



**T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SIVI AKIŞKANLI BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK GÜÇTEN ELEKTRİK  
ENERJİ ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE SİSTEM PROTOTİPİNİN  
OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Esat AKKÖSE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

**AĞUSTOS 2023**

T.C.  
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SIVI AKIŞKANLI BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK GÜÇTEN ELEKTRİK  
ENERJİ ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE SİSTEM PROTOTİPİNİN  
OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esat AKKÖSE  
(20278034160)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Musa AYDIN

AĞUSTOS 2023





20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 220Y013 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 221N004 numaralı Normal Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

## İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Esat AKKÖSE

İmzası:



*Aileme,*

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde yol gösterici, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan gözlemlenemi sağlayan ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Musa AYDIN'a, tez süresince desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Hüseyin İMREK'e, tez çalışmamda kullanmak için sağladıkları veri setleri için Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ'ye) ve beni hayatım boyunca destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2023

Esat AKKÖSE



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	viii
SEMBOLLER .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	2
1.2 Hipotez .....	5
<b>2. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>6</b>
2.1 Türbin Seçimi.....	6
2.2 Hidrokinetik Enerji Üretimi ve Yük Sistemi Modeli .....	7
2.2.1 Mekanik enerjinin üretimi.....	7
2.2.2 Generatör seçimi .....	9
2.2.2.1 SMSG gerilim ve moment denklemleri .....	9
<b>3. BENZETİM ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>12</b>
3.1 BUSKİ Verilerine Göre Benzetim Çalışması.....	12
3.2 Su Şebekesine Uygulamak için 3 fazlı Hidrokinetik Enerji Üretim Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu .....	15
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>25</b>
4.1 Deney Setinin Kurulması .....	25
4.1.1 Türbin modelinin oluşturulması.....	28
4.1.2 Generatör Montajı .....	35
4.2 Sistemin Çalıştırılması .....	36
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>43</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>45</b>

## **KISALTMALAR**

<b>BUSKİ</b>	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
<b>GYE</b>	: Günlük Yük Eğrisi
<b>IGBT</b>	: Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>KW</b>	: Kilowatt
<b>m</b>	: Metre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>MWh</b>	: Megawatt-saat
<b>SMSG</b>	: Sabit Miknatıslı Senkron Generatör

## SEMBOLLER

$A_c$	: Boru hattının kesit alanı
$B$	: Sürtünme faktörü
$D$	: Boru hattının çapı
$G_r$	: Dişli oranı
$J$	: Türbin ve generatör dahil tüm sistemin ataleti
$I_{sd}$	: d ekseni stator akımı
$I_{sq}$	: q ekseni stator akımı
$L_d$	: d ekseni endüktansı
$L_q$	: q ekseni endüktansı
$P_{basınç}$	: Boru hattındaki basınç değeri
$P_m$	: Akıştan çıkarılan türbinin gücü
$P_e$	: Elektriksel güç
$p_p$	: Çift kutup sayısı
$Q_{debi}$	: Boru hattındaki suyun debisi
$R_s$	: Stator sargı direnci
$T_m$	: Rotor etrafında üretilen toplam tork
$T_e$	: Sabit mıknatıslı senkron generatöre ait elektromanyetik moment
$V_{sd}$	: d ekseni stator gerilimi
$V_{sq}$	: q ekseni stator gerilimi
$V_{su}$	: Boru hattındaki su hızı
$\eta_t$	: Türbin verimi
$\omega_e$	: Elektriksel hız
$\omega_m$	: Mekanik hız
$\phi_m,$	: Mıknatıslanma akısı
$\omega_t$	: Türbin rotorunun açısal hızı

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : SMSG Parametreleri.....	17
Çizelge 3.2 : Simülasyonda elde edilen elektriksel ve mekanik değerler.....	23
Çizelge 4.1 : 3 fazlı SMSG Parametreleri. ....	35
Çizelge 4.2 : Basınç Verisinin Çıkış Gerilim Sinyali Karşılığı. ....	38
Çizelge 4.3: Debi Verisinin Çıkış Gerilim Sinyali Karşılığı. ....	38
Çizelge 4.4 : Motopomp sürme frekansına göre debi ve basınç verileri. ....	39
Çizelge 4.5 : Generatör ve yük tarafındaki ölçülen değerler.....	39

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Lucid Energy Türbini [6].	3
Şekil 1.2: 200 kW Lucid Güç Sistemi [7].	3
Şekil 1.3: Hong Kong'ta yapılan çalışma [5].	4
Şekil 2.1: Lucid Küresel Türbini [14]	6
Şekil 2.2: Pelton türbin ile yapılan çalışma örneği [15].	7
Şekil 2.3: Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör Kesitsel Gösterim.	9
Şekil 2.4: SMSG d-ekseni ve q-ekseni eşdeğer devreleri.	10
Şekil 3.1: Sadeleştirilmiş Matlab/Simulink modeli	12
Şekil 3.2: Buski verilerine dayalı 24 saatlik debi grafiği	13
Şekil 3.3: Buski verilerine dayalı 24 saatlik basınç grafiği	13
Şekil 3.4: BUSKİ hattındaki suyun hidrolik güç grafiği	14
Şekil 3.5: Üretilen mekanik güç grafiği.	14
Şekil 3.6: Hidrokinetik Enerji Üretim Modeli.	15
Şekil 3.7: Hidrokinetik Enerji Üretimi Matlab/Simulink Modeli.	16
Şekil 3.8: $V_{abc}$ Gerilimi (V)	17
Şekil 3.9: $I_{abc}$ Akımı (A)	18
Şekil 3.10: Rotorun mekanik açısal hızı, $\omega_m$ (rad/s)	18
Şekil 3.11: Elektromanyetik Moment, $T_e$ (N.m)	19
Şekil 3.12: DC Bara Gerilimi (V)	19
Şekil 3.13: DC bara Akımı (A)	20
Şekil 3.14: Birinci Batarya'nın Gerilimi (V)	20
Şekil 3.15: Birinci Batarya'nın Akımı (A)	21
Şekil 3.16: Birinci Batarya SOC(%)	21
Şekil 3.17: İkinci Batarya'nın Gerilimi (V)	22
Şekil 3.18: İkinci Batarya'nın Akımı (A)	22
Şekil 3.19: İkinci Batarya SOC(%)	23
Şekil 4.1: 4 kW 5,5 HP 380 Volt Santrifüj Pompa.	25
Şekil 4.2: 5.5 kW motopomp sürücü (3x220V)	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.3: Basınç transmitteri.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.4: DN100 elektromanyetik debimetre.	27
Şekil 4.5: Montajı gerçekleştirilmiş deney seti.	28
Şekil 4.6: Lucid küresel türbin sisteminin içten görünüşü.	29
Şekil 4.7: Lucid küresel türbin sistemi dış görünüşü.	29
Şekil 4.8: 3D yazıcı ile üretilmiş lucid küresel türbin sistemi.	30
Şekil 4.9: 3D yazıcı ile üretilmiş lucid türbinler.	30
Şekil 4.10: SolidWorks ile tasarlanmış 4 inç boru hattına özel pelton türbin tasarımı	31
Şekil 4.11: Türbinle aküple olması için altıgen tasarımı mil.	32
Şekil 4.12: Pelton türbin tasarımının ön görünüşü.	32
Şekil 4.13: 3D yazıcı ile üretilmiş altıgen tasarımı mil.	33

<b>Şekil 4.14:</b> 3D yazıcı ile üretilmiş pelton türbini.....	<b>33</b>
<b>Şekil 4.15:</b> 3D yazıcı ile üretilmiş türbin tamburu. ....	<b>34</b>
<b>Şekil 4.16:</b> Lazer kesimle üretilen parçalarıyla montajı yapılmış türbin tamburu. ...	<b>34</b>
<b>Şekil 4.17:</b> Lazer kesimle üretilmiş tambur kapağı (Sıvı conta ile rulman takılmış).35	
<b>Şekil 4.18:</b> Türbin miline kaplin ile bağlantısı yapılmış üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatör (3 adet tutucu direk ile sabitlenmiştir).....	<b>36</b>
<b>Şekil 4.19:</b> Nİ 6001 DAQ cihazından debimetre verisi toplama şeması .....	<b>37</b>
<b>Şekil 4.20:</b> Nİ 6001 DAQ cihazından basınç transmitteri verisi toplama şeması. ...	<b>37</b>



# SIVI AKIŞKANLI BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK GÜÇTEN ELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE SİSTEM PROTOTİPİNİN OLUŞTURULMASI

## ÖZET

Endüstriyel, belediye ve tarım tesislerinin yerçekimi ile beslenen boru hatlarındaki hareket eden sıvının enerjisinden faydalanılarak düşük maliyetli elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilebilir. Bilindiği üzere, enerji dağıtım hatlarından çekilen elektrik enerjisinin günlük tüketimi değişkenlik gösterdiği için “Günlük yük eğrisi” (GYE) olarak tanımlanmış bir eğri ortaya çıkmıştır. Buna benzer bir şekilde su dağıtım şebekesinde akan sudan üretilecek olan elektriksel güçte, suyun tüketim miktarına bağlı olarak gün içerisinde değişkenlik gösterecektir. Bu değişkenlik, tüketicilerin alışkanlıklarına ve mevsimlere bağlıdır. Enerji üretiminde tüketime bağlı olarak yükselme ve azalmalar olur fakat kesinti olmaz. Bu etki ile birlikte tüketicilerin alışkanlıklarına ve mevsimlere bağlı olarak gün içerisindeki değişken akış koşullarında dahi sürekli ve yenilenebilir (yeşil) enerji üretimi sağlanabilir. Özellikle yerçekimi beslemeli su dağıtım şebekesine eklenebilen hidrokinetik türbinler vasıtasıyla şebeke borularının içerisinde hareket eden suyun enerjisi dönüştürülerek elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, su şebekesine monte edilecek hidrokinetik enerji üretim sisteminden faydalanılarak elektrik enerjisi üretimi Matlab/Simulink ile simüle edilmiş ve enerji üretiminin araştırılması için laboratuvar ortamı içerisinde deney sistemi kurulmuştur.

Matlab/Simulink' simülasyonunda, 1334 watt mekanik giriş gücünün uygulandığı 3 fazlı Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG) çıkışından 1251 watt elektriksel güç üretimi gerçekleştirilmiştir. Generatörün çıkışı, 3 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu ile doğrultma işleminden sonra 60V, 50Ah'lik seri bağlı iki adet li-on bataryanın şarjında kullanılmıştır.

Su şebekesinde hidrokinetik enerji üretimi için kurulan deney setindeki santrifüj pompa (5,5 HP, 4 kW, 380 VOLT), 5.5 kW motopomp sürücüsü (3x220V) ile farklı sürme frekanslarında çalıştırılmıştır. Sürme frekansının değişmesiyle sistemin içerisindeki değişen debi ve basınç ile birlikte generatör çıkışında üretilen ve yüke aktarılan  $P_e$  elektriksel güç değişimi incelenmiştir. Debi ve basıncın artmasıyla birlikte sistemde üretilen elektriksel güç pozitif yönde artış göstermiştir. Generatörün 3 fazlı çıkışı, 3 fazlı kontrolsüz tam köprü doğrultucu (diyotlu doğrultucu) ile doğrultulup omik yük üzerinden elektriksel güç harcanmıştır. Motopomp 45 hz sürme frekansında sürüldüğünde deney setindeki debimetreden 36,13 m<sup>3</sup>/h bir debi ve basınç transmitterinden 1,206 bar basınç değeri ölçülmüş ve bu değerlerin bir fonksiyonu olan 1210 watt hidrolik güç motopomp tarafından sisteme aktarılmıştır. 20  $\Omega$  reosta üzerinden harcanan elektriksel güç ise 2,485 watt olarak ölçülmüştür. Ölçülen elektriksel güç değeri ile hidrolik güç yüzdeler oranı %0,002 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, su dağıtım şebekesine entegre edilmiş bir hidrokinetik enerji üretim sisteminin elektrik üretimini sağlayabileceği görülmüştür. Matlab/Simulink

kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları ve laboratuvar kurulumundan elde edilen deneysel bulgular, tüketici alışkanlıklarına ve mevsimsel değişimlere duyarlı bu tür sistemlerin sürekli ve temiz enerji üretme potansiyeli hakkında değerli bilgiler vermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Su şebekesi, Yenilenebilir enerji, Hidrokinetik enerji üretimi, Hidrokinetik türbin, Lucid türbin, Pelton Türbin



# **INVESTIGATION OF ELECTRIC ENERGY GENERATION FROM HYDRAULIC POWER IN FLUID PIPES AND CREATING THE SYSTEM PROTOTYPE**

## **SUMMARY**

Low-cost electrical energy can be generated by utilizing the energy of moving fluid in gravity-fed pipelines of industrial, municipal and agricultural facilities. As it is known, since the daily consumption of electrical energy drawn from the power grid is not constant, a curve defined as the "Daily load curve" (DEE) has emerged. Similarly, the power to be produced from the water distribution pipelines varies during the day depending on the amount of water consumed. This variability depends on the habits of the consumers and the seasons. During the year, there are increases and decreases in production depending on consumption, but there is no interruption. With this effect, continuous and renewable (green) energy production can be achieved, even in flow conditions that change during the day depending on consumer habits and seasons. Especially with the hydrokinetic turbine added to the gravity-fed water distribution network, electrical energy can be produced by converting the energy of the water moving in the pipe. In the scope of this thesis, electricity generation has been simulated using Matlab/Simulink by leveraging a hydrokinetic energy generation system integrated into the water distribution network. Furthermore, an experimental setup has been established in the laboratory environment to investigate energy production.

In the Matlab/Simulink simulation, 1251 watts of electrical power were generated from an applied mechanical power of 1334 watts using a three-phase Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). The generator output voltage was rectified to 60V using a 3-phase uncontrolled full-wave bridge rectifier, and this power was utilized to charge two series-connected 50Ah lithium-ion batteries.

For the hydrokinetic energy production in the water network, the experimental setup included the centrifugal pump (4 kW 5.5 HP 380 VOLT) driven by 5.5 kW motor pump driver (3x220V) at different drive frequencies. By varying the drive frequency, the change in generated electrical power ( $P_e$ ) at the generator output, and the power transferred to the load were examined in relation with the changing flow rate and pressure within the system. The electrical power generated in the system exhibited a positive increase with an increase in flow rate and pressure. The 3-phase output of the generator was rectified using a 3-phase uncontrolled full bridge rectifier (diode rectifier), and the electrical power was consumed by an ohmic load.

When the motor pump was driven at a frequency of 45 Hz, the flow rate measured by the flowmeter in the experimental setup was 36.13 m<sup>3</sup>/h, and the pressure value measured by the pressure transmitter was 1.206 bar. These values corresponded to 1210 watts of hydraulic power transferred to the system by the motor pump. The electrical power consumed through a 20  $\Omega$  resistor was measured to be 2.485 watts. The percentage ratio of the measured electrical power to the hydraulic power was calculated as 0.002%.

In conclusion, this study describes the utilization of a hydrokinetic energy generation system integrated into the water distribution network to produce electricity. The simulation results obtained using Matlab/Simulink and the experimental findings obtained from the laboratory setup provide valuable information about the potential of such systems to produce continuous and clean energy, sensitive to consumer habits and seasonal changes.

**Keywords:** Water network, Renewable energy, Hydrokinetic power generation, Hydrokinetic turbine, Lucid turbine, Pelton turbine



## 1. GİRİŞ

21. yüzyıl itibariyle artan dünya nüfusu, teknoloji ürünlerinin bireysel kullanım bakımından tüm dünyada yaygınlaşması, tüketim mallarının üretimi için yeni fabrika ve tesislerin kurulması, ar-ge faaliyetlerine daha fazla kaynak ayrılması sebebiyle teknoparklar ve teknoloji enstitülerinin kurulması, yeryüzündeki iletişim-haberleşme altyapılarının gelişmesi ile en gelişmemiş ülkelerde bile elektriğe olan talebin artması gibi etkenlerden dolayı bulunduğumuz yüzyıl içerisinde elektrik enerjisi üretimi için tüm dünya devletlerinde stratejik yatırım ihtiyacı doğmuştur. Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının daha derin sondajlar gerektirmesinden dolayı çıkarma maliyetlerinin artması, yeni fosil kaynaklarının bulunma hızında azalmanın olması ve bu yakıtların iklim değişikliğini tetiklemesi gibi problemler bilim insanlarını ve mühendisleri çevreye daha az zararlı, daha az maliyetli ve sürdürülebilir olabilen enerji teknolojilerini üretmeye yönlendirmiştir.

Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin çeşitliliği, doğal kaynakların mevcudiyeti ve elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin mevcutta hazır olup olmadığı gibi çeşitli olgulara bağlıdır. Elektrik enerjisi üretimine olan ihtiyacı karşılamak için son yıllarda yenilenebilir enerji üretimi alanında araştırma-geliştirme çalışmalarının arttığı gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin iyileştirilmesi öncelik olarak görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan hidroelektrik enerji üretim teknolojileri sürdürülebilir olmaları, uygun maliyetleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle birçok ülke için enerji talebine olan ihtiyaca cevap verebilmiştir. Hidroelektrik enerji üretim teknolojileri, enerji ihtiyaçlarındaki değişikliklere uyum sağlayabilen (hızla yukarı ve aşağı üretimi ölçeklendirilebilen) çok yönlü bir elektrik enerjisi kaynağıdır. Öngörülebilir performansları sayesinde elektrik enerjisi üretimi kaynakları içerisinde önemli bir etkiye sahiptir [1,2].

Hidroelektrik enerji üretim teknolojileri, hidrostatik enerji üretim sistemleri ve hidrokinetik enerji üretim sistemleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Hidrostatik üretim teknolojileri, genellikle geleneksel hidroelektrik santraller aracılığıyla elektrik üretim yöntemini ifade eder. Çevresel açıdan olumsuz etkileri (doğal su kaynaklarının azalması, doğal su akış yollarının değiştirilmesi nedeniyle doğal hayatın etkilenmesi), inşaat sahasının edinme maliyetleri ve özel teknik şartnamelerin izin zorlukları gibi nedenlerden dolayı daha az tercih edilmektedir [3]. Genellikle 50 MW'ın üzerinde kurulu güce sahip hidroelektrik santrallerin inşaatı için teknik ve ekonomik faktörler, santral rezervuarının inşa edilmesini zorlaştırır. Ancak, daha düşük kurulum maliyetlerine sahip olan ve serbest akışın olduğu bölgelerde uygulanabilen hidrokinetik enerji teknolojileri, hidroelektrik enerji üretimi açısından hidrostatik teknolojilere göre daha çekici hale gelmiştir [3].

