

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

**EDİRNE İLİ ALÇAK DÜŞÜLÜ AKARSULARINDA PİKO  
HİDROELEKTRİK ENERJİSİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ  
VE UYGUN BİR TÜRBİN-GENERATÖR PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**İSMAİL KIZILIRMAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANA BİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İSMAİL BECENEN**

**EDİRNE-2023**

**İSMAİL KIZILIRMAK**'ın hazırladığı “**EDİRNE İLİ ALÇAK DÜŞÜLÜ AKARSULARINDA PİKO HİDROELEKTRİK ENERJİSİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE UYGUN BİR TÜRBİN-GENERATÖR PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

İmza

Doç. Dr. Ceyhun KÖSE

.....

Dr. Öğr. Üyesi İsmail BECENEN

.....

Dr. Öğr. Üyesi Kenan KARAÇAVUŞ

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/07/2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi İsmail BECENEN  
Tez Danışmanı

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ**  
**YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**  
**DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

11 / 07 / 2023  
İsmail Kızılırmak

Yüksek Lisans Tezi

Edirne İli Alçak Düşülü Akarsularında Piko Hidroelektrik Enerjisi Potansiyelinin  
Değerlendirilmesi ve Uygun Bir Türbin-Generatör Prototipinin Geliştirilmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Ana Bilim Dalı

## ÖZET

Türkiye, hızla artan elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için öncelikli olarak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek zorundadır. Türkiye’de hidroelektrik enerjisi üretiminde baraj tipi santraller ön plâna çıkmakta, nehir tipi santraller ise daha az tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidroelektrik enerji kaynakları diğer kaynaklar ile kıyaslandığında daha stabildir. Bu nedenle mevcut hidroelektrik potansiyelinin daha fazla oranda değerlendirilmesi gerekmektedir. Akarsularımızın hidroelektrik enerjisi potansiyelinin belirlenmesi elektrik üretiminde kullanılabilmesi için önemlidir. Mevcut durumda yüksek düşülü akarsuların enerji potansiyeli alçak düşülü akarsulardaki enerji potansiyeline göre daha fazla değerlendirilmektedir. Çalışmamızın amacını; yeterince değerlendirilemeyen hidroelektrik enerjinin ekonomiye kazandırılması oluşturmaktadır. Bu amaçla çalışmada, coğrafi yapı olarak yükseltisi az, akarsu ve dereleri alçak düşüye sahip olan Edirne ili seçilmiştir. Çalışma kapsamında hidroelektrik enerji, hidroelektrik enerjiden elektrik üretimi, hidrotürbin tipleri, hidroelektrik enerji santralleri, Edirne ilinde hidroelektrik enerji potansiyeli incelenecektir. Terminolojide 5 kW’a kadar olan türbinler piko hidroelektrik türbinler olarak adlandırılmıştır. Edirne İli’inin alçak düşülü akarsularında uygun piko hidroelektrik türbin tipi olarak yerçekimsel su girdap türbini (GWVT) seçilerek uygulaması yapılmıştır. Elde edilecek enerjinin öncelikle akarsu kenarlarındaki yerleşim yerleri ve tarımsal işletmelerde kullanılması ile enerji giderlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Daha büyük ölçeklerde elde edilecek enerji ise ulusal şebekeye verilebilir.

Yıl :2023

Sayfa Sayısı : 111

Anahtar Kelimeler : Piko Hidroelektrik Enerji, Coriolis Etkisi, Edirne, Enerji Potansiyeli, Alçak Düşülü Akarsu, Hidrotürbin, Yerçekimsel Su Girdap Türbini



Master Thesis

Evaluation of Pico Hydroelectric Energy Potential in Edirne Province Low-Head Rivers  
and Development of an Appropriate Turbine-Generator Prototype

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Applied Science and Technology

## **ABSTRACT**

In order to meet the rapidly increasing electricity need, Turkey has to focus primarily on domestic and renewable energy sources. In Turkey, dam-type power plants come to the fore in hydroelectric energy production, while river-type power plants are less preferred. Hydroelectric energy sources, one of the renewable energy sources, are more stable compared to other sources. Therefore, the existing hydroelectric potential needs to be evaluated further. Determining the hydroelectric energy potential of our rivers is important for their use in electricity generation. Currently, the energy potential of high-head streams is evaluated more than the energy potential of low-head streams. The purpose of our study; Bringing hydroelectric energy that cannot be utilized sufficiently to the economy constitute for this purpose, the province of Edirne, which has low altitude and low head streams, was chosen in the study. Within the scope of the study, hydroelectric energy, electricity generation from hydroelectric energy, hydro turbine types, hydroelectric power plants, and hydroelectric energy potential in Edirne province will be examined. In terminology, turbines up to 5 kW are called pico hydroelectric turbines. Gravitational water vortex turbine (GWVT) has been selected as the appropriate pico hydroelectric turbine type and its application has been made in the low-head streams of Edirne Province. It is aimed to reduce energy costs by using the energy to be obtained primarily in rivers, settlements and agricultural enterprises. The energy to be obtained in larger scales can be given to the national grid.

Year : 2023

Number of Pages : 111

Keywords : Pico Hydroelectric Energy, Coriolis Effect, Edirne, Energy Potential, Low Head Streams, Hydro turbine, Gravitational Water Vortex Turbine



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında değerli zamanını bana ayıran, beni her anlamda yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi İsmail BECENEN'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca tezimi hazırlarken maddi ve manevi desteğini sunan sevgili eşim Çiğdem KIZILIRMAK'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                         | iv   |
| ABSTRACT .....                                     | vi   |
| TEŞEKKÜR.....                                      | viii |
| İÇİNDEKİLER .....                                  | ix   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....               | xiii |
| DENKLEMLER DİZİNİ .....                            | xvi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                              | xvii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                            | xxi  |
| BÖLÜM 1 .....                                      | 1    |
| GİRİŞ .....                                        | 1    |
| BÖLÜM 2 .....                                      | 7    |
| YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI .....              | 7    |
| 2.1. Biyokütle Enerjisi .....                      | 7    |
| 2.2. Jeotermal Enerji .....                        | 8    |
| 2.3. Hidrojen Enerjisi.....                        | 8    |
| 2.4. Güneş Enerjisi .....                          | 9    |
| 2.5. Dalga Enerjisi .....                          | 10   |
| 2.6. Rüzgar Enerjisi .....                         | 10   |
| 2.7. Hidroelektrik Enerji .....                    | 12   |
| 2.7.1. Hidroelektrik Enerjinin Tarihçesi.....      | 12   |
| 2.7.2. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları.....    | 14   |
| 2.7.3. Hidroelektrik Enerjinin Dezavantajları..... | 15   |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.4. Hidroelektrik Enerji Sistemlerinin Çalışma Şekli .....              | 16 |
| 2.7.5. Hidroelektrik Enerji Sistemlerinde Teknoloji .....                  | 17 |
| 2.7.6. Hidroelektrik Türbinler .....                                       | 18 |
| 2.7.6.1. Tepki Türbinleri .....                                            | 21 |
| 2.7.6.1.1. Pervaneli Türbin .....                                          | 21 |
| 2.7.6.1.2. Damla Türbin .....                                              | 21 |
| 2.7.6.1.3. Düz Akış Türbini .....                                          | 21 |
| 2.7.6.1.4. Tüp Türbin .....                                                | 22 |
| 2.7.6.1.5. Kaplan Türbini .....                                            | 22 |
| 2.7.6.1.6. Francis Türbini .....                                           | 23 |
| 2.7.6.1.7. Kinetik Türbin .....                                            | 23 |
| 2.7.6.2. Etki Türbinleri .....                                             | 24 |
| 2.7.6.2.1. Pelton Türbini .....                                            | 24 |
| 2.7.6.2.2. Çapraz Akışlı Türbin .....                                      | 25 |
| 2.7.6.3. Girdap Türbini .....                                              | 26 |
| BÖLÜM 3 .....                                                              | 29 |
| BU ALANDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....                                        | 29 |
| BÖLÜM 4 .....                                                              | 34 |
| MATERYAL VE METOD .....                                                    | 34 |
| 4.1. MATERYAL .....                                                        | 34 |
| 4.1.1. Deneme Düzeneği .....                                               | 34 |
| 4.1.1.1. İp Freni Dinamometresi .....                                      | 34 |
| 4.1.1.1.1. Yaylı Kantar .....                                              | 36 |
| 4.1.1.1.2. Dijital Takometre .....                                         | 37 |
| 4.1.2. Girdap Türbininde Geometrik Parametreler .....                      | 38 |
| 4.1.2.1. Girdap Türbininde Hazne Kısımına Ait Geometrik Parametreler ..... | 38 |
| 4.1.2.2. Girdap Türbininde Pervane Kısım Geometrik Parametreleri .....     | 39 |
| 4.1.3. Deneme Düzeneği İmalatı .....                                       | 41 |
| 4.1.4. Denemelerde Kullanılan Türbin Modelleri .....                       | 42 |
| 4.4.4.1. Beş Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 1 .....            | 42 |
| 4.4.4.2. Beş Kanatlı Düşeyde 45° Eğim Açılı Bükümlü Türbin Modeli 2 .....  | 42 |

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.4.3. Kanatlı Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Modeli 3 .....                                                                                          | 43 |
| 4.4.4.4. Beş Kanatlı Yatayda ve Düşeyde Bükümlü Türbin Modeli 4 .....                                                                                          | 44 |
| 4.4.4.5. On Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5 .....                                                                                                 | 45 |
| 4.4.4.6. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 6 .....                                                                                                | 45 |
| 4.4.4.7. On Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Sisteme Ters Bağlı Türbin Modeli 5 .....                                                                              | 46 |
| 4.4.4.8. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbinin Alt Kısımına Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Parçası İlave Edilerek Elde Edilen Türbin Modeli 7 ..... | 46 |
| 4.1.5. Saha Denemelerinin Yapıldığı Prototip .....                                                                                                             | 47 |
| 4.1.5.1. Denemelerin Yapıldığı Akarsu .....                                                                                                                    | 47 |
| 4.1.5.2. Denemelerin Yapıldığı Akarsudaki Debi ve Düşünün Ölçülmesi .....                                                                                      | 50 |
| 4.1.5.3. Saha Denemelerinin Yapıldığı Prototip Tasarımı .....                                                                                                  | 51 |
| 4.1.5.3.1. Hazne ve Türbin Kısım .....                                                                                                                         | 51 |
| 4.1.5.3.2. Türbinlerde Debi-Düşü Grafiği.....                                                                                                                  | 56 |
| 4.1.5.3.3. Elektrik Üretici (Generatör) .....                                                                                                                  | 56 |
| 4.1.5.3.4. Akümülatör .....                                                                                                                                    | 62 |
| 4.2. METOD .....                                                                                                                                               | 63 |
| 4.2.1. Deneme Düzenğinde Türbin Modelleriyle Denemelerin Yapılması .....                                                                                       | 63 |
| 4.2.1.1. Sistemin Tork Hesabı .....                                                                                                                            | 63 |
| 4.2.1.2. Sistemin Frenleme Gücü Hesabı .....                                                                                                                   | 65 |
| 4.2.1.3. Sistemin Verim Hesabı .....                                                                                                                           | 65 |
| 4.2.2. Deneme Düzenğinde Debi ve Düşünün Ölçülmesi .....                                                                                                       | 66 |
| 4.2.3. Prototip Saha Denemelerinin Yapılması.....                                                                                                              | 66 |
| 4.2.3.1. Saha Denemelerinin Yapıldığı Akarsudaki Debi ve Düşünün Ölçülmesi.....                                                                                | 67 |
| BÖLÜM 5 .....                                                                                                                                                  | 74 |
| BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                                                                                                     | 74 |
| 5.1. Yapılan Denemelerden Elde Edilen Sonuçlar .....                                                                                                           | 74 |
| 5.1.1. Deneme Düzenğinde Suyun Debi Değeri .....                                                                                                               | 74 |
| 5.1.2. Beş Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 1 ile Yapılan Deneme .....                                                                               | 74 |
| 5.1.3. Beş Kanatlı Düşeyde Bükümlü 45° Eğim Açılı Türbin Modeli 2 ile Yapılan Deneme.....                                                                      | 75 |

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.4. Beş Kanatlı Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Modeli 3 ile Yapılan Deneme.....                                                                                       | 76 |
| 5.1.5. Beş Kanatlı Yatayda ve Düşeyde Bükümlü Türbin Modeli 4 ile Yapılan Deneme.....                                                                                           | 77 |
| 5.1.6. On Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5 ile Yapılan Deneme .....                                                                                                 | 78 |
| 5.1.7. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 6 ile Yapılan Deneme .....                                                                                                | 79 |
| 5.1.8. On Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5 Sisteme Ters Bağlanarak Yapılan Deneme.....                                                                                   | 79 |
| 5.1.9. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbinin Alt Kısımına Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Parçası İlave Edilerek Elde Edilen Türbin Modeli 7 ile Yapılan Deneme ..... | 80 |
| 5.2. Prototip Türbin İle Yapılan Denemelerden Elde Edilen Sonuçlar .....                                                                                                        | 81 |
| 5.2.1. Akarsuyun Debi Değeri .....                                                                                                                                              | 81 |
| 5.2.2. Prototip Türbin İle Yapılan Deneme .....                                                                                                                                 | 81 |
| BÖLÜM 6 .....                                                                                                                                                                   | 83 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                                                                                                          | 83 |
| KAYNAKLAR .....                                                                                                                                                                 | 86 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                                                                  | 90 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                                    |                                                   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| DSİ                                | : Devlet Su İşleri                                |
| TEİAŞ                              | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi          |
| TEDAŞ                              | : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi         |
| GWVPP                              | : Yerçekimsel Su Girdap Türbini Güç Tesisi        |
| GWVT                               | : Yerçekimsel Su Girdap Türbini                   |
| AC                                 | : Alternatif Akım                                 |
| DC                                 | : Doğru Akım                                      |
| $\omega$                           | : Rotor açısal hızı (rad/s)                       |
| H                                  | : Toplam düşü (m)                                 |
| Q                                  | : Debi (m <sup>3</sup> /s, lt/s)                  |
| V                                  | : Hacim (m <sup>3</sup> , lt)                     |
| $\Delta t$                         | : Zaman (s)                                       |
| u                                  | : Çevresel hız (m/s)                              |
| u <sub>1</sub> , u <sub>2</sub>    | : Türbin giriş ve çıkıştaki çevresel hızlar (m/s) |
| R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>    | : Giriş ve çıkıştaki bağıl hızlar (m/s)           |
| v <sub>1</sub> , v <sub>2</sub>    | : Giriş ve çıkıştaki mutlak hızlar (m/s)          |
| $\beta_1$ , $\beta_2$              | : Giriş ve çıkıştaki kanat açıları                |
| $\alpha_1$ , $\alpha_2$            | : Giriş ve çıkıştaki akım açıları                 |
| v <sub>w1</sub> ve v <sub>w2</sub> | : Mutlak hızların teğetsel bileşenleri (m/s)      |
| T                                  | : Tork (Nm)                                       |
| N                                  | : Devir sayısı (rpm)                              |
| $\eta$                             | : Verim (%)                                       |
| $\Gamma$                           | : Suyun sirkülasyon büyüklüğü (m <sup>2</sup> /s) |
| r                                  | : Yarıçap (m)                                     |
| g                                  | : Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )            |

|              |                                                        |
|--------------|--------------------------------------------------------|
| $\nu$        | : Kinematik viskozite( $\text{m}^2/\text{s}$ )         |
| $\rho$       | : Yoğunluk ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )                  |
| $B$          | : Manyetik akı yoğunluğu ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ , T) |
| $H$          | : Manyetik alan şiddeti (A.sarım/m)                    |
| $\mu$        | : Manyetik geçirgenlik (H/m)                           |
| $\Phi$       | : Manyetik akı (Wb)                                    |
| $N$          | : Bobinde sarım sayısı (adet)                          |
| $r_t$        | : Toplam yarıçap (m)                                   |
| $r_d$        | : Kasnak yarıçapı (m)                                  |
| $r_i$        | : İp yarıçapı (m)                                      |
| $k$          | : Yay esneklik sabiti (N/m)                            |
| $F$          | : Kuvvet (N)                                           |
| $x$          | : Uzama miktarı (m)                                    |
| $F_t$        | : Teğetsel kuvvet (N)                                  |
| $F_{st}$     | : Sürtünme kuvveti (N)                                 |
| $W$          | : W dinamometresinden ölçülen değer (N)                |
| $S$          | : S dinamometresinden ölçülen değer (N)                |
| $P$          | : Güç (W)                                              |
| $V$          | : Gerilim (V)                                          |
| $I$          | : Akım (A)                                             |
| $A$          | : Kesit alanı ( $\text{m}^2$ )                         |
| $V$          | : Hız (m/s)                                            |
| $m$          | : Uzunluk birimi, metre                                |
| $\text{cm}$  | : Uzunluk birimi, santimetre                           |
| $\text{mm}$  | : Uzunluk birimi, milimetre                            |
| $\text{kg}$  | : Kütle birimi, kilogram                               |
| $s$          | : Zaman birimi, saniye                                 |
| $\text{m}^2$ | : Yüzey alanı birimi, metrekare                        |
| $\text{m}^3$ | : Hacim birimi, metreküp                               |
| $A$          | : Akım şiddeti birimi, Amper                           |
| $V$          | : Gerilim birimi, Volt                                 |
| $N$          | : Kuvvet birimi, Newton                                |

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| W   | : Güç birimi, Watt                     |
| rpm | : Dakikadaki devir sayısı              |
| lt  | : Hacim birimi, litre                  |
| rad | : Aç1 birimi, radyan                   |
| °   | : Aç1 birimi, derece                   |
| Wb  | : Manyetik akı birimi, Weber           |
| T   | : Manyetik akı yoğunluğu birimi, Tesla |
| H   | : İndüktans birimi, Henry              |
| %   | : Yüzde                                |



## DENKLEMLER DİZİNİ

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Denklem 2.1. Su Girdabındaki Teğetsel Hız-Sirkülasyon Büyüklüğü Denklemi..... | 27 |
| Denklem 4.1. Dinamometre Yayındaki Kuvvet- Uzama Denklemi .....               | 36 |
| Denklem 4.2. Bir Cismin Ağırlık-Kütle Denklemi .....                          | 36 |
| Denklem 4.3. Manyetik Alan Şiddeti-Manyetik Akı Yoğunluğu Denklemi .....      | 59 |
| Denklem 4.4. Manyetik Akı-Manyetik Akı Yoğunluğu Denklemi.....                | 59 |
| Denklem 4.5. Faraday Yasası Denklemi.....                                     | 59 |
| Denklem 4.6. Prony İp Freni Dinamometresi Kuvvet Denklemi 1 .....             | 64 |
| Denklem 4.7. Prony İp Freni Dinamometresi Kuvvet Denklemi 2 .....             | 64 |
| Denklem 4.8. Prony İp Freni Dinamometresi Tork Denklemi .....                 | 64 |
| Denklem 4.9. Prony İp Freni Dinamometresi Toplam Çap Denklemi .....           | 64 |
| Denklem 4.10. Prony İp Freni Dinamometresi Güç Denklemi.....                  | 65 |
| Denklem 4.11. Hidroelektrik Sistemlerinde Genel Güç Denklemi .....            | 65 |
| Denklem 4.12. Verim Denklemi .....                                            | 65 |
| Denklem 4.13. Debinin Doğrudan Hesabı Denklemi .....                          | 66 |
| Denklem 4.14. Debi Hesabı Denklemi .....                                      | 67 |
| Denklem 4.15. Elektriksel Güç Hesabı Denklemi.....                            | 73 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi .....                              | 3  |
| Şekil 1.2. 2011 Ve 2021 Yılları İçin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye Kurulu Gücü..... | 4  |
| Şekil 1.3. 2021 Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW) .....            | 5  |
| Şekil 2.1. Hidroelektrik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçindeki Oranı .....                       | 13 |
| Şekil 2.2. Hidroelektrik Enerjiye Dayalı Kurulu Güç (MW) .....                                  | 14 |
| Şekil 2.3. Hidroelektrik Enerji Sistemi Prensip Şeması.....                                     | 17 |
| Şekil 2.4. Hidroelektrik Enerji Tesislerinin Sınıflandırılması.....                             | 18 |
| Şekil 2.5. Piko/Mikro Türbinlerin Sınıflandırılması.....                                        | 19 |
| Şekil 2.6. Etki Ve Tepki Türbinlerinin Düşülerine Göre Sınıflandırılması. ....                  | 20 |
| Şekil 2.7. Farklı Hidrotürbinlerin Düşü-Debi Grafiği Üzerindeki Çalışma Bölgeleri.....          | 20 |
| Şekil 2.8. Damla Türbin .....                                                                   | 21 |
| Şekil 2.9. Düz Akış Türbini.....                                                                | 22 |
| Şekil 2.10. Tüp Türbin .....                                                                    | 22 |
| Şekil 2.11. Kaplan Türbini .....                                                                | 23 |
| Şekil 2.12. Francis Türbini .....                                                               | 23 |
| Şekil 2.13. Pelton Türbini .....                                                                | 24 |
| Şekil 2.14. Çapraz Akışlı Türbin .....                                                          | 25 |
| Şekil 2.15. Silindirik Hazneli Bir Girdap Türbininin Çalışma Prensibi. ....                     | 26 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1. İp Freni Dinamometresi Düzeneği Çalışma Prensip Şeması .....               | 35 |
| Şekil 4.2. I Düzenine Sahip İp Freni Dinamometresi .....                              | 35 |
| Şekil 4.3. U Düzenine Sahip İp Freni Dinamometresi .....                              | 35 |
| Şekil 4.4. N Düzenine Sahip İp Freni Dinamometresi.....                               | 36 |
| Şekil 4.5. Dijital Takometre Ölçüm Prensibi. ....                                     | 37 |
| Şekil 4.6. Girdap Türbininde Geometrik Parametreler .....                             | 38 |
| Şekil 4.7. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 1.....                       | 39 |
| Şekil 4.8. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 2.....                       | 40 |
| Şekil 4.9. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 3.....                       | 40 |
| Şekil 4.10. Deney Düzeneği İmalat Resmi-1. ....                                       | 41 |
| Şekil 4.11. Deney Düzeneği İmalat Resmi-2 .....                                       | 41 |
| Şekil 4.12. Bir Nolu Türbin Modeli.....                                               | 42 |
| Şekil 4.13. Bir Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....              | 42 |
| Şekil 4.14. İki Nolu Türbin Modeli .....                                              | 43 |
| Şekil 4.15. İki Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....              | 43 |
| Şekil 4.16. Üç Nolu Türbin Modeli .....                                               | 43 |
| Şekil 4.17. Üç Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü.....                | 44 |
| Şekil 4.18. Dört Nolu Türbin Modeli.....                                              | 44 |
| Şekil 4.19. Dört Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....             | 44 |
| Şekil 4.20. Beş Nolu Türbin Modeli.....                                               | 45 |
| Şekil 4.21. Beş Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....              | 45 |
| Şekil 4.22. Altı Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....             | 46 |
| Şekil 4.23. Beş Nolu Türbin Ters Bağlı Halde Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü ... | 46 |
| Şekil 4.24. Yedi Nolu Türbin Modeli .....                                             | 47 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.25. Yedi Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü.....                                                     | 47 |
| Şekil 4.26. Meriç-Ergene Havzasında Edirne İli Sınırları İçinde Kalan Sazlıdere<br>Üzerindeki Uygulama Noktası .....         | 48 |
| Şekil 4.27. Uydu Görüntüsü Üzerinde Uygulama Noktası. ....                                                                   | 49 |
| Şekil 4.28. Cüce Muline Cihazı Türbin Uçları.....                                                                            | 50 |
| Şekil 4.29. Cüce Muline Cihazı Sayaç Kısım. ....                                                                             | 51 |
| Şekil 4.30. Cüce Muline Cihazı Teknik Özellikleri.....                                                                       | 51 |
| Şekil 4.31. Prototip İmalat Resmi-1.....                                                                                     | 52 |
| Şekil 4.32. Prototip İmalat Resmi-2.....                                                                                     | 52 |
| Şekil 4.33. Prototip İmalat Resmi-3.....                                                                                     | 53 |
| Şekil 4.34. 1 mm Sac Malzemeden İmal Edilen Prototipin Türbinin Pervane Kısım<br>.....                                       | 53 |
| Şekil 4.35. Prototip Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü .....                                                     | 54 |
| Şekil 4.36. Tipik Bir Etki Türbini Kanatçığındaki Giriş ve Çıkış Hız Üçgenleri. ....                                         | 54 |
| Şekil 4.37. Prototip .....                                                                                                   | 55 |
| Şekil 4.38. Prototip Tork Ölçüm Sistemi .....                                                                                | 55 |
| Şekil 4.39. Genişletilmiş Debi-Düşü Grafiğinde Girdap Türbininin Yeri.. ....                                                 | 56 |
| Şekil 4.40. Sabit Çubuk Şeklinde Bir Mıknatısın ve Bir Elektromıknatısın Manyetik<br>Alan Çizgileri .....                    | 57 |
| Şekil 4.41. İçinden Akım Geçen Telin Çevresinde ve Karşılıklı Duran Farklı Kutupların<br>Arasında Oluşan Manyetik Alan. .... | 57 |
| Şekil 4.42. Bir Mıknatısın İletken Bir Sargı İçindeki Hareketiyle Oluşan Gerilim ve<br>Akım.....                             | 58 |
| Şekil 4.43. 3 Fazlı Bir AC Generatörün Basitleştirilmiş Sargı Düzeni.....                                                    | 60 |
| Şekil 4.44. 3 Fazlı AC Generatörün Stator Sargıları Çıkış Gerilim Dalga Şekli .....                                          | 60 |
| Şekil 4.45. Bir Araç Alternatöründe Elektrik Üretiminin Blok Şeması .....                                                    | 62 |
| Şekil 4.46. 6 V, 4,5 Ah lik Bir Akümülatör .....                                                                             | 62 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.47. Deneme Düzeneği İle Türbin Test Edilirken.....                               | 63 |
| Şekil 4.48. Takometre Laser Noktasının Deneme Düzeneği Kasnağı Üzerinden Alması<br>..... | 64 |
| Şekil 4.49. Prototipin Akarsuya Monte Edilmiş Hali .....                                 | 67 |
| Şekil 4.50. Su Giriş Kanalları.....                                                      | 67 |
| Şekil 4.51. Muline Cihazı Probu İle Kanaldaki Suyun Hızının Ölçülmesi.....               | 68 |
| Şekil 4.52. Girdap Türbini Boşta Dönerken.....                                           | 69 |
| Şekil 4.53. Saha Denemesinde Prototipin Devir ve Tork Değerlerinin Ölçülmesi .....       | 69 |
| Şekil 4.54. Alternatör Boşta Dönerken .....                                              | 71 |
| Şekil 4.55. Alternatör Boşta İken Elde Edilen Gerilim Değeri .....                       | 72 |
| Şekil 4.56. Alternatör Yüklü İken Elde Edilen Akım Değeri .....                          | 72 |
| Şekil 5.1. Prototip Türbinin Debi-Düşü Grafiği Üzerindeki Çalışma Noktası .....          | 82 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1. Deneylerde Kullanılan Dijital Takometrenin Duyarlık ve Doğruluk Tablosu..... | 37 |
| Çizelge 4.2. Deneme Düzeneği ve Prototip Geometrik Parametreleri. ....                    | 38 |
| Çizelge 4.3. Edirne İli'nin Akarsuları ve Ortalama Debileri.....                          | 49 |
| Çizelge 4.4. Debi Ölçüm Değerleri.....                                                    | 68 |
| Çizelge 5.1. Türbin-1 Deneme Sonuçları.....                                               | 75 |
| Çizelge 5.2. Türbin-2 Deneme Sonuçları.....                                               | 76 |
| Çizelge 5.3. Türbin-3 Deneme Sonuçları.....                                               | 77 |
| Çizelge 5.4. Türbin-4 Deneme Sonuçları.....                                               | 78 |
| Çizelge 5.5. Türbin-5 Deneme Sonuçları.....                                               | 78 |
| Çizelge 5.6. Türbin-6 Deneme Sonuçları.....                                               | 79 |
| Çizelge 5.7. Türbin-5 Ters Bağlı Olarak Yapılan Deneme Sonuçları .....                    | 80 |
| Çizelge 5.8. Türbin-7 İlave Alt Parçası İle Beraber Yapılan Deneme Sonuçları.....         | 80 |
| Çizelge 5.9. Prototip Türbin İle Yapılan Deneme Sonuçları .....                           | 81 |

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Özellikle kırsal kesimde yaşayan insanların ekonomik olarak gelişmesi ve hayat standartlarının yükselmesi elektrik enerjisine ulaşma miktarlarına bağlıdır. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın sürekli artması ve bu ihtiyacın karbon emisyonlarını arttırmadan sürdürülebilir bir şekilde karşılanabilmesi, bu insanların kendi bölgelerindeki rüzgar, güneş ve su enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını etkili ve verimli bir şekilde kullanmalarına bağlıdır (Dhakal vd., 2017).

