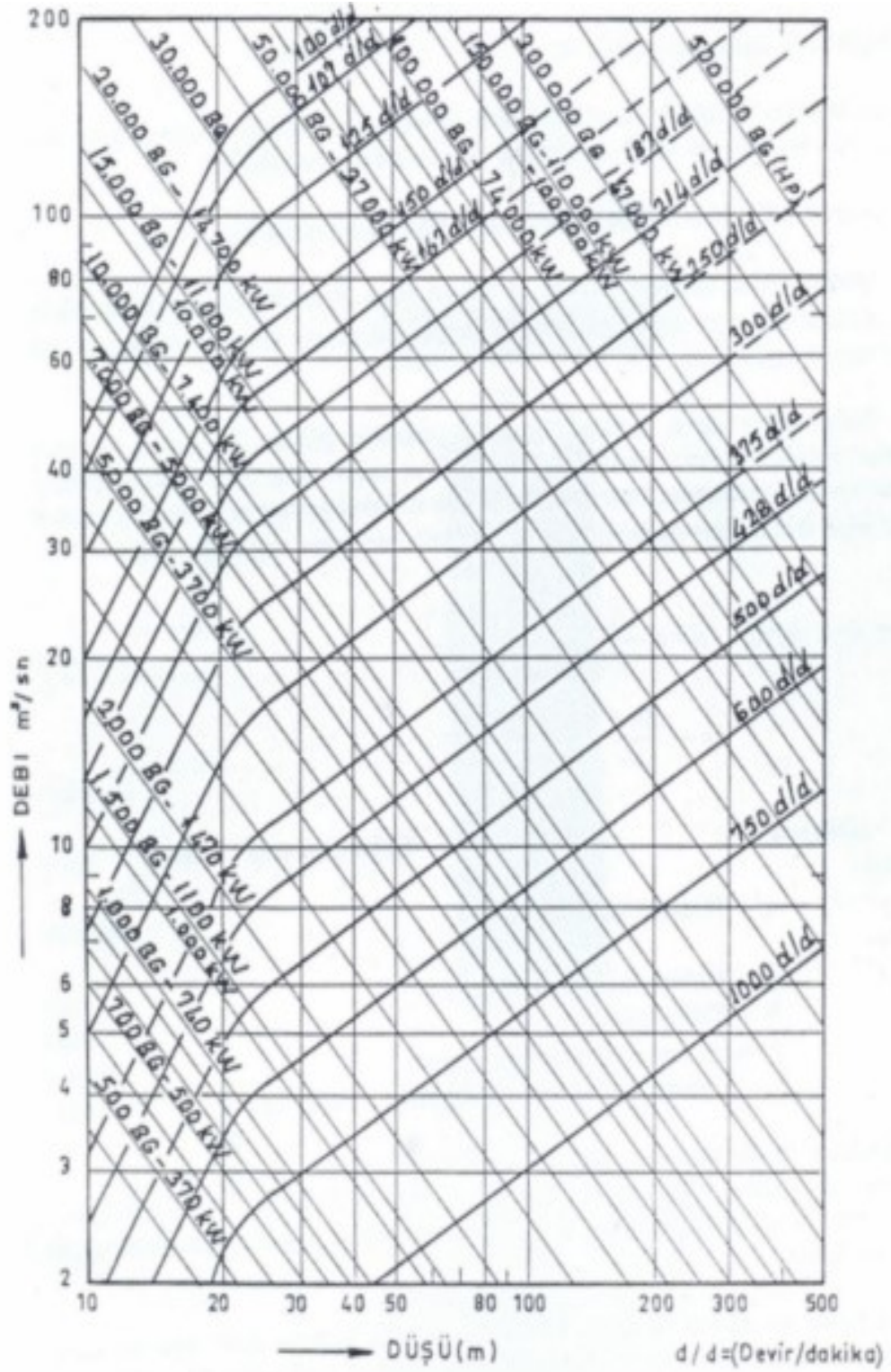
Burada N= Türbin gücü (BG) veya (kW),  $\gamma$ = Suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ), Q= Suyun debisi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_d$ = Dizayn net düşü (m),  $\eta_t$ = Türbin verimini ifade eder.

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'deki türbin imalatçıları tarafından yapılan grafiklerden faydalanarak Francis tipi türbinler için türbin gücü hakkında bilgi sahibi olabiliriz [20].



Şekil 3.3. Yatay eksensli Francis türbinler için düşü-debi-devir ilişkisi [20]





Şekil 3.4. Düşey eksenli Francis türbinler için düşü-debi-devir ilişkisi [20]

### 3.3. Türbin Devir Sayısının Tayini

$$n = \frac{120 \cdot f}{P_k} \quad (3.9)$$

Buradaki  $f$ ; sistem frekansını,  $P_k$  ise kutup sayısını belirtir. Tablo 4.3.1 de 50 Hz frekansta jeneratör kutup sayılarına göre devir sayıları gösterilmektedir.

Tablo 3.2. 50 Hz frekansta kutup adetlerine göre devir sayıları [49]

<b>Kutup Sayısı</b>	<b>Devir Sayısı</b>	<b>Kutup Sayısı</b>	<b>Devir Sayısı</b>
2	3000	16	375
4	1500	18	333
6	1000	20	300
8	750	22	272
10	600	24	250
12	500	26	231
14	428	28	214

Tablo 3.2. de 50 Hz frekansındaki bir jeneratöre ait kutup adetlerine göre devir sayıları gösterilmektedir.

### 3.4. Türbin Verimi

Çark, dönme hızı  $N$  (d/d) olan bir  $T$  torku ürettiği göz önüne alındığında, çarktan elde edilen güç şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_{\zeta} = T \cdot \omega \quad (\text{W}) \quad (3.10)$$

$$P_{\zeta} = \text{Çark çıkış gücü (W)}, \quad T = \text{Tork (N.m)}, \quad \omega = \text{Açısal Hız (d/d)} = 2\pi N$$

$$P_g = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (\text{W}) \quad (3.11)$$

$P_g$  = Çark giriş gücü (W), H = Türbin girişindeki su düşüsü (m),  $\rho$  = su yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ), Q = Suyun debisi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), g = Yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )

Enerjinin dönüşümü sırasında (hidrolik enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi) bazı kayıplar meydana gelir. Bu kayıplar giriş gücü ile çıkış gücü arasındaki fark olarak ifade edilir.

$$P_k = P_g - P_\zeta \quad (3.12)$$

Tüm bu ifadelerden sonra türbinin genel verimi;

$$\eta_o = \frac{P_\zeta}{P_g} = \frac{T \cdot \omega}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \quad (3.13)$$

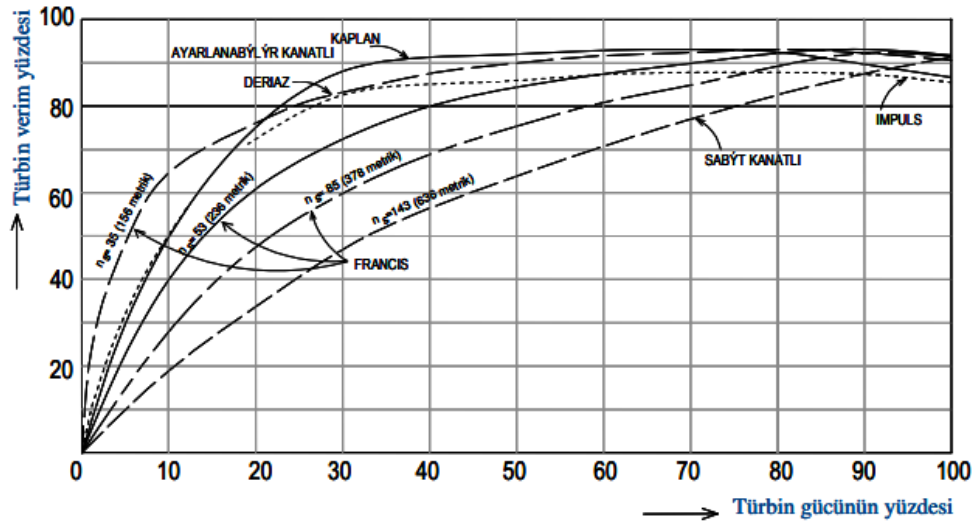
olarak hesaplanır [50].

Bu denklemden anlaşılacağı gibi türbin içinde kayıplar (kaçak kayıplar, mekanik kayıplar ve hidrolik kayıplar) ne kadar az olursa türbin verimi o kadar yüksek olacaktır.

Kaçak kayıplar; türbin sisteminde hareketli parça ile sabit parçalar arasındaki boşluklardan, salmastralarda, contalardan kaçan ve türbin çarkının içinde mekanik enerjiye dönüşmeyen akışkanlardır.

Mekanik kayıplar; salmastralarda, türbinlerin yataklarında vs. yerlerde sürtünme yoluyla oluşan enerji kaybıdır.

Hidrolik kayıplar ise türbin içinde akışkanın yük kaybı, çarpma kaybı, gibi akışla ilgili enerji kayıplarıdır. Şekil 3.5’de hidrolik türbinlere ait karakteristik verim eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Hidrolik Türbinlerin Karakteristik Verim Eğrileri [52]

Türbin verimini etkileyen diğer faktörler kavitasyon ve girdap (Vortex) olayıdır. Kavitasyon; suyun çark kanatları arasındaki basıncının, suyun buharlaşma basıncı değerine kadar düşmesi ve burada buharlaşmasıyla yer yer içi doymuş su buharı ile dolu olan vakumlu hacimciklerin oluşup, bu hacimciklerin genişip büzülerek ve ani olarak ortadan kalkarak çok büyük bir hızda ve büyük gürültülü darbelerle malzeme yüzeyine çarparak malzeme yüzeyini süngerleştirip tahrip etmesi olayı olduğundan bahsetmiştik.

Kavitasyon oluşmasına neden olan düşük basınçlı hacimcikler akışın dik kesiti daralttığı için gücün düşmesine neden olurlar. Ayrıca vuruntu ve salınımlar türbin verimini %20 ye kadar düşürebilir. Kavitasyona uğrayan malzeme yüzeyi süngerleşerek tahrip olmaktadır. Kavitasyon olayı radyal kuvvetlerden dolayı yataklarda bozulmalara sebep olurlar [51].

