

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BANKİ TİPİ TÜRBİNLERDE DEBİYE VE KANAT  
AÇISINA BAĞLI PERFORMANSIN DENEYSEL  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Faruk KOÇ**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ  
Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Ünal UYSAL

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BANKİ TİPİ TÜRBİNLERDE DEBİYE VE KANAT  
AÇISINA BAĞLI PERFORMANSIN DENEYSEL  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

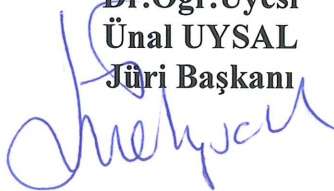
**Faruk KOÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

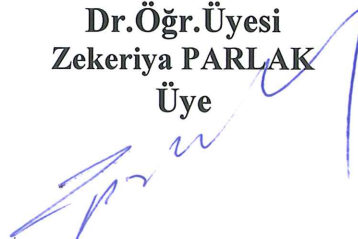
**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**

Bu tez 23/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr.Öğr.Üyesi  
Ünal UYSAL  
Jüri Başkanı**



**Dr.Öğr.Üyesi  
Zekeriya PARLAK  
Üye**



**Prof.Dr.  
K.Süleyman YİĞİT  
Üye**



## **BEYAN**

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

Faruk KOÇ

07.05.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ünal UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Türbin Test Merkezi olanaklarını kullanmamıza fırsat veren, bilimsel çalışmaları destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (TEMSAN) Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. Genel Müdürlüğü'ne, özellikle Yüksek Gerilim Proje Müdürü Ömür BINARBAŞI'na, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Ar-Ge Müdürü Oğuzhan BENDEŞ'e teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi desteklerini her an yanımda hissettiğim aileme sükranlarımı sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR .....                                              | i   |
| İÇİNDEKİLER .....                                           | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                       | iv  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                      | vi  |
| TABLolar LİSTESİ .....                                      | vii |
| ÖZET .....                                                  | ix  |
| SUMMARY .....                                               | x   |
| BÖLÜM 1.                                                    |     |
| GİRİŞ .....                                                 | 1   |
| 1.1. Hidroelektrik Santraller Hakkında Genel Bilgiler ..... | 2   |
| 1.2. Türbinlerin Sınıflandırılması .....                    | 4   |
| 1.2.1. Güçlerine göre türbinler .....                       | 4   |
| 1.2.2. Etki şekillerine göre türbinler .....                | 4   |
| 1.2.3. Özgül hıza göre türbinler .....                      | 4   |
| 1.3. Türbinlerin Tipleri .....                              | 5   |
| 1.3.1. Francis tipi türbinler .....                         | 5   |
| 1.3.2. Kaplan tipi türbinler .....                          | 7   |
| 1.3.3. Pelton tipi türbinler .....                          | 7   |
| BÖLÜM 2.                                                    |     |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                 | 9   |
| BÖLÜM 3.                                                    |     |
| BANKİ TÜRBİNLERİ .....                                      | 13  |
| 3.1. Genel Bilgiler .....                                   | 13  |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. Banki Türbini Tasarımı .....                                                      | 15 |
| 3.2.1. Temel tanımlar .....                                                            | 15 |
| 3.2.2. Hız üçgenleri .....                                                             | 16 |
| 3.2.3. Banki türbini boyutları .....                                                   | 18 |
| 3.2.4. Testlerde kullanılan banki türbinin fiziksel ve geometrik<br>büyüklükleri ..... | 20 |
| BÖLÜM 4.                                                                               |    |
| TEST DÜZENEĞİ .....                                                                    | 23 |
| 4.1. Türbin Test Merkezi .....                                                         | 23 |
| 4.1.1. Düşünün ölçülmesi .....                                                         | 24 |
| 4.1.2. Debinin ölçülmesi .....                                                         | 25 |
| 4.1.3. Devir sayısının ölçülmesi .....                                                 | 26 |
| 4.1.4. Mekanik tork ölçümü .....                                                       | 27 |
| 4.1.5. Kontrol kumanda sistemi .....                                                   | 28 |
| 4.1.6. Hidrolik ünite .....                                                            | 30 |
| 4.1.7. Pompalar ve sürücüler .....                                                     | 31 |
| 4.1.8. Alternatör (generatör) .....                                                    | 33 |
| 4.2. Deneyin Yapılışı .....                                                            | 33 |
| 4.3. Hata Analizi .....                                                                | 34 |
| 4.3.1. Kline-McClintoc yöntemine göre hata analizi .....                               | 34 |
| 4.3.2. Akılcı yaklaşım metoduna göre hata analizi .....                                | 35 |
| BÖLÜM 5.                                                                               |    |
| DENEY SONUÇLARI .....                                                                  | 37 |
| BÖLÜM 6.                                                                               |    |
| TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....                                                             | 42 |
| KAYNAKLAR .....                                                                        | 43 |
| EKLER .....                                                                            | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                         | 50 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|        |                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------|
| A      | : Çarka girişte akış kesiti ( $m^2$ )                       |
| a      | : Radyal çark genişliği (m)                                 |
| b      | : Rotor genişliği (m)                                       |
| c      | : Mutlak hız (m/s)                                          |
| D1     | : Çark dış çapı (m)                                         |
| D2     | : Çark iç çapı (m)                                          |
| DSİ    | : Devlet su işleri genel müdürlüğü                          |
| g      | : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )                              |
| HAD    | : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği                           |
| HES    | : Hidroelektrik santral                                     |
| $H_n$  | : Net düşü (m)                                              |
| $H_g$  | : Suyun en üst seviyesinden türbine kadar olan yüksekliği   |
| $H_k$  | : Türbine kadar olan kayıpları (boru, dirsek, sürtünme vb.) |
| n      | : Devir sayısı (d/d)                                        |
| $n_q$  | : Özgül hız (debiye bağlı)                                  |
| $n_s$  | : Özgül hız (etkin güce bağlı)                              |
| $N_e$  | : Etkin güç (kW)                                            |
| q      | : Suyun debisi - türbin tasarım debisi ( $m^3/s$ )          |
| r      | : Türbin yarıçapı (m)                                       |
| $s_0$  | : Çarka girişte su jeti kalınlığı (m)                       |
| $s_1$  | : Kanatlar arası açıklık (m)                                |
| $s_2$  | : Kanatlar arası açıklık (iç) (m)                           |
| TEMSAN | : Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.                        |
| v      | : Su hızı (m/s)                                             |
| w      | : Bağlı hız (m/s)                                           |

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| $z$        | : Kanat sayısı                 |
| $\alpha_1$ | : Giriş (hücum) açısı          |
| $\alpha_2$ | : Merkez açısı                 |
| $\beta$    | : Bağlı açısı                  |
| $\theta$   | : Ayar kanadı açısı            |
| $\eta_t$   | : Türbin verimi                |
| $\rho$     | : Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| $\omega$   | : Açısal hız ( $1/\text{s}$ )  |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Hidroelektrik santral genel kesiti ve ana ekipmanları .....                                 | 3  |
| Şekil 1.2. Türbin genel görünüşü ve türbin ana ekipmanları .....                                       | 3  |
| Şekil 1.3. Francis türbin çarkı .....                                                                  | 6  |
| Şekil 1.4. Kaplan türbin çarkı .....                                                                   | 7  |
| Şekil 1.5. Pelton tipi türbin çarkı .....                                                              | 8  |
| Şekil 3.1. Türbin seçim diyagramı .....                                                                | 13 |
| Şekil 3.2. Banki türbini ile francis türbini debiye bağlı<br>verim eğrilerinin karşılaştırılması ..... | 14 |
| Şekil 3.3. Banki türbini oluşturan ekipmanlar ve genel görünüşü .....                                  | 14 |
| Şekil 3.4. Banki su türbini hız üçgenleri .....                                                        | 17 |
| Şekil 3.5. Banki türbini su jeti görünümü .....                                                        | 19 |
| Şekil 3.6. Banki türbini çarkı .....                                                                   | 20 |
| Şekil 3.7. Testte kullanılan banki türbini resimleri .....                                             | 21 |
| Şekil 4.1. Türbin test merkezi .....                                                                   | 23 |
| Şekil 4.2. Basınç sensörü ve kollektör .....                                                           | 24 |
| Şekil 4.3. Türbin giriş basıncı ölçümü .....                                                           | 25 |
| Şekil 4.4. Manyetik debimetre .....                                                                    | 26 |
| Şekil 4.5. Türbin devir sayısı ölçüm sistemi .....                                                     | 26 |
| Şekil 4.6. Manuel devir sayısı okuyucu .....                                                           | 27 |
| Şekil 4.7. Torkmetre türbin mili bağlantısı .....                                                      | 27 |
| Şekil 4.8. Torkmetre dönen parça iç yapısı .....                                                       | 28 |
| Şekil 4.9. Torkmetre parçaları .....                                                                   | 28 |
| Şekil 4.10. Kontrol ve kumanda sistemi .....                                                           | 29 |
| Şekil 4.11. Kontrol kumanda ekranı .....                                                               | 29 |
| Şekil 4.12. Hidrolik ünite .....                                                                       | 30 |
| Şekil 4.13. Ayar kanadı hidrolik pistonu .....                                                         | 30 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.14. Santrifüj pompa grubu .....                                        | 31 |
| Şekil 4.15. Kademeli pompa grubu .....                                         | 32 |
| Şekil 4.16. Pompa sürücü ve inventörleri .....                                 | 32 |
| Şekil 4.17. Generatör (alternatör) .....                                       | 33 |
| Şekil 5.1. Debiye bağlı güç değişimi (10m, 15m, 20m, 30m, 40m düşülerde)...    | 37 |
| Şekil 5.2. H=10m düşüde, debiye bağlı güç değişimi .....                       | 37 |
| Şekil 5.3. H=10m düşüde debiye bağlı verim değişimi .....                      | 38 |
| Şekil 5.4. Debiye bağlı verim grafiği (10m, 15m, 20m, 30m, 40m düşülerde) .... | 38 |
| Şekil 5.5. Ayar kanadı açıklığına bağlı debi değişimi .....                    | 39 |
| Şekil 5.6. Düşü - devir sayısı grafiği .....                                   | 40 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Banki türbini deneysel çalışmaların özeti ..... | 12 |
| Tablo 3.1. Banki test türbini tasarım verileri .....       | 21 |
| Tablo 3.2. Banki test türbini boyutları .....              | 22 |
| Tablo 5.1. Test parametreleri .....                        | 36 |



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Banki Türbini, Mitchell Türbini, Ossberger Türbini, Çapraz Akışlı Türbinler, Türbin performans, Türbin verim

Bu çalışmanın amacı, net düşüsü az olan ülkemiz akarsularında çalışabilecek banki türbininin geliştirilmesidir. Akışkanlar mekaniği prensipleri yardımıyla tasarlanan, belirli su giriş açısındaki çark kanadının kullanıldığı, bir Banki türbininin debiye bağlı performans değerleri tespit edilmiştir. Türbinin çalışma koşullarının belirlenebilmesi için; Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. (TEMSAN) Genel Müdürlüğü Türbin Test Merkezi'nde kurulu çift emişli bir santrifüj pompanın beslediği test merkezinde, 20 metre düşü 400 l/sn debide çalışması için tasarlanan bir banki türbini testleri gerçekleştirilmiştir.

Test standında; 20 metre yükseklik ve 400 litre/sn çalışma koşullarında tasarlanan banki türbini; 10 m, 15 m, 20 m, 30 m ve 40 m yükseklik (düşü) ve değişken debilerde çalıştırılarak performans değerleri ölçülmüştür.

Suyun belirli bir giriş açısına bağlı olarak çark tasarımı yapılmış olup, türbinin tasarımıdaki çalışma koşulları ile testler sonrası elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Türbinin, tasarım değerlerindeki verimi ve ayrıca daha verimli çalışma noktaları tespit edilmiştir.

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE RELATED TO FLOW RATE AND THE BLADE ANGLE OF THE RUNNER IN BANKI TURBINES**

## **SUMMARY**

Keywords: Banki Turbine, Mitchell Turbine, Ossberger Turbine, cross-flow, efficiency of a banki

The purpose of this study is to develop the banki turbine which can work in our country which has low net head. The performance values related the flow rate of a Banki turbine, which are designed with the help of fluid mechanics principles, and used the runner blade at the specific water inlet angle, has been identified.

The operating conditions of the turbine has been determine in the Turbine Test Center, which fed by a double suction centrifugal pump installed in Turkey Electromechanical Industry Co. (TEMSAN). The Banki turbine test designed for operation at the head of 20 meters and a flow rate of 400 l/s was carried out in the test center.

Banki turbine, designed in 20 meter head and at 400 l/s flow rate operating conditions; The performance values were measured by operating at 10 m, 15 m, 20 m, 30 m and 40 m head and variable flow rates.

The runner design of the turbine has been compared according to the working conditions of the turbine and the results obtained after the tests. The efficiency of the turbine in design values as well as more efficient working points have been determined.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde, teknolojinin gelişmesine paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi de gün geçtikçe artmaktadır. Suyun sahip olduğu potansiyel enerjiyi türbinler aracılığıyla mekanik enerjiye, türbin miline bağlı alternatörler kullanılarak da elektrik enerjisine çeviren hidroelektrik santraller, yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük paya sahiptir. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla, işletmede bulunan 27.912 MW'lık kurulu güce sahip 636 adet Hidroelektrik Santral, Türkiye toplam kurulu gücünün %32'sine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte toplam kurulu gücün; %26,4'ü doğal gaz, %21,4'ü kömür, %7,7'si rüzgâr, %5,4'ü güneş, %1,3'ü jeotermal ve %5,8'i ise diğer kaynaklar şeklindedir [1, 2].

Ülkemiz akarsularından maksimum faydanın elde edilebilmesi için tasarımı yerli, daha verimli türbinlerin kullanılması ve ayrıca türbini oluşturan aksamaların iç piyasada imal ettirilmesi ile dışa bağımlılığın azaltılması amaçlanmaktadır.

Değişik hidroelektrik santrallerde kullanılan her türbinin çalıştığı, düşü ( $H_n$ ) ve debi ( $Q$ ) değerleri birbirinden farklıdır. Santraldeki türbinlerin projelendirilmesinde, suyun düşü ve debi bilgileri ana parametrelerdir. Türbin tipi seçimleri bu parametrelere göre yapılmaktadır. Türbin seçimlerinde, üreticilerinin kullandığı debi ve düşüye bağlı değişik diyagramlar mevcuttur.