Temiz ve sürdürülebilir gelişme için yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirmemiz gerekmektedir. Pek çok ülke karşılaştıkları küresel sorunları en aza indirebilmek için enerji politikalarını yenilenebilir enerji teknolojilerinden daha çok yararlanmak üzerine kurmaktadır (Dhakal vd., 2015).

Enerjiye olan gereksinim, dünyanın nüfusunun hızla artması, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler sonucunda hızla artmaktadır. Günlük yaşamın her alanında kullanılan enerji, üretimde temel bir girdidir ve toplumların refah düzeyini yükselten bir unsurdur. Enerji iş yapabilme yeteneğidir ve mekanik, elektrik, nükleer, kimyasal ve ısı gibi değişik türlerde bulunabilir. Uygulanan yöntemlerle bir türden diğerine dönüştürülebilir ve farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

Enerji üretimde temel girdidir, toplumların gelişmişlik düzeyinin yükselmesi için gereklidir ve günlük yaşamın her alanında kullanılmaktadır. Enerji talebi, teknolojik ilerlemeler, sanayileşme ve dünya nüfusunundaki artış nedeniyle gittikçe artmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

Enerji kaynakları kendilerinden ekonomik olarak enerji üretilen kaynaklardır. Enerji kaynakları kullanılışları bakımından yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak sınıflandırılırken, dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilirler (Koç ve Şenel, 2013).

Özellikle enerji kaynakları yetersiz ülkeler enerji açıklarını kapatabilmek için enerji kaynakları daha fazla olan ülkelere enerji bazlı ithalat yapmak zorunda kalmış ve böylece enerji bakımından dışa bağımlı hale gelmişlerdir. Enerji fiyatlarının küresel ölçekte artması sonucunda ithalat giderlerinin artması söz konusu ülkeler açısından büyük bir ekonomik yük oluşturmuştur. Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, çevresel kirliliğin daha az bir oranda gerçekleşmesi ve sosyo-ekonomik gelişmenin hızlandırılması için sürdürülebilir kaynakların üretim ve tüketimde daha fazla oranda kullanılma gerekliliği, yeşil ekonomi kavramını dünya ölçeğinde geçerli bir görüş durumuna getirmiştir. Teknolojik gelişmelerin hızlanmasıyla enerji talebi yükselmiş ve bu talebin de sürdürülebilir enerji kaynaklarından sağlanması güncel bir konu durumuna gelmiştir (Husaini ve Lean, 2022).

Birleşmiş Milletler (BM) Çevre Programı'nın (UNEP) 2011 tarihli raporunda yeşil ekonomi bakış açısı, "İnsan refahını ve sosyal eşitliği artırırken çevresel tehlikeleri ve ekolojik üretim azlığını önemli oranda azaltan bir ekonomi" olarak tanımlanmıştır (Tüysüz ve Öncel, 2022).

Doğalgaz, petrol, kömür gibi fosil yakıtlar sürdürülemeyen enerji kaynaklarındandır. Yirminci yüzyıldan itibaren dünyada fosil yakıt kullanımının insan hayatını olumsuz etkilemesi ve fosil yakıt üretim ve arzının yavaş olması nedeniyle yeni enerji kaynaklarına gereksinim duyulmuştur. Böylece, sürdürülebilir enerji kaynakları gündeme getirilmiş ve son zamanlarda bu kaynaklar daha da önem kazanmıştır. Sürdürülemeyen enerji kaynaklarına alternatif olarak görülen sürdürülebilir enerji kaynaklarının başında güneş, rüzgâr, jeotermal, hidro ve biyokütle enerji kaynakları gelmektedir. Hidroelektrik enerji dünyadaki yüksek potansiyeli nedeniyle, sürdürülebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli enerji kaynaklarındandır (Tüysüz ve Öncel, 2022).

Hidroelektrik enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması ve düşük maliyetlerle üretime imkân sağlaması nedeniyle yeşil ekonomi bakımından düşünüldüğünde enerji sektörü yatırımcıları için karlı bir yatırım alanıdır. Ancak, santrallerin kurulması sonucunda ekolojik dengenin bozulma riski üzerinde düşünülmesi gereken bazı olumsuz durumlar (Tüysüz ve Öncel, 2022).

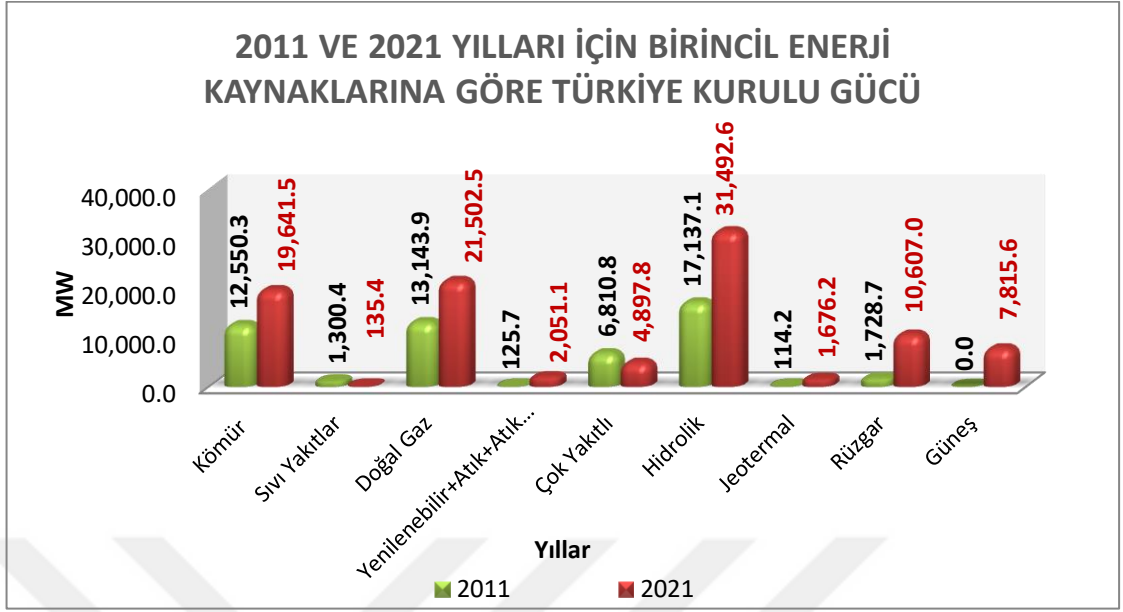
Büyük çevre felaketleri, su kirliliği, denizel kirlilik, arazi kullanımı ve yerleşimin etkileri, radyoaktif kirlenme, katı atıklar, tehlikeli hava kirleticiler, hava kalitesi, asit yağmurları, ozon tabakası incelmeleri, küresel iklim değişikliği, küresel ısınma, sera gazı salınımı bazı çevre problemlerindendir.

Çevre problemlerine çözüm olarak ta; yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojilerinin kullanılması, enerji verimliliği, kojenerasyon ve atık ısıdan faydalanma, enerji depolama teknolojileri, taşımada alternatif enerjiler, kömür zenginleştirme süreçleri, enerji tüketim izleme, yenilenebilir enerji politikaları oluşturulması, geri dönüşüm, daha verimli proseslere geçilmesi, sektör değiştirme, ormanlaşmanın hızlandırılması, karbon vergisi uygulaması, atıkların dönüştürülmesi, toplu taşımanın teşvik edilmesi, yaşam tarzının değiştirilmesi, çevre koruma bilinci ve farkındalığının artırılması, çevre konularında eğitim ve öğretime ağırlık verilmesi sayılabilir (Dinçer, 2000).

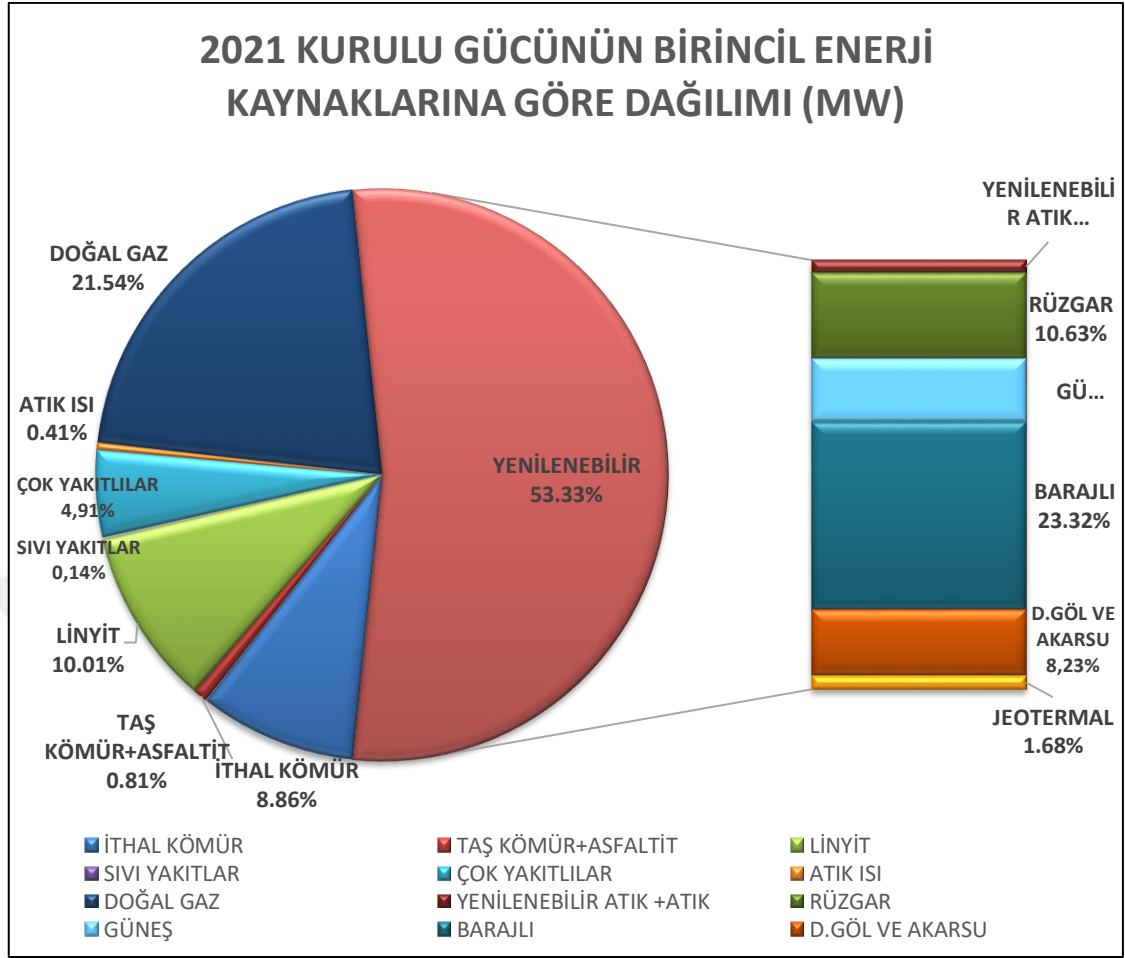
Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarıyla gelişimi Şekil 1.1., 2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü Şekil 1.2., ve Türkiye 2021 yılı kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (MW) Şekil 1.3.'te (teias.gov.tr, 2022) gösterilmiştir.



Şekil.1.1. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibarıyla Gelişimi



Şekil 1.2. 2011 ve 2021 Yılları İçin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye Kurulu Gücü



Şekil 1.3. Türkiye 2021 Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (MW)

Mevcut durumda Türkiye’de yüksek düşülü akarsuların enerji potansiyelinin alçak düşülü akarsulardaki enerji potansiyeline göre daha fazla değerlendirildiği görülmektedir. Yeterince değerlendirilemeyen bu hidroelektrik enerji potansiyelinin ekonomiye kazandırılması amacıyla bu çalışmada, coğrafi yapı olarak yükseltisi az, akarsu ve dereleri alçak düşüye sahip olan Edirne ili seçilmiştir. Terminolojide 5 kW’a kadar olan türbinler piko hidroelektrik türbinler olarak adlandırılmıştır. Literatürde 70 cm’ye kadar alçak düşülerde bile enerji üretebilen ve Edirne İli’nin alçak düşülü akarsularında kullanılmaya uygun piko hidroelektrik türbin tipi olarak yerçekimsel su girdap türbini (Gravitational Water Vortex Turbine, GWVT) seçilerek değişik türbin modellerinin deneysel olarak test edilmesi ve türbin-generator prototipi imalatı yapılarak Edirne İli’nin akarsularından biri olan Sazlıdere’de saha denemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek enerjinin öncelikle akarsu kenarlarındaki yerleşim

yerleri ve tarımsal işletmelerde kullanılmasıyla enerji giderlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Daha büyük ölçeklerde elde edilecek enerjinin ise ulusal şebekeye verilmesi sağlanabilir.



## BÖLÜM 2

### YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji, rüzgar ve güneş gibi doğal olarak yenilenen ve tükenmeyen kaynaklardan üretilen enerjidir. Yenilenebilir enerji, elektrik üretimi, alan ve su ısıtma ve soğutma ve ulaşım için kullanılabilir. Yenilenemeyen enerji ise petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar gibi tükenebilecek sınırlı kaynaklardan gelir. Yenilenebilir enerji türleri:

- 1-) Biyokütle enerjisi
- 2-) Jeotermal enerji
- 3-) Hidrojen enerjisi
- 4-) Güneş enerjisi
- 5-) Dalga enerji
- 6-) Rüzgar enerjisi
- 7-) Hidroelektrik enerji olarak sayılabilir.

Yenilenebilir enerjinin avantajları çoktur ve ekonomiyi, çevreyi, ulusal güvenliği ve insan sağlığını olumlu yönde etkiler (energy.gov,2023).

#### 2.1. Biyokütle Enerjisi

Biyoenerji, mevcut olan doğal, biyolojik kaynakların (biyokütle olarak anılır) dönüştürülmesinden elde edilen tüm enerji türlerini ifade eder. Yakın çevremizde bitkiler, ağaçlar, algler veya organik atıklar gibi bol miktarda organik malzeme kaynağı bulunur ve bunların tümü, enerji potansiyellerini ortaya çıkaracak uygun teknolojiler kullanıldığında değerli yakıtlar olabilir. Şu anda dünyada kullanılan biyokütle, ormanlardan elde edilen odunları, tarımsal mahsulleri ve kalıntıları, odun ve tarım

endüstrisinden elde edilen yan ürünleri, otsu ve odunsu enerji mahsullerini, kentsel organik atıkları ve gübreyi içerir ve gelecekte algleri ve deniz biyokütlesini potansiyel olarak entegre edebilir. Biyoenerji, ısıtma ve soğutma alanında kullanılabilen, elektrik elde edilebilen ve ulaşım yakıtına dönüşebilen tek yenilenebilir enerji kaynağıdır (bioenergyeurope.org, 2023).

## **2.2. Jeotermal Enerji**

Jeotermal enerji geo(toprak) ve thermal(ısı) sözcüklerinin birleşiminden oluşmakta olup yerin derinliklerinden gelen ısı anlamına gelmektedir. Jeotermal kaynaklar, Dünya yüzeyinin altında değişen sıcaklıklarda ve derinliklerde kendiliğinden var olan veya insan yapımı sıcak su depolarıdır. Bu yer altı depolarına birkaç metreden birkaç kilometre derinliğe kadar değişen kuyular açılmak suretiyle yüzeye getirilebilen buhar ve sıcak su, elektrik üretimi, doğrudan kullanım ve ısıtma-soğutma uygulamalarında kullanılır.

Jeotermal enerji kullanımının bazı olumlu yönleri şunlardır; Yenilenebilirlik; Dünya'nın içinden akan ısı, doğal olarak oluşan radyoaktif elementlerin bozunmasıyla sürekli olarak yenilenir ve milyarlarca yıl kullanılabilir. Süreklilik; Jeotermal enerji santralleri sürekli olarak elektrik üretir ve hava koşullarından bağımsız olarak temelde 7/24 çalışabilir. Yerlilik; Bir ülkenin jeotermal kaynakları, yakıt ithal etmeden enerji üretimi için kullanılabilir. Çevre dostu olma; Modern kapalı devre jeotermal enerji santralleri hiçbir sera gazı salmaz ve yaşam döngüsü emisyonları solar PV'den dört kat ve doğal gazdan daha düşüktür (energy.gov,2023).

## **2.3. Hidrojen Enerjisi**

Hidrojen, yandığında sadece su üretir bu yüzden en temiz yakıtların başında gelmektedir. Bu özelliğiyle onu ulaşım ve elektrik üretimi uygulamaları için cazip bir yakıt haline gelmiştir.

Hidrojen, enerjinin depolanması, taşınması ve iletilmesi için bir enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilir.

Hidrojen üretmek için en sık kullanılan yöntemler, doğal gazın buharla ısıtılma işlemi tabii tutulması ve elektroliz işlemidir. Güneş enerjisiyle üretim ve biyolojik üretim yöntemleri diğer yöntemlerdir.

Hidrojen üretimi için ısıtılma işlemleri temel olarak, buharın hidrojen üretmek için bir hidrokarbon yakıtla reaksiyona girdiği yüksek sıcaklıklı bir işlem olan buhar ile reaksiyonu içerir. Doğal gaz, dizel, yenilenebilir sıvı yakıtlar, gazlaştırılmış kömür veya gazlaştırılmış biyokütle dahil olmak üzere birçok hidrokarbon yakıtı hidrojen üretmek için dönüştürülebilir. Bugün, tüm hidrojenin yaklaşık %95'i doğal gazın buhar ile reaksiyonundan üretilmektedir.

Su, elektroliz adı verilen bir işlemle oksijen ve hidrojene ayrıştırılabilir. Elektrolitik işlemler, bir elektrolizörde gerçekleşir. Elektrolizör bir yakıt hücresinin (fuelcell) yaptığı gibi hidrojen molekülünün enerjisini kullanmak yerine su moleküllerinden hidrojen üretir.

Güneş enerjisiyle çalışan süreçler, hidrojen üretimi için yardımcı olarak ışığı kullanır. Fotobiyolojik, fotoelektrokimyasal ve güneş termokimyasal dahil olmak üzere güneş enerjisiyle çalışan birkaç süreç vardır. Fotobiyolojik süreçler, hidrojen üretmek için bakteri ve yeşil alglerin doğal fotosentetik çalışmalarını kullanır. Fotoelektrokimyasal işlemler, suyu hidrojen ve oksijene ayırmak için özel yarı iletkenler kullanır. Güneş termokimyasal hidrojen üretimi, metal oksitlerin çeşitli türleriyle birlikte su ayırma reaksiyonlarını yürütmek için yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanır.

Biyolojik süreçler, biyolojik reaksiyonlar yoluyla hidrojen üretebilen bakteri ve mikroalg gibi canlıları kullanır. Bu canlılar, fotobiyolojik süreçlerde enerji kaynağı olarak güneş ışığını kullanarak biyokütle veya atık su gibi organik maddeleri hidrojen üretmek için parçalarlar (energy.gov,2023).

## **2.4. Güneş Enerjisi**

Güneş, insanlığın tüm enerji ihtiyacını karşılayabilen tükenmez bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen enerji elektriğe dönüştürülebilir veya doğrudan kullanılabilir. Elektrik, doğrudan fotovoltaik (PV) hücreler kullanılarak veya dolaylı olarak yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) teknolojisi kullanılarak güneş enerjisinden

üretilebilir. Güneş enerjisi alanında çok bağlantılı PV hücreleri kullanarak artık yaklaşık %34,1'e kadar ulaşabilen verimlilik elde edilmiştir. Konsantre güneş teknolojilerinden elektrik üretimi de, özellikle CSP, yüksek kapasitesi, verimliliği ve enerji depolama kapasitesi nedeniyle umut verici bir geleceğe sahiptir. Güneş enerjisi ayrıca, öncelikle su arıtma ve sulama için tarımda doğrudan uygulamaya sahiptir. Güneş enerjisi, elektrikli araçlara güç sağladığı gibi, mekanısıtma ve yemek pişirme gibi evsel amaçlar için de kullanılmaktadır. Güneş enerjisi için en heyecan verici çalışma, uzaydaki güneş panellerinden gelen elektrik enerjisini mikrodalga ışınlarıyla Dünya'ya iletecek olan uydu santrali kurulumu ile ilgili çalışmadır. Güneş enerjisi, bu alandaki teknolojik gelişmeler ve çevre dostu yapısı nedeniyle parlak bir geleceğe sahiptir. Bununla birlikte, güneş enerjisinin gelecekte karşı karşıya olduğu en büyük zorluk, yüksek sermaye maliyeti ve PV hücreleri için malzemelerin kıtlığı ve güneşten elde edilen enerjinin yıl boyunca düzenli olmamasıdır. Bu zorluklar, verimli bir enerji depolama sistemi geliştirerek ve ucuz, verimli ve bol miktarda PV güneş pilleri geliştirerek karşılanabilir (Hayat, Ali, Monyake, Alagha ve Ahmed,2019).

## **2.5. Dalga Enerjisi**

Denizel enerji olarak ta adlandırılan dalga enerjisi, okyanus akıntıları, dalgalar, gelgitler, nehir akıntıları gibi suyun doğal hareketinden yararlanılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Denizel enerjide, okyanus ısı enerjisi dönüşümü olarak bilinen bir süreçle sudaki sıcaklık farkından da yararlanılabilir.

Bazı dalga enerjisi dönüştürücüler okyanus suyunun dikey ve yatay hareketinden enerji toplamak için şamandıralar kullanırken, türbinler gelgitlerden ve akıntılardan gelen enerjiyi kullanabilir (energy.gov, 2023).

## **2.6. Rüzgar Enerjisi**

Rüzgar türbinlerinin çalışma prensibi basittir. Rüzgar türbinleri, rüzgar üretmek için elektrik kullanan vantilatörün tersine elektrik üretmek için rüzgarı kullanır. Rüzgar, bir türbinin kanatlara sahip pervanesini ve ona bağlı generatörü döndürerek elektrik enerjisi elde edilmesini sağlar.

Rüzgar, Güneşin atmosferi dengesiz bir şekilde ısıtması, Dünya yüzeyindeki coğrafi şekillerin düzensizlikleri ve Dünya'nın dönüşü sayesinde oluşan bir tür güneş enerjisidir.

Rüzgar enerjisi, rüzgardan elde edilen mekanik gücün elektrik enerjisinedönüştürüldüğü süreci tanımlar.

Rüzgar türbinleri, rotor (dönen kısım) kanatlarından gelen aerodinamik kuvveti kullanarak rüzgar enerjisini elektriğe dönüştürür. Rüzgar kanat boyunca ilerlediğinde, kanadın bir tarafındaki hava basıncı azalır. Kanadın iki tarafındaki basınç farkı, hem kaldırma hem de sürüklenme oluşturur. Kaldırma kuvveti sürüklemenden daha güçlüdür ve bu rotorun dönmesine neden olur. Rotor, jeneratöre doğrudan ya da bir dişli kutusu aracılığıyla bağlı olabilir. Aerodinamik kuvvetin jeneratörü döndürmesi elektrik üretir.

Rüzgar türbinlerinin en sık rastlanan modelinde üç kanat vardır ve kanatlar rüzgara bakacak şekilde çalışırlar. Dikey eksenli rüzgar türbinleri, Fransız mucidinin adını taşıyan tarzı Darrieus modeli de dahil olmak üzere çeşitli şekillerde üretilir. Bu türbinler çok yönlüdür, yani çalışmak için rüzgara bakacak şekilde ayarlanmaları gerekmez. Karada kurulu rüzgar türbinlerinin boyutları 100 kilowattan birkaç megawat büyüklüğe kadar değişir. Daha büyük rüzgar türbinlerinin birim üretim maliyeti daha uygundur ve elektrik şebekesine toplu güç sağlayan rüzgar santrallerinde birlikte gruplandırılır.

Açık deniz rüzgar türbinleri, karada kurulan türbinlerden daha büyük ve daha uzun olma eğilimindedir. Bu türbinlerin büyük parçaları yol yerine gemilerde taşınabileceğinden, karada kurulu rüzgar tesisleriyle aynı nakliye zorluklarına sahip değillerdir. Bu türbinler, güçlü okyanus rüzgarlarını yakalayabilir ve büyük miktarlarda enerji üretebilirler.

Rüzgar türbinleri ürettikleri enerjinin kullanılacağı yere veya yakınına kurulduğunda bunlara "dağıtılmış rüzgar türbinleri" denir. Dağıtılmış uygulamalarda kullanılan birçok türbin, küçük rüzgar türbinleridir. 100 kilowattın altındaki tekli küçük rüzgar türbinleri tipik olarak konut, tarım ve küçük ticari ve endüstriyel uygulamalar için kullanılır.

Küçük türbinler, dizel jeneratörler, akümülatörler ve fotovoltaik panellerle birlikte çalışan mikro şebekeler gibi diğer dağıtılmış enerji kaynaklarıyla birlikte hibrit enerji sistemlerinde kullanılabilir.

Bu sistemlere hibrit rüzgar sistemleri denir ve şehir şebekesine bağlantının olmadığı yerlerde kullanılır. Ancak süreklilik ve kararlılık için rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlı olarak kullanılmaktadır (energy.gov, 2023).

## **2.7. Hidroelektrik Enerji**

Hidroelektrik enerji veya hidroelektrik güç, elektrik üretmek için hareketli suyun doğal akışını kullanan enerji kaynaklarından biridir. Çoğu insanın hidroelektrik santrallerini çok büyük barajlar olarak hayal etmesine rağmen, hidroelektrik tesisleri her boyutta olabilir. Bazıları çok büyük olabildiği gibi, temiz ve atık su tesislerindeki veya sulama kanallarındaki suyun akışından yararlanarak çalışan çok küçük tesisler şeklinde de olabilirler. Nehir tipi tesisler gibi "barajsız" bile olabilirler. Yöntem ne olursa olsun, hidroelektrik enerji çoğu insanın düşündüğünden çok daha kolay bir şekilde elde edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

### **2.7.1. Hidroelektrik Enerjinin Tarihçesi**

Hydroenerjinin tarihi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Örneğin, Yunanlılar 2000 yılı aşkın bir süre önce buğdayı un haline getirmek için su çarklarını kullanmışlardır. Modern hidroelektrik türbininin evrimi, 1700'lerin ortalarında bir Fransız hidrolik ve askeri mühendis Bernard Forest de Bélidor'un Architecture Hydraulique'i yazmasıyla başlamıştır. Hidroelektrik teknolojisindeki birçok önemli gelişme, 19. yüzyılın ilk yarısında ortaya çıkmış ve yakın bir zamanda da hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli ve ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

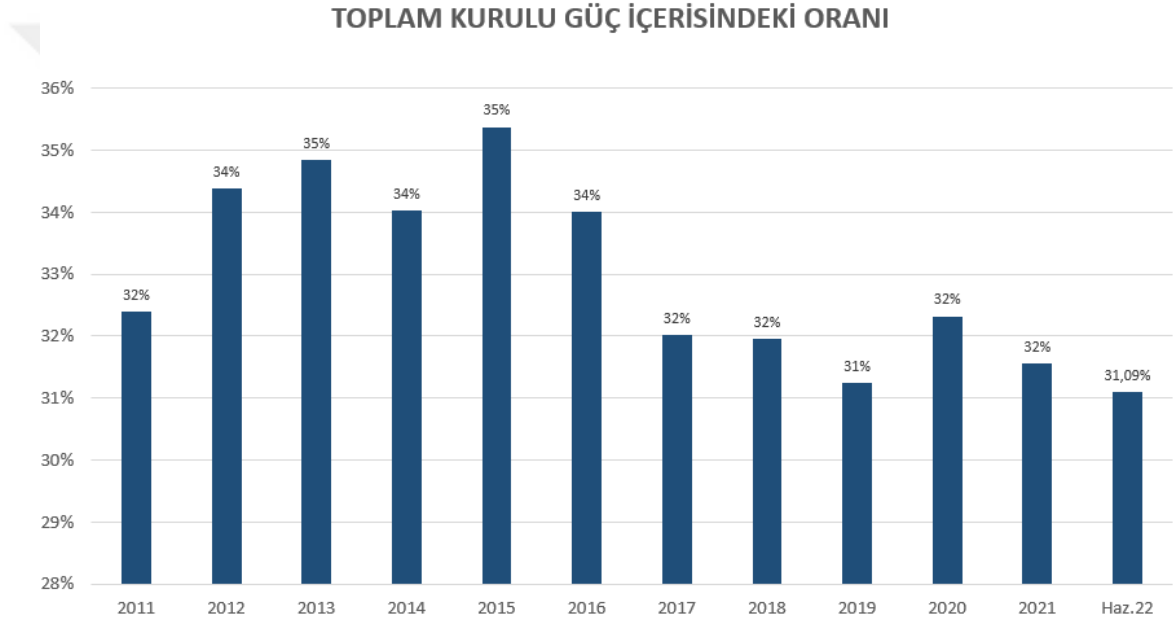
Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmektedir.

Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük ve dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.

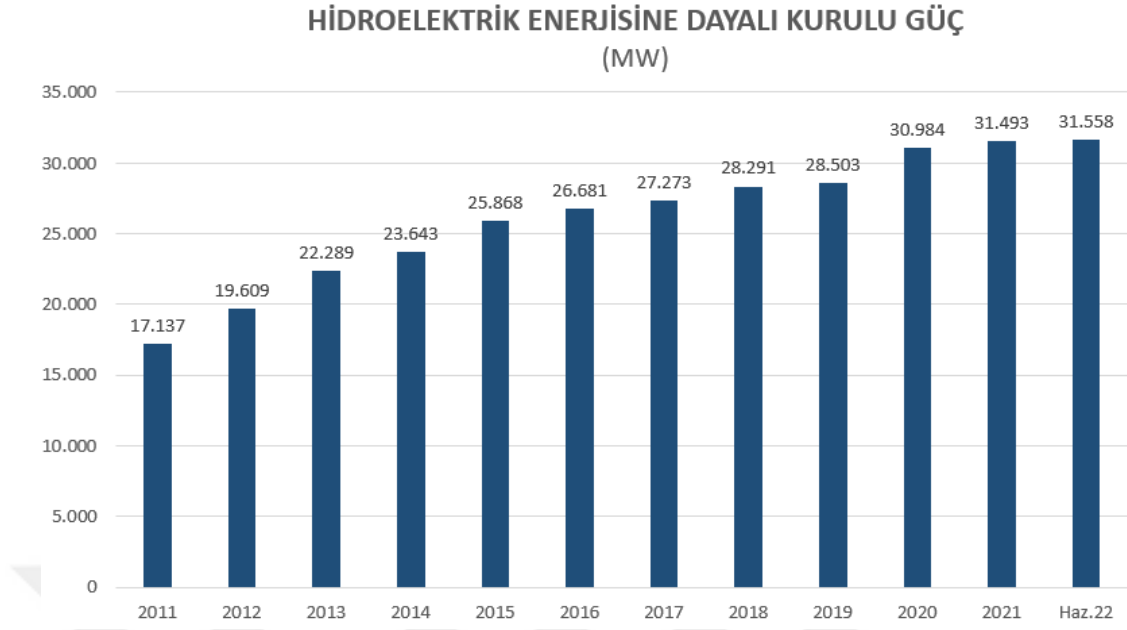
Türkiye’de 2021 yılında hidroelektrik kaynaklı 55,5 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2022 Mayıs sonu itibariyle hidrolik kaynaklı elektrik üretimi yaklaşık 35,2 milyar kWh değerine ulaşmıştır.

Haziran 2022 sonu itibariyle hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 31.558 MW değerinde olup, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31 dir.

Türkiye’deki hidroelektrik enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki oranı Şekil.2.1. ve Türkiye’deki hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç (MW) Şekil 2.2.’de gösterilmiştir. (enerji.gov.tr, 2023).



Şekil 2.1. Türkiye’deki Hidroelektrik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı



Şekil 2.2. Türkiye’deki Hidroelektrik Enerjisine Dayalı Kurulu Güç (MW)

Türkiye’de hidroelektrik enerjisi üretiminde baraj tipi santraller sık kullanılırken, nehir tipi santraller daha seyrek olarak kullanılmaktadır. Baraj tipi santrallerin önemli olmasının pek çok nedeni vardır. Yüksek enerji üretim kapasiteleri, ulusal elektrik sisteminde frekans ayarlayıcı nitelikleri ve baraj sularının farklı alanlarda kullanımı gibi üstünözelliklere sahiptirler. Son zamanlarda Dünyada nehir tipi santrallere karşı giderek artan bir ilginin olduğu görülmektedir. Artık Baraj tipi santral kurma imkânı kalmayan ve bu potansiyelini kullanmış olan ülkeler, nehir tipi santrallere yönelmektedir. Türkiye, doğalgaz termik santrallerinin yaygınlaşması nedeniyle elektrik üretiminde giderek dışabağımlı hale gelirken, ekonomik olarak işletilebilir özellikteki hidrolik kapasitesinin tamamını değerlendirmek zorundadır (Akpınar, 2015).

### 2.7.2. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları

- 1-) Hidroelektrik enerji santrali baraj deposu bir kez inşa edildikten sonra düzenli olarak enerji elde edilir, bu tesislerin işletilmesi fazla işçi gerektirmez ve bakım maliyetleri genellikle düşüktür.
- 2-) Elektrik enerjisine ihtiyaç olmadığı zaman cebri boru vanaları kapatılarak elektrik üretimi durdurulabilir ve su daha sonra elektrik elde etmek üzere saklanabilir.

- 3-) Baraj inşası için geçen süreden çok daha fazla süre boyunca enerji elde edilir.
- 4-) Baraj gölünde su sporları yapılabilir aynı zamanda baraj bölgeleri turistik cazibe merkezleridir.
- 5-) Baraj göllerinde depolanan su tarımda sulama amacıyla kullanılabilir.
- 6-) İçinde su depolanan baraj gölü, ihtiyaç duyulduğu anda kullanılabilecek bir enerji deposudur.
- 7-) Elektrik üretimi esnasında hidroelektrik santraller sera gazı üretmez ve atmosferi kirletmez.
- 8-) Hidroelektrik enerji yenilenebilir, tükenmez enerji kaynağıdır.
- 9-) Hidroelektrik santrallerdeki elektrik üretiminin kendisi çevreyi kirletmez tek kirlilik oluşumu barajın inşası sırasında yaşanır.
- 10-) Hidroelektrik enerji sürekli ve güvenilir bir enerji kaynağıdır. Bir hidroelektrik santralde yıl boyu üretilen elektrik pek az miktarda dalgalanır. Bu nedenle hidroelektrik enerji kaynakları bol olan ülkeler temel enerji kaynağı olarak hidroelektrik enerjiyi seçmişlerdir.
- 11-) Hidroelektrik enerji esnektir ve güç üretim-kontrolü kolay bir kaynaktır. Elektrik enerji talebi düştüğünde vanalar kısılır, böylelikle su, enerji talebi arttığında tekrar kullanılmak üzere saklanmış olur.

### **2.7.3. Hidroelektrik Enerjinin Dezavantajları**

- 1-)Yüksek inşa maliyeti: Barajların inşa edilmesi son derece pahalıdır ve çok yüksek standartlarda inşa edilmelidir.
- 2-) Baraj inşaatının yüksek maliyeti, karlı hale gelmeleri için onlarca yıl işletilmeleri gerektiği anlamına gelir.
- 3-) Geniş arazilerin sular altında kalması, doğal çevrenin yok olması anlamına gelir.
- 4-) Aşırı yağışlarda suyun tahliyesi esnasında taşkın tehlikesi oluşturur
- 5-) Büyük barajların inşası ciddi jeolojik hasarlara neden olabilir.
- 6-) Bir ülkede bir nehrin ilerlemesini engelleyen barajlar yapılması, genellikle bir sonraki ülkede aynı nehirden gelen suyun akış miktarının azalması ve nehir suyundan yeterince yararlanamaması anlamına gelir. Bu durum komşu ülkeler arasında ciddi sorunlara yol açabilir.

7-) Çevresel Sonuçlar: Hidroelektrik enerjinin çevresel sonuçları, su barajı, değişen su akışı ve yolların ve elektrik hatlarının inşası nedeniyle doğaya yapılan müdahalelerle ilgilidir. Hidroelektrik santraller balıkları etkileyebilecek çok sayıda fiziksel ve biyolojik faktöre sahiptir. Gitgide daha çok sayıda insan balık türlerinin yok olması ile ilgilenmektedir. Balık habitatları, su seviyesi, su hızı ve barınma olanakları ve yiyeceğe erişim gibi fiziksel faktörler tarafından şekillendirilir. Baraj sonrasındaki su akış miktarının azalması balıklar için tamamen yıkıcı olacaktır. Bunun ötesinde, yaşam döngüsünün türüne ve aşamasına bağlı olarak, su miktarının bir nehirdeki balıklar üzerinde farklı etkileri olabilir.

8-) Kuraklık: Elektrik üretimi ve enerji fiyatları, ne kadar su bulunduğuyula doğrudan ilişkilidir. Kuraklık potansiyel olarak bunu etkileyebilir. Tüm enerji santralleri gibi, hidroelektrik santrallerinin de inşa edilmesi çok pahalıdır ve çok yüksek bir standartta inşa edilmelidir. Yüksek maliyet, tesislerin karlı hale gelmesi için uzun süre çalışması gerektiği anlamına gelir. Barajların oluşturulması, aynı zamanda, doğal çevre ve hayvanların ve hatta insanların doğal yaşam alanlarının yok edilebileceği anlamına gelen toprak taşkınlarına da neden olabilir. Hidroelektrik enerji için barajların inşa edilmesi de birçok su erişim sorununa neden olabilir. Bir yerde bir baraj oluşturulması, nehrin aşağısındakilerin artık su akışını kontrol edemediği anlamına gelebilir. Bu, komşu ülkelerin bir su kaynağını paylaştığı yerlerde tartışma yaratabilir (Bagher, Vahid, Mohsen ve Parvin, 2015).

#### **2.7.4. Hidroelektrik Enerji Sistemlerinin Çalışma Şekli**

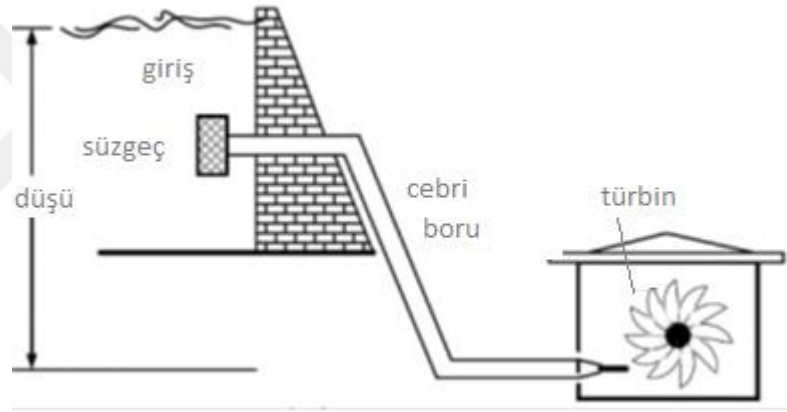
Hidroelektrik enerji teknolojileri, bir baraj yapısı tarafından oluşturulan yükseklik farkı (düşü) altında, yüksekte girip alçak bir kot seviyesinden çıkan suyun hidrolik enerjisini kullanarak enerji üretir. Diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, hidroelektrik enerji, projenin tüm ömrü boyunca bakım, işletme ve yakıt giderleri açısından nispeten düşük maliyetlere sahiptir. Diğer büyük enerji kaynaklarında olduğu gibi, büyük kurulum maliyetleri kaçınılmazdır, ancak hidroelektrik enerji tesislerinin uzun kullanım ömürleri bu maliyetleri zamana yayar. Ek olarak, hidroelektrik santrallerinde kullanılan ekipmanlar genellikle daha uzun süreler boyunca değişim veya onarım gerektirmeden çalışır ve uzun vadede tasarruf sağlarlar.

Su enerjisinin temiz, ucuz ve çevre dostu bir elektrik üretim kaynağı olması sürdürülebilir gelecek için büyük önem taşımaktadır buna rağmen su enerjisinin büyük bir kısmı hala yeterince kullanılmamaktadır (Date ve Akbarzadeh, 2009).

Sudan enerji elde etmek için başlıca iki yöntem vardır: hidrostatik ve hidrokinetik yöntemler. Hidrostatik yaklaşım, bir basınç yüksekliği oluşturmak için rezervuarlarda su depolayarak ve suyun potansiyel enerjisini uygun turbo makinelerle dönüştürerek elektrik üretmenin geleneksel yoludur (Khan, Iqbal ve Quaicoe, 2008).

Hidrokinetik yaklaşımda ise akan suyun içindeki kinetik enerji, suyu depolamadan ve neredeyse sıfır düşü ile nispeten küçük boyutlu türbinler tarafından doğrudan elektriğe dönüştürülür (Güney ve Kaygusuz, 2010).

#### 2.7.5. Hidroelektrik Enerji Sistemlerinde Teknoloji

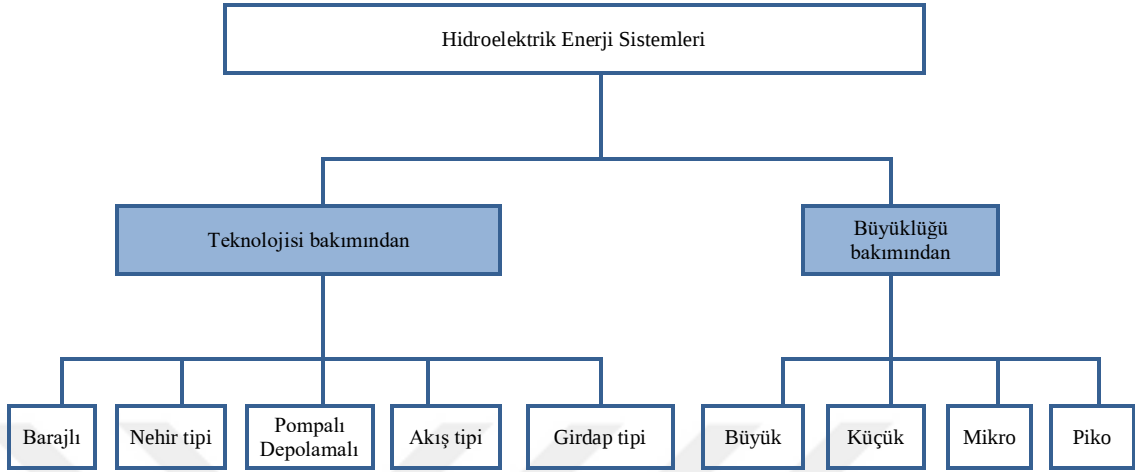


Şekil 2.3. Hidroelektrik Enerji Sistemi Prensip Şeması

Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi (Elbatran, Abdel-Hamed, Yaakob ve Ahmed, 2015) suyun potansiyel enerjisi türbinleri döndürerek güç üretmekte kullanılır. Sudan elde edilen enerji miktarı barajda tutulan suyun akış miktarına ( $Q$ ) ve düşüye (head,  $H$ ) bağlı olarak değişir.

Hidroelektrik enerji tesisleri kullandıkları teknoloji ve elde edilen enerji miktarlarına göre Şekil 2.4.'de görüleceği gibi (Elbatran, Abdel-Hamed, Yaakob ve Ahmed, 2015) 2 ana grupta incelenebilir. Teknolojileri bakımından depolamalı tip santraller, nehir tipi santraller, pompalı depolamalı sistemler, akış tipi (hidrokinetik) türbinler, girdap türbinleri olmak üzere 5 grup ve enerji miktarının büyüklüğüne göre

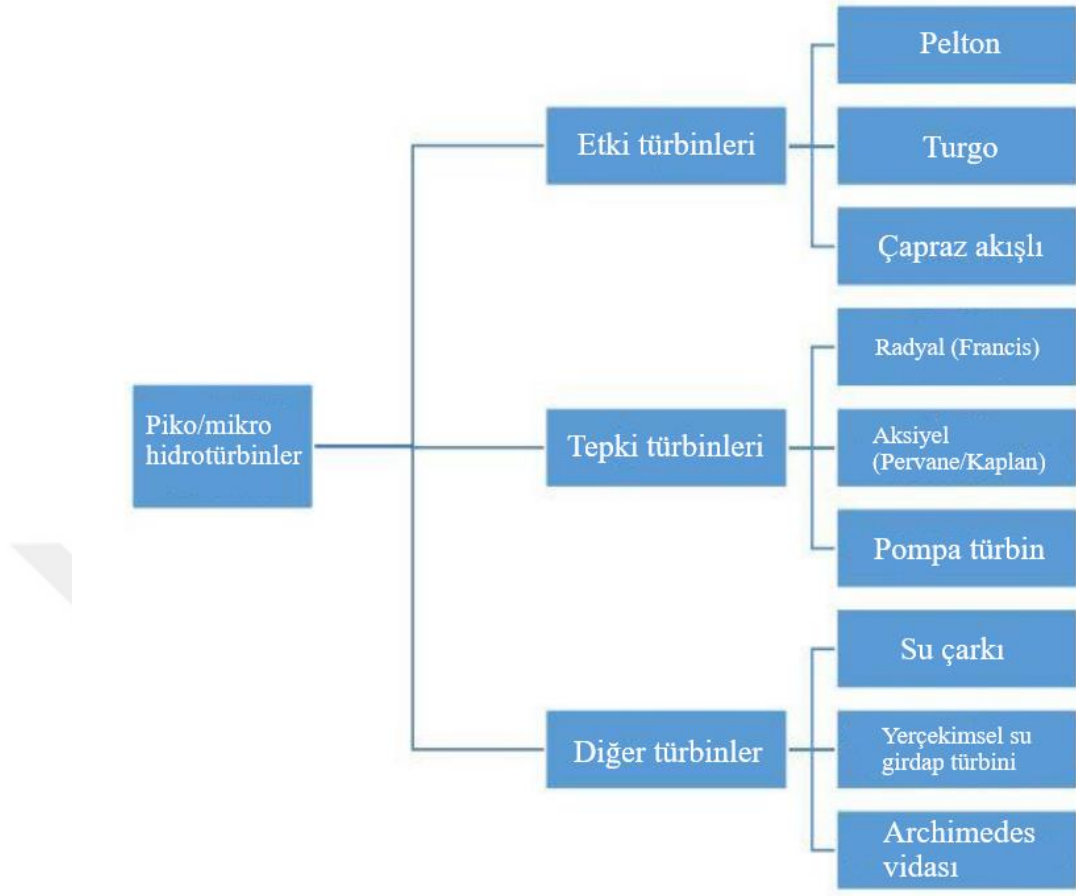
ise büyük, küçük, mikro ve piko santraller olarak 4 grupta incelenir (Elbatran vd., 2015).



Şekil 2.4. Hidroelektrik Enerji Tesislerinin Sınıflandırılması

#### 2.7.6. Hidroelektrik Türbinler

Hidroelektrik türbinler etki türbinleri ve tepki türbinleri olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bir proje için hidroelektrik türbin seçilirken, durgun suyun yüksekliği ("düşü, head" olarak anılır) ve sahadaki suyun debisi göz önünde bulundurulur. Diğer belirleyici faktörler arasında türbinin ne kadar derinlikte çalışacağı, çalışma koşulları altında türbinin göstereceği verim ve türbinin maliyeti sayılabilir. Etki türbinleri daha çok yüksek düşülere uygunken, tepki türbinleri alçak düşülere uygundur. Şekil 2.5.'te Piko/mikro türbinlerin sınıflandırılması yapılmıştır (Dhakal, 2017).



Şekil 2.5. Piko/Mikro Türbinlerin Sınıflandırılması

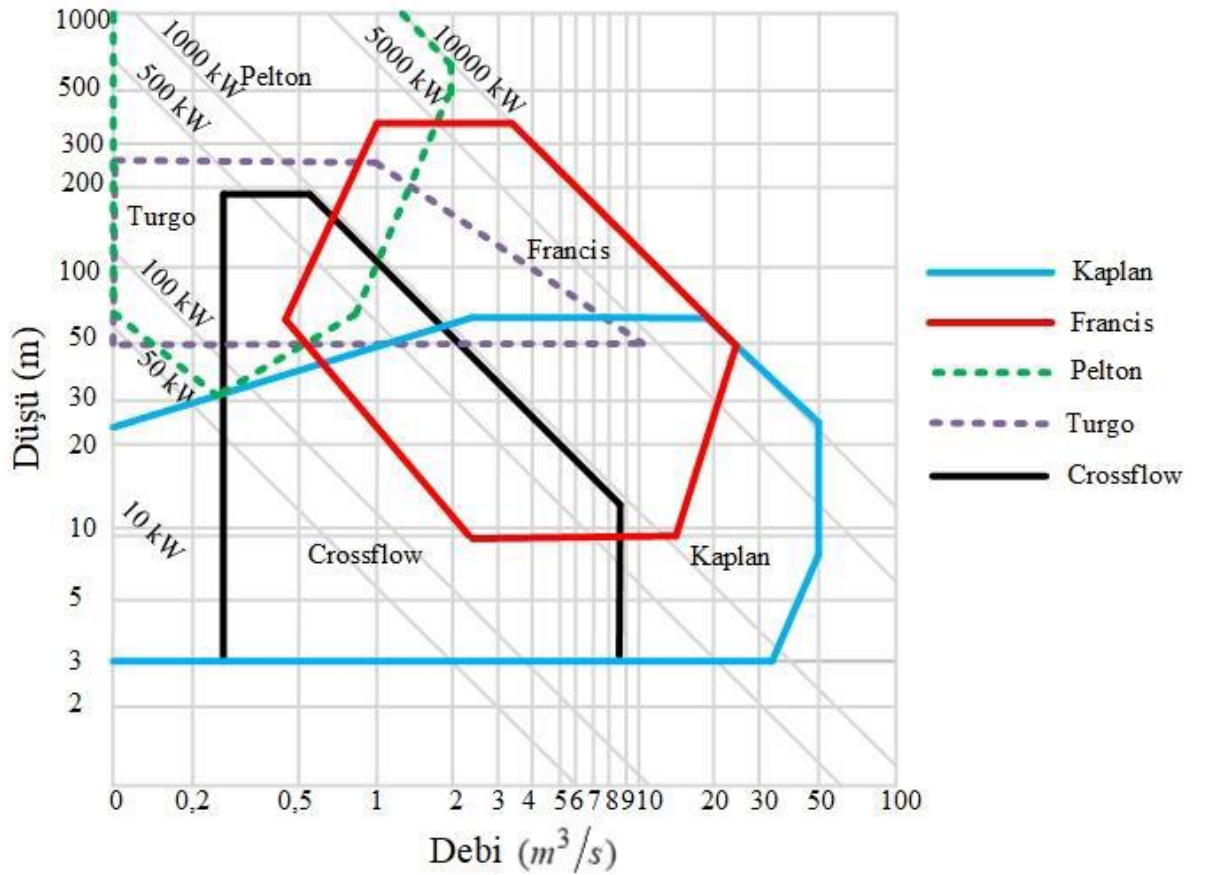
Etki ve tepki türbinleri, Şekil.2.6.'da gösterildiği gibi düşülerine göre de yüksek düşülü, orta düşülü ve alçak düşülü makineler olarak sınıflandırılabilirler (Paish, 2002).

### Etki ve tepki türbinleri

| Türbin tipi | Düşü sınıflandırması     |                       |                     |
|-------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
|             | Yüksek (>50 m)           | Orta (10-50 m)        | Alçak (<10 m)       |
| Etki        | Pelton                   | Çapraz akışlı         | Çapraz akışlı       |
|             | Turgo                    | Turgo                 |                     |
|             | Çoklu püskürtmeli Pelton | Çoklu Püsk. Pelton    |                     |
| Tepki       |                          | Francis(cebri borulu) | Francis(açık kanal) |
|             |                          |                       | Pervane tipi        |
|             |                          |                       | Kaplan              |

Şekil 2.6. Etki ve Tepki Türbinlerinin Düşülerine Göre Sınıflandırılması

Şekil 2.7.'deki grafikte türbinlerin çalışma bölgeleri özetlenmiştir (Sangal, Garg ve Kumar, 2013).



Şekil 2.7. Farklı Hidrotürbinlerin Düşü-Debi Grafiği Üzerindeki Çalışma Bölgeleri

### 2.7.6.1. Tepki Türbinleri

Bir tepki türbini, suyun basınç ve hareket enerjisinden güç üretir. Pervane doğrudan akan suyun içine yerleştirilir ve suyun kanatlara tek tek çarpması yerine kanatlar üzerinden akması sağlanır. Daha çok alçak düşülü ve yüksek debili akışlar için uygundur.

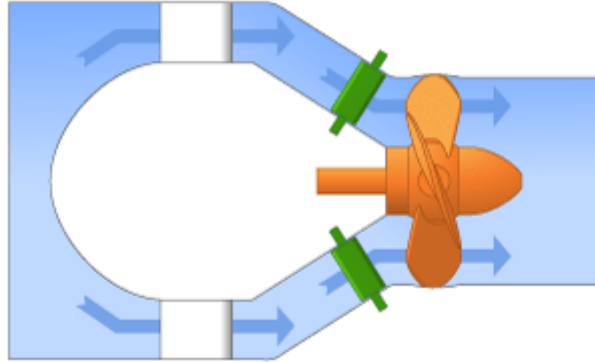
En yaygın iki reaksiyon türbini tipi Pervane (Kaplan dahil) ve Francis'tir. Kinetik türbinler de bir tür tepki türbinidir.

#### 2.7.6.1.1. Pervaneli Türbin

Pervaneli bir türbin genellikle üç ila altı kanatlı bir yapıya sahiptir. Su tüm kanatlara sürekli olarak temas eder. Boru boyunca basınç sabittir; Kanatların eğimi sabit veya ayarlanabilir olabilir. Pervanenin yanı sıra ana bileşenler bir hazne, küçük vanalar ve bir çekiş borusudur. Birkaç farklı pervaneli türbin türü vardır.

#### 2.7.6.1.2. Damla Türbin

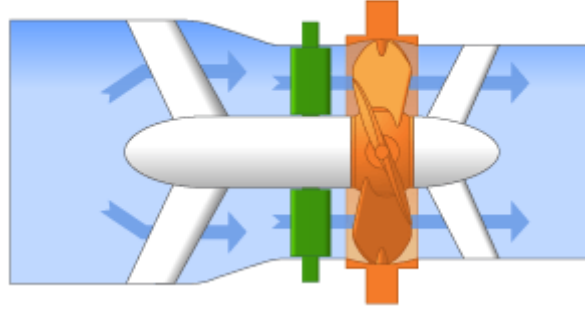
Generatör ve türbin sızdırmaz bir hazneye konarak doğrudan akan su kanalının içine yerleştirilmiştir. Şekil 2.8. (energy.gov, 2023).



Şekil 2.8. Damla Türbin

#### 2.7.6.1.3. Düz Akış Türbini

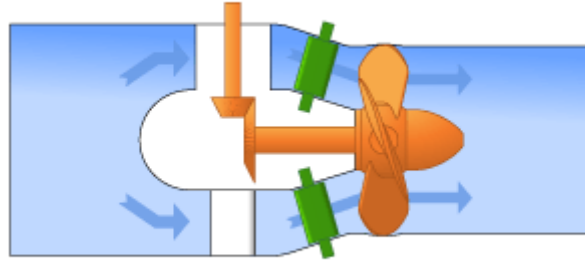
Generatör türbinin çevresine yerleştirilmiştir. Şekil 2.9.'da görülmektedir.



Şekil 2.9.Düz Akış Türbinleri

#### 2.7.6.1.4. Tüp Türbin

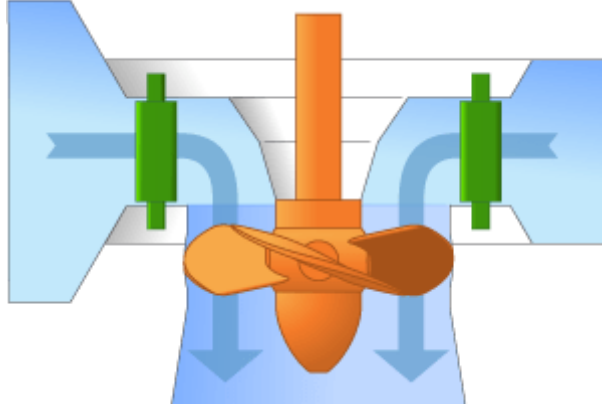
Cebri boru, türbin ile generatörün düz bir şekilde bağlanabilmesi için türbinin hemen öncesi ya da sonrasında bükülmüştür. Tüp türbin Şekil 2.10.'da görülmektedir (energy.gov, 2023).



