



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA LİSANS TEZİ



**ÇANAKKALE BOĞAZ AKINTISINDAN
ELEKTRİK ÜRETİMİ MODELLENMESİ**

Muzaffer YÜCEL

Fizik Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA LİSANS TEZİ

ÇANAKKALE BOĞAZ AKINTISINDAN
ELEKTRİK ÜRETİMİ MODELLENMESİ

Muzaffer YÜCEL

Fizik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 30/06/2017

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. İsmail TARHAN

ÇANAKKALE

Muzaffer YÜCEL tarafından Prof. Dr. İsmail TARHAN yönetiminde hazırlanan ve **30/06/2017** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Çanakkale Boğaz Akıntısından Elektrik Üretimi Modellenmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. İsmail TARHAN

Başkan

Prof. Dr. Serhat ÖZDER

Üye

Doç. Dr. Hüseyin ÇAVUŞ

Üye

Yrd. Doç. Dr. Özlem Kocahan YILMAZ

Üye

Yrd. Doç. Dr. Necati KAYA

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



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 belirttiğimi beyan ederim.

Muzaffer YÜCEL

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. İsmail TARHAN ve Prof. Dr. Serhat ÖZDER hocalarıma, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, sabreden eŐime ve bu süreçte ilgilenemediğim çocuklarıma çalıŐmalarımın her evresinde bana destek olan eŐimin ailesine sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Muzaffer YÜCEL
anakkale, Haziran 2017



SİMGELER VE KISALTMALAR

c	Kanat en (chord) uzunluğu
R	Kanat uzunluğu
C_d	Kaldırma katsayısı
CL	İtme katsayısı
C_p	Güç katsayısı
P	Elektriksel güç (watt)
Q	Tork (N.m)
p	Basınç (paskal)
A	Kanat taradığı alan
Re	Reynold sayısı
U	Akışkanın hızı (m/sn)
T	İtme kuvveti
U	Üst levha hızı
y	İki levha arasındaki orta nokta
h	İki levha arası uzaklık
μ	Mutlak viskozite katsayısı
ρ	Akışkan yoğunluğu
ν	Akışkanın dinamik viskozitesi
n	Türbin ana mil saniyedeki devri (dev/sn)
ω	Açısal hız
β	Kanat akıntıya karşı oluşturduğu açısı
λ	Kanat uç hızı oranı
U_1	Kanatların yeteri kadar önceki akıntı hızı
U_2	Kanatlardan önceki akıntı hızı
U_3	Kanatların arkasındaki akıntı hızı
U_4	Kanatlardan yeteri uzaklıktaki akıntı hızı
a	Eksenel indikasyon faktörü
a'	Açısal indikasyon faktörü
V	Potansiyel farkı (Volt)
kW	Kilowatt
MW	Megawatt

GWh	Gigawattsaat
kWh	Kilowattsaat
C_f	Chezzy denklem katsayısı
S_0	Akıntı eğimi
$\Ç$	Akıntı ıslak alan çevresi
R_h	Alan Çevre oranı
Q_a	Debi miktarı
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
ms	mili saniye
mA	mili amper
mV	mili volt
M	Moment
η	Türbin dakikadaki devri
PID	Değişimdeki ivme kontrolü
g	Yerçekimi ivmesi
η	Chezzy pürüzlülük katsayısı
ε	Manning pürüzlülük katsayısı
D	İtme kuvveti
L	Kaldırma kuvveti
Plc	Programlanabilir lojik kontrol

ÖZET

ÇANAKKALE BOĞAZ AKINTISINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ MODELLENMESİ

Muzaffer YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsmail TARHAN

30/06/2017, 49

Elektrik üretimde alternatif enerji türü olan deniz akıntısından enerji üretimi için Çanakkale Boğazı seçildi. Boğazdaki çift yönlü akıntıdan enerji üretimi için tasarlanan türbin denendi. Deniz akıntısına sahip olan ülkeler, İngiltere, Norveç, Fransa gibi ülkeler bu konuda çalışmalar yapmakta ve üretimde olan türbinleri bulunmaktadır. Bu çalışmada diğer ülkelerde bulunan türbinlerin üretim verimlilikleri ile uygulama yapılan türbinin verimliliği karşılaştırması yapılmıştır.

Boğazda bulunan akıntının yüksek olduğu üç farklı bölge belirlenmiş ve buralara kurulabilecek olan türbin tipleri üretim kapasiteleri hakkında öngörülerde bulunulmuştur. Akıntı yön ve hızının zamanla değişimi türbinler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Boğaz sürekli iki yönlü akıntıya sahiptir. Çevresinde bulunan yakın yerleşim yerlerinden dolayı üretilen elektrik taşımadan kaynaklanan kayıplar olmadan kullanılması ise büyük bir avantaj olarak görülmektedir.

Boğazdaki gemi trafiğinin yüzeyde kurulabilecek türbinlere olan etkileri incelenmiştir. Gemi geçişleri sırasında oluşan dalgaların akıntı yönünü değiştirdiği görülmüş, türbine karşı oluşan olumsuz etkileri belirlenmiştir.

Ayrıca tasarlanan türbin düzenli akıntı yönü ve hızının bulunduğu kanalda denendi, deniz akıntısıyla kanal akıntısı arasındaki farklılıklar gözlemlenmiştir. Uzun sulama kanalının bulunduğu bölgelerde akıntı türbini kurulması halinde, üretilebilecek enerji miktarı hakkında öngörülerde bulunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Akıntı Türbini, Çanakkale Boğazı, Alternatif Enerji, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MODELING OF ELECTRICITY PRODUCTION FROM CANAKKALE STRAIT CURRENTS

Muzaffer YÜCEL

Canakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Chair for Physics Thesis of Ph.D.

Advisor: Prof. Dr. İsmail TARHAN

30/06/2017, 49

Canakkale Strait was selected as the alternative energy source for electricity production from the sea current. A turbine was designed and used for energy production from bi-directional current in the strait. Countries with marine currents, like England, Norway and France are working on this hot subject and they have turbines in production. In this study, the efficiency of the turbines in other countries was compared with the efficiency of the turbine being applied.

Three different regions where the current in the strait is high have been determined and predicted for the production capacities of the turbine types that can be installed in the region. The effects of directions and speed of flow on the turbines have been studied. The strait has constantly bi-directional flows. It is seen as a great advantage of nearby settlements in the vicinity to use the generated electric without the losses due to electric transportation.

The effects of sea traffic in the Strait on turbines that can be installed on the closed surface of the water have been examined. It was observed that the waves formed during the ship pass changed the direction of the flow and the adverse effects against the turbine.

Moreover, the designed turbine was tried in the channel with regular flow direction and speed, and the differences between the sea current and the channel flow were observed. In the region where the long irrigation channel is located, in the case of the flow turbine is installed, the amount of energy that can be produced is foreseen.

Keywords: Current Turbine, Canakkale Strait, Alternative Energy, Renewable Energy

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Türbin Mühendislik Tipleri İncelenmesi	2
1.1.1 H-Rotor Tipi Akıntı Türbinleri.....	2
1.1.2 Savonius Tipi Akıntı Türbinleri	3
1.2 Viskozite	4
1.2.1 Dinamik Viskozite.....	4
1.2.2 Kinematik Viskozite Katsayısı	6
1.3 Akıntı Türbin Enerji Denklemleri.....	6
1.3.1 Güç Katsayısı (Verim).....	7
1.3.2 Türbinlere Etki Eden Faktörler.....	7
1.3.2.1 Eksenel İndüksiyon Faktörü	8
1.3.2.2 Açısal İndüksiyon Faktörü.....	8
1.3.2.3 Tork Katsayısı.....	8
1.3.2.4 İtme (Sürüklenme) Katsayısı	8
1.3.2.5 Türbin Kanatlarında Oluşan Moment.....	9
1.4 Betz Limiti	9
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
2.1 Dünyada Yapılan Akıntı Türbin Çalışmaları	13
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE METOT	18
3.1 Türbinlerin Uygulama Sahasına Yerleştirilmesi.....	18
3.1.1 Türbin Yaw Açısına Bağlı Olarak Değişen Güç Miktarı.....	18

3.2 Tasarılan Türbinin Özellikleri	21
3.2.1 Türbin Fiziksel Özellikleri	21
3.2.2 Türbin Kanat Boyutları	23
3.2.3 Kanat Tasarım Özellikleri	25
3.3 Çanakale Boğazı Akıntı Enerji Potansiyeli	26
3.3.1 Akıntı Hız Ölçümü	26
3.4 Türbin Alternatör Özellikleri	27
3.4.1 Akıntı Türbinlerinde Kullanılan Alternatör Yapımı	27
3.4.2 Stator	28
3.4.3 Rotor	29
3.4.4 Alternatör Şasesi	30
3.4.5 Şebekeye Bağlanma (Senkron Olma)	30
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	31
4.1 Türbin Uygulamaları	31
4.1.1 Sulama Kanalı Türbin Uygulamaları	31
4.1.2 Üretilen Elektrik Akımı ve Potansiyel Ölçümü	35
4.1.3 Türbin Devir Ölçümü	36
4.1.4 Türbin Elektrik Enerjisi Şebekeye Bağlanması	37
4.2 Çanakale Boğazı Türbin Uygulaması	37
4.2.1. Birinci Uygulama Yeri (Kilitbahir)	38
4.2.2 İkinci Uygulama Yeri (Tabyalar)	40
4.2.3. Üçüncü Uygulama Yeri (Sarıçay ağzı)	42
4.3 Akıntı Türbini Sulama Kanalındaki Uygulamaları	44
4.3.1 Boğaz Akıntı Hızı-Türbin Güç Değişimi	46
4.3.2 Kanal Akıntı Hızı Güç Değişimi	47
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	I
ÖZGEÇMİŞ	III

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Üç kanatlı dikey eksenli akıntı türbini kanatlara uygulanan kuvvetlerin vektörel analizi (Maitre ve ark., 2013).....	3
Şekil 1.2 Birbirine zıt konumlandırılmış Savonius tipi akıntı türbini üstten kesitinin gösterimi (Dursun ve ark. 2006)	4
Şekil 1.3 Couette deneyi (viskozite etkilerinin gösterimi) akıntı türbinlerinde meydana gelebilecek viskozitenin etkilerinin hangi parametrelere bağlı olduğunun deneysel olarak gösterilmesi (Umur, 2009)	5
Şekil 1.4 Momentum teorisi dönen disk teorisi, disk öncesi ve sonrasındaki basınç ve akıntı hızı gösterimi	10
Şekil 2.1 Siemens firmasının Kuzey İrlanda da kurmuş olduğu türbinden bakım sırasındaki çift rotorlu akıntı türbinin görüntüsü (Marine Current Turbines Limited is a company registered in England)	13
Şekil 2.2 Deniz tabanına yerleştirilmiş çift yönlü kanatlarını yönlendirebilen akıntı türbini görüntüsü (Andritzhydrohammerfest)	14
Şekil 2.3 Ventüri tip türbin yapısı ve kanat çalışma düzeni (Lunarenergy)	15
Şekil 2.4 Tidalstream firması akıntı türbini prototip uygulama çalışmaları (TidalStream Limited).....	15
Şekil 2.5 Vendantpower firmasının üretimde olan türbin tipi (Verdantpower).....	16
Şekil 2.6 British-Hydro firması Fransa Rance bölgesi gelgit enerjisi üretim türbin modeli (British-Hydro Power)	17
Şekil 3.1 Türbinin gelen akıntıya dik olarak konumlanması için kullanılan dairesel (yaw) dönme motoru ve step motor sürücü, plc control ünitesi.....	19
Şekil 3.2 Yaw motoru plc ladder programının uygulama alanı	19
Şekil 3.3 Yaw açısı değişimine bağlı olarak çıkış miktarındaki değişim.....	20
Şekil 3.5 Kanat kesitindeki değişkenlerin adlarının gösterimi (Yükselen, 2017)	25
Şekil 3.6 Akıntı türbininde kullanılan protolin kalıp içerisine alınmış alternatör görüntüsü (400 dev/dk, 5kW 50Hz)	28
Şekil 3.7 Türbin alternatörü, stator bobinlerinin protolin kalıp içerisine alınması.....	29
Şekil 3.8 Rotor flanşının deniz suyundan etkilenmemesi için protolin kalıp içerisine alınma uygulaması	29
Şekil 3.9 Uygulama yapılan türbinde 38 cm uzunluğundaki kanatların rotora bağlantılarının yapılması.....	30
Şekil 4.1 Çanakkale boğazı türbin uygulamasından bir görüntü	31
Şekil 4.2 Akıntı türbini kanal akıntı uygulama sahası (Gönen sulama kanalı).....	32
Şekil 4.3 Gönen sulama kanalı akıntı türbini uygulaması	34
Şekil 4.4 SCT 013-000 AC Akım Ölçüm Trafosu.....	35
Şekil 4.5 Akım ölçüm trafosundan gelen 0-75 mA akım değerini Arduino mikro denetleyicisinin algılayabileceği 0-5 V değerine dönüştüren devre gösterimi (Stackoverflow).....	36
Şekil 4.6 Kontak (Read) rölenin türbinde devir ölçüm uygulaması	36
Şekil 4.7 Mavisis marka on-grid şebekeye paralel inverter	37
Şekil 4.8 Birinci uygulama yeri (Kilitbahir) akıntı hızı değişimi	38
Şekil 4.9 Birinci uygulama yeri (Kilitbahir) akıntı yönü değişimi	39
Şekil 4.10 Akıntı hızı-Türbin devir ilişkisi.....	39
Şekil 4.11 İkinci uygulama sahası coğrafi konumu ve GPS koordinatları gösterimi	40
Şekil 4.12 Uygulama alanı ikideki akıntı hızı değişimi grafiği	41
Şekil 4.13 Üçüncü uygulama sahası coğrafi konumu ve GPS koordinatları gösterimi	43

Şekil 4.15 Üçüncü uygulama yeri (Sarıçay ağız) akıntı yönü değişimi.....	43
Şekil 4.16 Uygulama alanı üçteki akıntı hızı değişimi	44
Şekil 4.17 Sulama kanalı türbin uygulama denemeleri	45
Şekil 4.18 Kanal akıntı hızı değişimi (Gönen Barajı sulama kanalı).....	45
Şekil 4.19 Kanal akıntı yönü - zaman değişimi	46
Şekil 4.20 Çanakkale Boğazı uygulama yapılan türbinin Akıntı hızı- güç değişimi.....	47



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Avustralya firmasının yapmış olduğu türbinin uygulama sonucunda akıntı hızına bağlı olarak ürettiği enerji miktarları (Verdantpower).....	16
Çizelge 3.1 Yapılan çalışmada kullanılan türbinin fiziksel özellikleri	22
Çizelge 3.2 Uygulama türbini kanat boyu, kalınlık, veter uzunluğu verileri ve kanat boyutlandırması ölçüleri	23
Çizelge 4.1 Gönen sulama kanalı eğim hesaplama verileri	32
Çizelge 4.2 Chezy ve Manning Denklemi pürüzlülük katsayıları (Umur, 2009)	33

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişmekte veya gelişmiş olan bütün ülkelerin temel problemlerinden biri enerjiye ulaşmak ve bunun devamlılığını sağlamaktır. Son zamanlarda çıkan anlaşmazlıkların sebebi enerji koridorlarını elinde tutmak içindir. Ülkeler fosil yakıtlardan enerjilerini karşılamaktadır. Ancak fosil yakıtların zaman içinde tükenecek olması ve bu yakıtların çevreye verdiği zararlardan dolayı enerjinin kolaylaştırdığı hayatları zehirlemesi, ülkelerin bu yakıtlardan uzaklaşmalarına sebep olacaktır. Bu yüzden alternatif enerji kaynaklarına yönelmeler başlamıştır. Elektrik üretiminde Güneş'ten, rüzgârdan, deniz akıntılarında ve dalgalarından faydalanarak enerji üretimi bunların başında gelmektedir. Ülkeler her ay ürettikleri alternatif enerji miktarlarıyla dünya gündemine gelmektedirler. Alternatif enerji ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Bazı ülkeler güneş açısından avantajlı iken diğer ülkelerde rüzgâr açısından avantajlıdır. Örneğin denize kıyısı olan ülkeler ise deniz akıntıları ve dalgardan enerji üretmek konusunda avantajlıdır. Bunun için yoğun olarak Ar-Ge çalışmaları yapmaktadırlar.

Ülkemiz için rüzgâr ve güneş enerjisi için potansiyel bulunmaktadır. Özellikle Güneş'in güney kesimlerde verimli olduğu bilinmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'de sıcaklık farkından kaynaklanan rüzgârlar için sahil şeridi verimli olmaktadır. Ülkemiz için alternatif enerji üretimi çeşitliliği açısından bakıldığında TEİAŞ, Mart (2016) verilerine göre %6,2 rüzgâr, %0,4 güneş, jeotermal ve çöp santrali %1,3 üretim oranı bulunmaktadır. Bunun yanında Enerji Atlası Mayıs (2017) verilerine göre ülkenin büyük nehirler üzerine kurulu olan hidroelektrik santrallerinden ürettiği elektrik miktarı ülke elektriğinin %27,16'sıdır. Verilerden görüldüğü gibi ülkemiz elektriğinin büyük çoğunluğunu fosil yakıtlı kaynaklardan sağlamaktadır.

Ülkemizde iki büyük deniz iki uzun boğaz ile birleşmektedir. Bu boğazlarda meydana gelen akıntılardan enerji üretmek mümkündür. Boğazlarda sürekli ve çift yönlü bir akıntı vardır. Akıntının sebebi iki denizin yoğunluk farkından kaynaklanan ve yoğunluk dengesinin oluşması için gerçekleşen bir akıntı çeşididir. Oluşan akıntı ile elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Yapılan ölçümlerde Çanakkale Boğazında bazı yerlerdeki akıntı $2,5 m/sn$ 'lere kadar çıkmaktadır. Bu akıntı, türbin kurulumu için yüksek verime sahip bir yer olarak görülmektedir.