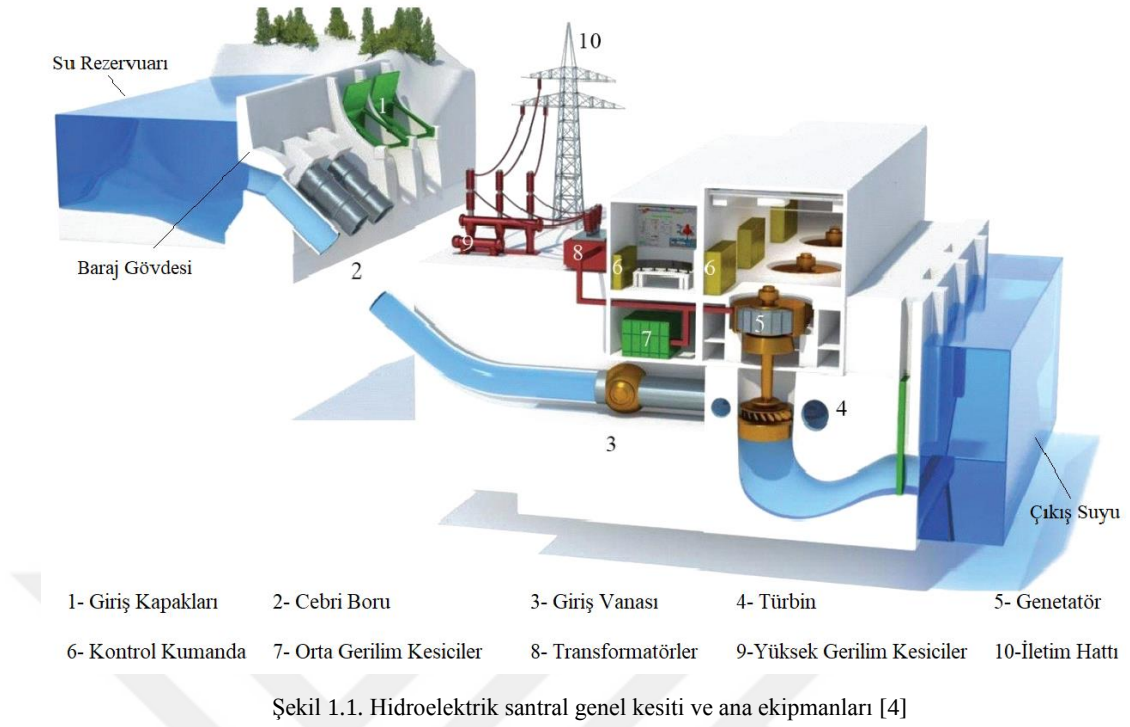
Ülkemizde bulunan ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından debileri yıllardır ölçülen çok sayıdaki küçük dere ve çayların su potansiyelinden faydalanılarak ülke ekonomisine kazandırılması, ayrıca küçük ölçekli tesislerin elektrik ihtiyacının

karşılanması için geniş düşü ve debi aralıklarında çalışabilen, tasarım ve imalat kolaylığı sayesinde maliyetleri az olan Banki tipi türbin kullanımının yaygınlaştırılması ve daha verimli türbinlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

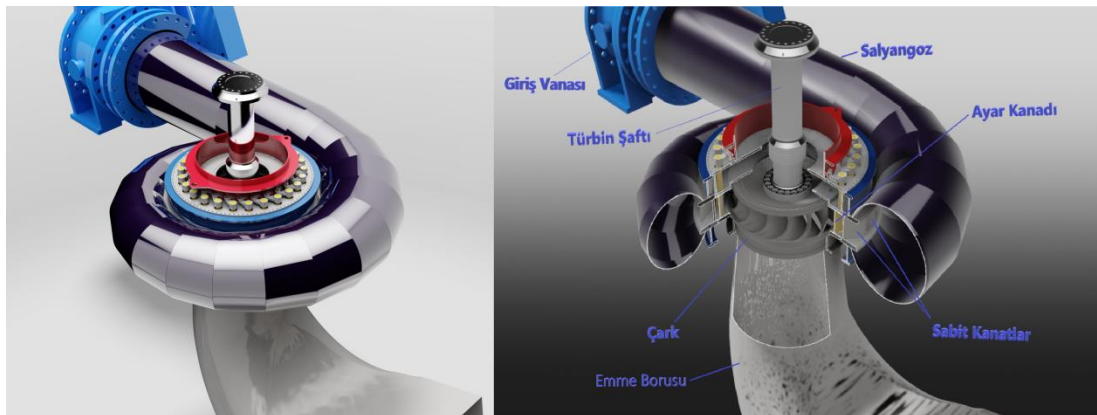
Bu tezde bir banki türbini deneysel olarak incelenecektir. Bu kapsamda TEMSAN bünyesinde kurulan ve Ar-Ge çalışmalarında kullanılan Türbin Test Merkezi olanaklarından faydalanılacaktır. Türbin test merkezi, özellikle aksiyon (impuls) tipi (Pelton, Banki ve Turgo) hidrolik mikro türbinlerin fonksiyon ve bu tip türbinlerin model testleri için yapılmıştır. İleride farklı tipte türbinlerin test edilebilmesi ve test merkezinin büyümesi düşünülerek projelendirilmiştir. Mevcutta yatay olarak konumlandırılmış asenkron generatör ile 500 kW güce kadar mikro türbinlerin fonksiyon ve pelton türbinlerin model testleri gerçekleştirilebilmektedir. İki adet pompa hattı ile değişken debi ve düşülerde test yapma imkânı sağlanmaktadır [3].

### **1.1. Hidroelektrik Santraller Hakkında Genel Bilgiler**

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi olayının bütünüdür. Hidrolik santraller, yükseklik farkının olduğu ve su potansiyelinin bulunduğu yerlerde, suyun borular veya kanallar vasıtasıyla alınarak, potansiyel enerjisinin türbinde mekanik enerjiye, mekanik enerjinin de türbin şaftına bağlı alternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü tesislerdir. Şekil 1.1.'de bir santralin kesiti ve santralde kullanılan ana ekipmanlar görülmektedir [4].



Su türbinlerinin tahrik ettiği generatörlerde üretilen elektrik enerjisi, 1891 yılında Oskar Von Miller tarafından enerji iletim hattı ile uzak yerlerdeki müşterilere nakledilebilmiştir. Ancak modern anlamda otomatik olarak yük-frekans ayarlaması yapılabilen Francis, Kaplan, Pelton ve diğer tipteki hidrolik türbinler 1920'lerden itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır [5]. Şekil 1.2.'de türbin genel görünüşü, türbin kesiti ve türbin ana ekipmanları gösterilmiştir.



## **1.2. Türbinlerin Sınıflandırılması**

Hidrolik türbinler, genellikle güçlerine, etki şekillerine ve özgül hızlarına göre sınıflandırılmaktadır. Ayrıca literatürde değişik sınıflandırmalarla da karşılaşılmaktadır.

### **1.2.1. Güçlerine göre türbinler**

Bir su türbini; 10MW güç ve üzerinde güç üretebiliyorsa büyük türbin, 10MW ile 1MW arasında güce sahip ise küçük türbin, 1MW ile 100kW güç arasındaki türbinler mini türbin, 100kW ile 5kW arası güçteki türbinler mikro türbin ve 5kW altındaki güçlerde çalışan türbinler, piko türbin olarak adlandırılmaktadır.

### **1.2.2. Etki şekillerine göre türbinler**

Aksiyon tipi türbinler ve reaksiyon tipi türbinler olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır.

Aksiyon türbinleri; türbin çarkında suyun kinetik enerjisinin kullanıldığı türbinlerdir. Bu türbinlerin çarklarında basınç düşmesi olmadığından çarkın giriş ve çıkışında basınç aynıdır. Suyun çıkış basıncı açık sistemlerde atmosfer basıncıdır. Pelton, Banki, Turgo türbinleri aksiyon tipi türbinler sınıfında yer almaktadır.

Reaksiyon türbinleri; Türbin çarkında suyun basınç (potansiyel) enerjisinin kullanıldığı türbinlerdir. Suyun çarkın girişindeki basıncı çıkışındaki basıncından daha büyüktür. Francis, Kaplan türbinleri reaksiyon türbinleri sınıfında yer almaktadır [6].

### 1.2.3. Özgül hıza göre türbinler

Özgül hız, 1m düşüde 1 beygir güç veren türbinin devir sayısıdır. HES için kullanılacak türbin tipini belirleyen en önemli iki tasarım parametresi düşü, debi ve devir sayısıdır. Benzerlik bağıntılarında bu üç parametre kullanılır ve bu değişkenlerden elde edilen, karakteristik bir büyüklük olan özgül hız ( $n_q$ ) aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 1.1) hesaplanmıştır.

$$n_q = n \left( \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_n^3}} \right) \quad (1.1)$$

$H_n$  : Net Düşü [m]

$Q$  : Debi [ $m^3/sn$ ]

$n$  : Devir Sayısı [d/d]

Bu denklem sonucunda; özgül hız d/dk biriminde hesaplanır. Ayrıca, bu denklemde özgül hızın tarifi gereği, ( $Q$ ) birimi [ $m^3/sn$ ], düşü ( $H_n$ ) birimi [m], devir sayısı ( $n$ ) birimi [d/d] olmalıdır. Özgül hız değerine göre türbinler aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar [6].

|         |          |                    |
|---------|----------|--------------------|
| $n_q =$ | 3 – 20   | Pelton veya Turgo  |
| $n_q =$ | 10 – 50  | Banki              |
| $n_q =$ | 15 – 35  | Yavaş Francis      |
| $n_q =$ | 35 – 60  | Orta hızlı Francis |
| $n_q =$ | 60 – 120 | Hızlı Francis      |
| $n_q =$ | 80 – 300 | Kaplan             |

### 1.3. Türbin Tipleri

#### 1.3.1. Francis tipi türbinler

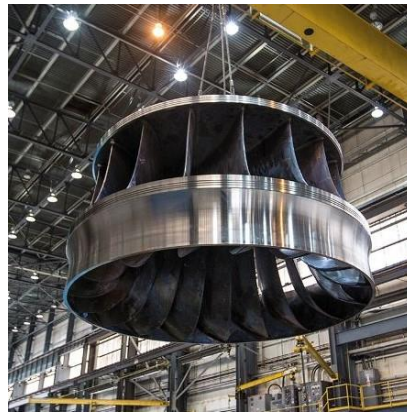
Francis tipi hidrolik türbinler ilk defa 1838 yılında Amerikalı Howd tarafından keşfedilmiş ve 1848 yılında yine Amerikalı James Francis tarafından geliştirilerek denenmiştir [5].

Bu tip türbinlerde, çark kanadının giriş ve çıkışındaki su basıncında bir düşme meydana gelir ve su basıncında meydana gelen bu düşme, suyun hızlanmasına neden olur. Dünyanın çeşitli yerlerinde Francis türbinlerinin, 20 m ila 750 m düşüler arasında çalışan birçok değişik tasarımı bulunmaktadır. Şekil 1.3.'de bir Francis türbinine ait çark gösterilmiştir.

Francis türbinlerinde su, salyangoz şeklindeki parçadan çark kanatlarına radyal doğrultuda yönlendirilir ve aksel doğrultuda yayıcı ile dışarı atılır [6].

Özgül hızları  $n_q = 15-120$  d/d arasında olan sularda genellikle Francis tipi türbinlerin kullanılması tercih edilmektedir. Francis türbinleri özgül hıza göre aşağıdaki şekilde gruplandırılırlar [7].

|         |          |                    |
|---------|----------|--------------------|
| $n_q =$ | 15 – 35  | Yavaş Francis      |
| $n_q =$ | 35 – 60  | Orta hızlı Francis |
| $n_q =$ | 60 – 120 | Hızlı Francis      |



Şekil 1.3. Francis türbin çarkı (\*Resim General Electric firmasından alınmıştır.)

### 1.3.2. Kaplan tipi türbinler

Kaplan tipi hidrolik türbinler 1912 yılında Prof. Dr. VIKTOR KAPLAN tarafından geliştirilmiştir. 1919'da İlk Kaplan türbini kurulmuştur. İlk türbin %84 civarında bir verimle çalışmasına rağmen daha sonra yapılan bazı kurulumlarda verimin düşmesi yeni bir problemi gündeme getirmiştir, kavitasyon. Bunun üstüne 1924-25'de İsveç'te kavitasyon konusunda detaylı araştırmalar yapılmış 1926'da ise LillaEdet'de ilk büyük Kaplan türbini inşa edilmiştir. Bu türbinden %92,5 mertebesinde bir verim elde edilmiştir [8].

Giriş ayar kanatları ve ayarlanabilir çark kanatları sayesinde iki kademeli ayarlanabilir bir yapıda olan Kaplan türbinleri, düşüşü az olan geniş aralıktaki debilerde çalışabilen akarsularda kullanılmaktadır. Düşüşü 1,5 metreden 50 metreye kadar olan her yerde kullanılabilir. Ancak en verimli çalışma düşüşleri 1,5 m – 15m arasında olup, 15 metrenin üzerindeki düşüşlerde verim azalmaya başlamaktadır. Şekil 1.4.'de bir kaplan türbin çarkı görülmektedir.



Şekil 1.4. Kaplan türbin çarkı [9]

### 1.3.3. Pelton tipi türbinler

Pelton tipi türbinler 1880 yılında Amerikalı Lester Pelton tarafından keşfedilmiş ve gelişmeleri günümüze kadar devam etmiştir. Pelton tipi hidrolik türbinler çok yüksek düşülerin ve küçük su debilerin olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Genellikle 120 metre ve üzeri düşülerde kullanılan pelton türbinlerinin 2000 metre düşüde çalışan projeleri bulunmaktadır.

Pelton tipi hidrolik türbinlerde nozuldan çıkan su, Pelton çarkının kepçelerine tegetsel olarak çarpar. Bu çarpma ile suyun kinetik enerjisi mekanik enerjiye dönüşmüş olur ve türbin çarkı döner. Türbin çarkının çevresindeki kepçelere suyun çarptırılması bir veya birkaç Pelton nozulu ile yaptırılabilir. Genellikle küçük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 1 veya 2 nozulu olmasına karşın, büyük güçlü Pelton tipi hidrolik türbinlerin 4 ila 6 adet nozulu bulunur.



Şekil 1.5. Pelton tipi türbin çarkı

## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Banki tipi türbinler Avusturyalı mühendis Antony Michell tarafından 1903 yılında keşfedilmiş ve türbinin tasarım patenti alınmıştır. 1917 yılında Macar Donat Banki, türbini geliştirerek parametrelerini belirlemiştir. Ossberger, 1933 yılında türbin patentini almış ve seri üretime geçmiştir.

Banki türbinler üzerine yapılan çalışmalarda türbin teorisi ilk kez Donat Banki tarafından tasarım patenti alınarak yayımlanmıştır [10].

1949 yıllarında Macmore ve Merryfield Banki türbini boyutlandırması ve testlerini yaparak grafikler elde etmiş, türbine ait tepe diyagramlarını oluşturmuşlardır. Çalışmalarında çark çapı 332,7mm, çark genişliği 305mm, kanat kalınlığı 6,4mm olan 20 kanatlı banki türbini kullanmışlardır. Çark merkezinden 2,74m yükseklikten 5,49m yükseklikteki düşülere kadar test yapmışlardır. Debi  $0,06 \text{ m}^3/\text{sn}$  düşü ve 4,88m de iken maksimum verime ulaşılabilmiş ve verim değeri %68 olarak hesaplanmıştır [11].