Şekil 2.10.Tüp Türbinleri

#### 2.7.6.1.5. Kaplan Türbini

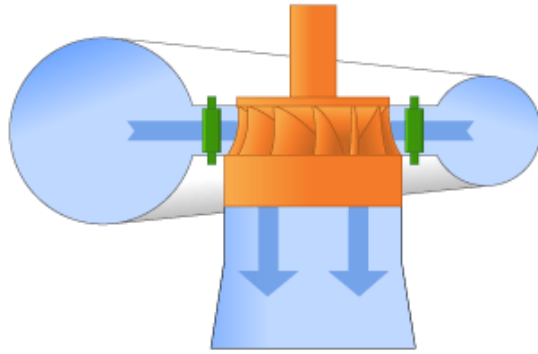
Daha geniş bir çalışma bölgesi elde etmek için hem kanatlar hem de yönlendirme vanaları ayarlanabilir. Bu türbin Avusturyalı mucit Viktor Kaplan tarafından 1919'da icat edilmiştir. Kaplan Türbini Şekil 2.11.' de görülmektedir (energy.gov, 2023).



Şekil 2.11.Kaplan Türbini

#### 2.7.6.1.6. Francis Türbini

1849’da Amerikalı mühendis James Francis tarafından icat edilen Francis türbini ilk modern hidroelektrik türbinidir. Francis türbini 9 ya da daha çok kanattan oluşan bir pervaneye sahiptir. Su türbine pervanenin hemen üzerinden giriş yapar ve tüm kanatçıkların çevresinden aşağı doğru akarken pervanenin dönmesine neden olur. Pervanenin yanı sıra, diğer ana bileşenler arasında hazne, yönlendirme vanaları ve bir çekiş borusu bulunur. Francis türbinleri genellikle orta ila yüksek düşü (40-610 m) durumları için kullanılır, ancak daha alçak düşüler için de kullanılmaktadırlar. Francis türbinleri hem yatay hem de dikey yönlerde iyi çalışır. Şekil 2.12.’de Francis türbini görülmektedir (energy.gov, 2023).



Şekil 2.12.Francis Türbini

#### 2.7.6.1.7. Kinetik Türbin

Serbest akışlı türbinler olarak da adlandırılan kinetik enerji türbinleri, düşünün sağladığı potansiyel enerji yerine akan suda bulunan kinetik enerjiden elektrik üretir. Bu

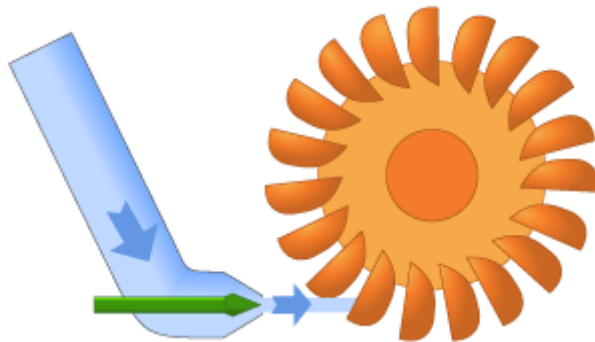
türbinler nehirlerde, insan yapımı kanallarda, gelgit sularında veya okyanus akıntılarında çalışabilir. Kinetik sistemler bir su akışının doğal yolunu kullandıklarından uygulamaları olsa da, diğer türbin tiplerinde olduğu gibi suyun doğal yataklardan insan yapımı kanallar, borular yoluyla saptırılması gerekmez. Kinetik sistemler köprüler, baraj mansapları ve kanallar gibi mevcut yapıları kullanabildikleri için büyük inşaat işleri gerektirmezler.

#### 2.7.6.2. Etki Türbinleri

Bir etki türbini, pervaneyi hareket ettirmek için genellikle atmosfer basıncında belli bir hıza sahip suyun kinetik enerjisini kullanır. Su jeti pervane üzerindeki kova şeklinde kanatçıklara ayrı ayrı çarpar. Türbinin aşağı tarafında emiş borusu olmadığından, su çarka çarptıktan sonra türbin yuvasının altından dışarı akar. Etki türbinleri genellikle yüksek düşü, düşük debili uygulamalar için uygundur. İki ana etki türbin tipi Pelton ve çapraz akışlı türbindir.

##### 2.7.6.2.1. Pelton Türbini

Pelton türbini, Amerikalı mucit Lester Allan Pelton tarafından 1870'lerde icat edilmiştir. Pelton türbini bir veya daha fazla su jetinin bir çark üzerindeki kova şeklindeki kanatçıklara çarpması sonucu oluşan mekanik enerjiyi kullanır. Pelton türbinleri genellikle çok yüksek düşüler ve düşük debiler için kullanılır. Bir etki türbini için çekiş borusuna gerek yoktur, çünkü çark, maksimum kuyruk suyu noktasında atmosfer basıncında konumlandırılmıştır.

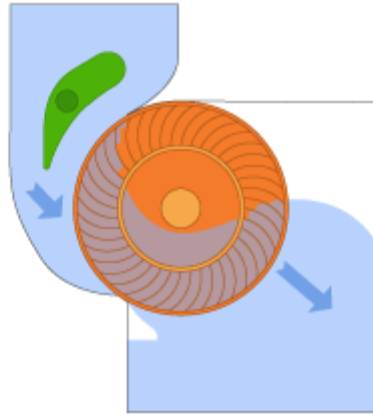


Şekil 2.13. Pelton Türbini

Şekil 2.13. (energy.gov,2023)'te görülen Pelton Türbini, etrafına yerleştirilmiş bir dizi kovaya sahip bir tekerlekten oluşur. Yüksek hızlı bir su jeti tekerleğe teğet olarak yönlendirilir. Jetler bir kovaya çarparak ikiye bölünür ve yaklaşık olarak 180° geri saptırılır. Suyun neredeyse tüm enerjisi kovayı itmek için kullanılır ve saptırılan su aşağıdaki boşaltma kanalından tahliye edilir (Paish, 2002).

#### 2.7.6.2.2. Çapraz Akışlı Türbin

Çapraz akışlı türbin ilk defa, 1900'lerin başında Avusturyalı bir mühendis olan Anthony Michell tarafından tasarlandı. Daha sonra Macar mühendis Donát Bánki onu geliştirdi ve Alman mühendis Fritz Ossberger tarafından daha da geliştirildi. Çapraz akışlı bir türbin, tambur şeklindedir ve silindirik şekilli bir yolluk üzerindeki kavisli kanatlara yönelik uzatılmış, dikdörtgen kesitli bir nozül kullanır. Bu yapı aynı zamanda sincap kafesli fan olarak da anılır. Çapraz akışlı türbin, suyun kanatlardan iki kez akmasına izin verir. İlk geçişte su kanatların dışından içeriye doğru akar; ikinci geçiş içten dışa doğru oluşur. Türbinin girişindeki bir kılavuz kanat, akışı çarkın sınırlı bir kısmına yönlendirir. Çapraz akışlı türbin, Pelton'un kaldırabileceğinden daha büyük su akışlarında ve daha alçak düşülerde çalışacak şekilde geliştirilmiştir.



Şekil 2.14. Çapraz Akışlı Türbin

Şekil 2.14.'te görülen (energy.gov, 2023) çapraz akışlı türbin, her iki ucunda katı bir disk ve iki diski birleştiren oluk şeklindeki "çıtalar" bulunan tambur benzeri bir rotora sahiptir. Kavisli kanatlardan rotorun üst kısmına geniş bir su jeti girer ve rotorun uzak tarafındaki kanatlardan 2. kez geçerek çıkar. Kanatların şekli, rotorun çevresinden

her geçişte suyun uğradığı momentum değişiminin bir kısmını rotora aktaracak şekilde biçimlendirilmiştir (Paish, 2002).

### 2.7.6.3. Girdap Türbini

Suda oluşan girdaptan enerji üretmeye yarayan bir metod kullanarak mikro hidroelektrik enerji üretimini gerçekleştiren yerçekimsel su girdap türbini (Gravitational Water Vortex Power Plant, GWVPP) Avusturyalı mühendis Franz Zotlterer tarafından icat edilmiştir (zotloeterer.com, 2023). GWVPP' nin çalışma prensibi şekil.2.15.'te gösterilmiştir (Mohan, 2016).



şekil 2.15. Silindirik Hazneli Bir Girdap Türbininin alışma Prensibi

Diğer hidroelektrik üretim teknolojileriyle karşılaştırıldığında, GWVPP'ler alçak düşülü sahalarda büyük bir potansiyele sahiptir ve geleneksel etki ve tepki türbinlerinin aksine, düşü neredeyse sıfıra yaklaştığında bile yüksek verimlerini koruma özelliğine sahiptirler. Bunun nedeni, bu sistemde düşünün sadece yapay bir girdap oluşturmak dışında büyük bir etkisi bulunmamasıdır (Yaakob, Ahmed, Elbatran ve Shabara, 2014).

Serbest girdap, dikey bir eksen çizgisi etrafında dönerek akan suyun içindeki bir bölgedir ve oluşması için 0,7 ile 2 m arasında kk bir düşü yeterli olmaktadır. GWVPP'de sürtünmesiz ve rotasyonelsiz kabul edilen su, açık bir giriş kanalından hazneye doğru teğetsel olarak akarak güçlü bir girdap oluşturur. Girdaptaki suyun

dinamik kuvvetleri, etki ve tepki olaylarının bir karışımı olan akış sayesinde türbine aktarılır. GWPP'ler yenilenebilir enerji teknolojileri içinde uygun ve ucuz bir yöntem olarak yerini almıştır (Kayastha, Raut, Subedi, Ghising ve Dhakal, 2019).

GWVPP'ler kanal, hazne ve türbinden oluşur. Haznenin dibinde bir çıkış deliği bulunur. Kanaldan gelen su, güçlü ve kararlı bir su girdabı oluşturmak için yuvarlak hazneye teğetsel olarak beslenir. Su girdabının kinetik enerjisi, su girdabının merkezinde bulunan türbin pervanesi ve ona bağlı generatör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Alçak düşülü mikro hidroelektrik santrallerinin çoğundan farklı olarak, bu türbin, çıkış milinde tork oluşturmak için türbin çark kanatları arasındaki basınç farkını kullanmaz, bunun yerine girdabın dinamik kuvvetiyle çalışır. Türbin sistemi suyu havalandırmasının yanı sıra faydalı bir çıkış gücü de vermektedir. Bu nedenle, atık ya da kirli suların havalandırılması için daha önceleri ayrıca enerji harcanması gerekirken, şimdi bu teknoloji sayesinde su hem havalandırılmakta aynı zamanda da elektrik enerjisi üretilbildiği için hidrodinamik teknolojide çok önemli bir gelişmedir.

$$V_{\theta} = \Gamma / 2\pi r$$

(Denklem 2.1.)

Etki türbinlerinde, yüksek hızlı akışkan çarka çarparak akışkan akışını saptırır, akışkan üzerinde momentumda bir değişikliğe neden olur ve türbin çarkı üzerinde bir tepki kuvveti ortaya çıkarır. GWVPP türbin kanadı tasarımı da aynı yöntem kullanılarak gerçekleştirilir. Bununla birlikte, bir Pelton Çarkındaki su jetinden çıkan akışkan yalnızca tek yönde hareket eder. Tersine, GWVPP'de su yatay ve dikey olarak iki boyutta hareket eder. Analizi basitleştirmek için, bir su girdabının enerjisinin çoğunun yatay olarak kullanılabileceğini ve dikey yönde ihmal edilebilir düzeyde olduğunu varsaymak mümkündür. Darbeli bir türbinde giriş jet hızı sabittir, ancak GWVPP için giriş teğetsel hızı Denklem 2.1.'de açıklandığı gibi girdabın yarıçapı boyunca değişir. Burada  $\Gamma$  ( $m^2/s$ ) suyun sirkülasyon büyüklüğüdür. (Dhakal vd., 2017).

Çoğu mikro hidroelektrik teknolojisinin aksine, balıklar zarar görmeden ve küçük parçacıklar da türbine zarar vermeden GWVPP'den geçebilir. GWVPP'nin, sudaki kirleticileri homojen bir şekilde yayması, suyu doğal olarak soğutması sayesinde

yaz aylarında yükselen sıcaklıklarda su sıcaklığının azaltılabilmesi ve ayrıca girdap oluşturulması yoluyla suya oksijen kazandırılması gibi avantajları olduğu belirtilmektedir (zotloeterer.com, 2023).

GWVPP'lerde suyun kanaldan hazneye giriş yönü tasarlanırken, kurulum yapılacak yerin Kuzey Yarımküre'de ya da Güney Yarımküre'de olması durumu göz önüne alınmalıdır. Çünkü oluşan girdabın saat yönünde ya da saat yönünün tersi yönde olmasında Coriolis kuvvetlerinin de etkisi vardır.

Dünya'nın dönüş hareketinin, hareket halindeki nesnelerin yörüngesini değiştirmesi olarak bilinen Coriolis etkisi, düşük basınçlı hava sistemlerinin Kuzey Yarımküre'de saat yönünün tersine ve Güney Yarımküre'de saat yönünde dönmesine neden olur ve bu kadar büyük ölçeklerde çok iyi gözlenebilmektedir. İlk kez 1835'te Fransız mühendis ve matematikçi Gustave-Gaspard Coriolis tarafından açıklanan Coriolis etkisinin çok küçük ölçeklerde de gözlenebileceğini kimse gösterememiştir. Coriolis etkisinin teorik olarak banyo küvetinden boşalan suyun boşalma esnasındaki dönüş yönünü etkilemesi gerektiği bilinse de, bu kadar küçük ölçeklerde Coriolis etkisinin gözlenemeyeceği düşünülmüştür.

Ancak 1962 yılında, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) Dr. Ascher Shapiro, ucunda bir tıpa bulunan 6 m uzunluğunda bir hortum taktığı, çapı yaklaşık 1 cm olan merkezi bir boşaltma deliğine sahip dairesel, düz tabanlı bir banyo küveti ölçeğindeki kaptan oluşan bir deney düzeneği tasarlamıştır. Küveti 15 cm derinliğinde temiz, oda sıcaklığında suyla doldurarak, dönüş yönü üzerinde etkisi olabilecek diğer değişkenleri, hava hareketi, sıcaklık değişimi, yüzey bozukluğunu kontrol altında tutarak suyun durulmasına 24 saat izin verdikten sonra, dikkatlice hortumun ucundaki tapayı çekmiş ve suyun çıkışına yerleştirdiği 2,5 cm uzunluğundaki çapraz iki tahta parçasının suyun tamamen boşalmasına yakın yavaşça saat yönünün tersine dönmeye başladığını gözlemlemiştir.

Coriolis etkisinin, dikkatle kontrol edilen koşullar altında da olsa, küvet boyutundaki bir tankta tespit edilebileceğini kanıtlamak dikkate değer bir başarı olmuştur. Kuzey Yarımkürede bulunan MIT 42° enlemde, Coriolis etkisinin büyüklüğü yer çekiminin yalnızca otuz milyonda biri kadardır (technologyreview.com, 2023).

## BÖLÜM 3

### BU ALANDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Dhakal, Nakarmi, Pun, Thapa, Bajracharya, girdap türbini tarafından elde edilen gücün belli bir kanat sayısına kadar arttığını, kanat sayısı bu sınırdan sonra arttığında ise elde edilen gücün ve verimin azalmaya başladığını deneysel olarak göstermiştir (Dhakal, Nakarmi, Pun, Thapa, Bajracharya, 2014).

Power, McNabola, Coughlan, türbin kanat boyutu arttıkça türbin veriminin arttığını doğrulamıştır (Power, McNabola ve Coughlan ,2016).

Dhakal vd. koni şekilli haznenin silindir şekilli hazneden daha verimli olduğunu bulmuştur (Dhakal vd., 2015).

Sreerag, Raveendran ve Jinshah, girdap haznesinin çıkış deliği çapının hazne üst çapına oranı %14-%18 arasında olduğunda en yüksek verimin elde edildiğini göstermiştir (Sreerag, Raveendran ve Jinshah, 2016).

Dhakal, maksimum çıkış gücü için pervanenin toplam hazne yüksekliğinin %65-75 i oranında alt kısma konumlanması gerektiğini bulmuştur (Dhakal vd., 2015).

Power vd., giriş debisi, giriş kanalı yüksekliği, pervane kanat boyutları, girdap yüksekliği ve çıkış torkunu her bir giriş için Prony fren dinamometresi ile ölçerek türbin veriminin kanat alanı ve kanat sayısının artışı ile arttığını, ayrıca test edilen üç giriş yüksekliği içinde 25 cm (toplam hazne yüksekliğinin alt hizadan %35'i) yükseklikte en yüksek verimin gerçekleştiğini bulmuştur (Power vd., 2016).

Bajracharya ve Chaulagai, yeterli akış koşulları altında oluşan girdabın en küçük çapının daima çıkış deliği çapından daha küçük olarak haznenin en alt seviyesinde oluştuğunu gözlemlemiştir (Bajracharya ve Chaulagai, 2012).

Dhakal vd., verilen belli bir debi ve düşüde konik hazne dizaynında çentik açısı dışında alt çıkış deliği çapı, hazne çapı, çentik boyu, kanal yüksekliği ve koniklik açısı parametrelerinin girdap hızı üzerinde rol oynadıklarını bulmuştur (Dhakal vd., 2014).

Dhakal vd., eğrisel kanat tasarımının %82 verim ile düz kanat tasarımında elde edilen %46 verimden daha yüksek verime sahip olduğunu bulmuştur (Dhakal vd., 2017).

Singh ve Nestmann, yaptıkları çalışmalarda kanat açısı, kanat yüksekliği ve kanat sayısı parametrelerinin verim üzerindeki etkilerini araştırmış ve kanat çıkış açısı ve kanat yüksekliği parametrelerinin baskın etkiye sahip olduğunu belirtmiştir (Singh ve Nestmann, 2009-2011).

Date ve Akbarzadeh, sürtünmelerin ihmal edildiği ideal durumda optimum türbin veriminin maksimum mil torkunun yarı yükünde gerçekleştiğini bulmuştur (Date ve Akbarzadeh, 2013).

Marian, Sajin ve Azzouz, deneysel bir çalışmada konik haznede rotor kanatçıklarını dikey olarak çeşitli yüksekliklerde çalıştırmış ve belirli bir seviyeye kadar verimin arttığını daha sonra azaldığını tespit etmiştir. Maksimum türbin performansının çıkış deliğine en yakın konumda gerçekleştiğini bulmuştur (Marian, Sajin ve Azzouz, 2013).

Dhakal, Nakarmi, Pun, Thapa ve Bajracharya, çeşitli kanat sayılarına sahip türbinleri laboratuardaki test düzeneğinde 25-120 rpm devir hızlarında denemişler ve Marian vd.'nin yaptıkları çalışmayı doğrular nitelikte en verimli türbin yerleşiminin akışkan hızının derinlikle artması nedeniyle çıkış deliğine en yakın konum olduğunu ve türbin çapı arttıkça haznenin iç yüzeyiyle oluşan sürtünme nedeniyle verimin düştüğünü girdap kuvvetinin konik haznede silindirik hazneden daha fazla olduğunu bulmuştur (Dhakal, Nakarmi, Pun, Thapa ve Bajracharya, 2014).

Zakariz, Nugraha ve Phasinam, 19,98 derecelik çentik açısının 162,7 rpm türbin hızında ve 7,72 l/s debide en yüksek performansı verdiğini göstermiştir (Zakariz, Nugraha ve Phasinam, 2022).

Dhakal vd., tasarladıkları konik haznenin Bajracharya ve Chaulagai tarafından tasarlanan silindirik hazneden daha yüksek güç üretimi, girdap kuvveti ve verim sağladığını göstermiştir. (Dhakal vd., 2014- Bajracharya ve Chaulagai, 2012).

Dhakal vd., tarafından 3,6 ve 12 kanat sayısına sahip aynı çaptaki türbinlerin denenmesi ile kanat sayısı arttıkça girdabın daha çok bozulduğu ve verimin düştüğü gösterilmiştir (Dhakal vd., 2014).

Sritram, Treedat ve Suntivarakorn, alüminyum gibi hafif malzemeden yapılan türbinlerin çelik gibi ağır malzemelerle yapılan türbinlere göre daha hızlı dönmesi nedeniyle daha verimli olduğunu göstermiştir (Sritram, Treedat ve Suntivarakorn, 2015).

Rahman, Hong, Tang ve Sung, 3 farklı hidrolik düşü ve 4 farklı türbin ile gerçekleştirdikleri çalışmada yüksek devir hızının her zaman yüksek hidrolik verim anlamına gelmediğini göstermiştir (Rahman, Hong, Tang ve Sung, 2016).

Wichian ve Suntivarakorn, baffle plate parçasının türbin verimi üzerine etkisini incelemiş ve değişik oranlarda baffle plate eklenmiş türbinleri 3 değişik debide denemiştir. %50 Oranında eklenen saptırma plakası (baffle plate)'nın saptırma plakası eklenmeyen türbine göre en yüksek verimi verdiği ve saptırma plakası oranı arttıkça verimin azaldığını saptamıştır (Wichian ve Suntivarakorn, 2016).

Sharif vd., yaptıkları deneysel çalışmada 0.70 m düşü ve 0.004 m<sup>3</sup>/s debide J harfi şeklindeki kanatçıklara sahip türbin ile %54,44 verim elde etmiştir (Sharif vd., 2021).

Rahman, Hong ve Tamiri, besleme giriş genişliğini azaltmanın tanjantal hız bileşenini ve çıkış gücünü arttırdığını belirtmiştir. (Rahman, Hong ve Tamiri, 2018).

Li, Chen, Ma ve Yi, girdap merkezinde oluşan hava bölümünün girdabın kararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılabileceğini bulmuştur (Li, Chen, Ma ve Yi, 2008).

Rahman, Tan, Fadzlita ve Muzammil, Dhakal vd., girdap türbininin basınç farkıyla değil girdabın dinamik kuvvetleri altında çalıştığını bulmuştur (Rahman, Tan, Fadzlita ve Muzammil, 2017-Dhakal, 2015).

Saleem vd.'ne göre girdap türbini reaksiyon türbin tipinden çok etki türbinine benzemektedir. Bu yüzden hız etkili bir parametredir ve baskın hız bileşeni tanjantal hızdır. Yatay olarak bükümlü kanatçıklar sadece tanjantal hız bileşenini kullanabilirler. Ayrıca türbin göbek çapı küçük olan türbinlerin hava nüvesini ve girdap şeklini daha az bozduğundan geniş türbin göbek çapına göre daha verimli olduğunu bulmuştur (Saleem vd., 2020).

Sritram ve Suntivarakorn, en verimli optimum girdap türbin kanatçık sayısının 5 olduğunu söylemişlerdir (Sritram ve Suntivarakorn, 2019).

Bajracharya vd.'ne göre yükseklik oranı kanatçık yüksekliği/hazne yüksekliği olarak tanımlanırsa türbin kanatçık yüksekliği arttırıldığında türbin- su arası temas yüzeyi arttığından verim yükselir. 0,31-0,32 yükseklik oranında ve 5 kanatçıklı türbin durumunda en yüksek verim elde edilir (Bajracharya vd., 2020).

Mulligan'a göre, çıkış deliği çapının küçük değerlerinde çıkış tıkanacağı için ve büyük çıkış deliği çaplarında ise su sirkülasyon yapmadan hazneyi terk edeceği için girdap gücü düşer (Mulligan, 2015).

Nishi ve Inagaki'ye ve Saleem'e göre girdap haznesine türbin yerleştirildiğinde girdap ile türbin etkileşime geçer ve bu durumda girdabın tanjantal hız bileşeni azalırken aksel hız bileşeni artar (Nishi ve Inagaki, 2017-Saleem, 2020).

Sanchez, Del Rio, Murioz, Montaya, yaptıkları deneysel çalışma ile içbükey(konkav) konik hazne tasarımının dışbükey (konveks) konik hazne tasarımına göre daha fazla elektriksel güç verdiği dolayısıyla daha verimli olduğunu göstermişlerdir (Sanchez, Del Rio, Murioz, Montaya, 2019).

Ullah vd., rotor/hazne çapı oranı 0,6 olan bir deney düzeneğinde maksimum gücü 3,85 W olarak elde etmiştir (Ullah vd., 2020).

Sritram ve Suntivarakorn, aynı düşü ve debide alttan çarpmalı su çarkında 7,5 W güç ve %13,96 verime karşı girdap türbininde 14,5 W ve %35,92 verim elde etmiştir (Sritram ve Suntivarakorn, 2017).

Dhakal vd.'ne göre pervane çapı arttıkça verim düşer çünkü merkezden dışarı doğru hız azalmaktadır (Dhakal vd., 2014).

Gautam vd., konik şekilli hazneye sahip girdap türbininde ana türbinin alt kısmına yardımcı bir türbin ilave etmenin verimi %6 oranında arttırdığını bildirmişlerdir (Gautam vd., 2016).

Sedai, Yadav, Kumal, Khatiwada ve Dhakal,  $D=2,2$  m çapındaki hazneye sahip bir saha türbininin çeşitli ölçeklerdeki modellerinin verimlerini karşılaştırarak 1/1,8 ölçekten 1/20 ölçeğe doğru model veriminin %70,9'dan %12,1'e değiştiğini ve model boyutu gerçek boyuta yaklaştıkça verimin arttığını göstermiştir (Sedai, Yadav, Kumal, Khatiwada ve Dhakal, 2020).

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

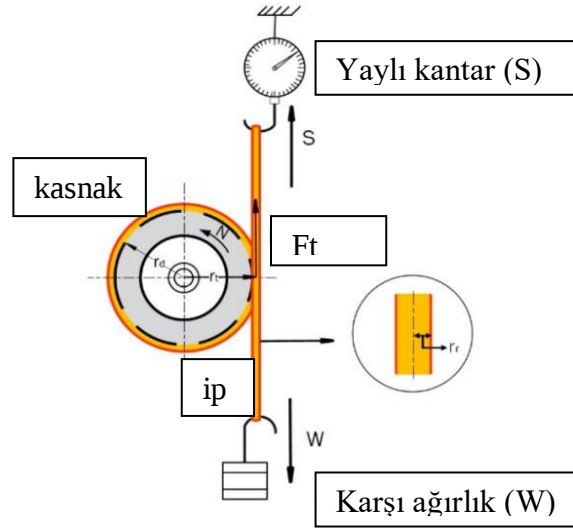
#### 4.1. MATERYAL

##### 4.1.1. Deneme Düzeneği

Edirne İli'nin alçak düşülü akarsularında elektrik enerjisi üretmek için uygun bir piko hidroelektrik girdap türbini prototipi tasarımı yapılmadan önce, bazı türbin modelleri üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde türbin modellerinin verim değerlerinin ölçülebilmesi için bir deneme düzeneği imal edilmiştir. Deneme düzeneğini oluşturan bileşenler; konik şekilli hazne, giriş kanalı, mile bağlı türbin, mil üzerine bağlı bir kasnak, 2 adet yaylı kantar (dinamometre S ve W), takometre (devir ölçer) dir. Deneme düzeneğinde temel olarak, türbin milindeki torkun ölçülebilmesi için Prony ip freni dinamometresi ve türbin devrinin ölçülebilmesi için de dijital takometre kullanılmıştır. Deneme düzeneğine giren suyun debisinin ölçülmesi için 10 lt lik bir kap ve kabın dolma süresinin ölçülmesi için de cep telefonu kronometresi kullanılmıştır. Düşü miktarı cetvel ile ölçülmüştür.

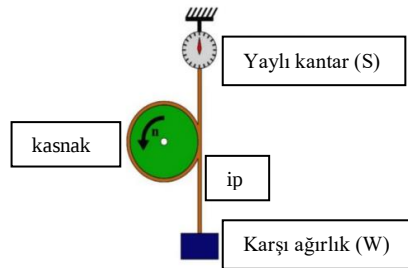
##### 4.1.1.1. İp Freni Dinamometresi

İp freni dinamometresinin çalışma prensibi Şekil.4.1.'de gösterilmiştir. (Vidian, Putra ve Kholis, 2020). Kasnak dönmüyorken yaylı kantarda ölçülen değer yük ağırlığına eşittir, kasnak dönerken ise kasnak ile ip arasındaki sürtünme kuvvetlerinden dolayı ip yukarı doğru itildiğinden yaylı kantarda ölçülen değer azalır. Sürtünme kuvvetinin (Ft) büyüklüğü (W-S)' ye eşittir. Bu Ft kuvveti kasnağa dolayısıyla da türbine bir tork uygular.