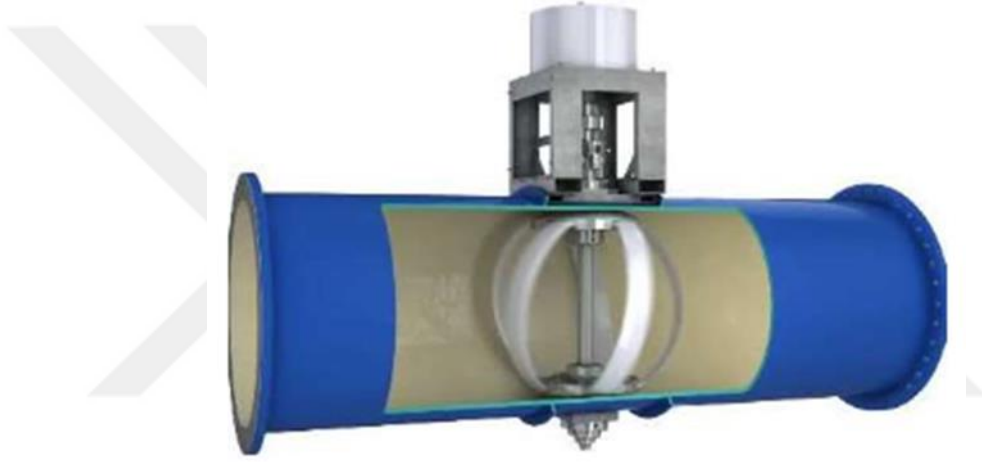
Hidrokinetik enerji üretim teknolojileri, genel verimlilik açısından hidrostatik teknolojilere göre daha düşük olmasına rağmen, akışın bulunduğu her yerde uygulanabilme avantajına sahiptir [4]. Hidrokinetik enerji teknolojileri, akış halindeki suyun kinetik enerjisini doğrudan dönüştürerek, baraj veya yönlendirme yapılarına ihtiyaç duymadan çalışır. Bu teknoloji, hidroelektrik santrallerinin uygulanması mümkün olmayan veya uygun olmayan şebeke dışı bölgelerde elektrifikasyon sağlamak için kullanılabilir. Aynı zamanda, temiz, sürekli ve değişken hava ve akış koşullarından kaynaklanan enerji üretimi için güneş ve rüzgâr enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına alternatif sunar. Hidrokinetik enerji, genel verimlilik açısından hidrostatik yöntemlere göre daha düşük olsa da, akışın olduğu her yerde uygulanabilme avantajına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, elektrifikasyonun mümkün olmadığı bölgelerde enerji ihtiyaçlarını karşılamak için uygun bir çözümdür [5].

## **1.1 Literatür Araştırması**

Elektrik şebekesinden çekilen enerjinin günlük tüketiminin sabit olmadığı bilinmektedir ve bu durum "Günlük Yük Eğrisi" (GYE) diye adlandırılan değişken bir eğri şeklinde gözlemlenir. Benzer şekilde, su şebekesinde akan sudan üretilen güç, tüketilen suyun miktarına bağlı bir şekilde gün içerisinde değişkenlik gösterir. Bu değişkenlik gösteren tüketim, tüketici alışkanlıklarına ve mevsimsel şartlara bağlıdır. Yıl boyunca su tüketimine paralel olarak elektrik üretiminde yükselme ve azalmalar yaşanabilir, ancak kesinti oluşmaz. Bu etki sayesinde tüketicilerin alışkanlıklarına ve mevsimlere bağlı olarak gün içerisinde değişen akış koşullarında dahi sürekli ve temiz

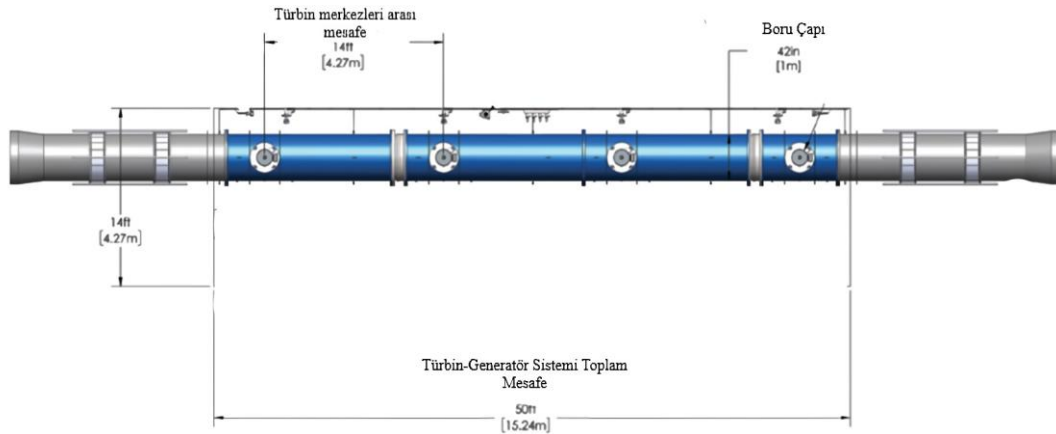
(yeşil) enerji üretimi sağlanabilir. Yerçekimi beslemeli su dağıtım şebekesine eklenen hidrokinetik türbinler vasıtasıyla, boru içerisinde hareket eden suyun enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu nedenle, basınç enerjisi, kinetik enerji ve yerçekimi potansiyel enerjisinin su şebekesinde temiz ve yenilenebilir güce dönüştürülmesi için türbinler gereklidir.

Hidrokinetik türbinleri su şebekesine yerleştirerek elektrik üretme fikri ilk olarak ABD’li Lucid Energy şirketi tarafından ortaya atılmış ve 2012 yılında Riverside, ABD’de ilk uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemde bir adet lucid küresel türbin kullanılmış ve yılda yaklaşık olarak 50 MWh ile 60 MWh aralığında elektrik enerjisi üretildiği rapor edilmiştir [6].



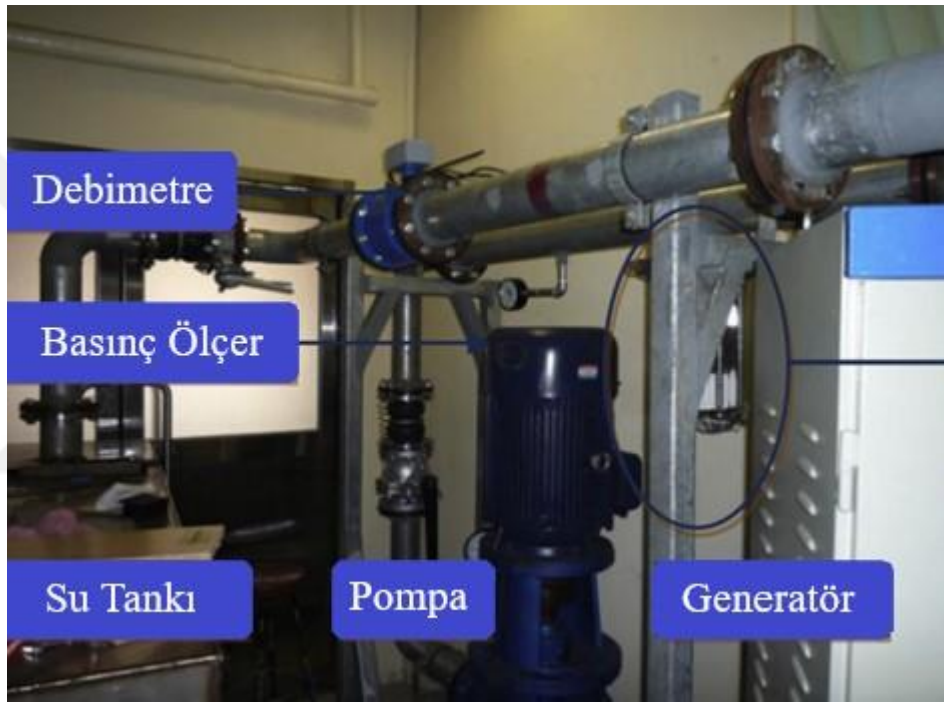
Şekil 1.1 : Lucid Energy Türbini [6].

2018 yılında ise, 42 inç boru çaplı ve 4,2 m/s su akış hızına sahip 4 türbinli 200 kW gücünde bir sistem geliştirilmiştir [7].



Şekil 1.2 : 200 kW Lucid Güç Sistemi [7].

New Hampshire şehrinin su arıtma tesisi içerisinde tüm çalışma koşullarında güç verimini en üst düzeye çıkarmak için paralel çalışan farklı kapasitelere sahip iki türbin generatörü ile 50-55 kW güç üretilmiştir. Benzer şekilde, Hindistan Ulusal Teknoloji Enstitüsü'nde, şehirlerin kanalizasyon hatlarında elektrik enerjisi üretimi için boru içi türbin tasarım çalışmaları yapılmış ve test çalışmalarında saniyede 8 litrelik debi için maksimum 212 watt elektriksel güç üretildiği gözlemlenmiştir [8]. Hong Kong'ta yapılan bir çalışmada suyun hızı 1.5 m/s ve basınç düşüşü 5 m'den az olduğunda 100 mm çapındaki bir boru hattı için beklenen en yüksek güç çıkışı değeri 88.2 watt olarak rapor edilmiştir [5].



**Şekil 1.3** : Hong Kong'ta yapılan çalışma [5].

Belediye su boru hatlarını izleme sistemleri için boru içi türbin kullanılan bir üretim sisteminde 1,14 m/s su hızında 25 watt ile 100 watt arasında güç elde edilmiştir [9]. Ayrıca Malezya'da Malaya Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada maksimum akış hızında, iki türbin ile toplamda 0.608 kW mekanik güç üretilmiştir [10]. Bu tür sistemler, su şebekesindeki akış potansiyelini değerlendirerek, hidrokinetik enerjiyi temiz ve sürdürülebilir bir şekilde elektriğe dönüştürmek için umut verici bir çözüm sunmaktadır.

## 1.2 Hipotez

Su akışının sağlandığı su şebekesine (isale hatları) entegre edilebilen küresel bir hidrokinetik türbin ile enerji üretmek mümkündür [11]. Bu yöntemin temel amacı, su şebekesinde akan sudan çevreye karşı zararsız olan elektrik enerjisini elde etmektir. Hidrokinetik türbinlerin bakım ve kurulum maliyetleri açısından enerji üretiminin en ekonomik yollarından biri olduğu bilinir [12].

Su şebekesinde akan su, kinetik ve basınç enerjisi birleşiminde fazla enerjiye sahip olabilmektedir. Tüketici tarafında çoğu durumda son kullanıcıların ihtiyacı sadece akış hızıdır, şebekedeki basınç fazla olabilmektedir. Bu nedenle, su şebekesindeki basınç enerjisinin bir kısmı mekanik enerjiye dönüştürülerek elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Burada, boru içi hidrokinetik türbin borudan akan suyun akışından basınç enerjisini en verimli şekilde çıkarmanın yöntemidir. Su, boru içerisinde akarken türbinin kanatlarına çarpar ve türbinin aküple olduğu mili hareket ettirir. Türbin mili ise alternatörü çalıştırarak elektrik enerjisi üretimini sağlar [13].

Yeterli basınç ve debinin olduğu içme suyu hatlarında, atık su (kanalizasyon) boru hatlarında, endüstriyel atık sıvı boru hatlarında, termoelektrik santrallerin su yollarında ve diğer su iletim hatlarında hidrokinetik enerji üretim sistemi kullanılabilir. Bu yöntem, suyun taşınması ve dağıtım süreçlerinde mevcut enerji potansiyelini değerlendirerek, çevre dostu ve sürdürülebilir bir şekilde elektrik enerjisi üretmek için etkili bir çözüm sunar.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

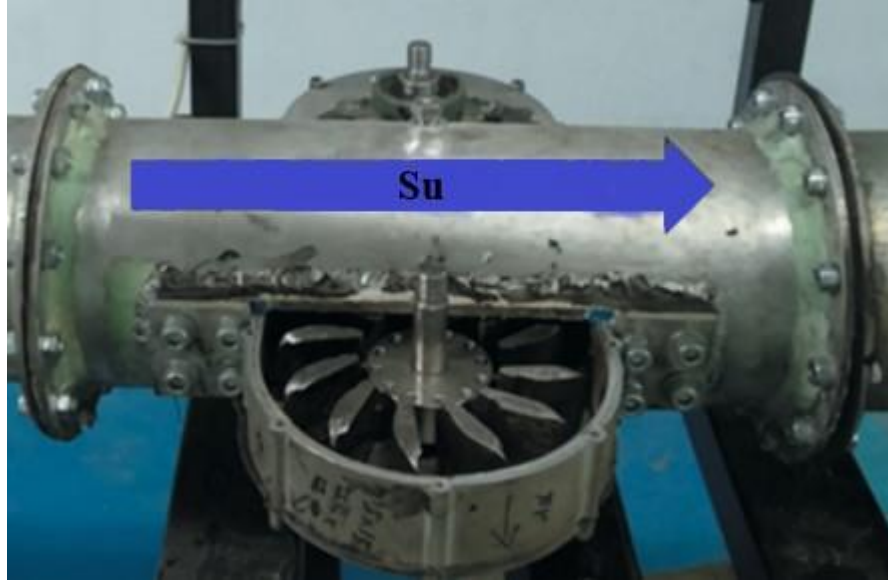
### 2.1 Türbin Seçimi

İsale hatlarından enerji üretimi için gerekli gücü üreterek minimum basınç kaybı sağlamak önemlidir. Türbin kanatlarının ürettiği torkun ve oluşturduğu basınç kaybının dengeli olması gereklidir. Türbinin dönüşü sırasında farklı açılarda oluşan moment değişiminin çok büyük olmaması, yataklama bölgelerindeki yük değişimlerini ve malzeme yorgunluğunu artıracaktır. Aynı şekilde, türbinin kanatlarının farklı açılarda oluşturduğu basınç düşüşlerinin farklı olması, hidrodinamik kararsızlığın artmasına yol açabilir. Bu nedenle, türbinlerin performansını karşılaştırırken ürettikleri moment ve oluşturdukları basınç kaybının yanı sıra bu değerlerin farklı açılardaki durumlarını da değerlendirmek önemlidir.

İsale hatlarından enerji üretim sistemlerinde Gorlov, Darius ve Lucid tipi türbinler kullanılmaktadır. Bu tür türbinler arasında, literatürde yüksek tork ve yüksek devir sayısı ile Lucid türbin veya Gorlov türbin önerilmektedir [14]. Ayrıca bu tür türbinlere ek olarak pelton türbin kullanımı gözlemlenmektedir [15]. Gerekli gücü sağlamak için uygun bir seçenek olarak kabul edilmektedir ve enerji üretimi için etkili bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 2.1 : Lucid Küresel Türbini [14].



Şekil 2.2 : Pelton türbin ile yapılan çalışma örneği [15].

## 2.2 Hidrokinetik Enerji Üretimi ve Yük Sistemi Modeli

Hidrokinetik enerji üretimi ve yük sistemi, hidrokinetik türbinlerin kanatları ile suyun hidrokinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek, generatörler aracılığıyla elektrik enerjisine çeviren ve üretilen bu enerjiyi bataryaların ve akülerin şarjı, aydınlatma sistemleri vb. gibi alanlarda kullanan bir sistemdir. İki ana bölümden oluşmaktadır:

a) Mekanik Sistem: Hidrokinetik türbin ve (eğer varsa) aktarma yapılarından oluşan mekanik bileşenleri içerir.

b) Elektriksel Sistem: Generatör, güç elektroniği dönüştürücü devreleri, filtre devreleri ve yük tarafında varsa batarya ve bataryanın yönetim sistemini içerir. Elektriksel bileşenler, hidrokinetik türbin tarafından üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek ve bu enerjiyi depolamak veya harcamak için bulunur. Elde edilen elektrik enerjisini sürekli ve yük bileşenleri için dengeli bir enerji üretimi için kullanılmaktadır.