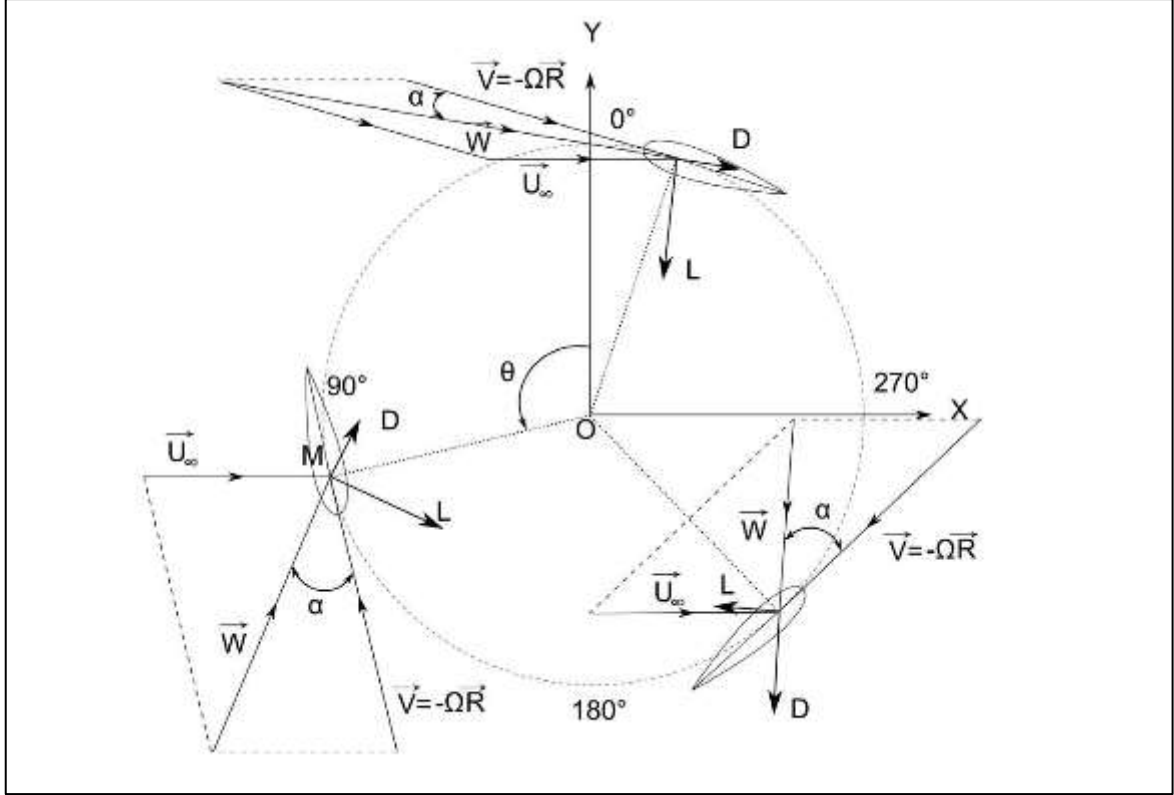
1.1 Türbin Mühendislik Tipleri İncelenmesi

Akıntı türbinleri genel yapı bakımından rüzgâr türbinlerine benzemektedirler. Rüzgârda kullanılabilen bütün tipler akıntıda da kullanılabilir. Ancak akıntıda türbin kanatlarına uygulanan itme gücü fazla olduğundan (havaya göre yoğunluk fazla) kanatların Şekil 3.5 te gösterilen azami kalınlığının fazla olması gerekmektedir. Küçük kanat uzunlukları ile daha yüksek güç elde etmek mümkündür. Genellikle yatay eksenli türbinler tercih edilmektedir. Bu türbinler akıntıyı dik olarak konumlandırıldığında yüksek verime sahip olurlar. Akıntının türbülanslı olduğu bölgelerde ise dikey eksenli türbinler daha verimli olmaktadır. Buralarda yatay eksenli türbinler akıntının yönü ani değiştiğinden dolayı akıntıya yönelmede problemler olmaktadır. Akıntı türbini kurmak için düzenli akıntıya sahip olan bölgeler seçilir. Buralarda akıntı yönü sabit olduğundan yatay eksenli türbinler kullanılması uygun olacaktır. Kurulum açısından akıntı türbinleri akıntı yüzeyine veya tabanına yerleştirilir. Tabana kurulan türbinler sabitlenmiş olduğundan titreşimsizdir. Akıntı yüzeyine kurulan türbinler dalgalanmadan dolayı hareketli ve titreşimlidir. Yüzeydeki dalgalanma ve akıntı yönündeki değişimler türbülansa sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak türbin verimi düşer. Ayrıca titreşimden kaynaklanan arızalar oluşur.

1.1.1 H-Rotor Tipi Akıntı Türbinleri

Akıntı türbinlerinde dikey eksenli olarak en fazla kullanılan H tipi olan türbinlerdir. Türbinlerdeki kullanılan kanatlar, kökten uç kısma kadar aynı özelliklerde ve akıntı yönüne dikey yerleştirilmiştir. Şekil 1.1 de gösterildiği gibi bir rotor etrafına aynı açı ve uzaklıkta bağlanmış üç kanatlı olan türbinin bütün kanatları gelen akıntıya karşı pozisyonu farklılık gösterir. Gelen akıntı kanatlara farklı açılardan gelir. Bu sebeple kanatların kaldırma itme katsayıları aynı akıntı hızında da farklıdır. Kanatların rotora bağlandıkları uzaklıklar sabit olduklarından dolayı türbin devir kontrolü yapmak zordur. Eğer kanat bağlantı uzunlukları değiştirilebilse devir kontrolü ile beraber tork kontrolünde yapılabilir. Bu türbinlerde kanat ile rotor arasındaki uzunluk artarsa tork artar buna karşılık rotor devri düşer. Ayrıca her zaman kanatlar akıntıya karşı farklı açılarda durduğundan rotor şaftının dönmesine de farklı katkıda bulunurlar. Bu durum yatay eksenli türbinlerde ise her kanat eşit miktarda rotor şaftına katkı sağlar. Şekil 1.1 de üç kanatlı türbin gösterilmiş, en az iki kanatlı ve üç kanattan daha fazla olan tasarımları da bulunmaktadır. Kanatlara gelen akıntı kanatın uzun ve kısa yüzeylerinden geçerken basınç farkı oluşturur. Oluşan basınç farkı kanadın kaldırma ve itme kuvveti oluşturmasına neden olur. Bu kuvvetler rotor şaftının dönmesini sağlar. Akıntının yönüne dönmesi için kuyruk veya yaw sistemi olmadığından

yatay eksenli türbinlere göre avantajlı konumdadır. Türbülanslı olan akıntı bölgelerinde ise yatay eksenli türbinlere göre avantajlıdır. Türbinler yaw sistemine gerek duymadığı için akıntı yönünün çok fazla değiştiği bölgelerde verimlidir. Sistemde akıntı yönüne yönlendirebilecek bir sistem olmadığından türbin yapısı basittir.

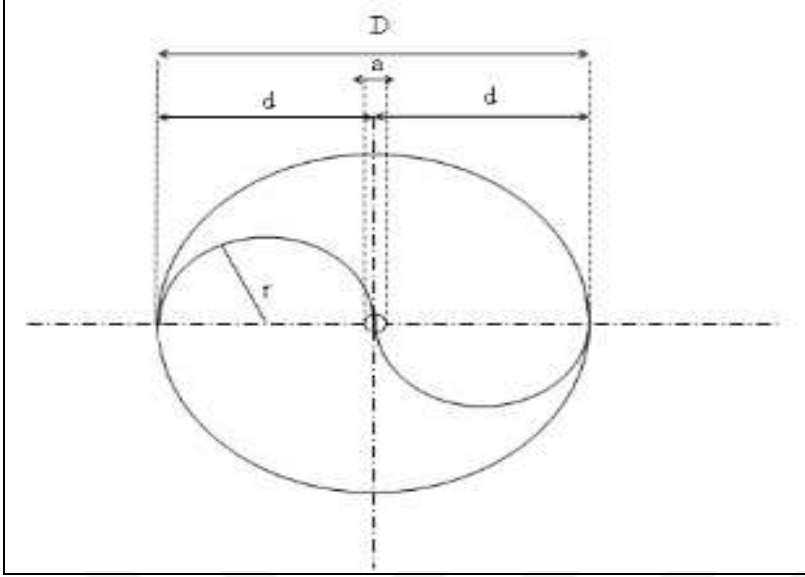


Şekil 1.1 Üç kanatlı dikey eksenli akıntı türbini kanatlara uygulanan kuvvetlerin vektörel analizi (Maitre ve ark.,2013)

1.1.2 Savonius Tipi Akıntı Türbinleri

Dikey eksenli türbinlerin farklı tarzda tasarımı da Savonius tipi olanlardır. Bu tip türbinlerde Şekil 1.2 de olduğu gibi alternatör şaftına bir birine göre 180° açıyla bağlanmış iki kanat bulunur. Kanatlar arasında şafta göre "a" uzaklığı da artırılarak konumlandırılabilir. Aradaki uzaklık artarsa tork artar buna karşılık türbin devri azalır. Türbinin devri hesaplanmalı ve devre göre de alternatör tasarlanmalıdır. Akıntı yönüne yönlendirebilecek kuyruk sistemi bulunmadığından yapısal olarak basittir. Kanatların iç kısmı akıntıya doğru olduğunda olumlu etki yaparken dış kısmı akıntıya ters konumda olsa bile olumsuz etki yapmaktadır. İki kanadın olumlu ve olumsuz etkileri verimi belirler. Dursun ve ark. (2006) yapmış oldukları deneysel çalışmalarda C_p güç katsayısını 0,15 olarak almışlardır. Yapılan yatay eksenli türbinin 0,43 verime göre düşük olduğu

görülmektedir. Bu tip türbinler akıntının türbülanslı olduğu bölgelerde kurulması uygun olacaktır.



Şekil 1.2 Birbirine zıt konumlandırılmış Savonius tipi akıntı türbini üstten kesitinin gösterimi (Dursun ve ark. 2006)

1.2 Viskozite

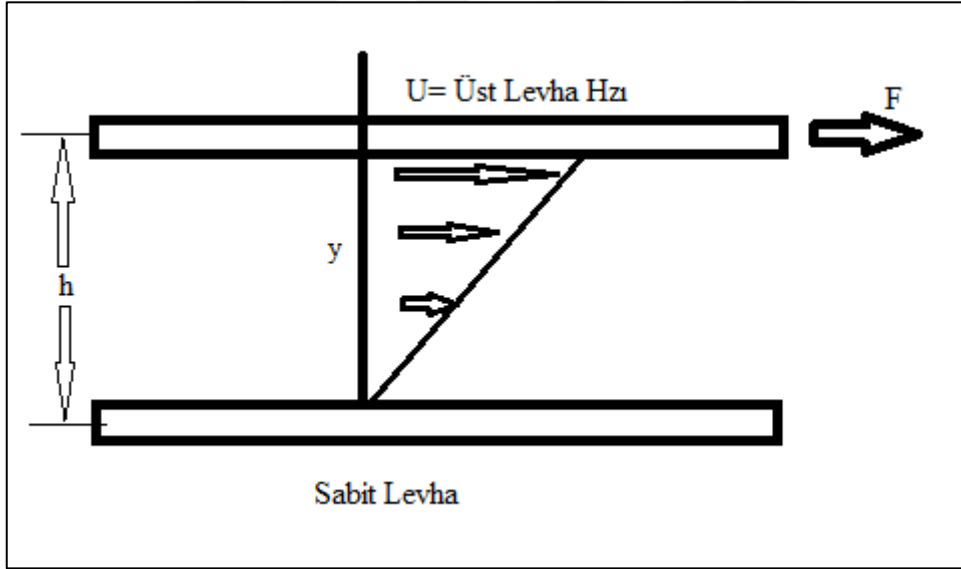
Akışkan sürtünmesi olarak tanımlanır, akışkan moleküllerinin bir biri ile olan statik etkileşimi moleküller arasında bir bağ oluşturur. Bu bağ yoğunlukla orantılıdır. Yoğunluk arttıkça aradaki uzaklık azaldığından daha fazla etkileşim göstermektedirler. Bu yüzden sıvıların ayırt edici özellikleri arasında viskozite katsayısı önemli bir belirleyicidir. Viskozite katsayısı ikiye ayrılmaktadır.

1.2.1 Dinamik Viskozite

Bu viskozite türünün ölçülmesinde iki paralel levhanın arasındaki akışkanın incelenmesi Couette Deneyi Şekil 1.3 de gösterildiği gibi kolayca anlaşılır. Umur (2009) yapmış olduğu çalışmada bu deneyin hangi parametrelere bağlı olduğunu göstermiştir. Levhalardan biri sabit iken diğer (üstteki) levha hareketli konumdadır. Üst levha akışkan ile aynı hızda hareket ettiği gözlemlenmiştir. Akışkan üzerindeki moleküller levha ile etkileşim halinde olduğundan levhaya hareket kazandırmıştır. (1.1) ifadesinde üst levhanın hızı (U) ile iki levha arasındaki orta nokta yüksekliğinin iki levha arasındaki uzaklık (h) oranı dinamik viskozite değerini verir (Umur,2009).

$$\mu = \frac{U}{h}y \quad (1.1)$$

Akıntı türbinlerinde viskozite olumsuz etki yapmaktadır. Gelen akışkan kanatlara enerjisini bıraktıktan sonra kanat ile etkileşim yapmaması beklenir. Bu durum tamamıyla yok edilemez. Akışkan ile kanat arasındaki etkileşimin en aza indirildiği yapı malzemeleri kullanılır. Buralarda etkileşimin az olması için parlak pürüzsüz malzemeler seçilir. Bunun için çelik esaslı malzemelerin yanında seramik kaplamalı kanatlar ve sürtünmeye karşı dayanıklı kaplama ve özel boyalar kullanılır. Çünkü türbin için en özel yeri kanatlarıdır. Amaç gelen suyun maksimum enerjiye dönüştürülmesidir. Kanatlarda meydana gelebilecek olumsuz durum türbin veriminde büyük düşüğe sebep olmaktadır. Pürüzlü yüzeylerde daha fazla su sürtünmesi olacağından buralarda kavitasyon etkileri oluşabilmektedir. Kavitasyon kanatların bozulmasına sebep olur. Bozulan kanatlarda daha fazla titreşim olur, sonuç olarak kanatların ve türbin ömrünün kısılmasına neden olur.



Şekil 1.3 Couette deneyi (viskozite etkilerinin gösterimi) akıntı türbinlerinde meydana gelebilecek viskozitenin etkilerinin hangi parametrelere bağlı olduğunu deneysel olarak gösterilmesi (Umur, 2009)

Üst levhaya etki eden sürtünme kuvveti sıvının yüzeye uygulamış olduğu basınç kuvveti ile levhanın hızı ile doğru orantılı ancak hareketli levhadan uzaklaşma ile ters orantılıdır. Mutlak viskozite katsayısı yüzeyin fiziksel özelliğini belirtmektedir. (1.2) ifadesinde (Umur, 2009) basınç ve akışkanın uyguladığı itme kuvvetine karşı viskozitenin aynı oranda değiştiğini göstermektedir.

$$p = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (1.2)$$

1.2.2 Kinematik Viskozite Katsayısı

Akışkanın yoğunluk ve mutlak viskozite katsayısına bağlı olarak geliştirilen katsayıya kinematik viskozite (ν) denilmektedir. Akışkanın yoğunluğu ile kinematik viskozite katsayısı oranı kinematik viskozite değeri (1.3) ifadesinde verilmektedir (Umur, 2009). Atalet kuvvetleri ile sürtünme kuvvetleri arasındaki oran, etkileşim kinematik viskozite değerini vermektedir. Genellikle boru içerisindeki akışkanların iletimindeki hesaplamalar da kullanılmaktadır. Açık kanal akımlarında yüzey hava olduğundan dolayı, hava ile sürtünme sıfır olarak kabul edilmektedir. Kanal ile etkileşimde kinematik viskozite kullanılır. Akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Yüksel, 2005).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.3)$$

1.3 Akıntı Türbin Enerji Denklemleri

Potansiyel enerjiye sahip olan akışkanın harekete geçmesi kinetik enerji taşımaya sebep olur. Taşınan bu birinci formdaki enerjini ikinci formdaki mekanik hareket enerjisine dönüşmesinde kurallar vardır. Akışkan ve kütleyle sahip olan bir sıvının akması, bir hızının olduğu ve bununda bir enerji taşıdığı, bu enerjiyi de kinetik (hareket) enerji formülü ile ifade edilebilir. (1.4) Kinetik enerji ifadesinde bulunan kütlenin yerine kütleli debi yazılırsa akışkanın taşıdığı enerji miktarı bulunur ($m = \rho AV$) (Çengel ve ark. 2010)

$$P_{güç} = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (1.4a)$$

$$E_k = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1.4b)$$

1.3.1 Güç Katsayısı (Verim)

Akıntı türbinlerinde türbine etki eden verim parametre değerini belirleyen katsayıdır ve türbinin verimini ifade eder. Bu değer ne kadar yüksek ise akıntıdan gelen enerjiyi dönüştürme oranı da o kadar yüksektir. Şenel ve ark.(2014) çalışmasında verim değeri, lineer momentum teorisine göre Betz Limitini (0,59) aşamaz. Cui ve ark. (2012) yapmış olduğu çalışmada güç katsayısının hangi parametrelere bağlı olduğunu ifade etmiştir. (1.5) ifadesinde gösterildiği gibi güç katsayısına bağlı olan parametreler, türbin ana mil devri, kanatlarının akıntı yönüne yönelme açısı (pitch açısı), gelen akışkanın kanatlara uygulamış olduğu tork kuvveti, kanatların bir dönmeye taradığı alanın yarıçapına ve kanat uç hız oranına bağlıdır (Bal ve ark., 2015).

$$C_p = \frac{\text{Türbinden elde edilen enerji miktarı}}{\text{akıntının taşıdığı enerji miktarı}} = \frac{16 n T}{\pi \rho U^3 R^2} \quad (1.5)$$

Türbinler kanatları ile düzlemsel hareketi dairesel harekete dönüştürür. Dairesel hareketin gücünü ise tork kuvveti belirler. Türbin şaftında oluşan tork kuvveti alternatörün hareketini sağlar. Tork kuvveti kanatların verimini belirler. (1.6) ifadesinde tork Q kuvvetinin açısal hız ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Türbinlerde kanat uzunlukları artarsa açısal hız azalır ve tork artar (Cui ve ark., 2012).

$$Q = \frac{P}{\omega} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho A V^3 C_p}{\omega} \quad (1.6)$$

Kanatların alternatör şaftında oluşturduğu tork değerini bulabilmek için Cui ve ark. (2012) yapmış olduğu çalışmada belirttiği (1.6) ifadesi kullanılır.

$$C_p = (0,44 - 0,0167\beta) \sin \frac{2,5\pi(\lambda-3)}{15-0,3\beta} - (0,184(\lambda - 3))\beta \quad (1.7)$$

1.3.2 Türbinlere Etki Eden Faktörler

Gelen akışkanın taşıdığı momentumun aktarılması sonucunda dairesel hareket oluşmaktadır. Momentum hız ve kütle miktarına bağlıdır. Kanatların özelliklerinin belirlenmesinde açısal ve aksel indüksiyon faktörleri önemlidir. Rüzgâr türbini konusunda Şenel ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalarda aksel indüksiyon ve açısal

indüksiyon faktörleri hesaplamaları konusunda uygulamalar yapmışlardır. İndüksiyon faktörleri (1.15) ifadesinde gösterildiği gibi akıntının etkisiyle oluşan momenti belirler.