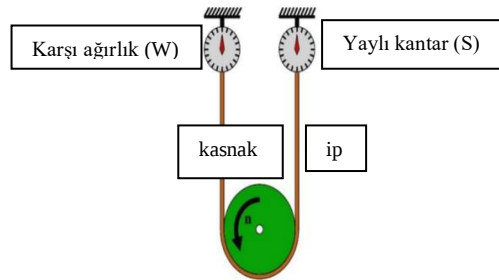


Şekil 4.1. Prony İp Freni Dinamometresi İle Tork Ölçümü Prensip Şeması

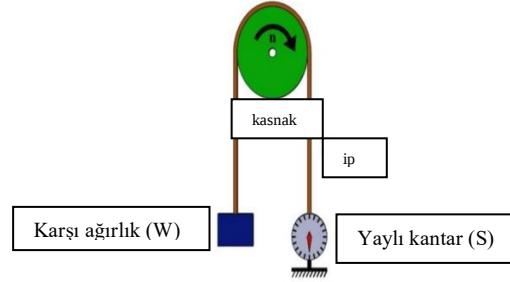
Genellikle İp freni dinamometre düzeneği I, U ve n şeklinde olmak üzere 3 farklı şekilde düzenlenebilir. Bunlar sırasıyla Şekil.4.2, Şekil.4.3., Şekil 4.4.'de gösterilmiştir (Vidian vd., 2020).



Şekil 4.2. İp Freni Dinamometresi (I Düzeni)



Şekil 4.3. İp Freni Dinamometresi (U Düzeni)



Şekil 4.4.İp Freni Dinamometresi (n Düzeni)

#### 4.1.1.1.1. Yaylı Kantar

Prony ip freni dinamometresinde 2 adet yaylı kantar kullanılmıştır. İlk yaylı kantar 1771'de Avrupa'da icat edilmiştir. O zamandan beri modellerin doğruluğu ve güvenilirliği büyük ölçüde artmıştır. Genellikle bir nesneye uygulanan ya da nesnenin uyguladığı kuvveti ölçmek için kullanılırlar. Bir yaylı kantar, silindirik bir boru içinde bir ucu kancalı diğer ucu ise sabitlenmiş bir yay içerir. Yaylı kantara nesneler eklendikçe yay esner ve bileşke kuvvet ölçekten okunabilir. Uygulanan kuvvet ne kadar büyük olursa, uzama da o kadar büyük olur. Fizikte uygulanan kuvvet ile şekil değişikliği arasındaki ilişki Hooke yasası olarak bilinir.

Yayın ürettiği geri çağırma kuvveti (F) boyunun uzama miktarıyla doğru orantılıdır.

$$F=-kx$$

(Denklem 4.1.)

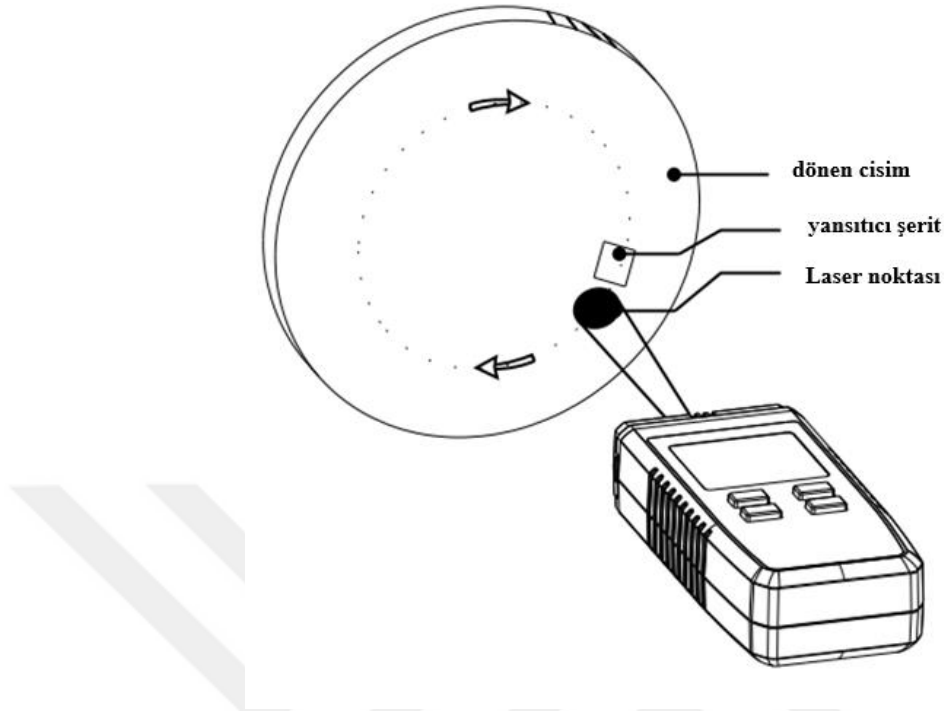
Denklem olarak, Denklem 4.1.'deki gibi ifade edilir. (-) işareti geri çağırıcı kuvvetin uygulanan kuvvete zıt yönlü olduğunu gösterir. Kantara asılan bir nesnenin ağırlığı ters yönde bu kuvvete eşit ve kütlesi ile yerçekimi ivmesinin çarpımına eşittir.

$$W=mg$$

(Denklem 4.2.)

(wiltonics.com, 2022).

#### 4.1.1.2. Dijital Takometre



Şekil 4.5. Dijital Takometre İle Devir Sayısı Ölçümü Prensibi

Dijital takometre dönen cisimlerin dönme hızını dakikadaki devir sayısı (rpm) olarak ölçer. Devir sayısı ölçülecek cisim üzerine yansıtıcı bant yapıştırılır. Laser ışını yansıtıcı banda çarpıp tekrar geri yansıdığında 1 devir olarak algılanır. Cihaz devir sayısını geçen süreye bölerek rpm olarak devir hızını ölçmüş olur. Takometre devir ölçme prensip resmi Şekil 4.5.'te görülmektedir (UT-373 kullanma kılavuzu, 2020). Ayrıca Takometrenin duyarlık ve doğruluk tablosu Çizelge.4.1. de verilmiştir. (UNIT, UT-373 kullanma kılavuzu, 2020).

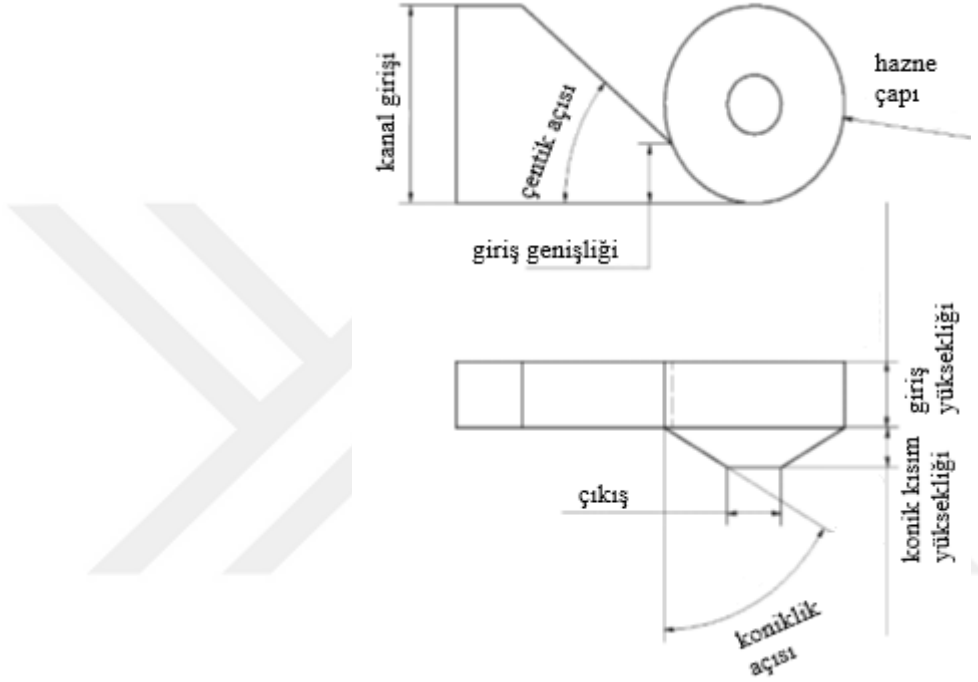
Çizelge 4.1. Denemelerde Kullanılan Dijital Takometrenin Duyarlık ve Doğruluk Tablosu

| RPM                 |          |                  |
|---------------------|----------|------------------|
| Ölçüm Aralığı       | Duyarlık | Doğruluk         |
| 10 - 9.999,9 rpm    | 0,1 rpm  | $\pm$ (% 0,04+2) |
| 10.000 - 99.999 rpm | 1 rpm    |                  |

#### 4.1.2. Girdap Türbininde Geometrik Parametreler

##### 4.1.2.1. Girdap Türbininde Hazne Kısına Ait Geometrik Parametreler

Girdap türbininde geometrik parametreler Şekil 4.6.' da gösterildiği gibidir (Christopher ve Adanta, 2020).



Şekil 4.6. Girdap Türbininde Hazne Geometrik Parametreleri

Çizelge 4.2. Deneme Düzeneği ve Prototip Hazne Geometrik Parametreleri

| Geometrik Parametre          | Deneme Düzeneği | Prototip hazne |
|------------------------------|-----------------|----------------|
| Hazne Çapı (D)               | 180 mm          | 600 mm         |
| Kanal Uzunluğu (L)           | 375 mm          | 1000 mm        |
| Kanal Genişliği (W)          | 115 mm          | 300 mm         |
| Giriş Genişliği              | 16 mm           | 150 mm         |
| Çentik Açısı ( $\alpha$ )    | 20°             | 11°            |
| Kanal Giriş Yüksekliği (H)   | 160 mm          | 300 mm         |
| Konik Kısım Yüksekliği       | 100 mm          | 400 mm         |
| Koniklik Açısı ( $\beta$ )   | 53°             | 58°            |
| Çıkış Çapı (d)               | 30 mm           | 110 mm         |
| Çıkış Parçası Yüksekliği (h) | 30 mm           | 30 mm          |

Deneme düzeneği ve prototipe ait hazne geometrik parametreleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

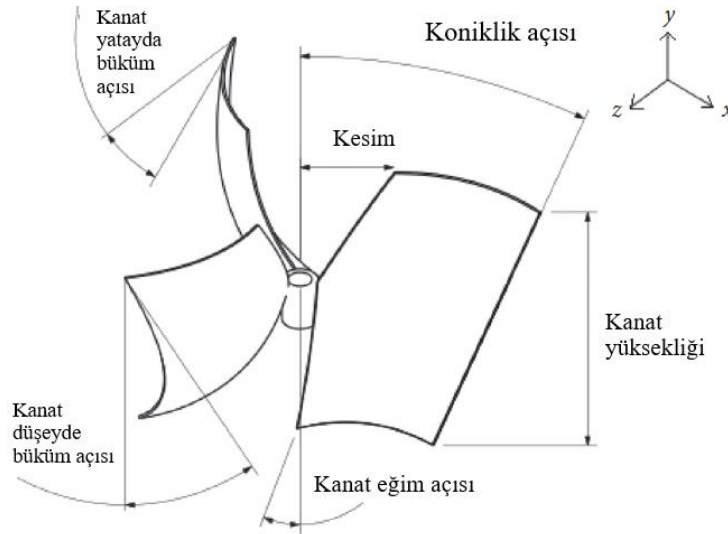
Hazne tasarımı koni şekilli olarak yapılmıştır.

Dhakal vd. koni şekilli haznenin silindir şekilli hazneden daha verimli olduğunu bulmuştur (Dhakal vd., 2015).

Tasarımlar,  $d/D$  oranı literatürde belirtildiği gibi %14-18 arasında olacak şekilde yapılmıştır.

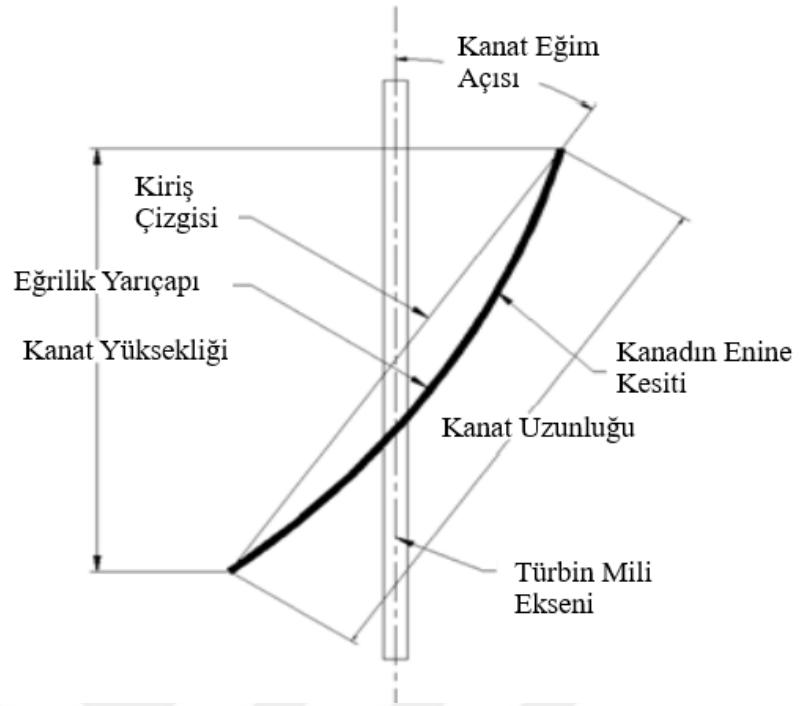
Sreerag vd., girdap haznesinin çıkış deliği çapının hazne üst çapına oranı %14-%18 arasında olduğunda en yüksek verimin elde edildiğini göstermiştir (Sreerag vd, 2016).

#### 4.1.2.2. Girdap Türbininde Pervane Kısım Geometrik Parametreleri



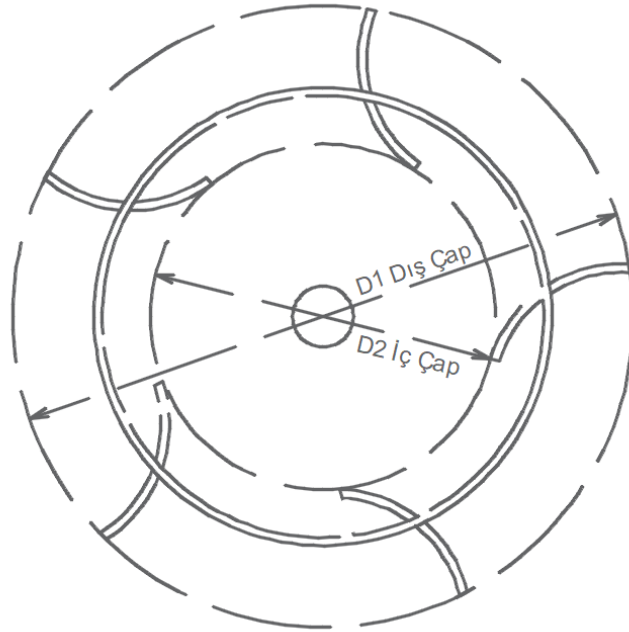
Şekil 4.7. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 1

Pervane kanatlarına ait geometrik parametreler Şekil 4.7.'de gösterilmiştir (Bajracharya vd., 2020).



Şekil 4.8. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 2

Pervane kanatlarına ait diğer geometrik parametreler ise Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir (Sinaga, Tanti, Admiral ve Yessy, 2021).



Şekil 4.9. Pervane Kanatlarındaki Geometrik Parametreler 3

#### 4.1.3. Deneme Düzeneği İmalatı

Deneme düzeneği imalatına ait bazı aşamalar Şekil.4.10.ve Şekil.4.11.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Deneme Düzeneği İmalat Resmi 1



Şekil 4.11. Deneme Düzeneği İmalat Resmi 2

#### 4.1.4. Denemelerde Kullanılan Türbin Modelleri

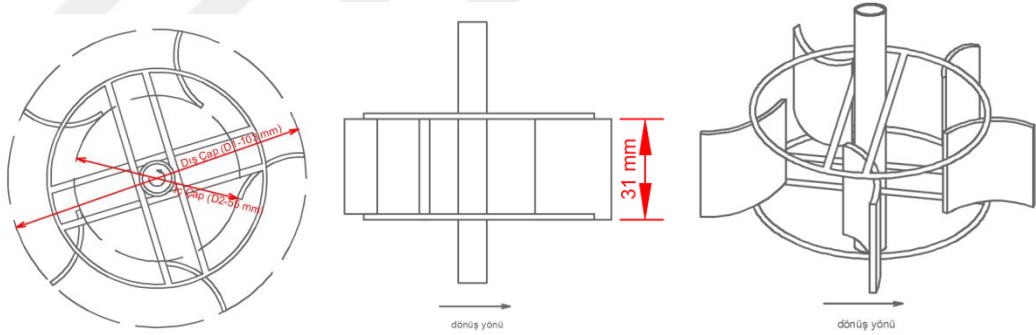
Denemelerde kullanılan tüm türbin modellerinin kanatları PVC malzemeden yapılmıştır.

##### 4.4.4.1. Beş Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 1

1 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Bir Nolu Türbin Modeli



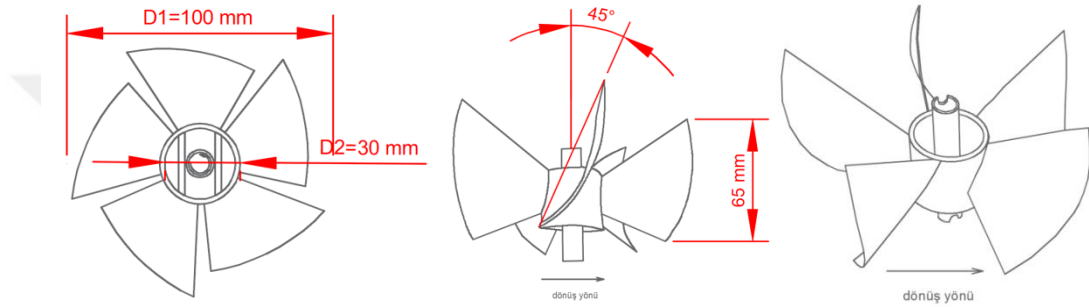
Şekil 4.13. Bir Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

##### 4.4.4.2. Beş Kanatlı Düşeyde 45° Eğim Açılı Bükümlü Türbin Modeli 2

2 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14.İki Nolu Türbin Modeli



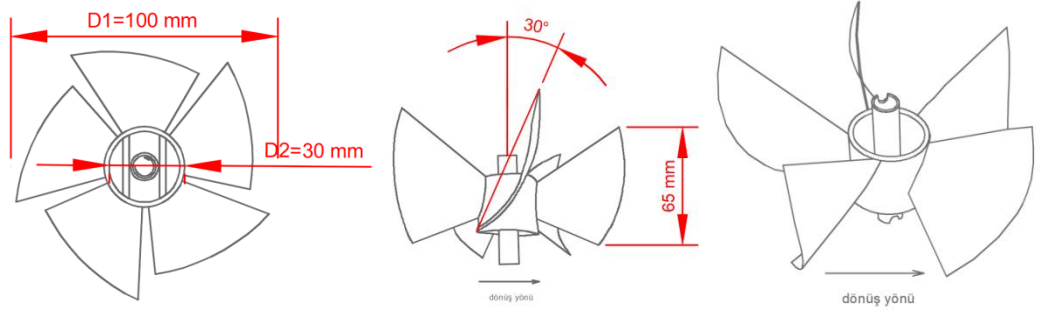
Şekil 4.15. İki Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü (5 Kanatlı, Kanat Eğim Açısı 45°)

#### 4.4.4.3. Kanatlı Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Modeli 3

3 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Üç Nolu Türbin Modeli



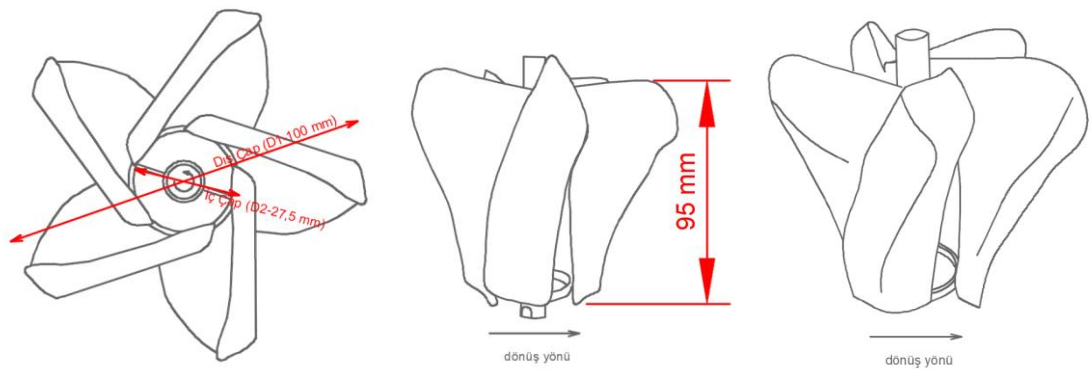
Şekil 4.17. Üç Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü (5 Kanatlı, Kanat Eğim Açısı 30°)

#### 4.4.4.4. Beş Kanatlı Yatayda ve Düşeyde Bükümlü Türbin Modeli 4

4 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Dört Nolu Türbin Modeli



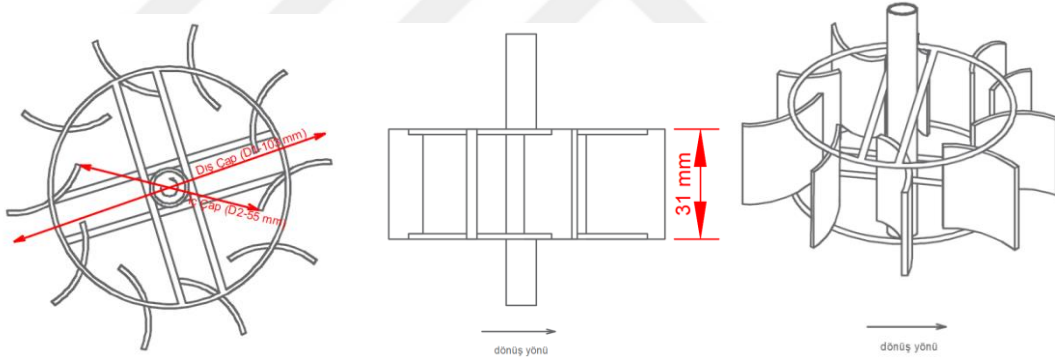
Şekil 4.19. Dört Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

#### 4.4.4.5. On Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5

5 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



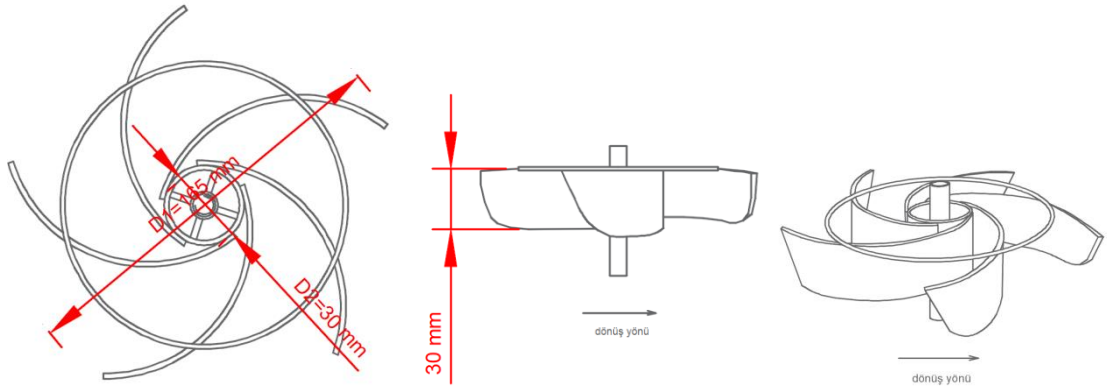
Şekil 4.20. Beş Nolu Türbin Modeli



Şekil 4.21. Beş Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

#### 4.4.4.6. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 6

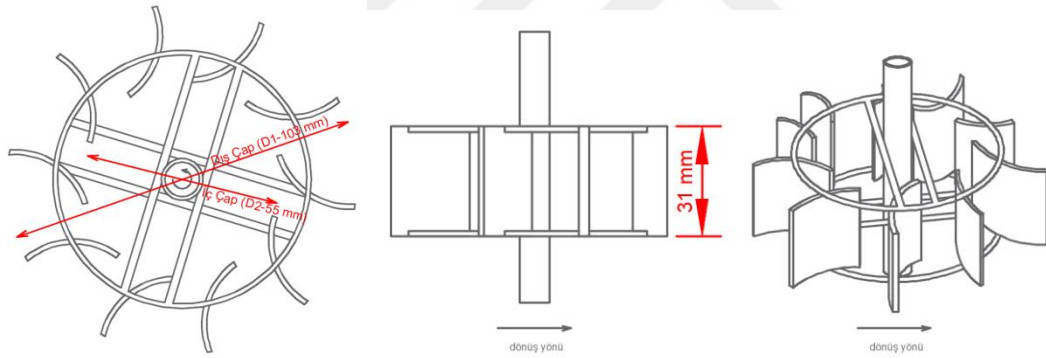
6 Nolu türbin modeline ait teknik resimler Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Altı Nolu Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

#### 4.4.4.7. On Kıs Kanatlı Yatayda Bükümlü Sisteme Ters Bağlı Türbin Modeli 5

5 Nolu türbin modelinin sisteme ters bağlantı durumuna ait teknik resimler Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



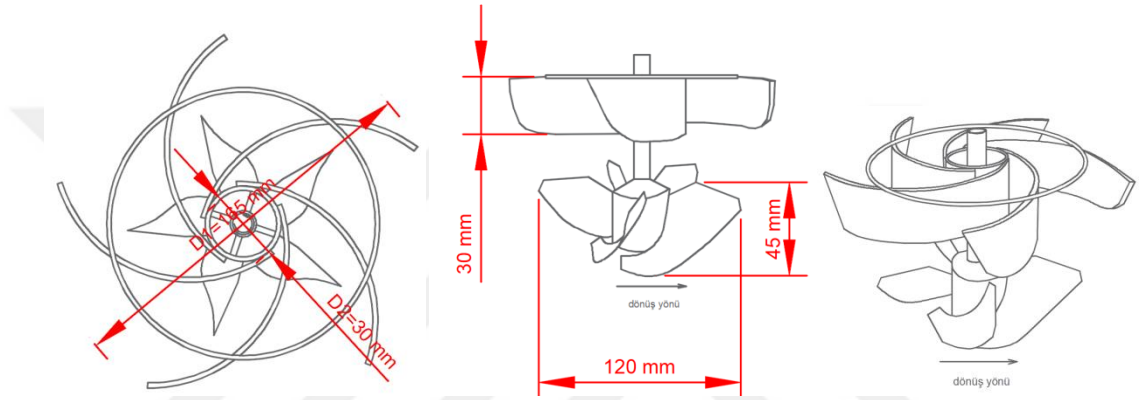
Şekil 4.23. Beş Nolu Türbinin Ters Bağlı Olduğunda Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

#### 4.4.4.8. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbinin Alt Kısma Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Parçası İlave Edilerek Elde Edilen Türbin Modeli 7

7 Nolu türbin modeline ait fotoğraf ve teknik resimler sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Yedi Nolu Türbin Modeli

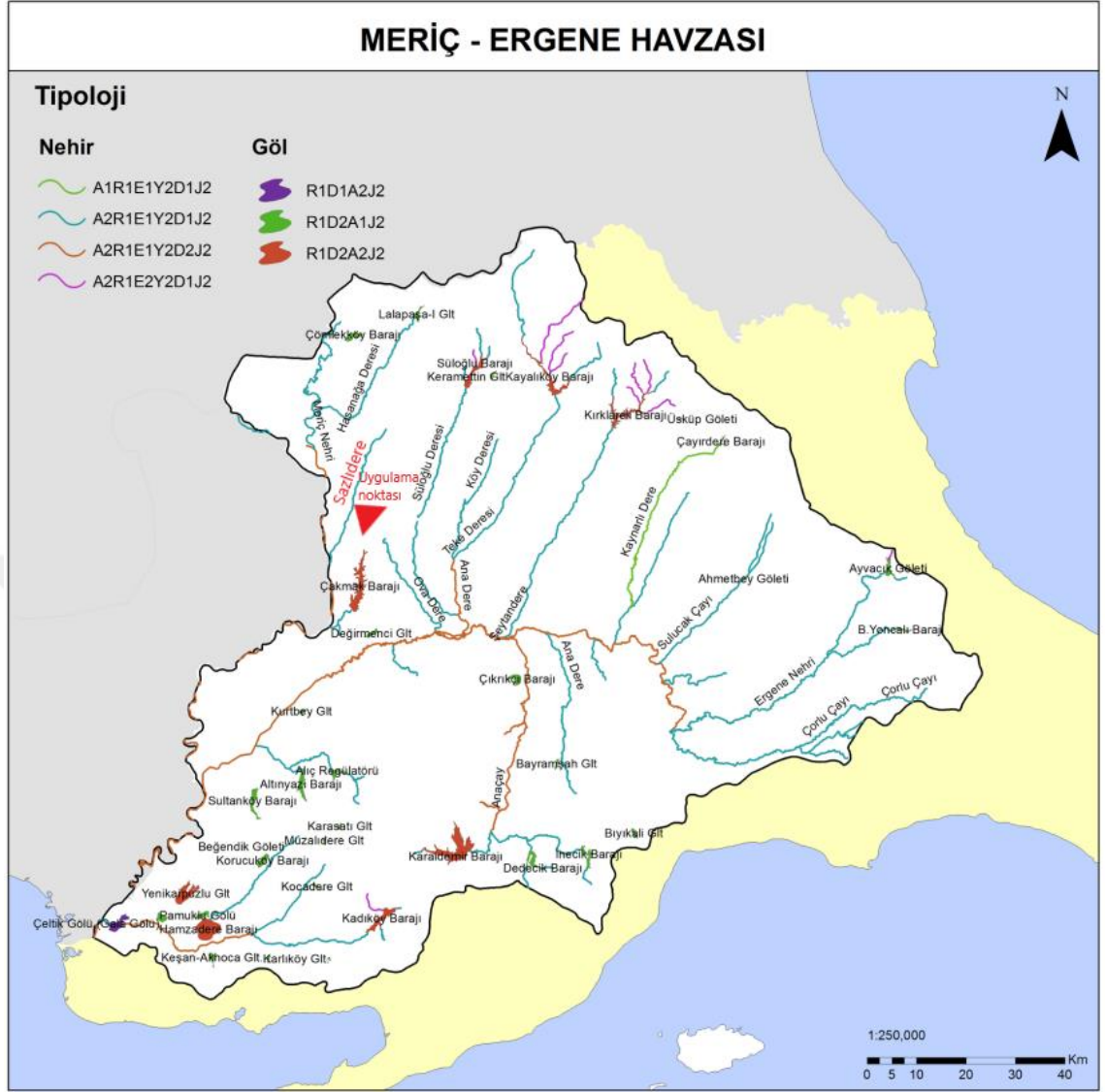


Şekil 4.25. Yedi Nolu Türbinin (6 Nolu Türbine İlave Alt Parçası Eklenmiş Halde) Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü

#### 4.1.5. Saha Denemelerinin Yapıldığı Prototip

##### 4.1.5.1. Denemelerin Yapıldığı Akarsu

Tasarımı yapılan piko hidroelektrik türbin-generatör prototipinin saha uygulama yeri olarak Edirne ili akarsularından birisi olan Sazlıdere seçilmiştir. Prototipin saha denemesi Edirne İli'nde  $41^{\circ}36'20''$  kuzey,  $26^{\circ}40'23''$  doğu koordinatlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.26.'da uygulama noktası krokisi(Akbulut-DSİ, 2022) ve Şekil 4.27.'de uygulama noktası uydu görüntüsü görülmektedir (webgis.edirne.bel.tr/keos, 2023).