1959 yıllarında, Varga, J. Banki türbini deneysel çalışmasında, çark giriş açısı  $16^\circ$  olan ve 30 kanatlı çark kullanarak yaptığı testlerde maksimum %77 verim değerine ulaşmıştır [12].

1960 yıllarında Haimerl L.A., aynı şartlarda çalışan bir Banki türbini ile Francis tipi türbinin, yıllık toplam çalışma saatlerini karşılaştırmış ve Banki türbinlerin yıllık elektrik üretimlerinin fazla olduğunu belirtmiştir [13].

1970 yıllarında Durali, M., çiftlikler için küçük türbin tararımı üzerinde çalışmış, 24 kanatlı çark kullandığı türbinden %76 verim elde etmiştir [14].

1982 yıllarında Dakers, A. ve Martin, G., banki türbini geliştirmek üzere çalışmalar yapmışlar, 20 kanat kullandıkları türbinden %69 verim elde etmişlerdir [15]. Aynı yıllarda Johnson, W. ve arkadaşları 18 kanatlı çark kullandıkları banki türbinlerinde yaptığı teslerde %80 verime ulaştıklarını bildirmişlerdir [16]. Ayrıca Nakase, Y. ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarda kullandıkları 28 kanatlı çark ile %82 verim değerine ulaşmışlardır [17].

1983 yıllarında Verhaart P., tarafından yapılan çalışmalarda Banki Türbini kanat tasarımının pratik hesaplanabilmesi için yazılım geliştirmiştir [18].

1984 yıllarında Durgin ve Fay yaptıkları çalışmalarda kullandıkları 20 kanatlı çark ile yaptıkları testlerde %66 verim değerine ulaşmışlardır [19].

1985 yıllarında Hothersall R. yapmış olduğu çalışmalarda 21 kanatlı çark kullandığı banki türbininden %75 verim elde ettiğini bildirmiştir [20].

1988 yıllarında S. Khosrowpanah ve arkadaşları, çark kanadı sayısı, çark çapı, ayar kanadı giriş açısı, debi ve düşüyü değiştirerek çeşitli testler yapmışlardır. Toplam düşüsü 1,79m olan ve  $0,03\text{m}^3/\text{sn}$  debide çalışan türbin tasarladılar. Çark çapı 15,24cm ile 30,48cm arasında olan 4 adet türbin ile çalışmalarını yapmışlardır. Çark çapı 15,24cm olan türbinin çark kanadı giriş açısı  $30^\circ$  ve çıkış açısı  $90^\circ$ , çark kanat sayısı 20, 15 ve 10 adettir. Ayar kanadı genişlikleri eşit ancak giriş açısı 58, 78 ve 90 derece olan ayar kanatlarıyla testler yapmışlardır. Çalıştırılan 4 model türbin varyasyonlarından maksimum %80 verim elde edilmiş ve bu verimi etkileyen en büyük etkenin çark kanat sayısı olduğu belirtmişlerdir. Bu çalışmada optimum kanat sayısının 15 adet ve çark çapının 30,48cm olduğunu bildirmişlerdir [21].

1989 yıllarında Ott ve Chappell 20 kanatlı çark ile yaptıkları çalışmalarda banki türbininden %79 verim değerine ulaşmışlardır [22].

1989 yıllarında Fiuzat ve Akerkar Banki türbinlerini iki kademesinde gerçekleştiren olayları incelemiş ve kademelerde elde edilen güçleri tespit etmek için özel bir türbin ile deneyler yapmışlardır [23].

1990'lı yıllarda; Desai Venkappayya ve Aziz Nadim, Türbin verimini etkileyen geometrik parametrelerin incelenmesi için deneysel çalışma yapmışlardır. Çark kanat sayısı 15 ila 25 arasında değişen 3 adet türbin üzerinde yaptıkları çalışmalarda, çark kanadı giriş açısı 24 - 32 derece arasında değiştirilmiştir. Bu çalışmada çark kanadı sayısının arttırılması ile verimde artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Buna karşın, suyun giriş açısının 24 den 32 dereceye arttırılmasına rağmen türbin veriminin artmadığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen maksimum verim değeri % 87,5 olduğunu belirtmişlerdir [24].

Costa Pereira N.H., ve Borges S.E., ayar kanadında oluşan akışın verime olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. 25 kanatlı ve 10 kanatlı çarklar kullanarak yaptıkları deneylerde türbinin nozzle akışının etkileri geniş aralıktaki çalışma koşulları ve en verimli çalışma noktalarını tespit etmişlerdir [25].

Totapally, H. ve Aziz N. Totapally ve Aziz yaptıkları testlerde 35 kanatlı banki türbini kullanmışlar ve %90 verim değerine ulaşmışlardır [26].

V. Seshadri ve arkadaşları orta ve az düşülerde çalışan türbinin performans testlerini değerlendirmişlerdir. Bu testlerde, çark kanadı sayısı 8 ila 30 arasında değişen ve ayar kanadı giriş açısı  $23^{\circ}$  ila  $36^{\circ}$  arasında değişen türbinler kullanmışlardır. Optimum türbin ölçülerine çark genişliği 0,325m, çark çapı 0,3m ve kanat sayısı 20 olduğunu belirtmişlerdir. Belirli bir limite kadar çark kanadı sayısı arttırılmasıyla birlikte giriş açısının artmasının, türbin performansını iyileştirdiği sonucuna varmışlardır [27].

1998 yıllarında Olgun H. tarafından yürütülen deneysel çalışmada, çark giriş genişliği oranı ve çark çapı oranı gibi geometrik parametrelere bağlı olarak türbin verim değişimi incelenmiş ve dört ayrı değişik tipteki türbinlerle çalışmalar yapmıştır. Her birinde 28 adet çark kanadı bulunan, çark giriş açısı  $30^{\circ}$  ve çıkış açısı  $90^{\circ}$  değerinde olan çarklar kullanılan türbinlerle testler gerçekleştirmiştir. Çark iç çapından dış çapına, çap değişim oranı 0,54'den 0,75'e kadar çarklar kullanmış ve her bir türbin için, giriş açısı  $49^{\circ}$  ve  $104^{\circ}$  olan iki adet ayar kanadı kullanılarak testlerin yapıldığını

belirtmiştir. 8m'den 30m'ye kadar değişken düşülerde yaptığı testlerde en yüksek verim değeri %72 olarak elde etmiştir [28].

2011 yıllarında Kaya M.A., bir banki türbinini deneysel olarak incelemiş ve elde ettiği verilerden 12 kW güç üretebilen türbinin maksimum %51 verim değerine ulaştığını belirtmiştir. Testlerini değişik ayar kanadı ve sürgülü vana açıklıklarında tekrarlamış ayrıca hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile elde ettiği değerleri deneysel bulgularla karşılaştırmıştır [29].

2018 yıllarında Adhikari R., ve Wood D. bir banki türbini HAD analizi ile kanat sayısı ile verim değişimini incelemişlerdir. 0,53 kW güç üreten türbine ait analizlerde 35 kanat kullandıkları çarktan elde ettikleri verim değeri %89,87'dir [30].

Ayrıca daha önce yapılan diğer çalışmalardan elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Tablo 2.1.'de verilen sonuçlara göre; Totapally ve Aziz yaptıkları testlerde 35 kanatlı banki türbini kullanmışlar ve %90 verim değerine ulaşmışlardır.

Tablo 2.1. Banki türbini deneysel çalışmaların özeti

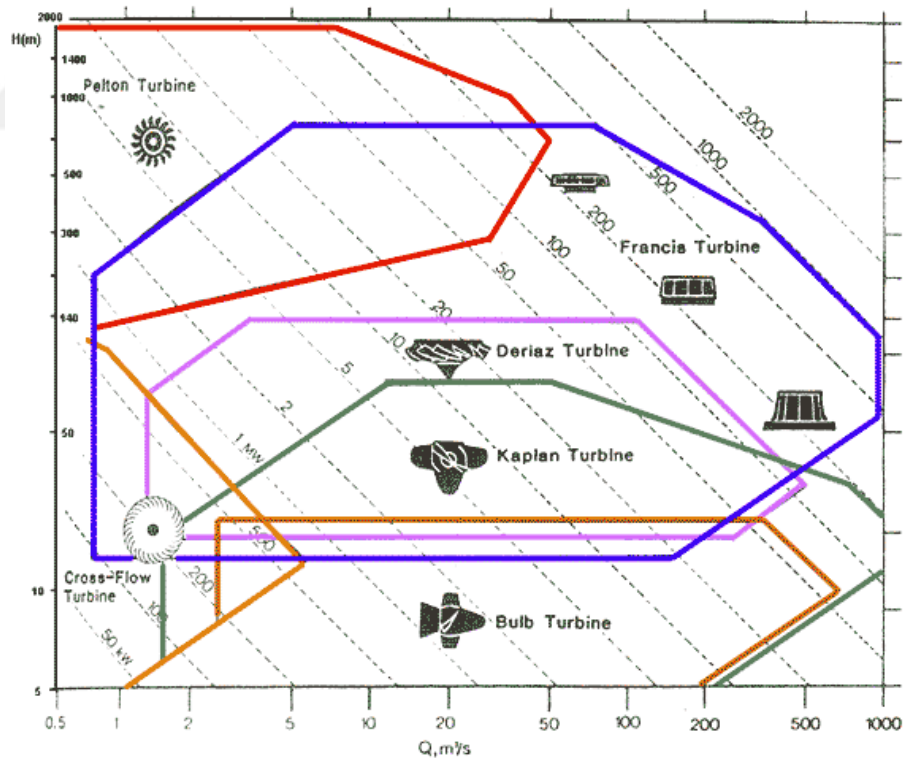
|                        | Giriş Açısı (°) | Kanat Sayısı (Z) | Verim (%) |
|------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| Macmore and Merryfield | 16              | 20               | 68        |
| Varga                  | 16              | 30               | 77        |
| Durali                 | 16              | 24               | 76        |
| Dakers and Martin      | 22              | 20               | 69        |
| Johnson and White      | 16              | 18               | 80        |
| Nakase et al.          | 15              | 26               | 82        |
| Durgin and Fay         | 16              | 20               | 66        |
| Khosrowpanah           | 16              | 15               | 80        |
| Horthsall              | 16              | 21               | 75        |
| Ott and Chappell       | 16              | 20               | 79        |
| Fiuzat and Akerker     | 20-24           | 20               | 89        |
| Desai                  | 22-32           | 30               | 88        |
| Totapally and Aziz     | 22-24           | 35               | 90        |

Bu çalışmada  $n_q=40$  özgül hızında olan bir banki türbinin farklı devir sayısı ve debilerde verimleri deneysel olarak elde edilmiştir.

## BÖLÜM 3. BANKİ TÜRBİNLERİ

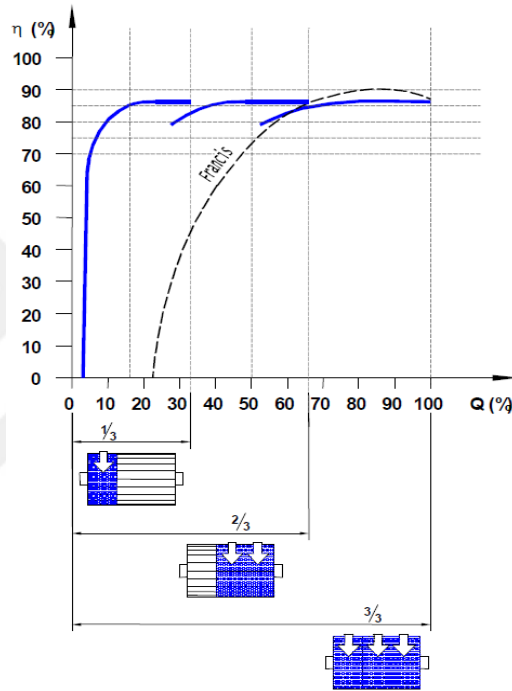
### 3.1. Genel Bilgiler

Banki türbinler, değişken debili küçük akarsularda geniş debi aralıklarında çalışabilmeleri, imalat kolaylığı ve maliyetlerin az olması nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 3.1.'de çeşitli türbinlerin debi ve düşüye bağlı olarak seçim diyagramı gösterilmektedir. Banki türbinleri (cross-flow turbine) 5 m<sup>3</sup>/sn debiye ve yaklaşık 120 metre düşüye kadar tercih edilebildikleri görülmektedir [31].



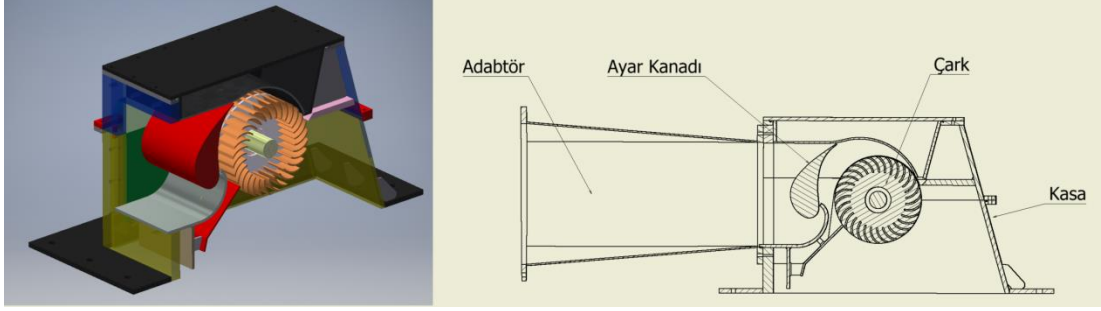
Şekil 3.1. Türbin seçim diyagramı [31]. (\*Diyagram Heinzmann HydroTech Private Limited, India'dan alınmıştır.)

5 ila 120 metre düşü aralığında,  $5 \text{ m}^3/\text{sn}$  debi sınırına kadar projelendirilmiş aynı debi, düşü ve çalışma koşullarındaki bir Francis türbini ile bir Banki türbininin verim grafiği karşılaştırması Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Verim diyagramları incelendiğinde Francis türbininin verimsiz çalıştığı veya çalışmadığı bölgelerde Banki türbinin çok daha verimli çalıştığı görülebilmektedir. Yıl içerisinde türbinin toplam çalışma saati göz önüne alındığında küçük dere ve akarsuların değişken debisine rağmen sürekli çalıştırılabilir olmaları nedeniyle Banki türbinler tercih edilmektedir.



Şekil 3.2. Banki türbini ile Francis türbini debiye bağlı verim eğrilerinin karşılaştırılması [32].

Şekil 3.3.'de bir Banki türbini oluşturan ekipmanlar gösterilmiştir. Ayar kanadı ve çark olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Ayar kanadı, suyun debisinin ayarlanarak, istenen güce ulaşılması için kullanılmaktadır. Türbin çarkı, belirli bir giriş ve çıkış açısına sahip, belirli eğrilik yarıçapında dairesel formdaki kanatlardan oluşmaktadır. Suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine çeviren generatöre ait milin dönmesi, çark vasıtası ile gerçekleşmektedir.