Sistemin kavitasyon katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\sigma_t = \frac{H_a - H_v - H_s}{H_n} \quad (3.14)$$

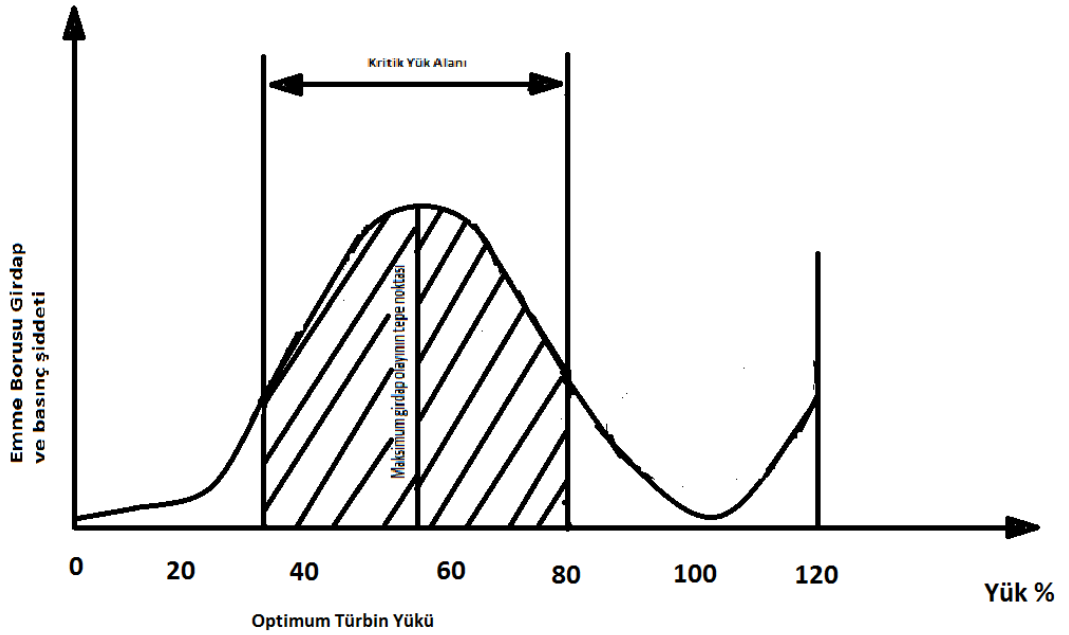
$H_a$  = Atmosfer basıncı (mss),  $H_v$  = Akışkanın buharlaşma basıncı (mss),  $H_s$  = Çark eksenine ile çıkış suyu seviyesi yüksekliği (m),  $H_n$  = Net hidrolik düşü, (mss)

Türbinin kavitasyonsuz ve en yüksek verimle çalışabilmesi için  $\sigma_t \geq \sigma_{kr}$  olmalı ve  $\sigma_t, \sigma_{kr}$  'ye mümkün olduğunca yakın alınmalıdır. Kritik kavitasyon katsayısı özgül devir sayısına ( $n_q$ )'ya bağlı olarak;

$$\sigma_{kr} = 2,464 \cdot 10^{-7} \cdot n_q^{3,01} \quad (3.15)$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

Girdap(Vortex); düşük ve aşırı yüklerde çalışırken emme borusunda oluşan ve verim kaybına neden olan gürültü ve titreşim yapan olaydır. Girdap olayı jeneratör yüküne binmeye başladıktan sonra (takriben %15-%20) oluşur, yükün %45-65 civarında en üst seviye ve yükün %70-75 seviyesinde ise azalma eğilimi gösterir [51]. Şekil 3.6'da ünite yüküne bindiği zamanki vukuu bulan girdap olayının davranışı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Girdap olayının optimum yüklerde davranışı [51]

### 3.5. Hız Üçgenleri

Türbin çarkı tasarımı yapabilmek için akış kinematığını bilmemiz gerekmektedir. Çarka gelen akışın özelliklerini bilmek için ayar kanadı çıkışındaki akış özelliği ile çark girişindeki akışın özellikleri bilinmelidir. Şekil 3.8 de ayar kanadı çıkışındaki hız üçgenleri görülmektedir. Su, şekilde görüldüğü gibi ayar kanadı çıkışından  $v_0$  hızıyla ile çıkarken  $v_{0r}$  radyal,  $v_{0u}$  çevresel hız bileşenleri bulunur.

Burada ;

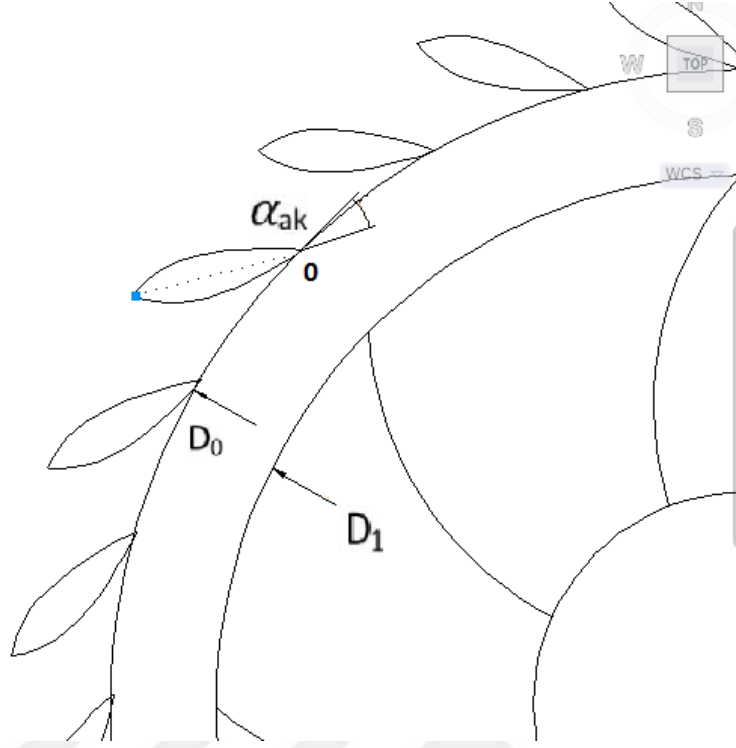
$$v_0 = v_{0r} + v_{0u} \quad (3.16)$$

eşitliği yazılır. Ayar kanadı yüksekliğini  $h$  olarak kabul edersek aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$v_{0r} = \frac{Q}{\pi D_0 h} \quad (3.17)$$

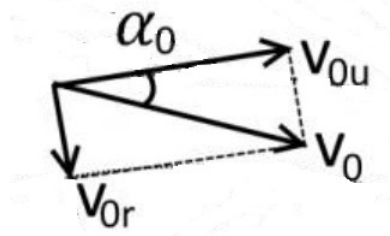
$$v_0 = \frac{v_{0r}}{\sin \alpha_0} \quad (3.18)$$

$$v_{0u} = v_0 \cos \alpha_0 \quad (3.19)$$



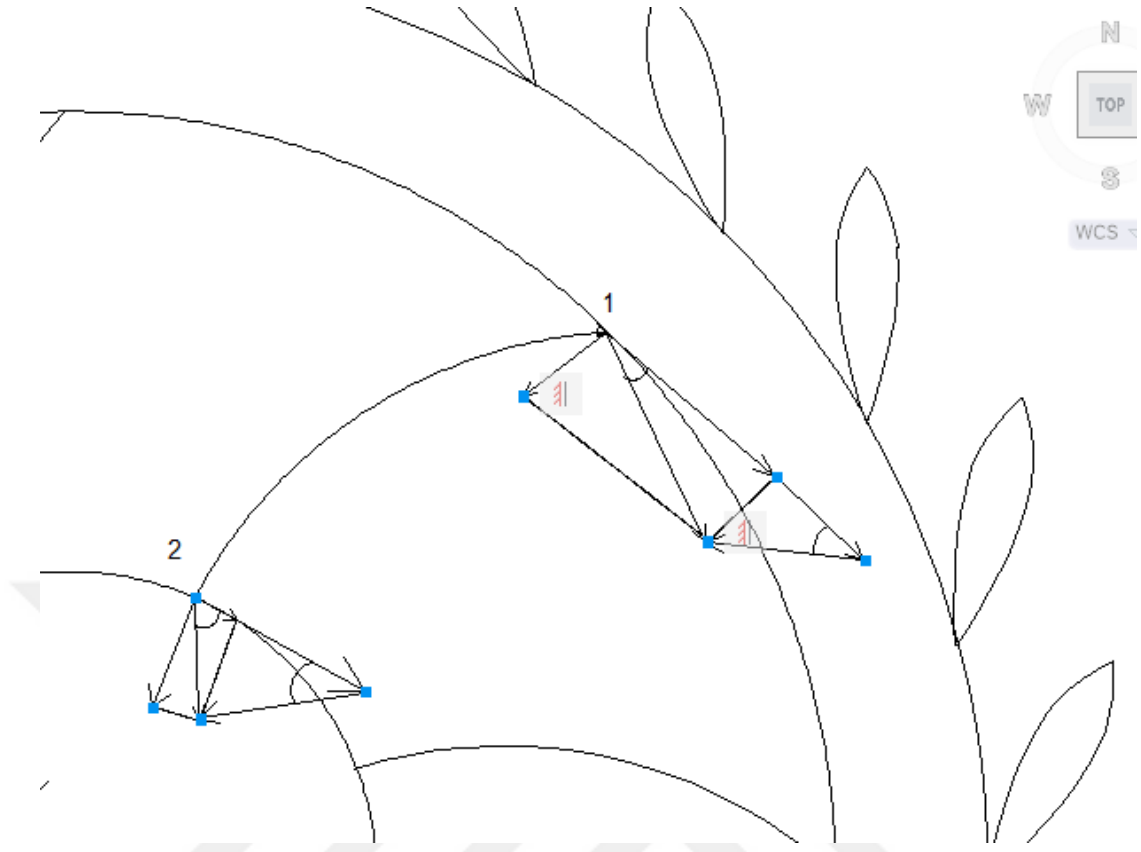
Şekil 3.7. Ayar kanadı çıkışı hız üçgeni

0 noktasındaki vektörel hız şekil 3.8’de gösterilmiştir.