1.3.2.1 Eksenel İndüksiyon Faktörü

Türbine gelen akıntı, enerjisini aktardıktan sonra hızında bir azalma olur. Bu azalma oranı akıntının ne kadarlık bir kısmının farklı enerjiye dönüştürüldüğünü gösterir. (1.8) ifadesinde olduğu gibi türbinden önceki akıntı hızı ile türbin kanatlar üzerindeki akıntı hızı farkının türbin çıkışındaki hız oranı eksenel indüksiyon faktörünü belirler (Şenel ve ark., 2014).

$$a = \frac{[U-U_1]}{U_2} \quad (1.8)$$

1.3.2.2 Açısal İndüksiyon Faktörü

Kanatların dönme hareketi dairesel güç olan tork kuvvetini oluşturur. Bu oluşum açısal hız ve dönen disk momentum teorisi ile açıklanmaktadır. Kanatlar üzerindeki hareketin incelenmesi için dönen disk teorisine göre (1.9) ifadesinde olduğu gibi kanat uç hız oranı, kanat açısal hızı değişimi değerlerine bağlıdır (Şenel ve ark.,2014).

$$a' = \frac{\lambda}{2\omega} \quad (1.9)$$

1.3.2.3 Tork Katsayısı

Tork gücün bir parametresi olup akıntının kanatlar aracılığıyla oluşturmuş olduğu döndürme etkisine denir. Elektrik dönüşümü için alternatöre bağlı ana şaftta oluşturulan dönme kuvvetidir. (1.10) ifadesinde Koç ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada güç katsayısının kanat uç hızı oranı olduğunu belirtmişlerdir.

$$C_T = \frac{C_P}{\lambda} \quad (1.10)$$

1.3.2.4 İtme (Sürüklenme) Katsayısı

Gelen akıntı kanatlarda bir sürüklenme etkisi yaratmaktadır. Kurulan akıntı türbin kanatlarına ve blok gövdede meydana gelen bu itme gücü türbinin sabitlenmesinde büyük öneme sahiptir. Türbin zemin bağlantıları buna göre yapılmalıdır.

$$D = C_T \frac{1}{2} \rho \pi R^3 U^2 \quad (1.11)$$

(1.11) de akıntının kanatlara uyguladığı itme kuvvetini göstermektedir (Bal ve ark. 2015). İtme ve kaldırma kuvvetleri kanadın dönmesini sağlayan kuvvetlerdir. Kanat tasarımlarında farklı hızlarda kanatların davranışlarının belirtilmesinde (1.11) ve (1.12) ifadelerini bilinmesi gerekmektedir. Bu ifadeler kanatların yapısal özelliklerine bağlı olan belirleyici özelliklerindedir.

$$C_D = \frac{D}{0,5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A} \quad (1.12)$$

1.3.2.5 Türbin Kanatlarında Oluşan Moment

Kanatlarda akıntı tarafından meydana getirilen moment teorik olarak hesaplanmasında Moment teorisi kullanılır. Şenel ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalarında boyutsuz moment katsayısını açıklamış ve bu ifade (1.13) de belirtilmiştir.

$$\bar{M} = \frac{1}{2} \pi C_P / \lambda \quad (1.13)$$

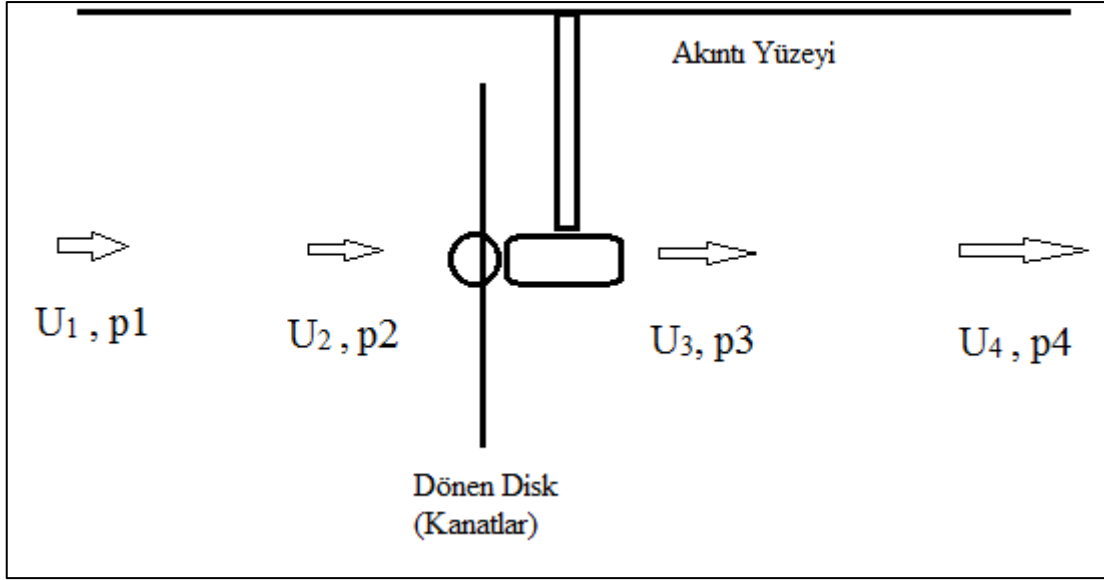
Aynı durumu dönen disk için momentum teorisini uygulayacak olursak λ kanat uç hız oranı, (1.14) de ve buna bağlı olarak itme (sürüklenme) değeri (1.15) ifadesinde belirtilmiştir (Şenel ve ark. 2014).

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (1.14)$$

$$M = a'(1 - a) \rho V \omega R^4 \pi \quad (1.15)$$

1.4 Betz Limiti

(1.4) ifadesinde taşıdığı maksimum enerjiyi belirtmektedir, ancak akışkanın enerjisinin tamamı ikincil enerjiye dönüştürülemez. Yeni nesil türbinlerde bu dönüştürme oranı maksimum %48 (Norveç'te Siemens'in kurmuş olduğu akıntı türbinin verimi) civarındadır. Bu dönüştürme oranı enerji katsayısı ile belirlenmektedir



Şekil 1.4 Momentum teorisi dönen disk teorisi, disk öncesi ve sonrasındaki basınç ve akıntı hızı gösterimi

Enerji üretiminde teorik olarak elde edilebilecek maksimum güç dönen disk teorisine göre bulunmaktadır. Burada kanatların dairesel hareketi bir disk olarak kabul edilmiştir. Şekil 1.4 de kanatlardan yeteri kadar önceki akıntı hızı ve basınç (U_1, p_1), kanatların hemen önündeki akıntı hızı ve basınç (U_2, p_2), kanatların hemen sonrasındaki akıntı hızı ve basınç (U_3, p_3), ve akıntı kanatları geçtikten yeteri kadar uzaklaştıktan sonraki akıntı hızı, basınç (U_4, p_4) değerleri ile gösterilmiştir.

Kanatlardaki akıntı hızına bağlı olarak dönme hareketi lineer momentum korunum yasalarına göre açıklanmaktadır.(Usta, 2005) (1.16) ifadesinde kanatlara uygulanan itme kuvveti kanatlardan yeteri kadar öncesindeki hız değeri ile akıntı kanatları geçtikten sonraki hız değeri arasındaki farktır.

$$T = U_1(\rho AU)_1 - U_4(\rho AU)_4 = m(U_1) - m(U_4) \quad (1.16)$$

İtme kuvvetinin oluşabilmesi için hareket ve kütle gereklidir. Bu durum (1.17) ifadesinde kütleli yoğunluk olarak gösterildi.

$$m = (\rho AU)_1 - (\rho AU)_4 \quad (1.17)$$

Akıntının engelle karşılaşmasındaki basınç ve hıza bağlı davranışlarını açıklayan denklem (1.18) ve (1.19) Umur, (2009) akışkanların özellikleri ile yapmış olduğu çalışmada engelden önceki ve sonraki hareketlerini hız ve basınç cinsinden göstermiştir.

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho U_2^2 \quad (1.18)$$

$$p_3 + \frac{1}{2}\rho U_3^2 = p_4 + \frac{1}{2}\rho U_4^2 \quad (1.19)$$

Dönen disk teorisinde akışkanın yeteri kadar önceki basınç ve hız değeri ile yeteri kadar uzaktaki basınç ve hız değerleri (1.20) deki ifadede olduğu gibi birbirine eşit olarak kabul edilirse,

$$p_1 = p_4, U_1 = U_4 \quad (1.20)$$

Net kuvveti oluşturan parametreler diskten hemen önceki ve hemen sonraki (1.21) ifadesinde belirtilen değerlerdir. Disk üzerindeki ortalama hız (1.22) de gösterilmiştir.

$$T = A_2(p_2 - p_3) = \frac{1}{2}\rho A_2(U_1^2 - U_4^2) \quad (1.21)$$

$$U_2 = \frac{U_1 + U_4}{2} \quad (1.22)$$

Akışkanın taşımış olduğu güç değeri (1.23) de ifadenin maksimum değerinin bulunabilmesi için U_4 'e göre (1.24) de türevinin alınarak sıfır değerine eşitlenip kökleri bulunmalıdır.

$$P = \frac{1}{2}\rho A_2(U_1 - U_4)U_2 \quad (1.23)$$

$$\frac{dP}{dU_4} = \frac{\rho A}{4}(U_1^2 - 2U_1U_4 - 3U_4^2) = 0 \quad (1.24)$$

Denklem (1.24) türevinin alınması ile (1.24) deki kök değeri bulunmuş olur.

$$U_4 = \frac{U_1}{3} \quad (1.25)$$

(1.25) ifadesindeki değer (1.24) denkleminde yerine konulduğunda elde edilen gücün maksimum değeri hesaplanır.

$$P_{max} = \frac{8}{27} \rho A U_1^3 \quad (1.26a)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (1.26b)$$

(1.26) ifadesinde akıntıdan elde edilebilecek maksimum değeri ve gerçek üretim değeri verilmiştir. (1.27) ifadesindeki iki değerin oranı C_p güç katsayısını (verim) değerini verir.

$$C_p = \frac{P_{max}}{P} = \frac{16}{27} = 0,59259 \quad (1.27)$$

Betz Limitine göre akıntı türbininde kanatlar ile dönüştürebilecek enerji miktarının değeri %59 'dur. Betz limiti bir kayıp değildir. Akıntı enerjisinin dönüşebileceği maksimum sınırdır. Bütün teorik hesaplar uygulamalar göstermiştir ki enerji dönüşümünün bu oranın üzerine çıkamaz (şenel ve ark. 2014).

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Dünyada Yapılan Akıntı Türbin Çalışmaları



Şekil 2.1 Siemens firmasının Kuzey İrlanda da kurmuş olduğu türbinden bakım sırasındaki çift rotorlu akıntı türbinin görüntüsü (Marine Current Turbines Limited is a company registered in England)

Şekil 2.1 de gösterilen çift rotorlu akıntı türbinidir. Kanat çapı 20 m'dir. Marine Current Turbines Firması (MCT) tarafından kurulan bu türbin ve Kuzey İrlanda Strangford bölgesindedir. 2008 den beri enerji üretimi devam etmektedir. Bu türbinin üretim verimi açısından bakıldığında 0,44'lük bir verime sahiptir (Atlantis Company). Tabana sabitlenmiş bir kule üzerine, kayar pistonlar ile iki adet türbin monte edilmiştir. Türbinleri akıntıya sokmak için kayar pistonlar akıntı içerisine girmektedir. Bakım veya arıza anında türbinler yukarı çekilmektedir. Amaç bakımı yerinde yapabilmektir. Her bir türbin 1 MW enerji üretmektedir.

Başka bir türbin uygulaması da Hammerfest (Norveç) bölgesinde kurulmuş olup ağırlıklar ile akıntı tabanına yerleştirilmiştir. Türbinler burada bulunan 2,5 m/sn akıntı hızında enerji üretmektedirler. Üretici firma her 5 yılda bakım yapılması ile 25 yıl enerji üretim garantisi vermektedir. Üretici firmanın 3 farklı büyüklüklerde türbin tipleri

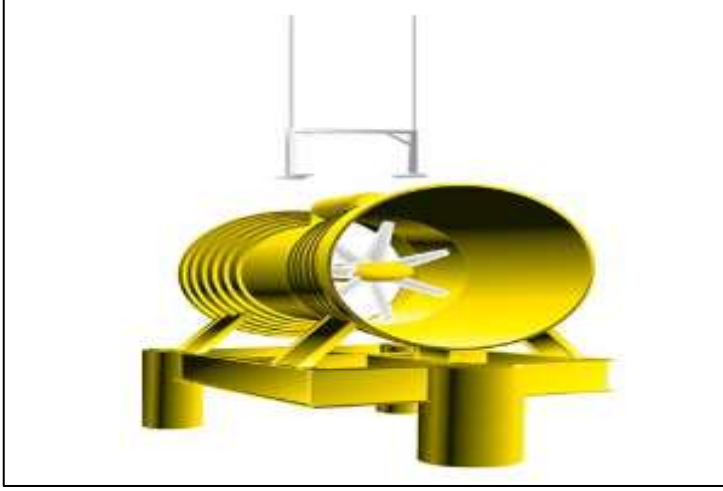
bulunmaktadır. [*hs300 (300kW)*, *hs1000 (1MW)*, *MK1 (1500kW)*]. 300kW'lık türbin ilkdefa Norveç Kvalsund bölgesinde 2003 ve 2007 yılları arasında deneme amaçlı yapılmış ve 2007 den sonra ise üretime başlamıştır. Bu türbinler yılda 9500 saat çalışarak 1,5GWh enerji üretmektedirler (Andrids Hydro GmbH group).

1 MW Büyüklüğündeki türbinler İngiltere'nin kuzeyinde Avrupa Marin Enerji Merkezi (EMEC)'te kurulmuşlardır. Şekil 2.2 de gösterilen türbinler deniz tabanına ağırlıklar konularak sabitlenmiştir. Akıntının yön değiştirmesine karşı kanatların yönleri de değişmektedir. Burada kurulu olan türbinler yılda 3,1GWh enerji üretmektedir (Andrids Hydro GmbH group).



Şekil 2.2 Deniz tabanına yerleştirilmiş çift yönlü kanatlarını yönlendirebilen akıntı türbini görüntüsü (Andritzhydrohammerfest)

Lunarenergy firması Şekil 2.3 de gösterilen Venturi tipinde türbinler üretmiştir. Venturi türbinler ilk defa kapalı sistem barajlarda ve kanallarda kullanılmıştır. Amaç bir boru tipindeki akıntı kanalının çıkış kısmının genişletilerek alçak basınç üretmek ve böylece verimi artırmaktır. Bu tip türbinler hidroelektrik santrallerde kullanılan Kaplan türbin tipine benzemektedir (Lunarenergy).



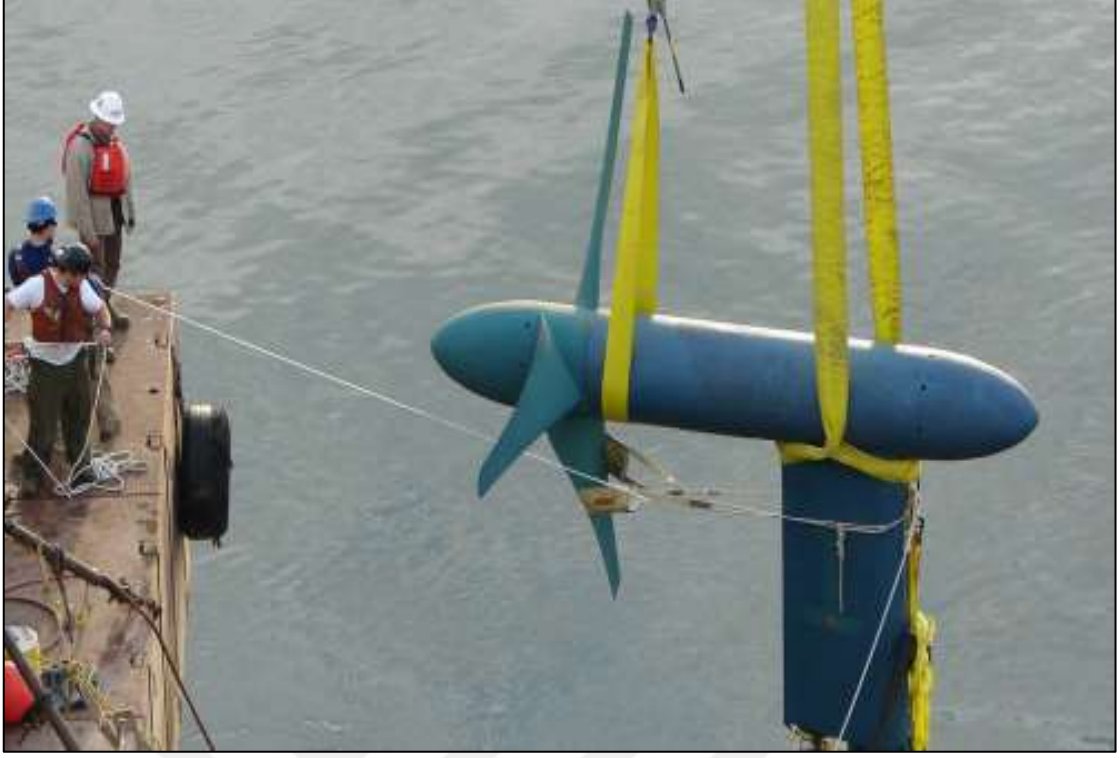
Şekil 2.3 Ventüri tip türbin yapısı ve kanat çalışma düzeni (Lunarenergy)

TidalStream firması Şekil 2.4’de verilen farklı tarzdaki akıntı türbinleri tasarlamaktadır ve denemelerini yapmaktadır. Türbinlere bakıldığında deniz tabanına bağlı ve akıntı yönüne kendiliğinden yönelebilen türbinlerdir. Deneme yapılan türbinler rotor çapının 4 – 4,5 m olan küçük türbinlerdir. 2,5m/sn akıntıda 45 – 50kW gücünde enerji üretmektedir (TidalStream Limited).