Şekil 3.3. Banki türbini oluşturan ekipmanlar ve genel görünüşü

### 3.2. Banki Türbini Tasarımı

#### 3.2.1. Temel tanımlar

Banki türbinlerin tasarımında ayar kanatlarından çarka giren su debisi ( $Q$ ) ve suyun net düşüşü ( $H_n$ ) ana parametreler olarak hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Aşağıdaki eşitlikte (Denkle 3.1) ( $H_n$ ) net düşüyü, ( $H_g$ ) suyun en üst seviyesinden türbine kadar olan yüksekliği, ( $H_k$ ) ise türbine kadar olan (boru, dirsek, sürtünme vb.) kayıpların toplamını ifade etmektedir.

$$H_n = H_g - H_k \text{ (m)} \quad (3.1)$$

Su debisinin ( $Q$ ) hesaplanmasında, aşağıdaki ifadede (Denklem 3.2) yer alan suyun akış hızı ( $V$ ) ve kanal veya boru kesit alanından ( $A$ ) faydalanılmaktadır.

$$Q = V \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3.2)$$

Etkin güç; santral genel veriminin ( $\eta_g$ ) (türbin, alternator, transformatörlerin verim değerlerinin yer aldığı) güç değeri aşağıdaki eşitlikle (Denklem 3.3) hesaplanabilir.

$$N_e = \rho \cdot g \cdot \eta_g \cdot H_n \cdot Q \text{ (W)} \quad (3.3)$$

Türbinden elde edilecek güç ( $N_t$ ), aşağıdaki eşitlikteki (Denklem 3.4) suyun yoğunluğuna ( $\rho$ ), yer çekimi ivmesine ( $g$ ), türbin verimine ( $\eta_t$ ), net düşüye ( $H_n$ ) ve debiye ( $Q$ ) bağlıdır.

$$N_t = \rho \cdot g \cdot \eta_t \cdot H_n \cdot Q \quad (W) \quad (3.4)$$

Benzerlik bağıntıları kullanılarak; maksimum verimde çalışan  $H_n=1$  m net düşüde ve  $Q=1$  m<sup>3</sup>/sn debide çalışan türbinin devir sayısına eşit, düşüsü ( $H_n$ ), debisi ( $Q$ ) ve devir sayısı ( $n$ ) olan ve maksimum verimde çalışan bir türbinin devir sayısına özgül hız denir. Aşağıdaki eşitlikten (Denklem 3.5) faydalanılarak bulunur ve ( $n_q$ ) ile gösterilmektedir.

$$n_q = n \left( \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_n^3}} \right) \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de; debinin ( $Q$ ) birimi [m<sup>3</sup>/sn], düşü ( $H$ ) - [m], devir sayısı ( $n$ ) - [d/d] olmalıdır.

Ayrıca etkin güç ( $N_e$ ) denklemi kullanılarak elde edilen özgül hız bağıntısı ( $n_s$ ) aşağıdaki gibidir (Denklem 3.6).

$$n_s = n \left( \frac{\sqrt{N_e}}{\sqrt[4]{H_n^5}} \right) \quad (3.6)$$

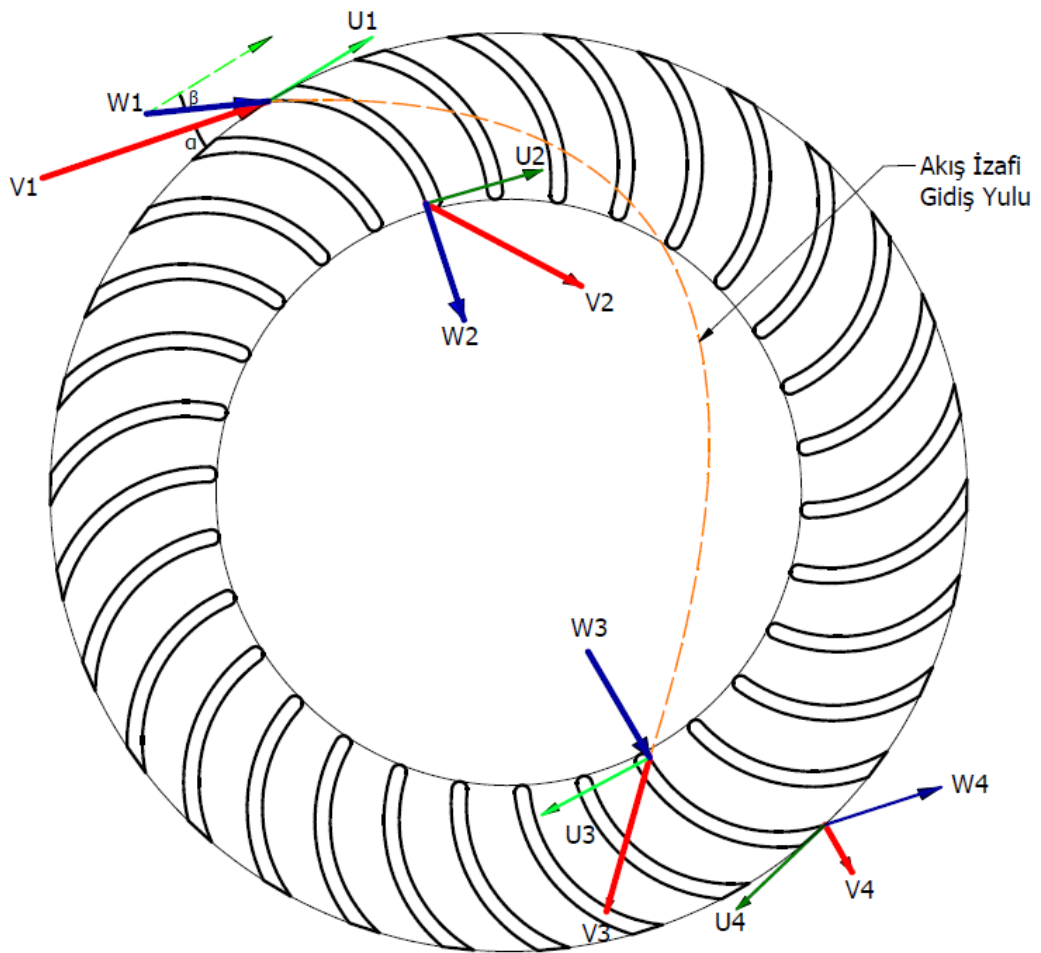
Yukardaki eşitlikte (Denklem 3.6); etkin gücün ( $N_e$ ) birimi– [BG], düşü ( $H$ ) - [m], devir sayısı ( $n$ ) - [d/d] olmalıdır.

### 3.2.2. Hız üçgenleri

Dönen bir çark kanadı üzerinde bir gözlemci olduğunu ve gözlemcinin çarktan sanki dikdörtgen sabit bir kanala bakarak akışı gözlemlediğini varsayalım. Çarktaki gözlemcinin, sabit kanal boyunca akan suyun hızına göre bir bağıl hızı ( $w$ ) vardır.

Ancak çark dışında duran sabit bir gözlemci, mutlak akış hızını ( $V$ ) görecektir. Bu iki hız bileşeninden çarkın çevresel hızı ( $u$ ) tanımlanabilir.

Mutlak hız ( $V$ ), bağıl hız ( $w$ ) ve çarkın çevresel hızı ( $u$ )'nun vektörel toplamı olarak ifade edilebilir. Hız vektörleri ( $u$ ) ve ( $V$ ) arasında kalan kanat açısı ( $\beta$ ), ve hız vektörü ( $V$ ) ile ( $u$ ) arasındaki mutlak hızın açısı ( $\alpha$ ) ile tanımlanmıştır. Akışkanın izafi gidiş yolu, çark kanadının şekline bağlı olarak belirlenir [33, 34]. Şekil 3.4.'de banki türbini çark kanadı üzerindeki hız üçgenleri ve akış izafi gidiş yolu gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Banki su türbini hız üçgenleri

Euler denklemleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikteki (Denklem 3.7) maksimum teorik düşü ( $H_{th}$ ) ifadesi elde edilir [34].

$$H_{th} = [(V_1^2 - V_4^2) + (u_1^2 - u_4^2) + (w_1^2 - w_4^2)]/2g \quad (3.7)$$

Türbin verimi de göz önüne alınırsa, türbinden elde edilecek teorik düşü ile net düşü ilişkisi aşağıdaki eşitlikte (Denklem 3.8) belirtilmiştir.

$$H_{th} = H_n \cdot \eta_t \quad (3.8)$$

Hız üçgenlerinden aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.9) elde edilir.

$$w^2 = u^2 + V^2 - 2uV \cdot \cos(\alpha) \quad (3.9)$$

(3.4), ve (3.5) Eşitlikleri, güç ifadesi (3.9) eşitliğinde yerine yazılırsa ve çarkın dönüş hızı sabit  $u_2=u_3$ ,  $V_2=V_3$ , ve  $\alpha_2=\alpha_3$  olduğundan (3.10) eşitliği elde edilir [21].

$$N_t = \rho g H_n \eta_t Q = \rho Q [u_1 \cdot V_1 \cdot \cos(\alpha_1) - u_4 \cdot V_4 \cdot \cos(\alpha_4)] \quad (3.10)$$

Maksimum verim aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.11) ile hesaplanmaktadır.

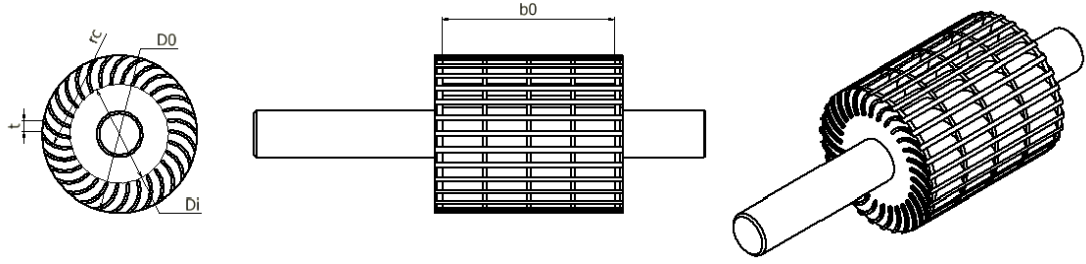
$$\eta_t = 0,5 \cdot C^2 \cdot (1 + \emptyset) \cdot \cos^2(\alpha) \quad (3.11)$$

Burada;  $(\alpha)$  giriş açısı maksimum verim için sıfır olmalıdır. Ancak bu durumda su geçişi mümkün olmadığından Banki türbinleri için bu değer  $16^\circ$  olarak alınmaktadır. C ve  $\emptyset$  değerleri ayar kanadı ve çark kanadı sürtünme katsayılarıdır ve 0,98 değeri alınmaktadır [11].

### 3.2.3. Banki türbini boyutları

Giriş genişliği ( $b_0$ ) aşağıdaki eşitliğinden (Denklem 3.12) elde edilir [35].

$$b_0 = \frac{Q \cdot \sqrt{H_n}}{q_{11} \cdot D_0} \quad (3.12)$$



Şekil 3.5. Banki türbini çarkı

Şekil 3.6.'da Banki türbini çarkı genel boyutları gösterilmiştir.

Çalışma karakteristikleri ( $H_n$ ), ( $Q$ ) ve ( $n$ ) olan bir turbo makina benzer olarak  $H_n=1$  metre net düşüde çalışan ve ayrıca çark çapı  $D_0 = 1$  metre olan turbomakinanın karakteristik büyüklükleri; karakteristik debi ( $q_{11}$ ) ve karakteristik devir sayısı ( $n_{11}$ ) ile gösterilir [36].

Banki türbinlerinde, karakteristik birim debi  $q_{11} = 0,92$  olarak alınmaktadır. Denklem (3.12) eşitliğinde çark çapı  $D_0 = 0,3$  metre alınarak yerine konulursa, giriş genişliği ( $b_0$ ), (3.13) eşitliğindeki gibi olur [35].

$$b_0 = 3,623 \frac{Q}{\sqrt{(H_n)}} \quad (3.13)$$

Devir sayısı ( $n$ ) ise (3.14) eşitliğinden elde edilir [35].

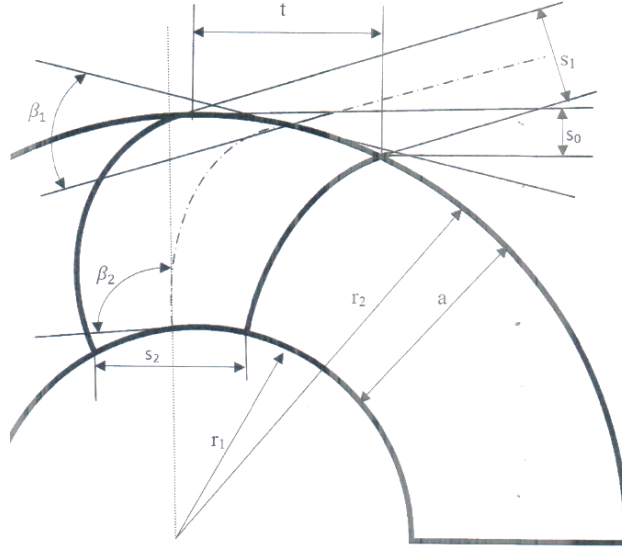
$$n = n_{11} \frac{\sqrt{(H_n)}}{D_0} \quad (d/d) \quad (3.14)$$

Banki türbinlerinde, karakteristik birim devir sayısı  $n_{11} = 40$  olarak alınmaktadır. (Denklem 3.14) eşitliğinde yerine konulursa, türbin devir sayısı ( $n$ ), aşağıda verilen eşitlikteki gibi olur (Denklem 3.15) [35].

$$n = 40 \frac{\sqrt{H_n}}{D_0} \quad (d/d) \quad (3.15)$$

Çark su jeti giriş genişliği (t) Şekil 3.5.'de gösterilmiş olup, (Denklem 3.16) eşitliğinden elde edilir [37].

$$t = 0,174.D_0 \quad (3.16)$$



Şekil 3.6. Banki türbini su jeti görünümü [11].

Çark kanadı genişliği (a), (Denklem 3.17) eşitliğinden elde edilmektedir [37].

$$a = 0,174.D_0 \quad (3.17)$$

Çark kanadı iç çapı (D<sub>i</sub>), aşağıdaki eşitlikten (Denklem 3.18) elde edilir [37].

$$D_i = D_0 - 2a \quad (3.18)$$

Literatürde yapılan çalışmalarda değişik sayıda çark kanadı sayısı ile testler yapılmıştır. Bu çalışmada çark kanadı sayısı (z) 30 adet olarak alınmıştır.