Şekil 4.26. Meriç-Ergene Havzasında Edirne İli Sınırları İçinde Kalan Sazlıdere Üzerindeki Uygulama Noktası



Şekil 4.27. Uydu Görüntüsü Üzerinde Uygulama Noktası

Çizelge 4.3. Edirne İli'nin Akarsuları ve Ortalama Debileri

| Akarsu İsmi             | Toplam Uzunluğu (km) | İl Sınırları İçindeki Uzunluğu (km) | Debisi (m <sup>3</sup> /s) | Kolu Olduğu Akarsu   | Kullanım Amacı         |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|
| Meriç Nehri             | 492,0                | 187                                 | 140,9                      | Meriç Nehri          | Sınır aşan Su          |
| Tunca Nehri             | 280,0                | 40,0                                | 13,10                      | Meriç Nehri          | Sınır aşan Su          |
| Ergene Nehri            | 220,0                | 78,0                                | 29,56                      | Meriç Nehri          | Doğal Akarsu           |
| Ana Dere (Keşan)        | 58,2                 | 46,7                                | -                          | Gala Gölü            | Kadıköy Barajı         |
| Ova (Hasan) Dere        | 71,3                 | 71,3                                | -                          | Ergene Nehri         | Süloğlu Barajı         |
| Hamza Dere              | 29,0                 | 29,0                                | 0,262                      | Hamzadere Baraj Gölü | Hamzadere Barajı       |
| <b>Sazlıdere</b>        | <b>57,0</b>          | <b>57,0</b>                         | <b>3,740</b>               | <b>Meriç</b>         | <b>Doğal Akarsu</b>    |
| Çömlekdere              | 29,0                 | 29,0                                | 0,240                      | Tunca Nehri          | Doğal Akarsu           |
| Hasanağa (Pravadi) Dere | 27,0                 | 27,0                                | 0,355                      | Tunca Nehri          | Doğal Akarsu           |
| Çakmak Dere             | 25,0                 | 25,0                                | 0,170                      | Meriç                | Çakmak Barajı          |
| Lalapaşa (Koca) Dere    | 30,8                 | 30,8                                | 0,679                      | Tunca Nehri          | Lalapaşa 1-2 Göletleri |

Edirne İli'ne ait akarsuların ortalama debileri Çizelge 4.3.'te verilmiştir (Kuzucu, 2021).

#### 4.1.5.2. Denemelerin Yapıldığı Akarsudaki Debi ve Düşünün Ölçülmesi

Akarsu üzerinde suyun depolanması için yapılan set ile prototip giriş ağzı arasında 2000x300x250 mm ölçülerinde ve 2500x150x150 mm ölçülerinde ahşap malzemeden dikdörtgen kesitli bağlantı kanalları imal edilmiştir. 2500x150x150 mm boyutlarındaki bağlantı kanalı içerisindeki suyun akış hızı cüce muline cihazı ile ölçülerek ve gerekli hesaplamalar yapılarak suyun debisi bulunmuştur.

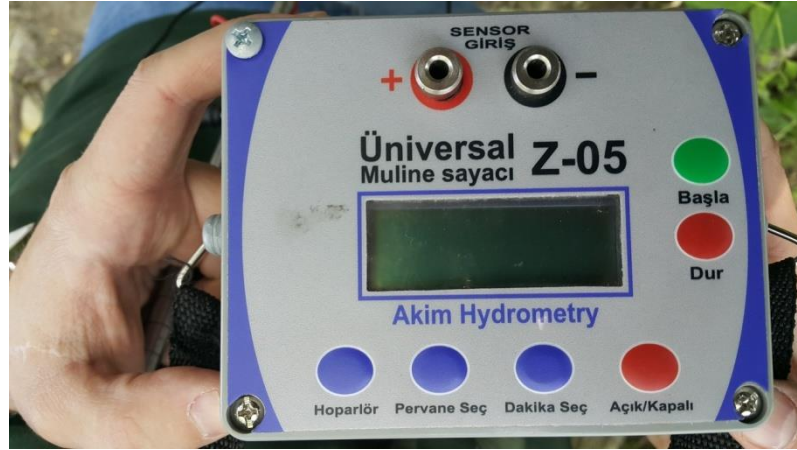
MCM-02 model cüce mulineler su hızının derin olmayan sularda ölçümü için kullanılır. Kullanıldığı bazı yerler; Akarsular, küçük sulama kanalları, oluklar laboratuvar v.b. yerlerdir. Pratik kullanımı, hafif oluşu, hassasiyeti, güvenilirliği ve kalitesi derin olmayan sularda su hızının ölçümünde dünya çapında kullanılmasını sağlamıştır. Su hızı ölçümleri yüksek duyarlılıklı iki adet rulmanlı mili ile min. 0.025 m/ sn. ile max. 5 m/sn. su akış hızında “reed kontak” vasıtasıyla hassas bir şekilde yapılabilmektedir. Minimum 4 cm’lik su derinliğine kadar ölçüm yapılabilmektedir (akim.com.tr,2023).

Muline cihazına ait parçalar Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da ve teknik özellikleri Şekil 4.30.’da görülmektedir (akim.com.tr,2023).

Toplam Düşü (H), hazne girişi ve çıkışındaki alt ve üst su seviyesi arasındaki kot farkı cetvel ile ölçülerek bulunmuştur.



Şekil 4.28. Muline Cihazı Türbin Uçları



Şekil 4.29. Cüce Muline Cihazı Sayaç Kısmı

|                   |                                        |
|-------------------|----------------------------------------|
| Çalışma Sıcaklığı | -20°C ile +80°C                        |
| Hassasiyet        | Zaman : 0.01sn<br>Puls Sayısı : 1 puls |
| Max. Puls Sayısı  | 40puls / sn                            |
| Zaman Ayarı       | 5 , 10 , 15 , .... 200 sn              |
| LCD Ekran         | 128x64 Grafik Dot Matrix               |
| Tuş Takımı        | 6 Tuş Keypad                           |
| Batarya           | 3.7V Lithium İon                       |
| Arabirim          | USB ( pili şarj etmek için kullanılır) |
| Koruma            | IP65                                   |

Şekil 4.30. Cüce Muline Cihazı Teknik Özellikleri

#### 4.1.5.3. Saha Denemelerinin Yapıldığı Prototip Tasarımı

##### 4.1.5.3.1. Hazne ve Türbin Kısmı

Saha denemelerinin yapıldığı konum Kuzey Yarımküre’de olduğundan prototipin hazne- kanal giriş geometrik tasarımı, 2. Bölümde açıklanan Coriolis kuvvetlerinin etkileri göz önünde bulundurularak, oluşacak girdap saat yönünün tersi istikamette olacak şekilde yapılmıştır.

Prototip türbin imalatında, deneme düzeneğinde ölçümleri yapılan türbinlerden en yüksek verime sahip olantürbin modeli esas alınmıştır. İmalata ait resimler Şekil 4.31., Şekil 4.32. ve Şekil 4.33.'de görülmektedir.



Şekil 4.31. Prototip İmalat Resmi-1



Şekil 4.32. Prototip İmalat Resmi-2



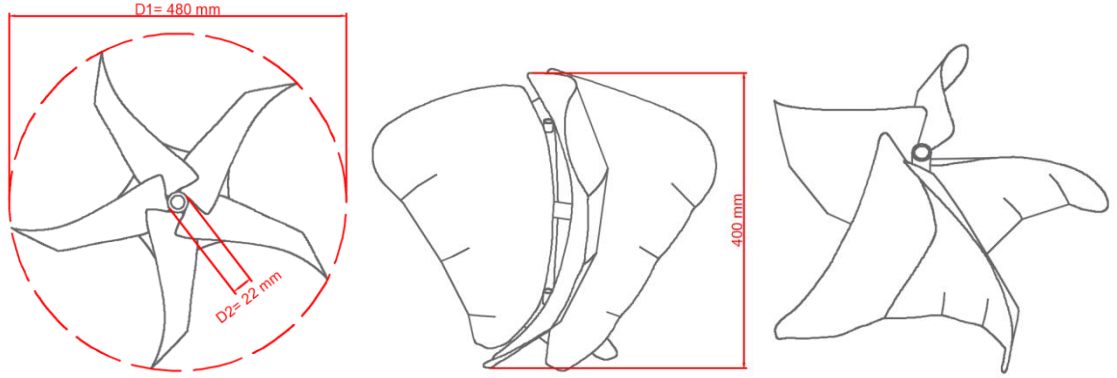
Şekil 4.33. Prototip İmalat Resmi-3



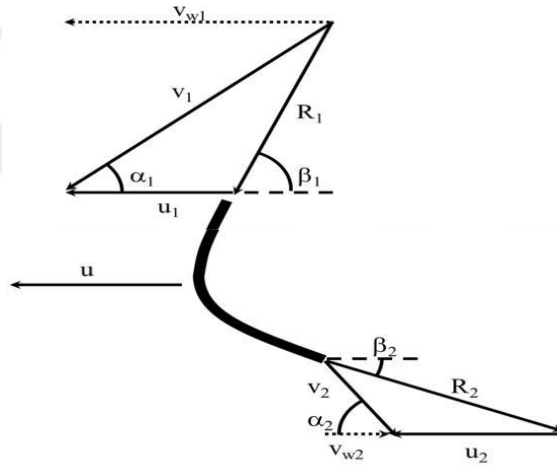
Şekil 4.34. 1 mm Sac Malzemedan İmal Edilen Prototipin Türbinin Pervane Kısmı (Üstten Görünüm)

Şekil 4.34'te prototip türbinin imalat resmi, Şekil 4.35'te ise prototip türbininin çizim ve ölçüleri görülmektedir.

Sritram ve Suntivarakorn, en verimli optimum girdap türbin kanatçık sayısının 5 olduğunu söylemişlerdir (Sritram ve Suntivarakorn, 2019). Prototip türbin kanatçık sayısı 5 olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.35. Prototip Türbinin Üstten, Yandan ve İzometrik Görünüşü



Şekil 4.36. Tipik Bir Etki Türbini Kanatçığındaki Giriş ve Çıkış Hız Üçgenleri

Prototip türbin tasarımında maksimum verim elde etmek için Şekil 4.36.'daki kanat giriş ve çıkış açıları gözetilmiştir (Dhakal vd., 2017). Burada  $u$  çevresel hız,  $u_1$ ,  $u_2$  giriş ve çıkıştaki çevresel hızlar,  $R_1$  ve  $R_2$  giriş ve çıkıştaki bağıl hızlar,  $v_1$  ve  $v_2$  giriş ve çıkıştaki mutlak hızlar,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  bağıl hızlar ile çevresel hızlar arasındaki açılar olup kanat açısı olarak adlandırılır.  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$ , Mutlak hızlar ile çevresel hızlar arasındaki açılardır ve akım açıları olarak adlandırılır.  $v_{w1}$  ve  $v_{w2}$  ise mutlak hızların teğetsel bileşenleridir.



Şekil 4.37. Prototip

Şekil 4.37.'de Prototipin, Türbini ve Hazne-Generatörü görülmektedir.



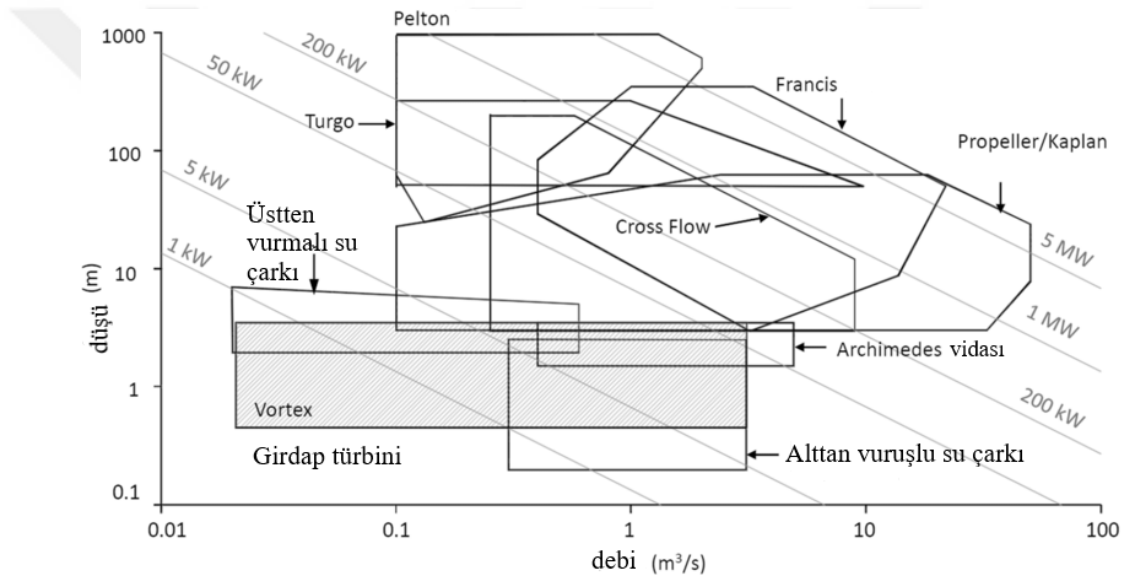
Şekil 4.38. Prototip Tork Ölçüm Sistemi

Şekil 4.38’de prototipe ait türbin milindeki mekanik gücün hesaplanabilmesi için gereken torkun ölçülebilmesini sağlayan düzenek görülmektedir.

#### 4.1.5.3.2. Türbinlerde Debi-Düşü Grafiği

Debi ve düşüye göre türbin tasarımı yapılırken Şekil 4.39.’daki grafikten yararlanılmıştır. En alçak düşü ve en az debi değerlerinde çalışma noktası grafikte tespit edilmiştir.

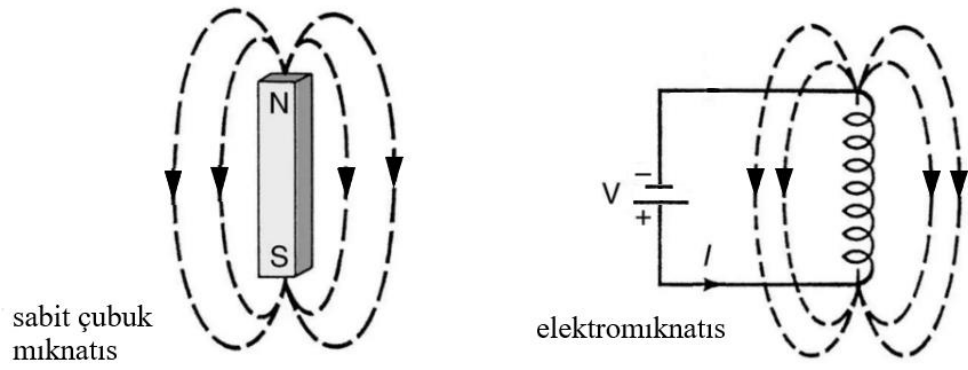
Timilsina vd., girdap türbininin 0,7-2 m düşü aralığında güç elde edebildiğini ve su çarkları ve Arşimet vida türbininden daha geniş bir sahada çalışabildiğini Şekil 4.39’daki grafik üzerinde göstermiştir (Timilsina vd., 2014).



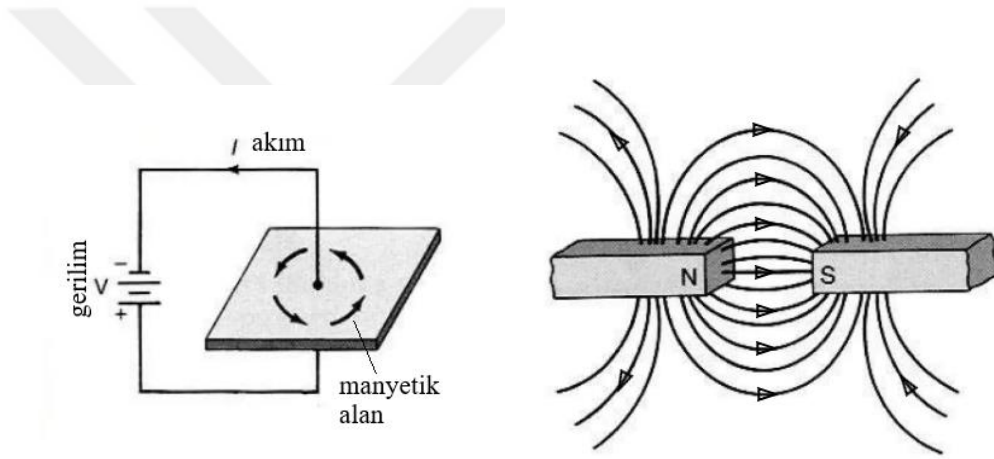
Şekil 4.39. Genişletilmiş Debi-Düşü Grafiğinde Girdap Türbininin Yeri

#### 4.1.5.3.3. Elektrik Üreteci (Generatör)

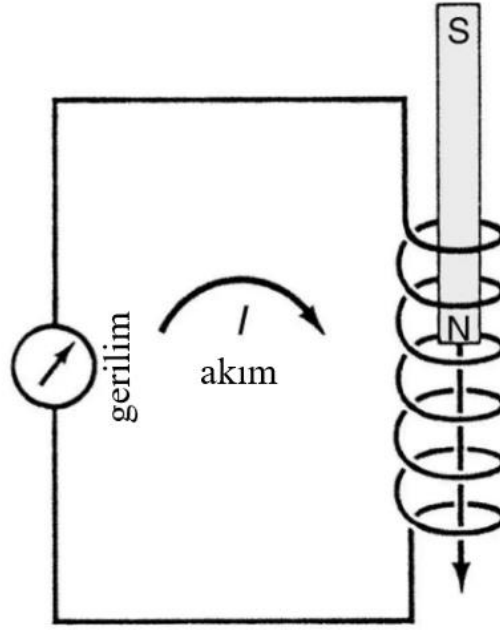
Generatörde elektriğin üretilmesi elektrik yasalarına göre gerçekleşmektedir. Bu yasalar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.40. Sabit Çubuk Şeklinde Bir Mıknatısın ve Bir Elektromıknatısın Manyetik Alan Çizgileri



Şekil 4.41. İçinden Akım Geçen Telin Çevresinde ve Karşılıklı Duran Farklı Kutupların Arasında Oluşan Manyetik Alan



Şekil 4.42. Bir Mıknatısın İletken Bir Sargı İçindeki Hareketiyle Oluşan Gerilim ve Akım

Doğada demir, kobalt, nikel gibi maddeleri kendine doğru çeken, bakır ve alüminyum gibi maddeleri ve metal olmayan maddeleri etkilemeyen malzeme ya da nesneler mıknatıs olarak adlandırılır. Daimi mıknatıslar, mıknatıs taşı gibi doğada kendiliğinden mıknatıslanmış halde bulunan maddeler olabilir ya da Alnico, NdFeB, Sm-Co, Sm-Fe mıknatıslar gibi suni olarak hazırlanmış alaşımlar da olabilir. Mıknatıslık etkisi, bu malzemelerde iki karşılıklı uçta toplanır. Bu iki uca mıknatısın kuzey (N) ve güney (S) kutbu ismi verilir. İki mıknatısın aynı adlı kutupları birbirini iterken, zıt kutupları birbirini çeker. Mıknatıslar bulundukları uzayda manyetik alan ve manyetik akı oluştururlar. Sabit bir mıknatısın mıknatıslık özelliği gibi içinden akım geçen bir bobin de mıknatıslık özelliği gösterir. Şekil 4.40.'ta sabit bir mıknatısın ve bir elektromıknatısın çevresinde oluşturduğu manyetik alan çizgileri, Şekil 4.41.'de ise içinden akım geçen telin çevresinde ve karşılıklı duran farklı kutupların arasında oluşan manyetik alan çizgileri görülmektedir (slideshare.net,2023).Manyetik alan çizgilerinin yönü N kutbundan S kutbuna doğru olup kesintisiz olarak devam eder. Manyetik alan çizgileri ne kadar sık ise manyetik alan şiddeti de o kadar büyüktür. Dikkat edilirse kutupların yakınlığında çizgiler sık, kutuplardan uzaklaştığında ise çizgiler seyrekleşmektedir. Mıknatısın bulunduğu boş uzayda meydana getirdiği manyetik alan

şiddeti (H) olmak üzere başka bir ortamda bulunduğunda oluşturacağı manyetik akı yoğunluğu (B) arasında;

$$B = \mu \cdot H \quad (\text{Denklem 4.3.})$$

İlişkisi vardır. Buradaki  $\mu$  ortamın manyetik geçirgenliğidir. Aynı zamanda birim yüzeyden (A) geçen manyetik akı ( $\Phi$ ) ile manyetik akı yoğunluğu (B) arasında da

$$B = \Phi / A \quad (\text{Denklem 4.4.})$$

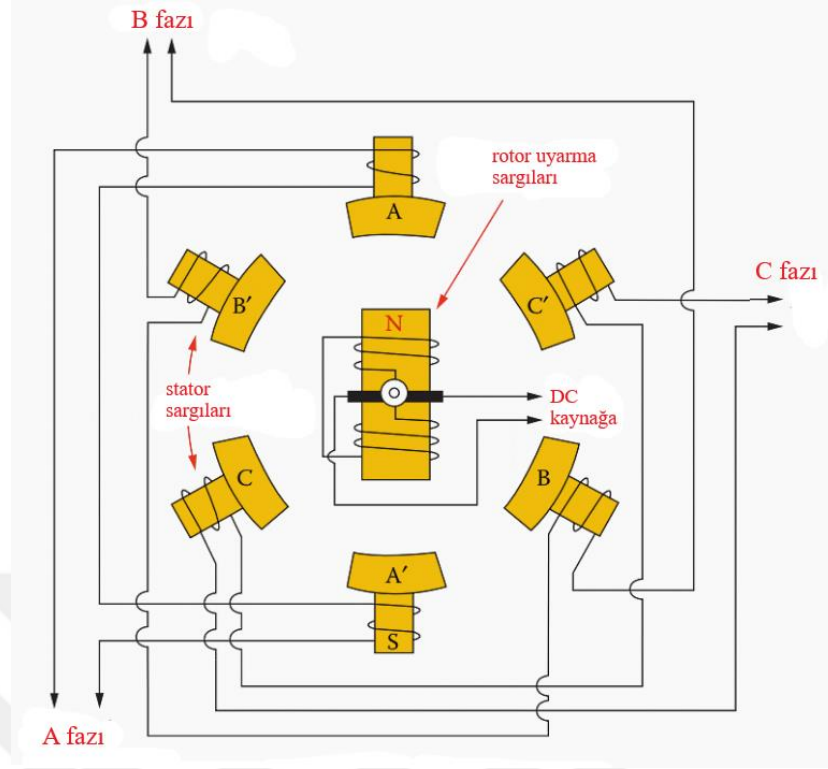
İlişkisi vardır.

Şekil 4.42.'de görüldüğü gibi çubuk şeklinde sabit bir mıknatıs iletken bir telin sarılmasıyla oluşturulan bir bobinin içerisine doğru sokulduğunda bobin içindeki manyetik akı artar ve bobinin uçları arasında bir gerilim oluştuğu (indüksiyon elektro motor kuvvet, emk) görülür. Çubuk mıknatıs bobin içinden geri çekildiğinde ise manyetik akı azalır ve öncekiyle ters yönde bir gerilim meydana gelir. Mıknatıs bobin içine ne kadar hızlı girer ve çıkarsa indüksiyon emk da o kadar büyük olur (slideshare.net,2023).

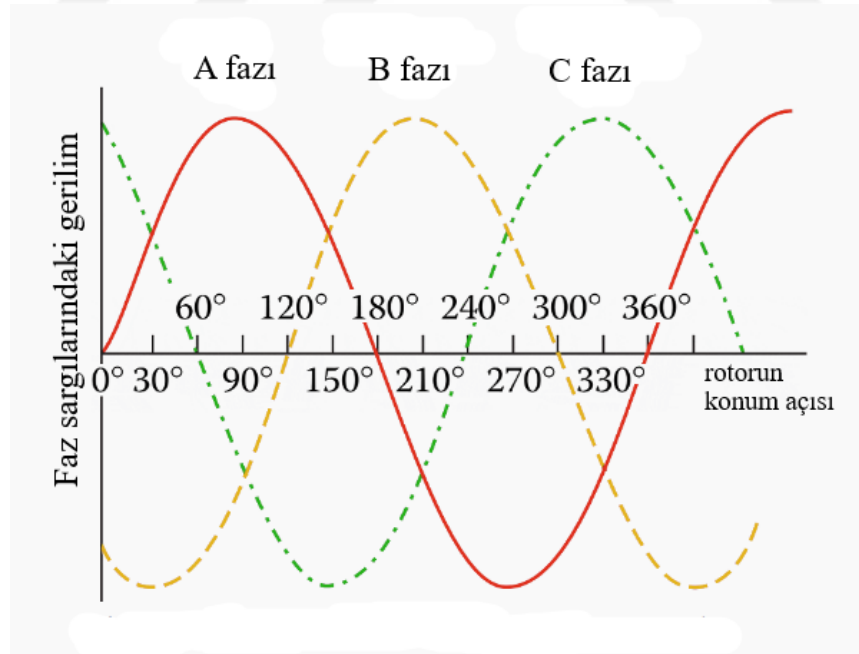
Bu olay “değişken bir manyetik alan içinde bulunan iletken bir tel halkada elektrik akımı indüklenir” diyen Faraday kanunu (Denklem 4.5.) ile açıklanır. Bu kanuna göre elde edilecek emk ( $\epsilon$ ) ’nın büyüklüğü manyetik akının zamana göre türevi ve sarım sayısı (N) ile doğru orantılıdır.

$$\epsilon = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{Denklem 4.5.})$$

Lenz Yasası indüksiyon emk'sinin yönünün iletkenin çevrelediği alandan geçen manyetik akı değişimine karşı koyacak şekilde manyetik akı oluşturan akımın yönünde olduğunu belirtir. Faraday yasasındaki “–” işaretinin anlamı budur.