Şekil 2.4 Tidalstream firması akıntı türbini prototip uygulama çalışmaları (TidalStream Limited)

Verdantpower firması İrlanda’da deniz tabanına sabitlenen çift yönlü akıntıda yaw sistemini kullanmadan iki yönlü dönme hareketini gerçekleştirebilen türbinler üretmektedir (Verdantpower).



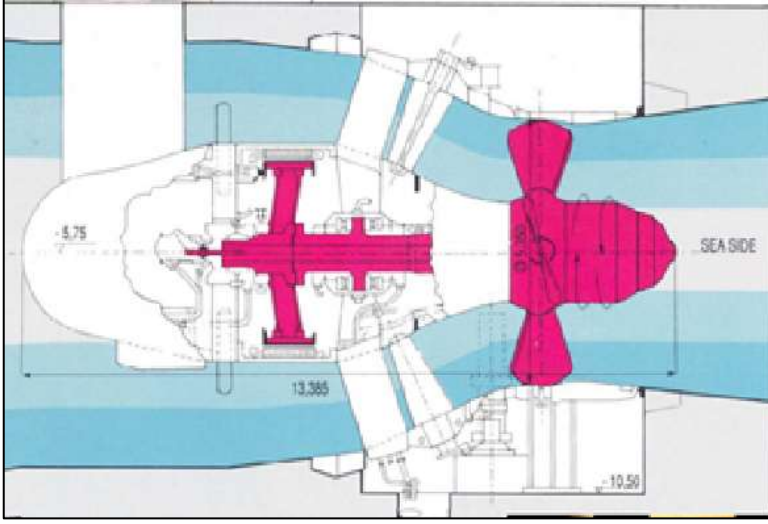
Şekil 2.5 Vendantpower firmasının üretimde olan türbin tipi (Verdantpower)

Avustralya firması olan Tidalenerji, Venturi tarzı Şekil 2.5 de gösterilen türbin çalışmaları yapmaktadır. Bu türbinlerden elde ettikleri enerji miktarları Çizelge 2.1 örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 Avustralya firmasının yapmış olduğu türbinin uygulama sonucunda akıntı hızına bağlı olarak ürettiği enerji miktarları (Verdantpower)

Türbin Boyutu (m rotor)	AKINTI HIZI DEĞİŞİMİ				
	2m/s	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1.5	4.6 kW	15 kW	35 kW	70 kW	120 kW
2.4	10 kW	40 kW	90 kW	180 kW	300 kW
5.0	50 kW	170kW	400 kW	800 kW	1.35 MW
7.0	100 kW	340 kW	800 kW	1.6 MW	2.7 MW
10.0	200 kW	680 kW	1.6 MW	3.2 MW	5.5 MW

British-Hydro Power firması tarafından yapılan Fransa Rance bölgesinde gel-git akıntısından kaynaklanan akıntı içerisinde baraj kurulmuş ve bu barajın altına kanat çapı 5,35 m olan Şekil 2.6 deki gösterilen türbinler yerleştirilmiştir. Türbin hidroelektrik santrallerde kullanılan kaplan türbin tipinde olup yüksek miktarda enerji çıkışı vermektedir (British-Hydro Power).



Şekil 2.6 British-Hydro firması Fransa Rance bölgesi gelgit enerjisi üretim türbin modeli (British-Hydro Power)

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1 Türbinlerin Uygulama Sahasına Yerleştirilmesi

Akıntının olduğu sahada birden fazla türbin yerleştirilecek olursa, yerleştirilen türbinlerin bir birine olan olumsuz etkilerini en aza indirecek şekilde konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Akıntı yönünde, önde olan türbinin oluşturduğu girdaplar veya akıntının hızını yavaşlatması gibi sebeplerden dolayı arkasındaki türbinlerin ideal ara ile yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için yapılan çalışmalarda türbinlerin birbirine olan etkileri incelenmiş ve türbin verimi üzerinde ne gibi etkileri olduğu araştırılmıştır.

3.1.1 Türbin Yaw Açısına Bağlı Olarak Değişen Güç Miktarı

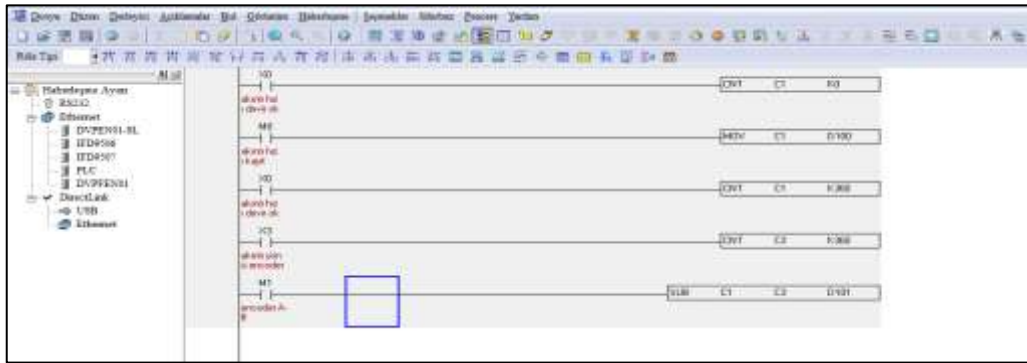
Türbinden maksimum verim elde edebilmek için gelen akıntının yönüne türbin kanatlarının dik pozisyonda konumlandırılmalıdır. Akıntı yönünün düzgün olmadığı yerlerde ve yönünün sürekli değiştiği bölgelerde akıntıyı takip edebilmek için türbin kanatlarının akıntıya dik pozisyona getirebilecek sistemin yani yaw sisteminin muhakkak olması gerekmektedir. Ancak akıntının düzgün olmadığı yerlerde yatay eksenli türbinler yerine dikey eksenli türbinlerin tercih edilmesi de olacaktır.

Akıntı yön sensöründen (encoder) alınan akıntı yön bilgisi mikro denetleyici plc (Model: DeltaDVP14 SS2) ile kontrol edilmektedir. Şekil 3.1 de alınan bilgiler program içerisinde değerlendirilip türbinin akıntı yönüne dik olacak şekilde olması için step motor ile yaw dişlisine hareket verilir. Encoder den alınan yön bilgileri en küçük yön değişim hareketini algılayabilir ancak küçük yön değişim hareketleri takip etmek verimli olmamaktadır. Yön sensörü olan encoderden iki veri 50'nin üzerinde ise yaw motoru hareket ettirilirdi. Ayrıca encoderden gelen bilgi 50'nin üzerinde olsa bile bir dakika içerisinde 10 sefer tekrarlanmayınca yine yaw motoru çalıştırılmadı. Çünkü her gelen bilgide motorun çalıştırılması enerji kaybına sebep olmaktadır.



Şekil 3.1 Türbinin gelen akıntıya dik olarak konumlanması için kullanılan dairesel (yaw) dönme motoru ve step motor sürücüsü, plc control ünitesi

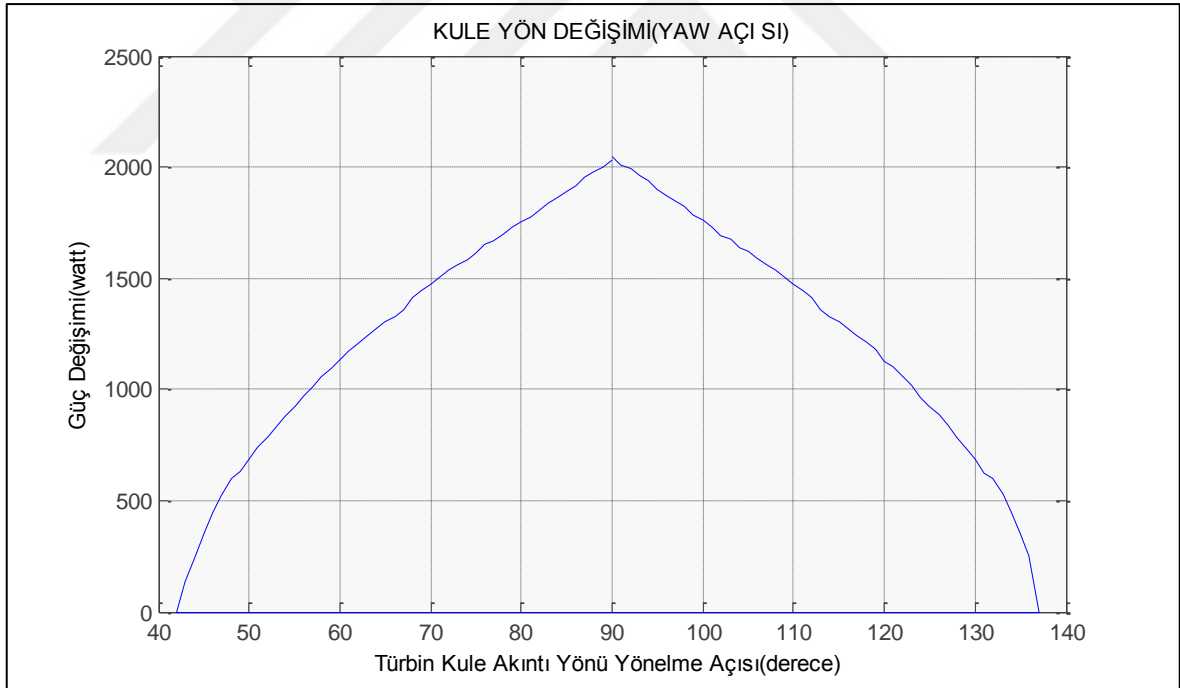
Şekil 3.1 de kullanılan Delta marka plc'nin (Y0) çıkışından step motor sürücüsüne (Digital Stepping Driver CWD556) puls gönderilmektedir. (Y1) çıkışına da motor yön pulsı gönderildi. Motorun hızı gönderilen pulsın tekrarlanma sayısına göre değiştirilebilmektedir. Bu durum türbin yaw kontrolünde yön değiştirme hızını ayarlama, PID kontrol yapma imkânı vermektedir. Bu sistemde step motor kullanmanın avantajları vardır. Diğer motorlara göre (asencron motor vs.) daha ucuz ve frenleme sistemi daha sağlamdır. Aynı zamanda adım kontrolü daha hassastır.



Şekil 3.2 Yaw motoru plc ladder programının uygulama alanı

Şekil 3.2 de yazılan plc ladder diagram programı ile step motor kontrolünde gönderilen puls miktarı encoderden gelen puls (X0) da (C1) sayıcısıyla sayılarak denetlenmiş ve step motorun gerçek konumda olup olmadığı test edilmiştir. Özellikle Çanakkale Boğaz akıntısındaki denemelerde step motorun sık aralıklarla çalıştığı gözlemlenmiştir. Boğazdaki akıntının yönü her dakika ölçülerek değerlendirilmiş, şekil (4.19), (4.10), (4.22)'de görüldüğü gibi akıntının yönün 10^0 üzerinde değişim gösterdiği bulunmuştur. Ancak sulama kanalında yapılan denemelerde ve şekil 4.13 de akıntının yönün ortalama 3^0 değiştiği ve kanalda step motorun hiç aktif olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum boğaz akıntısının yönünün kanal akıntısına göre devamlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Şekil 3.2 de enerji değişiminin miktarı akım için (Entes 0-5A Current Transducer TA-112) ve gerilim için (Entes 0-220V Voltage Transducer TA-111) dönüştürücüleri ile okunmuştur. Delta dvp -06XA analog dijital dönüştürücü modül ile kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.3 Yaw açısı değişimine bağlı olarak çıkış miktarındaki değişim

Dikey eksenli türbinde kanatların akıntı yönüne karşı dik açıyla durması gerekmektedir. Yapılan çalışmada türbin yaw açısına bağlı güç değişimi incelenmiştir. Şekil 3.3 de türbin dik açıyla akıntıya karşı yönlendirildiğinde maksimum güç üretilmiştir. Türbinin akıntıya karşı dik konumdan uzaklaştırılması sonucunda enerji üretiminde büyük

oranda azalma gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle akıntı yönünün düzenli olmadığı yerlerde yatay eksenli türbinlerin verimin düştüğünü göstermektedir. Ayrıca yaw açısı değiştirme motorunun devamlı aktif olduğu gözlemlenmiştir. Yaw motorunun üretilen enerjinin bir miktarını harcamasına neden olur. Yapılan çalışmada yaw motoru türbini akıntıya karşı çevirebilmesi için 750 W'lık bir step motor seçilmiş, step motor da üretilen enerjinin bir miktarını harcamıştır. Özellikle deniz akıntılarında yön değişim şiddetli bir dalga şeklinde gelmekte bu dalgayı itebilecek güçte bir motor konulması gerekmektedir.

3.2 Tasarlanan Türbinin Özellikleri

Akıntı türbinlerinde farklı tarzda mühendislik tipleri kullanılmasına rağmen enerji verimliliği bakımından yatay eksenli türbinler 0,40 verimlik oranı ile daha verimli olarak görülmektedir. Ancak yapılan çalışmada Çanakkale Boğazındaki akıntının yönü ve şiddeti değişken olduğundan dolayı verimi olumsuz etkilemektedir.

3.2.1 Türbin Fiziksel Özellikleri

Türbinlere fiziksel olarak bakıldığında rüzgâr türbinlerine benzer yapıdadırlar. Akıntı yoğunluğu fazla olduğundan dolayı türbine uygulanan basınç kuvveti daha fazla olacaktır. Kanat yapılarında Şekil 3.5 de gösterilen kanat profilindeki azami kalınlık fazladır. Ayrıca türbinin dış yapısı tuzlu su korezyonuna karşı dayanıklı ve deniz canlılarına karşı anti bakteriyel yapıda olmalıdır. Malzeme yapısı bakımından farklı malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Uyguma yapılan Çizelge 3.1 de özellikleri verilen türbinin akıntı yüzeyinde sabit kalabilmesi için dubalarla yapılmış platform bulunmaktadır. Platform altına sabitlenen türbin akıntıya karşı sürüklenmemesi için çapalarla akıntı tabanına sabitlenmiştir. Türbinde kule boyu kanat boyunun iki katı olarak yapılmış ve platformun kanatlara olumsuz etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Türbinde devir artırmak için dişli kutusu kullanılmamış bunun yerine türbin devir özelliklerine göre flanş alternatör tasarlanmıştır. Kanatların deniz suyu etkilerine karşı korunması için fiber malzeme ile kaplanmıştır. Türbinde kanat açısı değişimi ve kule yön değişiminin kontrolü plc ile yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Yapılan çalışmada kullanılan türbinin fiziksel özellikleri

SOĞUTMA TİPİ	Alternatör sarımları dış blok üzerinde, dış blok mevcut su soğutmalı
TÜRBİN AĞIRLIĞI	175 kg
KULE BOYU	1 m
KULE YÖN DEĞİŞİMİ	Kule yön değişimi step motor plc kontrollü
KANAT AÇI KONTROLÜ	Kanat açısı değişimi step motor, plc kontrollü
DİŞLİ KUTUSU	Yok (direk tahrik)
JENERATÖR TİPİ	Permanent magnet flanş alternatör
KANAT YAPI MALZEMESİ	İç iskelet ahşap dış koruma fiber glas
TÜRBİN TİPİ	Yatay eksenli türbin

3.2.2 Türbin Kanat Boyutları

Çizelge 3.2 Uygulama türbini kanat boyu, kalınlık, veter uzunluğu verileri ve kanat boyutlandırması ölçüleri

R= 42 cm Kanat boyu ölçüleri(cm)			R= 58 cm Kanat boyu ölçüleri (cm)		
Kanat boyu	Azami kalınlık	Veter uzunluğu	Kanat boyu	Azami kalınlık	Veter uzunluğu
4	3,9	8,1	4	5	11,9
6	3,733	7,958	6	4,873	11,746
8	3,566	7,816	8	4,746	11,592
10	3,399	7,674	10	4,619	11,438
12	3,232	7,532	12	4,492	11,284
14	3,065	7,39	14	4,365	11,13
16	2,898	7,248	16	4,238	10,976
18	2,731	7,106	18	4,111	10,822
20	2,564	6,964	20	3,984	10,668
22	2,397	6,822	22	3,857	10,514
24	2,23	6,68	24	3,73	10,36
26	2,063	6,538	26	3,603	10,206
28	1,896	6,396	28	3,476	10,052
30	1,729	6,254	30	3,349	9,898
32	1,562	6,112	32	3,222	9,744
			34	3,095	9,59
			36	2,968	9,436
			38	2,841	9,282
			40	2,714	9,128
			42	2,587	8,974
			44	2,46	8,82
			46	2,333	8,666
			48	2,206	8,512

Çizelge 3.2'nin devamı

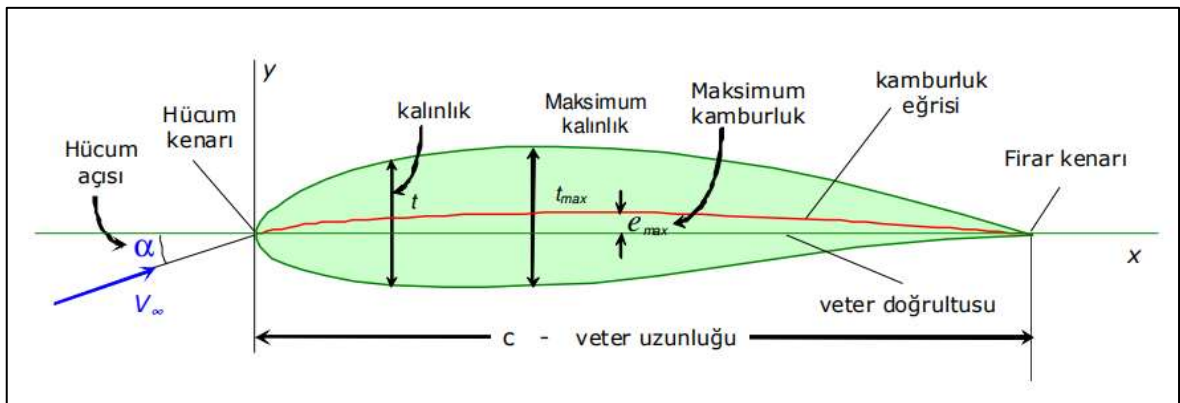
R= 42 cm Kanat boyu ölçüleri			R= 58 cm Kanat boyu ölçüleri		
Kanat boyu	Kanat açığı değişimi	r/R	Kanat boyu	Kanat açığı değişimi	r/R
4	22,000	0,125	4	22,000	0,083
6	20,715	0,188	6	21,182	0,125
8	19,430	0,250	8	20,364	0,167
10	18,145	0,313	10	19,546	0,208
12	16,860	0,375	12	18,728	0,250
14	15,575	0,438	14	17,910	0,292
16	14,290	0,500	16	17,092	0,333
18	13,005	0,563	18	16,274	0,375
20	11,720	0,625	20	15,456	0,417
22	10,435	0,688	22	14,638	0,458
24	9,150	0,750	24	13,820	0,500
26	7,865	0,813	26	13,002	0,542
28	6,580	0,875	28	12,184	0,583
30	5,295	0,938	30	11,366	0,625
32	4,010	1,000	32	10,548	0,667
			34	9,730	0,708
			36	8,912	0,750
			38	8,094	0,792
			40	7,276	0,833
			42	6,458	0,875
			44	5,640	0,917
			46	4,822	0,958
			48	4,004	1,000

Uygulama yapılan türbinde kullanılan kanatların ölçüleri Çizelge 3.2 de verilmiştir. İki farklı kanat boyutlarında deneme yapılmıştır. Kanatlar rotora bağlantı yapıldığı kök ve gücün alındığı bölge olmak üzere iki kısımdan oluşur. Tasarlanan türbinde kanatların rotora bağlanması için kök kısmının 10cm olması gerekmektedir. Kullanılan iki kanatta da 10cm kök kısmı bulunmaktadır. Türbinde kullanılan alternatör 5kw'tır. 32cm boyunda kullanılan kanatlar 1m/sn altındaki akıntı hızlarında türbin ilk hareket devrini yapmasında

verimsiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden çalışmalar 58cm uzunluğundaki kanatlar ile tamamlanmıştır.