Çark kanadı formu yarıçapı (r<sub>c</sub>), (Denklem 3.19) eşitliğinden elde edilir [37].

$$r_c = 0,163.D_0 \quad (3.19)$$

Maksimum verimde su jeti kalınlığı ( $y$ ), (Denklem 3.20) eşitliğinden elde edilir [37].

$$y = 0,29D_0 \quad (3.20)$$

#### 3.2.4. Testlerde kullanılan Banki türbinin fiziksel ve geometrik büyüklükleri

Testi yapılan Banki türbini tasarımında, Donat Banki tarafından açıklanan teoriler kullanılmıştır. Testlerde kullanılan banki türbini TEMSAN tarafından imalatı yapılan ve aynı zamanda ticari ürün olarak kullanılan türbinlerdendir.

Türbin test merkezinde test edilen banki türbini ön tasarımı Tablo 3.1.'deki teorik verilere göre yapılmıştır.

Tablo 3.1. Banki test türbini tasarım verileri

| Düşü ( $H_n$ ) [m] | Debi ( $Q$ ) [l/sn] | Verim ( $\eta_i$ ) | Özgül Hız ( $n_q$ ) |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 20                 | 400                 | 70                 | 40                  |

Türbin gücü;

$$N_t = \rho g H_n \eta_t Q = (1000)(9,81)(0,4)(20)(0,7) \text{ [W]} \quad (3.21)$$

$N_t = 54,936 \text{ [kW]}$  olan banki türbininin performans testleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. Testte kullanılan banki türbini resimleri

Banki türbinlerin boyutlandırılması için Bölüm 3.2.3.'deki denklemler yardımıyla tasarlanan ve Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi imalatı yapılarak test edilen banki türbini boyutları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

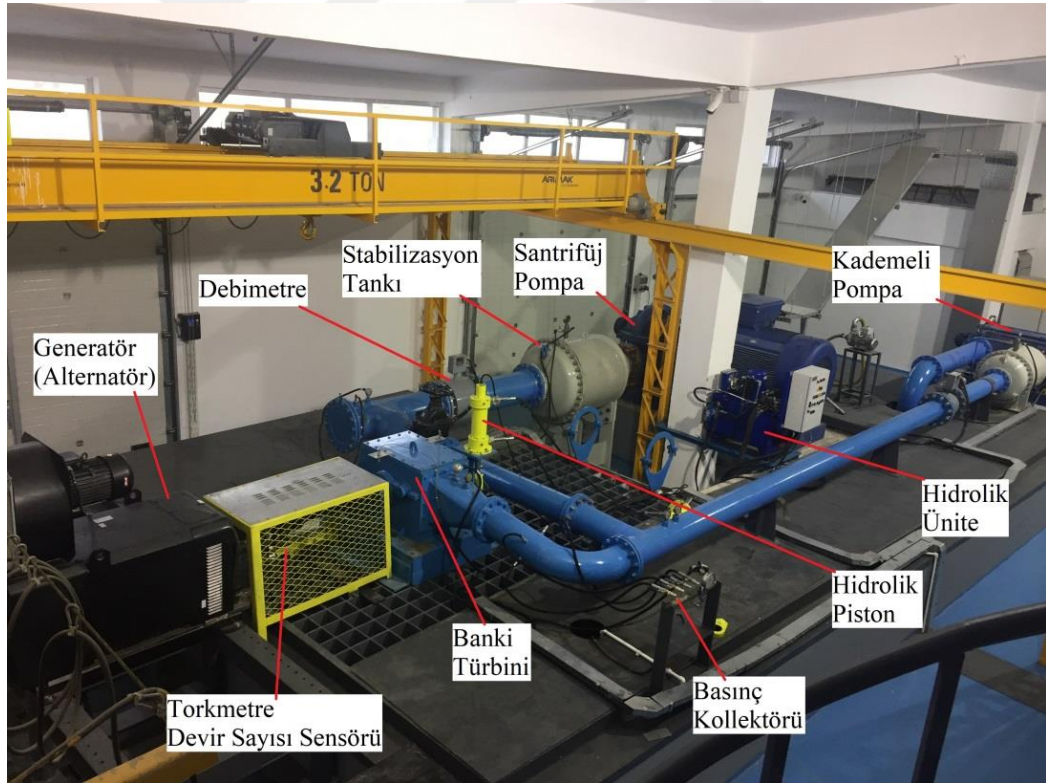
Tablo 3.2. Banki test türbini boyutları

|    |                              |              |     |
|----|------------------------------|--------------|-----|
| 1  | Debi                         | $Q$ [l/sn]   | 400 |
| 2  | Düşü                         | $H_n$ [m]    | 20  |
| 3  | Verim                        | $\eta_t$     | 70  |
| 4  | Türbin Gücü                  | $N_t$ [kW]   | 55  |
| 5  | Çark Dış Çapı                | $D_0$ [mm]   | 300 |
| 6  | Çark İç Çapı                 | $D_i$ [mm]   | 195 |
| 7  | Devir Sayısı                 | $n$ [d/d]    | 595 |
| 8  | Çark Genişliği               | $b_0$ [mm]   | 324 |
| 9  | Çark Kanadı Profili Yarıçapı | $r_c$ [mm]   | 49  |
| 10 | Çark Su Giriş Açısı          | $\alpha$ [°] | 16  |
| 11 | Bağıl Açısı                  | $\beta$ [°]  | 30  |
| 12 | Kanat Sayısı                 | $z$ [adet]   | 30  |
| 13 | Su Jeti Kalınlığı            | $y$ [mm]     | 87  |
| 14 | Özgül Hız                    | $n_q$        | 40  |

## BÖLÜM 4. TEST DÜZENİĞİ

### 4.1. Türbin Test Merkezi

TEMSAN özkaynakları ile kurulan türbin test merkezinde, yatay milli asenkron generatör ile 500 kW güce kadar Pelton, Banki ve Turgo mikro türbinlerin fonksiyon ve model testleri gerçekleştirilebilmektedir. İki adet pompa hattı ile değişken debi ve düşülerde test yapma imkânı sağlanmaktadır. Şekil 4.1.'de Türbin Test Merkezinin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.1. Türbin test merkezi

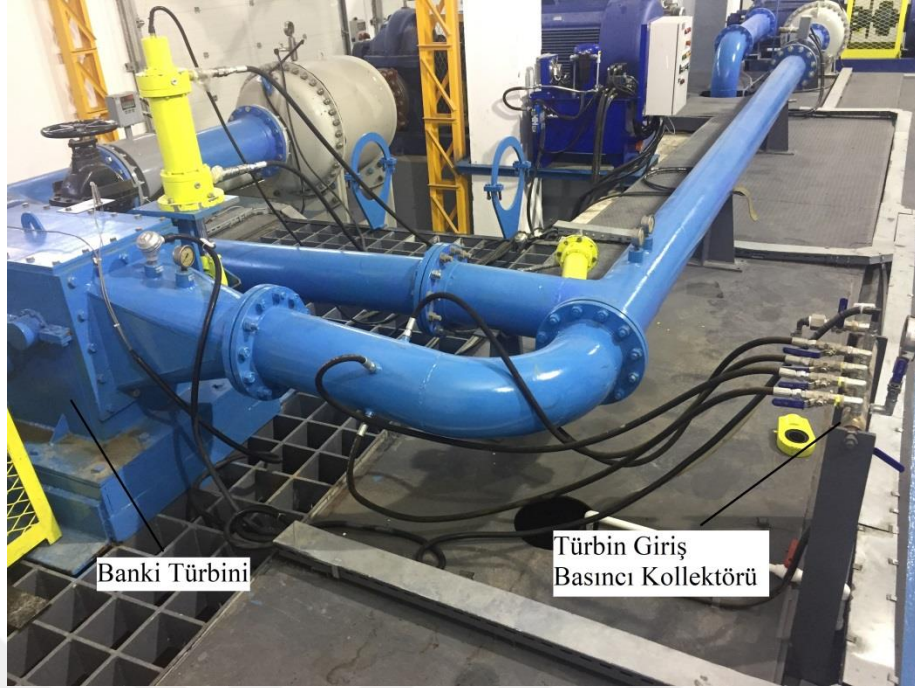
#### 4.1.1. Net Düşünün ölçülmesi

Sistemde düşü ölçümü, Şekil 4.2.'de görülen Keller marka PA-21Y model basınç sensörü kullanılarak yapılmaktadır. Basınç sensörü %0,25 doğrulukla ölçüm yapabilmektedir [Ek-A].



Şekil 4.2. Basınç sensörü ve kollektör

Şekil 4.3.'de görülen türbin giriş borusundan alınan 4 adet su hattı bir kollektörde toplanarak ortalama türbin giriş basıncına dönüştürülür ve bu basınç değeri sensör yardımıyla 4-20 mA aralığında analog sinyal olarak kontrol sistemine gönderilir. İstenilen düşü, yani basınç değeri pompaların frekansları değiştirilerek elde edilir. Ayrıca mekanik manometre yardımıyla türbin giriş basıncı kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.3. Türbin giriş basıncı ölçümü

#### 4.1.2. Debinin ölçülmesi

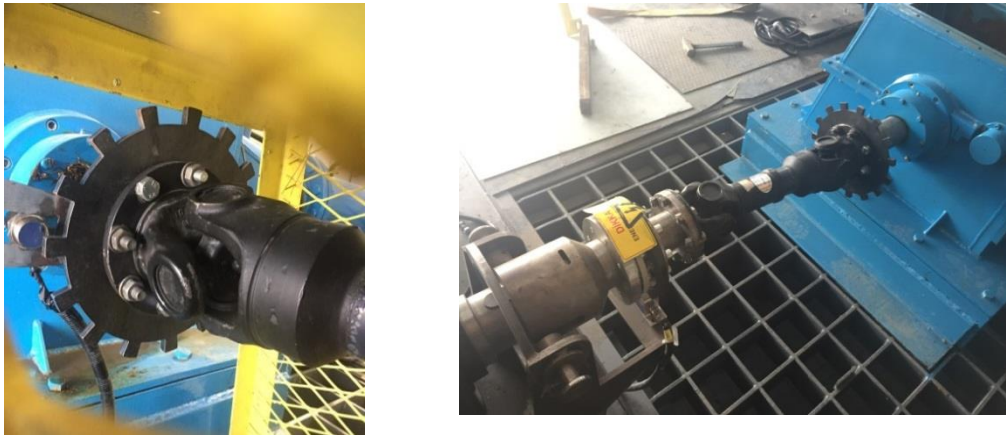
Türbin test sisteminde debi ölçümü için Şekil 4.4.'de görülen Modmag marka M2000 serisi manyetik debimetre kullanılmaktadır. Akış hızı 0,03 m/s ila 12 m/s aralığında ölçüm yapabilmekte, ekran yardımıyla üzerinden okunabilmekte ve ayrıca analog sinyal olarak kontrol sistemine değerler anlık iletilebilmektedir. Manyetik debimetreden geçen akışkanın hızı 0,5 m/s'den az olan durumlarda cihaz doğruluğu ( $\pm 1$  mm/s) olmaktadır. Akış hızı 0,5 m/s'den çok olan durumlarda ise cihaz doğruluğu, debinin ( $\% \pm 0,25$ )'ı kadar olmaktadır [EK-B].



Şekil 4.4. Manyetik debimetre

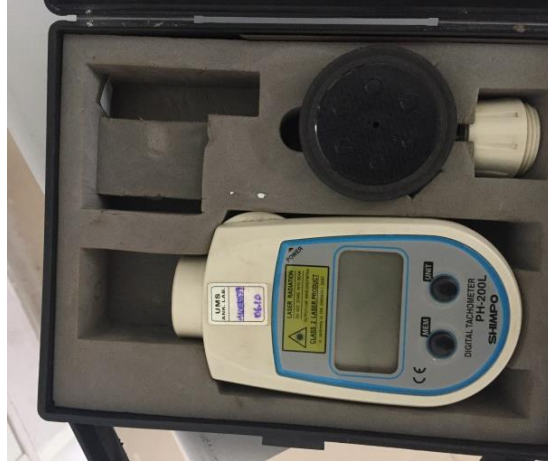
#### 4.1.3. Devir sayısının ölçülmesi

Sistemde devir sayısı ölçümü, Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi türbin mili üzerine bağlanan dişli çark ve sensör yardımıyla yapılmaktadır. Elde edilen sinyaller kontrol sistemine elektronik olarak iletilmektedir. Sinyaller control sistemindeki yazılım sayesinde devir sayısına dönüştürülür. Osisense marka xs630b1mbl2 model sensör kullanılmaktadır [Ek-C].



Şekil 4.5. Türbin devir sayısı ölçüm sistemi

Ayrıca Şekil 4.6.'daki PH 200LC-SEG marka lazerli devir okuyucu takometre ile de devir sayısı manuel olarak kontrol edilmektedir.



Şekil 4.6. Manuel devir sayısı okuyucu

#### 4.1.4. Mekanik tork ölçümü

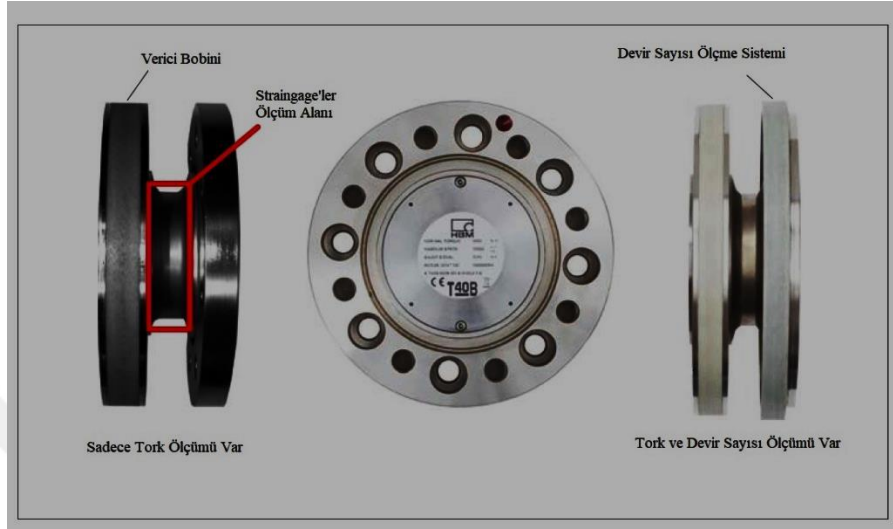
Türbin torku, Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi türbin miline bağlanan, dönen ve sabit iki parçadan oluşan torkmetre yardımıyla ölçülmektedir.