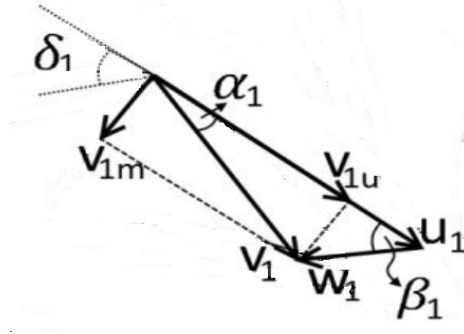
Şekil 3.8. 0 noktasındaki hız üçgeni

$V_{0u}$  sebebiyle ayar kanadı çıkışındaki hız serbest akış bölgesinde de döner. Bu şekilde ayar kanadı çıkışı ile çark girişi arasındaki bölgede sirkülasyonda değişiklik görülmez.



Şekil 3.9. Çarka giriş ve çıkıştaki hız üçgenleri

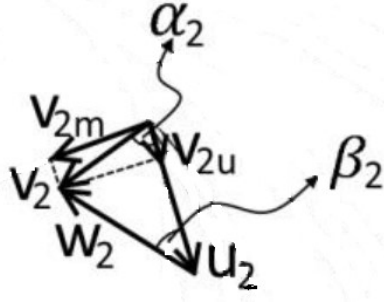
Şekil 3.9'da gösterilen 1 noktasındaki vektörel hız şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. 1 noktasındaki hız üçgeni

2 noktasındaki vektörel hız üçgeni şekil 3.11'deki gibidir.





Şekil 3.11. 2 noktasındaki hız üçgeni

Şekil 3.11 den bağıl hız  $w$  ile taşınma hızının  $u$  vektörel toplamı mutlak hızı;

$$v = u + w \quad (3.20)$$

verdiği görülür [53].

### 3.6. Boyutlandırma

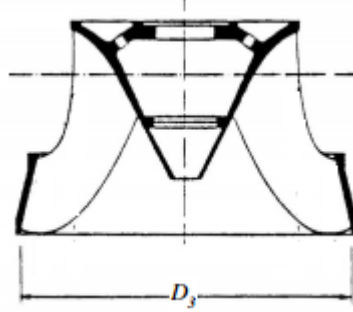
#### 3.6.1. Francis türbini salyangozu boyutlandırılması

Salyangozun akışkanı dağıtıcı ve çarktaki enerji kayıpları üzerindeki etkisinin büyük olması salyangoz hesabının Francis türbini için önemli olduğunu gösterir. Türbin özgül hızına ( $n_s$ ) ve Francis türbin çarkı ( $D_3$ ) çıkış çapına bağlı olarak çeşitli firmalar ve araştırmacıların geliştirmiş oldukları formüllerden yararlanılarak salyangoz boyutları tespit edilebilir. Salyangoz içinde yörüngeler eşit uzunlukta olmadığından ve yük kayıpları da değişik olduğu için suyun dağıtıcıdan aynı şekilde dağılımını sağlamak güçleşir. Fakat ortalama hız küçük seçilirse yük kayıpları azaltılabilir. Ortalama hız net düşüye, debiye ve malzemeye göre seçilmelidir [7].

Salyangoz girişindeki su hızı;

$$V_1 = \frac{84,4}{(n_s)^{0,44}}, \quad (\text{m/sn}) \quad (3.21)$$

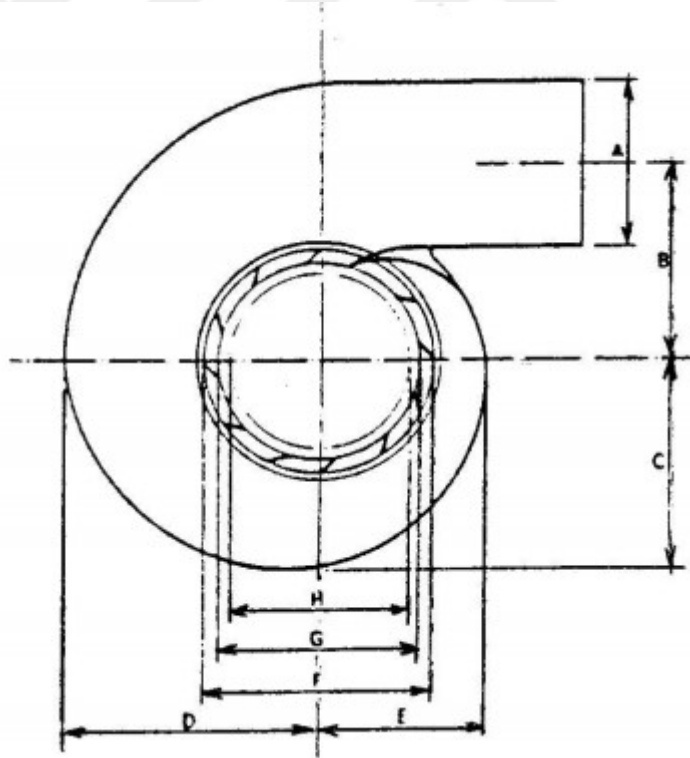
Siervo ve Leva'ya göre salyangoz ana boyutlarını bulmak için şekil 3.12 de belirtilen Francis türbin çarkı çıkış çapı ( $D_3$ ) bilinmelidir [54, 55].



Şekil 3.12. Francis Türbin Çarkı D3 Çıkış Çapı [54]

$$D_3 = 84,5 \cdot k_u \cdot \frac{\sqrt{H_d}}{n}, \quad (m) \quad (3.22)$$

$$k_u = 0,31 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot n_s \quad (3.23)$$



Şekil 3.13. Francis Türbin Salyangozu Ana Boyutları (üstten görünüş) [54]

$D_3$  çıkış çapı bulunduktan sonra Siervo ve Leva'ya göre şekil 3.13 ve şekil 3.14'te gösterilen salyangoz ana boyutları (m) şu şekilde hesaplanır [7, 54, 55].

$$A = \left( 1, 2 - \frac{19,56}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.24)$$

$$B = \left( 1, 1 + \frac{54,8}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.25)$$

$$C = \left( 1, 32 + \frac{49,25}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.26)$$

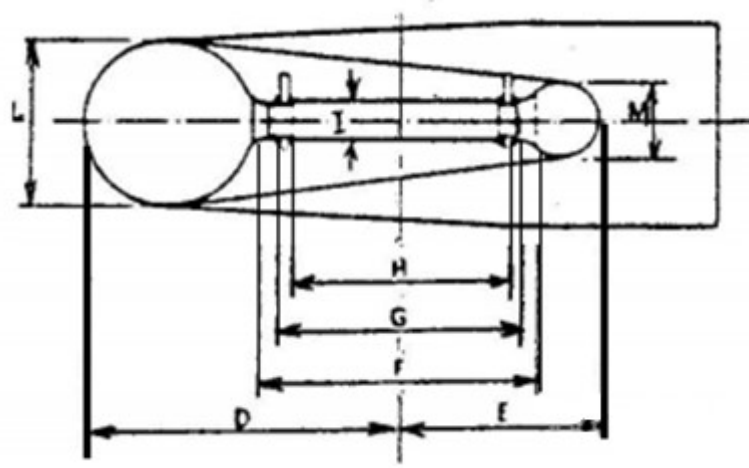
$$D = \left( 1, 50 + \frac{48,8}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.27)$$

$$E = \left( 0, 98 + \frac{63,6}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.28)$$

$$F = \left( 1 + \frac{131,4}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.29)$$

$$G = \left( 0, 89 + \frac{96,5}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.30)$$

$$H = \left( 0, 79 + \frac{81,75}{n_s} \right) \cdot D_3 \quad (3.31)$$



Şekil 3.14. Francis Türbin Salyangoz Kesiti [7]

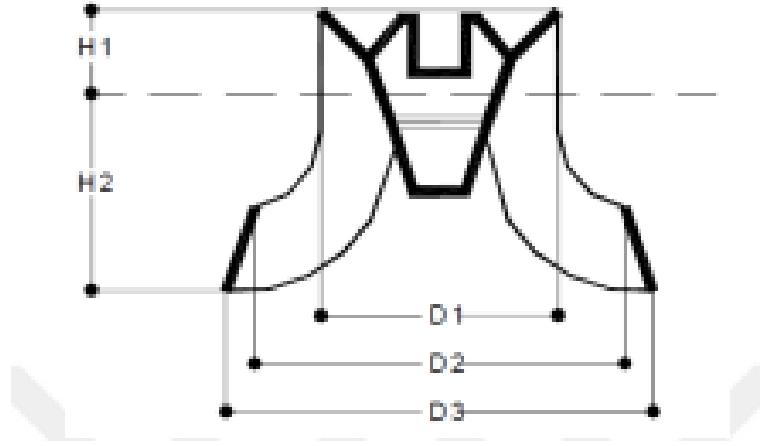
$$I = (0,1 + (0,00065 \cdot n_s)) \cdot D_3 \quad (3.32)$$

$$L = (0,88 + (0,00049 \cdot n_s)) \cdot D_3 \quad (3.33)$$

$$M = (0,60 + (0,000015 \cdot n_s)) \cdot D_3 \quad (3.34)$$

### 3.6.2. Francis türbin çarkının boyutlandırılması

Francis türbin çarkı tasarımı, düşü ve debi değerlerinin verilmesiyle başlar. Francis türbin çarkı, çeşitli firma ve araştırmacıların çalışmaları sonucu türbinin özgül hızına ve rotor çıkış çapına bağlı olarak geliştirilen formüller vasıtasıyla türbin çarkının ana boyutları hesaplanır. Türbin çarkının ana boyutları şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Francis Türbin Çarkı Boyutları [55]

Francis türbin çarkı ana boyutlarını hesaplamak için önce  $D_3$  çark çıkış çapının bilinmesi gereklidir.  $D_3$  çapının hesabında iki metot kullanılmaktadır. Bunlar USA

USA Bureau of Reclamation ve Siervo-Leva metotlarıdır. Bu iki metoda göre Francis türbini ana boyutları ( $m$ ) şu şekildedir.