3.2.3 Kanat Tasarım Özellikleri

Akışkanın havaya göre daha yoğun olduğundan dolayı sıvı sürtünmesi daha fazla olacaktır. Bunun önlenmesi için kanat yüzeylerinin daha pürüzsüz olması gerekir. Ayrıca akıntı hızı düşük olduğundan enerji aktarımı için veter uzunluğunun büyük olması gerekmektedir. Kanatlar enerji çevrimin ilk kısmı olduğundan türbinin en önemli parçasıdır. Kanat tasarımı üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonucunda farklı hızlar ve akıntı yoğunlukları için tasarlanmış kanatların özellikleri belirlenmiştir. Bahaj ve ark. (2007) Yapmış oldukları akıntı tüneline, prototip deneme çalışmalarında yaklaşık %46 verime ulaşmışlardır. Şekil 3.3'de bir kanat kesitinde bulunan kısımları göstermektedir. Kanatların akıntıya karşı durduğu açığa hücum açısı denir. Bu açı kanat açı değişim motorları tarafından değiştirilerek devir ayarlaması yapılır. Veter uzunluğu su akıntı türbinlerinde, rüzgâr türbinlerinde kullanılan kanatlara göre fazladır. Bunun sebebi deniz akıntılarında hız düşük olduğundan momentum aktarımının daha fazla olması içindir. Kanat düzlemsel akıntıyı dairesel akıntıya çevirmek için akıntıya karşı bir açıyla durması gerekir. Bu açı uygulama yapılan kanatlarda kök kısımda Çizelge 3.2'de olduğu gibi 20° , uç kısmına doğru gidildikçe azalarak 4° olmaktadır. Bu açının azalması aerodinamik bir özelliktir. Kanat tasarımında açı önemlidir ve hız aralıkları için farklı kanat tipleri tasarlanır. Olumsuz sonuçları ise kanadın üst yüzeyinde türbülans oluşur. Bu türbülans kaviteyona sebep olur.



Şekil 3.5 Kanat kesitindeki değişkenlerin adlarının gösterimi (Yükselen, 2017)

3.3 Çanakkale Boğazı Akıntı Enerji Potansiyeli

Çanakkale boğazındaki akıntı çift yönlüdür. Alttan yoğun tuzlu Akdeniz suyu Marmara Denizine akarken üstten az yoğun olan Marmara'nın suyu Ege Denizine akmaktadır. Bahar aylarında (Nisan-Mayıs) Karadeniz suyu artmakta bunun sonucu olarak boğazlardaki yüzey sularındaki artış maksimum olmaktadır. Yıllık yağış miktarının değişimine bağlı olarak Çanakkale Boğazında ortalama $2,0 m/sn$ (19 Nisan 2016, Kilitbahir Kalesi önü ölçüm değeri) akıntı hızına çıkmaktadır.

Dip akıntı hızı $1,3 m/sn$ (19 Nisan 2016) civarlarındadır. Bu akıntı hızı çok fazla değişmez. Saydam (2013) yaptığı çalışmada Marmara denizi ile Karadeniz arasında $30 cm$ kot farkı bulunmaktadır. Aynı oran teorik hesaplamalara göre Ege denizi ile Marmara denizi arasında $20 cm$ civarında bir kot farkı olduğunu göstermektedir. Bu kot farkı alttan akan Ege'nin suyu Marmara'nın suyunu yukarı doğru şişirmesinden kaynaklanır. Bu durum Çanakkale Boğazında ki üst akıntının da sebeplerinden biridir. Üst akıntının kalınlığı $15 m$ civarındadır ve ortalama $15 m$ çapında türbin kurulabilir. Bu çaptaki türbinler $600kWh$ enerji üretebilmektedirler. Taban akıntısına bakıldığında zaman boğazın ortalama derinliği $60 m$ kabul edilirse ve taban akıntı kalınlığı $35 m$ civarında olur. İki akıntı arasında kalan durgun su kütlelerinin kalınlığı ortalama $10 m$ 'dir. Türbinler tabandan $2/3$ oranında kule ile yukarı kurulmalıdır. İki birim türbin kanat çapı bir birim ise kanatların tabandan yüksekliğidir. Ancak bu şekilde yapıldığında zaman zaman taban yüzeyinin pürüzlülüğünün zararından kaçınılabılır. Buda kanat çapının ortalama $15m$ civarında ($600kWh$) türbinler kurulabileceği anlamına gelir.

3.3.1 Akıntı Hız Ölçümü

Akıntı hızı ölçüm için farklı tarzda ve teknikte ölçüm aletleri kullanılmaktadır. Farklılıklar göstermesinin sebebi farklı konum ve yerlerde ölçüm yapabilmeleridir. Örneğin yüksek basınçlı olan akıntılarda, derin deniz diplerinde kupalı akımölçer kullanılmadı, basınçtan dolayı düzgün ölçüm yapılamadı. Buralarda ses dalgaları göndererek yansıyan ses dalgalarını açı farklılıklarını hesaplayıp ölçüm yapabilen doppler cihazları kullanılmaktadır. Kupalı akımölçerler nehir, dere ve sığ deniz akıntılarının ölçümünde kullanılır. Burada amaç belli bir ölçüm standardın sıralanmış kupalar suyun itme gücü yardımıyla dönmekte ve dönme bir kontak (reed) role yardımıyla birim zamandaki devir sayısı hesaplanarak ölçüm yapılmaktadır. Yapılan uygulamada türbin denemeleri sığ sularda olduğundan dolayı kupalı akım ölçüm cihazını kullanılması uygun

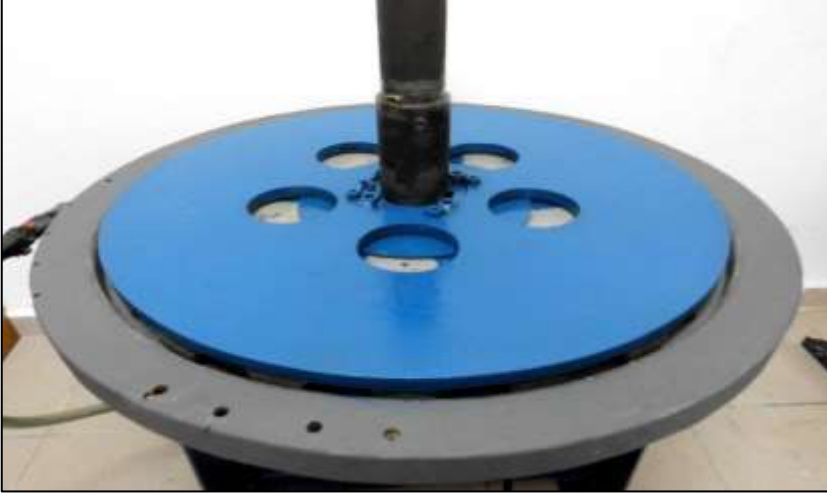
olmaktadır. Kupanın kendi eksenini etrafında dönmesini takip etmek ve bir tur yaptığında, geçen zamanı ölçerek akıntı ölçümü yapılır. Bu çalışmada Davis marka anemometre kupası kullanılmıştır.

3.4 Türbin Alternatör Özellikleri

Türbinlerin hareketiyle oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistem olarak tanımlanan alternatörün yapısı, elemanları ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

3.4.1 Akıntı Türbinlerinde Kullanılan Alternatör Yapımı

Akıntı türbinlerinde akım düşük hızda olduğundan dolayı düşük devirli alternatörler kullanılmaktadır. Bunun için türbin kanatlarında elde edilen devir alternatöre aktarılırken dişli kutusu kullanılacaksa yine de verimi düşürmemek için daha az dişli sayısına sahip dişli kutusu kullanılarak düşük devirli alternatör yapılmalıdır. Dişli kutusundaki dönüştürme oranı ne kadar büyükse kayıplarda o kadar büyük olmaktadır. Çünkü oranı büyültmek için dişli çember çapı büyüyecek veya yanına bir dişli çember eklenecektir. Büyüyen ve eklenen dişli ağırlık ve sürtünme açısından kayıp olarak karşımıza çıkar. Ancak teknolojinin gelişmesi sürtünmeyi azaltmış ve yüksek oranda verime sahip dişli kutuları üretilmiştir. Yapılan uygulamada dişli kutusu kayıplarından etkilenmemesi için bu sistem kullanılmadı. Türbin kanatlarının bağlı olduğu ana şaft direk olarak alternatöre bağlandı. Bunun için 400 dev/dk , 5 kW güce geçebilen flanş alternatör kullanıldı. Bu alternatörlerin amacı rotor ve statorlarının yüksek devirli alternatörlere oranla çaplarını yüksek olmasıdır. Düşük devirde rotor uç hızının yüksek devirde dönen alternatörlerle eşit duruma getirilmesidir. Uygulama yapılan türbinin alternatörü Şekil 3.6 da bütün kısımları protolin kalıp içerisine alınmış ve deniz suyuna karşı korunmuştur. Ayrıca alternatörün arasından deniz suyu geçtiğinden dolayı soğutma işlemi yapılmış olmaktadır. Alternatörler iki kısımdan oluşur. Hareket eden (dönen) kısım rotor, sabit duran kısma stator denir



Şekil 3.6 Akıntı türbininde kullanılan protolin kalıp içerisinde alınmış alternatör görüntüsü (400 dev/dk, 5kW 50Hz)

3.4.2 Stator

Alternatörde manyetik alan iki sürekli magnet (neodyum mıknatıs) sayesinde oluşturulmaktadır. Bu manyetik alanı elektrik enerjisine dönüştürmek için bir bobin gurubunun bu alandan geçirilmesi gerekir. Bu hareket ne kadar hızlı ise potansiyelde o kadar fazla olmaktadır. Genellikle fırça ve bilezik gibi elektriği aktarma elemanları kullanmamak için fırçasız alternatörler tercih edilmektedir. Sürekli hareket ettiklerinden dolayı fırça ve kömür bakıma ihtiyaç duyar ve maliyetleri arttırır. Stator için en büyük problem titreşim ve ısınma problemidir. Isınan bobinler geri dönüşümsüz arızalara sebep olur bunun yanında kararsız elektrik üretimine de sebep olurlar. Şekil 3.7 de statorun titreşiminin önlenmesi ve deniz suyundan etkilenmemesi için protolin kalıp içerisinde alınmıştır. Stator kısmı tamamen protolin kalıp içerisinde alındıktan sonra çapakların giderilmesi için tornalamak gerekir. Protolin iki farklı kimyasal sıvının karıştırılıp sertleşmesi sonucunda oluşan malzemedir. Yüksek gerilim hatlarında ve toprak altı kabloların birleştirilmesinden sonra dış ortama karşı muhafaza içerisinde alınması için kullanılır. Yüksek sıcaklığa ve yüksek sıvı aşınmalarına karşı dayanıklıdır.



Şekil 3.7 Türbin alternatörü, stator bobinlerinin protolin kalıp içerisine alınması

3.4.3 Rotor

Manyetik alana karşı bir kuvvet uygulanması sonucunda elektrik enerjisi oluşur. Kuvvetli deniz tuzu korozyonuna ve sürtünmeye karşı dayanması beklenmektedir. Bunun için deniz tuzunun etkilemediği parçalar üretilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda sistemin tamamıyla akıntı içerisinde çalışması döner aksam yataklarının su geçmesini engelleyen koruma elemanları ile korunması gerekmektedir. Tasarlanan alternatör manyetik alanın oluşturulması için neodyum mıknatıslar kullanıldı. Şekil 3.8 de gösterildiği gibi Neodyum mıknatıslar (N35) bir daire flanş etrafına dizildi. Bu flanş ve mıknatıslar deniz tuzlu suyuna karşı korumak için protolin kalıp içerisine alındı. Protolin karışımı manyetik alanın geçirgenliğine, metal olmadığından dolayı olumsuz etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 3.8 Rotor flanşının deniz suyundan etkilenmemesi için protolin kalıp içerisine alınma uygulaması

3.4.4 Alternatör Şasesi

Alternatörü oluşturan parçalar birleştirildikten sonra Şekil 3.9 olduğu gibi iki kanatlı rotor sisteme bağlandı. Ayrıca şase üzerine akıntı hız ölçüm cihazı, türbin devir ölçüm sensörü ve enerji nakil kabloları bağlandı.



Şekil 3.9 Uygulama yapılan türbinde 38 cm uzunluğundaki kanatların rotora bağlantılarının yapılması

3.4.5 Şebekeye Bağlanma (Senkron Olma)

Bütün türbinler şebekeye bağlanırken şebekedeki gerilim, frekans yük miktarı dengesi değerleri okunur, Santralde aynı frekans ve potansiyelde elektrik üretildiği zaman şebekeye bağlantı yapılır. Bu bağlantı için bir elektronik devre elemanına ihtiyaç vardır. Senkronizer yazılan program sayesinde şebekedeki potansiyel ve frekans okunur. Santralden üretilen elektrik bu değerlerinin üzerine konularak şebekeye gönderir. Eğer senkronizer şebekede o an için elektrik 50 Hz değil ise şebekeye elektrik vermez. Senkronizer üzerindeki sayaç sayesinde şebekeye verilen elektrik miktarı saat, gün, ay, yıl olarak kayıt edilir.

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Türbin Uygulamaları

Türbin uygulamalarında iki farklı sahada uygulamaları yapılmış, verileri analiz edilmiştir. Öncelikle ülkemiz iki büyük denizin birleştiği, akıntıya sahip iki boğazı bulunmaktadır. Ayrıca sulu tarımın yapıldığı alanlarda arazilerin sulanması için geniş sulama kanalları mevcuttur. Gönen sulama kanalında yapılan ölçümde standart eğimde akıntı hızı $1 - 1,5 \text{ m/sn}$ (15 Mayıs 2016) civarında akıntı hızına ulaşılmaktadır. Bu kanallar elektrik enerjisi bakımından büyük potansiyel taşımaktadırlar. Bu tarzda yapılan türbinler ile uygulama Türkiye’de bulunmamaktadır. Türbin uygulaması için Şekil 4.1 de Çanakkale Boğazı ve Şekil 4.2 de Balıkesir-Gönen sulama kanalında uygulamalar yapıldı.



Şekil 4.1 Çanakkale boğazı türbin uygulamasından bir görüntü

4.1.1 Sulama Kanalı Türbin Uygulamaları

Gönen sulama kanalında kanal nivo aletiyle her 50 m aralıklarla yapılan akıntı ve eğim ölçümleri Çizelge 4.1 sunulmuştur. 3 farklı bölgede eğim ölçümleri yapılmış ve ortalama eğimin ($S_0 = 3/25000$) olduğu bulunmuştur. Verilerdeki bazı kaymaların sebebi kanalın farklı noktalarında zamanla zeminin dibe çökmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden verilerde beklendiği gibi oransal bir artış yoktur.



Şekil 4.2 Akıntı türbini kanal akıntı uygulama sahası (Gönen sulama kanalı)

Çizelge 4.1 Gönen sulama kanalı eğim hesaplama verileri

ARALIK (m)	ÖLÇÜM(cm)	2.ÖLÇÜM(cm)	3. ÖLÇÜM(cm)
0	136	293	156
50	147	194	147
100	147	292	145
150	139	285	143
200	138	283	146
250	137	290	149
EĞİM (S_0)	$S_0 = \frac{(137 - 136)\text{cm}}{25000\text{cm}}$ $S_0 = 1/25000$	$S_0 = \frac{(293 - 290)\text{cm}}{25000\text{cm}}$ $S_0 = 3/25000$	$S_0 = \frac{(149 - 156)\text{cm}}{25000\text{cm}}$ $S_0 = 7/25000$

Kanalın derinliği 1,5 m kanal dip genişliği 2 m yan al eğim uzunluğu 2,5 m'dir. Bu şekilde beton dan yapılmış iyi düzeyde sıva yapılmış, cilalanmış olan kanalda iki farklı formül ile teorik olarak Manning ve Chezy formülü kullanılarak akıntı hızı hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.2 Chezy ve Manning Denklemi pürüzlülük katsayıları (Umur, 2009)

Yüzey malzemesi	ϵ (mm)	n
Beton düzeltilmiş	1,0	0,012
Büyük nehirler	5,00	0,035
Beton düzeltilmemiş	2,4	0,014

Kanal kesiti ikizkenar yamuğa benzemektedir. Kanal kesit ölçüleri yüzey genişliği $b = 3m$, yan yüzeyleri ($y = 1,5m, c = 1,5m$), taban genişliği $a = 2,5m$ 'dir. Kanalın ıslak kesit alanı kenar uzunluklarını (4.1) de yerine konularak hesaplanmıştır.

$$\zeta = a + 2y = 7,5m \quad (4.1)$$

Manning hız (4.3) (Umur,2009) ifadesinde kesit alanın çevresine oranı R_h değeri ile ifade edilmektedir. (4.2) ifadesinde alan ve çevre değerleri yerine konularak hesaplama yapılmıştır.

$$R_h = \frac{A}{\zeta} = \frac{6,75}{7,5} = 0,9m \quad (4.2)$$

Kanalın yapıldığı malzemesi pürüzlülük katsayıları deneysel uygulamalar sonucunda Umur (2009) çalışması olan Çizelge 4.2 de verilmiştir. (4.2) ve kanal eğiminin bilinmesi ile kanalın akıntı hızı (4.3) de verilen Manning akıntı hız denklemi ile hesaplanmıştır.

$$U = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,8437^{2/3} \cdot \sqrt{3/25.000} = 0,7416 \text{ m/s} \quad (4.3)$$

Akıntı hızı ile kesit alanı ile çarpılması (4.4) de kanaldan geçen suyun debi değeri bulunmuştur.

$$Q(\text{debi}) = UA = 4,995 \text{ m}^3/\text{sn} \quad (4.4)$$

(4.4) ifadesinde kanaldan geçen akıntı hızının $0,7416 \text{ m/s}$ ve (4.5) ifadesinde kanaldan geçen suyun debisi $4,995 \text{ m}^3/\text{sn}$ bulunmuştur. Ancak yapılan ölçümlerde kanaldaki akıntı hızının $1,5 \text{ m/sn}$ hızlara kadar çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi kanal uzun bir havuz olarak düşünülürse ve kanaldaki sulama miktarı artarsa suyun eğimi de

artacaktır. Yaz aylarında kanalda aşırı sulamalardan dolayı su eğim artmış ve hızın yükseldiği görülmüştür. Yapılan eğim ölçümleri kanalın eğimidir. Suyun eğimi devamlı değişmektedir. (4.3) ifadesi ve Çizelge 4.2 de bulunan düzeltilmiş beton pürüzlülük katsayısı değeri ε ve (4.5) (Umur, 2009) de verilen Chezzy denkleminde yerine konulursa C_f değişkeni bulunur.

$$C_f = 0,00283. (\varepsilon/R_h)^{\frac{1}{3}} = 0,00283 . (1. 10^{-3}/0,8437)^{\frac{1}{3}} = 0,002994 \quad (4.5)$$

Aynı şekilde yerçekimi değeri ve (4.5) bulunan C_f katsayısını (4.6) ifadesinde yerine konulmasıyla C_1 değişkeni bulunmuş olur.

$$C_1 = \left(\frac{2.g}{C_f}\right)^{\frac{1}{2}} = 80,9512 \quad (4.6)$$

(4.5) ve (4.6) ifadelerini (4.2) (Umur, 2009) Chezzy akıntı hızı denkleminde yerine konulduğunda kanaldan (4.7)'de geçen suyun hızı bulunmuş olmaktadır.

$$U = C_1(R_h.S_0)^{\frac{1}{2}} = 0,74 \text{ m/sn} \quad (4.7)$$

Chezzy ve Manning denklemlerinde yapılan teorik hesaplamalarında aynı değerler bulunmuştur.