Şekil 4.43. 3 fazlı bir AC generatörün basitleştirilmiş sargı düzeni



Şekil 4.44. 3 fazlı AC generatörün stator sargıları çıkış gerilim dalga şekli

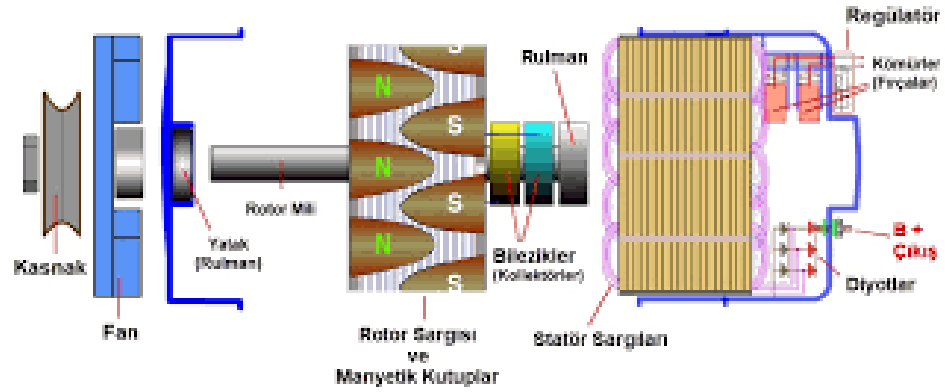
GWVPP prototip tasarımında, türbinden elde edilen mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için elektrik üretici (generatör) olarak araç alternatörü kullanılmıştır.

Araç alternatörü(şarj dinamosu) araçlarda motorun oluşturduğu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren 3 fazlı bir AC generatördür. Motor devrine bağlı olarak elektrik akımı üreterek aküyü şarj eder. Rotordaki (dönen kısım) sargılara aküden (DC kaynak) fırça ve kömürler aracılığıyla uyarım akımı verilerek bir elektromıknatıs (Şekil 4.40.) elde edilir. Regülâtör vasıtasıyla uyarım akımı alçaltılıp yükseltilerek statordan (duran kısım) elde edilen gerilim kontrol edilerek akü yaklaşık sabit bir gerilim üzerinden şarj edilir. Stator sargıları rotor uyarma sargıları tarafından üretilen değişken manyetik alana maruz kalırlar ve bunun sonucunda alternatif akım (AC) oluştururlar. Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te AC generatör sargı düzeniyle elde edilen gerilim dalga şekilleri görülmektedir (electrical-engineering-portal.com, 2023). Oluşan bu AC akımı elektrik akımını tek yönde geçiren diğer yönde ise geçirmeyen elektronik devre elemanları olan diyotlardan kurulmuş bir doğrultucu (rectifier) sayesinde doğru akıma (DC) çevrilir. Çıkış ucu (B+) akümülatörün + kutbuna bağlanır. (-) çıkış aracın şasesine yani akümülatörün (-) kutbuna bağlanır. Böylelikle akümülatörün şarj devresi tamamlanmış olur

Rotorunda sabit mıknatıs içeren alternatörler ayrıca bir uyarım akımına gereksinim duymadıklarından daha yüksek verime sahiptirler ancak sabit mıknatısların manyetik alanı da sabit olduğundan statordan elde edilen gerilim devir sayısı arttıkça artar.

Şekil 4.45.'te bir araç alternatörünün şeması görülmektedir (elektrikrehberiniz.com, 2023).

Stator, rotor, diyotlar ve gerilim regülâtörü ana bileşenlerdir. Rotora akımın verilmesini sağlayan fırçalar (kömürler), rotorun dönebilmesi için rulmanlı yataklar kayıştan hareketini alan kasnak, alternatördeki sargıları soğutmaya yarayan pervane (fan) vardır.



Şekil 4.45. Bir Araç Alternatöründe Elektrik Üretiminin BlokŞeması

#### 4.1.5.3.4. Akümülatör

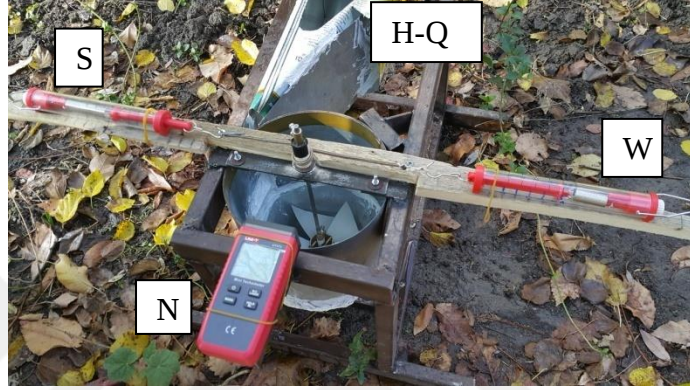
Akümatör, alternatörün verdiği akımın araç üzerinde elektrikle çalışan alıcı parçalar tarafından oluşturulan ani güç taleplerine yetişemediği anlarda ihtiyaç duyulan ilave akımı verir. Alternatörün oluşturduğu akım alıcının talep ettiği akımdan fazla olduğu anlarda ise arta kalan akım ile akümülatör şarj edilir. Şekil 4.46.'da bir akümülatör görülmektedir (hepsiburada.com,2023).



Şekil 4.46. 6 V, 4.5 Ah lik Bir Akümülatör

## 4.2. METOD

### 4.2.1. Deneme Düzenğinde Türbin Modelleriyle Denemelerin Yapılması



Şekil 4.47. Deneme Düzenği İle Türbinin Test Edilmesi

Deneme düzenğinde bir türbin modelinin test edilme aşamasını gösteren resim Şekil 4.47.'de gösterilmiştir. Giriş kanalından hazneye doğru teğetsel olarak giren su, mil üzerine bağlı olan türbini döndürür. Prony ip freni dinamometresi ile mile bağlı durumda bulunan kasnaktaki tork ve takometre vasıtasıyla da kasnağın devri ölçülür.

#### 4.2.1.1. Sistemin Tork Hesabı

Şekil 4.46'da görülen S (kuvvet), W (kuvvet), N (devir sayısı), H (düşü) ve Q (debi) değerleri ölçülerek aşağıdaki denklemlerde yerine konmuştur.



Şekil 4.48. Takometre Lazer Noktasının Deneme Düzeneği Kasnağı Üzerinden Devir Bilgisini Alması

Şekil 4.48.'de takometre lazer noktasının deneme düzeneği kasnağı üzerinden devir bilgisini alması görülmektedir.

Tork hesabı yapılırken Denklem 4.8'den yararlanılmıştır (Vidian vd., 2020).

$$F_t + S = W \quad (\text{Denklem 4.6.})$$

$$F_t = F_{st} = W - S \quad (\text{Denklem 4.7.})$$

$$T = F_t \cdot r_t = (W - S) \cdot r_t \quad (\text{Denklem 4.8.})$$

$$r_t = r_d + r_r \quad (\text{Denklem 4.9.})$$

Burada:

$W$ = Yük ağırlığı (N), kasnak duruyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

$S$ = Yaylı kantar (N), kasnak dönüyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

$F_t$ = Bileşke kuvvet (N),

$F_{st}$ = Sürtünme kuvveti (N),

$r_t$ = toplam yarıçap, 0,0105 m (10,5 mm),

$r_d$ = kasnak yarıçapı, 0,0085 m,

$r_t$ = ip yarıçapı, 0,002 m olarak alınmıştır.

#### 4.2.1.2. Sistemin Frenleme Gücü Hesabı

P, Sürtünme kuvvetleri tarafından harcanan frenleme gücü bulunurken Denklem 4.10. dan yararlanılmıştır (Vidian vd., 2020).

$$P = 2\pi \cdot N \cdot (W - S) \cdot r_t / 60 \quad (W) \quad (\text{Denklem 4.10.})$$

N= Türbine bağlı kasnağın devir hızı (rpm),

W= Yük ağırlığı (N), kasnak duruyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

S= Yaylı kantar (N), kasnak dönüyorken yaylı kantarın gösterdiği değerdir.

#### 4.2.1.3. Sistemin Verim Hesabı

Sistemin verimi bulunurken Denklem 4.11'den yararlanılmıştır. Bir hidroelektrik sisteminde elde edilen güç genel olarak;

$$P = \eta \rho g Q H \quad (\text{Denklem 4.11.})$$

bağıntısı ile verilir. Burada;

P= türbin milindeki mekanik güç (W)

$\eta$ =türbinin hidrolik verimi

$\rho$ =suyun yoğunluğu (970 kg/m<sup>3</sup>)

g=yer çekimi ivmesi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Q= türbinden geçen suyun debisi (m<sup>3</sup>/s)

H=düşü (m)

Denklem 4.10.'da bulunan P değeri Denklem 4.11.'de yerine konulursa Denklem 4.12. elde edilir.

$$\eta = 2\pi N (W - S) \cdot r_t / (60 \cdot \rho g Q H) \quad (\text{Denklem 4.12.})$$

#### 4.2.2. Deneme Düzenğinde Debi ve Düşünün Ölçülmesi

Düzenekte türbine giren suyun debisi,  $V=10$  lt hacmindeki bir kabın vana ile ayarlanan su ile dolma süresi ölçülerek hesaplanmıştır. Vanadan ayarlanan debinin deneme süresince sabit kaldığı kabul edilmiştir. Kronometre ile 10 lt'lik kabın dolma süresi ( $\Delta t$ ) 3 defa ölçülerek ortalaması alınmış ve kabın hacmi dolma süresine bölünerek debi Denklem 4.13.'ten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$Q$ = Debi (lt/s)

$V$ = Hacim (lt)

$\Delta t$ = Zaman (s) olmak üzere;

$$Q = V/\Delta t$$

(Denklem 4.13.)

Toplam düşü ( $H$ ) ise, üst ve alt su seviyeleri arasındaki farkın cetvel (cm) ile doğrudan ölçülmesi ile bulunmuştur.

#### 4.2.3. Prototip Saha Denemelerinin Yapılması

Şekil 4.49'da Prototipin denemelerin yapılacağı akarsuya monte edilmiş hali görülmektedir. Prototip ve ona bağlı 2000x300x250 mm ölçülerindeki su giriş kanalı monte edilirken yere paralel olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 4.50'de ise 2000x300x250 mm ve 2500x150x150 mm'lik bağlantı kanallarından suyun akışı görülmektedir.



Şekil 4.49. Prototipin Akarsuya Monte Edilmiş Hali



Şekil 4.50. Su Giriş Kanalları

#### 4.2.3.1. Saha Denemelerinin Yapıldığı Akarsudaki Debi ve Düşünün Ölçülmesi

Debisi ölçülecek kanalın çeşitli noktalarındaki su hızı, cüce muline cihazı ile ölçüldükten sonra bu hızların ait oldukları kesit parçalarının alanları çarpılarak Denklem 4.14. ile kanaldan akan suyun debisi hesaplanır. Şekil 4.51.'de kanalda cüce muline cihazının kullanılması ve Çizelge 4.4'te ise hesaplama sonucu görülmektedir. Ölçümlerde genişlik 0.14 m, Eşel seviye 0,12 m alınmış ve 3 adet şakül kullanılmıştır.

$$Q = \sum A_i \cdot v_i = A \cdot V \text{ (m}^3/\text{s)}$$

(Denklem 4.14.)

Çizelge 4.4. Debi Ölçüm Değerleri

| Gerçek su derinliği (m) | Hız alınma derinliği (m) | muline devri (rpm) | A <sub>i</sub> , Kesit Alanı (m <sup>2</sup> ) | V <sub>i</sub> , Hız (m/s) | Debi (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 0,13                    | 0,05                     | 750                | 0,0052                                         | 1,662                      | 0,009                    |
| 0,12                    | 0,05                     | 769                | 0,0048                                         | 1,703                      | 0,008                    |
| 0,11                    | 0,04                     | 739                | 0,0033                                         | 1,638                      | 0,005                    |
|                         |                          |                    | 0,0133                                         | 1,671                      | <b>0,022</b>             |
|                         |                          |                    | top. Kesit alanı                               | ort. hız                   | ort. debi                |



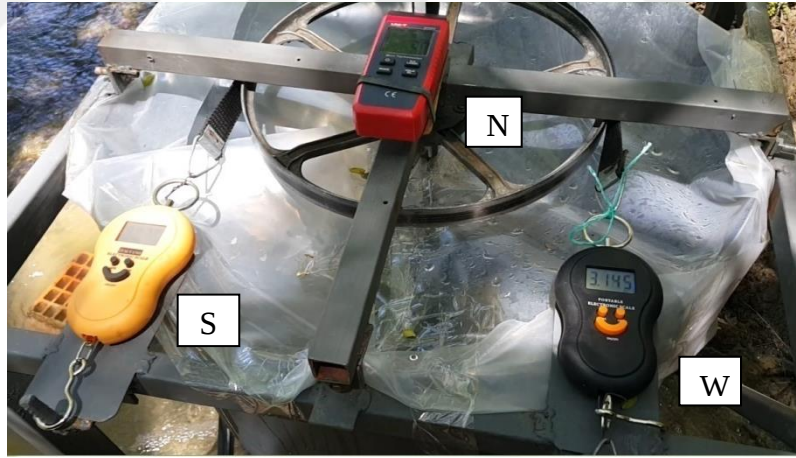
Şekil 4.51. Cüce Muline Cihazı Probu İle Kanaldaki Suyun Hızının Ölçülmesi

Toplam düşü (H) ise, girdap türbini giriş kanalındaki üst seviye ve çıkış deliği alt su seviyeleri arasındaki farkın cetvel (cm) ile doğrudan ölçülmesi ile bulunmuştur.



Şekil 4.52. Girdap Türbini Boşta Dönerken

Şekil 4.52’de türbine her hangi bir yük bağlanmadan boşta çalışma hali görülmektedir.



Şekil 4.53. Saha Denemesinde Prototipin Devir ve Tork Değerlerinin Ölçülmesi

Şekil 4.53’de prototipin milinden elde edilen mekanik gücün hesaplanabilmesi için gereken tork ve devir bilgisi değerlerinin ölçümü görülmektedir. Haznenin ağız kısmı, sıçrayan suyun kayış-kasnağı ve ölçüm cihazlarını ıslatmasını önlemek için polietilen branda ile kapatılmıştır.

Daha önce deneme düzeneğinde denemesi yapılan türbin modellerinde olduğu gibi Tork, Denklem 4.8'den yararlanılarak hesaplanmıştır (Vidian vd., 2020).

$$T = F_t \cdot r_t = (W - S) \cdot r_t \quad (\text{Denklem 4.8.})$$

$$r_t = r_d + r_r \quad (\text{Denklem 4.9.})$$

Burada:

W= Yük ağırlığı (N), kasnak duruyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

S= Yaylı kantar (N), kasnak dönüyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

F<sub>t</sub>= Bileşke kuvvet (N),

F<sub>st</sub>= Sürtünme kuvveti (N),

r<sub>t</sub>= toplam yarıçap, 0,166 m (166 mm),

r<sub>d</sub>= kasnak yarıçapı, 0,165 m,

r<sub>r</sub>= ip yarıçapı, 0,001 m olarak alınmıştır.

sürtünme kuvvetleri tarafından harcanan frenleme gücü (P) bulunurken Denklem 4.10. dan yararlanılmıştır (Vidian vd., 2020).

$$P = 2\pi \cdot N \cdot (W - S) \cdot r_t / 60 \quad (\text{Denklem 4.10.})$$

N= Türbine bağlı kasnağın devir hızı (rpm),

W= Yük ağırlığı (N), kasnak duruyorken yaylı kantarın gösterdiği değer,

S= Yaylı kantar (N), kasnak dönüyorken yaylı kantarın gösterdiği değerdir.

Sistemin verimi bulunurken Denklem 4.11'den yararlanılmıştır. Bir hidroelektrik sisteminde elde edilen güç genel olarak;

$$P = \eta \rho g Q H \quad (\text{Denklem 4.11.})$$

bağıntısı ile verilir. Burada;

P= türbin milindeki mekanik güç (W)

$\eta$ =türbinin hidrolik verimi

$\rho$ =suyun yoğunluğu (970 kg/m<sup>3</sup>)

g=yer çekimi ivmesi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Q= türbinden geçen suyun debisi (m<sup>3</sup>/s)

H=düşü (m)

Denklem 4.10.'da bulunan P değeri Denklem 4.11.'de yerine konulursa Denklem 4.12. elde edilir.

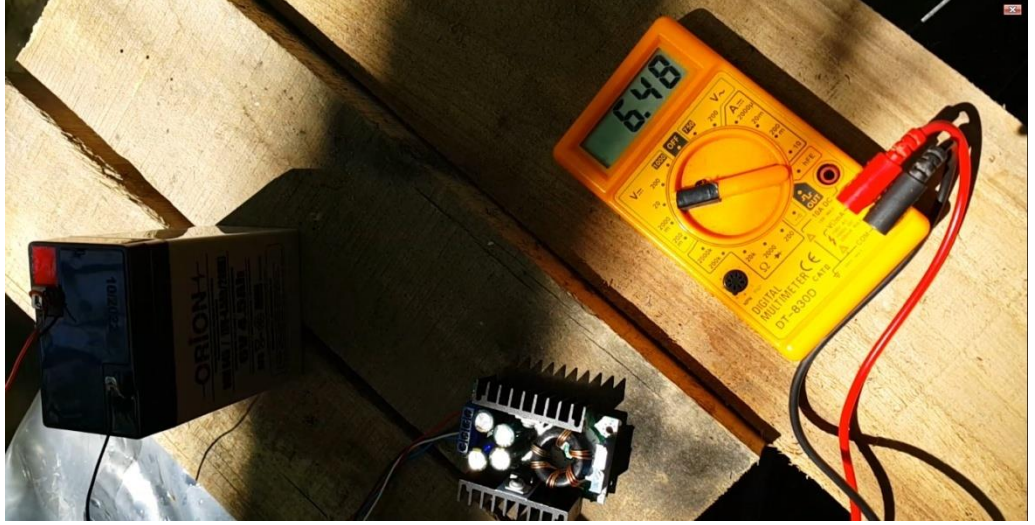
$$\eta = 2\pi N(W-S).r_i / (60.\rho g QH) \quad (\text{Denklem 4.12.})$$



Şekil 4.54. Alternatör Boşta Dönerken

Şekil 4.54'te kayış-kasnak bağlantısı yapılmış ve alternatör çıkışlarına herhangi bir elektriksel yük uygulanmamış şekli görülmektedir.

Şekil 4.55'te alternatöre uyarma akımı uygulanmış ve alternatör çıkışlarında herhangi bir elektriksel yük uygulanmamış şekli görülmektedir.



Şekil 4.55. Alternatör Boşta İken Çıkışlarındaki Elde Edilen Gerilim Değeri, Uyarma Akımı İçin Kullanılan 6 Voltluk Akü ve DC-DC Çevirici



Şekil 4.56. Alternatör, Çıkışlarına Bağlanan 21 W, 12 V Ampule 3 V Gerilim ve 0,86 A Akım Vermektedir.

Şekil 4.56.'da alternatör çıkışlarına 6,85  $\Omega$  direnç değeriinde 21 W gücünde 12 Voltluk lamba bağlandığında 3 V gerilim ve 0,86 A akım elde edilmiştir. Elde edilen güç, Denklem 4.15.'ten yararlanılarak 2.58 W olarak hesaplanmıştır.

$$P= V.I$$

(Denklem 4.15)



## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. Yapılan Denemelerden Elde Edilen Sonuçlar

##### 5.1.1. Deneme Düzenğinde Suyun Debi Değeri

10 lt lik hacme sahip kabın 12,5 s sürede dolduğu tespit edilmiş ve kabın hacmi dolma süresine bölünerek debi 0,8 lt/s olarak bulunmuştur.

##### 5.1.2. Beş Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 1 ile Yapılan Deneme

Beş kısa kanatlı yatayda bükümlü türbin modeli 1 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 3,5 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 32 rpm, S dinamometresi 0,66 N, türbin torku 0,030 Nm, türbin gücü 0,100 W, suyun düşü yüksekliği 23 cm olduğunda verimin en düşük değeri %5,558 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 2,5 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 119 rpm, S dinamometresi 0,38 N, türbin torku 0,022 Nm, türbin gücü 0,277 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri %14,195 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Bir Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 1 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|--------|---------|-------|
|          | 157    | 0,22 | 1    | 0,008 | 0,135 | 5,940  | 0,8     | 29    |
|          | 149    | 0,22 | 1,25 | 0,011 | 0,169 | 7,444  | 0,8     | 29    |
|          | 145    | 0,26 | 1,5  | 0,013 | 0,198 | 9,033  | 0,8     | 28    |
|          | 141    | 0,26 | 1,75 | 0,016 | 0,231 | 10,555 | 0,8     | 28    |
|          | 142    | 0,3  | 2    | 0,018 | 0,265 | 12,577 | 0,8     | 27    |
|          | 122    | 0,34 | 2,25 | 0,020 | 0,256 | 12,607 | 0,8     | 26    |
|          | 119    | 0,38 | 2,5  | 0,022 | 0,277 | 14,195 | 0,8     | 25    |
|          | 92     | 0,48 | 2,75 | 0,024 | 0,230 | 11,751 | 0,8     | 25    |
|          | 80     | 0,5  | 3    | 0,026 | 0,220 | 11,723 | 0,8     | 24    |
|          | 52     | 0,58 | 3,25 | 0,028 | 0,153 | 8,138  | 0,8     | 24    |
|          | 32     | 0,66 | 3,5  | 0,030 | 0,100 | 5,558  | 0,8     | 23    |

### 5.1.3. Beş Kanatlı Düşeyde Bükümlü 45° Eğim Açılı Türbin Modeli 2 ile Yapılan Deneme

Beş kanatlı düşeyde bükümlü 45° eğim açılı türbin modeli 2 ile yapılan denemelerin sonuçları çizelge 5.2’de verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 1,25 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 113 rpm, S dinamometresi 0,26 N, türbin torku 0,010 Nm, türbin gücü 0,123 W, suyun düşü yüksekliği 28 cm olduğunda verimin en düşük değeri %6,423 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 3,25 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 86 rpm, S dinamometresi 0,42 N, türbin torku 0,030 Nm, türbin gücü 0,268 W, suyun düşü yüksekliği 23 cm olduğunda verimin en yüksek değeri %17,012 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.2. İki Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 2 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 113    | 0,26 | 1,25 | 0,010 | 0,123 | 6,423      | 0,8     | 28    |
|          | 115    | 0,28 | 1,5  | 0,013 | 0,154 | 8,056      | 0,8     | 28    |
|          | 113    | 0,32 | 1,75 | 0,015 | 0,178 | 9,278      | 0,8     | 28    |
|          | 113    | 0,3  | 2    | 0,018 | 0,211 | 11,030     | 0,8     | 28    |
|          | 111    | 0,3  | 2,25 | 0,020 | 0,238 | 13,919     | 0,8     | 25    |
|          | 109    | 0,34 | 2,5  | 0,023 | 0,259 | 15,140     | 0,8     | 25    |
|          | 108    | 0,4  | 2,75 | 0,025 | 0,279 | 16,321     | 0,8     | 25    |
|          | 90     | 0,4  | 3    | 0,027 | 0,257 | 15,048     | 0,8     | 25    |
|          | 86     | 0,42 | 3,25 | 0,030 | 0,268 | 17,012     | 0,8     | 23    |
|          | 78     | 0,46 | 3,5  | 0,032 | 0,261 | 16,574     | 0,8     | 23    |
|          | 74     | 0,48 | 3,75 | 0,034 | 0,266 | 16,914     | 0,8     | 23    |
|          | 62     | 0,58 | 4    | 0,036 | 0,233 | 14,821     | 0,8     | 23    |
|          | 50     | 0,66 | 4,25 | 0,038 | 0,197 | 12,547     | 0,8     | 23    |
|          | 43     | 0,78 | 4,5  | 0,039 | 0,176 | 11,181     | 0,8     | 23    |

#### 5.1.4. Beş Kanatlı Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Modeli 3 ile Yapılan Deneme

Beş kanatlı düşeyde bükümlü 30° eğim açılı türbin modeli 3 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 4,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 40 rpm, S dinamometresi 0,58 N, türbin torku 0,039 Nm, türbin gücü 0,161 W, suyun düşü yüksekliği 23 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 8,979 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 3,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 114 rpm, S dinamometresi 0,30 N, türbin torku 0,031 Nm, türbin gücü 0,370 W, suyun düşü yüksekliği 23 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 20,569 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3. Üç Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 3 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 192    | 0,22 | 1,25 | 0,011 | 0,217 | 9,935      | 0,8     | 28    |
|          | 187    | 0,22 | 1,5  | 0,013 | 0,263 | 12,025     | 0,8     | 28    |
|          | 174    | 0,18 | 2    | 0,019 | 0,348 | 15,910     | 0,8     | 28    |
|          | 165    | 0,2  | 2,25 | 0,022 | 0,372 | 19,033     | 0,8     | 25    |
|          | 137    | 0,2  | 2,5  | 0,024 | 0,346 | 17,730     | 0,8     | 25    |
|          | 120    | 0,2  | 2,75 | 0,027 | 0,336 | 17,218     | 0,8     | 25    |
|          | 126    | 0,28 | 3    | 0,029 | 0,377 | 19,284     | 0,8     | 25    |
|          | 114    | 0,3  | 3,25 | 0,031 | 0,370 | 20,569     | 0,8     | 23    |
|          | 98     | 0,34 | 3,5  | 0,033 | 0,341 | 18,941     | 0,8     | 23    |
|          | 67     | 0,48 | 3,75 | 0,034 | 0,241 | 13,400     | 0,8     | 23    |
|          | 53     | 0,52 | 4    | 0,037 | 0,203 | 11,281     | 0,8     | 23    |
|          | 40     | 0,58 | 4,25 | 0,039 | 0,161 | 8,979      | 0,8     | 23    |

Bu çalışmada yapılan denemelerde 45° kanat eğim açısına sahip 2 nolu türbinin en yüksek verimi %17,012 iken, 30° kanat eğim açısına sahip 3 nolu türbinin en yüksek veriminin %20,569'a yükseldiği ve artan düşey (eksenel) hız bileşeninden daha iyi yararlandığı görülmüştür.

Nishi ve Inagaki'ye ve Saleem'e göre girdap haznesine türbin yerleştirildiğinde girdap ile türbin etkileşime geçer ve bu durumda girdabın tanjantal hız bileşeni azalırken eksenel hız bileşeni artar (Nishi ve Inagaki, 2017-Saleem, 2020).