Şekil 4.7. Torkmetre türbin mili bağlantısı

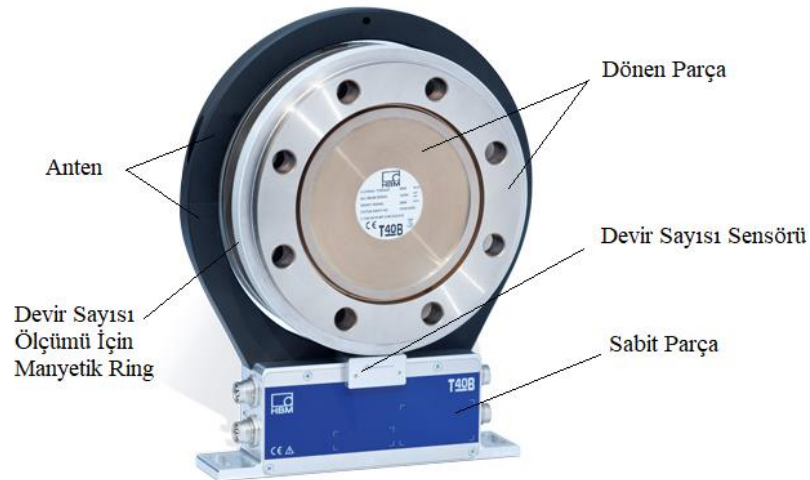
Şekil 4.8.'de gösterilen Torkmetrenin dönen parçası üzerinde, ölçüm gövdesi ve sinyal iletim elemanları bulunmaktadır. Ölçüm gövdesi üzerine strain gage'ler monte edilmiştir. Dönen parçadaki ölçüm sinyallerinin ve strain gage'lerde oluşan uyarım

geriliminin iletilmesi için bir elektronik devre merkeze yerleştirilmiştir. Ölçüm sinyallerinin ve ikaz voltajının temassız olarak iletilebilmesi için verici bobin ölçüm gövdesinin çevresinde yer almaktadır.



Şekil 4.8. Torkmetre dönen parça iç yapısı

Sinyaller Şekil 4.9.'da gösterilen anten yardımıyla gönderilir veya alınır. Anten, voltajın ve sinyal koşullarının ayarlanabildiği çember bir gövde içerisinde yer alır. Torkmetrenin sabit parçasında devir sayısı sensörü ve tork sinyali okuyucuları ile elektrik beslemeleri bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Torkmetre parçaları

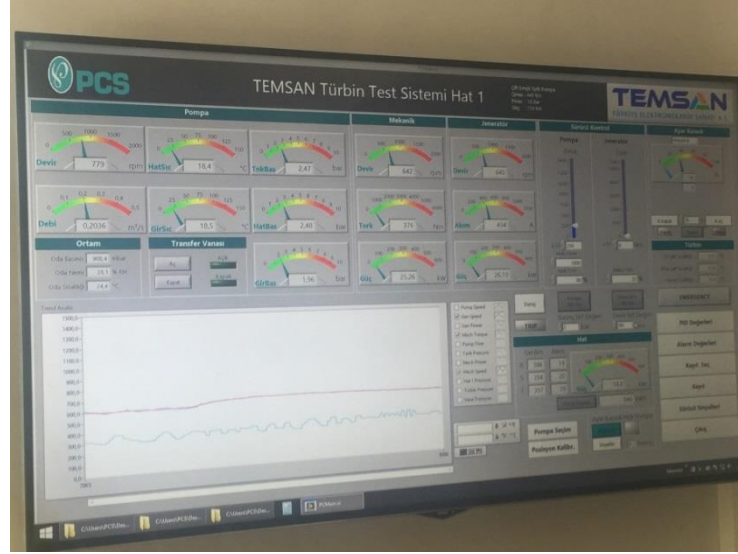
#### 4.1.5. Kontrol kumanda sistemi

Şekil 4.10.'da görülen kontrol ve kumanda sisteminde, test düzeneğinde kullanılan tüm ekipmanların elektronik olarak izlendiği ve kontrol edildiği bir yazılım ve donanım bulunmaktadır.



Şekil 4.10. Kontrol ve kumanda sistemi

Şekil 4.11.'de kontrol kumanda arayüz ekranı görülmekte olup, tüm veriler anlık olarak izlenebilmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Şebekeden çekilen güç, türbinin ürettiği güç gibi veriler de yazılım üzerinden okunabilmektedir.



Şekil 4.11. Kontrol kumanda ekranı

#### 4.1.6. Hidrolik ünite

Türbin ayar kanadının kontrolü, hidrolik yağ kullanılarak Şekil 4.12.'de gösterilen hidrolik üniteye basınçlandırılan yağın, Şekil 4.13.'de gösterilen ayar kanadı pistonuna iletilerek sağlanmaktadır. Kanat açıklığı oransal vanasının açılıp kapanması vasıtasıyla ayarlanarak istenilen debi elde edilir. Piston üzerinde ayar kanadı açıklığını kontrol sistemine bildiren konum sensörü bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Hidrolik ünite



Şekil 4.13. Ayar kanadı hidrolik pistonu

#### 4.1.7. Pompalar ve sürücüler

Türbin test merkezinde test edilecek türbinlerin, istenilen su yüksekliğinin sağlanması için pompalar kullanılmakta olup, iki adet test hattı bulunmaktadır. Birinci test hattında kullanılan ve Şekil 4.14.'de gösterilen 700 kW elektrik motoruna bağlı santrifüj pompa ile, 10 bar basınç (yaklaşık 100 m su yüksekliği) ve 445 l/sn debiye kadar,



Şekil 4.14. Santrifüj pompa grubu

ayrıca ikinci test hattında kullanılan ve Şekil 4.15.'de gösterilen 500 kW elektrik motoruna bağlı kademeli pompa ile, 22 bar basınç (yaklaşık 220 metre su yüksekliği) ve 150 l/sn debiye kadar türbinlerin testini yapabilme imkanı sağlamaktadır.



Şekil 4.15. Kademeli pompa grubu

Ayrıca her bir pompa hattında akışın düzenlenmesi türbilansın azaltılması amacıyla özel tasarım stabilizasyon tankları kullanılmaktadır.

Test merkezinde kullanılan Şekil 4.16.'daki sürücü ve inventörler yardımıyla pompa motorlarının frekansları değiştirilerek pompaların devir sayıları ayarlanır ve böylece testi yapılacak türbinin su yüksekliği istenilen değerlere getirilmektedir.



Şekil 4.16. Pompa sürücü ve inventörleri

#### 4.1.8. Alternatör (generatör)

Türbin test merkezinde türbin miline bağlı, 580 kW'a kadar güç üretebilen 1000 d/d dönme hızında Comer marka Powertec Tetravec model asenkron Generatör kullanılmaktadır. Şekil 4.17.'de Generatör ve türbin bağlantılı olarak görülmektedir.



Şekil 4.17. Generatör (alternatör)

#### 4.2. Deneyin Yapılışı

Türbin test merkezinde kullanılan otomasyon sistemi sayesinde anlık olarak, türbin giriş basıncı (türbin düşüşü), türbine giren debi miktarı, ayar kanadı açıklığı, mekanik tork, türbin devir sayısı verileri aynı anda okunmakta ve kayıt altına alınmaktadır. Bunlara ek olarak oda basıncı, oda nemi, oda sıcaklığı, türbin yataklarının sıcaklığı, pompa yataklarının sıcaklığı, havuz suyunun sıcaklığı, hat suyu sıcaklığı, stabilizasyon tankı basıncı, hat basıncı ölçümleri yapılmaktadır.

Test edilecek türbin, havuz üzerinde bulunan ızgaralara sabitlenir, tork metre bağlantısı ile türbin - generatör mil bağlantıları ve devir hızı sensörü bağlantısı yapılır. Pompa hattı, türbin adaptörüne bağlanır. Ayrıca hat üzerinde bulunan enstürmanların, debimetrenin ve gerekli ölçüm cihazlarının bağlantıları da yapılır.

Santrifüj pompa ilk olarak düşük hızlarda döndürülerek hat ve sistem kontrol edilir. Daha sonra kontrol sistemi yazılımına istenen ayar kanadı açıklığı değeri, türbin giriş basıncı değeri ve devir sayısı değeri manuel olarak girilir. Kontrol ve kumanda sistemi yazılımı, otomatik olarak pompa devrini değiştirerek istenen türbin giriş basıncı değerine ve türbin devir sayısı değerine türbini getirir.

Testi yapılan banki türbini, 10m, 15m, 20m, 30m ve 40m düşüde ve her düşü için %20, %25, %30, %35, %40, %45, %50 ayar kanadı açıklığında çalıştırılarak belirli bir süre beklenilmiş, türbinin çalışma noktaları tespit edilmiştir. Her bir yükseklik için, her bir ayar kanadı açıklığında elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

### 4.3. Hata Analizi

#### 4.3.1. Kline-McClintoc yöntemine göre hata analizi

Test düzeneğinin Kline-McClintoc yöntemine göre hata analizi yapıldığında;

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

Etkin güç ( $N_e$ ) hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikte (Denklem 4.1) debimetre ve manometreden elde edilen debi ( $Q$ ) ve düşü ( $H_n$ ) değerler kullanılmaktadır. Suyun yoğunluğu ( $\rho$ ), yer çekimi ivmesi ( $g$ ) ve genel verim ( $\eta_g$ ) sabit kabul edilmiştir.

$$N_e = \rho g H_n \eta_g Q \quad (4.1)$$

Tasarım değerlerine göre;

|                                                        |                        |                  |
|--------------------------------------------------------|------------------------|------------------|
| $Q = 400 \text{ [l/sn]} = 0.4 \text{ [m}^3\text{/sn]}$ | $w_Q = \pm \% 0,25$    | (Debimetre Hata) |
| $H_n = 20 \text{ [m]}$                                 | $w_{Hn} = \pm \% 0,25$ | (Manometre Hata) |
| $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$                  |                        | (Sabit)          |
| $g = 9,81 \text{ [m/sn}^2\text{]}$                     |                        | (Sabit)          |
| $\eta_g = 0,70$                                        |                        | (Sabit)          |

$$N_e = (1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}).(9,81 \text{ [m/sn}^2\text{]}).(0,70).(20 \text{ [m]}).(0.4 \text{ [m}^3\text{/sn]}) = 54.936,00 \text{ [W]}$$

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial N_e}{\partial Q} w_Q \right)^2 + \left( \frac{\partial N_e}{\partial H_n} w_{Hn} \right)^2 \right]^{1/2} = [(\rho \cdot g \cdot \eta_g \cdot H_n \cdot w_Q)^2 + (\rho \cdot g \cdot \eta_g \cdot Q \cdot w_{Hn})^2]^{1/2}$$

$$w_R = [(343,35)^2 + (6,867)^2]^{1/2} = 343,42$$

$$w_R/N_e = 343,42 / 54936 = \pm \% 0,6$$

#### 4.3.2. Akılcı yaklaşım metoduna göre hata analizi

Test merkezinin akılcı yaklaşım metoduna göre hata analizi (Denklem 4.1);

$$N_e = \rho g H_n \eta_g Q \text{ [Watt]} = (1000).(9,81).(0,70).(20).(0,4) = 54.936,00 \text{ [Watt]}$$

Pozitif hatalara göre;

$$N_e = (1000).(9,81).(0,70).(20+0,0025).(0,4+0,0025) = 55.286,26 \text{ [Watt]}$$

Negatif hatalara göre;

$$N_e = (1000).(9,81).(0,70).(20-0,0025).(0,4-0,0025) = 54.585,83 \text{ [Watt]}$$

Hata Yüzdeleri;

$$55.286,26 - 54.936,00 = 350,26 \quad \text{ise hata oranı} \quad + \% 0,64$$

$$54.585,83 - 54.936,00 = -350,17 \quad \text{ise hata oranı} \quad - \% 0,64$$

## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

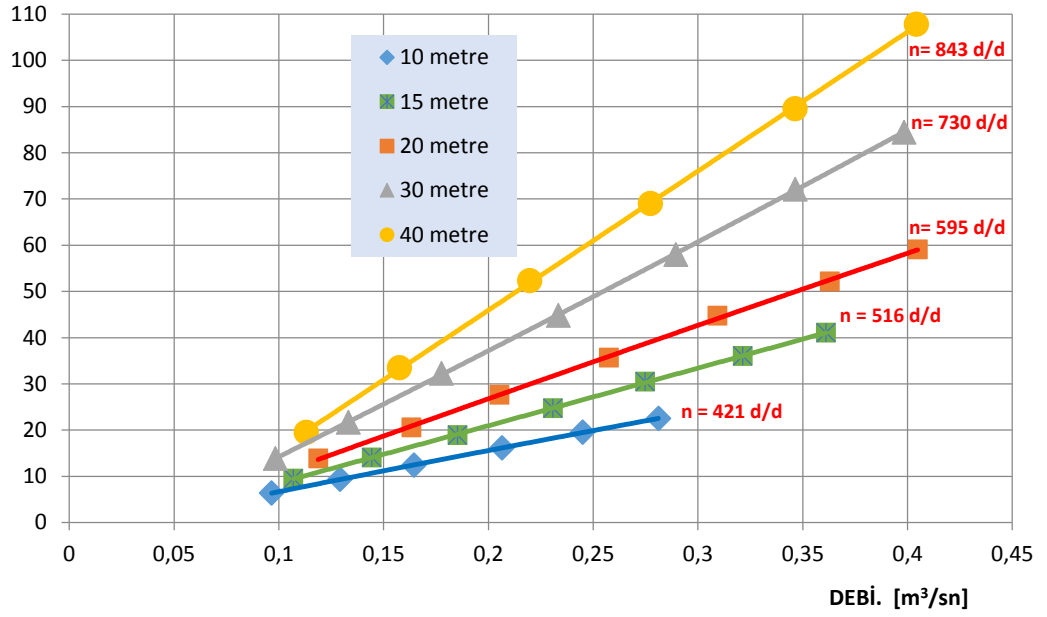
Bu çalışmada 400 lt/sn debide ve 20 m düşüde çalışmak için tasarlanan, özgül hızı  $n_q=40$  olan bir banki türbinine ait deneyler yapılmıştır. Benzerlik eşitliklerinden faydalanılarak özgül hız sabit kalacak şekilde farklı düşüler (10m, 15m, 20m, 30m, 40m), bu düşülere karşılık gelen farklı devir sayılarında ve debide, performans testleri yapılarak verim açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 5.1.'de aynı aynı özgül hız için, benzerlik denklemlerinden elde edilen debi, devir sayısı ve net düşü değerleri gösterilmiştir. Bu değerler deney esnasında kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Test parametreleri

| Düşü<br>(H)<br>[m] | Devir Sayısı<br>(n)<br>[d/d] | Debi<br>(Q)<br>[m <sup>3</sup> /sn] | Güç<br>(N <sub>e</sub> )<br>[kW] | Güç<br>(N <sub>e</sub> )<br>[BG] | Özgül Hız<br>(n <sub>s</sub> ) | Özgül Hız<br>(n <sub>q</sub> ) |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 10                 | 421                          | 0,28                                | 22,50                            | 30                               | 129                            | 40                             |
| 15                 | 516                          | 0,36                                | 44,05                            | 55                               | 129                            | 40                             |
| 20                 | 595                          | 0,40                                | 59,06                            | 80                               | 126                            | 40                             |
| 30                 | 730                          | 0,40                                | 84,43                            | 113                              | 110                            | 36                             |
| 40                 | 843                          | 0,40                                | 107,75                           | 145                              | 100                            | 33                             |

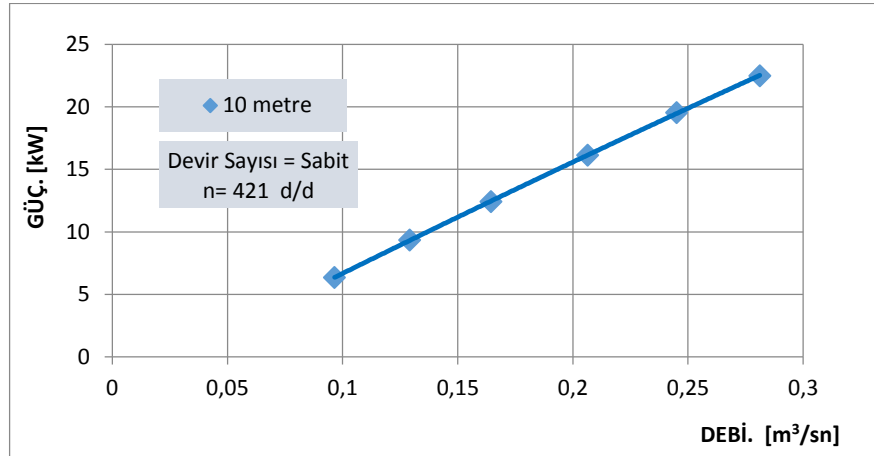
Deneysel çalışma esnasında, 10m düşü için, devir sayısını sabit tutarak, ayar kanadı açıklığı %20, %25, %30, %35, %40, %45 ve %50 oranında açılarak değişken debilerde türbinden elde edilen debiye bağlı güç değişimi grafiği şekil 5.1.'de verilmiştir. Debinin oransal olarak artmasıyla birlikte türbin gücünün arttığı görülmüştür. Şekil 5.1.'de verilen, debiye bağlı güç değişim grafiği elde edilmiştir. Yapılan deneyler sırasında maksimum devir sayısının 40 metre düşü için 843 d/d olduğu, pompa kapasitesi nedeniyle maksimum debinin 0,4 m<sup>3</sup>/sn olduğu görülmüştür. Deney sırasında düşünün artması ile birlikte devir sayısının ve gücün arttığı tespit edilmiştir.