Şekil 4.3 Gönen sulama kanalı akıntı türbini uygulaması

Şekil 4.2’de kanalda kullanılacak olan türbin ile kanal derinliği $1,37\text{ cm}$ iken ve akıntı hızı farklı olan yerlerde denemeler yapılmıştır. Kanaldaki akıntı, kanala suyun alındığı regülatörde 2 m/sn hıza ulaşmaktadır. Ayrıca kanalın daraldığı köprü altındaki bölgelerde akıntının $2,5\text{ m/sn}$ hıza çıktığı gözlemlenmiştir.

4.1.2 Üretilen Elektrik Akımı ve Potansiyel Ölçümü

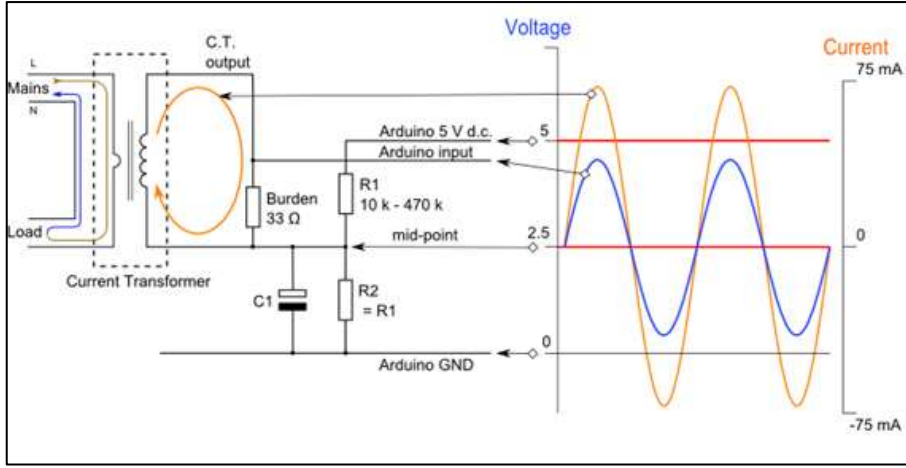
Alternatör çıkışında AC akım bulunur ve her fazdaki akım Şekil 4.3’de bulunan SCT 013-000 AC akım ölçüm trafosu ile arduino mikro denetleyicisinin okuyabilmesi için DC akım $0 - 75\text{ mA}$ dönüştürüldü. Kullanılan akım dönüştürücü trafolar AC, $-30, +30\text{ A}$ değerindeki akımı $0 - 75\text{ mA}$ değerine dönüştürmektedir.



Şekil 4.4 SCT 013-000 AC Akım Ölçüm Trafosu

Ancak Arduino mikro denetleyicisi sadece gerilim değeri okuduğunda dolayı akım trafolarından gelen $0 - 75\text{ mA}$ akım değerini Şekil 4.4 de bulunan devre kurularak $0 - 5\text{ V}$ değerine dönüştürülmesi gerekmektedir.

Akıntı türbin jeneratörü 3 faz 220 V elektrik üretmektedir. Çıkış diyot ile DC akıma çevrilmelidir. DC gerilime çevrilen potansiyel gerilim bölücü devre kullanılır mikro denetleyicinin okuyacağı $0 - 5\text{ V}$ değerine dönüştürülerek okunur.



Şekil 4.5 Akım ölçüm trafosundan gelen $0 - 75 \text{ mA}$ akım değerini Arduino mikro denetleyicisinin algılayabileceği $0 - 5 \text{ V}$ değerine dönüştüren devre gösterimi (Stackoverflow)

4.1.3 Türbin Devir Ölçümü

Devir ölçümünde encoder, kontak (read) röleler ile dönen cismin tam bir turunu ne kadar zamanda tamamladığı bulunur. Encoderden gelen tam tur pulsünün mikro denetleyici Arduino ile ne kadar zamanda yaptığı bulundu. Bu zaman değeri türbin kanatlarının turunu ne kadar sürede tamamladığını göstermektedir. Ayrıca bir dakika içerisinde kaç defa döndüğü de bulunmuş olur. Şekil 4.5’de türbin shaftına bağlanan manyetik (mıknatıs) read role önünden iki sefer geçme aralığındaki zaman değeri bulunmuştur. Ayrıca türbin alternatörüne bağlı encoder yardımıyla aynı işlem yapılarak test etme imkanı bulunmuştur.



Şekil 4.6 Kontak (Read) rölenin türbinde devir ölçüm uygulaması

4.1.4 Türbin Elektrik Enerjisi Şebekeye Bağlanması

Akıntı türbin alternatrnde üretilen elektriğin ulusal Şebekeye aktarılabilmesi için, Şebekede bulunan 50Hz frekansına çevrilmesi gerekir. Bunun için üretilen elektrik AC-DC dnŧtrc yardımıyla doğru akıma dnŧtrlr. Sonra DC-AC dnŧtrc yardımıyla 50 Hz elektrik akımına dnŧtrlerek Şebekeye verilir. Bu iŧlemi yapan Şekil 4.6'daki gibi özel cihazlar (Şebekeye paralel inverter) bulunmaktadır. Bu alıŧmada Mavisis marka inverter Şebekeye bağlantı yapılabilecek Şekilde kullanıldı. İnverter Őebeke bağlantı noktasında üretilen elektriğin frekansı ölçüldüğünde 50Hz olarak okundu.

İnverterler ulusal Şebekede elektrik olmadığı zaman elektrik vermezler. Bu durum ulusal Őebeke bakım ve arıza anında, Şebekeye müdahale eden kiŧilere elektrik verip ölümlere sebep olmaktan kurtarır. Bunun yanında inverterler türbin elektrik üretmediğinde iç kontrol sistemlerin alıŧmasında Őebekeden geri elektrik çeker. Bu durum üç fazlı çift yönlü sayaç ile alınan-verilen elektrik miktarı Şeklinde ekranından okunur.



Şekil 4.7 Mavisis marka on-grid Şebekeye paralel inverter

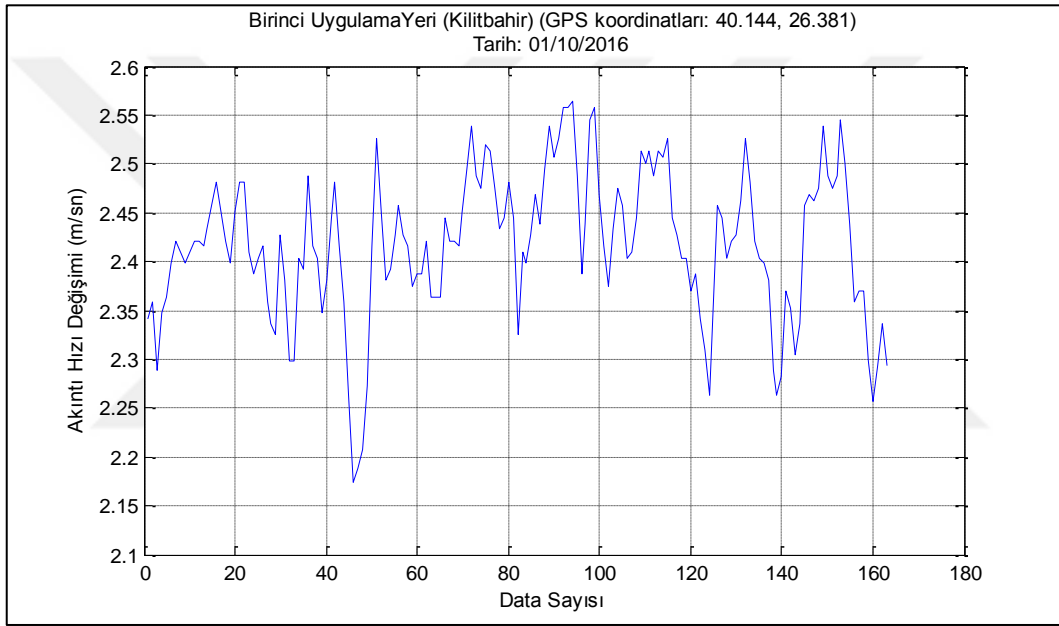
4.2 anakkale Boğazı Türbin Uygulaması

Yapılan türbin uygulama alanı Çanakkale Boğazında akıntı hızının ve akıntı yönün deęiŧtięi tabanın farklı olduğunu bildiğimiz sahalarda deneme yapıldı. Türbin tekne yardımıyla denize atıldı. Denize atılan türbin dubalar yardımıyla su yüzeyinde sabit kalması sağlandı ve akıntıda sürüklenmemesi için tekneye bağlandı. Veriler bu bağlı

kaldığı süre içerisinde kaydedildi. Sonra farklı yerlere götürülerek türbinin üretim sonuçları gözlemlendi.

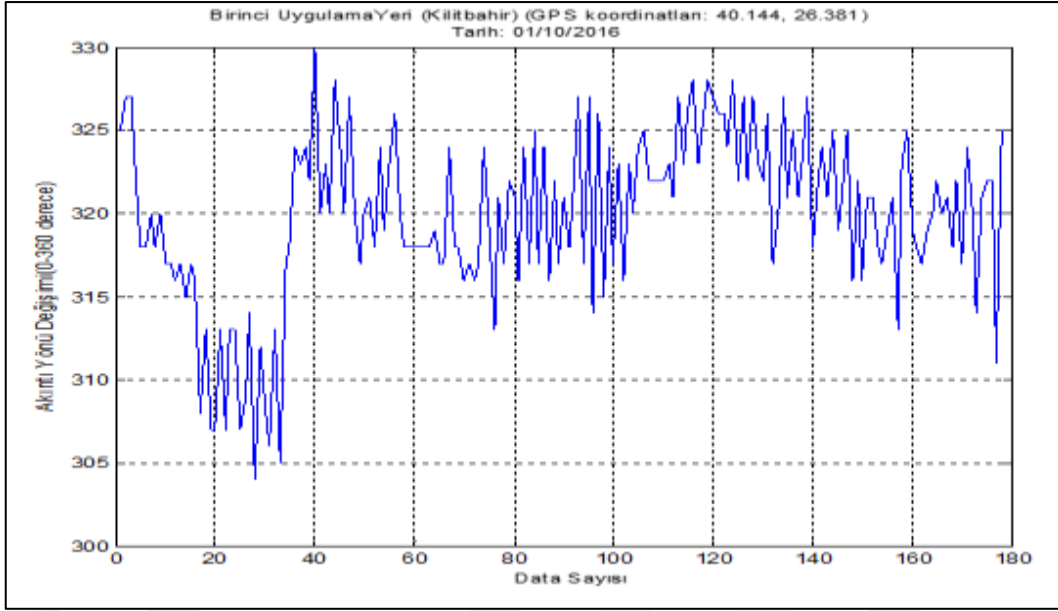
4.2.1. Birinci Uygulama Yeri (Kilitbahir)

Birinci uygulama yerinde yapılan Şekil 4.6'da yapılan ölçümlerde 2,25 – 2,55 m/sn değerleri arasında değişim olduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan saha kıyıya uzaklığı yaklaşık 30 m ve derinlik ise ortalama 17 m 'dir. Akıntı hızı ortalama 2,30 m/sn ile Çanakkale Boğazının verimli olduğu yerlerden biridir. Akıntı hızının diğer ölçüm yapılan yerlere göre fazla değişmediği gözlemlenmiştir.



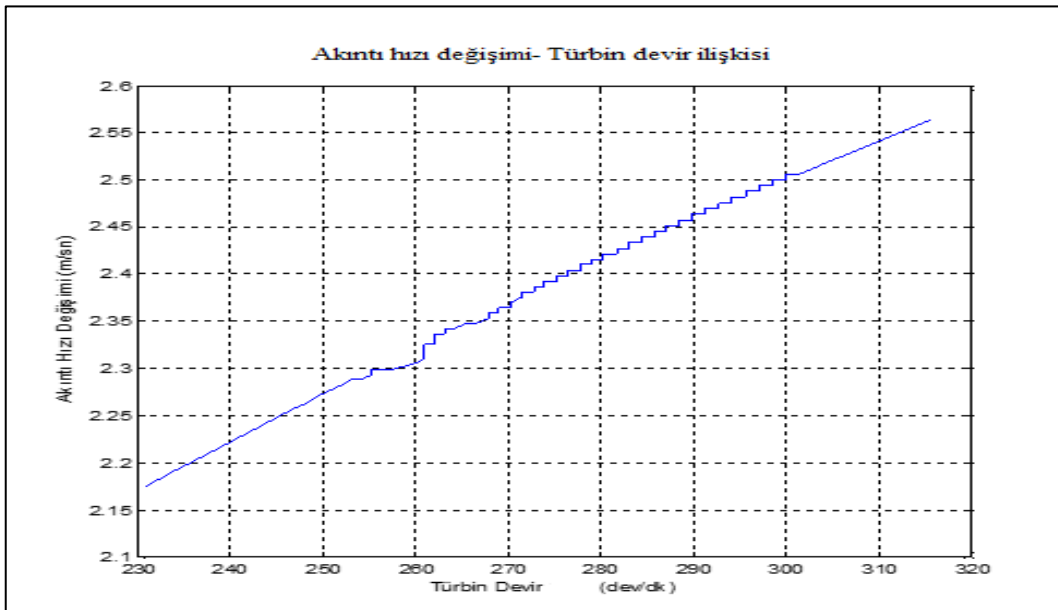
Şekil 4.8 Birinci uygulama yeri (Kilitbahir) akıntı hızı değişimi

Birinci uygulama yerindeki Şekil 4.7'de bulunan sonuçlarda akıntı yönün değişiminde 0 ile 40 veri arasında sebebinin gemi geçişleri olduğu tahmin edilen akıntı yönünün normalden farklı değiştiği gözlemlenmiştir. Gemi geçişinin olmadığı durumlar 40-180 veri aralığında akıntı yönü ortalama 10° değişim göstermiştir. Bu orandaki yön değişimi türbini etkilemediği görülmüştür. Çanakkale boğazında akıntının olduğu yerlerin geneline bakıldığında buradaki akıntı yönü değişimi en azdır.



Şekil 4.9 Birinci uygulama yeri (Kilitbahir) akıntı yönü değişimi

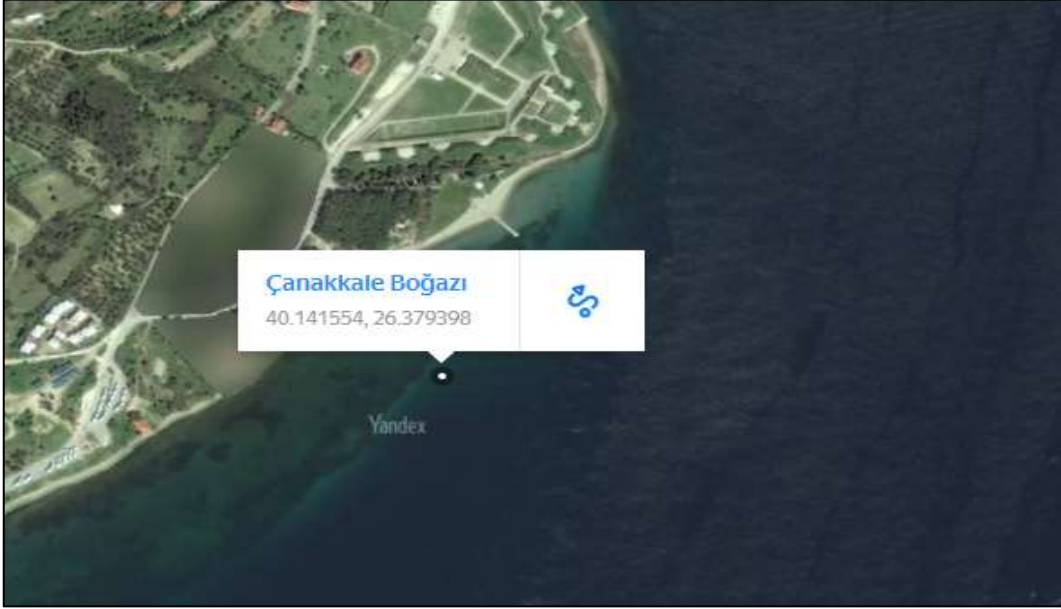
Akıntı hızının değişiminin türbin devir üzerindeki etkileri Şekil 4.8'e baktığımızda, akıntı hızının 2,2 – 2,5 m/sn değerleri arasındaki hızlarda ölçüm yapılmıştır. Alternatörün hıza bağlı olarak devir değişim kontrolünde alternatör boşa bırakılmış yükten ayrılmıştır. Akıntı hızının değişmesi türbin devrini etkilemiştir. Ancak 260 ve 300 devirleri arasındaki değişim akıntı yönünün değişmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer devir değişimlerinde ise akıntı yönü belirgin değişmemiştir.