#### 5.1.5. Beş Kanatlı Yatayda ve Düşeyde Bükümlü Türbin Modeli 4 ile Yapılan Deneme

Beş kanatlı yatayda ve düşeyde bükümlü türbin modeli 4 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 4,75 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 20 rpm, S dinamometresi 0,82 N, türbin torku 0,041 Nm, türbin gücü 0,086 W, suyun düşü yüksekliği 23 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 4,807 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 3,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 136 rpm, S dinamometresi 0,50 N, türbin torku 0,029 Nm, türbin gücü 0,411 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 21,044 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Dört Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 4 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 209    | 0,46 | 2    | 0,016 | 0,354 | 16,170     | 0,8     | 28    |
|          | 190    | 0,48 | 2,25 | 0,019 | 0,370 | 16,896     | 0,8     | 28    |
|          | 180    | 0,46 | 2,5  | 0,021 | 0,404 | 18,448     | 0,8     | 28    |
|          | 163    | 0,46 | 2,75 | 0,024 | 0,410 | 18,753     | 0,8     | 28    |
|          | 140    | 0,46 | 3    | 0,027 | 0,391 | 20,009     | 0,8     | 25    |
|          | 136    | 0,5  | 3,25 | 0,029 | 0,411 | 21,044     | 0,8     | 25    |
|          | 108    | 0,52 | 3,5  | 0,031 | 0,354 | 18,110     | 0,8     | 25    |
|          | 77     | 0,6  | 3,75 | 0,033 | 0,267 | 13,648     | 0,8     | 25    |
|          | 65     | 0,66 | 4    | 0,035 | 0,239 | 13,278     | 0,8     | 23    |
|          | 50     | 0,72 | 4,25 | 0,037 | 0,194 | 10,795     | 0,8     | 23    |
|          | 41     | 0,76 | 4,5  | 0,039 | 0,169 | 9,379      | 0,8     | 23    |
|          | 20     | 0,82 | 4,75 | 0,041 | 0,086 | 4,807      | 0,8     | 23    |

#### 5.1.6. On Kısa Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5 ile Yapılan Deneme

On kanatlı yatayda bükümlü türbin modeli 5 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 3,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 51 rpm, S dinamometresi 0,38 N, türbin torku 0,030 Nm, türbin gücü 0,161 W, suyun düşü yüksekliği 24 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 8,579 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 2,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 157 rpm, S dinamometresi 0,30 N, türbin torku 0,020 Nm, türbin gücü 0,337 W, suyun düşü yüksekliği 27 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 15,951 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.5. Beş Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 5 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 185    | 0,2  | 1,5  | 0,014 | 0,264 | 11,277     | 0,8     | 30    |
|          | 177    | 0,28 | 1,75 | 0,015 | 0,286 | 12,621     | 0,8     | 29    |
|          | 170    | 0,29 | 2    | 0,018 | 0,320 | 14,605     | 0,8     | 28    |
|          | 157    | 0,3  | 2,25 | 0,020 | 0,337 | 15,951     | 0,8     | 27    |
|          | 129    | 0,32 | 2,5  | 0,023 | 0,309 | 15,215     | 0,8     | 26    |
|          | 114    | 0,36 | 2,75 | 0,025 | 0,300 | 15,331     | 0,8     | 25    |
|          | 93     | 0,37 | 3    | 0,028 | 0,269 | 13,763     | 0,8     | 25    |
|          | 51     | 0,38 | 3,25 | 0,030 | 0,161 | 8,579      | 0,8     | 24    |

### 5.1.7. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 6 ile Yapılan Deneme

Beş uzun kanatlı yatayda bükümlü türbin modeli 6 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 1,50 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 138 rpm, S dinamometresi 0,34 N, türbin torku 0,012 Nm, türbin gücü 0,176 W, suyun düşü yüksekliği 29 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 8,068 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 2,75 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 119 rpm, S dinamometresi 0,36 N, türbin torku 0,025 Nm, türbin gücü 0,313 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 16,627 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.6. Altı Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 6 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 138    | 0,34 | 1,5  | 0,012 | 0,176 | 8,068      | 0,8     | 29    |
|          | 137    | 0,38 | 1,75 | 0,014 | 0,206 | 10,160     | 0,8     | 27    |
|          | 128    | 0,3  | 2    | 0,018 | 0,239 | 11,779     | 0,8     | 27    |
|          | 124    | 0,28 | 2,25 | 0,021 | 0,269 | 13,732     | 0,8     | 26    |
|          | 121    | 0,32 | 2,5  | 0,023 | 0,290 | 14,828     | 0,8     | 26    |
|          | 119    | 0,36 | 2,75 | 0,025 | 0,313 | 16,627     | 0,8     | 25    |
|          | 107    | 0,4  | 3    | 0,027 | 0,306 | 16,264     | 0,8     | 25    |
|          | 100    | 0,46 | 3,25 | 0,029 | 0,307 | 16,311     | 0,8     | 25    |
|          | 89     | 0,54 | 3,5  | 0,031 | 0,290 | 15,401     | 0,8     | 25    |

### 5.1.8. On Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbin Modeli 5 Sisteme Ters Bağlanarak Yapılan Deneme

On kanatlı yatayda bükümlü türbin modeli 5 sisteme ters bağlanarak yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 3,75 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 36 rpm, S dinamometresi 0,58 N, türbin torku 0,033 Nm, türbin gücü 0,125 W, suyun düşü yüksekliği 24 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 6,689 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 2,75 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 88 rpm, S dinamometresi 0,24 N, türbin torku 0,026 Nm, türbin gücü 0,243 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 12,429 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.7. Beş Nolu Türbin Ters Bağlanarak Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin (5 ters bağlı) | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|-----------------------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|                       | 90     | 0,16 | 2,5  | 0,025 | 0,232 | 11,850     | 0,8     | 25    |
|                       | 88     | 0,24 | 2,75 | 0,026 | 0,243 | 12,429     | 0,8     | 25    |
|                       | 76     | 0,36 | 3    | 0,028 | 0,221 | 11,290     | 0,8     | 25    |
|                       | 60     | 0,44 | 3,25 | 0,030 | 0,185 | 9,487      | 0,8     | 25    |
|                       | 48     | 0,48 | 3,5  | 0,032 | 0,159 | 8,157      | 0,8     | 25    |
|                       | 36     | 0,58 | 3,75 | 0,033 | 0,125 | 6,689      | 0,8     | 24    |

#### 5.1.9. Beş Uzun Kanatlı Yatayda Bükümlü Türbinin Alt Kısımına Düşeyde Bükümlü 30° Eğim Açılı Türbin Parçası İlave Edilerek Elde Edilen Türbin Modeli 7 ile Yapılan Deneme

Beş Uzun kanatlı yatayda bükümlü türbinin alt kısmına düşeyde bükümlü 30 ° eğim açılı türbin parçası (türbin modeli 6) ilave edilerek elde edilen türbin modeli 7 ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 1,50 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 163 rpm, S dinamometresi 0,18 N, türbin torku 0,014 Nm, türbin gücü 0,237 W, suyun düşü yüksekliği 27 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 11,210 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 3 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 115 rpm, S dinamometresi 0,30 N, türbin torku 0,028 Nm, türbin gücü 0,341 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 17,471 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.8. Yedi Nolu Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

| türbin 7 | N(rpm) | S(N) | W(N) | T(Nm) | P(W)  | $\eta$ (%) | Q(lt/s) | H(cm) |
|----------|--------|------|------|-------|-------|------------|---------|-------|
|          | 163    | 0,18 | 1,5  | 0,014 | 0,237 | 11,210     | 0,8     | 27    |
|          | 159    | 0,2  | 1,75 | 0,016 | 0,271 | 12,840     | 0,8     | 27    |
|          | 156    | 0,24 | 2    | 0,018 | 0,302 | 14,305     | 0,8     | 27    |
|          | 150    | 0,36 | 2,25 | 0,020 | 0,312 | 15,339     | 0,8     | 26    |
|          | 130    | 0,34 | 2,5  | 0,023 | 0,309 | 15,800     | 0,8     | 25    |
|          | 118    | 0,38 | 2,75 | 0,025 | 0,308 | 15,736     | 0,8     | 25    |
|          | 115    | 0,3  | 3    | 0,028 | 0,341 | 17,471     | 0,8     | 25    |
|          | 108    | 0,4  | 3,25 | 0,030 | 0,338 | 17,319     | 0,8     | 25    |
|          | 93     | 0,5  | 3,5  | 0,032 | 0,307 | 15,699     | 0,8     | 25    |
|          | 72     | 0,56 | 3,75 | 0,033 | 0,253 | 12,924     | 0,8     | 25    |
|          | 63     | 0,64 | 4    | 0,035 | 0,233 | 11,911     | 0,8     | 25    |

Bu çalışmada yapılan denemelerde ana türbin olarak denenen 6 nolu türbinin en yüksek verimi %16,627 iken bu türbine yardımcı türbin ilave edilerek oluşturulan 7 nolu türbin modelinin en yüksek veriminin %5 artarak %17,471'e yükseldiği görülmüştür.

Gautam vd., konik şekilli hazneye sahip girdap türbininde ana türbinin alt kısmına yardımcı bir türbin ilave etmenin, verimi %6 oranında arttırdığını bildirmiştir (Gautam vd., 2016).

## 5.2. Prototip Türbin İle Yapılan Denemelerden Elde Edilen Sonuçlar

### 5.2.1. Akarsuyun Debi Değeri

Muline cihazı ile yapılan ölçümlerde debi  $0,022 \text{ m}^3/\text{s} = 22 \text{ lt/s}$  olarak bulunmuştur.

### 5.2.2. Prototip Türbin İle Yapılan Deneme

Prototip türbin ile yapılan denemelerin sonuçları Çizelge 5.9'da verilmiştir. Denemelerde; W dinamometresi 5,50 N'a ayarlanıp suyun debisi 22 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 90 rpm, S dinamometresi 1,05 N, türbin torku 0,734 Nm, türbin gücü 6,920 W, suyun düşü yüksekliği 58 cm olduğunda verimin en düşük değeri % 5,551 olarak bulunmuştur. W dinamometresi 30,50 N'a ayarlanıp suyun debisi 22 lt/s olarak sabit tutulduğunda devir sayısı 46 rpm, S dinamometresi 6,00 N, türbin torku 4,043 Nm, türbin gücü 19,473 W, suyun düşü yüksekliği 45 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 20,132 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.9. Prototip Türbin İle Yapılan Denemenin Sonuçları

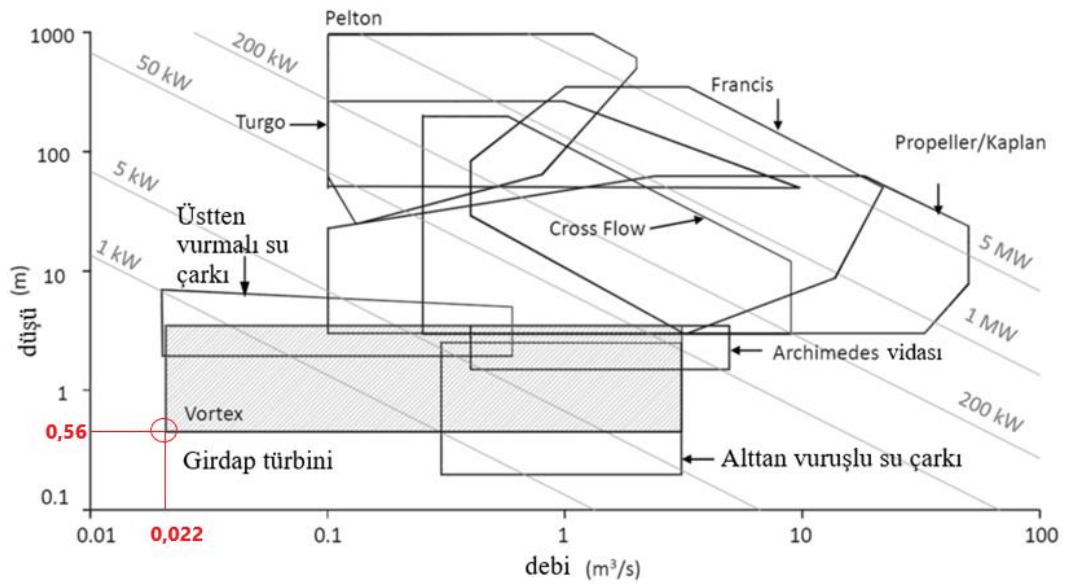
| N(rpm) | S(N) | W(N)  | T(Nm) | P(W)   | $\eta$ | Q(lt/s) | H(cm) |
|--------|------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|
| 90     | 1,05 | 5,50  | 0,734 | 6,920  | 5,551  | 22      | 58    |
| 85     | 1,35 | 11,50 | 1,675 | 14,907 | 12,167 | 22      | 57    |
| 79     | 1,80 | 16,50 | 2,426 | 20,066 | 16,670 | 22      | 56    |
| 69     | 3,00 | 17,50 | 2,393 | 17,287 | 16,755 | 22      | 48    |
| 60     | 4,10 | 20,50 | 2,706 | 17,002 | 16,829 | 22      | 47    |
| 52     | 5,00 | 24,50 | 3,218 | 17,521 | 17,719 | 22      | 46    |
| 46     | 6,00 | 30,50 | 4,043 | 19,473 | 20,132 | 22      | 45    |
| 35     | 6,50 | 32,50 | 4,290 | 15,724 | 16,625 | 22      | 44    |

Alternatörün çıkışında elektriksel bir yük bağlı değilken elde edilen gerilim değeri 6,48 V'tur. Alternatör çıkışlarına, etiket değerleri 21 W güç ve 12 V gerilime sahip olan lamba bağlandığında (6,85  $\Omega$  direnç değerinde), 3 V gerilim ve 0,86 A akım elde edilmiş olup Denklem 4.14. kullanılarak hesaplanan 2,58 W elektriksel güç değeri elde edilmiştir.

Sritram vd. yaptıkları benzer çalışmalarda sac malzemeden yaptıkları türbinde, su debisi 1,61 m<sup>3</sup>/dk (26 lt/s), yük 20 W, düşü yüksekliği 29 cm, hidrolik gücü 76,34 W olduğunda, 2,03 Nm tork, 2,13 W elektriksel güç, % 2,8 elektriksel verim elde edildiğini, su debisi 3,63 m<sup>3</sup>/dk (60,5 lt/s), yük 20 W, düşü yüksekliği 25 cm, hidrolik gücü 148,38 W olduğunda, 9,11 Nm tork, 49,80 W elektriksel güç, % 33,56 elektriksel verim elde edildiğini bildirmiştir (Sritram, 2015).

Yapılan çalışmada prototip türbinde, H= 0,56 m düşü ve Q= 0,022 m<sup>3</sup>/s debi çalışma noktası değerleri ile 20,066 W mekanik güç elde edilmiştir. Bu değerler girdap türbininin debi-düşü grafiği üzerindeki başlangıç noktasına (orijine) en yakın bölgesine karşı gelmekte olup Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

Sritram vd.'ne göre bu debi değerinden (0,022 m<sup>3</sup>/s) daha yüksek debi değerlerinde çalışıldığında girdap türbininden elde edilecek güç ve verim artmaktadır (Sritram vd., 2015).



Şekil 5.1. Prototip Türbinin Debi-Düşü Grafiği Üzerindeki Çalışma Noktası

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya’da son yıllarda yaşananlara, teknolojik gelişmelere ve enerji krizlerine bağlı olarak artan enerji talebi ve olumsuz çevresel etkiler alternatif enerji çeşitlerinin kullanımını zorunlu kılmıştır. Bu kaynaklar içerisinde olan sudan elde edilen hidrolik enerji en önemlilerinden biridir. Hidrolik enerji içerisinde de daha çok yüksek debili akarsular üzerine kurulan hidroelektrik santrallerden enerji elde edilmiş, debisi daha düşük olan alçak düşümlü akarsularda mevcut olan piko hidroelektrik enerji potansiyeli fazla değerlendirilmemiştir.

Türkiye alçak düşümlü akarsu kaynakları yönünden zengindir, bu kaynaklardan enerji elde etmek için değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında değişik ülkelerde alçak düşümlü akarsulardaki piko hidroelektrik enerjinin değerlendirildiği görülmüştür.

Bu çalışmada, Edirne ilinde bulunan alçak düşümlü akarsularından birisi olan Sazlıdere seçilmiştir. Edirne ili piko hidroelektrik enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve uygun bir türbin-generatör prototipinin geliştirilmesi için 7 adet türbin modeli yapılmış bu türbinler ile 8 adet deneme yapılmış ve denemeler sonunda 5 kanatlı yatayda ve düşeyde bükümlü 4 nolu türbin modelinin en verimli türbin olduğu görülmüştür.

Bu türbinde W dinamometresi 3,25 N’a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 136 rpm, S dinamometresi 0,50 N, türbin torku 0,029 Nm, türbin gücü 0,411 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 21,044 olarak bulunmuştur.

Verimi en düşük olan türbin ise beş kanatlı yatayda bükümlü 1 nolu türbindir. Bu türbin ile yapılan denemelerde; W dinamometresi 2,5 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 119 rpm, S dinamometresi 0,38 N, türbin torku 0,022 Nm, türbin gücü 0,277 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri %14,195 olarak bulunmuştur.

Türbinler ters bağlandığında verimlerinin tespiti için, beş nolu türbin kendi dönüş yönünde bağlandığında; W dinamometresi 2,25 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulduğunda devir sayısı 157 rpm, S dinamometresi 0,30 N, türbin torku 0,020 Nm, türbin gücü 0,337 W, suyun düşü yüksekliği 27 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 15,951 olarak gerçekleşirken, aynı türbin kendi dönüş yönüne ters yönde bağlandığında; W dinamometresi 2,75 N'a ayarlanıp suyun debisi 0,8 lt/s sabit tutulup devir sayısı 88 rpm, S dinamometresi 0,24 N, türbin torku 0,026 Nm, türbin gücü 0,243 W, suyun düşü yüksekliği 25 cm olduğunda verimin en yüksek değeri % 12,429 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Burada türbinler ters bağlandığında verimlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yapılan denemelerde yatayda ve düşeyde eğrisel tasarıma sahip 4 nolu türbinin diğer türbinlerden daha verimli olduğu görülmüştür.

Dhakal vd., yapmış oldukları çalışmada %82 verime sahip eğrisel kanat tasarımının, %46 verime sahip düz kanat tasarımından daha yüksek verime sahip olduğunu bulmuştur (Dhakal vd., 2017).

Bu çalışmada bütün türbin modelleriyle yapılan denemelerde, en yüksek verimin, en yüksek türbin torkunun yarı değerinde elde edildiği görülmüştür.

Date ve Akbarzadeh, sürtünmelerin ihmal edildiği ideal durumda en yüksek türbin veriminin, en yüksek değerdeki mil torkunun yarı değerinde gerçekleştiğini bildirmektedir (Date ve Akbarzadeh, 2013).

Çalışma sonucunda prototip türbinde,  $H = 0,56$  m düşü ve  $Q = 0,022$  m<sup>3</sup>/s debi değerleri ile 20,066 W mekanik güç elde edilmiştir. Düşü ve debi değerleri arttırıldığında elde edilecek mekanik, elektriksel gücün ve verimin artacağı anlaşılmıştır.

Sonuç olarak; Edirne İli alçak düşülü akarsularındaki piko hidroelektrik enerji potansiyelinin, yerçekimsel su girdap türbini (GWVT) ile enerjiye dönüştürülerek değerlendirilebileceğini söyleyebiliriz.. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, bu alanda farklı illerde yapılması düşünülen araştırmalara temel oluşturacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Meriç-Ergene Havzası'nda Ulusal Su Kalitesi İzleme Programı, Devlet Su İşleri 11. Bölge Müdürlüğü, Edirne  
<http://www.akim.com.tr/urunler/debi-olcum-sistemleri-c-21/elektronik-cuce-muline-u-13>, 14/06/2023 tarihinde erişildi.
- Akpınar, E., (2015), Nehir tipi santrallerin Türkiye'nin hidroelektrik üretimindeki yeri, Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt : (7), Sayı: (2), Yıl : 2005
- Bagher, A. M., Vahid, M., Mohsen, M., Parvin, D., (2015). Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. American Journal of Energy Science. Vol. 2, No. 2, 2015, pp. 17-20.
- Bajracharya, T. R., & Chaulagai, R. K. (2012). Developing innovative low head water turbine for free-flowing streams suitable for micro-hydropower in flat (Terai) regions in Nepal. Kathmandu: Center for Applied Research and Development (CARD), Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal.
- Bajracharya, T. R., Shakya, S. R., Timilsina, A. B., Dhakal, J., Neupane, S., Gautam, A., & Sapkota, A. (2020). Effects of geometrical parameters in gravitational water vortex turbines with conical basin. *Journal of Renewable Energy*, 2020, 1-16.  
<https://bioenergyeurope.org/about-bioenergy.html> 20/02/2023 tarihinde erişildi.
- Date, A., & Akbarzadeh, A. (2009). Design and cost analysis of low head simple reaction hydro. *Renewable Energy*, 409-415.
- Date, A., Date, A., & Akbarzadeh, A. (2013). Investigating the potential for using a simple water reaction turbine for power production from low head hydro resources. *Energy Conversion and Management*, 66, 257-270.
- Dhakal, R., Bajracharya, T. R., Shakya, S. R., Kumal, B., Kathmandu, N., Khanal, K., ... & Ghale, D. P. (2017, November). Computational and experimental investigation of runner for gravitational water vortex power plant. In Proceedings of a meeting held (Vol. 5, p. 8).
- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., Pandit, H. P., & Amatya, N. (2015). Mathematical modeling, design optimization and experimental verification of conical basin: Gravitational water vortex power plant. In dalam World Largest Hydro Conference.
- Dhakal, S., Nakarmi, S., Pun, P., Thapa, A. B., & Bajracharya, T. R. (2014). Development and testing of runner and conical basin for gravitational water vortex power plant. *Journal of the Institute of Engineering*, 10(1), 140-148.
- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., Pandit, H. P., ... & Nakarmi, A. M. (2015). Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 662-669.

- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., & Pandit, H. P. (2014). Effect of dominant parameters for conical basin: Gravitational water vortex power plant. In *Proceedings of IOE graduate conference* (Vol. 5, p. 381).
- Dinçer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 4(2), 157-175.
- Elbatran, A. H., Abdel-Hamed, M. W., Yaakob, O. B., & Ahmed, Y. M. (2015). Hydro power and turbine systems reviews. *Jurnal Teknologi*, 74(5).  
<https://electrical-engineering-portal.com/power-generation-systems> 25/01/2022 tarihinde erişildi.
- <https://www.elektrikrehberiniz.com/category/jenerator> 25/01/2023 tarihinde erişildi.
- <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy> 25/01/2023 tarihinde erişildi.
- <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics> 25/01/2023 tarihinde erişildi.
- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> 06/01/2023 tarihinde erişildi.
- Gautam, A., Sapkota, A., Neupane, S., Dhakal, J., Timilsina, A. B., & Shakya, S. (2016, August). Study on effect of adding booster runner in conical basin: gravitational water vortex power plant: a numerical and experimental approach. In *Proceedings of IOE graduate conference* (pp. 107-113).
- Güney, M. S., & Kaygusuz, K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2996–3004.
- Hayat, MB, Ali, D, Monyake, KC, Alagha, L, Ahmed, N. Solar energy—A look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *Int J Energy Res.* 2019; 43: 1049– 1067.  
<https://www.hepsiburada.com>. 08/06/2023 tarihinde erişildi.
- Husaini, D.H. ve Lean, H.H. (2022). Digitalization and energy sustainability in ASEAN. *Resources, Conservation ve Recycling*, 184, 1.
- Kayastha, M., Raut, P., Subedi, N. K., Ghising, S. T., & Dhakal, R. (2019). CFD evaluation of performance of Gravitational Water Vortex Turbine at different runner positions.
- Khan, M. J., Iqbal, M. T., & Quaiçoe, J. E. (2008). River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2177–2193.
- Koç, E., Kaya, K. 2015. “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu,” *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 668, s. 36-47.
- Koç, E., Şenel, M. C. 2013. “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Kuzucu, U. (2021). Edirne İlinde Tarımsal Sulamada Güneş Enerjisi Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Li, H. F., Chen, H. X., Ma, Z., & Zhou, Y. (2008). Experimental and numerical investigation of free surface vortex. *Journal of hydrodynamics*, 20(4), 485-491.
- Marian, M. G., Sajin, T., & Azzouz, A. (2013). Study of micro hydropower plant operating in gravitational vortex flow mode. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 371, pp. 601-605). Trans Tech Publications Ltd.
- Mohan, A. (2016). Power generation with simultaneous aeration using a gravity vortex turbine. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(2), 5.

- Mulligan, S. (2015). Experimental and numerical analysis of three-dimensional free-surface turbulent vortex flows with strong circulation. *Ireland: Institute of Technology Sligo*.
- Nishi, Y., & Inagaki, T. (2017). Performance and flow field of a gravitation vortex type water turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2017.
- Paish, O., (2002), *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (2002) 537–556.
- Power, C., McNabola, A., & Coughlan, P. (2016). A parametric experimental investigation of the operating conditions of gravitational vortex hydropower (GVHP). *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(2), 112-119.
- Rahman, M., Hong, T. J., Tang, R., Sung, L. L., & Tamiri, F. B. M. (2016). Experimental study the effects of water pressure and turbine blade lengths & numbers on the model free vortex power generation system. *International Journal of Current Trends in Engineering & Research (IJCTER)*, 2(9), 13-17.
- Rahman, M. M., Tan, J. H., Fadzli, M. T., & Muzammil, A. W. K. (2017, July). A review on the development of gravitational water vortex power plant as alternative renewable energy resources. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 217, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Rahman, M. M., Hong, T. J., & Tamiri, F. M. (2018). Effects of inlet flow rate and penstock's geometry on the performance of Gravitational Water Vortex Power Plant. In *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag* (Vol. 2018, pp. 2968-2976).
- Sangal, S., Garg, A., D.Kumar, D., 2013 "Review of optimal selection of turbines for hydroelectric projects", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 424-430.
- Sharif, A., Siddiqi, M. U. R., Tahir, M., Ullah, U., Noon, A. A., Muhammad, R., ... & Sheikh, N. A. (2021). Investigating the Effect of Inlet Head and Water Pressure on the Performance of Single Stage Gravitational Water Vortex Turbine. *Journal of Mechanical Engineering Research and developments*, 44(11), 156-168.
- Saleem, A. S., Cheema, T. A., Ullah, R., Ahmad, S. M., Chattha, J. A., Akbar, B., & Park, C. W. (2020). Parametric study of single-stage gravitational water vortex turbine with cylindrical basin. *Energy*, 200, 117464.
- Sánchez, A. R., Del Rio, J. A. S., Muñoz, A. J. G., & Montoya, J. A. P. (2019). Numerical and experimental evaluation of concave and convex designs for gravitational water vortex turbine. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 64(1), 160-172.
- Sedai, A., Yadav, B. K., Kumal, B. B., Khatiwada, A., & Dhakal, R. (2020). Performance analysis of Gravitational water vortex power plant using scale-down model.
- Sinaga, J. B., Tanti, N., Admiral, R., & Yessy, C. (2021, October). Development of Testing Equipment of Gravitational Water Vortex Turbine to Support Implementation the Laboratory Work. In *Proceedings of the International Conference on Science, Technology and Interdisciplinary Research (IC-STAR) 2021*. Atlantis Press.
- Singh, P., & Nestmann, F. (2009). Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(6), 991-1002.

- Singh, P., & Nestmann, F. (2011). Experimental investigation of the influence of blade height and blade number on the performance of low head axial flow turbines. *Renewable Energy*, 36(1), 272-281.  
<https://www.slideshare.net/edstermer/generation-of-electricity> 25/01/2022 tarihinde erişildi.
- Sreerag, S. R., Raveendran, C. K., & Jinshah, B. S. (2016). Effect of outlet diameter on the performance of gravitational vortex turbine with conical basin. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(4), 457-463.
- Sritram, P., Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2015, November). Effect of turbine materials on power generation efficiency from free water vortex hydro power plant. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 103, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Sritram, P., & Suntivarakorn, R. (2019, April). The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 257, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.
- Sritram, P., & Suntivarakorn, R. (2017). Comparative study of small hydropower turbine efficiency at low head water. *Energy Procedia*, 138, 646-650.  
<https://www.technologyreview.com/2012/10/24/183079/verifying-a-vortex/> by Conor Myhrvold 10/02/2023 tarihinde erişildi.
- <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> 10/02/2023 tarihinde erişildi.
- Tüysüz, Ş. ve Öncel, A. (2022). Türkiye’de yeşil ekonomi açısından sürdürülebilir enerji kaynaklarının SWOT analizi. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 7(19), 644-661
- Ullah, R., Cheema, T. A., Saleem, A. S., Ahmad, S. M., Chattha, J. A., & Park, C. W. (2020). Preliminary experimental study on multi-stage gravitational water vortex turbine in a conical basin. *Renewable Energy*, 145, 2516-2529.
- Vidian, F., Putra, D. H., & Kholis, A. (2020). A short review and development of rope brake dynamometer for measurement of brake power on small scale engine. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(2), 144-153.  
<https://webgis.edirne.bel.tr/keos/> 10/02/2023 tarihinde erişildi.
- Wichian, P., & Suntivarakorn, R. (2016). The effects of turbine baffle plates on the efficiency of water free vortex turbines. *Energy Procedia*, 100, 198-202.  
<https://www.wiltronics.com.au/wiltronics-knowledge-base/spring-balance-working-principle/> 18/01/2022 tarihinde erişildi.
- Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., Elbatran, A. H., & Shabara, H. M. (2014). A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems. *Jurnal teknologi*, 69(7), 1-7.
- Zakariz, N. P., Nugraha, A. T., & Phasinam, K. (2022). The Effect of Inlet Notch Variations in Pico-hydro Power Plants with Experimental Methods to Obtain Optimal Turbine Speed. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 4(1), 35-41.  
<http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/> 01/01/2023 tarihinde erişildi.

## ÖZGEÇMİŞ

İsmail KIZILIRMAK, İlk-Orta ve Lise öğrenimini Edirne’de tamamladı. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Askerlik hizmetini yedek subay olarak Çanakkale’de yaptı (1999). Edirne’deki Tekstil Fabrikasında elektrik bakım mühendisliği (2000-2006), İstanbul’daki Mühendislik Firmasında elektrik proje taahhüt elektrik şantiye şefliği (2007), Edirne’deki Elektrik Dağıtım Şirketinde Şehir Şebekesi bakım ve arıza koordinatörlüğü (2008), Edirne’deki Cam Fabrikasında temperli cam, ısıcam imalat ve kalite yöneticiliği (2008-2010), Edirne’deki Elektrik Dağıtım Şirketinde Şehir Şebekesi bakım ve arıza koordinatörlüğü (2013-2014) yaptı. Trakya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden mezun oldu (2022). 2014 yılından bu yana da Trakya Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’nda elektrik mühendisi olarak çalışmaktadır. Evlidir.