### 2.2.1 Mekanik enerjinin üretimi

Türbin performans parametrelerini belirlemek için, boru hattında akan suyun debisinin devamlılık denklemi kullanılabilir.

$$Q_{debi}=V_{su} A_c \quad (2.1)$$

Burada;  $Q_{debi}$  boru hattındaki suyun debisi ( $m^3/s$ ),  $V_{su}$  boru hattındaki su hızı ( $m/s$ ),  $A_c$  boru hattının kesit alanıdır ( $m^2$ ). Kesit alanı hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$A_c = \pi \frac{D^2}{4} \quad (2.2)$$

Burada,  $D$ , boru hattının çapıdır ( $m$ ). Denklem (2.1) ve (2.2) kullanılarak su hızı  $V_{su}$  bulunabilir.

$$V_{su} = \frac{4Q_{debi}}{\pi D^2} \quad (2.3)$$

Boru hattında akan suyun toplam hidrolik gücü:

$$P_{hid} = Q_{debi} P_{basinç} \quad (2.4)$$

Burada  $P_{basinç}$  boru hattındaki basınç değeridir ( $1Pa=0.00001 \text{ bar}=1kg/ms^2$ ). Hidrokinetik türbinden elde edilen mekanik güç  $P_m$ , türbin kanatlarında üretilen türbin rotorunun açısal hızı ve torkun aşağıdaki gibi bir fonksiyonudur:

$$P_m = T_m \omega_m \quad (2.5)$$

Burada;  $T_m$  rotor etrafında üretilen toplam tork ( $N.m$ ),  $P_m$  akıştan çıkarılan türbinin gücüdür ( $Watt$ ). Türbinin rotorunun düşük hızlarda döndüğü durumlarda generatör ile türbin arasında dişli kutusu tercih edilebilir. Dişli kutusunun tercih edildiği sistemler için mekanik dönme hızı ifadesi;

$$\omega_m = \omega_t G_r \quad (2.6)$$

Burada;  $\omega_m$  generatöre uygulanan mekanik açısal hız,  $\omega_t$  türbin rotorunun açısal hızı ( $rad/s$ ) ve  $G_r$  dişli oranıdır (varsa). Dişli kutusunun olmadığı hidrokinetik sistemlerde  $G_r=1$  alınır. Türbinin verimi;

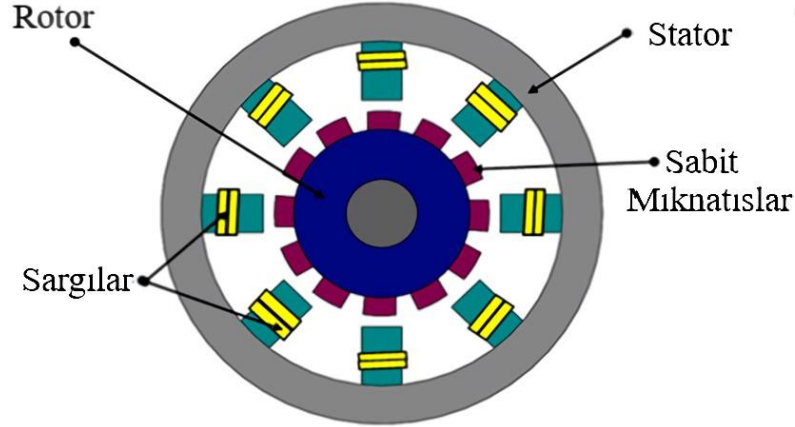
$$\eta_t = \frac{P_m}{P_{hid}} = \frac{\omega_m T_m}{Q_{debi} P_{basinç}} \quad (2.7)$$

olarak verilebilir.  $\eta_t$ (türbin verimi), hidrokinetik türbinin tipine ve çalışma durumuna bağlı olarak değişir. Ayrıca, elektriksel güç  $P_e$  (Watt); türbinden üretilen mekanik güç ile elektriksel verimin bir fonksiyonudur.

$$P_e = \eta_e P_m \quad (2.8)$$

### 2.2.2 Generatör seçimi

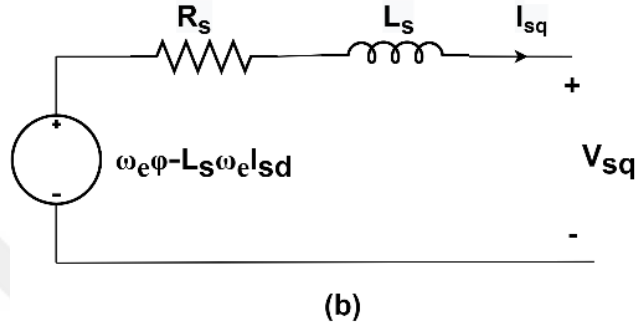
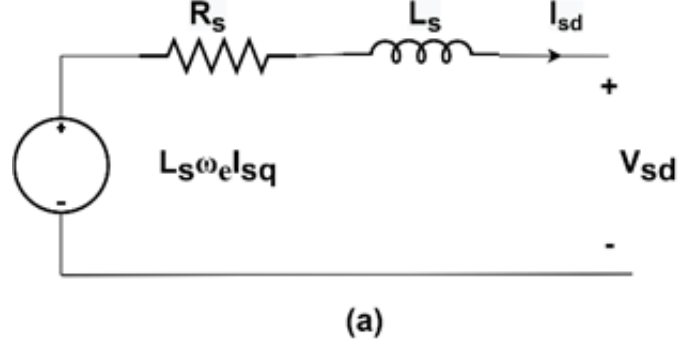
Hidrokinetik enerjiyi etkin bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Generatörler (SMSG), basit yapıları, güvenli çalışmaları, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek enerji verimliliği gibi üstün özelliklere sahip oldukları için ideal bir generatör olarak kabul edilirler. Rotorlarında uyartım sargısının yerine sabit mıknatıslar bulunduran generatör türleridir. Sabit mıknatıslar sayesinde SMSG'ler, sıfır hızda (hareketsizken) bile moment üretebilir ve konum kodlayıcı enkodere ihtiyaç duymadan çalışabilirler. Rotorunda uyartım sargısı olmadığı için, iletken kaybı ve ısınma gibi problemler ortaya çıkmaz. Bu nedenle, düşük akustik gürültü seviyesine sahiptirler ve hem moment hem de hız açısından hızlı dinamik tepki gösterebilirler [16,17].



Şekil 2.3 : Sabit mıknatıslı senkron generatör kesitsel gösterim.

#### 2.2.2.1 SMSG gerilim ve moment denklemleri

Üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatörün d-q referans çerçevesindeki elektriksel modeli Şekil 2.4'te görülmektedir.



**Şekil 2.4** : SMSG d-ekseni ve q-ekseni eşdeğer devreleri.

SMSG d-q referans çerçevesindeki stator gerilim denklemleri şu şekildedir [17]:

$$V_{sd} = -R_s I_{sd} - L_s \frac{d}{dt} I_{sd} + L_s \omega_e I_{sq} \quad (2.9)$$

$$V_{sq} = -R_s I_{sq} - L_s \frac{d}{dt} I_{sq} - L_s \omega_e I_{sd} + \omega_e \phi_m \quad (2.10)$$

Burada;  $\phi_m$  mıknatıslanma akısı,  $\omega_e$  elektriksel hız,  $V_{sd}$  ve  $V_{sq}$  d-q eksenli stator gerilimleri,  $L_s$  d-q eksenli endüktansı,  $I_{sd}$  ve  $I_{sq}$  d-q eksenli stator akımları,  $R_s$  stator sargı direncidir. Sabit mıknatıslı senkron generatörün elektromanyetik moment ifadesi ( $T_e$ ):

$$T_e = \frac{3}{2} p_p I_{sq} ((L_d - L_q) I_{sd} + \phi_m) \quad (2.11)$$

$p_p$  çift kutup sayısı ve  $L_d$  ve  $L_q$  d-q eksenli endüktanslarıdır. SMSG yüzey mıknatıslı özellikte olduğunda  $L_d$  ve  $L_q$  endüktansları birbirine eşit olduğu bilinmektedir ( $L_s = L_d = L_q$ ). Dolayısıyla elektromanyetik moment ifadesi  $I_{sq}$  akımı ile doğru orantılıdır [18].

$$T_e = \frac{3}{2} p I_{sq} \phi_m \quad (2.12)$$

Generatör rotorunun mekanik açısal hızı  $\omega_m$  ile stator geriliminin açısal frekansı (elektriksel açısal hız)  $\omega_e$  arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir;

$$\omega_e = \omega_m p \quad (2.13)$$

Generatörün hareket denklemleri verilirse;

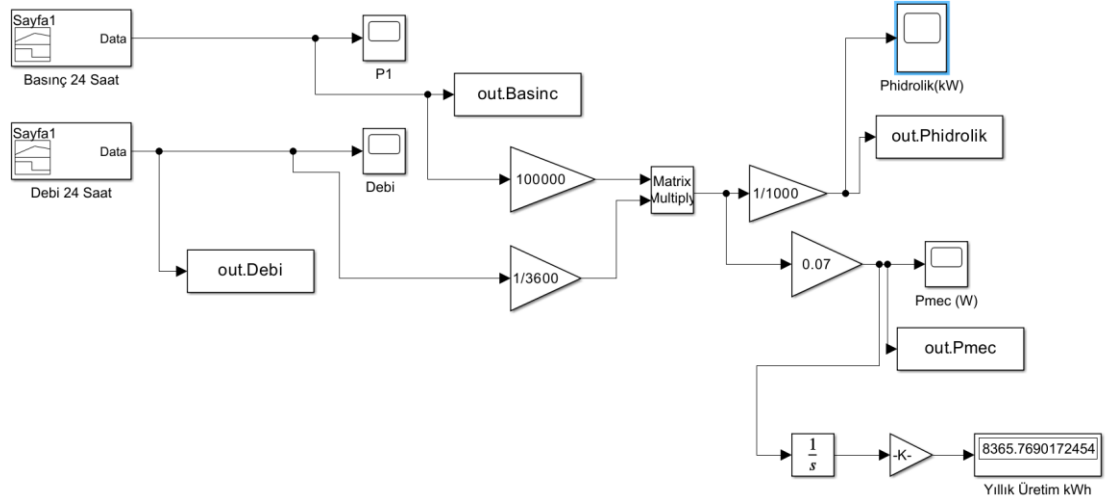
$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e - B\omega_m \quad (2.14)$$

B sürtünme faktörü (Nms), J türbin ve generatör dahil tüm sistemin ataletidir (kg.m<sup>2</sup>).

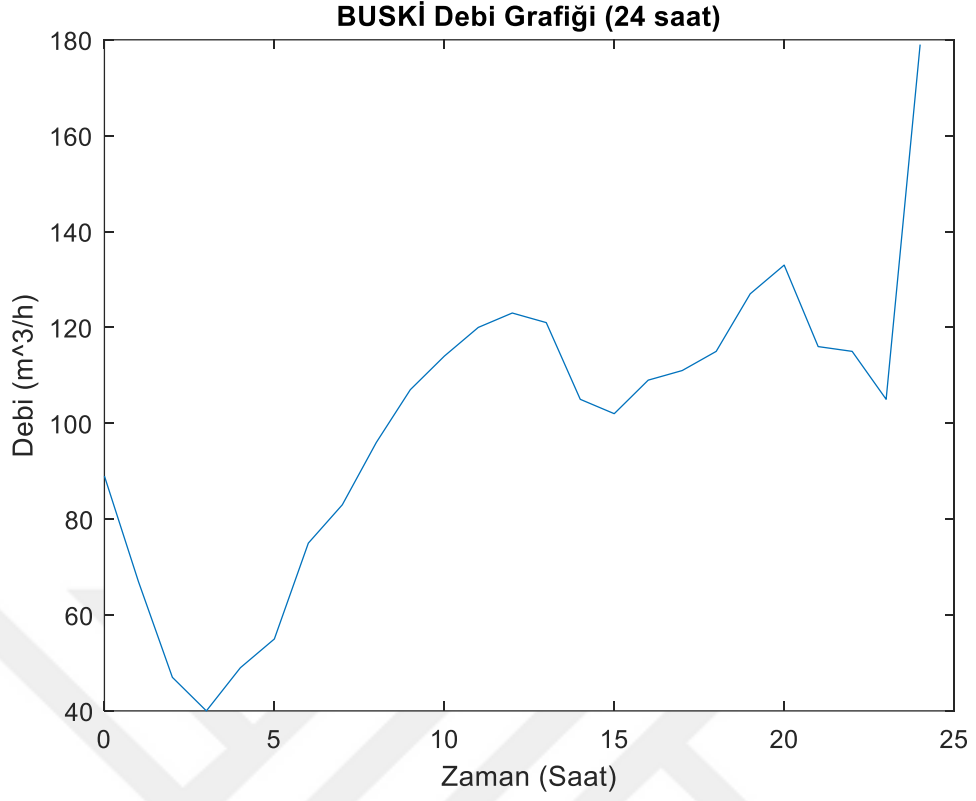
### 3. BENZETİM ÇALIŞMALARI

#### 3.1 BUSKİ Verilerine Göre Benzetim Çalışması

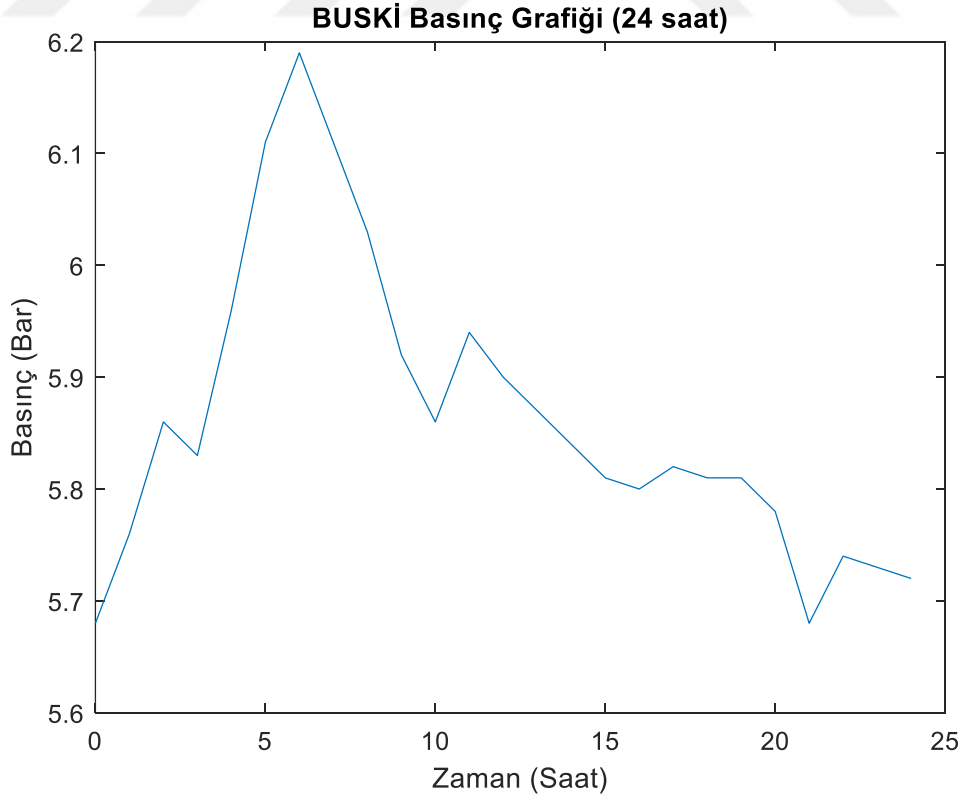
Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü kısa adıyla BUSKİ'den elde edilen yıllık debi ve yıllık basınç verilerine dayanarak bir boru hattına hidrokinetik türbin yerleştirerek elde edilebilecek gücün hesabı Matlab/Simulink yardımıyla hesaplanmıştır. Burada hedeflenen türbin verimi %7 kabul edilmiştir ve 24 saatlik bir skalada grafikler verilmiştir.



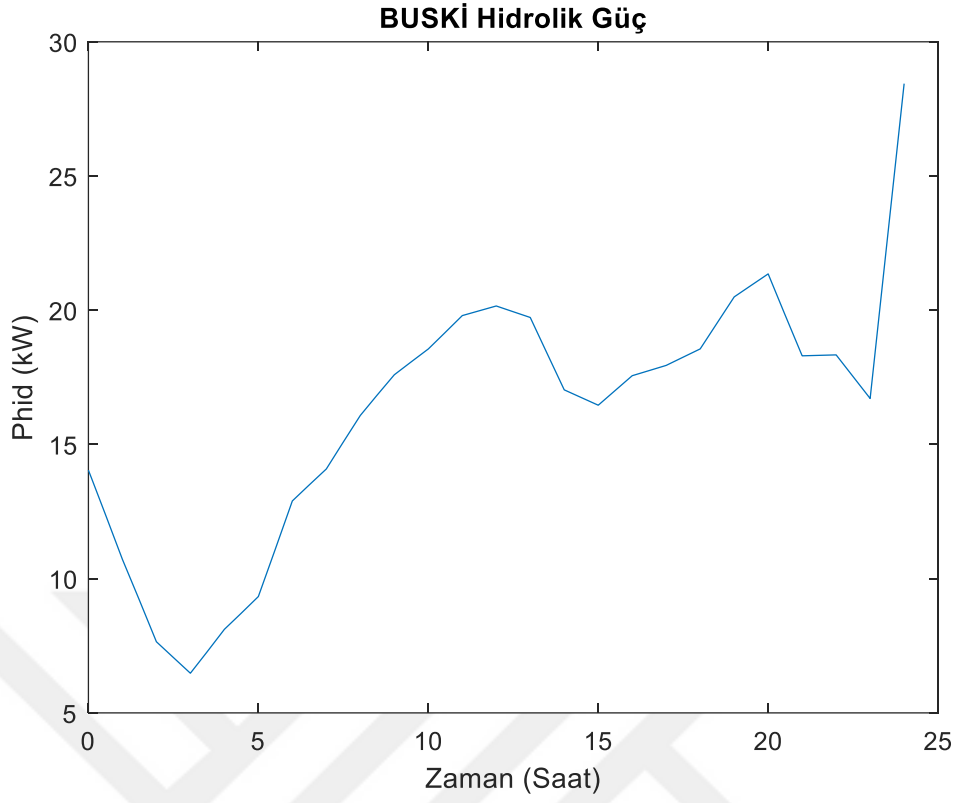
Şekil 3.1 : Sadeleştirilmiş Matlab/Simulink modeli.



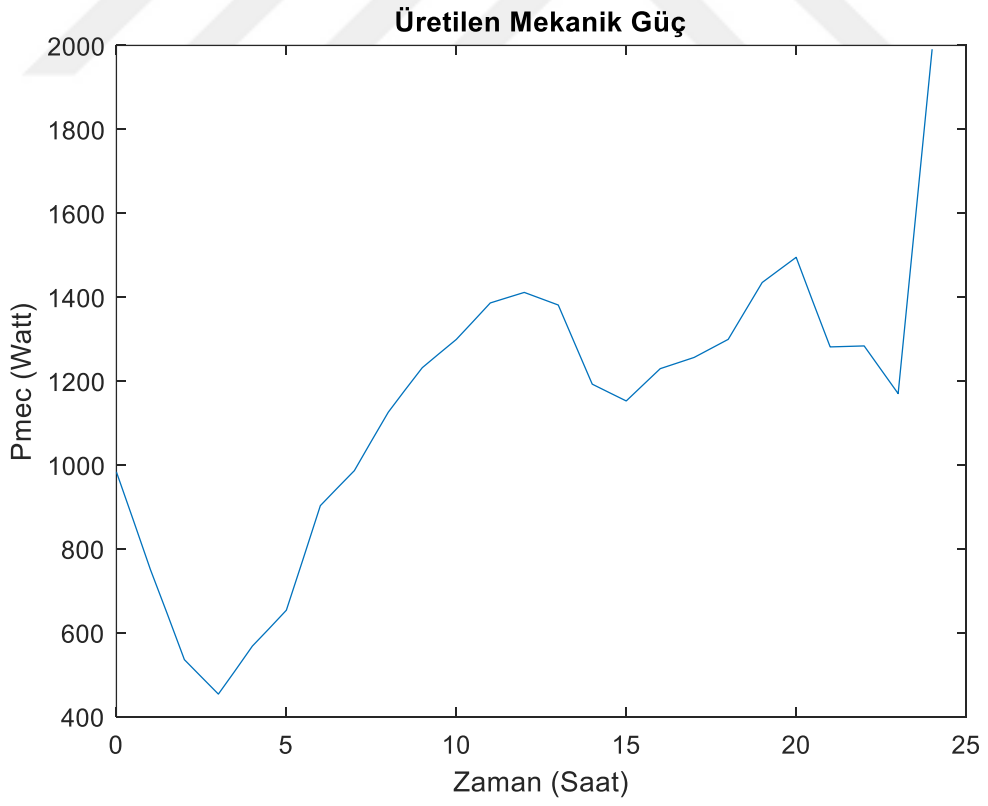
Şekil 3.2 : Buski verilerine dayalı 24 saatlik debi grafiği.