Şekil 4.10 Akıntı hızı-Türbin devir ilişkisi

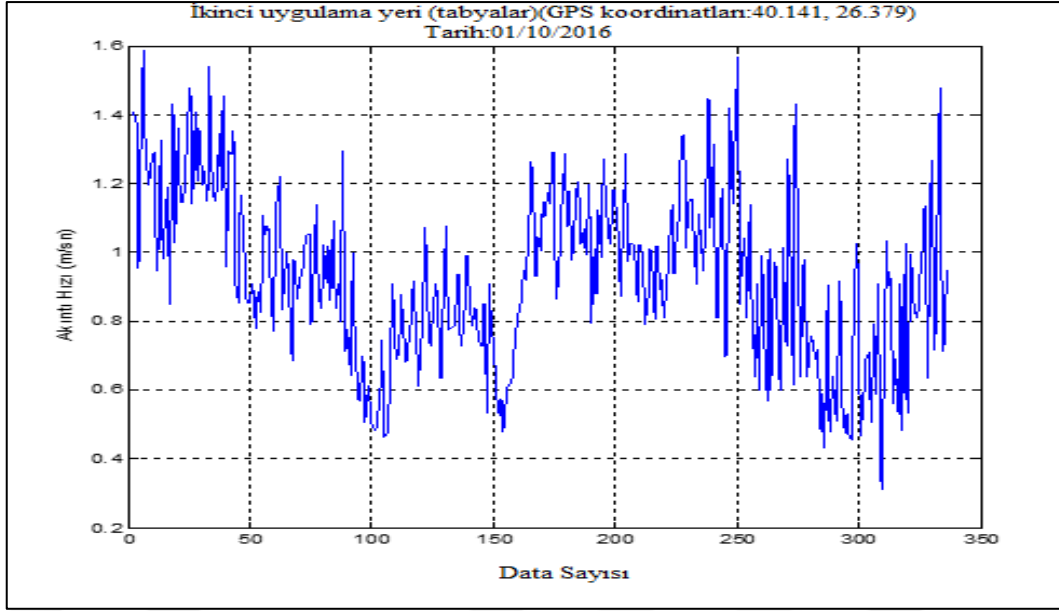
4.2.2 İkinci Uygulama Yeri (Tabyalar)

Türbin, akıntı hızının ve yönün değiştiği farklı yerlerde denemeleri yapılmıştır. Şekil 4.9'da ikinci uygulama sahasını göstermektedir. Bu sahanın GPS koordinatları 40.141 – 26.379'dır. Saha akıntı değişimin yaşandığı bölgede olduğundan türbülanslı akış bulunmaktadır. Burada yatay eksenli türbin ile yapılan uygulama çalışmasında türbin kulesin çok fazla hareket ettiği gözlemlenmiştir.



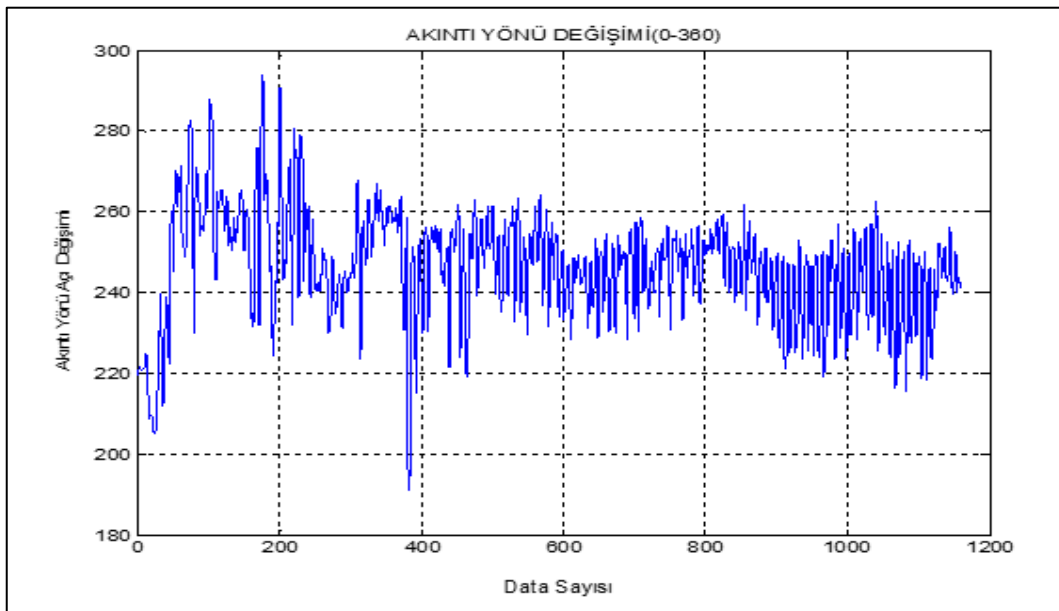
Şekil 4.11 İkinci uygulama sahası coğrafi konumu ve GPS koordinatları gösterimi

Şekil 4.10'daki akıntı hızı değişimine bakıldığında bölgedeki akıntının türbülanslı olduğu gözükmektedir. 0,4 – 144 m/sn değişim aralığında akıntı hızına sahiptir. Buradaki akıntı hızının değişimi boğazdaki gemi geçişlerinin etkilerinden daha fazla türbülanslı akıntıdan kaynaklanmaktadır.



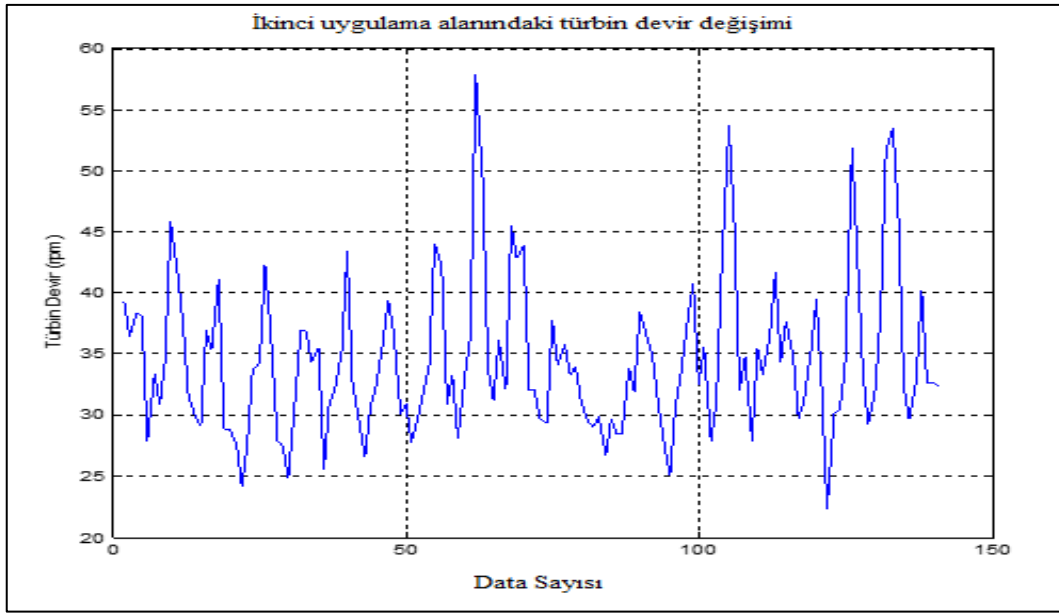
Şekil 4.12 Uygulama alanı ikideki akıntı hızı değişimi grafiği

İkinci uygulama alanındaki akıntı hızı değişimi şekil 4.11’de 40° ’nin üzerinde bir akıntı yön değişimi bulunmaktadır. Bu yön değişimin sebebi seçilen bölgenin türbülanslı akıntıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Birinci uygulama alanındaki Şekil 4.7 akıntı yönünde ortalama 10° açı değişimi bulunmaktaydı. Birinci ve ikinci uygulama alanları arasındaki akıntı yön değişim farkı 30° civarında bulunmuştur. Farkın sebebi türbülanslı kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.13 İkinci uygulama yeri (Tabyalar) akıntı yönü değişimi

Akıntı hızındaki değişim türbin devrini etkilemektedir. Ancak türbülanslı olan bölgelerde akıntı hızının değişimin yanında kısa zaman aralıklarında akıntı yönün değişmesi türbin devrini büyük miktarda etkilemektedir. Şekil 4.12 deki türbin devri ortalama 35 dev/dk dönmektedir. Ancak aynı hızlarda diğer bölgelerdeki türbin devir değişim 200 dev/dk döndüğü görölmüştür. Ayrıca akıntı yönün devamlı değişmesinden dolayı türbin yaw motoru devamlı aktif olmasına rağmen türbini akıntıya yönlendirmekte gecikmektedir. Bu durum türbülanslı olan bölgelerde yatay eksenli türbinlerin verimliliği düştüğünü göstermektedir.



Şekil 4.14 İkinci uygulama alanındaki türbin devir değişimi

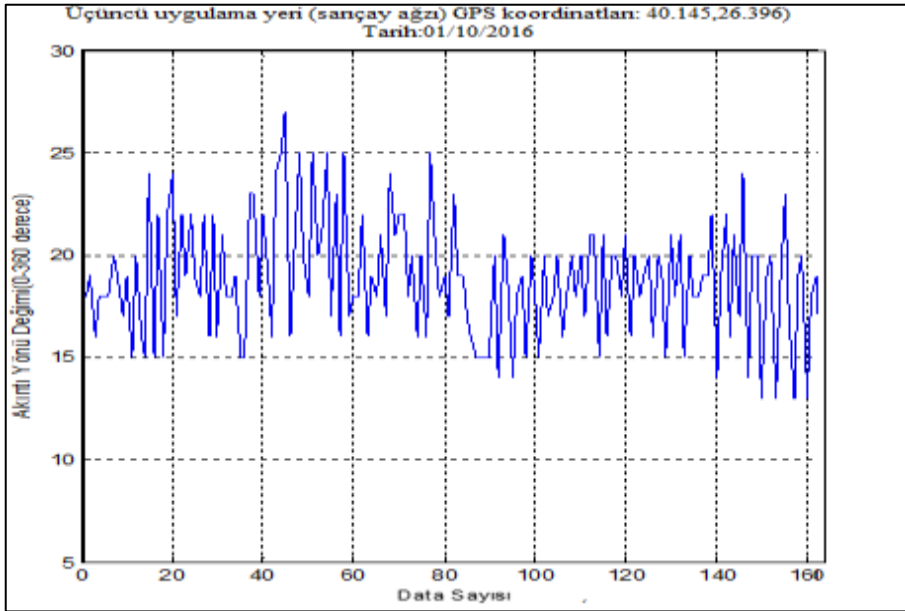
4.2.3. Üçüncü Uygulama Yeri (Sarıçay ağzı)

Üçüncü uygulama yeri olarak 40.145,26.396 GPS koordinatlarına sahip Şekil 4.13'deki Çanakkale Boğazında bulunan Sarıçay deresinin denize döküldüğü yerde uygulama yapılmıştır. Uygulama yapılan zamanda (01/10/2016) yağışların olmamasından dolayı Sarıçay'dan denize akıntı bulunmamaktadır. Bu bölge boğazın daralan bölgelerinden biridir. Bu yüzden akıntı hızı yoğundur. Ancak bölgede Sarıçay'dan kaynaklanan toprak taşınımları yüzünden derinlik azdır.



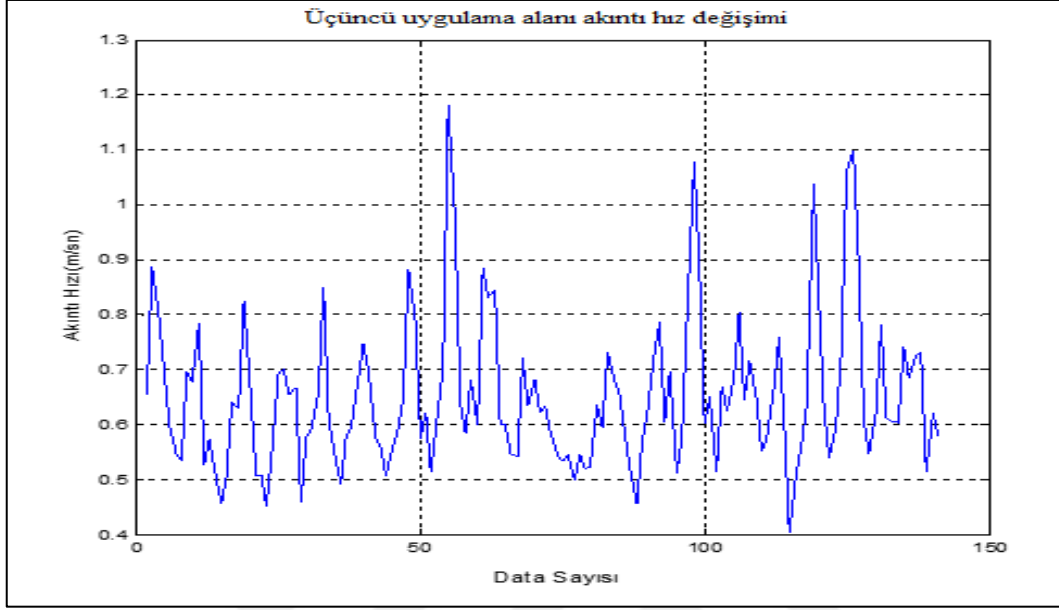
Şekil 4.13 Üçüncü uygulama sahası coğrafi konumu ve GPS koordinatları gösterimi

Üçüncü uygulama sahasında yapılan ölçümlerde Şekil 4.14 de akıntı yönü değişiminin düşük ortalama 100 olduğu gözlemlenmiştir. Burada deniz derinliği 3-5 metre civarında olduğundan akıntı kalınlığı çok düşüktür. Deniz sığ olduğundan akıntı yüzeydeki olan rüzgârdan etkilenmektedir. Akıntıya karşı rüzgârın ters esmesi akıntı hızını durma noktasına getirmektedir. Eğer akıntı yönüyle aynı yönde esmesi akıntı hızını aşırı arttırmaktadır. Ayrıca gel-git den dolayı deniz seviyesi aşırı düşmektedir. Bunun yanında bu bölgede bulunan balıkçı iskelesine kayık geçişleri de sığ olan deniz akıntısını değiştirmektedir.



Şekil 4.15 Üçüncü uygulama yeri (Sarıçay ağzı) akıntı yönü değişimi

Üçüncü uygulama alanı Şekil 4.15 de akıntı hızının ortalama 0.7 m/sn ile düşük olduğu gözlemlenmiştir. Akıntı kalınlığının az olmasından dolayı 3m kanat çapından daha büyük türbinlerin kurulması uygun değildir.



Şekil 4.16 Uygulama alanı üçteki akıntı hızı değişimi

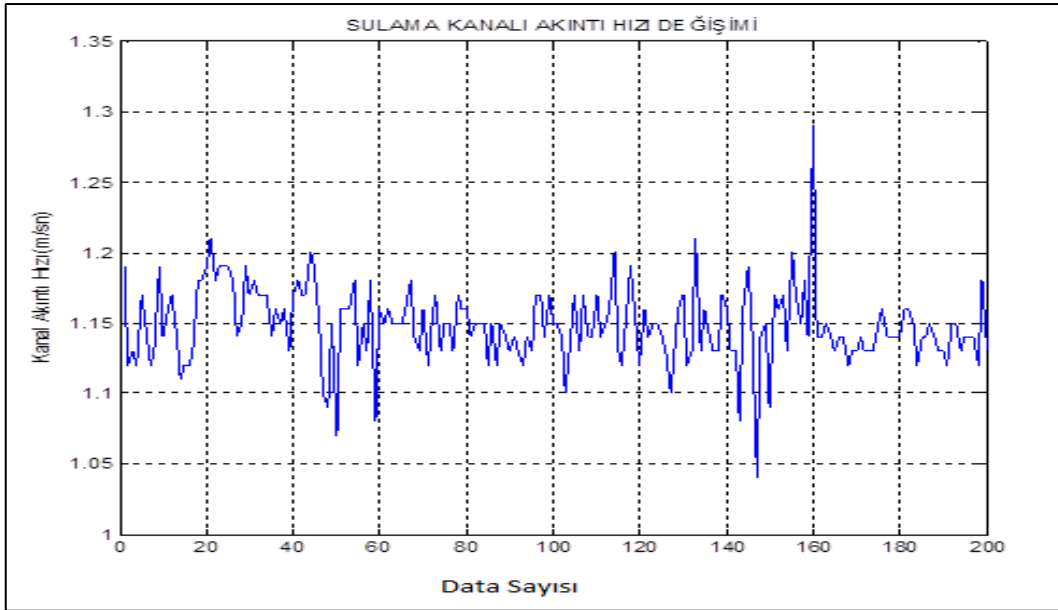
4.3 Akıntı Türbini Sulama Kanalındaki Uygulamaları

Kanal akıntıları deniz akıntularına göre daha düzenli olduğu görülmektedir. Deniz akıntılarında rüzgârın yüzey akıntularına etkisi büyüktür. Ancak kanal akıntılarında yüzey küçük olduğundan, rüzgârın akıntı yönünü değiştirme miktarı azdır. Deniz akıntılarında olduğu gibi akıntı kalınlığı fazla değil ve yılın tamamı su bulunmaz. Kanalda su yaz aylarında sulama amaçlı olarak Nisan ayında başlayıp Ekim ayında sonlandırılmaktadır. Ancak yılın geri kalan kısmında, baraj altında bulunun hidroelektrik santralden gelen kuyruk suyu kanalın belirli bir kısmına verilerek tüm yıl boyunca enerji üretilebilir. Uygulama yapılan kanalının boyu ortalama 60 km 'dir. Bütün kanal boyunca türbin kurulabilir durumdadır. Şekil 4.17 de kanaldaki köprüden dolayı daralma yapılmıştır. Burada akıntı normal kanaldaki akıntıdan fazladır. Kanaldaki farklı akıntı hızlarında türbin denemesi yapılmıştır.