1- USA Bureau of Reclamation'a göre [7]

$$D_3 = \frac{84,47 \cdot \varphi_3 \cdot (H_d)^{0,5}}{n}, \quad (m) \quad (3.35)$$

$$\varphi_3 = 0,0211 \cdot (n_s)^{0,67} \quad (3.36)$$

2- Siervo ve Leva'ya göre [7, 55]

$D_3$  çıkış çapı denklem (3.22) de verilmiştir. Buna göre;

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{94,5}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.37)$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0,96 + 0,00038 \cdot n_s}, \quad (m) \quad (3.38)$$

$$H_1 = (0,94 + 0,000025 \cdot n_s) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.39)$$

$$H_2 = \left(0,05 + \frac{42}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m), \quad 50 < n_s < 110 \text{ için}, \quad (3.40)$$

$$H_2 = \frac{D_3}{3,16 - 0,0013 \cdot n_s}, \quad (m), \quad 110 < n_s < 350 \text{ için}, \quad (3.41)$$

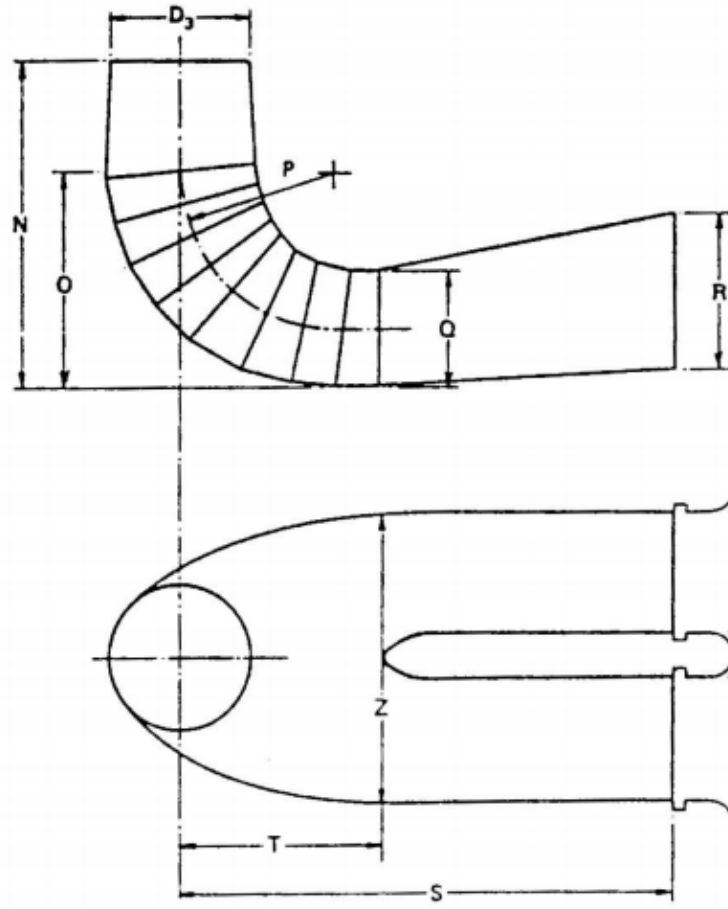
### 3.6.3. Francis türbini emme borusu boyutlandırılması

Emme borusu tayini de Francis tipi türbinler için oldukça önemlidir çünkü emme borusunda oluşabilecek kavitasyon ve vorteks olayları türbin verimini etkileyecektir. Bu yüzden emme borusu boyutlandırılmasına aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

Emme borusu su giriş hızı [7];

$$V_2 = 8,74 + \frac{248}{n_s}, \quad (m/sn) \quad (3.42)$$

Emme borusu boyutları şekil (3.16)'da gösterilmiştir [7, 54, 55].



Şekil 3.16. Francis Tipi Türbin Emme Borusu Boyutları [54]

$$N = \left(1,54 + \frac{203,5}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.43)$$

$$O = \left(0,83 + \frac{140,7}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.44)$$

$$P = (1,37 - 0,00056 \cdot n_s) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.45)$$

$$Q = \left(0,58 + \frac{22,6}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.46)$$

$$R = \left(1,6 - \frac{0,0013}{n_s}\right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.47)$$

$$S = \left( \frac{n_s}{0,25 \cdot n_s - 9,28} \right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.48)$$

$$T = \left( 1,50 + \frac{0,00019}{n_s} \right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.49)$$

$$U = (0,51 - 0,0007 \cdot n_s) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.50)$$

$$V = \left( 1,10 + \frac{53,7}{n_s} \right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.51)$$

$$Z = \left( 2,63 + \frac{33,8}{n_s} \right) \cdot D_3, \quad (m) \quad (3.52)$$

#### 3.6.4. Francis türbinlerde çark kanat sayısının belirlenmesi

Francis türbinlerde çark kanat sayısı özgül hıza bağlı olarak değişir. Çark kanat sayısı türbinin gücünü ve kavitasyon karakteristiklerini belirleyen faktörlerden biridir. Kanat sayısının az olması türbin verimini ve özgül hızı yükseltir, yük kaybı azalır. Kanat sayısı fazla olursa da yük kaybı artar. Ayrıca fazla kanat kullanarak suyun geçiş yerleri daraltılırsa aynı debi değeri için hızlar büyür ve kavitasyon tehlikesi artabilir. Yüksek düşülerde kavitasyon tehlikesini azaltmak için kanat sayısı artırılır. Kanat et kalınlığı ne kadar ince olursa kavitasyon tehlikesi o kadar azalır.

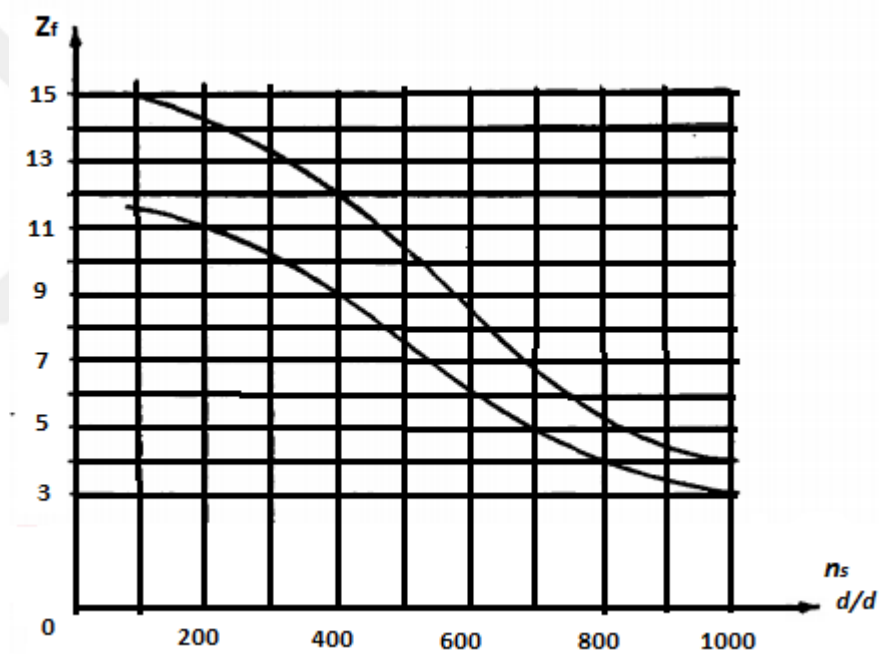
Kanat sayısı seçimi için araştırmacı Novalev Tablo 3.3'ü kullanmıştır [51].



Tablo 3.3. Novalev Özgül Devir Sayısı- Çark Kanat Sayısı İlişkisi [51]

Özgül Devir Sayısı ( $n_s$ )(d/d)	Çark Kanat Sayısı ( $Z_f$ )	Özgül Devir Sayısı ( $n_s$ )(d/d)	Çark Kanat Sayısı ( $Z_f$ )
60-80	21-19	250-300	14
120-150	19-17	300-350	14-12
180-200	17-15	350-400	12-9
200-250	15-14		

Çark kanat sayısının hangi sınırlar arasında seçilebileceği şekil 3.17'deki grafikte verilmiştir.

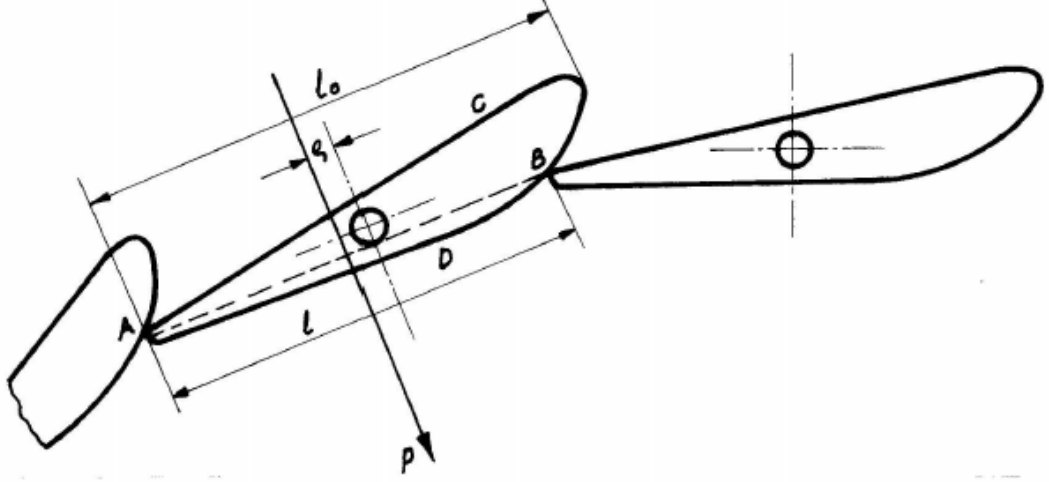


Şekil 3.17. Francis türbinleri için özgül devir sayısına göre çark kanat sayısı [51]