Şekil 3.3 : Buski verilerine dayalı 24 saatlik basınç grafiği.



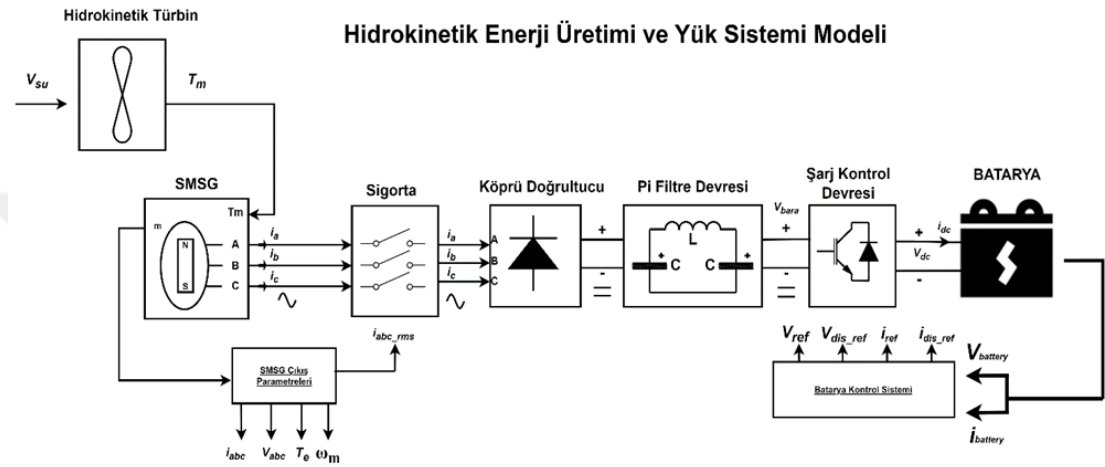
**Şekil 3.4 :** BUSKİ hattındaki suyun hidrolik güç grafiği.



**Şekil 3.5 :** Üretilen mekanik güç grafiği.

Şekil 3.5’te verilen 24 saatlik üretilen mekanik güç grafiğinin alanı integral grafik alanı denklemi yardımıyla hesaplandığında (matlab/simulink integratör bloğu ile) yıllık bazdaki (365 gün) elektriksel enerji değeri (elektriksel verim %85 kabul edildi) yaklaşık 8365,769 kWh olarak hesaplanmıştır.

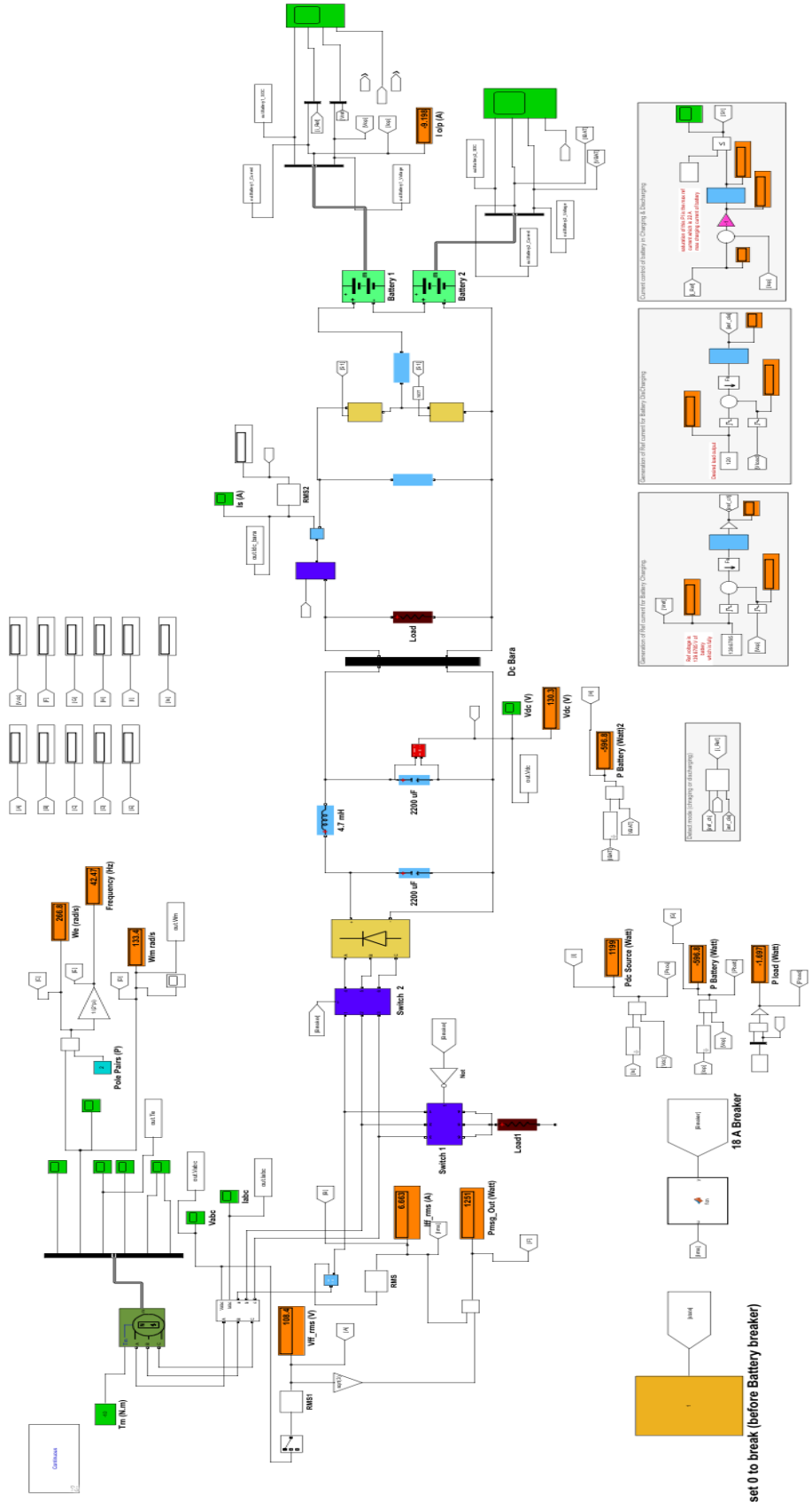
### 3.2 Su Şebekesine Uygulamak için 3 fazlı Hidrokinetik Enerji Üretim Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu



Şekil 3.6 : Hidrokinetik enerji üretim modeli.

Düşük güçlü bir hidrokinetik türbin yardımıyla maksimum elektrik enerjisi üretilmesi hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink programında “Permanent Magnet Synchronous Machine” bloğu kullanılmıştır. Generatörün ürettiği AC çıkış gerilimi, 3 fazlı kontrolsüz tam köprü doğrultucu ve  $\pi$  filtre devresi ile sabit DC bara gerilimine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen sabit DC bara gerilimide şarj kontrol devresi yönetiminde bataryaya aktarılmıştır. Batarya şarj kontrol devresi, sabit gerilim değerini kullanarak IGBT'lerin görev döngüsünü bataryaya maksimum güç aktaracak şekilde kontrol etmektedir. Ayrıca, Sabit Mıknatıslı Senkron Generatörün (MSG) çıkışına, değişken frekans ve genliklerin neden olabileceği yüksek akımların tahribatını engelleme amacıyla 3 fazlı sigorta eklenmiştir.

Simülasyon çalışmasında, [18]'de kullanılan 1,8 kW nominal gücünde yüzey mıknatıslı bir MSG için referans parametrelerinden faydalanılmıştır (Çizelge 3.1).



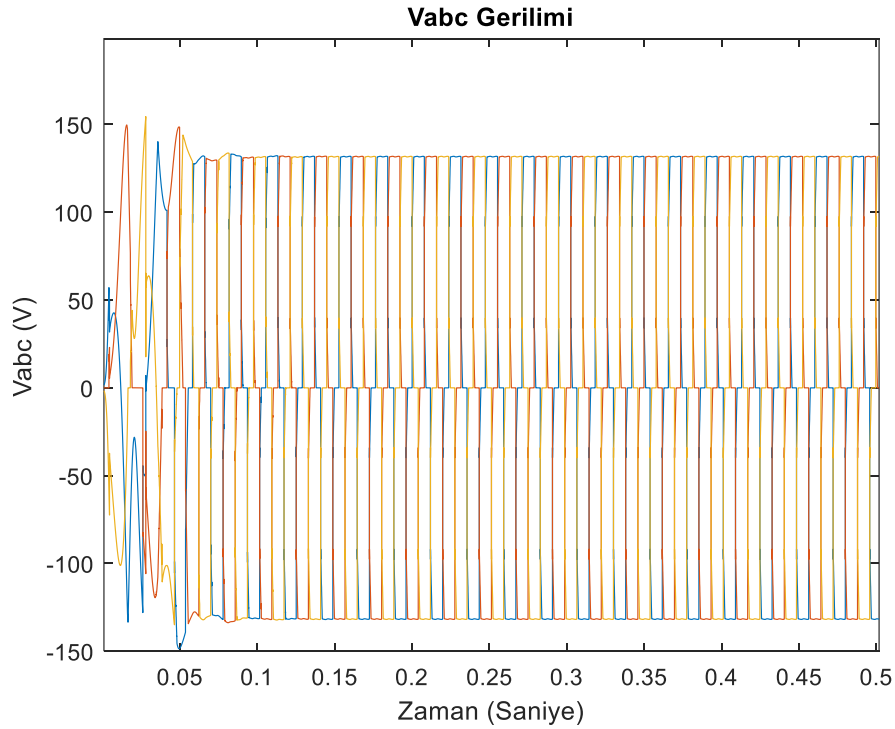
Şekil 3.7 : Hidrokinetik enerji üretimi Matlab/Simulink modeli.

**Çizelge 3.1 : SMSG Parametreleri.**

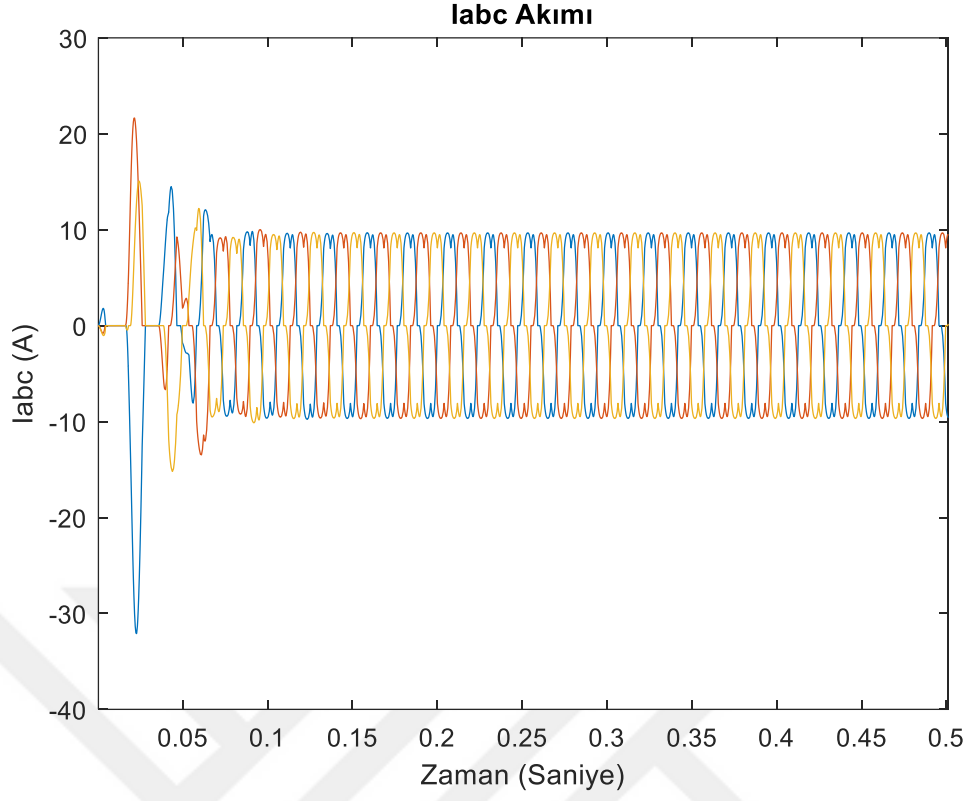
Nominal Güç (P)	1,8 kW
Moment/Akım (T/A)	1,1216 Nm/A
Mıknatıslanma Akısı ( $\phi_m$ )	0,37387 Wb
Atalet Momenti (J)	0,00126811 kg/m <sup>2</sup>
Sürtünme Katsayısı (B)	0
Çift Kutup Sayısı ( $p_p$ )	2
Empedans ( $R_s$ )	0,775 $\Omega$
q-ekseni Endüktansı ( $L_q$ )	7,31 mH
d-ekseni Endüktansı ( $L_d$ )	7,31 mH

Hidrokinetik enerjiden mekanik enerji üretimi için;  $T_m=10$  Nm mekanik moment değeri generatöre uygulanmıştır. Üretilen elektriksel güç ile iki adet 60V, 50Ah etiket değerli Li-on batarya beslenmiştir.

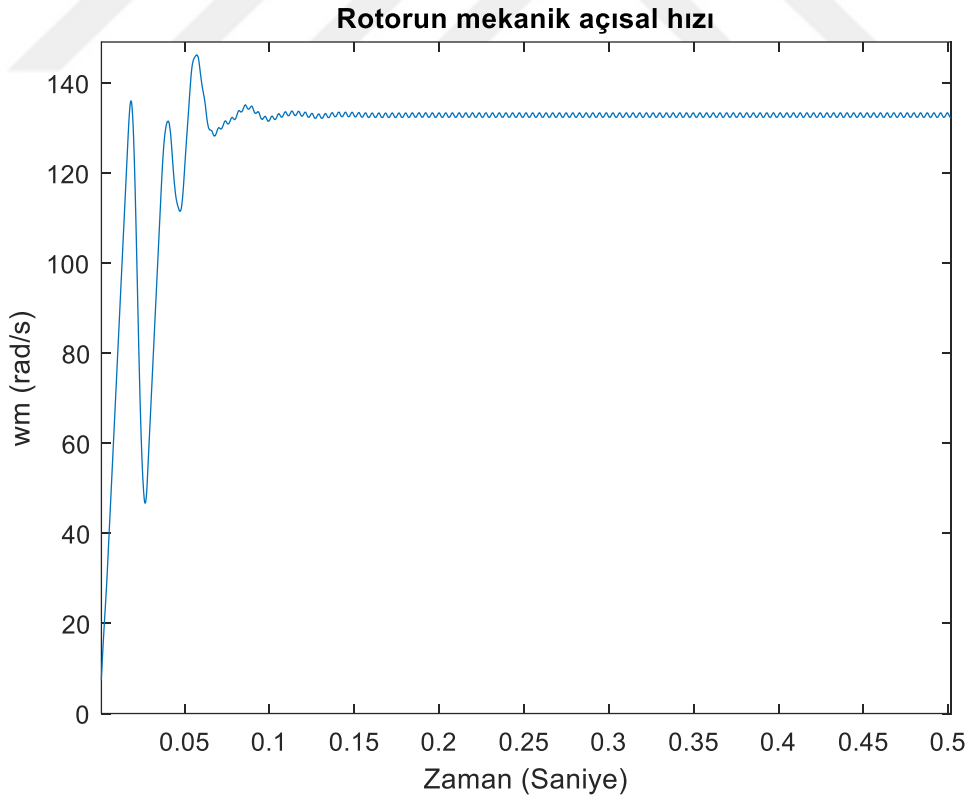
Matlab/Simulink kullanılarak yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen generatöre ait akım-gerilim grafikleri, sistemden üretilen elektriksel moment ve açısal hız grafikleri, doğrultucu bölümündeki DC bara akım-gerilim grafikleri, batarya gerilim-akım grafikleri ve batarya şarj grafiği Şekil 3.8 ve Şekil 3.19 arasında verilmiştir. Simülasyonda elde edilen tüm elektriksel ve mekanik değerler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.