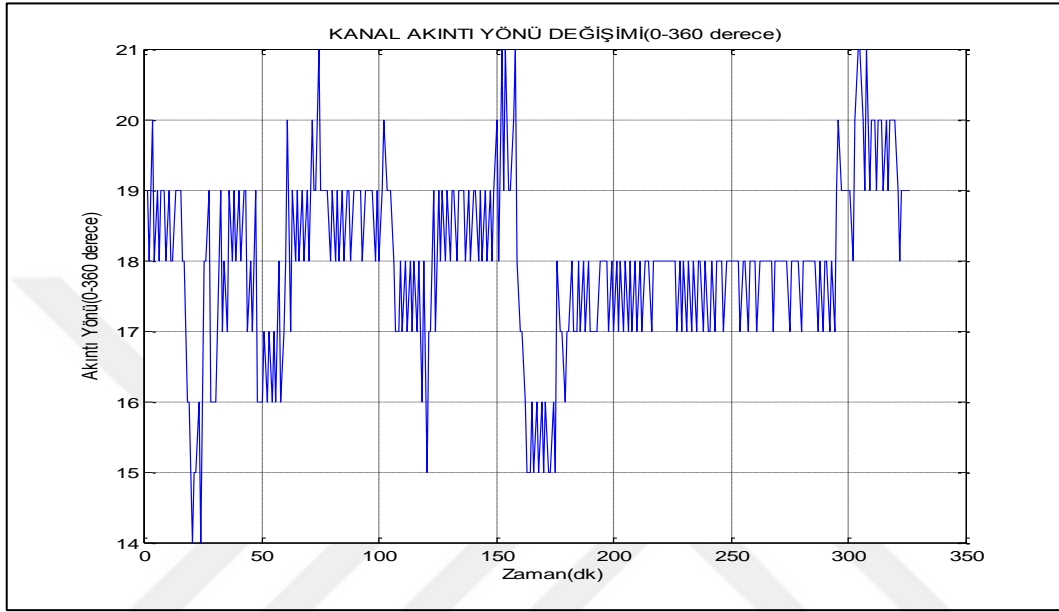
Şekil 4.17 Sulama kanalı türbin uygulama denemeleri

Kanaldaki akıntı hızı ve su miktarı sulama miktarına göre değişmektedir. Kanaldaki Şekil 4.18 de yapılan ölçümlerde akıntı hızı ortalama $1,15 \text{ m/sn}$ civarındadır. Kanal derinliği ortalama $2,5 \text{ m}$ olduğundan, kanal içerisine $1,5 \text{ m}$ çapında türbin kurulabilir. Ayrıca kanal genişliği 3 m olduğundan iki tane türbin yan yana konulabilir. Bu şekilde iki türbin yerleştirilirse 1054 W enerji üretilebilir.



Şekil 4.18 Kanal akıntı hızı değişimi (Gönen Barajı sulama kanalı)

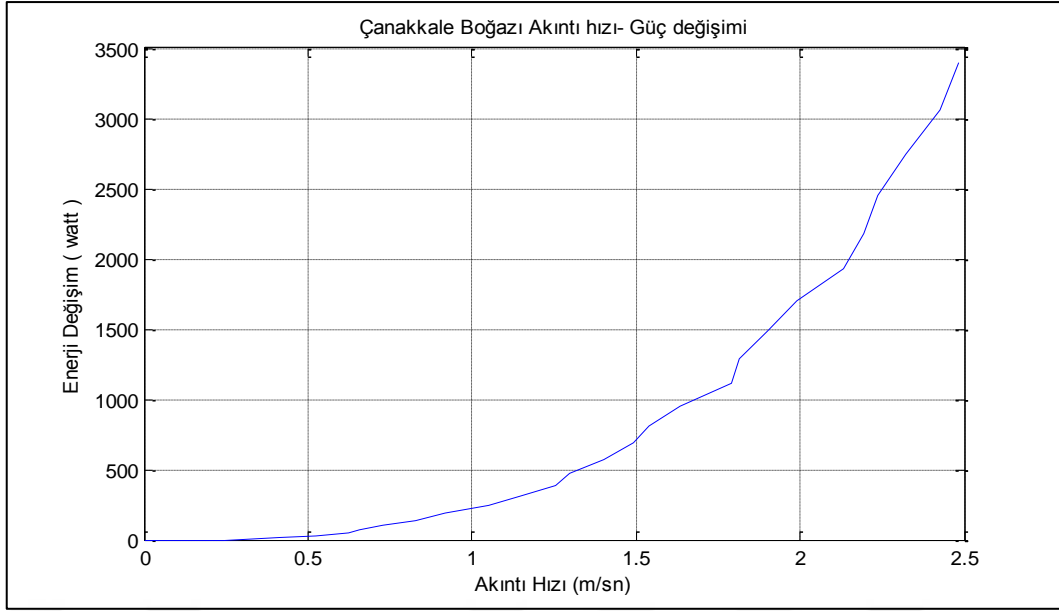
Sulama kanalı akıntıları düzenli akıntılardır. Akıntı hızı sulama miktarından değişebilir. Ancak akıntı yönü düzenlidir. Şekil 4.19 da kanalda yapılan akıntı yönü değişimi ölçümlerinde 2° bir değişimin olduğu bulunmuştur. Türbin yaw motorunun 5° 'nin üzerindeki değerlerde çalışmaktadır. Burada yaw motoru değişim 5° 'nin altında olduğundan çalışmamıştır.



Şekil 4.19 Kanal akıntı yönü - zaman değişimi

4.3.1 Boğaz Akıntı Hızı-Türbin Güç Değişimi

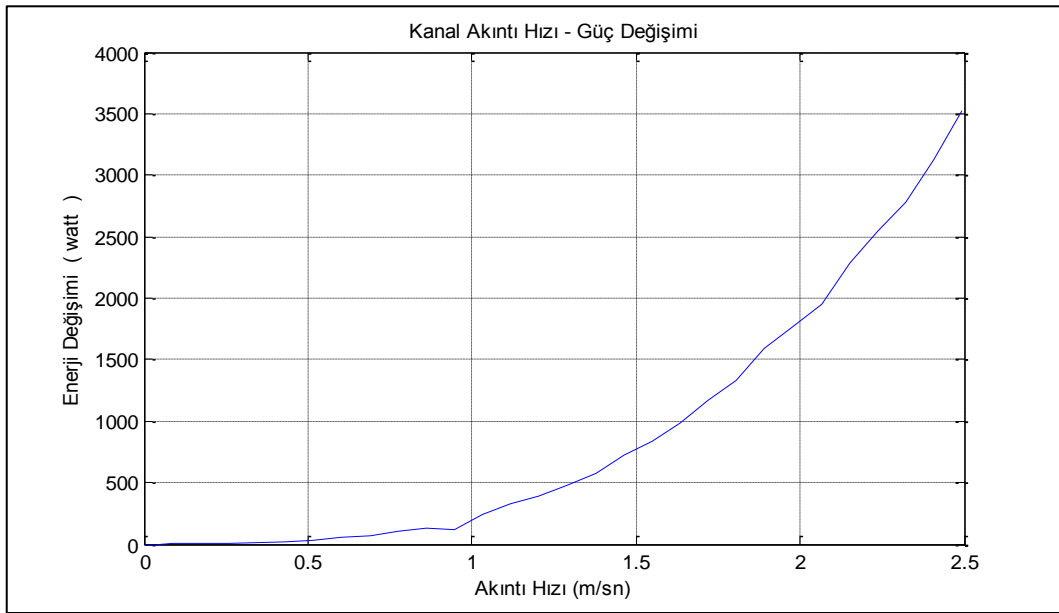
Boğaz akıntısında akıntının fazla olduğu bölgelerde farklı akıntı hızlarında türbin denemesi yapılmıştır. Şekil 4.20 de gösterildiği gibi türbin $0,4 m/sn$ akıntı hızında enerji üretmeye başlamıştır. Akıntının en fazla $2,48 m/sn$ ve en az $0,4m/sn$ olduğu akıntı hızları arasında enerji üretim değerleri bulunmuştur. Enerji üretim verimliliğine bakıldığında % 40,5 verimle çalıştığı bulunmuştur.



Şekil 4.20 Çanakkale Boğazı uygulama yapılan türbinin Akıntı hızı- güç değişimi

4.3.2 Kanal Akıntı Hızı Güç Değişimi

Kanal, boğaz akıntısına göre düzenli akıntıya sahip olan bir yerdir. Şekil 4.21 de sulama kanalındaki akıntı hızına bağlı enerji üretim değerleri verilmiştir. Türbin kanal akıntısında 0,2 m/sn akıntıda üretime geçmiştir. Türbinin kanal akıntısındaki verimi ortalama % 43'tür.



Şekil 4.21 Gönen sulama kanalı uygulamasındaki Kanal akıntı hızı- güç değişimi

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çanakkale boğazındaki akıntı zamanla değişen bir akıntıdır. Akıntı yüzeyde Ege Denizine doğru iken alttan bu akıntının yönü Marmara Denizine doğrudur. Yüzey akıntıları dış etmenlerden etkilenmektedir. Rüzgârın akıntı yönüne doğru ters esmesi yüzey akıntılarını ters yöne doğru iter bu durum akıntının tamamen durmasına bile sebep olur, rüzgâr akıntı yönünde esmesi ise arttırıcı etki yapar. Ancak bu durum yüzey akıntısı için belirli bir kalınlıkta etkilidir. Bahar aylarında Karadeniz'e gelen nehir suları arttıkça denizdeki su seviyesi yükselir. Çanakkale ve İstanbul Boğazlarında akıntıların artmasına neden olmaktadır.

5kW Gücünde türbin ile yapılan elektrik üretim çalışmalarında boğazın farklı noktalarında çok kez deneme yapılmış bunun sonucunda 0 – 2,5 m/sn arasındaki akıntı hızlarında türbinin ürettiği elektrik miktarı bulunmuştur. Deniz akıntı türbinlerinde sızdırmazlık keçeleri özellikle deniz suyunda korazyona uğramakta ve kısa sürede bozulmaktadır. Su basıncı sızdırmazlık keçelerine baskı uygulamakta ve ana milin rahat dönmesini engellemektedir. Bunu engellemek için türbin içerisine basınçlı hava basılmıştır. Böylece türbin içerisindeki basınç ile su basıncı eşitlenmiş ve içeri suyun girmesi önlenmiştir.

Kanal akıntı hızlarının boğaz akıntılarına göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ancak teorik hesaplamalarda bu şekilde değildir. Çünkü kanal akıntıları tatlı sulardan meydana gelir ve yoğunluğu yaklaşık 1000 kg/m³'tür. Deniz akıntılarında yoğunluk tuzlu olduğundan dolayı 1025 kg/m³ civarındadır. Güç formülü (1.4)'e göre karşılaştırma yapıldığında deniz akıntıları daha fazla güç taşır. Çanakkale Boğazındaki akıntının yönü değişkendir. Yatay eksenli türbinlerde akıntı yönünün sık aralıklarla değişmesi verim kaybına neden olmaktadır. Ayrıca gemi geçişleri çok yoğun olduğundan dolayı akıntı yönünü değiştirdiği bulunmuştur.

Türbin devir değişimi temiz enerji çıkışı için önemli olduğundan sabit dönmesi istenmektedir. Rüzgar türbinlerinde olduğu gibi akıntı hızı da devamlı olarak küçükte olsa değişimler gösterdiğinden enerji çıkışı regüle devrelerle düzenlenmelidir. Bunun için bu çalışmada regüle devre olarak senkronizer devre elamanı olarak kullanıldı. Bu şekilde temiz enerji sağlandı (50Hz, 380V). Deneme yapılan birinci yerdeki akıntı hızı düzenli olduğundan enerji üretimi de daha kararlı olmuştur.

Uygulama yapılan türbinde %43 verime ulaşılmıştır. Bahaj (2007) laboratuvarında yaptığı akıntı tünellerinde yaptıkları uygulama çalışmalarında %46 verime ulaşmışlardır. Boğazdaki verimin bu oranda kalmasının sebebi akıntı yönünün sürekli değişim gösterdiğinden dolayıdır. Çünkü kanal akıntısında akıntı daha karalı olduğundan, verim %43 olmaktadır. An Atlantis Company şirketinin Kuzey İrlanda Strangford Narrows bölgesinde kurmuş olduğu 20m kanat çapına sahip akıntı türbinleri, 2,4 m/sn akıntıda %44 verimle çalışmaktadırlar. Bu türbinlerin benzerleri Çanakkale Boğazında kurulabilir.

Çanakkale boğazındaki akıntı miktarı ve akıntı kalınlığına bakıldığında yapılan denemelerde görüldüğü gibi türbin kurulabilir. Ancak boğazdaki gemi geçiş trafiği olumsuz etkileri vardır. Kurulacak olan türbinler gemi geçişini etkilememesi için kıyı bölgelerine kurulmalıdır. Ayrıca boğazdaki çift yönlü akıntı bulunduğundan dip akıntısına da türbin kurulursa gemi geçişlerini engellemeyecektir. Yerleşim yerlerinin akıntı sahalarına yakın olduğundan dolayı ulusal şebekeye bağlanmadan kullanıma sunulabilir. Bu şekilde enerji iletim hatlarındaki iletim kayıplarından da kaçınılmış olur.

Çanakkale boğazı çift yönlü akıntıya sahiptir. Üs akıntının yoğun olduğu bölgeler ve türbin kurulabilecek yerler üzerine çalışma yapıldı. Ancak dip akıntının verimliliği ve türbin kurulabilecek bölgeler hakkında çalışma bulunmamaktadır. Dip akıntı gemi geçişlerini etkilemediğinden dolayı geniş bir akıntı sahası vardır. Bu konuda bir çalışma yapılabilir

Ülkemizde türbin kurulabilecek ölçülerde akımın bulunduğu sulama kanalları bulunmaktadır. Bu kanallar kilometrelerce uzunluğa sahiptir. Kanallara türbin yerleştirilerek verimli enerji elde edilebilir. Yapılan uygulamada Gönen sulama kanalında türbin denemesi yapılmış ve %43 verime ulaşılmıştır. Kanalın tamamında akıntı ölçümleri yapılarak ve belli aralıklarla türbin yerleştirilebilir. Böylece kanalın tamamından enerji üretilir.

Enerji dar boğazında olan dünya fosil yakıtları tüketmek üzeridir. Tüketirken kendi sonunu hazırlamaktadır. Bizler gelecek kuşaklara temiz bir dünya bırakmak için fosil yakıtlı enerji üretiminden vazgeçmek zorundayız. Küresel ısınma konusunda geri dönülmez yola girilmiştir. Çözüm fosil yakıtlı enerji üretim alışkanlıklarımızdan vazgeçerek olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Andrids Hydro GmbH group.,1997 <http://www.andritzhydrohammerfest.co.uk>
(16/03/2017)
- Bahaj, A. S., Molland, A. F., Chaplin, J. R. & Batten, W. M. J., 2007. Power and Thrust Measurements of Marine Current Turbines Under Various Hydrodynamic Flow Conditions in a Cavitation Tunnel and a Towing Tank, *Renewable Energy* 32, pp. 407-426.
- Bal S., Atlar M., Usar D.,2015. Performance prediction of horizontal axis marine current turbines *Ocean Systems Engineering, Vol. 5, No. 2 (2015) 125-138* DOI:
<http://dx.doi.org/10.12989/ose.2015.5.2.125>
- British Hydropower Association (BHA)., 1990 <http://www.british-hydro.org> (12/04/2017)
- Cui B., Zhiwei S., Yuliang Z., Yingzi J., Yonggang L, 2010. İncfluence of additional device on performance of the marine current türbine, *Open Journal of Fluid Dynamics*,2012, 2, 305-310
- Çengel Y.A., Cimbala J.M., 2010. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Palme Yayınevi
- Davidson A., Hill C., 1999. Tidal Energy pty ltd, <http://tidalenergy.com.au> (Avusturalya)
(19/05/2017)
- Demircan E., Aksel M.H. , Yavuz M.M., 2014 ‘‘ Dikey Eksenli Darrieus Tipi Su Türbinlerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi’’ 8.Pompa Vana Konferansı
- Dursun B., Gökçöl C., Ertürk E., 2006. Gyte üç katlı savonius rüzgar türbini mekanik tasarımı, http://www.emo.org.tr/ekler/adee8815dd93954_ek.pdf (19/06/2017)
- Koç E., Şenel M.C. 2016 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Optimum Türbin Parametrelerinin Belirlenmesi-Teorik Yaklaşım, *Mühendis Makine cilt:57sayı: 676*
- Lunar energy Harnessing Tidal Power., 2007 <http://www.lunarenergy.co.uk> (03/02/2017).
- Maitre T., Amet E., Pellone C., 2013 ‘‘Modeling of the Flow in Darrius Water Türbine: Wall grid refinement analysis and comparison with experiments, renewable energy ,

51,497-512

Marine Current Turbines Limited. An Atlantis Company., <http://www.marineturbines.com>
(07/01/2017)

Saydam C., 2013. Kanal İstanbul Projesi: Bilimsel bir Karşı Görüş
<http://web.yesildusunce.org/wp-content/uploads/2013/10/cemal-saydam-kanal-istanbul-projesi-bilimsel-bir-karsi-gorus.pdf> (03/07/2017)

Stackoverflow. <https://stackoverflow.com/>(18/07/2017)

Şenel M.C., Koç E., 2014 Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dinamik davranışı teorik bir model Dicle Üniv. Mühendislik fak. Dergisi cilt:5 sayı:1 69-80

Triton, Tidal Stream Limited.,2016 http://www.tidalstream.co.uk_(12/12/2016)

Umur H., 2009 Akışkanlar Mekaniği Dora yayınları ISBN: 978-605-4118-26-7.

Usta K., 2005 Düşük maliyetli, küçük güçlü yatay eksenli rüzgar türbin tasarımı YL Tezi
İTÜ/FBE

Verdantpoer., 2017 <http://www.verdantpower.com> (19/05/2017)

Yılmaz A., 2017 Enerji Atlası, <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/>
(03.05.2017/23:47)

Yüksel Y.,2005 Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik (2. Baskı) Arıkan Basım yayım dağıtım
995p.

Yükselen M.A.,2017 Aerodinamik Ders Notları. <http://web.itu.edu.tr/yukselen/Uck351/05-%20Kanat%20profillerinin%20aerodinami%F0i.pdf> (18/07/2017)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Muzaffer YÜCEL

Doğum Yeri: Çanakkale /Çan

Doğum Tarihi: 1980

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Selçuk Üniversitesi (Konya), Fen-Edebiyat Fak. Fizik Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Fizik ABD

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

2002-2012 KAYA İNŞ.

2012-.... Çan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü Öğretim Görevliliği

İLETİŞİM

E-posta Adresi: muzaffer@comu.edu.tr