### 3.6.5. Ayar kanatları

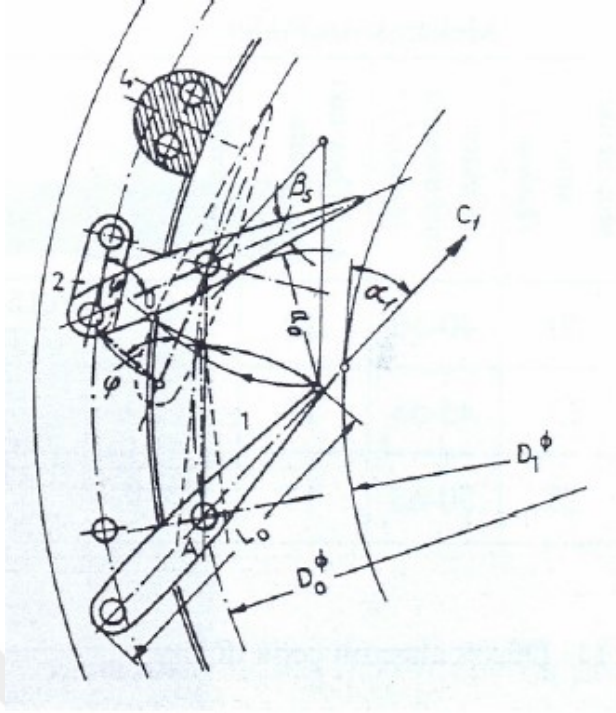
Francis türbinlerinde ayar kanatları salyangozdan gelen tahrik suyun çark kanatlarına yönlenmesine ve tahrik suyu debisinin ayarlanmasında görevlidir. Ayar kanatları hidrodinamik kesitli olarak imal edilirler. İki muylu arasında hareket edebilecek şekilde konumlandırılan ayar kanatları, özel bransmanlarla üst uçlarından ayar çemberine bağlanırlar. Ayar çemberini hareket ettiren hidrolik servo-motorlar bu

sayede ayar kanatlarına da hareket vermiş olurlar. Şekil 3.18’de kapalı halde ayar kanatları gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Kapalı Ayar Kanadı Şeması [7]

Ayar kanadı  $l_0$  boyları, ayar kanatlarının  $Z_0$  sayısına göre değişiklik gösterir. Genellikle dörtün katı olarak seçilirler. Ayar kanadı sayısının az olması, ayar çemberini hareket kuvvetinin çok olmasına neden olur. Ayrıca az sayıda ayar kanadıyla su debilerini ayarlamakta güçleşir. Ayar kanatlarının sayısının artırılması ile ayar kanatları boyları küçüleceğinden işleme, taşıma ve montaj işleri kolaylaşır. Ayar kanatları tam olarak kapandıklarında birbirine temas ederek su akışını engeller (tam sızdırmazlık istenir).



Şekil 3.19. Türbin Ayar kanatları Şeması [7]

Türbin ayar kanadı kapalı vaziyette iken üzerine gelen hidrolik kuvvet, açık olduğu durumda gelen hidrolik kuvvetten büyüktür. Bu yüzden boyutlandırma yapılırken üzerine gelen en büyük hidrolik kuvvet göz önüne alınarak yapılır. Şekil 3.19'da ayar kanatları açık halde görülmektedir. Kapalı vaziyette iken ayar kanadı üzerine gelen hidrolik kuvvet şu eşitlikle hesaplanır.

$$P = b_0 \cdot l_0 \cdot \gamma \cdot H, \quad (kp) \quad (3.53)$$

Burada;

$b_0$  = Ayar kanadı gövde yüksekliği,  $l_0$  = Ayar kanadı gövde genişliği,  $\gamma$  = Suyun özgül ağırlığı,  $H$  = En yüksek hidrolik düşüdü.

### 3.7. Örnek Türbin Seçimi, Türbin Çarkı, Salyangoz ve Emme Borusu Boyutlandırması

İncelenecek türbin, Gümüşhane ili Torul İlçesi sınırlarında bulunan Torul HES'in türbinleridir. Torul HES 2008 yılında faaliyete geçmiş olup, EÜAŞ tarafından işletilmekteyken 2016 yılında özelleştirilmesi sonucu KKK enerji üretim A.Ş tarafından işletilmesi devralınmıştır.

Torul HES 52,8 MW<sub>e</sub> gücünde iki adet düşey eksenli Francis türbininden oluşmaktadır ve toplam kurulu gücü 105,6 MW<sub>e</sub> tır.

Tablo 3.4. Torul HES Karakteristik Tablosu

İli	Gümüşhane
İlçesi	Torul
Nehir	Harşit Çayı
Rezervuar Tipi	Barajlı
Ünite Kapasitesi	52,8 MW <sub>e</sub>
Ünite Sayısı	2
Kurulu Güç	105,6 MW <sub>e</sub>
Üretim Kapasitesi	322 GWh/yıl
Yıllık Elektrik Üretimi	245 GWh
Net Düşü	261 m
Baraj Göl Hacmi	168 hm <sup>3</sup>
Min. İşletme Seviyesi	890 m (85 hm <sup>3</sup> )
Max. İşletme Seviyesi	917 m (168 hm <sup>3</sup> )
İşletmeci	Kuzey Enerji Üretim A.Ş.

### 3.7.1. Santral karakteristikleri

Maximum Su Kotu	: 917 m
Minimum Su kotu	: 890 m
Kuyruk suyu Çıkış Kotu	: 635 m
Anma Net Düşü	: 261 m
Toplam su Debisi	: 45 m <sup>3</sup> /sn

### 3.7.2. Türbin gücünün tespiti

Torul HES; tek cebri boru ve 2 ünite olarak tasarlanmıştır. Ünite debileri 22,5 m<sup>3</sup>/sn, toplamda 45 m<sup>3</sup>/sn olarak hesap edilmiştir. Türbin verimi  $\eta_t = \%92$  olarak alınmıştır. Dizayn net düşüsü  $H_d = 261$  m olarak alınmıştır.

Denklem 3.8'den

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{102} = \frac{997 \cdot 45 \cdot 261 \cdot 0,92}{102} \approx 105600 \text{ kW} = 105,6 \text{ MW}$$

bulunur. Her bir ünitenin gücü  $105600/2=52800 \text{ kW}=52,8\text{MW}$  olarak hesaplanır.

### 3.7.3. Türbin tipinin seçimi

Siervo ve Leva'ya göre Türbin özgül hızı denklem 3.7'den;

$$n_s = \frac{3470}{(H_d)^{0,65}} = \frac{3470}{261^{0,65}} = 93,22 \text{ bulunur.}$$

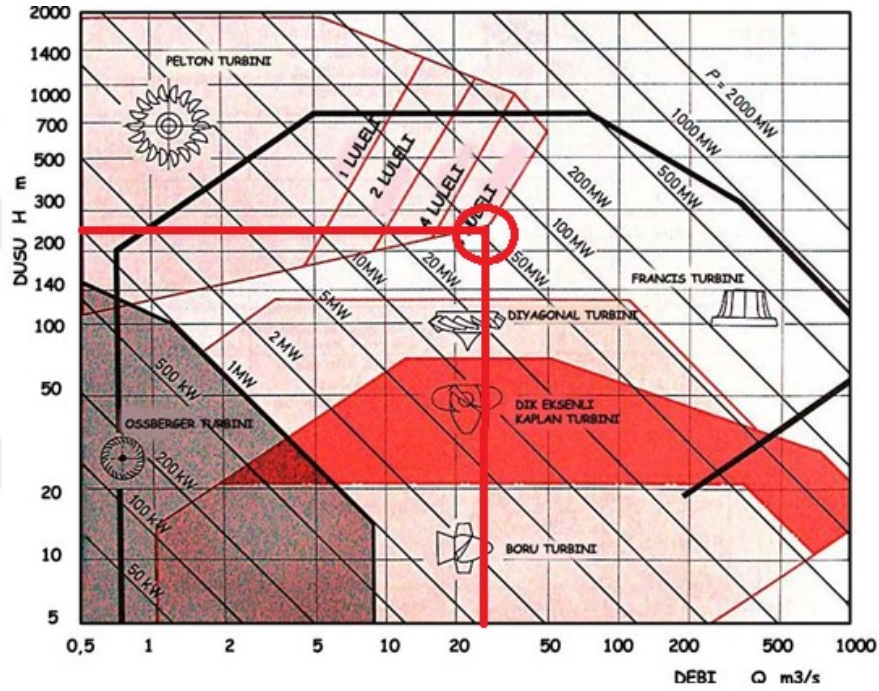
Tablo 3.1'deki özgül hıza göre türbin seçiminden Francis türbini olduğu belirlenir.

$H_d=261$  m ve  $Q = 22,5\text{m}^3/\text{sn}$  değerleri için şekil 3.4'den okunan değer  $n \approx 450$  d/d dır.

Aşağıdaki eşitlikte okunan değer yerine konursa;

$$n_s = \frac{N^{0,5}}{H^{1,25}} \cdot n = \frac{52800^{0,5}}{261^{1,25}} \cdot 450 = 98,56 \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (3.54)$$

Ayrıca Şekil 3.2 den düşü ve debi değerlerinde göre de Francis alanında kaldığı Şekil 3.20’de görülmüştür.



Şekil 3.20. Türbin Çark Tipi Tayini

### 3.7.4. Türbin devir sayısı tayini

Devir sayısı denklem 3.9’da jeneratör kutup sayısına göre belirlenir. Torul HES’te kullanılan jeneratör 14 kutupludur. Buna göre;

$$n = \frac{120f}{P} = \frac{120 \cdot 50}{14} = 428.6 \text{ d/d olarak hesaplanır.}$$

Türbin seçimine ait hesaplamalar şekil 3.21 deki excel hesap sayfası resminde verilmiştir.