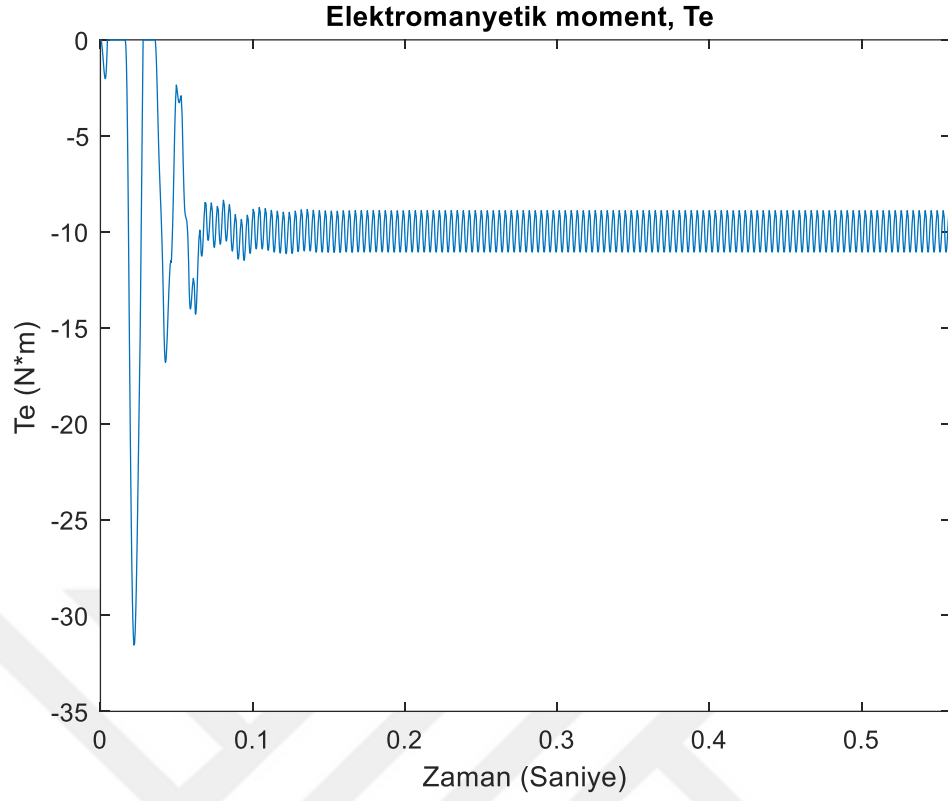
**Şekil 3.8 :  $V_{abc}$  gerilimi (V).**



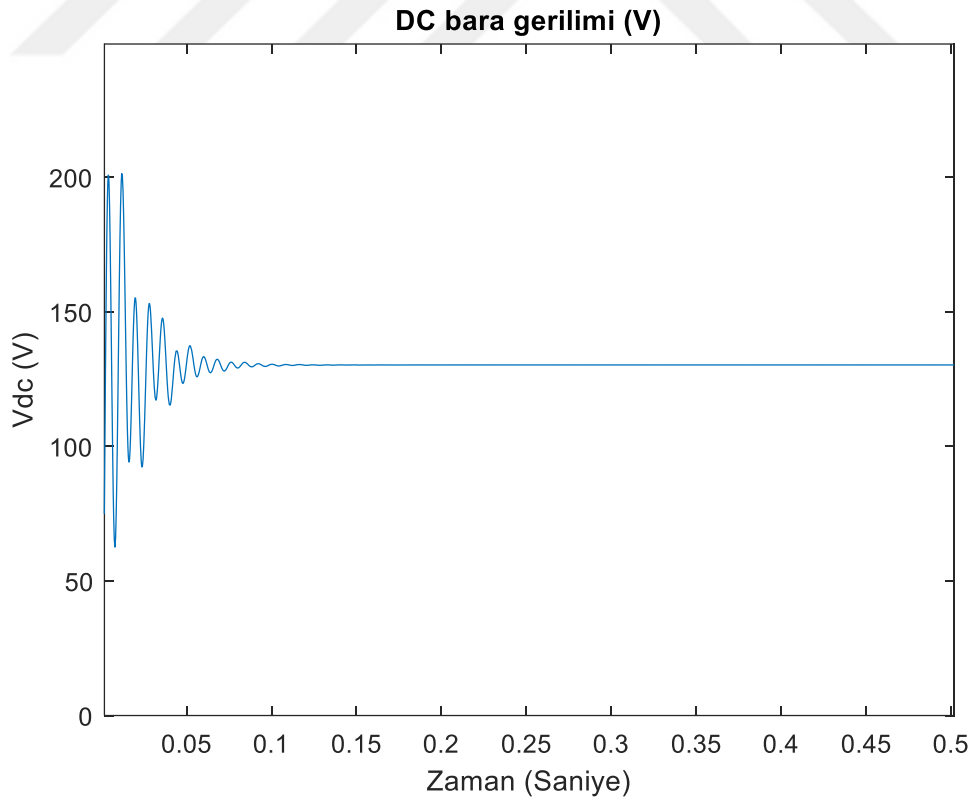
Şekil 3.9 :  $I_{abc}$  akımı (A).



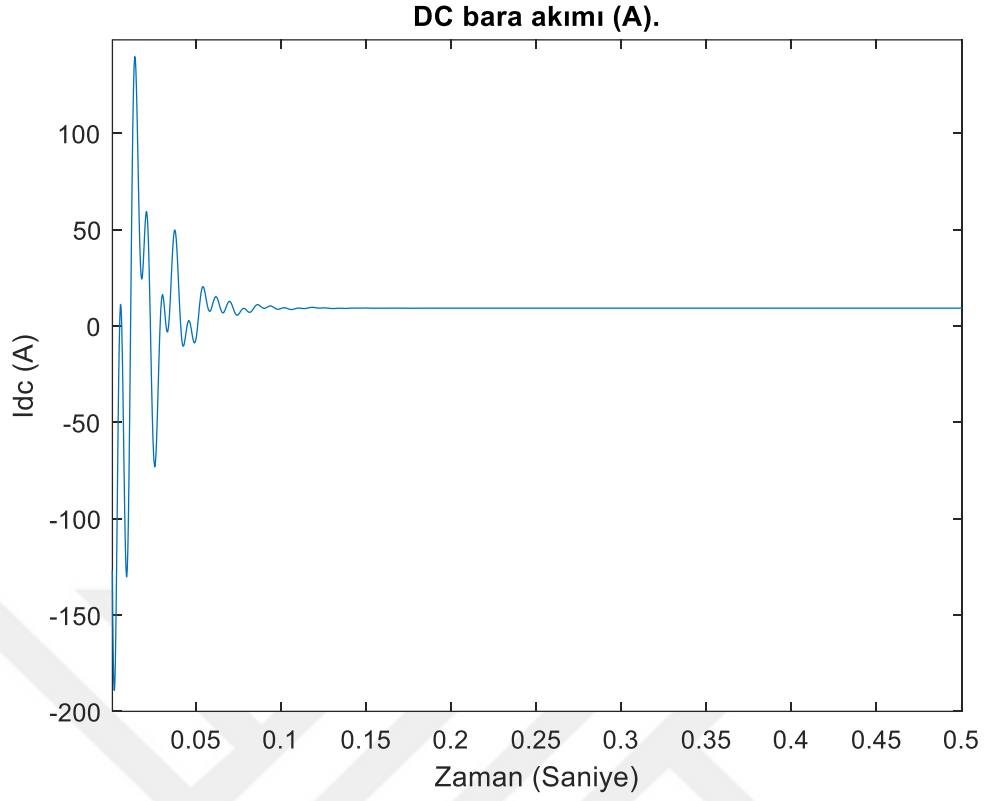
Şekil 3.10 : Rotor mekanik açısal hızı,  $\omega_m$  (rad/s).



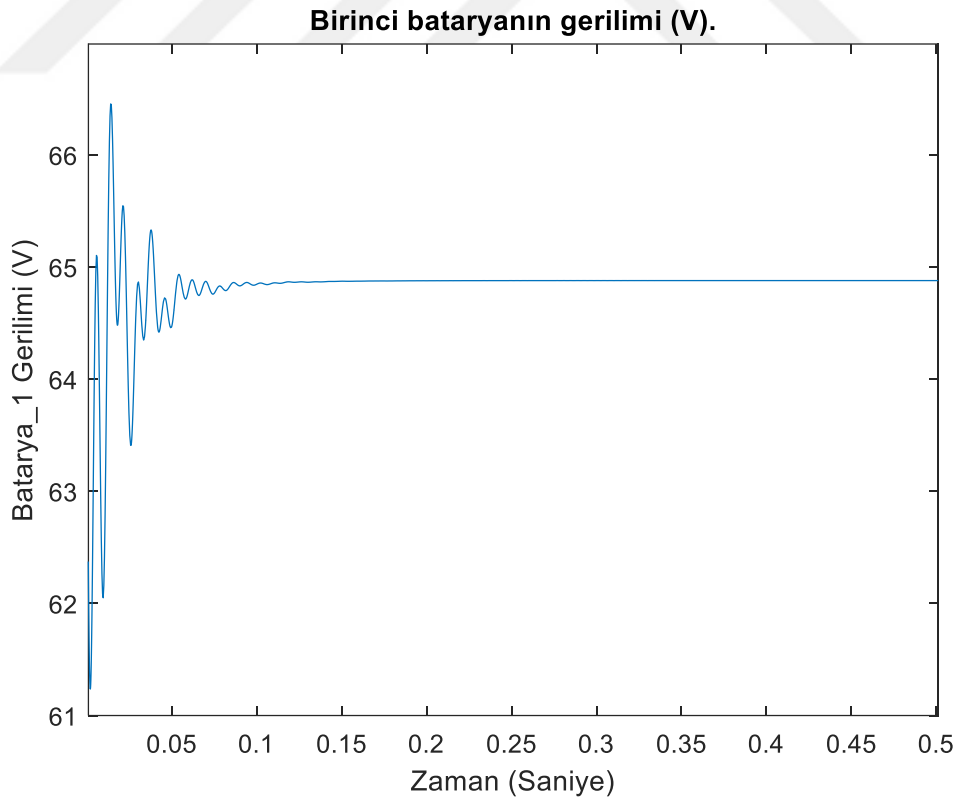
**Şekil 3.11:** Elektromanyetik moment,  $T_e$  (N.m).



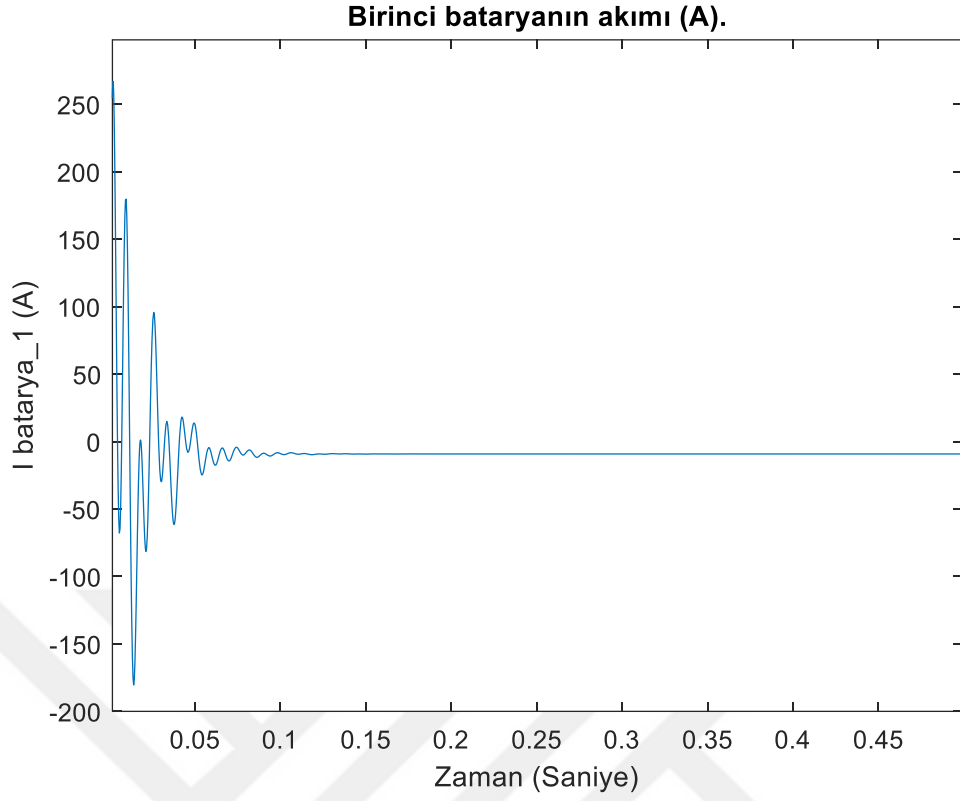
**Şekil 3.12 :** DC Bara gerilimi (V).



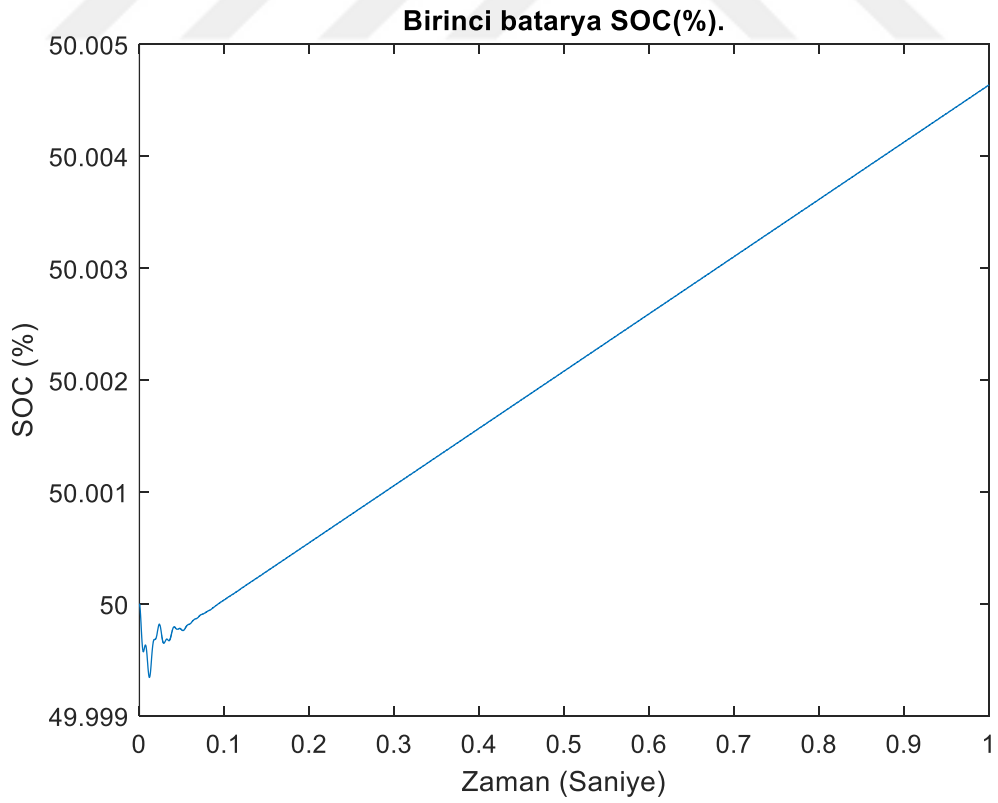
**Şekil 3.13 : DC Bara akımı (A).**



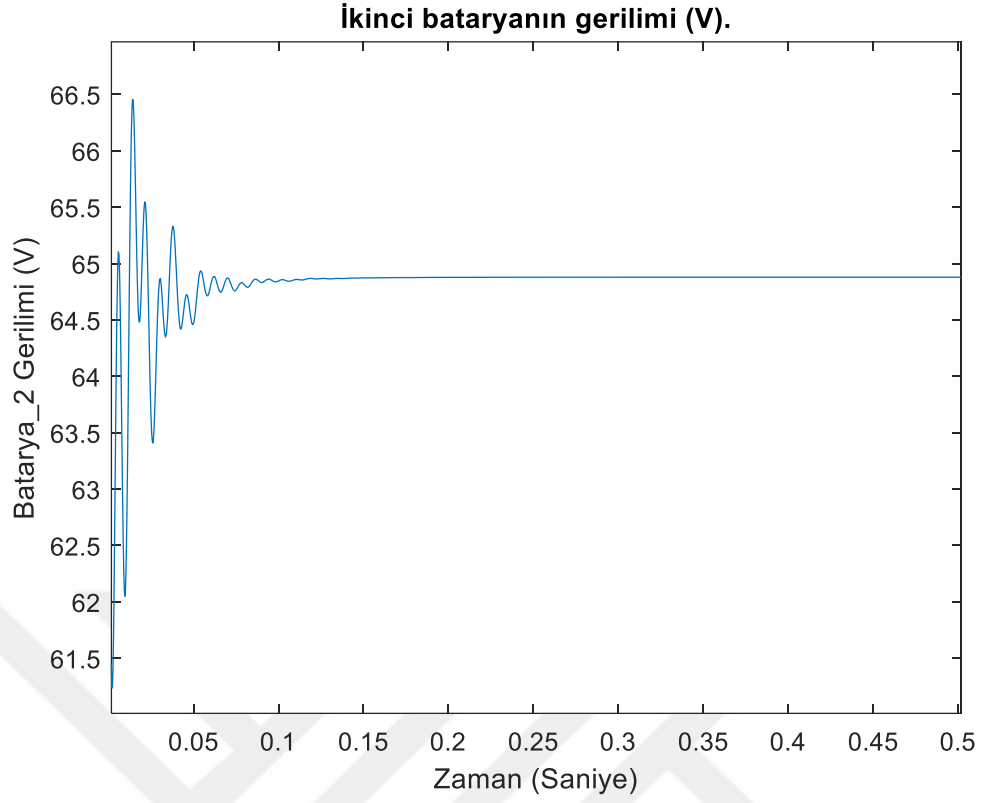
**Şekil 3.14 : Birinci bataryanın gerilimi (V).**



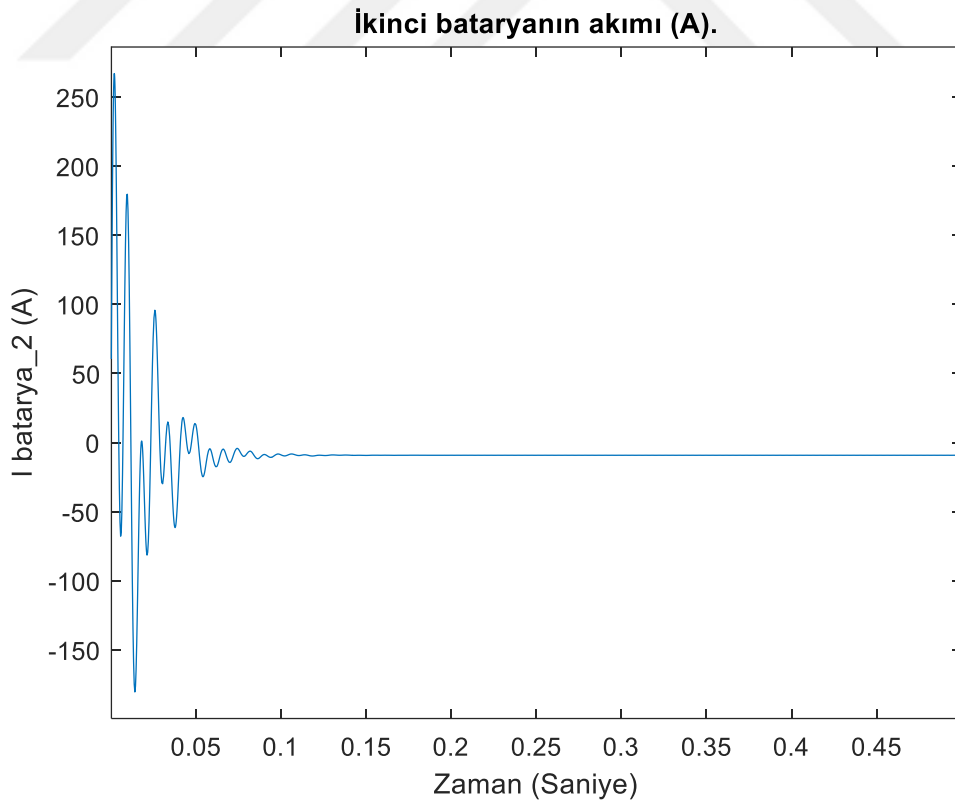
**Şekil 3.15 : Birinci bataryanın akımı (A).**