GÜÇ. [kW]



Şekil 5.1. Debiye Bağlı Güç Değişimi (10m, 15m, 20m, 30m, 40m Düşülerde)

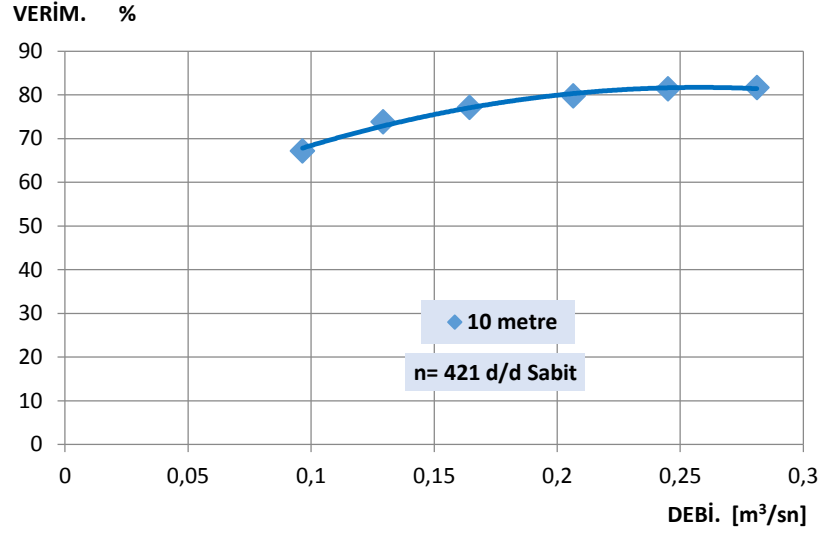
Ancak özgül hızın sabit tutulması ve benzerlik oranları nedeniyle, minimum düşüde elde edilebilecek debinin maksimum 0,28 m³/sn olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle minimum düşüde elde edilecek olan maksimum gücün de 22,5kW olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. H=10m düşüde, debiye bağlı güç değişimi

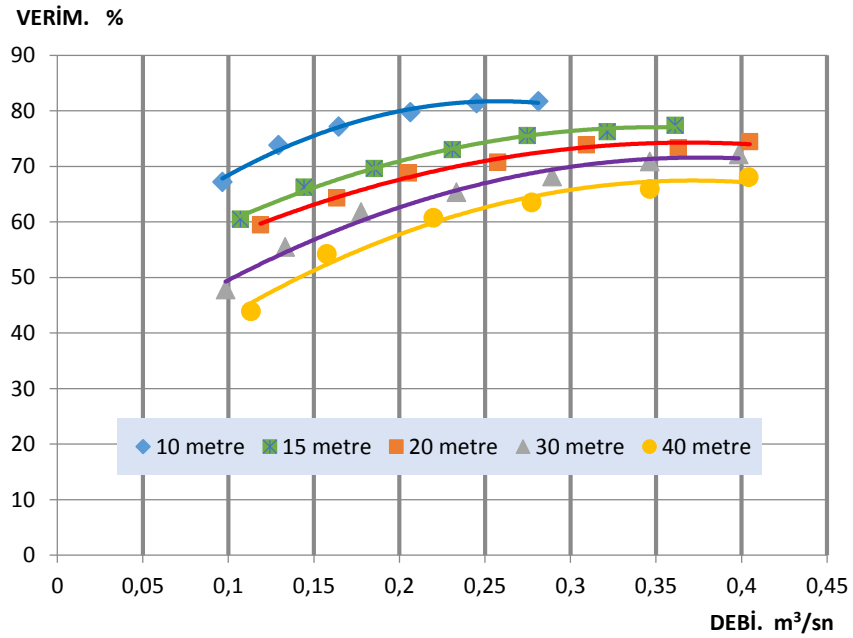
Bir türbinin ürettiği gücün, hesaplanan teorik güce oranı, türbin verimi olarak bilinmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sırasında her ne kadar en düşük debi

değerinde çalışmasına rağmen, en yüksek verimin 10 metre düşüde olduğu görülmüştür. Şekil 5.3.'de 10m düşüde çalışan türbinin, debiye bağlı verim grafiği görülmektedir.



Şekil 5.1. H=10m düşüde debiye bağlı verim değişimi

Farklı düşülerde (15m, 20m, 30m, 40m ) çalıştırılan banki türbininin debiye bağlı verim grafikleri Şekil 5.4.'de verilmiştir.

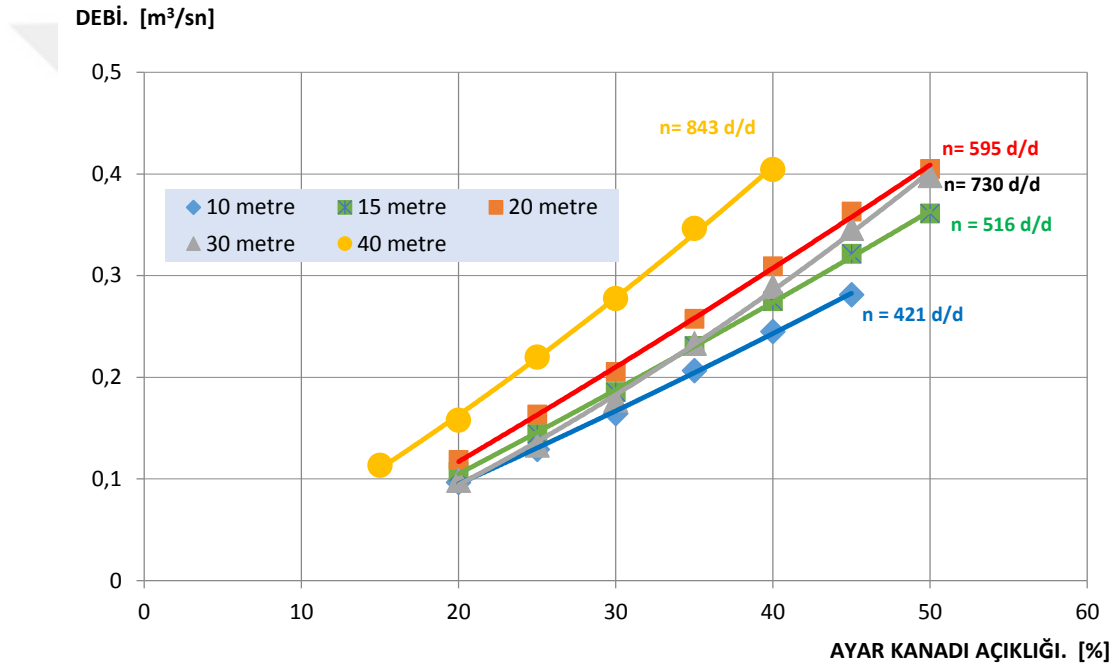


Şekil 5.2. Debiye Bağlı Verim Grafiği (10m, 15m, 20m, 30m, 40m Düşülerde)

Farklı düşülere ait verim grafikleri incelendiğinde düşünün artmasıyla birlikte türbin veriminin azaldığı anlaşılmıştır. En yüksek verimin 10m düşüde en düşük verimin,

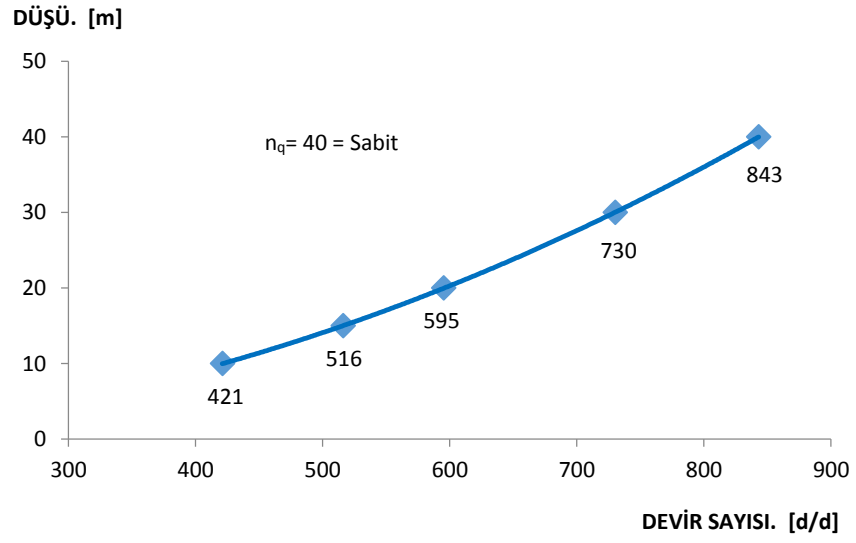
40m düşüde meydana geldiği görülmektedir. Ancak en yüksek verim değerinin meydana geldiği 10m düşüde özgül hızın sabit olması ve benzerlik oranları nedeniyle türbinn daha yüksek debilerde çalıştırılmadığı anlaşılmıştır. Grafiklerden anlaşılabacağı üzere optimum verimin tasarım değeri olan 20 metre düşüde % 74,5 olarak gerçekleştiği anlaşılmıştır. 20 metreden daha düşük düşülerde verimin yüksek olmasına rağmen türbinin çalışma şartlarının kısıtlandığı anlaşılmıştır.

Farklı düşülerde çalıştırılan banki türbininin ayar kanadı açıklığına bağlı debi değişimi grafiği Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Ayar kanadı açıklığına bağlı debi değişimi (10m, 15m, 20m, 30m, 40m düşülerde)

Farklı düşülerde çalıştırılan banki türbininin, düşü ve devir sayısı değişimi grafiği Şekil 5.6.'da verilmiştir. Benzer ayar kanadı açıklık oranında, düşü arttıkça geçen debinin arttığı gözlemlenmiştir. 40m düşüde en yüksek debi geçişinin olduğu görülmüştür.



Şekil 5.6. Düşü - devir sayısı grafiği

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre düşünün artmasıyla birlikte devir sayısının arttığı, özgül hız sabit kalmak kaydıyla minimum devir sayısının 421 d/d, maksimum devir sayısının ise 843 d/d olduğu görülmektedir.

## BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan testler neticesinde düşük düşülerde çalıştırılan banki türbini verimi, yüksek düşülerde çalıştırılan banki türbininin verimine kıyasla giderek azaldığı, 10 metre düşüde maksimum verim değeri olan % 81,4 değerine ulaşılmasına rağmen, debinin  $0,28 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerini geçemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca 40 metre düşüde türbinin, maksimum % 68 verimde çalıştığı ölçülmüştür.

Testi yapılan Banki türbini, 15 metre düşüde çalıştırıldığında, türbinden maksimum  $0,36 \text{ m}^3/\text{sn}$  debi ancak geçebilmiştir. Verim değeri maksimum % 77,4 olarak ölçülmüştür.

Test merkezinde kullanılan santrifüj pompanın maksimum basma debisi  $0,44 \text{ m}^3/\text{sn}$  olması nedeniyle banki türbini testleri en fazla  $0,4 \text{ m}^3/\text{sn}$  debi değerine kadar yapılabilmektedir.

Tasarım verileri 20 [m] düşü,  $0,4 \text{ m}^3/\text{sn}$  debi ve verim değeri %70 olarak alınan türbinin imalatı sonrasında yapılan deneylerden elde edilen verim değerinin % 74,5 olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle tasarım çalışmalarında kabul edilen büyüklüklerin, yaklaşımların ve hesaplamaların doğru olduğu anlaşılmıştır.

Deney sistemde kullanılan pompa maksimum debisinin yetersiz olması nedeniyle 30m ve 40m düşü için tüm deneyler yapılamamıştır. Bu nedenle daha yüksek kapasiteli bir pompa kullanılmasının uygun olacağı anlaşılmıştır.

İlerde yapılacak çalışmalarda türbin çark tasarımının veya farklı kanat açıları için yeni tasarımların denenmesi mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik.>, Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- [2] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik.>, Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- [3] <http://www.temsan.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/AR-GE-Calismalari.>, Erişim Tarihi: 31.10.2018.
- [4] <https://nonstopengineering.blogspot.com/2015/12/typical-layout-of-hydro-power-plant.html.>, Erişim Tarihi: 31.10.2018.
- [5] Bařeřme H., Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, Ankara 2003.
- [6] Ozer E.O., Bir Banki Türbininde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Verim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Tek. Ens., 2011.
- [7] zbay, E., Gençoęlu, M.T., Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2009, Diyarbakır, s.108-115.
- [8] Ozturk E., Bir Mikro Hidro Türbinin Tasarımı Analizi Ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2012.
- [9] Kuhl K., Lai K., Lainel D., Kaplan Turbine, Term Project Colorado State University, 2014.
- [10] Banki D., A New Water Turbine, Ges. Turbinenwesen, 1918.
- [11] Macmore C.A., and Merryfield F., The Banki Water Turbine, Engineering Experiment Station, Oregon State Collage, 1949.
- [12] Varga, J. Tests with the Banki water turbine. Acta Tech. Acad. Hung. 1959, 26, 79–102.
- [13] Haimerl, L.A., The Cross-Flow Turbine Water Power, 1960: p. 5-13.