HİDROLİK GÜÇ		Özgül Hız		A. Oesterlene	Voith	Kuamer Brug ve Egyazarof	De Siervo ve F. Leva	USA Bureau of Reclamation																								
$P=Q \cdot H_g \cdot \gamma \rightarrow$	11709765	$n_s = \frac{\sqrt{Q}}{(H_d)^{3/4}} \rightarrow$	44,27699																													
$P:$ Hidrolik Güç [W]	11709765	$n_s:$ Özgül Hız (d/d)	44,27699	$n_s = \frac{3500}{(H_d)^{0,7}}, (d/d)$	$n_s = \frac{4100}{(H_d)^{0,7}}, (d/d)$	$n_s = \frac{5000}{(H_d)^{0,7}}, (d/d)$	$n_s = \frac{3470}{(H_d)^{0,65}}, (d/d)$	$n_s = \frac{2334}{(H_d)^{0,7}}, (d/d)$																								
$Q:$ Su Debisi (m3/s)	45	$Q:$ Su Debisi (m3/s)	45																													
$H_g:$ Hidrolik Düşü (m)	261	$H_d:$ Net Düşü (m)	261	$n_s = 71,190114$	$n_s = 83,39413$	$n_s = 101,7002$	$n_s = 93,2208686$	$n_s = 62,70245$																								
$\gamma:$ Suyun Özgül Ağırlığı	997	$n:$ Türbin Devir Sayısı (d/d)	428,6																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Türbin Gücü</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{75}, [BG]</math></td> <td><math>N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{102}, [kW]</math></td> </tr> <tr> <td><math>N:</math> Türbin Gücü [BG], [kW]</td> <td>143639,8 105617,5</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma:</math> Suyun Özgül Ağırlığı (kg/m)</td> <td>997</td> </tr> <tr> <td><math>Q:</math> Suyun Debisi (m3/s)</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td><math>H_d:</math> Net Düşü (m)</td> <td>261</td> </tr> <tr> <td><math>\eta_t:</math> Türbin Verimi %</td> <td>0,92</td> </tr> </tbody> </table>		Türbin Gücü		$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{75}, [BG]$	$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{102}, [kW]$	$N:$ Türbin Gücü [BG], [kW]	143639,8 105617,5	$\gamma:$ Suyun Özgül Ağırlığı (kg/m)	997	$Q:$ Suyun Debisi (m3/s)	45	$H_d:$ Net Düşü (m)	261	$\eta_t:$ Türbin Verimi %	0,92	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Türbin Devir Sayısı</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>n = \frac{120 \cdot f}{p} \rightarrow</math></td> <td>428,6</td> </tr> <tr> <td><math>n:</math> Türbin Devir Sayısı</td> <td>428,6</td> </tr> <tr> <td><math>f:</math> Sistem Frekansı</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td><math>p:</math> Jeneratör Kutup sayısı</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>		Türbin Devir Sayısı		$n = \frac{120 \cdot f}{p} \rightarrow$	428,6	$n:$ Türbin Devir Sayısı	428,6	$f:$ Sistem Frekansı	50	$p:$ Jeneratör Kutup sayısı	14					
Türbin Gücü																																
$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{75}, [BG]$	$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_d \cdot \eta_t}{102}, [kW]$																															
$N:$ Türbin Gücü [BG], [kW]	143639,8 105617,5																															
$\gamma:$ Suyun Özgül Ağırlığı (kg/m)	997																															
$Q:$ Suyun Debisi (m3/s)	45																															
$H_d:$ Net Düşü (m)	261																															
$\eta_t:$ Türbin Verimi %	0,92																															
Türbin Devir Sayısı																																
$n = \frac{120 \cdot f}{p} \rightarrow$	428,6																															
$n:$ Türbin Devir Sayısı	428,6																															
$f:$ Sistem Frekansı	50																															
$p:$ Jeneratör Kutup sayısı	14																															

Şekil 3.21. Türbin Seçimine ait Excel formatında hazırlanan hesap tablosu

### 3.7.5. Türbin çarkı boyut hesabı

Boyutlandırma işlemi Siervo ve Leva metoduna göre yapılmıştır. İlk önce  $D_3$  çıkış çapı hesaplanır. Denklem 3.22’den  $D_3$  çıkış çapı ;

$$k_u = 0,31 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot n_s = 0,556$$

$$D_3 = 84,5 \cdot k_u \cdot \frac{\sqrt{H_d}}{n} = 1,688 \text{ m}$$

bulunur. Denklem 3.37’den  $D_1$  çapı;

$$D_1 = \left( 0,4 + \frac{94,5}{n_s} \right) \cdot D_3 = 2,294 \text{ m}$$

Denklem 3.38’den  $D_2$  çapı;

$$D_2 = \frac{D_3}{0,96 + 0,00038 \cdot n_s} = 1,692 \text{ m bulunur.}$$

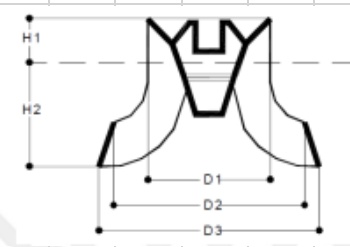
Ayrıca;

$$H_1 = (0,94 + 0,00025 \cdot n_s) \cdot D_3 = 1,628 \text{ m}$$

$$H_2 = \left(0,05 + \frac{42}{n_s}\right) \cdot D_3 = 0,156 \text{ m} \quad \text{bulunur.}$$

Çark boyutlandırmasına ait hazırlanmış olan Excel hesap sayfası resmi Şekil 3.22 deki gibidir.

Türbin D3 Çark Çıkış Çapı			
Siervo ve Leva		USA Bureau of Reclamation'a	
$D_3 = 84,5 \cdot k_{t1} \cdot \frac{\sqrt{H_d}}{n}$ , (m)		$D_3 = \frac{84,47 \cdot \varphi_3 \cdot (H_d)^{0,5}}{n}$ , (m)	
$k_{t1} = 0,31 + 2,5 \times 10^{-3} \cdot n_s$		$\varphi_3 = 0,0211 \cdot (n_s)^{0,67}$	
$D_3$ : Türbin çıkış Çapı	1,687919	$D_3$ : Türbin çıkış Çapı	1,386348
$k_{t1}$ : Özgül Hız Katsayısı	0,5564	$\varphi_3$ : Katsayı	0,457153
$H_d$ : Net Düşü	261	$H_d$ : Net Düşü	261
$n_s$ : Türbin özgül hız	98,56	$n_s$ : Türbin özgül hız	98,56
n: Tablodan bulunan devir sayısı	450	n: Tablodan bulunan devir sayısı	450



$$D_1 = \left(0,4 + \frac{94,5}{n_s}\right) D_3, \quad (m) \quad D_1 = 2,293556$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0,96 + 0,00038 \cdot n_s}, \quad (m) \quad D_2 = 1,692229$$

$$H_1 = (0,94 + 0,00025 \cdot n_s) \cdot D_3, \quad (m) \quad H_1 = 1,628234$$

$$H_2 = \left(0,05 + \frac{4,2}{n_s}\right) D_3, \quad (m) \quad 50 < n_s < 110 \quad H_2 = 0,156324$$

$$H_2 = \frac{D_3}{3,16 + 0,0013 \cdot n_s}, \quad (m) \quad 110 < n_s < 350 \quad H_2 = 0$$

Şekil 3.22. Türbin Çarkı boyutlandırmasına ait Excel Hesap Tablosu

### 3.7.6. Türbin salyangoz boyut hesabı

Türbin salyangozu boyutları Siervo ve Leva'ya göre hesaplanmıştır.

$$A = \left(1,2 - \frac{19,56}{n_s}\right) \cdot D_3 = 1,691 \text{ m}$$

$$B = \left(1,1 + \frac{54,8}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,795 \text{ m}$$



$$C = \left(1,32 + \frac{49,25}{n_s}\right) \cdot D_3 = 3,071 \text{ m}$$

$$D = \left(1,50 + \frac{48,8}{n_s}\right) \cdot D_3 = 3,368 \text{ m}$$

$$E = \left(0,98 + \frac{63,6}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,743 \text{ m}$$

$$F = \left(1 + \frac{131,4}{n_s}\right) \cdot D_3 = 3,938 \text{ m}$$

$$G = \left(0,89 + \frac{96,5}{n_s}\right) \cdot D_3 = 3,155 \text{ m}$$

$$H = \left(0,79 + \frac{81,75}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,733 \text{ m}$$

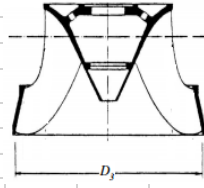
$$I = (0,1 + (0,00065 \cdot n_s)) \cdot D_3 = 0,277 \text{ m}$$

$$L = (0,88 + (0,00049 \cdot n_s)) \cdot D_3 = 1,567 \text{ m}$$

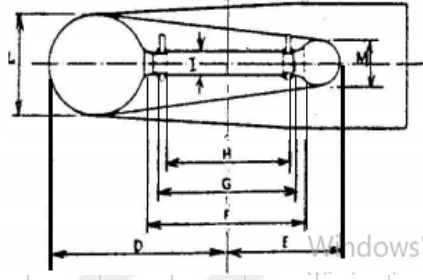
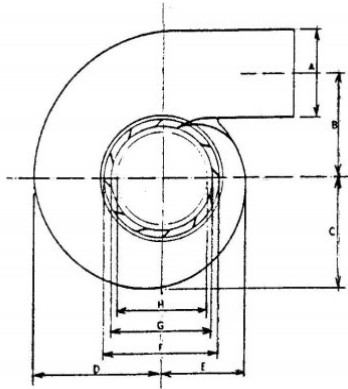
$$M = (0,60 + (0,000015 \cdot n_s)) \cdot D_3 = 1,038 \text{ m}$$

Türbin Salyangoz boyutlandırmasına ait Excel hesap sayfası resmi Şekil 3.23' deki gibidir.

Salyangoz Girişindeki Su Hızı		Türbin D3 Çıkış Çapı	
$V_1 = \frac{84,4}{(n_s)^{0,44}}, \left[ \frac{m}{sn} \right] \rightarrow$	11,197	$D_3 = 84,5 \cdot k_u \frac{\sqrt{H_d}}{n}, (m)$	
$k_u = 0,31 + 2,5 \times 10^{-3} \cdot n_s$			
$V_1$ : Su hızı	11,197	$D_3$ : Türbin çıkış Çapı	1,688
$n_s$ : Türbin özgül hız	98,56	$k_u$ : Özgül Hız Katsayısı	0,556
		$H_d$ : Net Düşü	261
		$n_s$ : Türbin özgül hız	98,56
		n: Tablodan bulunan devir sayısı	450



### Salyangoz Boyutları



$A = \left( 1,2 - \frac{19,56}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	A= 1,691	$I = (0,1 + (0,00065 \cdot n_s)) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	I= 0,277
$B = \left( 1,1 + \frac{54,8}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	B= 2,795	$L = (0,88 + (0,00049 \cdot n_s)) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	L= 1,567
$C = \left( 1,32 + \frac{49,25}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	C= 3,071	$M = (0,60 + (0,00015 \cdot n_s)) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	M= 1,038
$D = \left( 1,50 + \frac{48,8}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	D= 3,368		
$E = \left( 0,98 + \frac{63,6}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	E= 2,743		
$F = \left( 1 + \frac{131,4}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	F= 3,938		
$G = \left( 0,89 + \frac{96,5}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	G= 3,155		
$H = \left( 0,79 + \frac{81,75}{n_s} \right) \cdot D_3, (m) \rightarrow$	H= 2,733		

Şekil 3.23. Türbin Salyangoz boyutlandırmasına ait Excel hesap tablosu

### 3.7.7. Emme borusu boyut hesabı

Türbin emme borusu boyutları Siervo ve Leva'ya göre hesaplanmıştır.