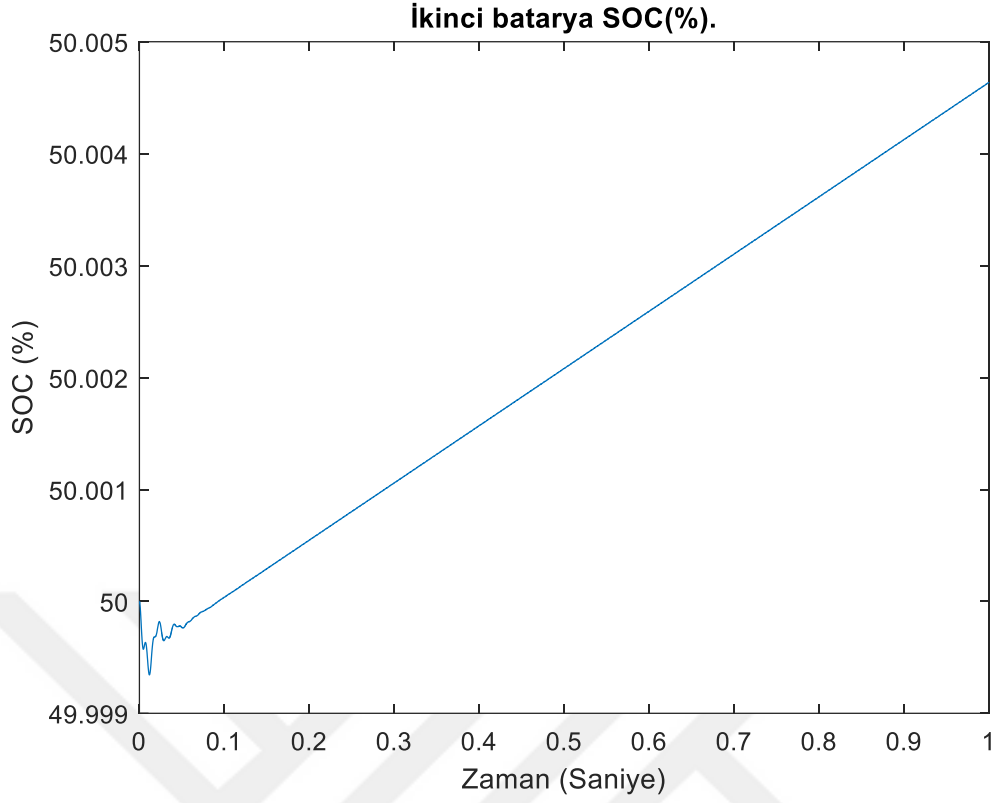
**Şekil 3.16 : Birinci batarya SOC(%).**



**Şekil 3.17: İkinci bataryanın gerilimi (V).**



**Şekil 3.18 : İkinci bataryanın akımı (A).**



**Şekil 3.19:** İkinci batarya SOC(%).

**Çizelge 3.2 :** Simülasyonda elde edilen elektriksel ve mekanik değerler

SMSG Faz-Faz Akımı ( $I_{rms}$ )	6,66
SMSG Faz-Faz Gerilimi ( $V_{rms}$ )	108,4
SMSG Çıkış Gücü (W)	1251
Frekans (Hz)	42,47
$\omega_e$ (rad/s)	266,6
$\omega_m$ (rad/s)	133,4
DC Bara Akımı (A)	9,2
DC Bara Gerilimi (V)	130,3
DC Bara Gücü (W)	1191
1. Batarya Gücü (W)	-596,8
2. Batarya Gücü (W)	-596,8

Hidrokinetik enerji sistemlerinden faydalanarak elektrik enerjisi üretimi Matlab/Simulink kullanılarak simüle edilmiştir. Sabit mıknatıslarının rotor yapısı içerisinde olmasından dolayı harici bir enerji kaynağına gerek duymadan kendiliğinden uyartımlı olabilen ve dişli kutusu gerektirmeden kullanılabilen üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatör (SMSG) kullanılmıştır. Simülasyonda, [18]'de verilen SMSG'ye 10 Nm değerli mekanik moment uygulanmıştır. Bu momentin karşılığı olan mekanik güç 1334 watt değerindedir. 3 fazlı Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG) çıkışından 1251 watt elektriksel güç üretimi gerçekleştirilmiştir. Generatörün çıkışı, 3 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu ile doğrultma işleminden sonra 60V, 50Ah'lik seri bağlı iki adet li-on bataryanın şarjında kullanılmıştır. Ortak DC bara üzerinden beslenen bataryaların şarj kontrol devresi, sabit gerilim değerini kullanarak IGBT'lerin görev döngüsünü bataryaya maksimum güç aktaracak şekilde kontrol etmektedir. 1334 watt mekanik güç uygulanan generatör çıkışından elde edilen 1251 watt güç değerinden generatör verimi %93,7 hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin toplam elektriksel verimi iki adet batarya gücünün toplamının  $(596,8+596,8=1193,6 \text{ watt})$  mekanik güce bölümünden toplam verim %89,47 elde edilmiştir.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Deney Setinin Kurulması

Su şebekesinin borularında oluşan hidrolik güçten elektrik enerjisi üretiminin araştırılması ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi için laboratuvar ortamı içerisinde demirbaş malzemeler ve sarf malzemelerin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan temel işlemler maddeler halinde açıklanırsa:

- 1) Boru içerisindeki suyu gereken debi ve basınçta hat boyunca devir-daim yaptırmak için santrifüj pompa (4 kW 5,5 HP 380 VOLT) alınmıştır (Şekil 4.1).

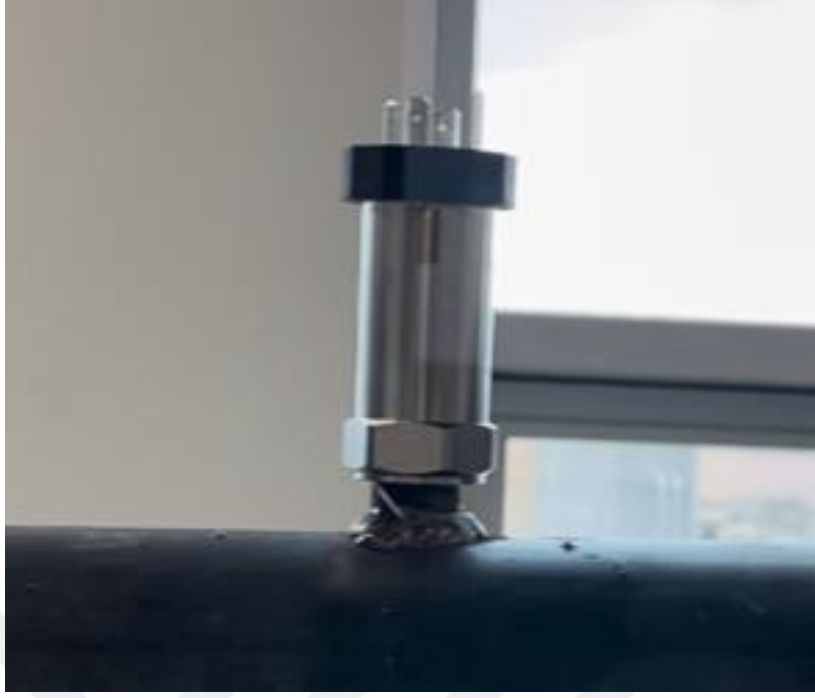


Şekil 4.1 : 4 kW 5,5 HP 380 Volt santrifüj pompa.

- 2) Motopompu sürmek amacıyla 5.5 kW motopomp sürücü (3x220V) alınmıştır (Şekil 4.2).
- 3) Boru içindeki sıvının basınç değerini hesaplamak için basınç transmitteri (Ölçüm Aralığı: 0-10 Bar, Çıkış: 4-20mA) alınmıştır (Şekil 4.3).
- 4) Elektriksel güç boru hattından akan debiye bağımlı olduğu için hat üzerindeki debinin değerini bilmek gerekir. DN100 elektromanyetik debimetre sayesinde bu debi değeri ölçülmüş olacaktır. Bu kapsamda DN100 elektromanyetik debimetre alınmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.2 : 5.5 kW motopomp sürücü (3X220V).

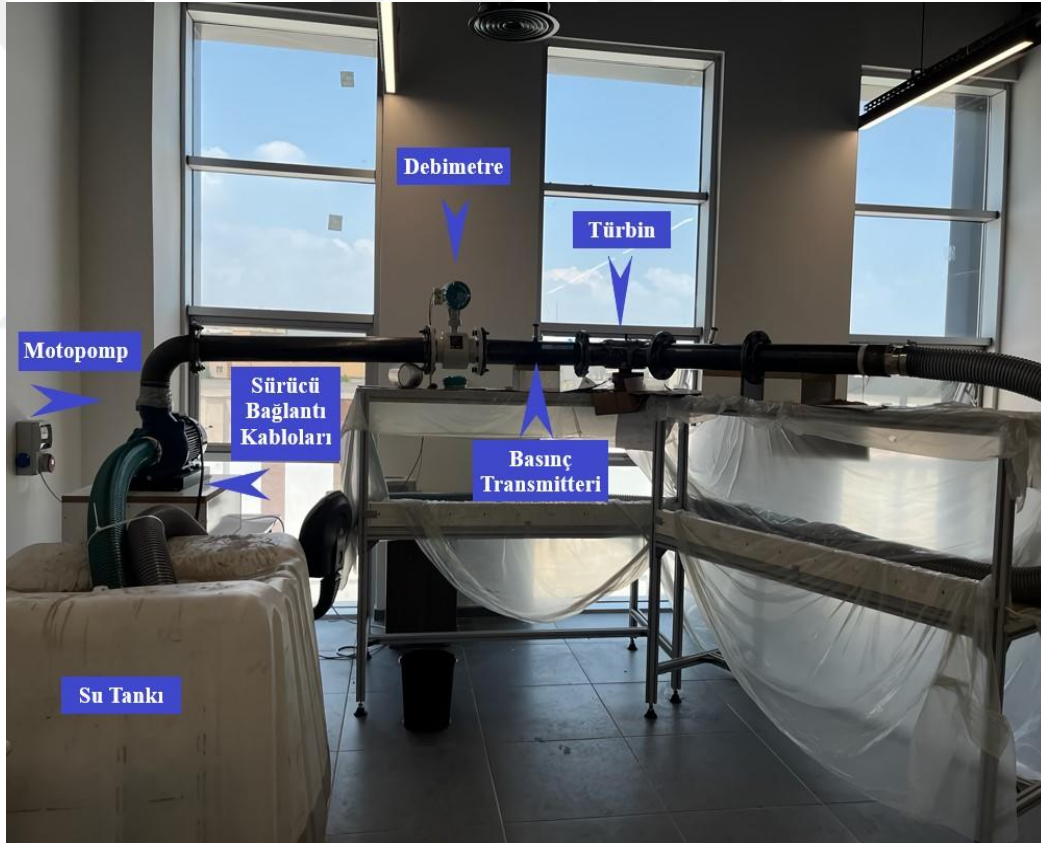


Şekil 4.3 : Basınç transmitteri.



Şekil 4.4 : DN100 elektromanyetik debimetre.

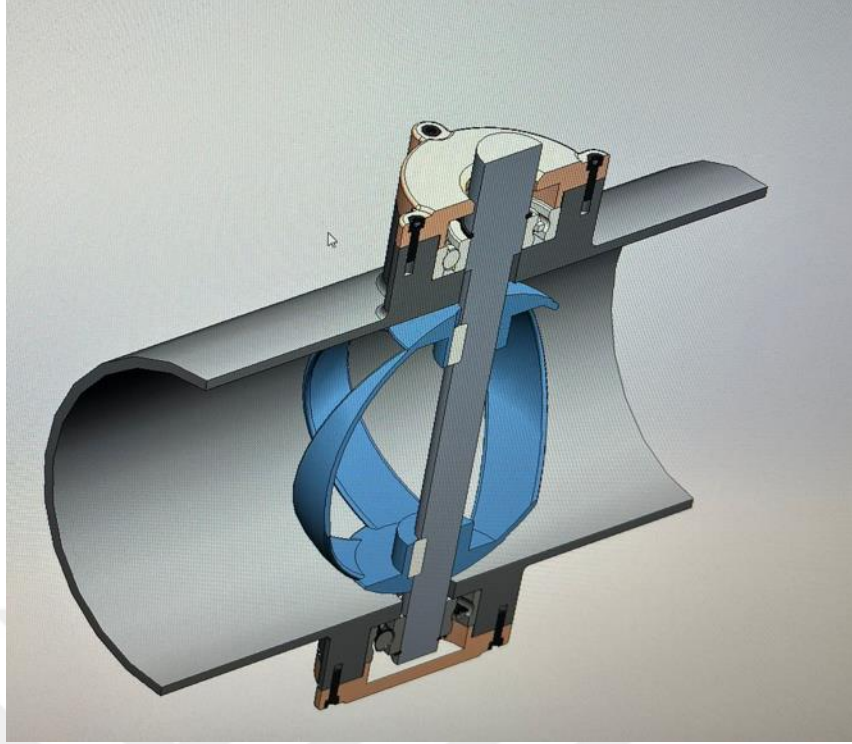
- 5) Sisteme entegre edilmek için 4 inç siyah borular, dirsek boru, bağlantı rekorları, alıcı-verici hortumlar ve klepe alınmıştır. Bağlantı rekorlarından bazılarında sanayide özel diş açılmıştır. Ayrıca türbinde kullanılmak üzere 2 adet paslanmaz çelik rulman alınmıştır.
- 6) DN100 siyah metal boruya uyumlu 10 adet flanş tasarlanmış ve lazer kesimle üretilmiştir. Daha sonra demir borulara kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.
- 7) Motopomp-sürücü ve şebeke arasındaki elektriksel bağlantılar için 5\*4 kablo alınmıştır. (5 metre)
- 8) Sarf malzemeler temin edilmiştir. (Örnek: sıvı conta, akvaryum silikonu vs.)
- 9) 1 tonluk su tankı temin edilmiştir.
- 10) Deney seti montajı yapılmıştır.



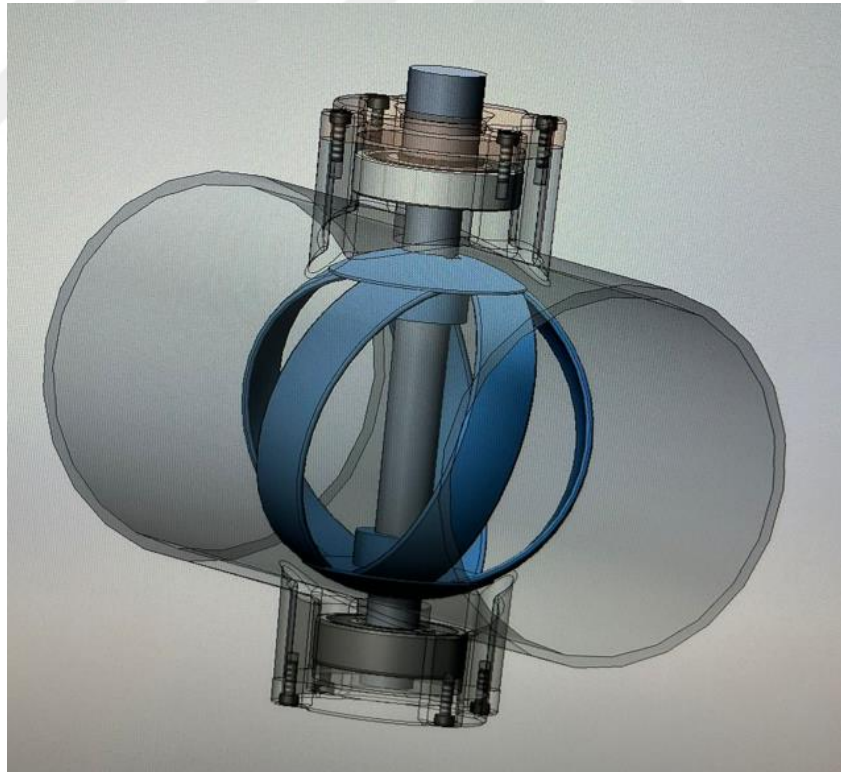
Şekil 4.5 : Montajı gerçekleştirilmiş deney seti.

#### 4.1.1 Türbin modelinin oluşturulması

Tez kapsamında ilk önce Lucid türbin tasarımı yapılmıştır. SolidWorks'te tasarımı gerçekleştirilen türbin 3D yazıcı ile üretilmiştir (Şekil 4.6, Şekil 4.7 Şekil 4.8).



**Şekil 4.6 :** SolidWorks^te tasarkanan lucid küresel türbin sisteminin içten görünüşü.



**Şekil 4.7 :** SolidWorks^te tasarkanan lucid küresel türbin sistemi dış görünüşü.



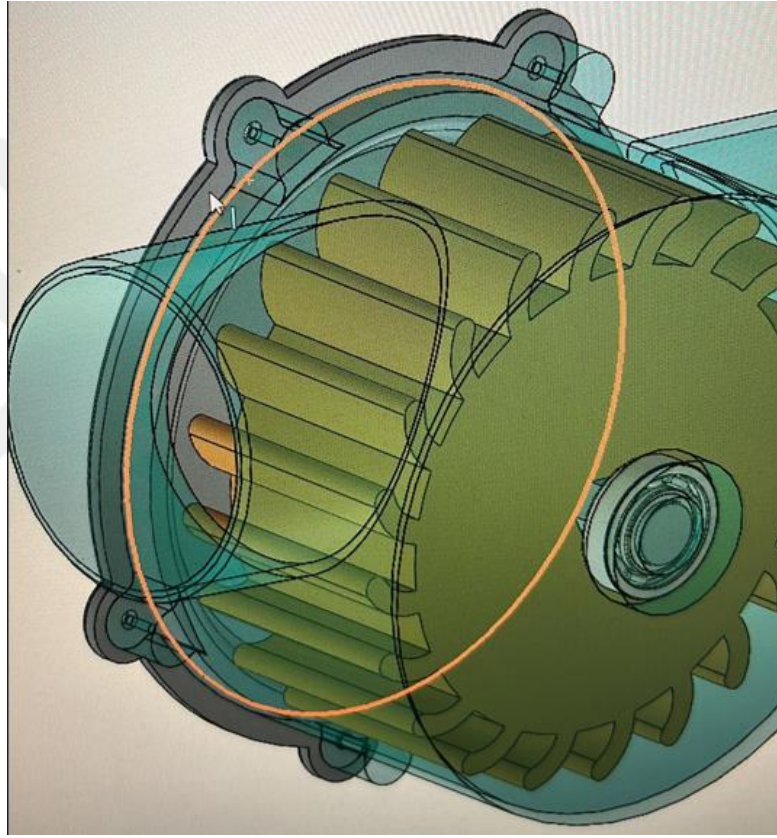
**Şekil 4.8** : 3D yazıcı ile üretilmiş lucid küresel türbin sistemi.