- [14] Durali, M. Design of Small Water Turbines for Farms and Small Communities. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1976.
- [15] Dakers, A.; Martin, G. Development of a Simple Cross-flow Water Turbine for Rural Use. In Agricultural Engineering Conference 1982: Resources, Efficient Use and Conservation; Preprints of Papers; Institution of Engineers, Canberra, Australia, 1982; p. 35.
- [16] Johnson, W.; White, E.R.; White, F. Design and testing of an inexpensive crossflow turbine. In Small Hydropower Fluid Machinery; ASME: New York, NY, USA, 1982.
- [17] Nakase, Y.; Fukutomi, J.; Watanabe, T.; Suetsugu, T.; Kubota, T.; Kushimoto, S. A study of Cross-Flow turbine (Effects of nozzle shape on its performance). In Proceedings of the Winter Annual Meeting ASME, Phoenix, AZ, USA, 14–19 November 1982; Volume 1419.
- [18] Verhaart P., Blade Calculations For Water Turbines Of The Banki Type, Eindhoven University of Technology, 1983.
- [19] Durgin, W.; Fay, W. Some fluid flow characteristics of a cross-flow type hydraulic turbine. In Small Hydro Power Fluid Machinery; ASME: New York, NY, USA, 1984; pp. 77–83.
- [20] Hothersall, R. “A review of the cross-flow turbine. In Waterpower ’85, Proceedings of the International Conference on Hydropower Las Vegas, NV, USA, 25–27 September 1985; ASCE: New York, NY, USA, 1985.
- [21] Khosrowpanah S., Fiuzat A. A., and Alberston M. L., Experimental study of cross-flow turbine, Journal of Hydraulic Engineering, 1988.
- [22] Ott, R.F.; Chappell, J.R. Design and efficiency testing of a cross-flow turbine. In Waterpower’89, Proceedings of the International Conference on Hydropower, Niagara Falls, NY, USA, 23–25 August 1989; ASCE: New York, NY, USA, 1989; pp. 1534–1543.
- [23] Fiuzat A.A., ve Akerkar B.P., The use of interior guide tube in crassflow turbine, Waterpower. ASCE 1989, P:111-1119.
- [24] Venkappayya R. Desai and Nadim M. Aziz. An experimental investigation of cross-flow turbine efficiency. Journal of Fluids Engineering, 1994.
- [25] Costa Pereira N.H., ve Borges S.E., Study Of The Nozzle Flow In A Cross-Flow Turbine, Technical University of Lizbon, 1994.

- [26] Totapally, H.G.; Aziz, N.M. Refinement of Cross-flow Turbine Design Parameters. *J. Energy Eng.* 1994, 120, 133–147.
- [27] V. Seshadri C. B. Joshi and S. N. Singh. Parametric study on performance of cross-flow turbine. *Journal of Energy Engineering*, 1995.
- [28] Hayati Olgun. Investigation of the performance of a cross-flow turbine. *International Journal of Energy Research*, 22(11):953–964, 1998.
- [29] Kaya M.A., Doktora Tezi, Değişken Debilerde yüksek verimde çalışan bir çapraz akış türbini geliştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi 2011.
- [30] Adhikari R., ve Wood D., The Design of High Efficiency Crossflow HydroTurbines: A Review and Extension, University of Calgary, Canada, January 2018.
- [31] Haas, R., Hiebert, M., Hoatson, E., Colorado State University, CIVE 401 11/19/2014, Francis Turbines, Fundamentals and Everything Else You Didn't Know That You Wanted To Know
- [32] <http://hydroenergetica.com/en/hydoturbines/ossberger.>, Erişim Tarihi: 02.11.2018.
- [33] Arter A., Meier U., *Hydraulics Engineering Manuel Volume 2, Harnessing Water Power on a Small Scale*, SKAT 1990 ISBN:3-908001-13-7.
- [34] Arsan A., Design, Construction And Performance Evaluation Of A Banki Turbine, A Master's Thesis, Middle East Tec. Uni., December 1985.
- [35] T12 Cross Flow Turbine Design And Engineering Equipment, Entec Consulting and Engineering, 1995.
- [36] Yazıcı H.F., *Su Makinaları Problemleri, Teori ve Uygulamaları*, İstanbul Tek. Üni., Haziran 1983, Kütüphane Sayı: 1254.
- [37] Nasir B.A., Designe Of High Cross Flow Turbine For Hydro Powwer Plant, *IJEAT ISSN 2249 Vol 2 Issue-3 Feb.* 2013.

# EKLER

## EK A: Basınç sensörü teknik bilgileri



### Specifications

#### Pressure Ranges (all intermediate ranges possible)

|                    |                                   |
|--------------------|-----------------------------------|
| PR-21 Y            | 2...30 bar FS                     |
| PAA-21 Y / PA-21 Y | 2...1000* bar FS                  |
| Overpressure       | 2 x pressure range, max. 1100 bar |

PAA: Absolute, Zero at vacuum PA: Sealed Gauge, Zero at 1000 mbar abs. PR: Vented Gauge, Zero at atmospheric pressure \* Measuring range > 600 bar only suited for static applications

|                                |                          |                                          |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
| Accuracy <sup>1)</sup>         | typ. $\pm 0,25$ %FS      | max. $\pm 0,5$ %FS                       |
| Total Error Band <sup>2)</sup> | 0...50 °C<br>-10...80 °C | max. $\pm 1,0$ %FS<br>max. $\pm 1,5$ %FS |

<sup>1)</sup> Linearity (best fitted straight line) + Hysteresis + Repeatability <sup>2)</sup> Accuracy + Temperature Coefficient + Zero + Span Tolerance

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| Storage-/Operating Temperature | -40...100 °C |
|--------------------------------|--------------|

|           |                |                    |
|-----------|----------------|--------------------|
| Stability | PR-Version     | max. $\pm 0,5$ %FS |
|           | PAA/PA-Version | max. $\pm 0,3$ %FS |

| Type                      | 2-Wire                                                                                                  | 3-Wire                                                                                 | 3-Wire      |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Signal Output             | 4...20 mA                                                                                               | 0...10 V                                                                               | 0,5...4,5 V |
| Limitation Signal Output  | 3,2...22,3 mA                                                                                           | -1,2...11,2 V                                                                          | 0,1...4,9 V |
| Supply                    | 8...32 VDC                                                                                              | 13...32 VDC                                                                            | 8...32 VDC  |
| Load Resistance           | < (U-8 V) / 0,025 A                                                                                     | > 5 kΩ                                                                                 | > 5 kΩ      |
| Limiting Frequency        | 2 kHz                                                                                                   | 2 kHz                                                                                  | 2 kHz       |
| Power Consumption         |                                                                                                         | max. 5 mA                                                                              | max. 4 mA   |
| Electrical Connection     | - Plug: M12 (4-pole), Packard, mPm<br>- Cable                                                           |                                                                                        |             |
| Pressure Connection       | G1/4" male, G1/8" male, 7/16"-20 UNF male and female                                                    |                                                                                        |             |
| Response Time (Supply ON) | (0...99 %) < 5 ms                                                                                       |                                                                                        |             |
| Isolation                 | > 10 MΩ @ 300 VDC                                                                                       |                                                                                        |             |
| EMC                       | EN 61000-6-2: 2005 / EN 61000-6-3: 2007 / EN 61326-2-3: 2006                                            |                                                                                        |             |
| Dead Volume Change        | < 0,1 mm <sup>3</sup>                                                                                   |                                                                                        |             |
| Material in Media Contact | - Stainless Steel AISI 316L (1.4404/1.4435)<br>- Viton® Seal external (-20...200 °C, no internal seals) |                                                                                        |             |
| Protection Class          | M12-/Packard-Plug:<br>mPm-Plug:<br>Cable:                                                               | IP67 (with corresponding mating plug)<br>IP65 (with corresponding mating plug)<br>IP54 |             |
| Weight                    | ≈ 38 g (G1/8") ≈ 50 g (G1/4")                                                                           |                                                                                        |             |
| Endurance                 | > 10 million cycles, 0...100 %FS at 25 °C                                                               |                                                                                        |             |
| Oil Filling               | Silicone oil                                                                                            |                                                                                        |             |

### Options

|                                            |                                                                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperature Range                          | Other temperature ranges on request. Maximal range: -40...+120 °C                         |
| Oil Filling                                | Fluorocarbon oil (O <sub>2</sub> -compatible), olive-oil, lowest temperature oil (-55 °C) |
| Pressure Connection, Electrical Connection | Others on request                                                                         |

## EKB: Debimetre teknik bilgileri

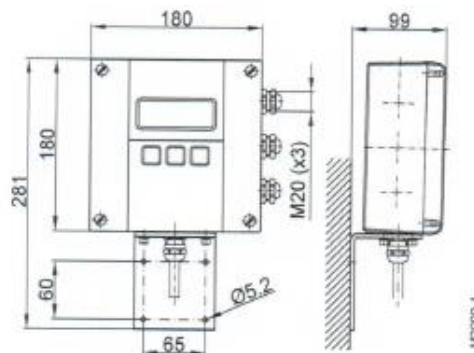
Technical data

Page 45/51

### 7.4 Meter type M2000

| Technical data      |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type                | M2000                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Auxiliary power     | 85 – 265 VAC, 45 – 65 Hz<br>Optional 9 - 36 VDC                                                                                                                                                                                                                                       |
| Analog output       | 0/4 – 20 mA, $\leq 800 \text{ Ohm}$                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Digital outputs     | Flow direction is displayed via separate status output<br>4 freely configurable open collector outputs<br>Active 24 V, 50 mA or Passiv 30 VDC, 100 mA<br>max. frequency of 10 kHz<br>Optional 2 solid state relais 48 VAC, 500mA<br>Pulse, limit, preselector, status, error messages |
| Digital inputs      | Totalizers and preselectors reset<br>Positive Zero Return                                                                                                                                                                                                                             |
| Fluid monitoring    | Separate electrode                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Configuration       | 3 buttons                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Interface           | RS 232/RS485 ModBus® RTU, HART, Profibus DP, M-Bus                                                                                                                                                                                                                                    |
| Measuring range     | 0.03 to 12 m/s                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Measuring accuracy  | $\pm 0.2\%$ of m.v. $\pm 1 \text{ mm/s}$                                                                                                                                                                                                                                              |
| Reproducibility     | 0.1%                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Flow direction      | Bidirectional                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Pulse length        | Configurable up to 2000 msec.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Outputs             | Short-circuit-proof and galvanically separated                                                                                                                                                                                                                                        |
| Low flow cutoff     | 0 – 10%                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Display             | LCD, 4 lines/20 digits, backlight,<br>actual flow rate, totalizers, status display                                                                                                                                                                                                    |
| Datalogger          | Optional 32 MB/10.000 data records                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Store/Restore       | Optional memory for detector and amplifier data                                                                                                                                                                                                                                       |
| Body                | Powder-coated alu die casting                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Protective class    | IP 67                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cable inlet         | Supply and signal cables 3 x M20                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Signal cable        | From meter M20                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Ambient temperature | -20 to + 60°C                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Dimensions  
M2000®



## EK C: Devir Sensörü Teknik Bilgileri

### Product data sheet Characteristics

### XS630B1MBL2

inductive sensor XS6 M30 - L62mm - brass -  
Sn15mm - 24..240VAC/DC - cable 2m



#### Main

|                                    |                                                                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Range of product                   | OsiSense XS                                                                     |
| Series name                        | General purpose                                                                 |
| Sensor type                        | Inductive proximity sensor                                                      |
| Device application                 | -                                                                               |
| Sensor name                        | XS6                                                                             |
| Sensor design                      | Cylindrical M30                                                                 |
| Size                               | 62 mm                                                                           |
| Body type                          | Fixed                                                                           |
| Detector flush mounting acceptance | Flush mountable                                                                 |
| Material                           | Metal                                                                           |
| Type of output signal              | Discrete                                                                        |
| Wiring technique                   | 2-wire                                                                          |
| [Sn] nominal sensing distance      | 15 mm                                                                           |
| Discrete output function           | 1 NC                                                                            |
| Output circuit type                | AC/DC                                                                           |
| Electrical connection              | Cable                                                                           |
| Cable length                       | 2 m                                                                             |
| [Us] rated supply voltage          | 24...240 V AC/DC (50/60 Hz)                                                     |
| Switching capacity in mA           | 5...200 mA DC<br>5...300 mA AC                                                  |
| IP degree of protection            | IP68 double insulation conforming to IEC 60529<br>IP69K conforming to DIN 40050 |

#### Complementary

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Thread type        | M30 x 1.5           |
| Detection face     | Frontal             |
| Front material     | PPS                 |
| Enclosure material | Nickel plated brass |

Dec 11, 2018

Life is On | **Schneider**  
Electric

1

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications.

|                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| Operating zone           | 0...12 mm                       |
| Differential travel      | 1...15% of Sr                   |
| Cable composition        | 2 x 0.34 mm <sup>2</sup>        |
| Wire insulation material | PvR                             |
| Status LED               | 1 LED (yellow) for output state |
| Supply voltage limits    | 20...264 V AC/DC                |
| Residual current         | <= 0.8 mA, open state           |
| Switching frequency      | <= 25 Hz AC<br><= 500 Hz DC     |
| Voltage drop             | <= 5.5 V, closed state          |
| Delay first up           | <= 25 ms                        |
| Delay response           | <= 0.5 ms                       |
| Delay recovery           | <= 2 ms                         |
| Marking                  | CE                              |
| Threaded length          | 52 mm                           |
| Length                   | 62 mm                           |
| Product weight           | 0.205 kg                        |

### Environment

|                                       |                                                                         |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Product certifications                | CSA<br>UL                                                               |
| Ambient air temperature for operation | -25...70 °C                                                             |
| Ambient air temperature for storage   | -40...85 °C                                                             |
| Vibration resistance                  | 25 gn, amplitude: +/- 2 mm (f = 10...55 Hz) conforming to IEC 60068-2-6 |
| Shock resistance                      | 50 gn (duration = 11 ms) conforming to IEC 60068-2-27                   |

### Offer Sustainability

|                                  |                                                                                                                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sustainable offer status         | Green Premium product                                                                                                                 |
| RoHS (date code: YYWW)           | Compliant - since 0811 - Schneider Electric declaration of conformity<br><a href="#">Schneider Electric declaration of conformity</a> |
| REACH                            | Reference not containing SVHC above the threshold<br><a href="#">Reference not containing SVHC above the threshold</a>                |
| Product environmental profile    | Available<br><a href="#">Product environmental</a>                                                                                    |
| Product end of life instructions | Available<br><a href="#">End of life manual</a>                                                                                       |

### Contractual warranty

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Warranty period | 18 months |
|-----------------|-----------|

## ÖZGEÇMİŞ

Faruk KOÇ, 07.08.1984'de Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2002 yılında Nermin Mehmet Çekiç Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2008 yılında bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılında T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (TEMSAN) Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş.'de Makine Mühendisi olarak çalışmaya başladı akabinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde devam etti. Halen TEMSAN A.Ş.'de Başmühendis olarak görev yapmaktadır.