Emme borusu su giriş hızı;

$$V_2 = 8,74 + \frac{248}{n_s} = 11,256 \text{ m/sn}$$

Emme borusu ana boyutları;

$$N = \left(1,54 + \frac{203,5}{n_s}\right) \cdot D_3 = 6,084 \text{ m}$$

$$O = \left(0,83 + \frac{140,7}{n_s}\right) \cdot D_3 = 3,811 \text{ m}$$

$$P = (1,37 - 0,00056 \cdot n_s) \cdot D_3 = 2,219 \text{ m}$$

$$Q = \left(0,58 + \frac{22,6}{n_s}\right) \cdot D_3 = 1,366 \text{ m}$$

$$R = \left(1,6 - \frac{0,0013}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,701 \text{ m}$$

$$S = \left(\frac{n_s}{0,25 \cdot n_s - 9,28}\right) \cdot D_3 = 10,831 \text{ m}$$

$$T = \left(1,50 + \frac{0,00019}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,532 \text{ m}$$

$$U = (0,51 - 0,0007 \cdot n_s) \cdot D_3 = 0,744 \text{ m}$$

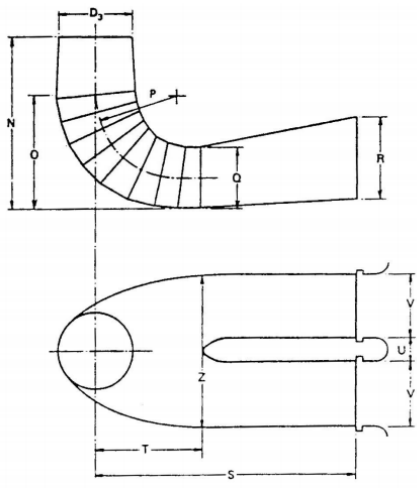
$$V = \left(1,10 + \frac{53,7}{n_s}\right) \cdot D_3 = 2,776 \text{ m}$$

$$Z = \left( 2,63 + \frac{33,8}{n_s} \right) \cdot D_3 = 5,018 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

Emme borusu boyutlandırmasına ait Excel hesap sayfası resmi Şekil 3.24'deki gibidir.

Emme Borusu Su Giriş Hızı		Siervo ve Leva'ya göre D3 çıkış çapı	
$V_2 = 8,74 + \frac{248}{n_s}$	$\left[ \frac{m}{sn} \right] \rightarrow$	$D_3 = 84,5 \cdot k_u \cdot \frac{\sqrt{H_d}}{n}$	(m)
$V_2$ :	Su hızı	$k_u = 0,31 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot n_e$	
$n_s$ :	Türbin özgül hız	$D_3$ : Türbin çıkış Çapı	1,688
		$k_u$ : Özgül Hız Katsayısı	0,556
		$H_d$ : Net Düşü	261
		$n_s$ : Türbin özgül hız	98,56
		$n$ : Tablodan bulunan devir sayısı	450
$N = \left( 1,54 + \frac{203,5}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	N=	6,084
$O = \left( 0,83 + \frac{140,7}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	O=	3,811
$P = (1,37 - 0,00056 \cdot n_s) \cdot D_3$	(m)	P=	2,219
$Q = \left( 0,58 + \frac{22,6}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	Q=	1,366
$R = \left( 1,6 + \frac{0,0013}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	R=	2,701
$S = \left( \frac{n_s}{0,25 \cdot n_s - 9,26} \right) \cdot D_3$	(m)	S=	10,831
$T = \left( 1,50 + \frac{0,00019}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	T=	2,532
$U = (0,51 - 0,0007 \cdot n_s) \cdot D_3$	(m)	U=	0,744
$V = \left( 1,10 + \frac{33,7}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	V=	2,776
$Z = \left( 2,63 + \frac{33,8}{n_s} \right) \cdot D_3$	(m)	Z=	5,018



Şekil 3.24. Emme Borusu boyutlandırmasına ait Excel hesap tablosu

## BÖLÜM 4. SONUÇ

Enerji ihtiyacının karşılanmasında kendi kaynaklarımıza yönelerek, bu kaynaklar doğrultusunda hamleler yapmak gelecek adına büyük bir öneme arz etmektedir. Bu kaynaklardan da en önemlisi sonsuz olması, çevreye en az tesirli olanı yenilebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilebilir Enerji Kaynaklarına yatırım yapmak hem çevresel hem de hammadde temini bakımından maliyeti en düşük olacağından bu kaynakları harekete geçirmek en doğrusu olacaktır. Bu sayede yerli imkânlarımız da fazlasıyla kullanıma geçecektir. Yenilebilir enerji kaynakları arasında da “hidroelektrik santraller”, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında en yaygın, çevreye en az etkili ve maliyet/verim bakımından en kullanışlı enerji üretim sistemidir. Diğer üretim tipleri ile karşılaştırıldığında işletme maliyeti, yüksek verim ve uzun işletme ömrü ile ilk sıradadır. Genel anlamda her türlü düşü ve debide kullanılabilen Francis türbini, hidroelektrik santrallerde en yaygın olarak kullanılan türbin çeşididir. Ancak ülkemizde 60 yılı aşkın bir geçmişi olan hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinlerin tamamına yakını yabancı üretimdir. Ülkemiz hala kendi elektro-mekanik aksamını üretememiştir. Ancak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2013 yılında Hidroelektrik Santral Bileşenlerinin Yerli Olarak Tasarımı ve Üretimi adı altında başlatmış olduğu MİLHES projesi ile imalatların ve tasarımının yerli yapılması ve desteklenmesini amaçlamıştır.

Bu tez çalışmasında 2008 yılından beri faaliyette bulunan Torul HES’in türbin hesapları irdelenmiştir. Önce bilinen düşü, debi ve verim değerleriyle projenin toplam gücü 105600 kW hesaplanmıştır. Hidrolik türbin seçiminde ve tasarlanmasında spesifik hız belirleyici olmaktadır. Bu sebeple spesifik hız tespiti yapıp tablo 3.1 den hangi türbin tipinin kullanılacağı belirlenmiştir. Torul HES’e ait düşü, debi ve spesifik hız değerleri vasıtasıyla Francis tipi türbin kullanılabileceği görülmüştür. Bu doğrultuda Türbin çarkı, Salyangoz ve Emme borusu boyutlandırma analizi yapılmış

ve bulunan değerlerin uyuştuğu görülmüştür. Ayrıca formüle edilmiş Excel çalışmasında da bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında genel anlamda Francis tipi türbin tasarımında hangi parametrelerin etkili olduğu ifade edilmeye çalışılmıştır

Enerjide dışa bağımlılığın bitirilmesi kadar tam anlamıyla yerli donanıma sahip ekipmanların kullanıldığı elektrik santralleri kurmak ülkemiz açısından üretim anlamında dışa bağımlılığın azaltılmasında önemli bir engelin ortadan kalkmasına yardımcı olacaktır. Bu bakımdan gerekli ar-ge çalışmalarının yapılarak santrallerimizde kullanılacak türbin kısmının projelendirilmesi, imalatı ve montajı gibi işlemlerin yerli imknlarla daha hassas bir şekilde yapılması enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Tekno Tasarım, Hidroelektrik Enerji ve Türbinler, adres @ <https://docplayer.biz.tr/5870129-Hidroelektrik-enerji-ve-turbinler.html>, Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [2] Türkiye Elektrik Tüketimi, adres @ <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-tuketimi/>, Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, adres@ [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h\\_turkiye\\_potansiyel.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx) Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [4] Hidroelektrik Enerjisi nedir, nasıl üretilir, adres @ <https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2018/07/Hidroelektrik.jpg> Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [5] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2018 Faaliyet Raporu, adres@ <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2018-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2> Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [6] Tam, M., (2009), Hidroelektrik Santraller ve Santral İşletmeciliği, Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri, Forum 2009, adres@ [http://www.emo.org.tr/ekler/b26867816dcfa8a\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/b26867816dcfa8a_ek.pdf) Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [7] Başeşme, H., Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, EÜAŞ Yayınları, Ankara (2003)
- [8] Atatürk Barajı Gövdesi, adres @ <http://www.dsi.gov.tr/projeler/aturturk-baraji> Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [9] Türbin Salyangozu, adres @ [http://www.emeco.ru/en/news/?PAGEN\\_1=4](http://www.emeco.ru/en/news/?PAGEN_1=4) Erişim Tarihi: 09.02.2019

- [10] Dolu Savak Tesisi, adres @  
<https://i.ytimg.com/vi/Ycl-6i7pD3I/maxresdefault.jpg>  
Erişim Tarihi: 09.02.2019
- [11] Özdemir, M.T., Gençoğlu M.T., Cebeci M., (2011), Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkanlarla Değerlendirilmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011, Elazığ-Türkiye.
- [12] Atatürk Barajı ve HES, adres @  
<https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/ataturk-barajı.html>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [13] Üç Boğaz Barajı, adres @  
<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvw5zDp19Cb8SfYXpfQmFyYWwEsQ>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [14] Depolamasız Hidroelektrik Santrali, adres @  
<https://tr.redsearch.org/images/5412308#images-16>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [15] Depolamalı Hidroelektrik Santrali, adres @  
<https://tr.redsearch.org/images/3496338#images-4>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [16] Atatürk Barajı, adres @ <http://www.ataturkbarajı.com>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [17] Ayder, E. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller, Teknik Rapor, 2015  
adres @ [https://web.itu.edu.tr/aydere/PDHES\\_raporu\\_v2.pdf](https://web.itu.edu.tr/aydere/PDHES_raporu_v2.pdf)  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [18] Sertkaya, A.A., Saraç, M., Omar, M.A., Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Türkiye İçin Önemi, 2015 adres @  
<https://19ergipark.org.tr/download/article-file/302965>  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [19] Pompaj Depolamalı Santral, adres@  
[https://www.kontrolkalemi.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklarindan-gunes-ve-ruzgar-santralleri-icin-depolama-yontemleri-bolum\\_1/pompaj-depolamali-santral-2/](https://www.kontrolkalemi.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklarindan-gunes-ve-ruzgar-santralleri-icin-depolama-yontemleri-bolum_1/pompaj-depolamali-santral-2/)  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [20] Demirhan, A.Y., Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2006.



- [21] Özbay, E., Gençoğlu, M.T., Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, V. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 2009, adres@  
[http://www.emo.org.tr/ekler/34a7e153651ca39\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/34a7e153651ca39_ek.pdf)  
Erişim Tarihi: 13.02.2019
- [22] Sanlı, Ö., Sertler, C., Dizman, İ., Ketenci, E.C., Hidroelektrik Santral Tipleri, Bakımı, Türbin Seçimi ve Çeşitleri, adres @  
[https://prezi.com/elv5zidnhsac/hidroelektrik\\_santraltipleribakimiturbin-secimi-ve-cesitl/](https://prezi.com/elv5zidnhsac/hidroelektrik_santraltipleribakimiturbin-secimi-ve-cesitl/)  
Erişim Tarihi: 13.02.2019
- [23] Temiz, A. Nehir Tipi Hidroelektrik Enerji Santrali Uygulamaları, III. Enerji Verimliliği Günleri 2015, adres@  
[http://www.emo.org.tr/ekler/b9d2f8feeb89b7d\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/b9d2f8feeb89b7d_ek.pdf)  
Erişim Tarihi: 13.02.2019
- [24] Aslan, Y., Yaşar, C., Karabörk, M.Ç., Bir Mikro-Hidro Örneği: Kayaboğazı Barajı, adres@  
[https://www.academia.edu/18014195/Bir\\_Mikro-Hidro\\_%C3%96rne%C4%9Fi\\_Kayabo%C4%9Faz%C4%B1\\_Baraj%C4%B1](https://www.academia.edu/18014195/Bir_Mikro-Hidro_%C3%96rne%C4%9Fi_Kayabo%C4%9Faz%C4%B1_Baraj%C4%B1)  
Erişim Tarihi: 16.02.2019
- [25] Yerebakan, M., Mikro Enerji Santralleri, İstanbul Ticaret Odası, 2008, İstanbul adres @  
<http://www.ito.org.tr/itoyayin/0019355.pdf>  
Erişim Tarihi: 16.02.2019
- [26] Turgo Türbini, adres @  
<https://sc01.alicdn.com/kf/HTB180yaIr5YBuNjSspo762eNFXaU/Small-Water-Powered-Generator-Turgo-Wheel.png>  
Erişim Tarihi: 13.06.2019
- [27] Bınarbaşı, Ö., Mikro Hidroelektrik Santraller için Mikroişlemci Tabanlı Hız Regülatörü Sisteminin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2015
- [28] Banki Türbini, adres @ <http://cink-hydro-energy.com/tr/akis-turbini/>  
Erişim Tarihi: 24.02.2019
- [29] Lester Allen Pelton, Pelton Türbini Mucidi, adres @  
<https://www.elektrikport.com/makale-detay/lester-allan-pelton-pelton-turbini-mucidi/18511#ad-image-0>  
Erişim Tarihi: 09.03.2019
- [30] Bulut, M., Hidroelektrik Enerji ve Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tipi Seçiminin Verime Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane, 2013

- [31] Pelton Türbini, adres @ <http://www.koessler.com/tr/pelton-t%C3%BCrbinleri>  
Erişim Tarihi: 09.03.2019
- [32] Türbin Çeşitleri, adres @ <https://www.enerjimuhendisleri.com/kose-yazisi/oku/turbin-cesitleri>  
Erişim Tarihi: 20.03.2019
- [33] Türbin, adres @ <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvVMO8cmJpbiNUZXBraV8ocmVha3NpeW9uKV90w7xyYmlubGVyaQ>  
Erişim Tarihi: 20.03.2019
- [34] Hidroelektrik Santrallerde Kullanılan Türbin Tipleri, adres @ <https://www.elektrikport.com/universite/hidroelektrik-santrallerde-kullanilan-turbin-tipleri/11544#ad-image-0>  
Erişim Tarihi: 20.03.2019
- [35] Sav, M., Francis Tipi Hidrolik Türbinlerde Kaviteasyonun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2010
- [36] Apak, A., Hidrolik Enerji, adres @ <https://slideplayer.biz.tr/slide/13932963/>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [37] Mikro Su Türbini, adres @ <https://www.pngindir.com/png-zues2r/>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [38] Hanania, J., Stenhouse, K., Donev, J., Kaplan Turbine, adres @ [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan_turbine)  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [39] Boz, A., Hidroelektrik Enerji, adres @ <https://slideplayer.biz.tr/slide/3182441/release/woothee>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [40] Francis Türbini, adres @ <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRnJhbmNpc190w7xyYmluaQ>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [41] Dang, P., Hanania, J., Stenhouse, K., Donev, J., Francis Turbine, adres @ [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Francis\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Francis_turbine)  
Erişim Tarihi: 09.04.2019

- [42] Francis Türbini, adres @ <https://teknokampus.net/francis-turbini/>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [43] Breeze, P., Francis Turbine, 2014 adres @  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/francis-turbines>  
Erişim Tarihi: 09.04.2019
- [44] Francis Turbines, adres @  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/francis-turbines/pdf>  
Erişim Tarihi: 06.04.2019
- [45] Hidroelektrik Santrali, adres @  
[http://www.turkcewiki.org/wiki/Hidroelektrik\\_santrali](http://www.turkcewiki.org/wiki/Hidroelektrik_santrali)  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [46] Türbin Ayar Kanadı, adres @  
<https://www.wnt.com/in/news-from-wnt/hydro-energy-component-machining-time-reduced-1871.html>  
Erişim Tarihi: 09.04.2019
- [47] 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/fd86ceda99aa0c9\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/fd86ceda99aa0c9_ek.pdf)  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [48] Yenilebilir Enerji Kaynakları- Hidrolik makinalar, adres @  
[http://blog.yalova.edu.tr/umitunver/wpcontent/uploads/sites/19/2017/09/YEK-II\\_03\\_04.pdf](http://blog.yalova.edu.tr/umitunver/wpcontent/uploads/sites/19/2017/09/YEK-II_03_04.pdf)  
Erişim Tarihi: 12.02.2019
- [49] Keçel, S., Francis Tipi Türbin Tasarım ve Yönlendirme Kanat Açısının Türbin Tasarım Parametrelerine Etkisinin Sayısal Analizi, Doktora Tezi, Ankara, 2013
- [50] Francis Turbine Experiment, adres @  
<https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/MCE%20403-francis%20türbini%20deney%20föyü.pdf>  
Erişim Tarihi: 20.04.2019
- [51] Köse, F., Türbin Karakteristik Deneyleri ile Kanat Verimliliğinin İyileştirilmesi İçin Bir Francis Türbini Deney Setinin Kurulması ve Araştırılması, Doktora Tezi, Konya, 1996
- [52] Erdem, M., Küçük Hidroelektrik Santrallerin Tasarım Ölçütleri, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2006

- [53] Krivchenko, G.I., Hydraulic Machines Turbines and Pumps, Moscow, 1986  
adres @  
[https://kupdf.net/download/hydraulic-machines-turbines-and-pumps-2ed-g-i-krivchenko-isbn-1566700019-lewis-publishers\\_58ed2196dc0d60412cda9800\\_pdf](https://kupdf.net/download/hydraulic-machines-turbines-and-pumps-2ed-g-i-krivchenko-isbn-1566700019-lewis-publishers_58ed2196dc0d60412cda9800_pdf)  
Erişim Tarihi: 20.04.2019
- [54] Moona, M., Mohammadi, M., Mohammadi, A., Farahat, S., Analyzing Mathematical and Software Methods for Selecting and Designing Francis Turbine in Hydropower Plants”, 2016 adres @ <http://www.jocet.org/vol4/297-H2002.pdf>  
Erişim Tarihi: 20.04.2019
- [55] Ramos, H., Betamio de Almedia, A., Portela, M.M., Pires de Almeida, H., Guidelines For Design of Small Hydropower Plants”, adres @  
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452028115/Guideline%20for%20Design%20of%20SMALL%20HYDROPOWER%20PLANTS%20-%20HR1.pdf>  
Erişim Tarihi: 20.04.2019
- [56] Hidroelektrik Enerji, adres @  
[http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/hidro\\_elektrik\\_enerji\\_2.pdf](http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/hidro_elektrik_enerji_2.pdf)  
Erişim Tarihi: 03.05.2019

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Giresun'un Dereli ilçesinde doğdum. İlkokulu Dereli'de, ortaokulu Giresun Mehmet Akif Ortaokulunda ve lise eğitimimi de 1999 yılında o zamanki adıyla Giresun "Süper" Lisesinde tamamladım. 2000 senesinde İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandım ve Ocak-2006'da mezun oldum. Aynı yıl KPSS sınavı ile EÜAŞ Doğankent Hidroelektrik Santralinde Makine Mühendisi olarak Makine Bakım Başmühendisliği servisinde göreve başladım. Aynı görevi ifa ederken 2009 senesinde Torul HES Başmühendisliğinde "Sorumlu Mühendis", 2012-2015 yılları arasında Doğankent HES Makine Başmühendisliğine vekâlet ettim. Ağustos 2015 senesinde Kürtün HES Başmühendisliğine "Başmühendis" olarak atandım. Nisan 2016 senesinde Kürtün HES'in özelleşmesi ile Şubat 2017'de DSİ 226. Şube Müdürlüğünde Makine İkmal Mühendisi olarak atamam yapıldı. Halen aynı görevde devam etmekteyim.