Tüm montajlar ve eksikliklerin tamamlanmasıyla birlikte sistem çalıştırılmış ve testi yapılan türbin kesintisiz bir dönüş sağlayamamıştır. Bundan dolayı farklı tasarımlarıyla toplam 7 adet lucid türbin ile çalışılmış fakat yapılan tüm testlerin sonucunda istenilen verim ve kalite sağlanamamıştır (Şekil 4.9).

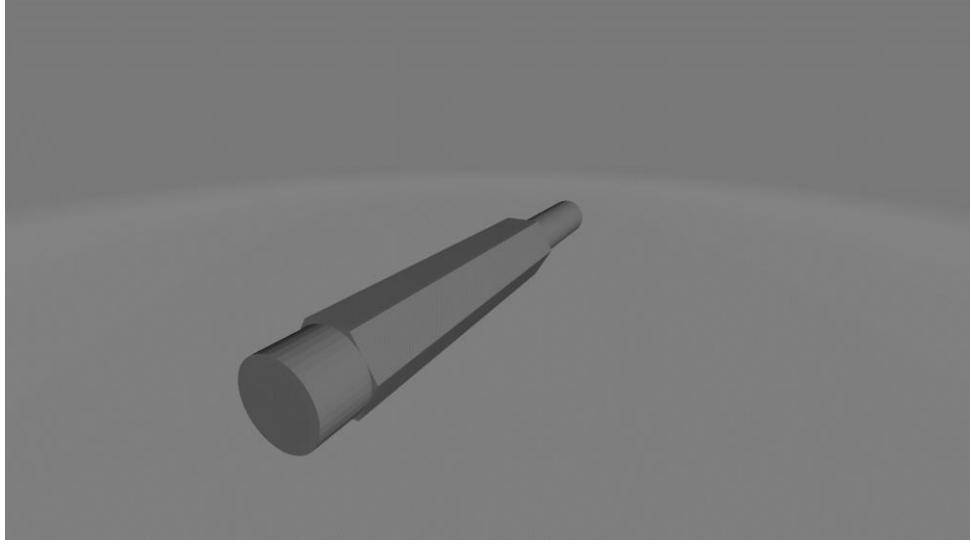


**Şekil 4.9** : 3D yazıcı ile üretilmiş lucid türbinler.

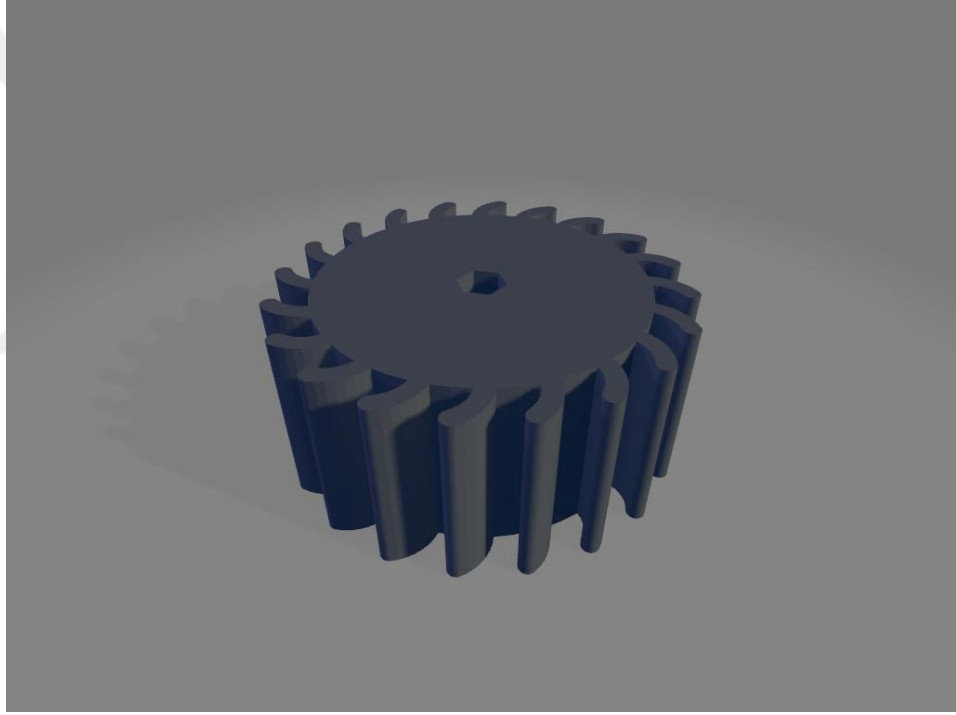
Lucid türbinlerle gerçekleştirilen tüm testlerin sonucunda kesintisiz ve sürekli mekanik güç üretiminin sağlanamamasından dolayı yeni bir türbin tipine geçiş yapılmasına karar verilmiştir. 4 inç boru hattına özel pelton türbinlerine benzer bir yaklaşım ile özel bir türbin sistemi tasarlanmıştır (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12). Tasarlanılan sistem tamamen 3D yazıcıdan bastırılarak deney setinde denenmiştir fakat malzeme dayanımı sistemdeki basınca dayanıklı olmadığı için belirli parçaların lazer kesimle metalden üretilerek eklenmesine karar verilmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15). Kaynağı ve montajı yapılan bu parçaların testleri gerçekleştirilmiştir.



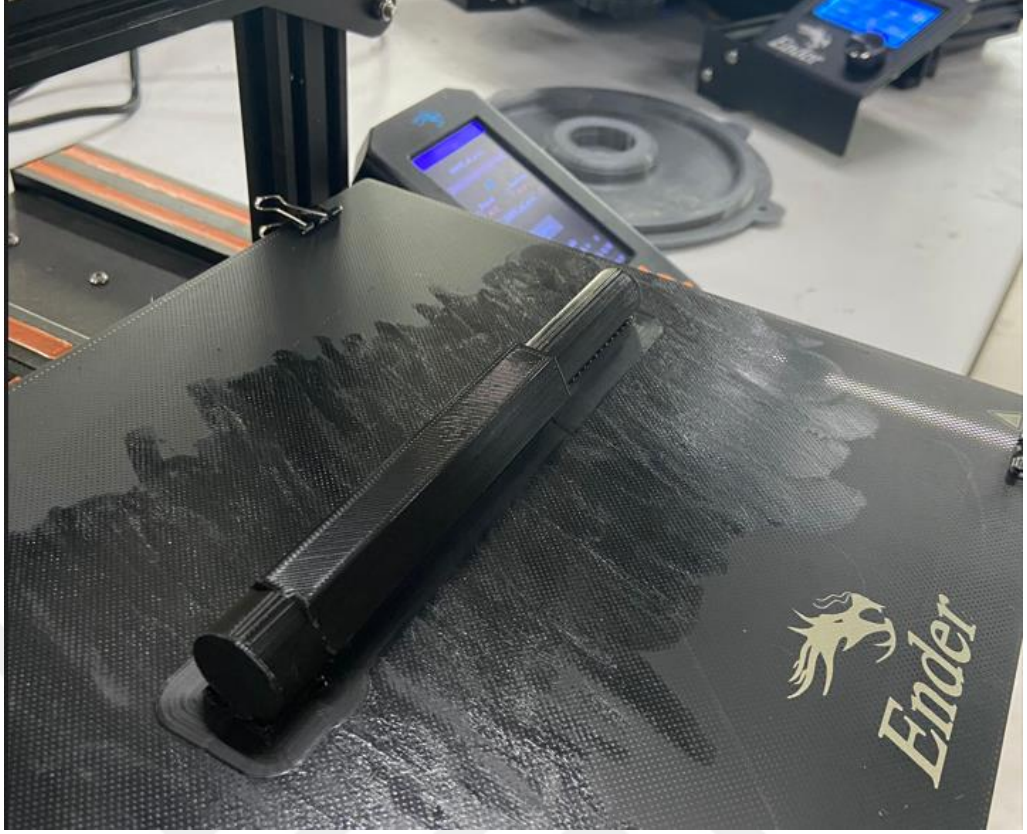
**Şekil 4.10** : SolidWorks ile tasarlanmış 4 inç boru hattına özel pelton türbin tasarımı.



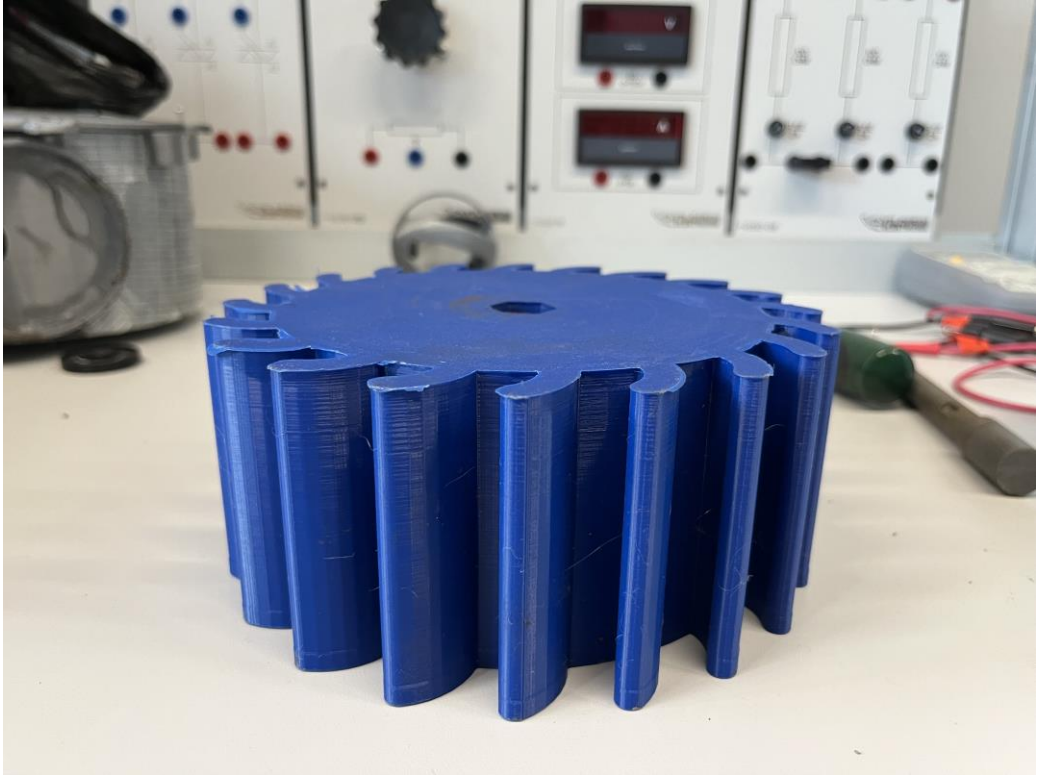
**Şekil 4.11** : Türbinle aküple olması için altıgen tasarımlı mil.



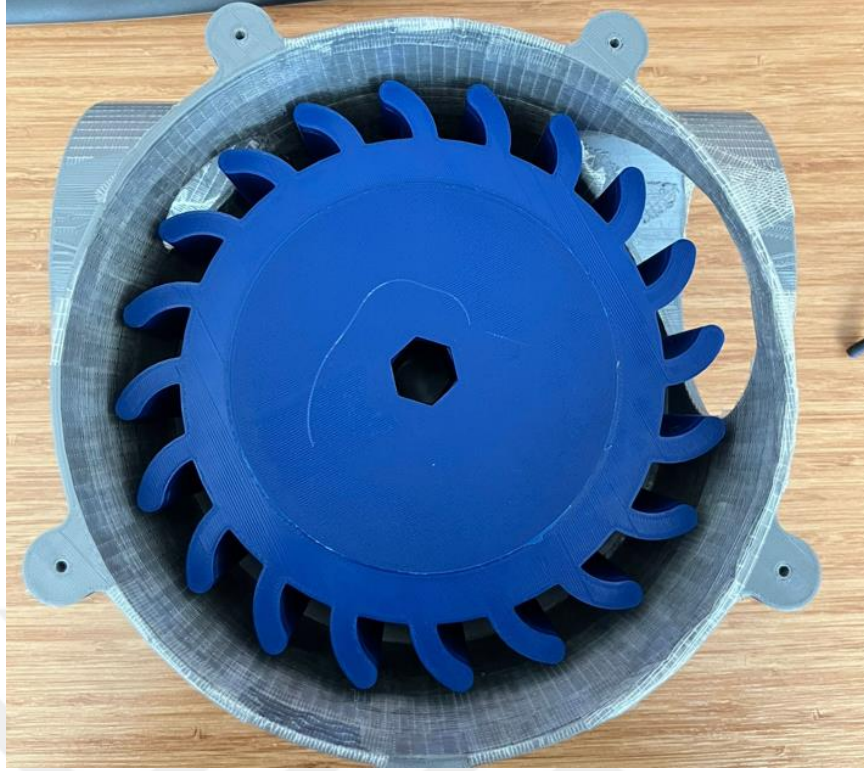
**Şekil 4.12** : Pelton türbin tasarımının ön görünüşü.



Şekil 4.13 : 3D yazıcı ile üretilmiş altıgen tasarımlı mil.



Şekil 4.14 : 3D yazıcı ile üretilmiş pelton türbini.



**Şekil 4.15 :** 3D yazıcı ile üretilmiş türbin tamburu.

3D yazıcıdan üretilen tamburun malzeme dayanımı sistemdeki basınca dayanıklılığının az olmasının tespiti üzerine tamburun parçalarının metalden üretilmesine karar verildi. Lazer kesimle üretilen parçalar kaynak montajının ardından deney setine kuruldu (Şekil 4.16, Şekil 4.17).



**Şekil 4.16 :** Lazer kesimle üretilen parçalarıyla montajı yapılmış türbin tamburu.



**Şekil 4.17 :** Lazer kesimle üretilmiş tambur kapağı (Sıvı conta ile rulman takılmış).

Şekil 4.16’de görüldüğü üzere lazer kesimle üretilen türbin tamburunun sağ ve sol taraflarına 4 inç çaplı 15 cm uzunluğunda siyah boru kaynak montaj ile takılmıştır. Daha sonra boruların deney setine bağlantısının sağlanması amacıyla iki adet flanş kaynak montaj takılmıştır.

#### **4.1.2 Generatör Montajı**

Hidrokinetik türbinler vasıtasıyla maksimum düzeyde elektrik enerjisi üretimi hedeflenmiş ve bu amaç doğrultusunda üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatör kullanılmıştır (Şekil 4.18). Üretilen elektrik enerjisi üç fazlı bir dönüştürücü sistemi kullanılarak yüke aktarılmıştır.

**Çizelge 4.1 :** 3 fazlı SMSG Parametreleri.

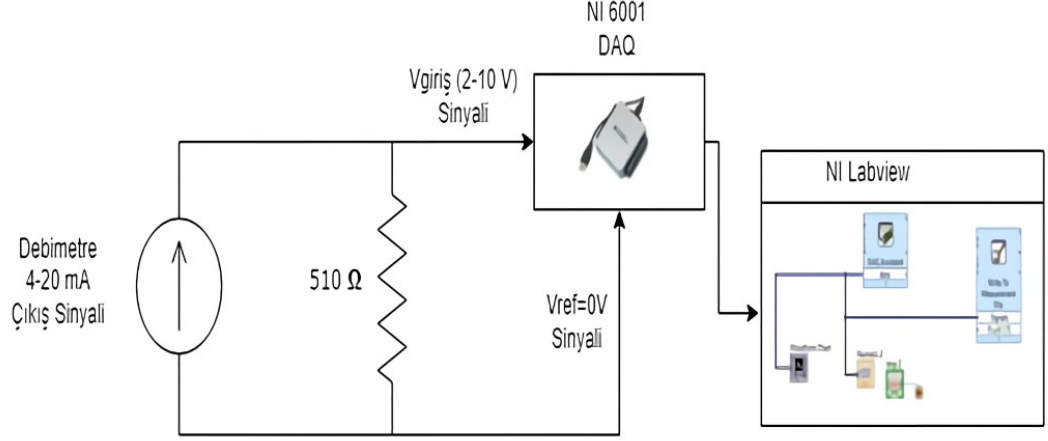
Nominal Güç (P)	400 W
Çift Kutup Sayısı ( $p_p$ )	6
Nominal Gerilim	12 V
Nominal Devir Sayısı	500 rpm



**Şekil 4.18 :** Türbin miline kaplin ile bağlantısı yapılmış üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatör (3 adet tutucu direk ile sabitlenmiştir).

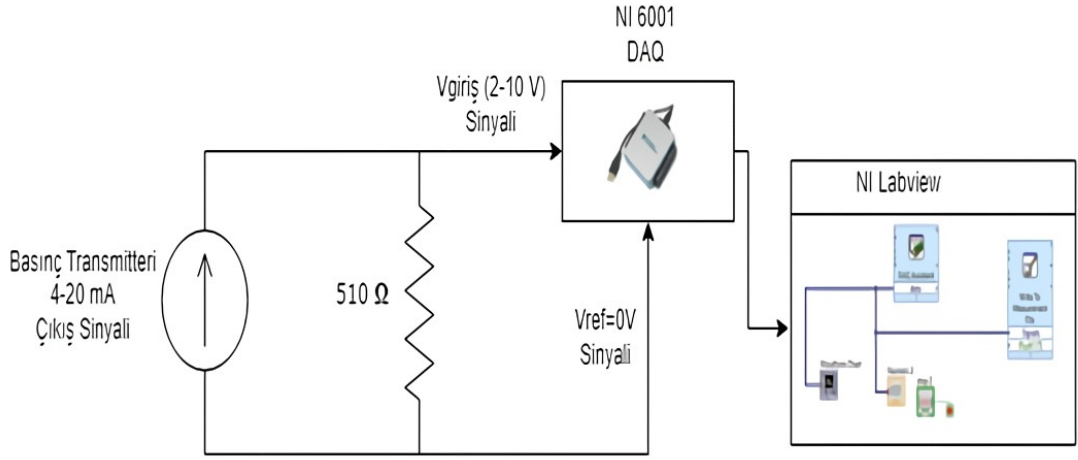
#### **4.2 Sistemin Çalıştırılması**

İçme suyu hatlarından hidrokinetik enerji üretimi amacıyla kurduğumuz deney setindeki santrifüj pompa (4 kW 5,5 HP 380 VOLT), 5.5 kW motopomp sürücüsü (3x220V) ile farklı sürme frekanslarında çalıştırılmıştır. Sürme frekansının değişmesiyle sistemin içerisindeki değişen debi ve basınç ile birlikte generatör çıkışında üretilen  $P_e$  elektriksel güç değişimi incelenmiştir. Basınç transmitteri ve DN100 elektromanyetik debimetrenin 4-20mA çıkış sinyalleri  $R=510$  ohm 2 adet direnç ile 2-10 V çıkış gerilimlerine çevrilmiştir. Daha sonra bu iki ayrı devrenin çıkış gerilim sinyalleri Nİ 6001 DAQ cihazı (veri toplama kartı) ile labview programı üzerinden incelenmiştir.



**Şekil 4.19 :** Nİ 6001 DAQ cihazından debimetre verisi toplama şeması.

Basınç transmitteri basınç verisi 0-10 bar ölçüm aralığının çıkış gerilim sinyali karşılığı labview programı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Burada her 0.8V değişim 1 bar basınç verisine karşılık gelmektedir. Labview programında okunan değer ile basınç transmitteri çıkış geriliminin multimetre ile okunan değeri karşılaştırılması yapılmış ve sorun olmadığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.20 :** Nİ 6001 DAQ cihazından basınç transmitteri verisi toplama şeması.

**Çizelge 4.2 : Basınç Verisinin Çıkış Gerilim Sinyali Karşılığı.**

Basınç	Gerilim
0 Bar	2 V
1 Bar	2,8 V
2 Bar	3,6 V
3 Bar	4,4 V
4 Bar	5,2 V
5 Bar	6 V
6 Bar	6,8 V
7 Bar	7,6 V
8 Bar	8,4 V
9 Bar	9,2 V
10 Bar	10 V

DN100 elektromanyetik debimetrenin 14-140 m<sup>3</sup>/h ölçüm aralığı ile çıkış gerilim sinyalinin dönüşümü labview programı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca debimetrenin LCD göstergesindeki değer ile karşılaştırılması yapılmış ve sorun olmadığı gözlenmiştir.

**Çizelge 4.3 : Debi Verisinin Çıkış Gerilim Sinyali Karşılığı.**

Debi	Gerilim
0 m <sup>3</sup> /h	2 V
14 m <sup>3</sup> /h	2,8 V
28 m <sup>3</sup> /h	3,6 V
42 m <sup>3</sup> /h	4,4 V
56 m <sup>3</sup> /h	5,2 V
70 m <sup>3</sup> /h	6 V
84 m <sup>3</sup> /h	6,8 V
98 m <sup>3</sup> /h	7,6 V
112 m <sup>3</sup> /h	8,4 V
126 m <sup>3</sup> /h	9,2 V
140m <sup>3</sup> /h	10 V

Santrifüj pompa ile su devir daim yaptırılarak türbinden mekanik güç üretimi sağlanmıştır. Türbin mili ve generatör arasında kaplin ile yapılan aküple işlemi sayesinde türbinden üretilen mekanik güç sabit mıknatıslı senkron generatör ile elektriksel güce dönüştürülmüştür. Debi ve basıncın artmasıyla birlikte sistemde üretilen elektriksel güç pozitif yönde artış göstermiştir. Generatörün 3 fazlı çıkışı, 3 fazlı kontrolsüz tam köprü doğrultucu (diyotlu doğrultucu) ile doğrultulup omik yük üzerinden elektriksel güç harcanmıştır.

**Çizelge 4.4 :** Motopomp sürme frekansına göre debi ve basınç verileri.

Motopomp Sürme Frekansı (Hz)	Debi (m <sup>3</sup> /h)	Basınç (Bar)	Debi Çıkış Gerilimi (V)	Basınç Çıkış Gerilimi (V)	Türbin mil dönüş hızı (Rpm)
40	32,43	1,08	3,405	2,64	144
45	36,13	1,206	3,85	2,97	200
50	40,8	1,35	4,342	3,3	236

Motopomp 45 Hz sürme frekansında sürüldüğünde deney setindeki debimetreden 36,13 m<sup>3</sup>/h bir debi ve basınç transmitterinden 1,206 bar basınç değeri ölçülmüştür. Denklem 2.4 kullanılarak P<sub>hid</sub> hidrolik güç hesaplanırsa;

$$P_{hid} = Q_{debi} P_{basinç} = \frac{36,13}{3600} (m^3/s) \times 1,206 \times 10^5 (Pascal) = 1210 \text{ Watt hidrolik güç}$$
  
motopomp tarafından sisteme aktarılmıştır. 45 Hz sürme frekansında generatör ve yük tarafındaki ölçülen değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Generatör ve yük tarafındaki ölçülen değerler.

SMSG Faz-Faz Gerilimleri (V <sub>ab</sub> , V <sub>bc</sub> , V <sub>ac</sub> ) (Volt)	3 fazlı tam köprü doğrultucu çıkışı (V <sub>dc</sub> )	Yük (Ω)	Akım I <sub>dc</sub> (mA)	Yük üzerinde harcanan elektriksel güç P <sub>e</sub> (Watt)
4,5 4,4 4,5	7,1	20	350	2,485
4,5 4,4 4,5	7	50	150	1,05

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü kısa adıyla BUSKİ'den elde edilen yıllık debi ve yıllık basınç verilerine dayanarak bir boru hattına hidrokinetik türbin yerleştirilerek elde edilebilecek gücün hesabı Matlab/Simulink yardımıyla hesaplanmıştır. Burada hedeflenen türbin verimi %7 kabul edilmiştir ve 24 saatlik bir skalada grafikler verilmiştir. 24 saatlik skalada günün en düşük su tüketiminin olduğu zamanda hidrokinetik türbinin üretebileceği mekanik güç 453 watt hesaplanmıştır. Bunun yanında, en yüksek su tüketiminin olduğu zamanda ise sistemin 1990 watt mekanik güç üretebileceği hesaplanmıştır. Burada, sisteme eklenmiş generatörün verimi en az yüzde 91 olduğu düşünüldüğünde sistemin üretebileceği elektriksel güç 412-1810 watt aralığındadır. Ayrıca 24 saatlik üretilen mekanik güç grafiğinin alanı integral grafik alanı denklemi yardımıyla hesaplandığında (matlab/simulink integratör bloğu ile) yıllık bazdaki (365 gün) elektriksel enerji değeri (tüm elektriksel verim %85 kabul edildi) yaklaşık 8365,769 kWh olarak hesaplanmıştır.

BUSKİ verilerine ait hesaplamalardan sonra bu tez çalışması kapsamında, su şebekesine monte edilecek hidrokinetik enerji üretim sisteminden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi Matlab/Simulink kullanılarak simüle edilmiş ve enerji üretiminin araştırılması için laboratuvar ortamı içerisinde deney sistemi kurulmuştur.

Matlab/Simulink simülasyonunda, 10 Nm değerli mekanik moment uygulanan SMSG çıkışında üretilen 1334 watt mekanik giriş gücünün uygulandığı 3 fazlı Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG) çıkışından 1251 watt elektriksel güç üretimi gerçekleştirilmiştir. Generatörün çıkışı, 3 fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu ile doğrultma işleminden sonra 60V, 50Ah'lik seri bağlı iki adet li-on bataryanın şarjında kullanılmıştır. 1334 watt mekanik güç uygulanan generatör çıkışından elde edilen 1251 watt güç değerinden generatör verimi %93,7 hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin toplam elektriksel verimi iki adet batarya gücünün toplamının (596,8+596,8=1193,6 watt) mekanik güce bölümünden toplam verim %89,47 elde edilmiştir.

Tez kapsamındaki deneysel çalışmalarda ilk önce Lucid türbin tasarımı yapılmıştır. SolidWorks'te tasarımı gerçekleştirilen türbin 3D yazıcı ile üretilmiştir. Farklı

tasarımlarıyla toplam 7 adet lucid türbin ile çalışılmış fakat yapılan tüm testlerin sonucunda elektrik enerjisinin üretimi için gerekli koşullar sağlanamamıştır. Kesintisiz ve sürekli mekanik güç üretiminin sağlanamamasından dolayı yeni bir türbin tipine geçiş yapılmasına karar verilmiştir ve 4 inç boru hattına özel pelton türbinlerine benzer bir yaklaşım ile deney setine özel bir türbin tasarlanmıştır. SolidWorks'te tasarımı gerçekleştirildikten sonra 3D yazıcıdan özel pelton türbini, mil ve türbinin yerleştireleceği tambur üretilmiştir. Fakat, üretilen türbin tamburunun malzeme dayanımı sistemdeki basınca karşı dayanıklılığının az olmasının tespiti üzerine tamburun parçalarının metalden üretilmesine karar verilmiş ve lazer kesimle üretilen parçalar kaynak montajının ardından deney setine kurulmuştur.

Hidrokinetik türbinler vasıtasıyla maksimum düzeyde elektrik enerjisi üretimi amacı doğrultusunda sabit mıknatıslarının rotor yapısı içerisinde olmasından dolayı harici bir enerji kaynağına gerek duymadan kendiliğinden uyarımlı olabilen ve dişli kutusu gerektirmeden kullanılabilen üç fazlı sabit mıknatıslı senkron generatör (SMSG) kullanılmıştır. Üretilen elektrik enerjisi üç fazlı bir dönüştürücü sistemi kullanılarak yüke aktarılmıştır.

Su şebekesinde hidrokinetik enerji üretimi için kurulan deney setindeki santrifüj pompa (4 kW 5,5 HP 380 VOLT), 5.5 kW motopomp sürücüsü (3x220V) ile farklı sürme frekanslarında çalıştırılmıştır. Sürme frekansının değişmesiyle sistemin içerisindeki değişen debi ve basınç ile birlikte generatör çıkışında üretilen ve yüke aktarılan  $P_e$  elektriksel güç değişimi incelenmiştir. Debi ve basıncın artmasıyla birlikte sistemde üretilen elektriksel güç pozitif yönde artış göstermiştir. Generatörün 3 fazlı çıkışı, 3 fazlı kontrolsüz tam köprü doğrultucu (diyotlu doğrultucu) ile doğrultulup omik yük üzerinden elektriksel güç harcanmıştır. Motopomp 45 hz sürme frekansında sürüldüğünde deney setindeki debimetreden 36,13 m<sup>3</sup>/h bir debi ve basınç transmitterinden 1,206 bar basınç değeri ölçülmüş ve bu değerlerin bir fonksiyonu olan 1210 watt hidrolik güç motopomp tarafından sisteme aktarılmıştır. 20  $\Omega$  reosta üzerinden harcanan elektriksel güç ise 2,485 watt olarak ölçülmüştür. Ölçülen elektriksel güç değeri ile hidrolik güç yüzdellik oranı %0,002 olarak hesaplanmıştır. Literatürdeki benzer bir çalışmalarda bu oranın daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Türbin veriminin %7 ve generatör ile yük tarafındaki elektriksel verimin %85 hedeflendiği sistemde üretilen elektriksel güç 72 watt değerlerinde olacaktır.

Boru hattındaki hidrolik güce oranla oldukça düşük çıkan %0,002 verimin, türbin tasarımındaki mekanik müdahaleler ile birlikte artması muhtemel gözükmektedir. Ayrıca generatör ve doğrultucu tarafına eklenecek bir kontrol sistemi, sistem verimliliğini belirlemede önemli rol oynayacaktır. Çünkü, generatör için iyi bir kontrol sistemi olmaz ise üretilen mekanik gücün büyük bir bölümü boşa harcanmaktadır. Moment ve hız kontrolü ile hidrokinetik enerji sisteminin üretebileceği elektriksel gücün artması sağlanabilir ve sistemden daha iyi verim elde edilebilir.

Bu alanda çalışma yapacak araştırmacıların aşağıdaki önerileri dikkate almaları tavsiye edilir:

- 1) Su şebekesine monte edilecek enerji üretim sisteminin, isale hatlarındaki suyun debi ve basıncına olan etkisini araştırmaları gerekmektedir. Çünkü su türbini üzerinden akışına devam eden suyun basınç değişiminin hem işletme hem de tüketici tarafına etkileri olabileceği düşünölmektedir. Suyun yeterli basınç ve debide akışının sağlanması önem arz etmektedir.
- 2) Su tüketim eğrilerine göre optimum enerji üretimini sağlamak üzere sistemin yer tespiti önemlidir. Bu sayede, uygun türbin ve generatör seçilebilir. Yer tespiti için debinin sürekliliğine dikkat edilmesi gerekir. Kesintisiz ya da daha uzun süreli enerji üretimi için gece ve gündüz tüketimin devam ettiği bölgeler tercih edilmelidir.
- 3) Türbinin üreteceği tork ve devir sayısına göre uygun generatör seçilmelidir. Ayrıca, birden fazla üretim ünitesi kullanılacak olması durumunda generatörler arasındaki senkronizasyonun yapılması gerekmektedir.
- 4) Üretim sisteminin ünitelerinin oluşturabileceği titreşimler minimize edilmelidir.
- 5) Debinin ve basıncın değişmesiyle birlikte üretim sistemindeki cihazların çalışma durumları programlanmalıdır. Bu, sistemin verimliliğini artıracaktır ve enerji üretimini daha istikrarlı hale getirecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Akköse E, Aydın M.** (2022). Sıvı Akışkanlı Borularda Oluşan Hidrolik Güçten Elektrik Enerjisi Üretiminin Araştırılması ve Matlab Simulink Simülasyonu, *Nauryz 5Th International Conference On Scientific Research*.
- [2] **Akköse E, Aydın M.** (2022). Su Şebekesine Uygulamak için 3 fazlı Hidrokinetik Enerji Üretim Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu, *ELECO 2022 Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa.
- [3] **Abdullah Muratoğlu, Muhammed Sungur Demir.** (2018). İsale Hatlarında Enerji Üretimi İçin Boru İçi Hidrokinetik Türbin Tasarımı, *Conference: 1. Uluslararası İçme Suyu ve Atık Su Sempozyumu*.
- [4] **Muratoğlu & Yüce.** (2015). Performance Analysis of Hydrokinetic Turbine Blade Sections, *Avestia Publishing Advances in Renewable Energy*.
- [5] **J. Chena, H.X. Yanga, C.P. Liub, C.H. Laub, M.Loa** (2013). A novel vertical axis water turbine for power generation from water pipelines, *Energy*, 184-193,54.
- [6] **Lucid Energy.** (2018). Retrieved December 4, 2018, from <http://lucidenergy.com>.
- [7] **Lucidpipe™ Power System Report.** (2016). Purdue University, <http://docs.lib.purdue.edu/ectfs/224/>.
- [8] **Joel Titus, Bakthavatsalam Ayalur.** (2018). Design and Fabrication of In-line Turbine for Pico Hydro Energy Recovery in Treated Sewage Water Distribution Line, *2018 5th International Conference on Power and Energy Systems Engineering*, Nagoya, Japan.
- [9] **Ma T, et al.** (2014). Development of inline hydroelectric generation system from municipal water pipelines, *Energy* 144:535–48.
- [10] **Aima Mariaty Ahmad, Sabariah Julai, Iswadi Jauhari, Norfazila Mohd Sultan,** (2023). In-pipe hydropower vertical axis parallel turbines prototype: performance and workability testing, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*.
- [11] **Abdullah Muratoğlu, Muhammed Sungur Demir,** (2018). İsale Hatlarında Enerji Üretimi İçin Boru İçi Hidrokinetik Türbin Tasarımı, *Conference: 1. Uluslararası İçme Suyu ve Atık Su Sempozyumu*.
- [12] **Hani Muhsen, Mariam Ibrahim, Ahmad Alsheikh, Mohammed Qanadilo, and Abdallah Karadsheh.** (2019). Turbine Design and Its Impact on Energy Harvesting from In-Pipe Hydro Systems, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 8, No.5, German Jordanian University, Amman, Jordan*.

- [13] **Pathak V. Parekh P. Mistry V.** (2016). In-Pipe Spherical Turbine for Energy Extraction, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395 -0056, Volume: 03 Issue: 05*, Gujarat, India.
- [14] **Yaşar Mutlu.** (2018). Turbo Solenoid Vana Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- [15] **Muhammad Fazrin Abdullah, Iswadi Jauhari, Mohd Faizul Mohd Sabri, Nik Nazri Nik Ghazali.** (2021). A Novel Vertical Axis Parallel Turbines System for In-pipe Hydropower Generation: *Conceptual Design and Preliminary Experiment, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.*
- [16] **Çiftçi Ayşe, Dursun Mustafa.** (2017). Değişken Hızlı Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör ile Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi.*
- [17] **Ali H. Kasem Alaboudy, Ahmed A. Daoud, Sobhy S. Desouky, Ahmed A. Salem.** (2012). Converter controls and flicker study of PMSG-based grid connected wind turbines, *Ain Shams Engineering Journal.*
- [18] **Tınç Naim Süleyman, Aksoy İsmail, Şahin Yakup.** (2014). Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Generatörün Güç Kontrolünde Uzay Vektörü PWM ve Histerezis Akım Kontrolü Tekniklerinin Karşılaştırılması, *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu.*

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Esat AKKÖSE

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2023, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Mik-el Elektronik- Arge Mühendisi (2019)
- Bursa Teknik Üniversitesi – Araştırma Görevlisi (2021)

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Akköse E, Aydın M.** (2022). Sıvı Akışkanlı Borularda Oluşan Hidrolik Güçten Elektrik Enerjisi Üretiminin Araştırılması ve Matlab Simulink Simülasyonu, *Nauryz 5Th International Conference on Scientific Research*.
- **Akköse E, Aydın M.** (2022). Su Şebekesine Uygulamak için 3 fazlı Hidrokinetik Enerji Üretim Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu, *ELECO 2022 Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa.