



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKINTIDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE DENİZ  
TÜRBİNLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE OFFSHORE  
AKUAKÜLTÜR SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ  
DOKTORA TEZİ**

**EVİRİM BARIŞ ERKAN**

**Tez Danışmanı**

**PROF. DR. MURAT YİĞİT**

**ÇANAKKALE – 2022**







T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKINTIDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE DENİZ TÜRBİNLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI VE OFFSHORE AKUAKÜLTÜR SİSTEMLERİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİ**

DOKTORA TEZİ

EVİRİM BARIŞ ERKAN

Tez Danışmanı  
PROF. DR. MURAT YİĞİT

ÇANAKKALE – 2022



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Evrım Barış ERKAN tarafından Prof. Dr. Murat YİĞİT yönetiminde hazırlanan ve **22/07/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Akıntıdan Elektrik Enerjisi Üretiminde Deniz Türbinlerinin Araştırılması ve Offshore Akuakültür Sistemlerinde Kullanılabilirliği**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

Prof. Dr. Murat YİĞİT

(Danışman)

Prof. Dr. Sebahattin ERGÜN

Prof. Dr. Yeşim BÜYÜKATEŞ

Prof. Dr. Serdar KUM

Prof. Dr. Ali TÜRKER

Tez No : .....

Tez Savunma Tarihi : 22/07/2022

.....  
Doç. Dr. YENER PAZARCIK

Enstitü Müdürü

22/07/2022

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Evrin Barış ERKAN

22/07/2022

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Murat YİğİT, alıŐma sÜresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen Babam Abdullah ERKAN, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli Annem NurgÜl ERKAN ve sevgili EŐim BuŐra ERKAN'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Evrim Barış ERKAN  
anakkale, Temmuz 2022



## ÖZET

# AKINTIDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE DENİZ TÜRBİNLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE OFFSHORE AKUAKÜLTÜR SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Evrım Barış ERKAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Murat YİĞİT

22/07/2022, 109

Akıntı enerjisi, yenilenebilir enerji kaynağı olarak önümüzdeki yıllarda daha yaygın kullanıldığını göreceğimiz, şimdilik daha çok Ar-Ge ve pilot tesis üretimi ile sınırlı bir enerji kaynağıdır. Dünyada bu alanda çalışmalar özellikle gel-git kaynaklarının değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşırken ülkemizde Çanakkale ve İstanbul Boğaz'larındaki akıntıdan enerji elde edilmesi daha çok öne çıkmaktadır. Tez kapsamında, akıntı türbinlerinin çeşitleri hakkında bilgi verilecek olup, deniz sahasında yapılan araştırma verileri kullanarak deniz akıntısından türbinler vasıtasıyla üretilen elektriğin Offshore Akuakültür tesislerinde enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Temiz enerji üretimi ile otomasyon sistemleri kullanılan sürdürülebilir yetiştiricilik kavramı üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Akıntı enerjisi, Deniz türbinleri, Barç sistemleri, Offshore akuakültür yetiştiriciliği, Yenilenebilir enerji, Yatay eksenli türbin

## ABSTRACT

### INVESTIGATING MARINE TURBINES FOR ELECTRIC ENERGY PRODUCTION FROM CURRENTS FOR POSSIBLE USE IN OFFSHORE AQUACULTURE SYSTEMS

Evrım Barış ERKAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Aquaculture

Advisor: Prof. Dr. Murat YİĞİT

22/07/2022, 109

The utilization of Marine Energy is expected to increase its popularity in near future. However, the status of current technology is not effective so far compared to conservative resources of renewable energy such as hydro, wind or solar energy. Some pilot facilities are producing electricity from tidal resources but most of the applications are still at research level. Considering marine environmental conditions in Turkey, there are two possible marine energy resources, namely the Straits of Istanbul and Canakkale. The energy potential is highly promising depending on suitable technology applications. This study focused on marine turbines in terms of combining them with offshore aquaculture systems. In offshore aquaculture, the required electricity is provided from either fossil fuels or renewable energy such as wind and solar. This thesis evaluated the possible use of marine energy applications to supply electricity for barge systems providing logistic support to offshore aquaculture farms. According to the findings of this study, the integration of renewable energy resources on offshore barge systems for reducing energy costs, that may support sustainable aquaculture in long-term is encouraged. Results of this study reveal that marine turbines might be the solution for the development of the aquaculture industry with reduced energy expenses, and the sustainability of ocean resources in the future.

**Keywords:** Marine energy, Marine turbines, Barge systems, Offshore aquaculture, Renewable energy, Horizontal axis turbine

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### GİRİŞ

1.1. Yenilenebilir Enerji Ve Sürdürülebilir Yetiştiricilik .....	1
1.2. Akıntı Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	6
1.3. Dünyada Akıntı Enerjisi Uygulamaları.....	9
1.4. Ülkemizde Akıntı Enerjisi Potansiyeli.....	12

### İKİNCİ BÖLÜM

15

#### KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Deniz Akıntı Türbinleri.....	15
2.2. Deniz Akıntı Türbinlerinin Kurulumu.....	18
2.3. Deniz Akıntı Türbinlerinde Maliyetlerin İncelenmesi.....	19

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

22

#### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

3.1. Deniz Sahası Analizleri.....	23
3.1.1. Akıntı Hızı Ve Derinlik Ölçümleri.....	27

3.1.2. ADCP İle Akıntı Ölçümü.....	27
3.1.3. Pitot Tüpleri İle Akıntı Ölçümü.....	29
3.1.4. Geleneksel Şamandıra Metodu İle Akıntı Ölçümü.....	31
3.2. Türbin Taşıyıcı Test Platformu.....	32

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

34

4.1. Deniz Suyu Sıcaklık, Tuzluluk Ve Yoğunluk Ölçümleri (CDT Ölçümleri) .....	34
4.2. Prototip Deniz Akıntı Türbin Tasarımı .....	35
4.2.1. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Darriues Tipi.....	35
4.2.2. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Pencere Kanatlı Türbin Tipi.....	37
4.2.3. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Oynar Kanatlı Türbin Tipi.....	38
4.2.4. Yatay Eksenli Prototip Türbin.....	40
4.2.5. Yatay Eksenli Prototip Türbin Kanadı İmalatı.....	41
4.2.6. Türbin Kanat Açısı Kontrol Sistemi, Dişli Kutusu, Volan Sistemi ve Alternatör.....	45
4.3. Türbin Taşıyıcı Barç Sistemi Ve Türbin Taşıyıcı Servis Platformu.....	50
4.4. Mooring Ve Platform Kurulumu .....	52
4.5. Türbin Kumanda Panosu Ve Sualtı Kablosunun Döşenmesi.....	57
4.6. Açık Deniz Kafes Sistemleri Ve Yapısal Özellikleri.....	60
4.7. Açık Deniz Kafes Balıkçılığında Yemleme Sistemleri Ve Otomasyona Geçiş....	64
4.8. Açık Deniz Kafes Tesislerinde Kullanılan Barç Sistemleri ve Teknik Özellikleri.....	67
4.8.1. Barç Sistemleri.....	67
4.8.2. Orta Ve Büyük Ölçekli Tesisler İçin Yemleme Sistemleri Ve Diğer Alt Sistemler.....	68
4.8.3. Barç Platform Sistemine Entegre Ölçüm Ve Su Kalitesi Takip Ve Kayıt Sistemleri.....	70
4.8.4. Barç Sistemlerinde Enerji Kullanımı.....	73
4.9. Dikey Eksenli Türbinler Ve Yatay Eksenli Türbinlerin Verimliliklerinin Karşılaştırılması.....	75
4.9.1. Darrius Tipi Türbin Testleri Ve Bulguları.....	76
4.9.2. Yatay Eksenli 30kW Gücündeki Türbin Testleri Ve Bulguları.....	86
4.9.3. Yatay Eksenli 2,5m Çapındaki Prototip Türbin Bulguları İle Karşılaştırma.....	96



BEŞİNCİ BÖLÜM  
SONUÇ ve ÖNERİLER

99

5.1. Barçın Enerji İhtiyacını Karşılatabilecek Kapasitedeki Bir Türbinin Boyutlandırılması .....	99
KAYNAKÇA .....	103
EKLER .....	I
ÖZGEÇMİŞ .....	IV



## SİMGELER VE KISALTMALAR

ADCP	Akustik Doppler Hız Ölçümü Cihazı
AC	Alternatif Akım
BTU	British Thermal Unit
DAE	Deniz Akıntı Enerjisi
CDT	Sıcaklık, yoğunluk ve tuzluluk
$C_p$	Güç faktörü
TUBİTAK	“Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu”
AB	Avrupa Birliği
Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzeme
Kg	Kilogram
G	Gram
%	Yüzde oranı
TSR	Tip Speed Ratio
kW	Kilowatt
TWh	Terawatt Saat
MW	Megawatt
TBS	Türkiye Boğazlar Sistemi
GMKA	Güney Marmara Kalkınma Ajansı
m	Metre
cm	Santimetre
W	Watt

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	Barç üzerinde elektrik enerjisi tüketen ekipmanlar	5
<b>Tablo 2</b>	Çalışma sahasının koordinatları	26
<b>Tablo 3</b>	Çalışma bölgesinden CDT ölçüm verileri	34
<b>Tablo 4</b>	Çeşitli akıntı hızlarında pervane üzerinde oluşacak yükler	42
<b>Tablo 5</b>	Barç üzerinde elektrik enerjisi tüketen sistemler ve günlük tüketim miktarları	73
<b>Tablo 6</b>	7/06/2013 tarihinde pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b.	78
<b>Tablo 7</b>	Derinliğe göre akıntı hızları üst akıntı	80
<b>Tablo 8</b>	8/06/2013 tarihinde pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b.	82
<b>Tablo 9</b>	Derinliğe göre akıntı hızları üst akıntı	84
<b>Tablo 10</b>	2/05/2013 tarihinde pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b.	86
<b>Tablo 11</b>	İngiltere’de kurulan yatay eksenli bir akıntı türbininin farklı çaplar için üreteceği elektrik enerjisi değerleri (Cp değeri 0,4 olarak seçildiğinde)	97
<b>Tablo 12</b>	İngiltere’de kurulan yatay eksenli bir akıntı türbininin farklı çaplar için üreteceği elektrik enerjisi değerleri (Cp değeri 0,3 olarak seçildiğinde)	97

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Yenilenebilir enerji uygulamalarının Dünya'daki elektrik enerjisi üretimindeki payı	2
Şekil 2	Dünya genelinde yüksek potansiyelli akıntı enerjisi sahaları haritası	9
Şekil 3	Verdant Power firmasının 2012 yılında New York East River'daki Türbin testleri	10
Şekil 4	Tocado BV firmasının Eastern Scheldt Hollanda'da kurulu 5 adet türbin sistemi	11
Şekil 5	Schottel firmasının Kanada'daki uygulaması, 2018	11
Şekil 6	Simec Atlantis firmasının 2MW gücündeki hali hazırda dünyanın en büyük akıntı türbini İskoçya, 2019	12
Şekil 7	Geliştirilen 30 kW gücündeki akıntı türbinleri	14
Şekil 8	Venturi tipi nozullu türbin ve taşıyıcı sistemi	16
Şekil 9	Gorlov-Helikol tipi türbin	17
Şekil 10	Türbin ana bileşenleri	17
Şekil 11	Türbin kurulum metotları	18
Şekil 12	Yüzer ve deniz tabanına oturan sistemler ve geliştirici firmalar	19
Şekil 13	Deniz akıntı türbinlerinin maliyet analizi	21
Şekil 14	Çalışma sahasının yeri	24
Şekil 15	Çalışma sahasının deniz aracı üzerinden kıyıya doğru fotoğrafları	25
Şekil 16	Çalışma sahasındaki türbinin kontrol panosu	26
Şekil 17	ADCP cihazı ile ölçülen akıntı hızı verisi	28
Şekil 18	Farklı derinliklerde akıntı hızı ölçümü için pitot tüplerinin montajı	29

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 19	Pitot tüpleri ile akıntı hızı ölçümü	31
Şekil 20	Çalışma bölgesinden taşıyıcı platform fotoğrafı	33
Şekil 21	Naca0018 kanat formu	35
Şekil 22	Çalışma bölgesinden “Darriues” tipi türbinin test edilmesi	36
Şekil 23	Deneyisel dikey eksenli türbin çalışma prensibi – Pencereleli Kanatlı Türbin Tipi	37
Şekil 24	Deneyisel dikey eksenli türbin çalışma prensibi- Pasif Oynar Kanatlı	38
Şekil 25	Deneyisel türbin çalışma kinematığı, kanat açık ve kapalı durumları	40
Şekil 26	Karbon fiber türbin kanadı boy 1940mm, genişlik 500mm	43
Şekil 27	Karbon fiber türbin kanadı yayılı yük testi	43
Şekil 28	Kompozit malzemelerin takviye türlerinin karşılaştırılması	44
Şekil 29	Karbon fiber olarak üretilen kanatların türbin rotoruna montajı	45
Şekil 30	Türbin kanatları tam açık konumu ve tam kapalı konumu	46
Şekil 31	Türbin dişli kutusu parçaları ve montajlı görünümü	48
Şekil 32	Türbin alt bileşenlerinden volan	49
Şekil 33	Türbinin alternatörü AC 30kW gücünde	49
Şekil 34	Türbinin taşıyıcı barç üzerindeki nakliyesi	50
Şekil 35	Türbinin taşıyıcı barç üzerindeki bakım konumu	51
Şekil 36	Türbin taşıyıcı servis platformunun denize indirilmesi	52
Şekil 37	Mooring ekipmanları, şamandıra, çapa, zincir, kollektör ve halatlar	54

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 38	Platformun çalışma sahasına kurulumu	55
Şekil 39	Çalışma sahasından mooring sistemi ekipmanları	56
Şekil 40	Ana güç kablosu, türbin kumanda kabloları ve pnömatik hortum demetlenmesi	57
Şekil 41	Kablo hattının çekildiği güzergah platform ve kontrol panosu arası mesafe	58
Şekil 42	Sualtı kablo hattının çekilmesi	59
Şekil 43	Kablo hattının çapa yoluyla taranmasından korumak için yastıklama operasyonu	60
Şekil 44	HDPE malzemeden üretilmiş açık deniz kafes görünümü	62
Şekil 45	HDPE malzemeden üretilmiş açık deniz kafesin üstten görünümü	62
Şekil 46	Açık denizde kurulu 5x3 grid düzeninde 15 kafesten oluşan ağ kafes tesis görünümü	63
Şekil 47	Açık denizde kurulu 8x3 grid düzeninde 24 kafesten oluşan ağ kafes tesis görünümü	63
Şekil 48	Üçlü kafesten oluşan bir ağ kafes sisteminde deniz tabanına uygulanan bağlantı (mooring) yapılarının şematik görünümü	64
Şekil 49	Çalışma sahasında üçlü kafes dizisinden oluşan bir ağ kafes sisteminin deniz yüzeyinden görünümü	64
Şekil 50	Küçük ahşap kafeslerde somonların el ile beslenmesi görseli	65
Şekil 51	Yemleme küreği kullanılarak elle yemleme	65
Şekil 52	Rüzgar türbini ile enerjisini üreten yarı otomatik zaman kontrollü besleme sistemi	66
Şekil 53	Merkezi bir platform üzerinden kontrol edilen tamamen otomasyonlu pnömatik besleyici sistem	66
Şekil 54	Barç sistemlerinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada katkı sağlayan rüzgar, güneş, rüzgar&güneş beraber hibrit modeller	69

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 55	Barç yemleme depoları ve pompa ünitesi	70
Şekil 56	Barç izleme sistemi panosu görseli	71
Şekil 57	Balık ayırıcı ve sayıcı sistemler	72
Şekil 58	Farklı kanat yapıları için süpürme alanları hesabı	77
Şekil 59	Darrius tipi dikey eksenli türbin üstten görünüş	77
Şekil 60	2/05/2013 tarihinde yapılan su yüzeyinden itibaren ilk 4,5m'nin akıntı ölçümü sonuçları ve hız değişimleri	89
Şekil 61	2/05/2013 tarihinde yapılan su yüzeyinden itibaren 5,5-6,2m arasındaki akıntı ölçümü sonuçları ve hız değişimleri	90
Şekil 62	ADCP cihazı ile yapılan akıntı ölçümü güzergahı ve akıntı hızı ölçümü sonuçları	90
Şekil 63	Akıntı hızı verisi, 12 saatlik	92
Şekil 64	30 kW'lık türbininden elde edilen 12 saatlik enerji üretim verisi	94
Şekil 65	Strathclyde Üniversitesi'nde geliştirilen 2,5m çapındaki akıntı türbini	95
Şekil 66	Yatay eksenli akıntı türbinleri için farklı TSR'lerde $C_p$ değerleri	96
Şekil 67	55 kW akıntı türbini, Çap 6,4m	102

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1. Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Yetiştiricilik

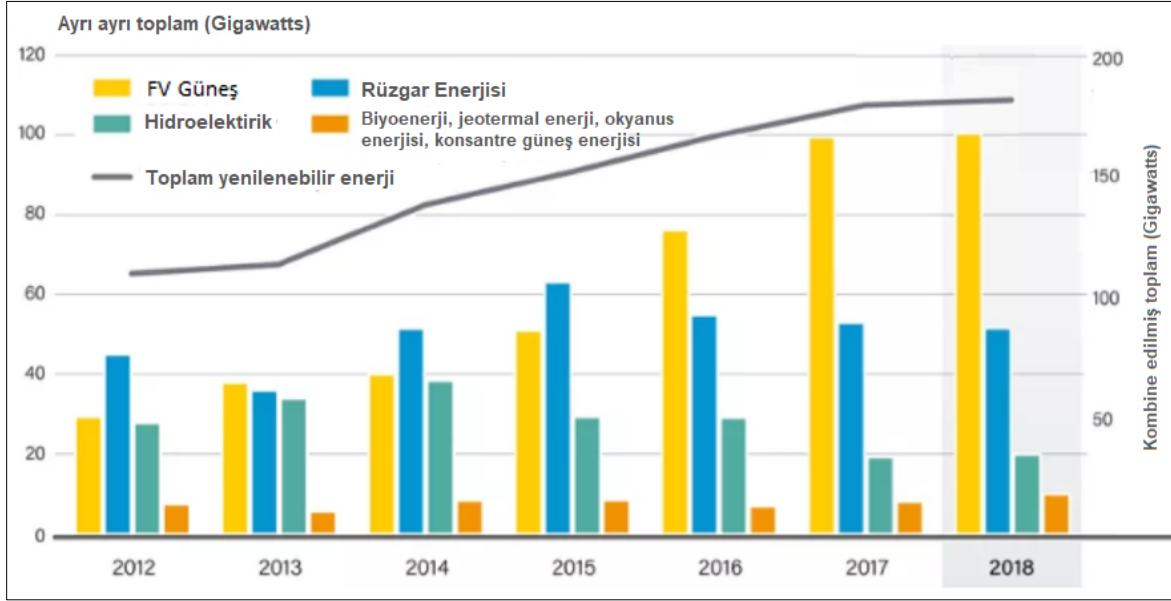
Günümüzde “Sürdürülebilirlik” kavramı birçok alanda kullanılmakta olup, dünya üzerindeki yaşantımızın devamlılığı için yapılması gereken önlemler dizisinde yerini alan başlıca kavramlar arasındadır. Sanayi ve endüstriyel faaliyetlerin artması ve hızlı şehirleşmeyle gelen yenilikler, hayatımıza bazı yaşam kolaylığı sunsa da, bu değişimler aynı zamanda yaşam kaynağımız olan doğaya da bazı tahribatlar oluşturmuştur. Sınırsız zenginliklerle dolu olduğu düşünülen dünyamızın, hakikatte sınırlı kaynaklara sahip olduğu ve yeryüzünde yaşamın devamlılığı ve insanlığın varlığının sürdürülebilmesi için endüstriyel faaliyetlerle doğaya verilen tahribat üzerinde hassasiyetle düşünülmesi gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

Endüstrinin ve bireylerin enerji ihtiyacını karşılamada fosil yakıtların (petrol, kömür ve doğalgaz) kullanımına bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliği endişeleri zaman içinde çevre ile dost ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesine yol açmıştır. Atmosfere sera gazı yaymayan yenilenebilir enerji uygulamalarının Dünyanın toplam elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamadaki payı Şekil 1’de sunulmuştur.

Şekil 1’deki grafiğe göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi payının 2012-2018 yılları arasında düzenli bir artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu artışı en büyük katkının fotovoltaik güneş enerjisinden geldiği görülmektedir. Güneş panelleri üzerinde yapılan araştırmalar süresince hem panel verimlilikleri artmış hem de panel fiyatlarında önemli bir azalma kaydedilmiştir. Maliyetlerdeki bu düşüş tabiiyatıyla işletmeler için yatırım maliyetini de azaltırken yeni teknolojilerin gelişmesine de olanak sağlamıştır. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan fotovoltaik panel maliyetlerinin düşmesiyle son yıllarda güneş panelleri kullanımında önemli artışlar olsa da, diğer alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili çalışmaların gözetilmediği ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gelecek nesiller için ve dünyada temiz enerji kaynaklarının



yaygınlaşabilmesi için önemlidir. Günümüzde maliyetli gibi görünen bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının teknolojik gelişmelerle daha az maliyetlerle ulaşılabileceği gözönünde bulundurulmalıdır. Dünyada ve ülkemizde “Akıntı Enerji” sistemleriyle ilgili olarak halihazırda pilot uygulama aşamasında olan çalışmaların, yakın gelecekte sürdürülebilir ve temiz enerji üretiminde önemli katkıları olabileceği öngörülmektedir.



Şekil 1. Yenilenebilir enerji uygulamalarının Dünya’daki elektrik enerjisi üretimindeki payı (Roberts, 2019’a göre düzenlenmiştir).

Çevreye verdiği zararın en az düzeyde olması bakımından yenilenebilir enerji uygulamalarının sürdürülebilir olması dünyamızın geleceği için çok büyük önem arz etmekle birlikte günümüz teknolojileri dikate alındığında, bu enerji kaynaklarının “enerji arz güvenliği” açısından bazı endişeleri de taşımakta olduğu bilinmektedir. Güneş ve rüzgar enerjileriyle ilgili çalışmalar, enerji arzı bakımından nispeten daha kontrol edilebilir ve öngörülebilir olmasına rağmen, hidroelektrik, jeotermal, biyoenerji ve akıntı enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenmesi hızla artan dünya nüfusunun gelecekte ihtiyaç duyulacak enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynayacağı da aşikardır.

Yaklaşık olarak 8 milyar insanın yaşadığı dünyamızda, 2022’de yıllık net popülasyon artışının yaklaşık 37.000.000 olduğu, gıda, su ve enerji ihtiyacının da nüfus artışına bağlı

olarak hızla yükselişte olduğu görülmektedir (Worldometer, 2022a). Yapılan tahminlere göre, artan dünya nüfusunun 2022 yılı itibarıyla günlük enerji tüketiminin yaklaşık 360.000.000 MWh olduğu, bunun 305.000.000 MWh'inin yenilenemeyen kaynaklardan, 55.000.000 MWh'in ise yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği kaydedilmiştir (Worldometer, 2022b).

Dünyada enerji tüketiminde 17. sırada olan ülkemizde 2022 yılı itibarıyla toplam enerji tüketiminin 6.432.497.777.000 BTU ile dünya geneline oranının %1.11'ine karşılık geldiği ve kişi başına düşen yıllık enerji tüketiminin ise 79.300 BTU olduğu bildirilmiştir (Worldometer, 2022b).

Dünyada ve ülkemizde artan bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için, fosil ve nükleer enerji kaynaklarıyla desteklenmeden tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması henüz mümkün görünmediği gibi, kısa vadede bunun gerçekleşmeyeceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, gelecek yıllarda fosil yakıtlardan tamamen vazgeçmek yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının da devreye sokularak, “enerji arz güvenliği” bakımından farklı stratejilerin uygulanacağı öngörülebilir. Bu bilgiler ışığında, yakın gelecekte “enerji arz güvenliği” sağlamak için yeni üretim stratejileri belirlenirken, bu tez kapsamında incelenen akıntı enerjisinin önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Hızla artan dünya nüfusu için gereken gıda ve su ihtiyacında da önemli bir artış görülmektedir. Yaklaşık 8 milyarı bulan dünya nüfusunun tahminlere göre 2030'da 8,5 milyara ulaşabileceği, 2040 yılında 9,2 milyar, 2050 yılında ise 10 milyara yaklaşabileceği tahmin edilmektedir (UN-WPP, 2019). Günümüzde yeteri kadar gıdaya ulaşamayan insan sayısının 2022 yılı itibarıyla 860.000.000'un üzerinde olduğu belirtilmektedir (FAO, 2021). Bu ciddi boyutaki gıda açığının ve artan ihtiyacın karşılanabilmesinde Su Ürünleri Endüstrisinin önemli rol oynayacağı bildirilmektedir.

Günümüzde Su Ürünleri Endüstrisi dünyadaki balık tüketiminin yarısını karşılamaktadır (FAO 2017). 2025 yılında su ürünleri endüstrisi tarafından üretilecek ürün miktarının 102 milyon tona ulaşması beklenmektedir. Balık yetiştiriciliği, özellikle

gelişmekte olan ülkelerde ihracatın önemli bir ayağını oluşturmakta ve dünya çapında yapılan ihracatın yarısına denk gelmektedir. Bu artış oranlarıyla su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, tüm gıda sektörleri arasında en hızlı büyüyen sektör olması nedeniyle, 2050 yılı için tahmin edilen 10 milyarın üzerindeki dünya nüfusunun gıda temini için su ürünleri endüstrisinin büyük bir potansiyele katkı sağlayacağı bildirilmektedir (Ergün vd., 2020). Bu nedenle, dünyada ve ülkemizde su ürünleri sektörünün sürdürülebilir olabilmesi ve gelecekte gıda ihtiyacının temininde lokomotif rol oynayabilmesi için üretim maliyetlerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin son yıllarda hızlı bir büyüme gösterdiği görülmektedir. Bu büyüme ile ülkemiz Akuakültür endüstrisinde Avrupa'da ilk sıralarda yer almaktadır. Dünya'da ise yine sayılı üreticilerden biri haline gelmiştir. Üretilen ürünlerin büyük çoğunluğu dış pazara arz edilmekte olup ihracatımıza olan katkısı her geçen yıl artmaktadır. Akuakültür sektöründeki bu büyüme hızında şüphesiz, 2005-2006 yıllarında yürürlüğe giren yeni çevre yasasının da önemli katkıları olduğu bilinmektedir. Yeni çevre yasasının getirdiği kıyıda uzaklaşma, asgari derinlik ve akıntı hızı gibi düzenlemeler sektörün önündeki büyük engellerden olan kıyı-kullanım haklarıyla alakalı çatışmaları azaltmış, firmalara verilen üretim izinleri noktasında ön açıcı olmuştur. Benzer şekilde derinlik ve akıntı hızı düzenlemeleri ile beraber, balıkların daha ferah ve geniş alanlarda yetiştirilmesi ile üretim verimlilikleri ciddi oranlarda artmıştır. Ağ kafes sistemlerinin kıyıda en az 0,6 deniz mili açıkta olması zorunluluğu, Offshore akuakültürde platform (barç) sistemlerinin hayatımıza girmesini sağlamıştır. Kıyıda uzaklaşma, kafeslere ulaşımın her seferinde kıyıda değil de platformu bir merkez üs gibi kullanıp bir nevi bütün operasyonların orada yapıldığı bir yaşam alanına çevirmiştir. Her ne kadar yemleme sistemlerinde otomasyon kullanımı yoğunlukta olsa da, ağ kafes sistemlerinin gözlemleyecek ve gerekli bakım onarımları yapıp rutin işleri tamamlaması için adına ilgili personel için barçüzerinde yaşam alanı oluşturulmuştur. Bu yaşam ve operasyonel faaliyetler Offshore akuakültür barçlarda enerji ihtiyacının artmasına neden olmuştur. Barç üzerinde yetiştiricilikte kullanılan yemleme otomasyonları (yemleme makinaları), izleme ve kontrol sistemleri ve barç üzerindeki elektrikli aletlerin enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

Menicou ve Vassiliou (2010), yaptıkları araştırmada Offshore Akuakültür barç sistemlerindeki bazı kontrol, takip ve aydınlatma sistemlerinin günlük elektrik enerjisi tüketimini 4783,88W olarak tespit etmişlerdir. Tablo 1’de incelenen sistemler sunulmuştur.

Denizde üretim yapan su ürünleri yetiştiricilerinin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin bir kısmını deniz-akıntı türbinleri ile karşılamak mümkün görülmektedir. Tez kapsamında akıntı enerjisi uygulamaları, akıntı türbin tipleri, türbinlerin bağlandığı platform çeşitleri, akıntı türbinlerin alt bileşenleri (kanat, dişli kutusu, aç kontrol sistemleri vb), akıntı ölçüm metotları, akıntı türbinleri ile elektrik üretimi gibi konular incelenerek değerlendirilmiştir.

Tablo 1

Barç üzerinde elektrik enerji tüketen ekipmanlar (Menicou ve Vassiliou, 2010)

Ekipman	Adet	Güç (Adet başına Watt)	Toplam güç (Watt)	Günlük Kullanım (saat)	Günlük Enerji tüketimi
Sualtı ışıkları	8	115	920	4	3680
Besleme kameraları	8	1,2	9,6	2	19,2
Sürvelans kameraları	4	30	120	8	960
Akıntı sensörü	1	0,9	0,9	2	1,8
Pelet sensörü	8	1,44	11,52	2	23,04
Oksijen sensörü	8	0,24	1,92	2	3,84
Kablosuz ağ kafes sensörü	1	6	6	12	72
Uzak kayıt	1	3	3	8	24
Toplam	39	157,78	1072,94	40	4783,88

## 1.2. Akıntı Enerjinden Elektrik Üretimi

Deniz akıntılarından sağlanan enerjiden elektrik üretimi ile ilgili araştırmalar son zamanlarda artmıştır. Denizlerdeki çalışma koşulları dikkate alındığında, bu alanda çalışmanın zorluğu ve yüksek maliyette olmasına rağmen, karbon salınımı yapmaması ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasından dolayı yakın gelecekte daha fazla üzerinde durulabileceği ve önemini artırabileceği belirtilmektedir (Kerr, 2007). Akıntı enerjisi sistemleri temelde rüzgar enerji sistemleriyle aynı yöntemle çalışmaktadır. İki enerji kaynağı için de türbinler kullanılmaktadır ve bu türbin yapıları akışkanın şiddetine göre gücü hareket enerjisine dönüştürüp bir alternatörlere ileterek enerjinin elektriğe çevirmesini sağlar.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (1.1)$$

Burada;

- P : Güç (Watt)  
ρ : Akışkan yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
C<sub>p</sub> : Verimlilik katsayısı  
A : Türbin süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
v : Akışkan hızı (m/s)

Bu formül, rüzgar türbinlerinde kullanılabildiği gibi akıntı türbinlerinde de enerji hesaplamaları için uygulanabilmektedir.

Türbin kollarından iletilen akışkanın yoğunluğu, çalışma ortamı deniz suyu ise, yoğunluk (ρ) 1025 kg/m<sup>3</sup> olarak alınırken, hava ortamında çalışılacak ise ρ 1,225 kg/m<sup>3</sup> olarak kullanılmaktadır.

Buna göre, deniz suyu havadan yaklaşık 836 kat daha yoğundur ve buna göre eşit süpürme alanına ve eşit akışkan hızlarındaki koşullar altında, deniz akıntısından elde edilebilecek enerjinin rüzgar enerjisine göre 836 kat daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, deniz akıntısı için akışkan yoğunluğundan kaynaklı bu avantajlı farkın, akışkan hızının formüle yerleştirildiğinde rüzgar lehine kapandığı bilinmektedir. Dünya denizlerinde ölçülen en yüksek akıntı hızı 6 m/s'yi geçmemektedir. Buna karşılık, rüzgar hızı çoğu yerde bu hızın 2 katına ulaşmaktadır. Enerji üretiminde akışkan hızının etkinliği hızın küpüyle orantılıdır. Burdan anlaşılacağı üzere, enerji üretiminde en büyük faktör hız olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türbin süpürme alanı (A), türbin dönüş eksenine ile pervanenin en uç noktası arasındaki mesafenin, yani türbin yarıçapının karesi “ $\pi$ ” ile çarpılarak, aşağıdaki formülde görüldüğü şekilde elde edilir:

$$A = \pi \times r^2 \quad (1.2)$$

Burada;

- A : Türbin süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
 $\pi$  : Pi sayısı  
r : Türbin yarıçapı

Bu durumda türbin çapının artırılması, üretilecek gücün karesi ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Yani deniz akıntısından elde edilebilecek enerjiyi artırmada ikinci derecede önemli olan ekti “türbin çapının” büyütülmesinden ibarettir.

Formülün diğer parametresi ise  $C_p$  “verimlilik katsayısı”dır. Türbinin verimlilik katsayısı “Betz limitini” yani 0,59 sabitini aşamaz (Gant ve Stallard, 2008). Verimlilik katsayısı genel olarak uygulamada 0,10 - 0,45 arasında alınır. Bazı kanat tiplerinde ve yüksek hızlarda 0,59 olan Betz limitine (yüksek verimlilik katsayısı) ulaşılabilir, ancak, burada

bölgenin akıntı özelliklerine göre türbin tasarımı önem taşımaktadır. Örneğin, akıntı hız ortalaması 2 m/s olduğu ortamında hız ani yükseliş ve düşüşler yapmıyorsa TSR  $\lambda$  (top speed ratio) verimliliği en yüksek olacağı bu hız bölgesi için belirlenir.

Gant ve Stalard (2013) akıntı enerjisinde türbülans modelleri üzerinde yaptığı araştırmalarda, düzenli akıştaki istikrarsızlıkların türbin kanatlarının verimliliğini etkilediği, yüksek türbülansın  $C_p$  “verimlilik katsayısı”nı aşağı çektiğini, dolayısıyla enerji üretimini de azalttığını kaydetmişlerdir. Deniz akıntısında oluşan türbülans, temelde deniz tabanının yapısal özellikleriyle bağlantılıdır, ancak bölgedeki gemi trafiği ve rüzgarların etkisiyle de deniz yüzeyinde ve orta suda çeşitli şiddetlerde türbülanslar oluşabilir. Bu da düzenli akışların istikrarsızlığına yol açar ve kanatların verimlilik katsayısına bağlı olarak enerji üretim verimliliği de değişkenlik gösterebilir.

Dolayısıyla, deniz akıntularından enerji üretilecek sahada, akıntı hız ölçümünün yanı sıra batimetrik ölçümlerin yapılmış olması da önem taşımaktadır. Türbülansın yoğun olduğu deniz sahalarında hedeflenen enerji miktarlarına ulaşmak zorlaşabilir.

Bununla birlikte, deniz akıntularından elektrik üretiminde verimlilik sadece türbinlerin yapısal özellikleri ve kanat verimliliğine de bağlı olmayıp, kanat sistemini oluşturan, ve uygun malzeme seçimi veya uyumu oluşmadığı takdirde, enerji kaybına yol açabilecek diğer bağlantı elemanlarının da fonksiyonu büyük rol oynamaktadır.

Bu alt yapı elemanları şu şekilde sıralanabilir:

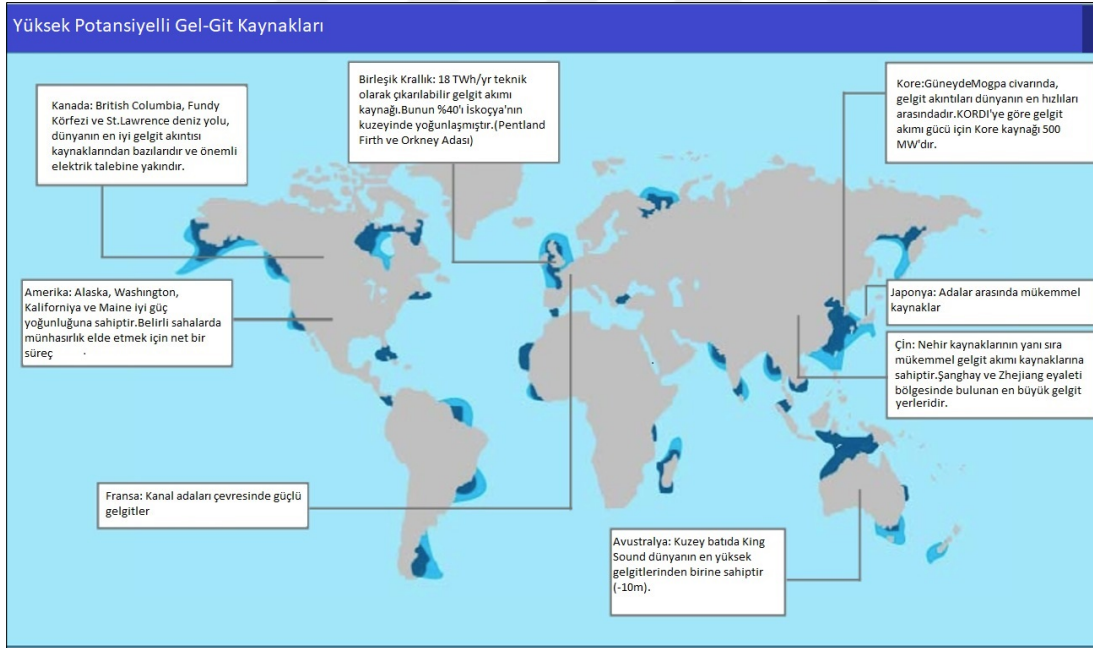
- Dişli kutusu (şanzıman grubu)
- Hareket aktarım elamanları (rulmanlar, kaplinler)
- Alternatör ve volan

Bu çalışmanın ileri kısımlarında (Araştırma Bulguları bölümünde), saha çalışmalarında test edilmiş 30kW gücünde gerçek bir akıntı türbininin verimlilik değerleri incelenmiştir.

### 1.3. Dünyada Akıntı Enerjisi Uygulamaları

Bundan 15 yıl öncesine kadar deniz akıntularından elektrik enerjisi üretimiyle ilgili çeşitli araştırmalar olmakla birlikte, bunların çoğunun büyük ölçüde uygulamaya geçirilmemiş olduğu bildirilmiştir (Grabbe, 2009). Ancak, günümüzde dünya genelinde önemli adımlar atılmış ve bazı ticari firmaların faaliyete geçtiği görülmektedir (Atlantis Energy, BlueH Energy, Tocardo Energy, Verdant Power, Schottel Energy, Minesto vb.). Ülkemizde ise son yıllarda özellikle alternatif enerji kaynakları üzerinde bilimsel araştırmaların arttığı görülmektedir.

Dünyada, gel-git kaynaklı akıntılar dahil olmak üzere, akıntı enerjisinden elektrik üretiminin uygulanabileceği bölgeler Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Dünya genelinde yüksek potansiyelli akıntı enerjisi sahaları haritası (Subramaniam ve Premanand, 2015).

Şekil 2’de verilen bilgiye göre, özellikle Birleşik Krallık İskoçya açıkları, Fransa Kanal Adaları, Kore açıkları, Japon Adaları, Çin Zhejiang ve Şanghay bölgeleri, Avustralya’nın Kuzey Batı sahaları, Kuzey Amerika ve Kanada’da Fundy Körfezi gibi deniz



sahalarında akıntıdan enerji üretiminin verimli olabileceği belirtilmektedir. Şekil 2'deki haritada bilhassa ülkemiz için Türk Boğazlar sisteminin işaretli olması dikkat çekicidir.

Dünyada yapılan çalışmalar ülkemizdeki araştırma faaliyetlerinden çok daha önce başladığı anlaşılmaktadır. Başta İngiltere olmak üzere, Kuzey Avrupa'da, Hollanda, Fransa, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Güney Kore'de deniz akıntılarında enerji üretim çalışmaları önemli bir yol almıştır. Kerr (2007)'e göre, sadece İngiltere'de deniz enerji potansiyelinin yıllık 80TWh olduğunu kaydetmiştir.

Bu ülkelerde özellikle yatay eksenli türbin modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Şekil 3-6'da dünyada uygulanan çeşitli türbin model örnekleri sunulmuştur.



Şekil 3. Verdant Power firmasının 2012 yılında New York East River'daki türbin testleri (McGeehan, 2012).



Şekil 4. Tocado BV firmasının Eastern Scheldt, Hollanda’da kurulu 5 adet türbini sistemi (Whitlock, 2015).



Şekil 5. Schottel firmasının Kanada’daki uygulaması, 2018 (Schottel’in resmi websitesi)





Şekil 6. Simec Atlantis firmasının 2MW gücündeki hali hazırda dünyanın en büyük akıntı türbini İskoçya, 2019 (Oram, 2019).

#### 1.4. Ülkemizde Akıntı Enerjisi Potansiyeli

Üç tarafı denizler ile çevrili olan ülkemiz su kaynakları bakımından oldukça zengin konumdadır ve yenilenebilir enerji kaynakları bakımından da oldukça potansiyel mevcuttur. Fosil enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinimin ne denli yüksek olduğu aşikardır. Denizlerle çevrili olması ve Boğazlar sistemine sahip olması bakımından ülkemiz için yenilenebilir enerji kaynaklarının başında deniz kökenli enerji potansiyelidir.

Türkiye kıyılarında gel-git hareketlerinin zayıf olması nedeniyle gel-gitlerden enerji üretim kapasitesi yok denecek kadar azdır. Ancak Türkiye denizlerinde ve Boğazları'nda önemli miktarlarda akıntıları mevcuttur (Kurucu, 2017). Türk Boğazlar Sistemi (TBS)'nde İstanbul Boğazı ile Çanakkale Boğazı'nın üst akıntı sistemi dikkate alındığında, her iki Boğaz için yıllık olarak toplam güç potansiyelinin 9 TWh olduğu bildirilmiştir (Kurucu, 2017).

Güney Marmara Kalkınma Ajansının 2012 yılında yayınladığı Yenilenebilir Enerji

Araştırması Sonuç Raporunda (Tarhan vd., 2013), deniz ortamında türbin sisteminin verimli çalışabilmesi için, akıntı hızının 4 knot veya daha fazla olması gerektiği belirtilmektedir (Bernitsas vd., 2008). Yine farklı kaynaklarda deniz akıntularından yeterince verim alınabilmesi için akıntının en az 5-6 knot, yani en az 2,57-3,08 m/s hızında olması gerektiği kaydedilmiştir (Tarhan vd., 2013).

Yine aynı raporda, Tarhan vd., (2013), Türk Boğazlar Sistemi'nin özelliği gereği ters yönlü 2 akıntı yönünün, boğazın daralma noktalarında deniz tabanına bağlı olarak, fiziko-kimyasal yönden karakteristik özellikleri farklı 2-yönlü akıntı sistemi zaman zaman karışabildiği gibi, bazı noktalarda akıntı yönünün değiştiği, hatta hız kazandığı belirtilmiştir. Böyle durumlarda Boğazın belirli yerlerinde 4 knot'tan daha fazla olup, zaman zaman 5-6 knot'a kadar çıkabileceği kaydedilmiştir (Tarhan vd., 2013).

Dünyadaki çevreci yönde ilerleyen gelişim süreci ve fosil kaynaklara alternatif doğal enerji kaynaklarına olan eğilim ülkemizi de bu alana yönlendirmiş ve bilhassa ekonomik gelişmeyle birlikte teknolojik gelişimin tetiklenmesi, denizlerden enerji üretim olanaklarının daha dikkatle araştırılmasının yolunu açmıştır. Bu alanda bazı çalışmalarını yapan yerli firmalar olsa da, deniz akıntularından enerji üretimi konusunda Mavi İda Enerji firmasının denizde uygulamalı Ar-Ge faaliyetlerinden elde edilen önemli bilgilerin olduğu ve ticari üretim yapılabilecek seviye ve birikime ulaşıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla, dünyadaki deniz enerjileriyle ilgili gelişim sürecini yakından takip eden, bu konu da daha aktif yer almak isteyen ülkemizde araştırma faaliyetleri önemle devam etmektedir.

Bu bağlamda ülkemizdeki bilimsel çalışmaların henüz istenilen seviyede olmadığından dolayı bu çalışmada elde edilecek verilerin değerlendirilmesiyle hem ülkemiz için hem de dünya literatürü için oldukça önemli bilgilerin ortaya konulması sağlanabilmiştir. Özellikle dünyada ve ülkemizde herhangi özel bir platforma gerek duymadan deniz içerisinde türbinlerin Köprü, Asma Köprü, Petrol sondaj platformları ve benzeri ortamlara doğrudan monte edilerek enerji üretiminin gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Geliştirilen 30 kW gücündeki akıntı türbinleri (a,b,c) (Özgün)

## İKİNCİ BÖLÜM

### KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, akıntı enerjisi konusunda Dünyada sayılı, ülkemizde ise ilk uygulama olan, Çanakkale Boğazı'nda deniz akıntılarında enerji üretimi amacıyla kurulmuş enerji platformunda; deniz akıntı türbinlerinin çalışma kinematiği, akıntı türbinlerinin çeşitleri, kullanılan alternatör ve dişli kutusu sistemleri, akıntı türbinlerini taşıyan platformların tasarımı, akıntı türbinlerinin kanatlarının üretimi, türbinden üretilen elektriğin taşınması ve akıntı ölçümleriyle ilgili deniz sahasında yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular incelenerek, türbin modeline göre akıntı hızlarında enerji verimliliği hesaplamaları yapılarak, açık deniz ağ kafes sistemlerinde kullanılan barç platformlarına entegre edilebilirliği ve offshore akuakültür tesislerinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

#### 2.1. Deniz Akıntı Türbinleri

Akışkanın türbinleri, eksen yönüne bağlı olarak;

- Yatay eksenli akıntı türbinleri
- Dikey eksenli akıntı türbinleri

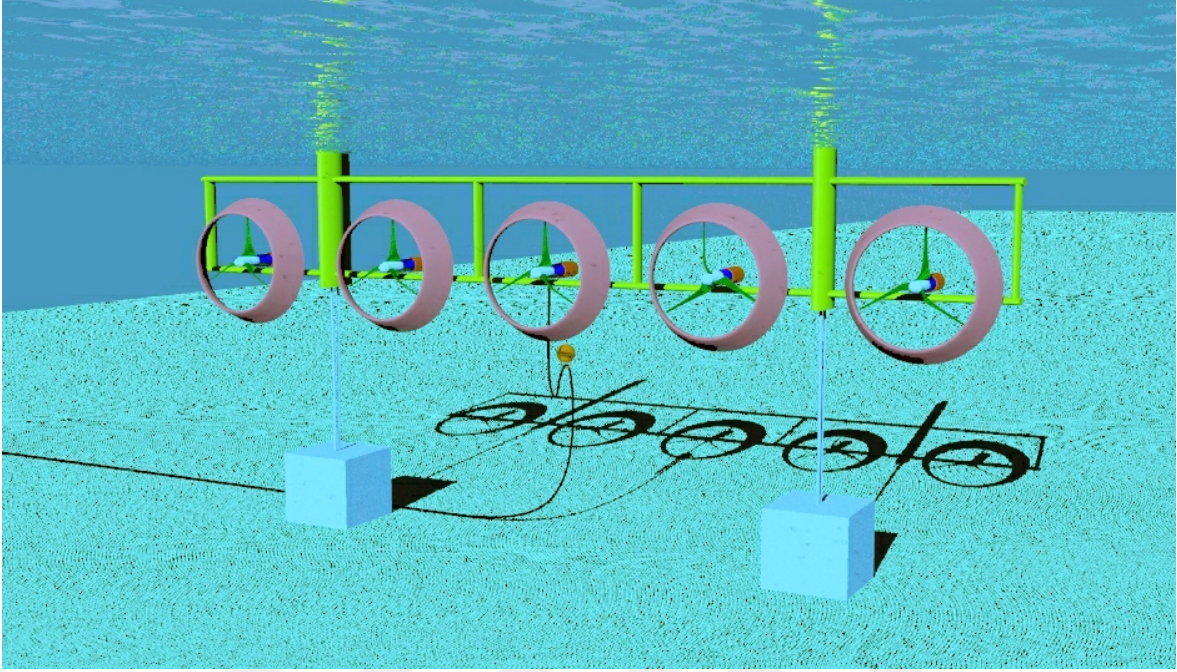
olmak üzere başlıca ikiye ayrılabilir.

“Yatay eksenli akıntı türbinlerinde shaft yatay eksen yönünde, dikey eksenli akıntı türbinleri”nde ise dikey eksene konumlandırılır. Yatay eksenli akıntı türbinlerinde dönüş eksenli akıntı yönüyle eş-yönlü hareket ederken, kanatların tasarımı akış yönüne dik-açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Dikey eksenli akıntı türbinlerinde ise dönüş eksenli akıntı istikametine dik şekilde ve kanatlar da dikey konumda olacak şekilde tasarlanmıştır” (Demirören vd., 2013).

Deniz akıntı türbinlerinde akıntı hızının artırılması için nozullu türbin modelleri üzerinde bazı çalışmalar mevcuttur. Venturi tipi olarak da bilinen bu türbinlerde su, ağız daraltılmış bir boğazdan geçirilerek geçiş noktasında basıncın artırılması amaçlanır. Böylece belirli bir miktarda hızın artırılması mümkün hale gelir. Türbin kanatlarına nozulun hız



artırıcı özelliğiyle su akışı bu noktadan geçerken hızlanır ve buna bağlı olarak üretilen enerji kapasitesi artırılabilir (Khan vd., 2009).



Şekil 8. Venturi tipi nozullu türbin ve taşıyıcı sistemi (Tasarım: Mavi İda Enerji, Özgün)

Şekil 8'deki venturi tipi türbinler henüz ticari olarak kullanımda değildi, ancak bazı prototip modellerin geliştirildiği bilinmektedir. Kullanılan nozulların akıntı hızını artırıcı etkisi %10'a kadar çıkabileceği düşünülmektedir. Deniz akıntı türbinlerinde alternatif tasarım ve geliştirmeler üzerinde çalışılmaktadır. Bunların arasında Gorlov-Helikol türbinleri de Ar-Ge aşamasında kalmış türbin tiplerindedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi yatay eksenli bir türbin tipi olan Gorlov-Helikol türbinleri akıntı eninin dar ve derinliğin az olduğu bölgelerde çap yerine boyun kısmında genişlemeyle elde edilecek torkun yükseltilmesi amaçlanmaktadır.

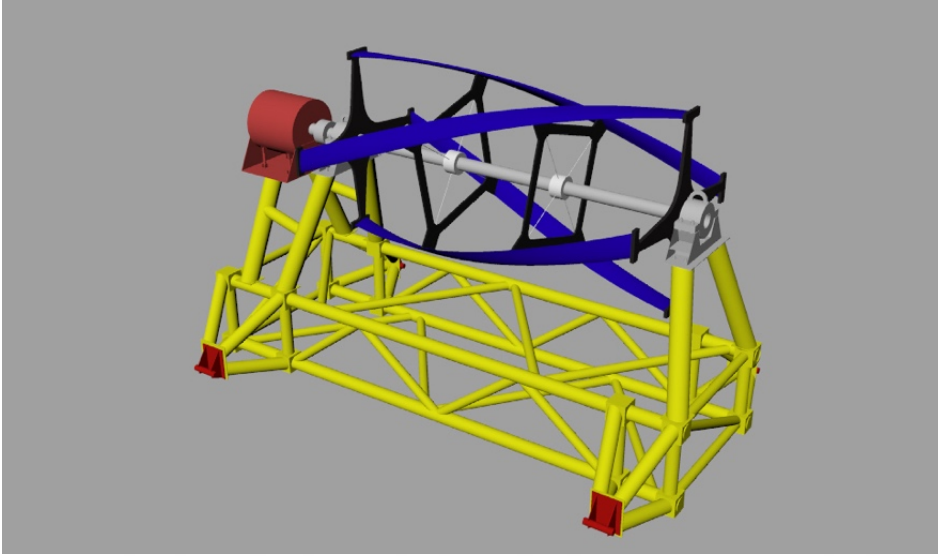
Deniz akıntı enerjilerinde kullanılan türbinler, suyun akış gücüne bağlı olarak ortaya çıkan kinetik enerjiden yararlanır ve deniz akıntı türbini başlıca 3 ana bölüme ayrılabilir (Akwensivie, 2004).

Bunlar;

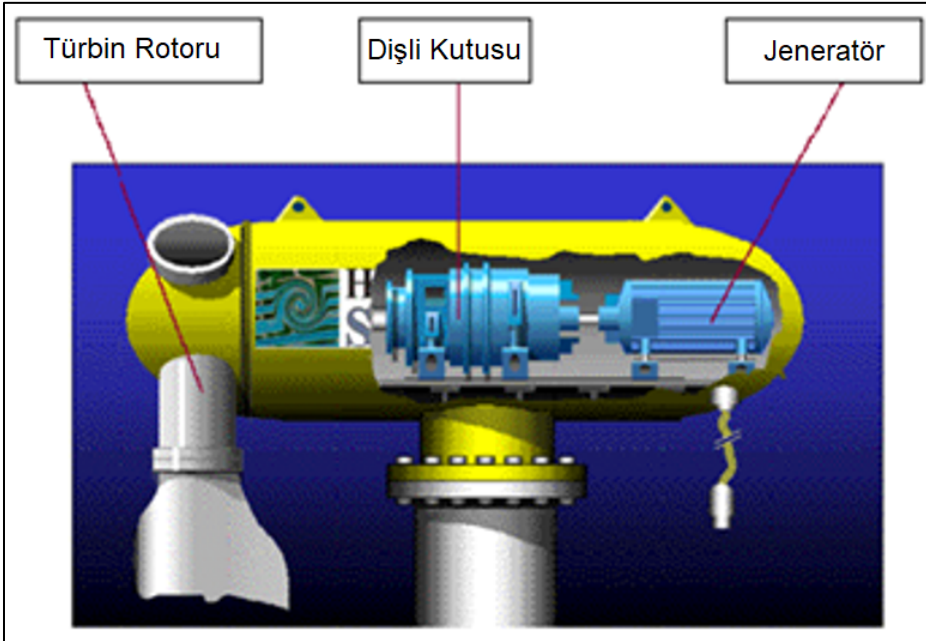
- Türbin rotoru: Akıntının etkisiyle dönen ve enerjiyi şaft ile beraber aktaran kısım.

Rotora bağlı kanatların aırlarının değiştirilmesi ile üretilecek g miktarı ve verimi ayarlanabilir.

- Dişli kutusu: Düşük devirli rotorun devir sayısını alternatörün kullanabileceği derecede artırmaya yarayan yapısal elemandır.
- Alternatör: Elektrik üretiminin yapıldığı kısımdır. şaftın kinetik enerjisi elektrik enerjisine çevrilmektedir.



şekil 9. Gorlov-Helikol tipi trbn (Tasarım: Mavi İda Enerji, zgn)



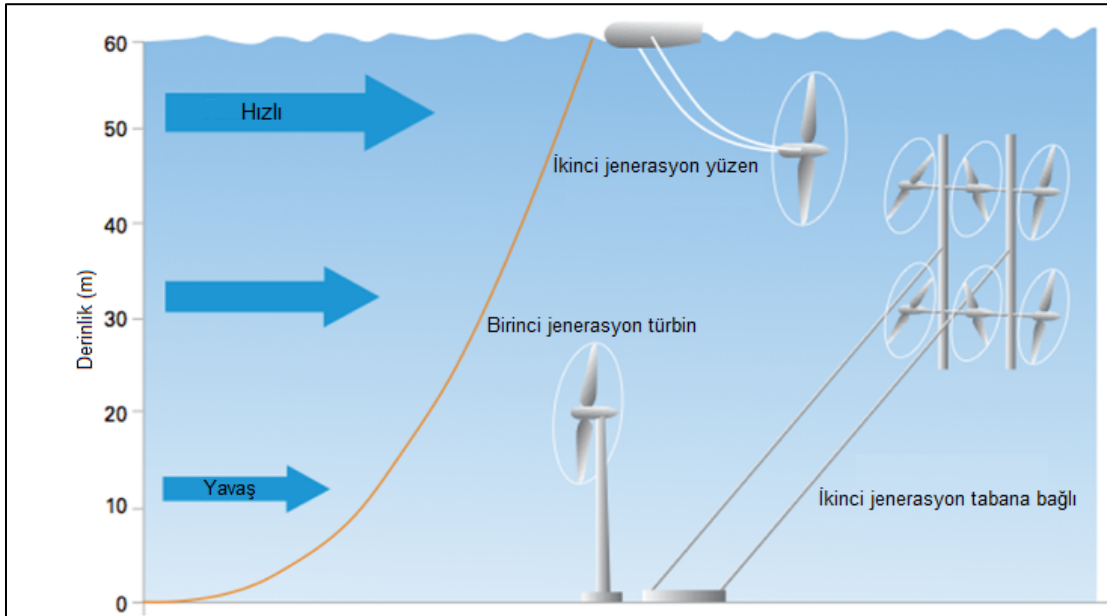
şekil 10. Trbn ana bileşenleri (Akwensivie, 2004).



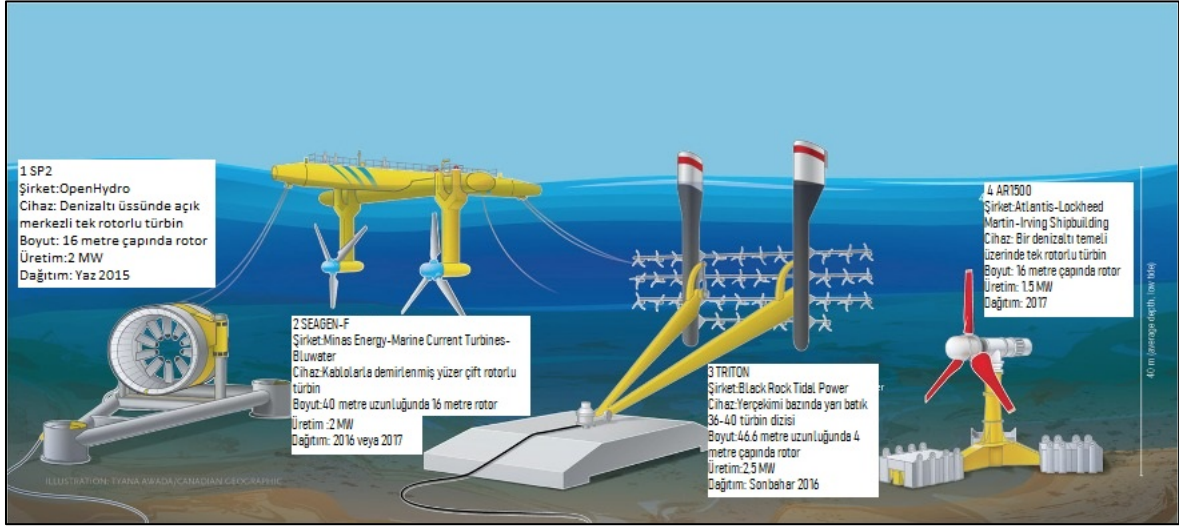
## 2.2. Deniz Akıntı Türbinlerinin Kurulumu

Deniz akıntı türbinleri, yüzer tip olabileceği gibi gravitasyonel özellikte deniz tabanına yerleştirilen batır sistemler de olabilmektedir.

Yüzer platform sistemleri, uygulama ve kontrol kolaylığı nedeniyle, türbin araştırma ve geliştirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Türbin mekanik veya elektronik aksamında yaşanabilecek olası arızalar, yüzer platform sistemlerinde türbini karaya getirmeden platform üzerinde giderilmesi mümkündür. Geliştirme aşaması tamamlanarak ticari safhaya alınan türbinler içinde bakım onarım için ve karaya getirilmesi gerektiği durumlarda bir servis teknesi ile kolayca çekilebileceği için yüzer sistemlerin ilk kurulum ve bakım maliyetleri nispeten düşük olabilir. Balık çiftliklerindeki barç sistemlerine benzer bir şekilde çapa, zincir, kollektör ve halat ekipmanları ile kurulum gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler bir yandan türbini akıntıya karşı tutarken bir yandan da dalga ve çetin hava koşullarına maruz kalmaktadır. Yüzer platformların bir diğer olumsuz tarafı ise, gemi trafiği ve seyir için engel oluşturmasıdır. Türbin kurulacak bölge gemi trafiği için ilgili deniz haritalarına işlenmesi gereklidir. Öbür taraftan deniz tabanına konumlandırılan sistemlerde böyle bir durum yoktur.



Şekil 11. Türbin kurulum metotları (Srikanth, 2018).



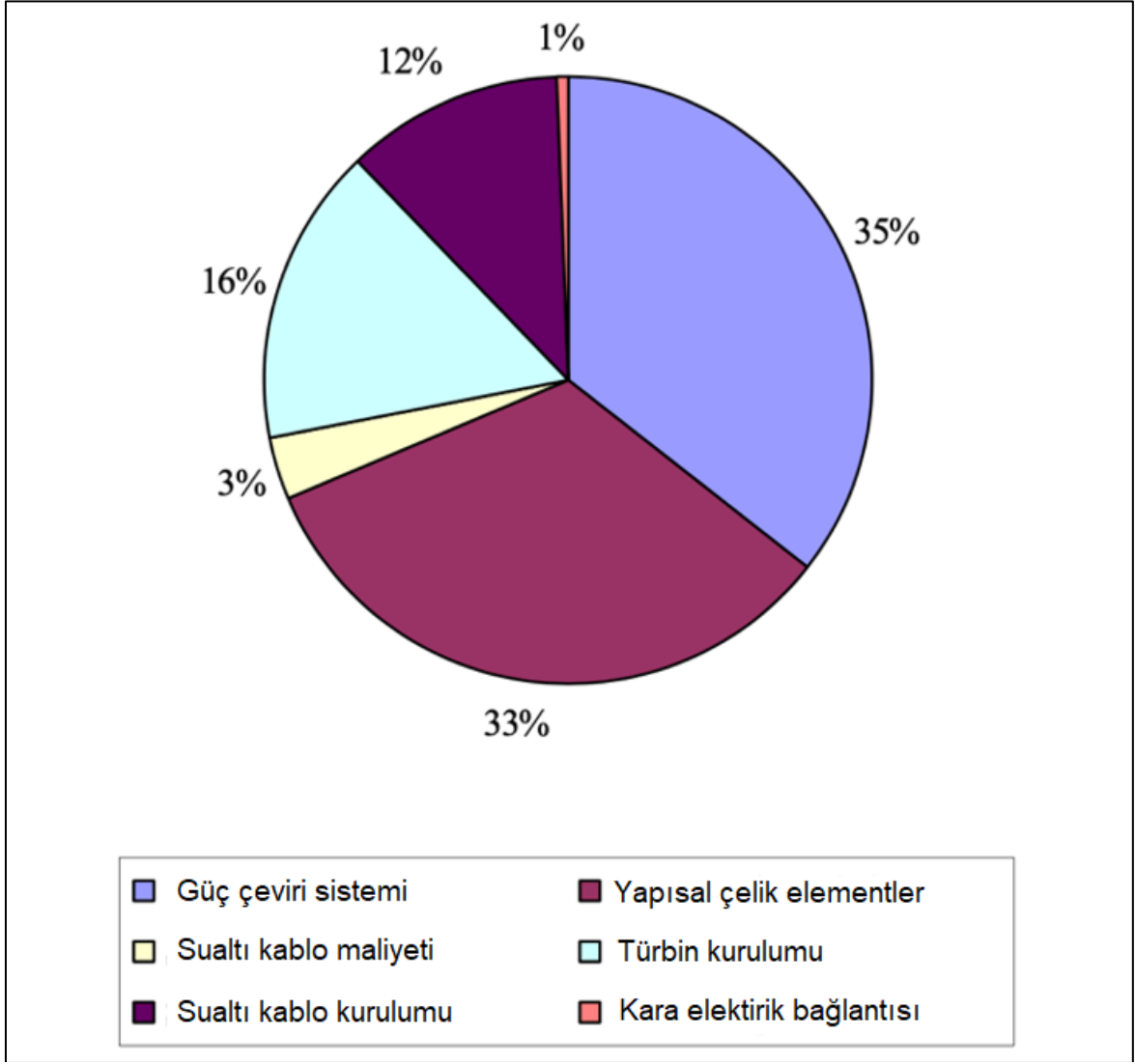
Şekil 12. Yüzer tip ve deniz tabanına konumlandırılan sistemler (Rinaldi, 2020).

Deniz tabanına konumlandırılan sistemler daha çok 1 MW ve üzeri akıntı türbinleri için uygulanan sistemler olarak bilinir ve bu sistemlerde türbin çaplarının büyüklüğü (yaklaşık 18-24 m) nedeniyle yüzdürücü sistemlerle su yüzeyinden sarkıtılması oldukça zordur. Bu kapasitedeki türbinlerin ağırlıklarının 150 - 200 ton arasında olduğu dikkate alındığında deniz tabanına konumlandırılması daha doğru bir yaklaşım olarak kabul edilir. Bu büyüklükteki türbinlerin kurulumu için devasa servis gemilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bünyesinde bulunan özel yük vinçleri ile güverteden kaldırılan türbin ve taşıyıcı ayakları deniz tabanına kurulmaktadır. Türbin kurulumu yapılacak yerlerin özellikle akıntı hızı en yüksek yerler olarak seçilmesinden dolayı, kurulum için gel-git in akıntıyı durdurduğu kısa zaman aralığı operasyon için uygundur. Yüksek akıntıda ortalama 50-60 m derinliğe 150 ton ağırlığındaki bir türbinin indirilmesi mümkün değildir. Tüm bunlar üst üste konulduğunda deniz tabanına oturan sistemlerin ilk kurulum ve sonrasında bakım onarım maliyetleri için karaya getirilmesinin maliyeti yüzer sistemlere göre oldukça fazladır. Lakin, deniz tabanına oturan sistemlerde gemi trafiği ve seyri için bir olumsuzluk yaratmamaktadır.

### 2.3. Deniz Akıntı Türbinlerinde Maliyetlerin İncelenmesi

Deniz akıntı türbinlerinde maliyetler, türbin sistemi, türbin taşıyıcı yapısal sistemler, türbin kurulum maliyeti, su altı kablosu kurulum maliyeti, su altı kabloları, karadaki kontrol sistemi olarak gruplandırılabilir (Clarke vd., 2007).

Şekil 13'te görüldüğü gibi, deniz akıntı türbinlerin maliyetleri incelendiğinde en büyük harcama kaleminin akıntı türbin sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun içinde türbinin yapısal unsurları olan kanatlar, rotor, açılı kontrol sistemleri, dişli kutuları, alternatör ve gövde kısımları yer almaktadır. Deniz akıntı türbinlerinde ikinci en büyük maliyet kalemi türbinin taşıyıcı yapısal sistemidir. Taşıyıcı yapısal sistemler, kurulum yapılacak bölgenin özelliklerine göre deniz tabanına oturan veya yüzer platform sistemleri olabilir. Taşıyıcı platform sistemleri genelde çelik vb. malzemelerden yapılmakta olup son yıllarda kompozit malzemeler (camelyaf ve polyester bazlı) de platform imalatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Deniz akıntı türbini ve türbin taşıyıcı yapısal sistemlerin elektrik üretimi yapılacak bölgeye kurulumu ve montajlanması üçüncü en büyük maliyet kalemini oluşturmaktadır. Deniz ve akıntı şartlarında mooring ve kurulum yapmak oldukça zor bir operasyon olup büyük sistemler için oldukça büyük servis tekneleri ve vinçler gerekmektedir. Bunun yanında elektrik üretimi yapılacak yerin karaya olan uzaklığına bağlı olarak deniz altı kablosu döşenmesi ve kablo maliyeti bir diğer yüksek olarak tanımlanabilecek maliyet grubudur. Üretilen elektriğin karaya iletilmesi özel çoğunlukla çelik örgülü kablolar ile sağlanmaktadır. Son olarak karada konumlandırılacak kontrol merkezi oransal olarak en düşük maliyete sahiptir.



Şekil 13. Deniz akıntı türbinlerinin maliyet analizi (Clarke vd., 2007).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular, su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün sürdürülebilir büyümesine ve gelişimine katkı sağlamak için enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve daha çevreci şartlarda üretim faaliyetinin gerçekleştirilmesi için önemli bilgiler sunmaktadır.

Aynı zamanda deniz teknolojilerinin üst çatisını oluşturduğu enerji üretimi ve endüstriyel yetiştiriciliğin entegre halde beraber çalışması değerlendirilmiştir. Barçların enerji ihtiyacını çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla sağlamak karbon ayak izinin küçültülmesinden enerjinin daha ucuz şekilde üretimine kadar fayda sağlayabilir. Çalışma, akıntı enerjisini kullanılacağı bakımından özgündür. Ayrıca ağ kafes tesislerinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi doğal kaynaklardan ürettiği gibi, ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin de şehir şebekesine bağlanabilecek olması da ayrı bir Özgün Değer katmaktadır. Bu şekilde çevre dostu gıda (balık) üretimi yine çevre dostu enerji üretimiyle entegrasyonu sağlanabilmiştir.

Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlığının artması gelecek nesillerin daha temiz bir dünyada yaşamaları için oldukça kritiktir. Fosil yakıtların kullanımından kaynaklı çevresel problemler hızla artmaktadır. Yetiştiricilik açısından da sektörün çevre sorunlarından direkt olarak etkilendiği göz önüne alındığında farkındalık oluşturması açısından yarar sağlayacağını düşünülmektedir.

Bu çalışmada akıntı ölçümleri, pitot tüpleriyle tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiş olan Özgün bir akıntı ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin doğruluğu ise, Akustik Doppler akıntı ölçüm cihazıyla kontrol edilerek, deniz üstü tarama ve su altı ölçüm olmak üzere 2 farklı yöntemle gerçekleştirilerek sağlanması yapılmıştır. Bu yönüyle de inovatif bir akıntı cihazının kullanılacak olması da çalışmaya özgün değer katmaktadır. Pitot tüplerinden toplanan verilerin sağlanmasını yapmak için geleneksel şamandıra ile ölçüm verisi de toplanarak pitot tüplerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında, Çanakkale Boğazı deniz suyunda fiziko-kimyasal ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Boğazın farklı noktalarında akıntı ölçümleri yapılarak, akıntının yüksek olduğu bölge seçimi gerçekleştirilmiştir. Akıntı ölçümleri, Pitot tüpleriyle tasarlanmış ve prototip olarak üretilmiş olan bir akıntı ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Akustik Doppler akıntı ölçüm cihazıyla da ölçümler yapılarak, prototip cihaz ile karşılaştırması gerçekleştirilerek veri doğrulama sağlanmıştır.

Akustik Doppler akıntı ölçüm cihazıyla yapılan ölçümler;

- Deniz üstü tarama (survey)
  - Su altı (sabit istasyon)
- olmak üzere 2 farklı yöntemler gerçekleştirilmiştir.

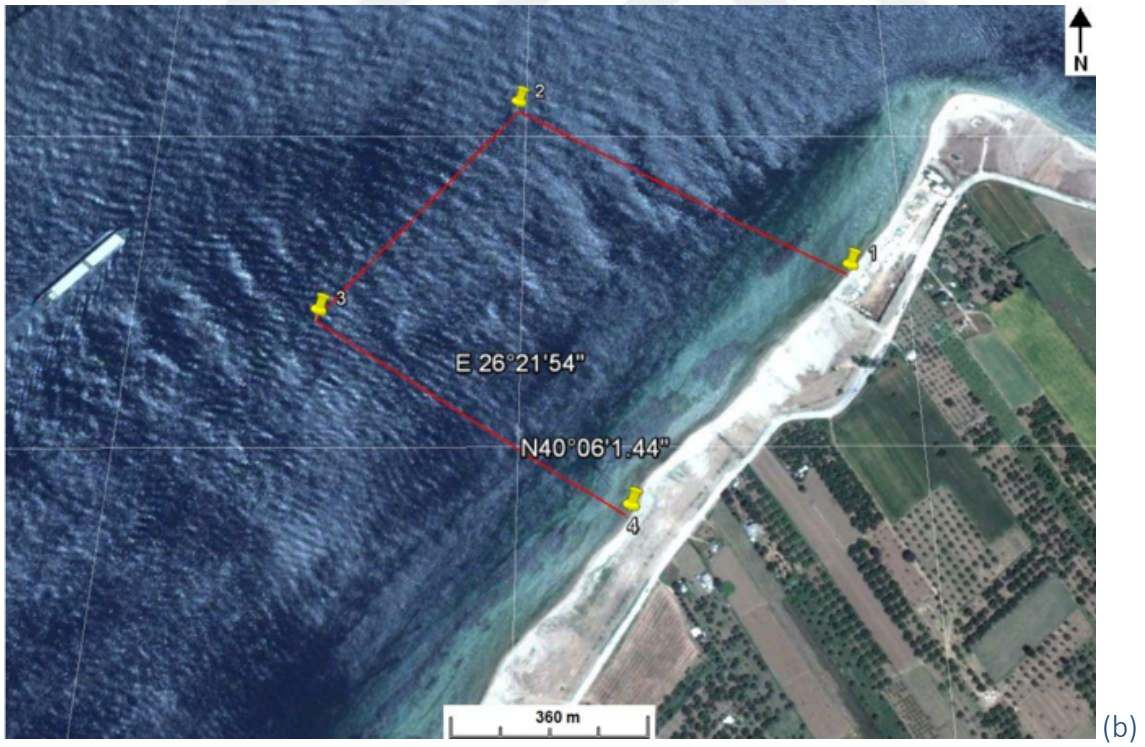
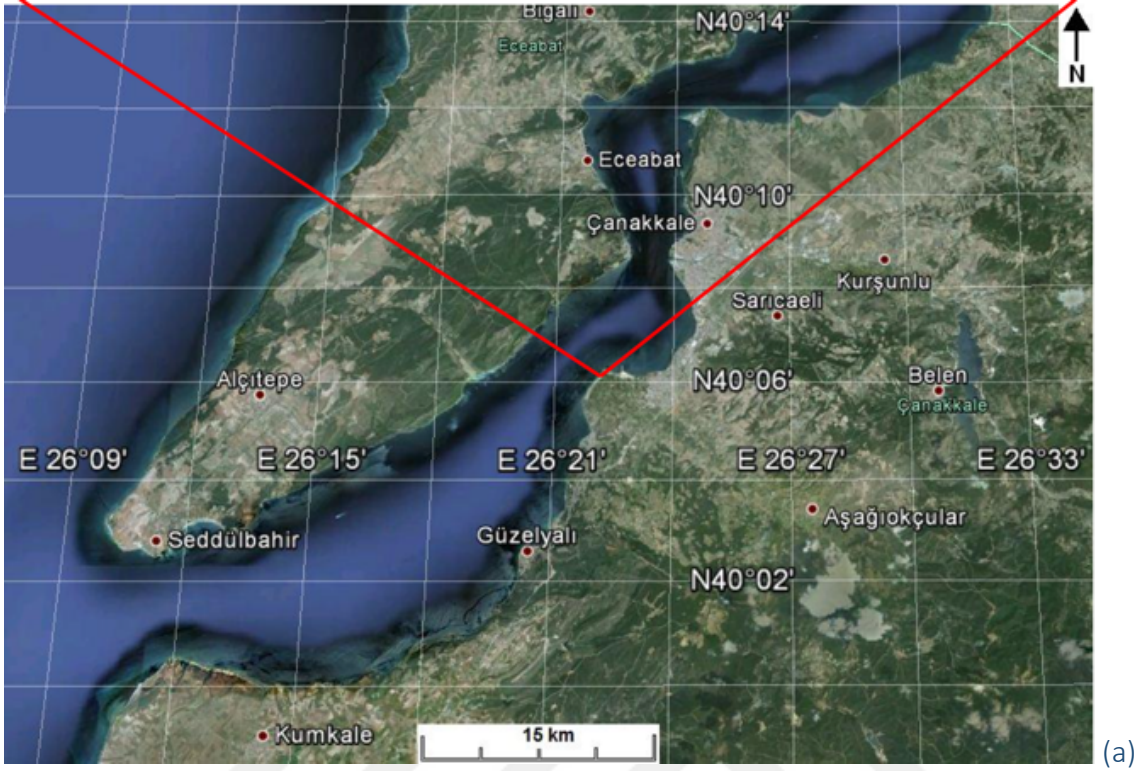
Türbin testlerinin deniz ortamında gerçekleştirilebilmesi için platformu tasarımı yapılacak ve denize yerleştirilmiştir. Test platformun deniz tabanına bağlantısı grid-moring sistem ile sağlanmıştır. Türbin tasarımı, dikey eksen ve yatay eksen olmak üzere 2 farklı tip türbinlerin platform üzerinde testleri gerçekleştirilerek veri toplanması ve kayıtlama yapılmıştır. Üretilen elektriğin şehir şebekesi hattına bağlanabilir olacağından akıntı türbini kontrol kabloları ve elektrik iletim kablolarının sualtından döşenmesi de incelenmiştir.

Offshore akuakültür tesislerinde kullanılan barç sistemlerinde enerji kullanım miktarları kW olarak belirlenerek, üretilen enerjiden kullanım oranları ve şehir şebekesine aktarılacak oranlar belirlenerek, bütünlük olarak veriler değerlendirilecek ve tezin yazımı sonuçlandırılmıştır.

### **3.1. Deniz Sahası Analizleri**

Deniz türbinleri çalışmalarının yapılması için seçilen bölge akıntı hızlarının enerji üretimi için elverişli olduğu aynı zamanda deniz trafik hattının dışında kalmasından dolayı Çanakkale Boğazı Kepez Burnu bölgesidir. Çalışma sahasının lokasyonu ve koordinatları Şekil 14’de görülmektedir.





Şekil 14.Çalışma sahasının yeri (a,b)

İstanbul Boğaz'ında olduğu gibi, Çanakkale Boğazı'nda da çift yönlü akıntı sistemi vardır. Daha az tuzlu olan üst akıntı Karadeniz'den Ege Denizi'ne doğru, daha tuzlu olan alt akıntı ise Ege Denizi'nden Marmara Deniz'i yönünde akmaktadır.



Şekil 15. Çalışma sahasının deniz aracı üzerinden kıyıya doğru görüntüleri (a,b,c)

Saha analizi çalışmalarında alınan bilgiler, türbin kurulumu sonrasında (test üretimlerinde) akıntı hızını ölçme ve kıyaslamada referans olarak kullanılmıştır. Geliştirilen pitot tüplü akıntı ölçer, elektrik üretimi sırasında akıntı hızının tespitinde de kullanılmıştır. Anlık ölçülen akıntı hızı değeri ile üretilen elektriğin kW cinsinden değeri kontrol tablosundan okunacak ve türbin verimi hesaplanmıştır.

Saha çalışmasının yapıldığı yer kıyından 150 - 200 metre açıkta olup koordinatları Tablo 2'de sunulmuştur.



Tablo 2

Çalışma sahasının koordinatları

Köşe Noktaları	Koordinatlar N/E (WGS-84)
1	40° 6'8.13"N / 26°22'9.19"E
2	40° 6'15.49"N / 26°21'53.46"E
3	40° 6'6.36"N / 26°21'44.47"E
4	40° 5'58.81"N / 26°21'58.79"E



Şekil 16. Çalışma sahasındaki türbinin kontrol panosu (Özgün)

Test üretimi verileri ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA kısmında detaylı incelenecek olup, pitot tüpleri ile ölçülecek akıntı hızını doğrulamak adına dikey eksenli bir akıntı ölçer daha geliştirilmiştir. Bu akıntı ölçer dikey eksenli bir türbine monte edilen bir takometre sayesinde devir sayısını okuyarak anlık akıntı hızını türbin kumanda ve gözlem panosundan, platforma çıkmaya gerek kalmadan bilmemizi sağlamaktadır.

Yine Şekil 16’ da görülen takometre 1 alt ve takometre 2 alt türbinin alternatörünün anlık olarak kaç devir ile döndüğünü göstermektedir. Onun yanındaki takometre akıntı ise, anlık akıntı ölçerin devir sayısıdır. Bu devir sayısından bir kalibrasyon ile m/s’ye çevirim yapılabilmektedir. Verim hesabında kullanacağımız akıntı hızının birimi her zaman m/s’dir. Sol alt köşede ise bir güç analizörü bulunmaktadır. Bu üretilen elektriği ve elektriğin frekansını göstermektedir. O an çekilen bu fotoğrafta görüldüğü üzere 13,5 kW saat elektrik üretimi 50 Hz frekans ile yapılmaktadır.

### **3.1.1. Akıntı Hızı ve Derinlik Ölçümleri**

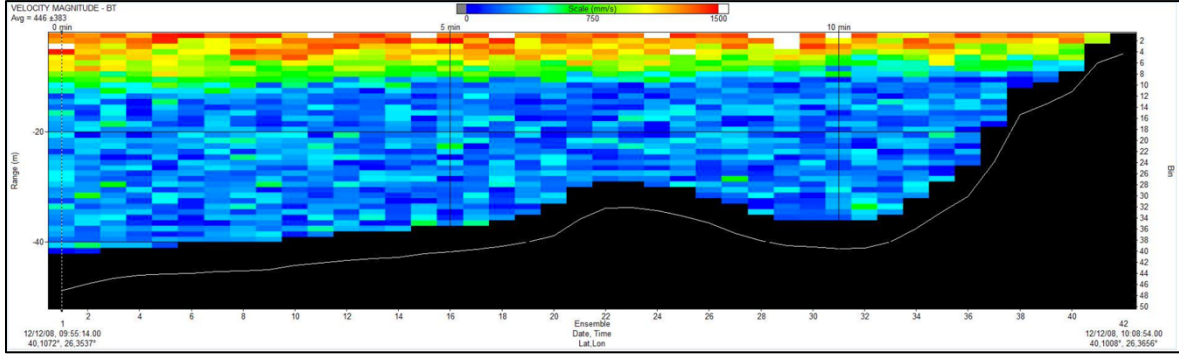
Veri toplama aşamasında, akıntı hızı ölçümleri oldukça kritik bir safhadır. Saha analizleri açısından da türbin tasarımını doğrudan etkilediği için en önemli kısım akıntı ölçümleridir. Her ne kadar diğer batimetri çalışmaları da proje kapsamında yapılmış olsa da akıntı hızı ölçümleri üzerinde en çok durulan ve yoğun çalışılan kısım olmuştur.

### **3.1.2. ADCP ile Akıntı Ölçümü**

Akıntı ölçümleri kapsamında, derinliğe göre akıntı ölçümü icra edilmiştir. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) teknenin bordasına, su sathına dik bakacak şekilde bağlanmıştır. Cihaz bu şekilde deniz yüzeyinden tabana doğru akustik sinyal göndererek, sudaki “askıdaki katı madde” ve plankton vb organik veya inorganik malzemedan yansıyıp geri dönen sinyallerin Doppler etkisinden yararlanarak, su kolonunda 3 boyutlu akıntı ölçümü gerçekleştirilmiştir. 300 metreye kadar derinlik ölçümü yapılabilen cihaz üzerindeki sıcaklık sensörü yardımıyla, aynı anda su sıcaklığı ölçümleri de kayıt altına alınmıştır. Toplanan akıntı verisi eş zamanlı olarak alınan GPS kaynaklı mevkii bilgisi ile beraber kayıt edilmiştir.

Şekil 17’de çalışma bölgesinden edinilmiş bir ADCP verisi bulunmaktadır. Renklendirme metoduyla görselleştirilmiştir. Kırmızı renkten mavi renge doğru akıntı hızı düşmektedir. Görüldüğü gibi akıntı hızının yüksek olduğu bölgeler (1,5 m/s ve üzeri) deniz

suyunun yüzeyinde yoğunlaşmıştır. Derinlere doğru gidildikçe akıntı hızı düşmüş ve sonrasında ise durmuştur.



Şekil 17. ADCP cihazı ile ölçülen akıntı hızı verisi

Şekil 17’deki ADCP verilerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Akıntı hızının yüzeyde yoğun olması nedeniyle türbin yüzer bir sisteme monte edilmelidir. Deniz tabanına oturan türbinler Çanakkale Boğazı için uygun değildir.
2. Akıntı kalınlığı yüzeyden itibaren en fazla 7-8 m civarındadır. Bu da bize uygulanacak türbin çapının 7-8 m geçmemesi gerektiğini söylemektedir. Yine veriyi yorumladığımızda akıntı hızının o an 1,5 m/s civarında olduğunu göstermektedir. Kurulabilecek türbin çapı akıntı kalınlığından ötürü 7-8 metreyi geçmeyeceği için çalışma yapılacak bölgede uygulanabilecek türbin kapasitesi hesabı aşağıdaki kabuller ile;
  - Türbin Çapı: 6 metre, Akıntı Hızı: 1,9 m/s, Ortalama verim: %40 olduğunda Üretilen Güç: 40kW civarındadır.
  - Türbin Çapı: 5 metre, Akıntı hızı 1,8 m/s, Ortalama verim: %40 olduğunda Üretilen Güç: 23kW civarındadır.

20kW ile 55kW civarında olmak durumundadır. Daha büyük kapasiteler Çanakkale Boğazında için kıyıdan daha uzak ve derinliğin daha fazla olduğu bölgeler seçilmelidir. Çalışmanın yapılacağı bölge kıyıdan sadece 150metre uzaktadır. Akıntı kalınlığı kıyıdan açıldıkça artmaktadır. Daha derin ve kıyıdan açık bölgelerde türbin çapı 10-12 m kadar

çıkarılabilir. Böylelikle artan türbin çapı sayesinde tek türbinden elde edilebilecek güç 100-150 kW bandına çıkabilir.

### 3.1.3. Pitot Tüpleri ile Akıntı Ölçümü

ADCP ölçümlerine alternatif olarak, pitot tüpleri ile akıntı ölçümü yapabilecek bir sistem tasarlanmıştır. Deniz yüzeyinden itibaren her 50 cm'de 1 pitot tüpü hazırlanmıştır. Toplamda 8 pitot tüpüyle çeşitli derinliklerde akıntı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 18. Farklı derinliklerde akıntı hızı ölçümü için pitot tüplerinin montajı (Özgün)

Bölgeye kurulmuş olan türbin test platformuna yukarıdaki pitot tüplerinden oluşan sistem monte edilmiştir. Bu sistem akışkanın hızının pitot tüpü içinde yarattığı basınç ile atmosfer basıncı arasındaki farkın çevrimiyle hesaplanır. Bu basınç farkı tasarlanan panodaki cetveller yardımıyla cm olarak kayde geçer. Her basınç farkından gelen cm

değerinin m/s olarak çevirimi altta görülebilir. Örnek olarak, 3. Pitot tüpü deniz yüzeyinden 2 m derinliği gösterirken cetvelde okunan 20,5cm basınç farkının hız değer 2 m/s dir.

Bernoulli denklemine göre;

Suyun içindeki pitot tüpünün giriş ağzındaki su hızı, diğer ucu katamaranın üstünde olan ve atmosfere açık hortumdaki suyun seviyesini yükseltmektedir.

$$(P_1 / \rho_1) + (V_1^2 / 2) = (P_2 / \rho_2) + (V_2^2 / 2) \quad (3.1)$$

Burada:

$\rho_1$  ( kg/m<sup>3</sup>) = Suyun yoğunluğu

P (N/mm<sup>2</sup>) = Basınç

V (m/s) = Akışkan hızı

$P_1 = 0$  ve  $V_1 =$  akıntı hızı değeri olduğunda,  $P_2 =$  reel bir değer ve  $V_2 = 0$  dir.

$\rho_1$  ve  $\rho_2$  değeri aynı değerdir ve yaklaşık olarak 1000 kg/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir.

$$P_2 / \rho = V_1^2 / 2$$

P: N/m<sup>2</sup> (100.000Pascal=1 bar ve 1 bar 10.000mm su sütunu olarak kabul edilmiştir)

$\rho$ : kg /m<sup>3</sup>

Örnek 1:

Pitot tüpü düzeneğinin bağlı olduğu ölçüm cetvelindeki 20,5 cm'lik yükseltinin hız cinsinden hesabı aşağıdaki gibidir:

20,5cm su sütunu farkı 2.050 paskal (N/m<sup>2</sup>)'dir.

$\rho$  : 1000 kg /m<sup>3</sup>

Veriler formüle yerleştirildiğinde;

$$(2050 / 1000) = V_1^2 / 2$$

$$2,05 \times 2 = V_1^2$$

$$V_1^2 = 4,1$$

$$V_1 = 2,02 \text{ m/s' dir.}$$



hız(m/sn)	basınc-pa	cm karşılığı
0	0	0
0,2	20,5	0,205
0,4	82	0,82
0,6	184,5	1,845
0,8	328	3,28
1	512,5	5,125
1,2	738	7,38
1,4	1004,5	10,045
1,6	1312	13,12
1,8	1660,5	16,605
2	2050	20,5
2,2	2480,5	24,805
2,4	2952	29,52
2,6	3464,5	34,645

Şekil 19. Pitot tüpleri ile akıntı hızı ölçümü

Örnek 2:

Pitot tüpü düzeneğinin bağlı olduğu ölçüm cetvelindeki 34,645 cm'lik yükseltinin hız cinsinden hesabı aşağıdaki gibidir.

34,645cm su sütunu farkı 3464,5 paskal (N/m<sup>2</sup>)'dir.

$\rho$  : 1000 kg /m<sup>3</sup>

Veriler Formüle yerleştirildiğinde;

$$(3464,5 / 1000) = V_1^2 / 2$$

$$3,4645 \times 2 = V_1^2$$

$$V_1^2 = 6,929$$

$$V_1 = 2,63 \text{ m/s}$$

elde edilir.

### 3.1.4. Geleneksel Şamandıra Metodu ile Akıntı Ölçümü

Akıntı ölçümlerinin birbirini doğrulaması adına çeşitlendirmek veri toplama aşamasında oldukça önemlidir. Bu sebeple ADCP ve pitot tüpleri ile yapılan ölçümler sırasında geleneksel şamandıra metoduyla doğrulama çalışması yapılmıştır. Geleneksel şamandıra ile ölçüm yalnızca yüzey akıntısını ölçmekte kullanılmıştır. Akıntı ölçümü şu şekilde tasarlanmıştır;

Beş litrelik bir şamandıranın ucuna 200 m'lik bir halat bağlanmıştır. Halatın diğer ucu katamaran üzerindeki bir yere sabitlenmiştir. Halatın sabitlendiği noktadan denize bırakılan şamandıra akıntı hızı ile ilerlemektedir. Denize tam bırakıldığı anda, kronometre ile süre başlatılır. 200 m'lik ip bittiğinde katamarana bağlı diğer uç gerilir ve süre durdurulur.

$$V = X: t \quad (3.2)$$

Burada;

V: hız (m/s)

X: yer değiştirme-yol (m)

t: zaman (sn)

Tasarlanan akıntı ölçümü sisteminde yol sabit ve 200 m dir. Her ölçümde tutulan süre yola bölünerek hız bulunur. Örneğin, yapılan ölçümde kronometrede okunan süre 100sn ise  $200: 100 = 2$  m/s olarak hız hesaplanır.

### 3.2. Türbin Taşıyıcı Test Platformu

Türbin taşıyıcı test platformu, katamaran şeklinde tasarlanmış ve 12 m uzunluğunda ve 6 m genişliğinde olarak imal edilmiştir. Test platformu akıntı hızı ölçümü çalışmalarından itibaren veri toplama sürecinde kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında ise, geliştirilen türbinler test platformuna monte edilerek, platform üzerinde elektrik üretimi çalışmaları yapılmıştır. Başlangıçta 1kW gücün altında, dikey eksenli prototip ve deneysel türbinler taşıyıcı platform üzerinde kurulan bir sistemde üretilip elektriğin şebekeye verilmeden (off-grid) doğrudan tüketilerek, türbinlerin verimlilikleri kayıt altına alınmıştır. Sonrasında ise, 30kW gücünde ve elektrik şebekesine bağlanabilir bir türbin yine aynı test platformu üzerine kurularak, bu sefer kıyı bağlantısı deniz altına kablo çekilerek yapılmış ve karada bulunan bir kontrol panosu üzerinden üretilen elektrik karaya taşınmıştır.

Türbin taşıyıcı test platformu, elektrik üretilecek bölgeye bir servis tekneyi ile götürülüp öncesinde hazırlanan çapa, zincir, kollektör ve şamandıra alt bileşenlerinden oluşan mooring sistemine halatlar ile bağlantısı yapılmıştır.



Şekil 20. Çalışma bölgesinden taşıyıcı platform fotoğrafı (Özgün)



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Deniz Suyu Sıcaklık, Tuzluluk ve Yoğunluk Ölçümleri (CDT Ölçümleri)

Çalışmada ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değerleri bölgenin özellikleriyle uyum göstermiş ve herhangi bir bölgenin karakteristik yapısıyla çelişkili bir durum görülmemiştir. Buna göre;

Tablo 3

Çalışma sahasında yapılan CDT ölçüm verileri (2.11.2012)

Derinlik (m)	Sıcaklık (C derece)	Tuzluluk	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
0.15	18.65	23.49	1016
1.05	18.7	27.39	1019
2.25	18.75	28.61	1020
3.15	18.80	30.26	1021
4.05	18.93	32.84	1023
5.24	19	34.32	1024
6.14	19.07	35.71	1025
7.03	19.09	36.20	1026
8.22	19.09	36.23	1026
9.12	19.09	36.23	1026
10.31	19.09	36.25	1026
11.21	19.09	36.26	1026
12.33	19.09	36.26	1026

Saha çalışmaları sırasında ölçülen ve Tablo 3'te sunulan değerler incelendiğinde türbin tasarımını ve elektrik üretimini etkileyecek kritik bir parametre bulunmamaktadır. Görüldüğü gibi deniz yüzeyindeki sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk Karadeniz'den gelen suların etkisi ile daha düşüktür. Üst akıntı Karadeniz'den Egeye doğru akarken yoğunluğu,

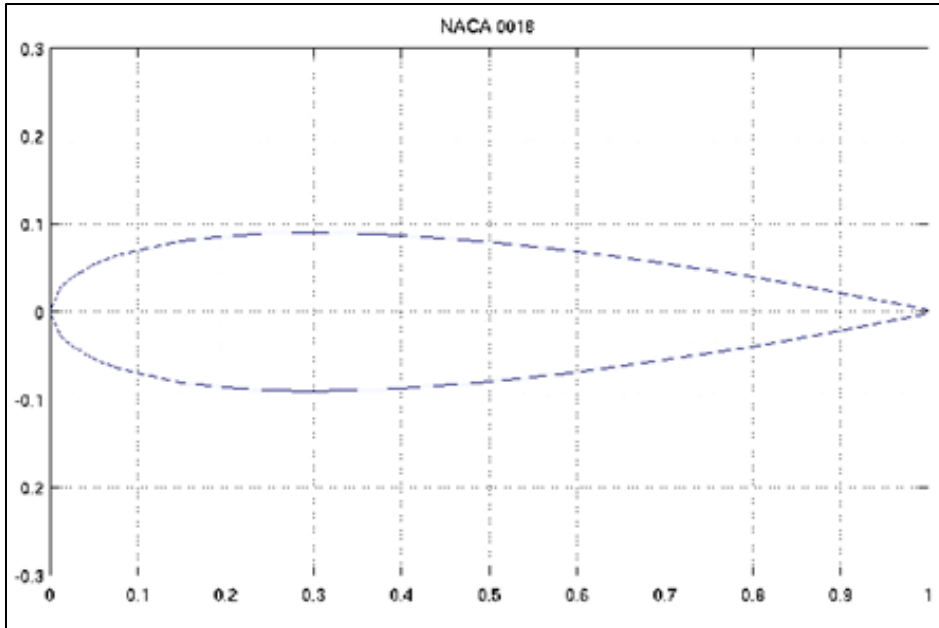
tuzluluğu ve sıcaklığı daha yüksek olan alt akıntı Ege'den Karadeniz'e doğru akmaktadır. Alt akıntının getirdiği suyun yoğunluğu ve tuzluluğu üst akıntıya göre daha fazladır. Ancak türbinin elektrik üretimini için bu yoğunluk farkı ciddi bir etki yapmamaktadır.

## 4.2. Prototip Deniz Akıntı Türbin Tasarımı

Çanakkale Kepez Burnunda, saha çalışmaları yapılan alanda dikey ve yatay eksenli türbin tipleri test edilmiştir. Prototip olarak geliştirilen 3 dikey eksenli ve 1 yatay eksenli türbinin genel özellikleri ve test değerleri incelenmiştir.

### 4.2.1. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Darriues Tipi

Akıntı ölçümleri ve diğer saha çalışmaları yapılan bölgede ilk test edilen türbin “Darriues” tipi bir dikey eksenli türbindir. Türbin, 600mm çapında, 1000mm boyunda ve 3 kanatlı olarak imal edilmiştir. Kanat formu olarak NACA 0018 aerofik formu seçilmiştir. Lift yani kaldırma kuvvetiyle çalışmaktadır. Kanat formu, kollara 10 derecelik bir açı ile bağlanmıştır.

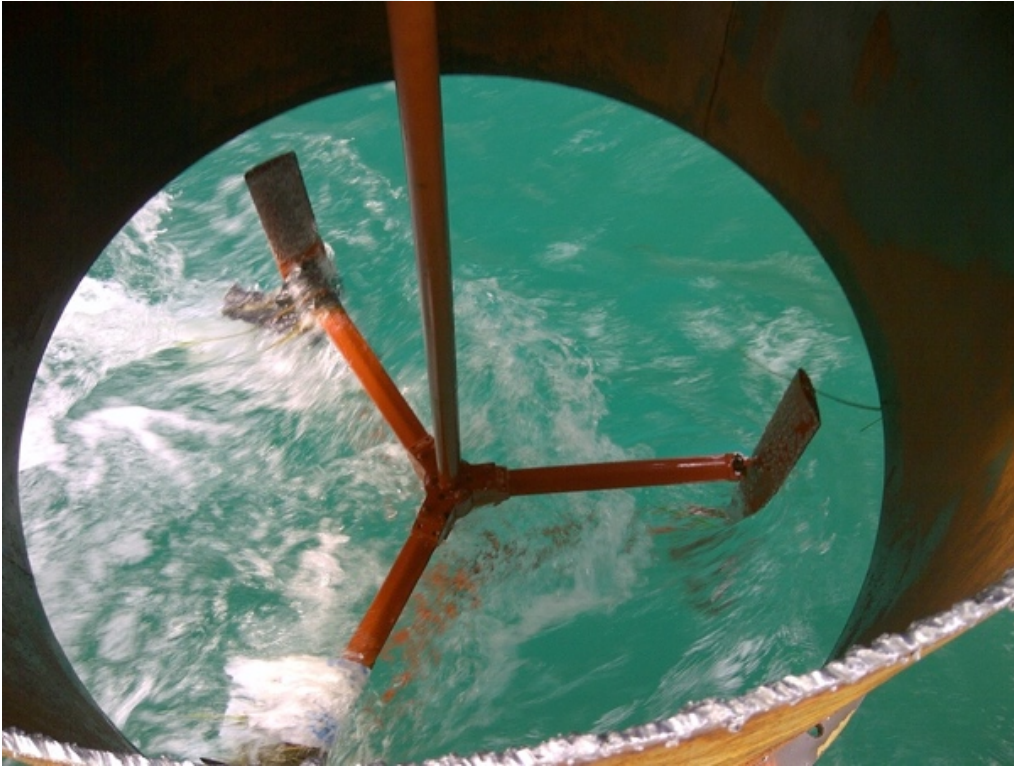


Şekil 21. Naca0018 kanat formu (UIUC, 2022)

Kanat formu olan NACA 0018 için, CNC tezgâhta bir model işlenmiştir. Sonrasında bu model üzerinden bir döküm kalıbı yapılmıştır. Toplamda 6 adet kanat döküm metoduyla yapılmıştır.



(a)



(b)

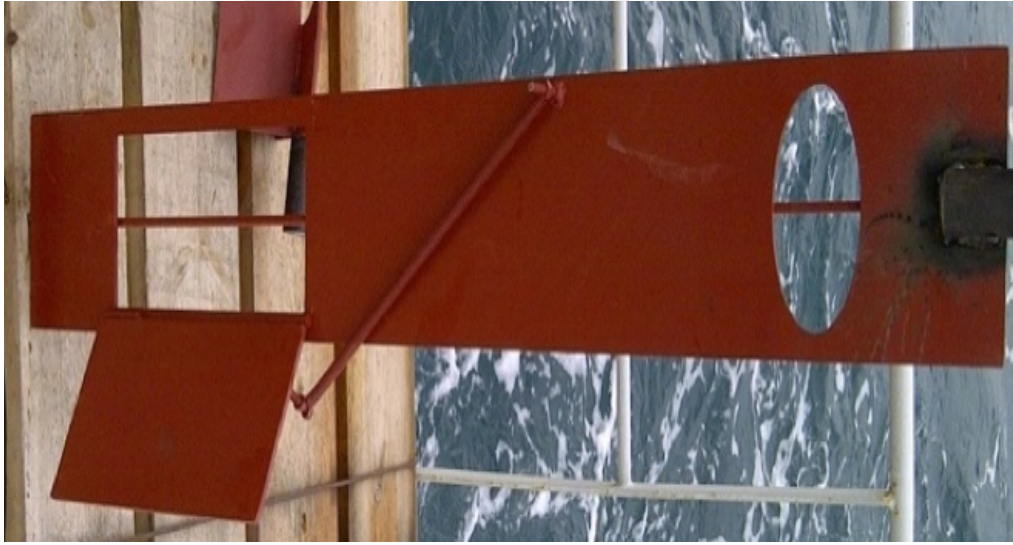
Şekil 22.Çalışma bölgesinde Darriues tipi türbinin test edilmesi (a,b)

Türbinin diğer bağlantıları ve şaft kısmı 316CrNi malzemedен paslanmaz olarak imal edilmiştir. Deniz şartları için en uygun malzeme, kompozit malzemedен sonra paslanmaz

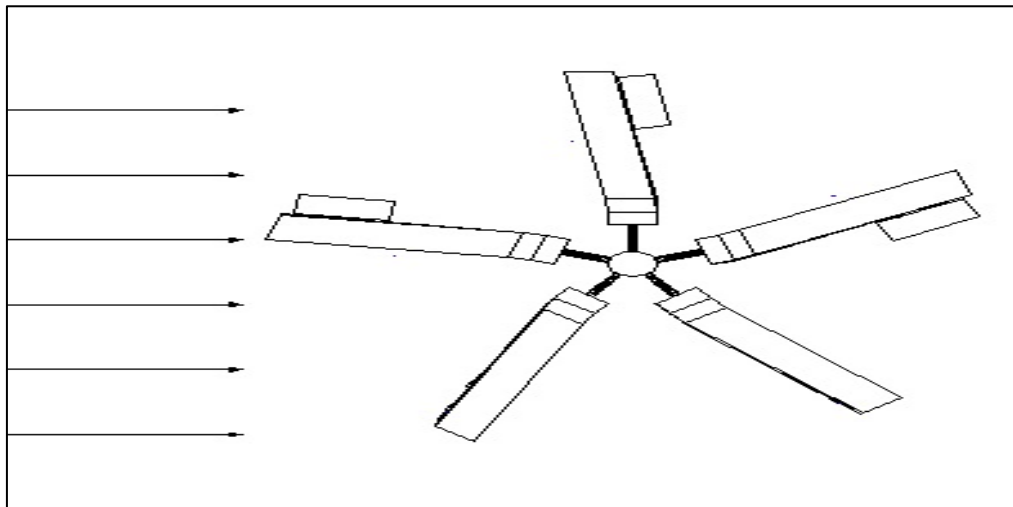
çeliktir.

#### 4.2.2. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Pencere Kanatlı Türbin Tipi

Test platformunun şaftı, hali hazırda dikey eksenli türbinleri test etmeye müsaitken, farklı deneysel türbin tipleri tasarımları deniz test platformunda denenmiştir. Bunlardan ilki özgün olarak tasarlanan pasif kanat kontrolü sağlayan pencere kanat modelidir. Bu tip türbin kanadı itki (drag) ile çalışmaktadır. Birbiri ile 72 derece açı yapacak şekilde 5 kanattan oluşur. Her bir kanatta akıntıya olan konumuna göre açılan ya da kapanan bir adet pencere bulunmaktadır. Bu pencere sayesinde sistemin net torku bir kanadın uyguladığı net torktan daha fazla artmış olacaktır.



(a)

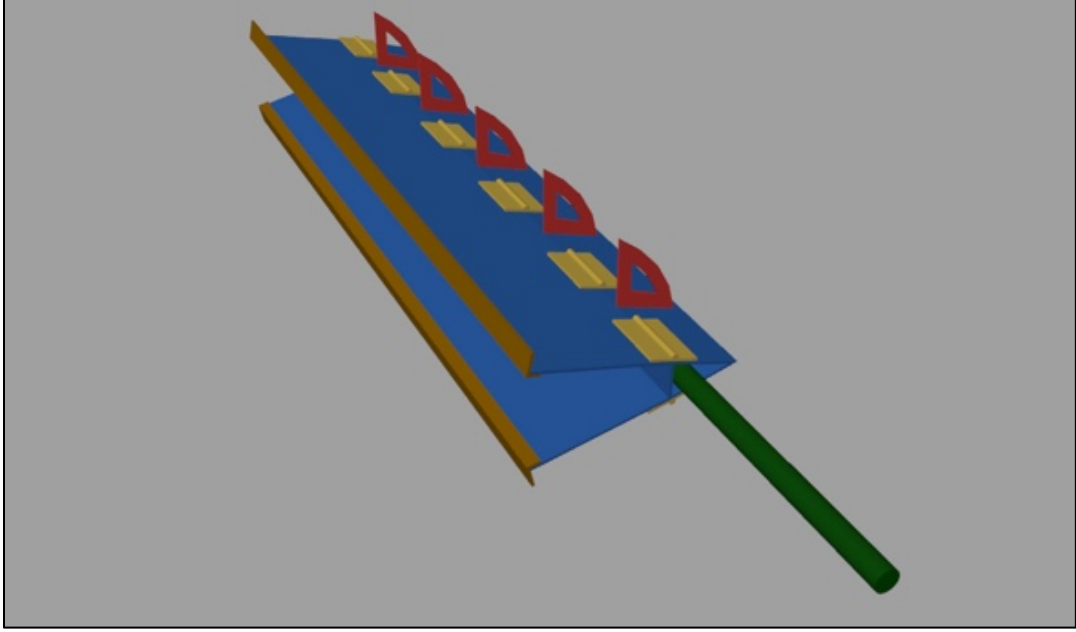


(b)

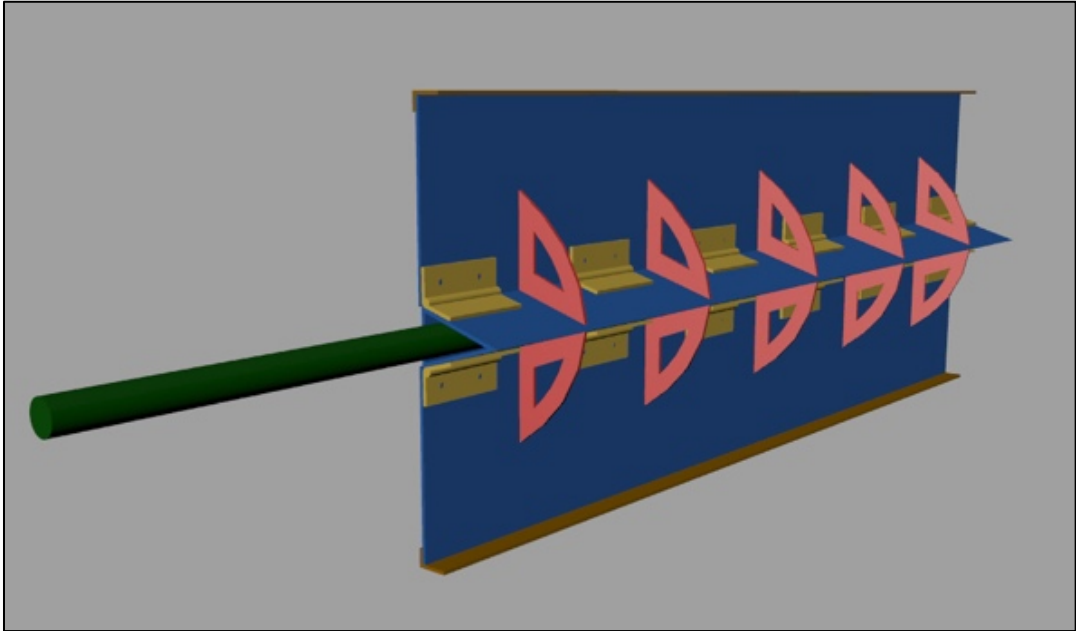
Şekil 23. Deneysel dikey eksenli türbin çalışma prensibi (a,b) (Özgün)

#### 4.2.3. Dikey Eksenli Prototip Türbin – Oynar Kanatlı Türbin Tipi

Deneyisel türbinler üzerinde tasarım çalışmalarına devam ederken, sürüklenme ile çalışan alternatif bir türbin tipi geliştirilmiştir. Pasif bir kanat oynatma mekanizmasına sahip olan bu türbin düşük bir RPM e sahip olmasına rağmen, yüksek bir tork ile enerji üretebilmektedir.



(a)

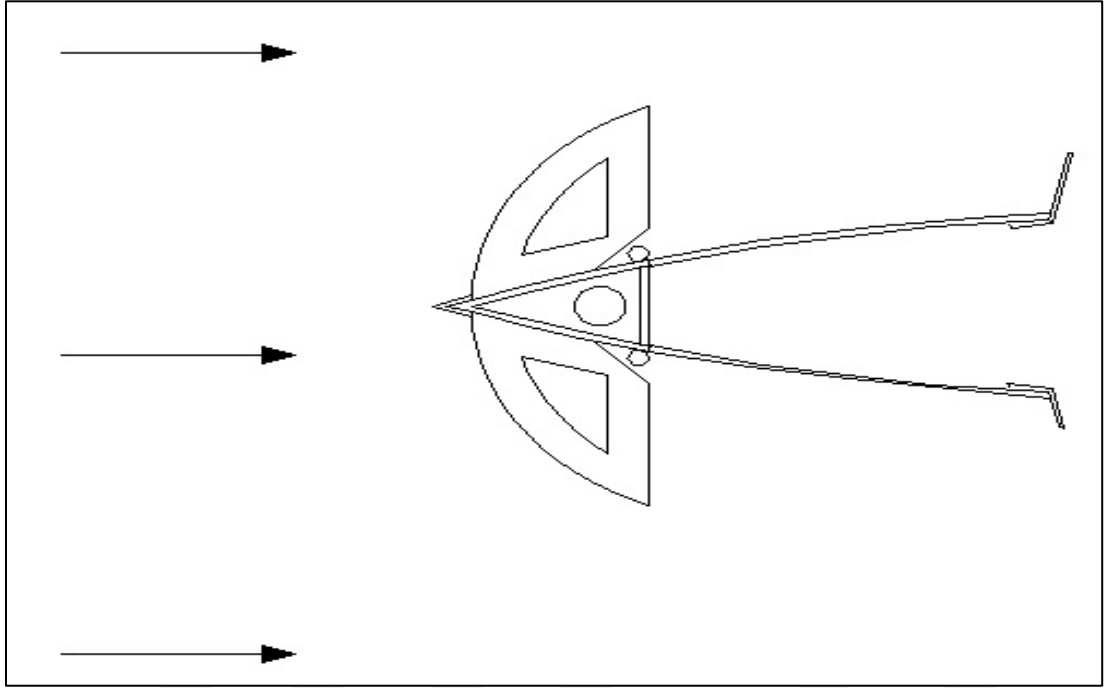


(b)

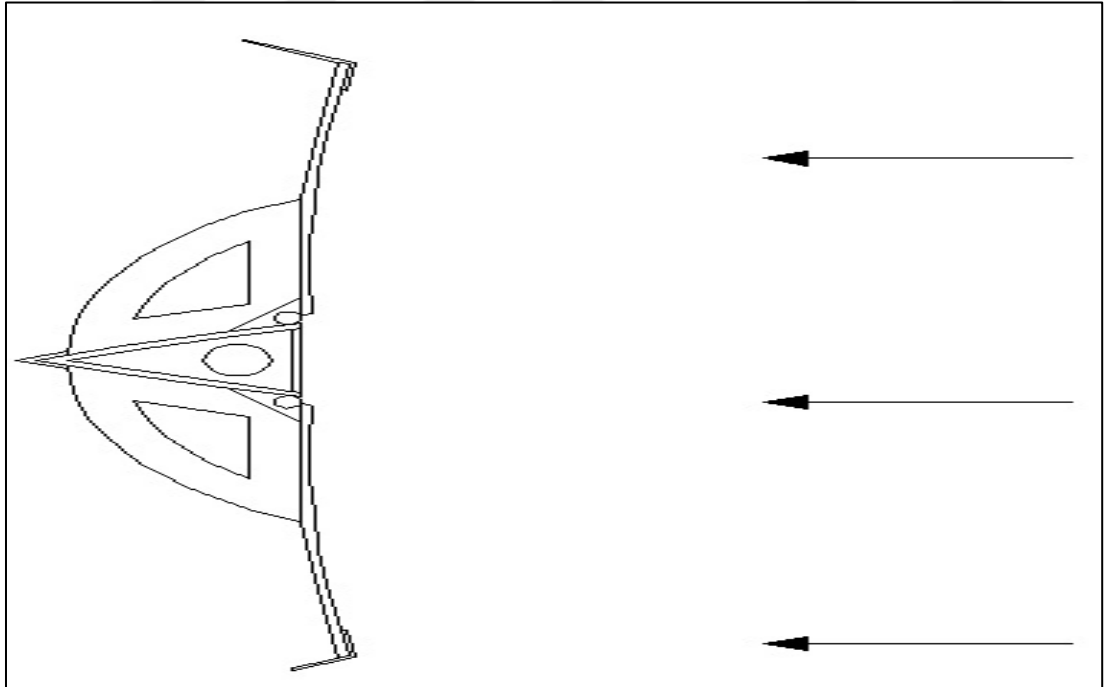
Şekil 24. Deneyisel dikey eksenli türbin çalışma prensibi – Pasif oynar kanatlı (a,b) (Özgün)

Kanat milinin arkasına yerleştirilmiş menteşe benzeri bir sistem ve dayamalar

sayesinde akıntının yönüne göre açılıp kapanmaktadır. Böylelikle dikey ekseninde çalışırken, akıntı kanadı dayamalara kadar tam olarak açık pozisyonda tutarken, tam tersi pozisyondaki kanat akıntı sayesinde kapanmaktadır. Böylelikle net tork artırılmıştır.

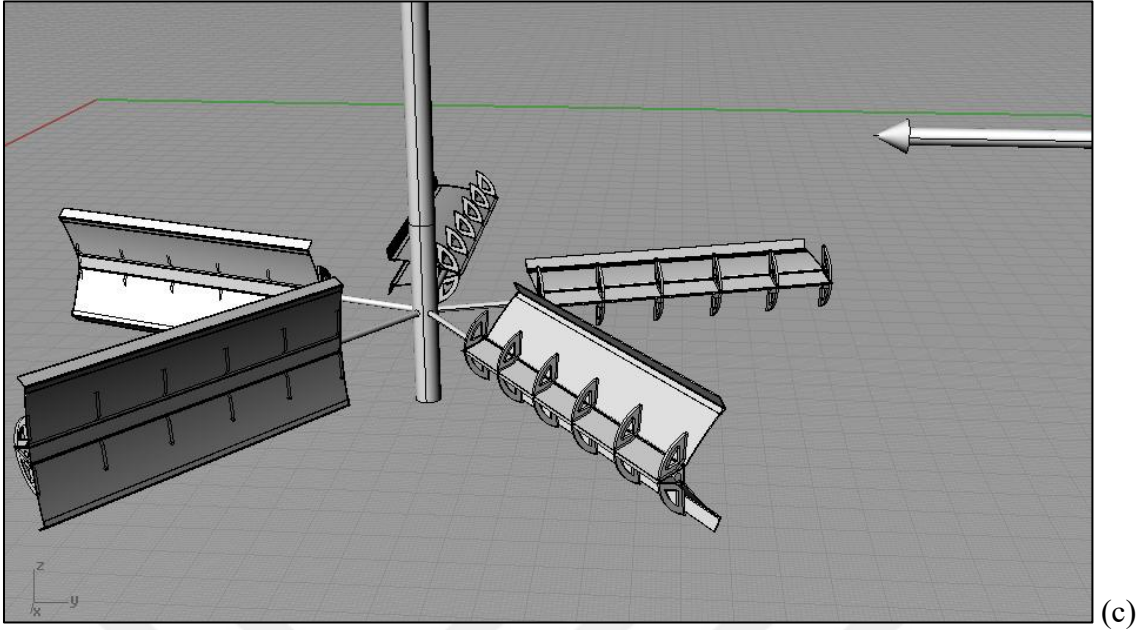


(a)



(b)





Şekil 25. Deneysel türbin tipi çalışma kinematığı, kanat açık ve kapalı durumları(a,b,c)

Bir metre boyunda ve 5 kanatlı olarak tasarlanan türbin ortalama 1,8 m/s akıntı hızında 10 d/d ile çalıştırılmıştır.

#### 4.2.4. Yatay Eksenli Prototip Türbin

Akıntı türbinlerinde dünya uygulamalarına bakıldığında, ticarileşmeye yaklaşmış akıntı türbini modellerinin hepsinin yatay eksenli türbinler olduğu görülmektedir. Benzer durum rüzgâr türbinleri içinde aynıdır. Konvansiyonel uygulamaların hepsi yatay eksenli türbinlerdir. Buna ilave olarak gemi pervanelerinin tasarımları incelendiğinde yine büyük oranda (voith schneider pervaneleri hariç) yatay eksenli uygulamalar benimsenmiştir. Hal böyleyken, yatay eksenli türbinler üzerine de Ar-Ge çalışmaları yapılmıştır.

Önceki tecrübelerin aksine, geliştirilmesi hedeflenen türbinlerin kapasitesinde radikal bir artışa gidilmiştir. Dikey eksenli türbin geliştirilmesi çalışmalarında türbin kapasiteleri 1kW in altında iken yatay eksenli türbin kapasitesi için belirlenen hedef 30kW olmuştur. Bu belirlenirken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmuştur;

- Hali hazırdaki Türbin Taşıyıcı Test Platformuna bağlanabilirlik
- Çalışma yapılan sahanın akıntı hızı ve akıntı kalınlığı
- Çanakkale Boğaz Bölgenin geneline uyarlanabilirlik için ideal boyutlandırma

Türbin taşıyıcı test platformuna yatay eksenli bir türbin için monte edilebilecek en

büyük türbin çapı 4,4 m olarak ölçülmüştür. Bu durumda sahanın akıntı hızı ve derinlik verileri incelendiğinde platformun grid sistemine bağlı olduğu yerdeki derinlik 10 m'deyken, güç üretilebilir akıntı kalınlığının 5 m ile sınırlı olduğu görülmüştür. Yüzeyden itibaren ilk 5 m nin akıntı hızı ortalaması yaklaşık 1,8 m/s civarındadır. 4,4 m çapında bir türbinin bu ortalama akıntı hızlarında üreteceği elektrik hesaplandığında 30 kW'lık bir alternatörün türbin için uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

#### 4.2.5. Yatay Eksenli Türbin Kanadı İmalatı

Çanakkale Boğazı koşulları için geliştirilen akıntı türbini için pervane üretimi oldukça kritiktir. Saha analizleri ve taşıyıcı platformda uygulanabilecek türbin çapları daha önceden incelenmiş olup, türbin çapının 4,4 m olması planlanmıştır. 3 kanatlı olarak tasarlanan türbinde pervanenin boyu 1940 mm'dir. Pervane genişliği ise kökten uca doğru azalmakta olup en en geniş yerde 500 mm'dir.

Ortalama olarak bakıldığında kanat yüzey alanı;

$$1940 \times 500 = 970000 \text{ mm}^2 = 0,97 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

$$F = 1/2 \times \rho \times A \times 1000 \times v^2 \quad (4.1)$$

Burada;

- F : Kuvvet (N)  
ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
A : Türbin süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
v : Akışkanın hızı (m/s)

Bu yüzey alanına çeşitli akıntı hızları için gelebilecek yükler Tablo 4'te listelenmiştir.



Tablo 4

Çeşitli akıntı hızlarında pervane üzerinde oluşacak yükler

Akıntı hızı (m/s)	Pervane yüzeyinde oluşan yük (N)
0.5	125
0.8	320
1.1	605
1.4	980
1.7	1445
2	2000
2.3	2645
2.6	3380
2.9	4205
3.2	5120
3.5	6125
3.8	7220
4.1	8405
4.4	9680
4.7	11045
5	12500

Türbin pervanesi tasarımı için ortalama çalışacağı akıntı hızlarının yanında, ekstrem koşullarda göz önünde bulundurulmalıdır. Anlık bir gemi dalgasının yaratacağı normalin üstünde bir akıntının pervane üzerine olumsuz bir etkisi olmaması için pervane tasarımı belli bir emniyet katsayısı üzerinden ilerlemektedir. Öte yandan gerçek koşulların çok üzerinde bir emniyet katsayısı belirlendiğinde ise, pervane gereğinden kalın ve ağır olacağı için performans kaybı görülecektir.

Pervane imalatı için kullanılacak malzeme deniz koşulları için son derece uygun olan karbon fiber malzemedir. Korozyon sorunu olmayan aynı zamanda ağırlık-mukavemet oranı çok üstün bir malzeme olan karbon fiber sayesinde kanat oldukça ince ve hafif olarak imal edilmiştir.



Şekil 26. Karbon fiber türbin kanadı boy 1940mm, genişlik 500mm (Özgün)

Karbon fiber türbin kanadı imalatı için karbon fiber filament ve örgü elyaf beraber kullanılmıştır. Türbin boyuna mukavemeti fitil elyaflar sağlamaktadır. Her bir fitil elyaf demedi, kanat köküne kadar gelmektedir.



Şekil 27. Karbon fiber türbin kanadı yayılı yük testi (Özgün)

Yukarıdaki yayılı yük testinde su altında çalışırken 2,6 m/s’de maruz kalacağı yük altındaki kanadın eğilmesi test edilmektedir. Her bir ağırlık 17,5 kg gelmekte olup toplamda 19 adet olarak pervane yüzeyine yayılı yük vermektedir. Yukardaki test hem mukavemet testi olup aynı zamanda çeşitli akıntı hızlarına karşılık gelen yük değerlerinde kanat ucunun rotora göre pozisyonlarını göstermektedir. Kanat ucunun fazla eğilmesi türbin pervanesinin akıntıyı hareket enerjisine çevirirken daha fazla kayba uğramasına neden olmaktadır. Malzeme olarak karbon fiber seçilmesinin bir diğer nedeni de elastikiyet modülünün cam elyaf veya aramide göre çok yüksek olmasıdır. Yüksek elastikiyet modülü sayesinde pervane cam elyaf veya aramide göre daha az esneyecek ve daha rijit bir duruş sağlamıştır.

Takviye Türleri	Gerilme Dayanımı (MPa)	Gerilme Modülü (GPa)	Özgül Ağırlık	Özellikler
Cam	3000 - 5000	72 - 82	2.48-2.60	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
Karbon/ Grafit	2500 - 3000	200 - 700	1.75-1.96	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet
Aramid	2750 - 3000	82 - 124	1.44	İyi spesifik özellikler, Orta maliyet
Boron	3500	400	2.55	Yüksek modül, Yüksek maliyet
Polyester	1000	9	1.38	İyi darbe dayanımı ve kimyasal özellikler
Naylon	950	5	1.16	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Polietilen	1200 - 1500	40 - 60	0.97	Düşük yoğunluk, İyi darbe dayanımı, Düşük derece

Şekil 28. Kompozit malzemelerin takviye türlerinin karşılaştırılması (Afşar, 2018)

Mukavemet ve eğilme testlerinin ardından türbin kanatları rotora montaja hazır hale getirilmiştir.



Şekil 29. Karbon fiber olarak üretilen kanatların türbin rotoruna montajı (Özgün)

Türbin rotoruna bağlanan kanatlar toplamda 4,4m'lik bir çap oluşturmaktadır. Böylelikle rotorun süpürme alanı 15,2 m<sup>2</sup> olarak nihai hale getirilmiştir.

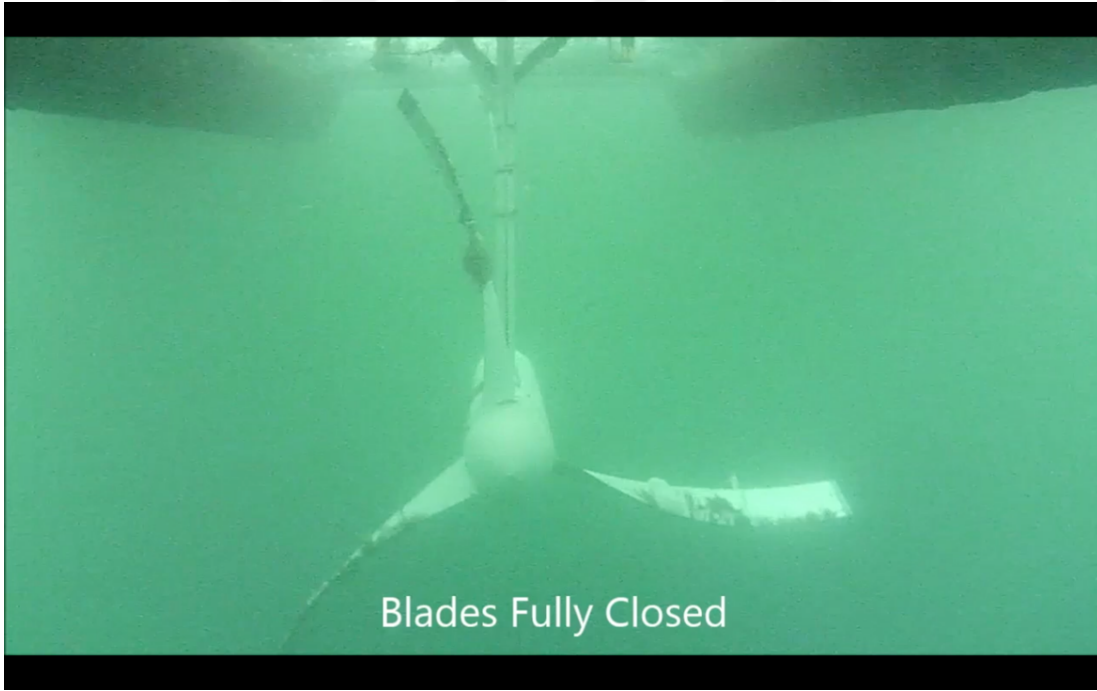
#### **4.2.6. Türbin Kanat Açı Kontrol Sistemi, Dişli Kutusu, Volan Sistemi ve Alternatör**

Saha çalışmalarından toplanan akıntı hızı verileri incelendiğinde, akıntının gün boyunca sabit bir hızda akmadığı ve oldukça düzensiz olarak hızında değişimler olduğu görülmüştür. Bu değişen hızlarda yüksek verimde güç üretmek için türbin kanatlarının açılarının akıntı hızına göre değiştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında, türbinin bakım veya arıza durumunda durdurulması için kanat açısı kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Rüzgâr türbinlerinde de benzer bir açı kontrol sistemi farkı rüzgâr hızları için belirlenmiş kanat konumlarını kontrol eder ve kanat verimini maksimumda tutmaya çalışır.





(a)



(b)

Şekil 30. Türbin kanatları tam açık konumu ve tam kapalı konumu (a,b) (Özgün) (Video link: <https://www.youtube.com/watch?v=O2RjnGaPDk8>)

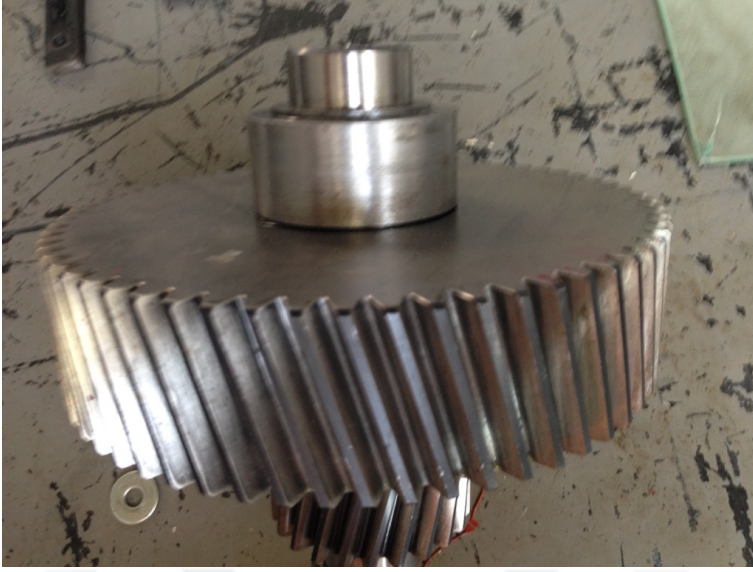
Şekil 30'da kumanda panosunun türbin kanatlarını tam açık konumdan, tam kapalı konuma getirdiği durumlar görülebilir. Tam açık konumda 2 m/s'deki devir sayısı ortalama 22'dir. Türbin kanadı tam kapalı konuma geldiğinde ise türbin dönüşü durmaktadır.

Böylelikle herhangi bir bakım veya olağanüstü durumda türbin kendini kanatlarını kapatarak emniyete almaktadır.

Türbin için seçilen alternatör 30kW gücünde 750 d/d'lık alternatif akım alternatörüdür. Alternatörün bu devir sayısını yakalaması için bir dişli kutusuna ihtiyaç duyulmaktadır. Türbin kanatlarının ortalama devir sayısı 22 olarak kabul edildiğinde, alternatörün ihtiyaç duyduğu 750 d/d'ye çıkmak için 34 katlık bir artış gerekmektedir. Bu artış ise planet tipi bir dişli kutusu ile çözülmüştür.

Ana dişli, kovan dişliler ve dişlilere bağlı millerden oluşan Şekil 31'de fotoğrafları paylaşılan dişli kutusu sayesinde pervanenin devir sayısı alternatörden güç üretimini mümkün kılacak şekilde artırılmaktadır.

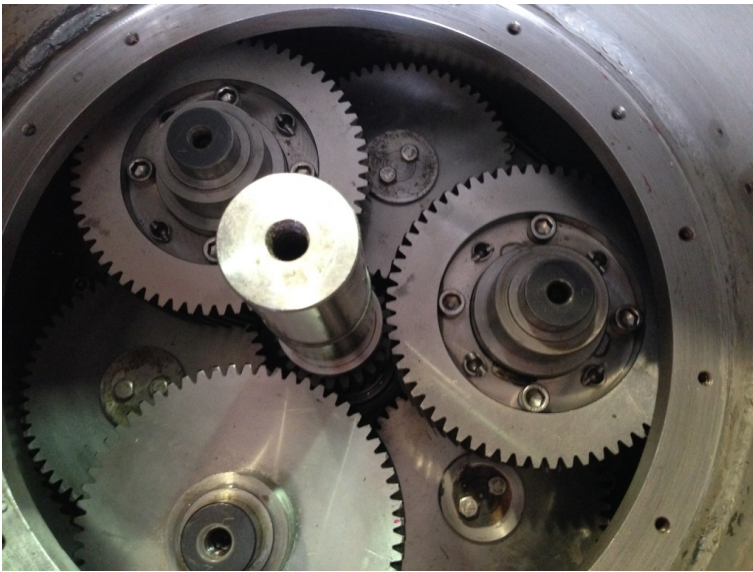
Türbin gövdesinin içinde bulunan ve enerji üretimi için gerekli olan bir diğer ana unsur da volan sistemidir. Bu alt bileşen sayesinde akıntı hızındaki küçük anlık düşmeler düzeltilmektedir. Türbinin oldukça kritik parçası olan volan kütesinin dönerken yarattığı moment sayesinde pervanedeki devir düşse bile türbinin elektrik üretmesini bir süre sağlayacak kadar güç barındırmaktadır. Seçilen alternatörde 750 d/d altına düşüldüğü durumda kontrol panosu alternatörün güç üreten kısmını devreden çıkarır ve bir motor konumunda çalıştırmaya başlar. Anlık akıntı hızlarındaki düşmeler veya dalga etkisinden kaynaklı durumlarda türbin pervane devri düşse bile volan alternatör devrini 750 d/d üstünde tutmaya çalışmaktadır. Volanın depoladığı güç kumanda panosunun sürekli alternatörden motora, motordan alternatöre geçmesine engel olmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 31. Türbin dişli kutusu parçaları ve montajlı görünümü (a,b,c) (Özgün)



Türbinin elektrik üretimini gerçekleştiren asli unsuru olan alternatördür. Türbin için 30kW gücünde, 3 faz, 400 volt ve 50 Hz'lik 8 kutuplu bir alternatif akım alternatörü seçilmiştir. 750 d/d'nin üzerine çıktığında güç üretimi başlamaktadır. Alternatör akımının yönüne göre motor olarak da kullanılabilir. Alternatörün miline monte edilen bir devir sayacı kumanda panosuna anlık olarak alternatörün devir sayısını göstermektedir.



Şekil 32. Türbin alt bileşenlerinden volan (Özgün)



Şekil 33. Türbinin alternatörü AC 30kW gücünde (Özgün)

### 4.3. Türbin Taşıyıcı Barç Sistemi ve Türbin Taşıyıcı Servis Platformu

Akıntı enerjisinden elektrik üretimi için türbinlerin bağlanacağı barç sistemleri çeşitli şekillerde olabilmektedir. Katamaran tipi barçlar bunların en sık kullanılanlarındadır. Katamaran tipi barçların üstün yük taşıma kapasitesine ilave olarak en önemli özellikleri dengeleridir. Özellikle üzerinde çalışma yapılması için deniz üzerinde sağlanacak bu denge çok kritiktir. Türbinlerin bakım veya arıza durumlarında müdahale için üzerinde çalışılmaya müsait ve deniz koşullarından en az etkilenen dengeli sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 34. Türbinin taşıyıcı barç üzerindeki nakliyesi (Özgün)

Çanakkale Bölgesi'ndeki elektrik üretim sahası için 12 metre boyunda ve 6 metre eninde olan, yüzdürücü tüpleri 1 metre yüksekliğinde toplamda 20 ton yük taşıma kapasitesine sahip katamaran tipi bir barç tasarlanıp imal edilmiştir. İçerisinde 2 metrede 1 adet olacak şekilde dikey destekler (posta) ve kapama saçları bulunmaktadır. Olası bir çarpışma veya su alma durumunda postalar arasında su geçişkenliği olmayacaktır.



Şekil 35. Türbinin taşıyıcı barç üzerindeki bakım konumu (Özgün)

Türbin taşıyıcı barç sistemi sayesinde, türbinde meydana gelen basit arızalar, türbini karaya götürmeden barcın üzerinde çözülmesini mümkün kılmaktadır.

Elektrik üretimi yapılacak süre boyunca, türbinin karaya nakliyesi ve yine karadan denizdeki türbin taşıyıcı barç sistemine olan nakliyesi için bir servis platformu ihtiyacı doğmuştur. Bunun için türbin ağırlığı ve boyutlarına göre servis platformunun boyutlandırılması çalışılmıştır. Bu kapsamda servis platformunun 6 m boyunda ve 4,5 m eninde olmasına karar verilmiştir. Türbin taşıyıcı servis platformu için malzeme seçiminde yenilikçi bir yaklaşım kullanılarak katamaran tipinde imal edilecek platformun ana taşıyıcı tüplerinin ESP strafordan yapılmasına karar verilmiştir. Yüksek yoğunluklu bir strafor tercih edilip, straforun hafifliğinden faydalanılarak aynı zamanda mukavemetini artırıcı tedbir de alınmıştır. 6 m boyunda ve 1x1 m ebatlarında olan strafor servis platformunun 1 tüpünü oluşturmaktadır. Toplamda 2 adet taşıyıcı tüp imal edilmiştir. Deniz koşullarındaki dalga ve üzerine gelebilecek darbe ve çarpmalarda gövdeyi taşıyan straforun mukavemetini arttırmak için cam elyaf ve beyaz çimento ile güçlendirilmiştir.





Şekil 36. Türbinin taşıyıcı servis platformunun denize indirilmesi (Özgün)

Türbin taşıyıcı servis platformu üzerindeki 4 tonluk türbin ile beraber 14 hp'lik bir tekne ile çekilebilmektedir. Bunu servis platformunun strafor olan hafif yapısı mümkün kılmaktadır.

#### **4.4. Mooring ve Platform Kurulumu**

Deniz tabanına çapalama, akıntı türbini ve taşıyıcı platformunu, deniz yüzeyinde sabit kalmasını sağlamak için kullanılan bağlantı düzeneğine “Mooring Sistem” denilir. Platform ve türbin gerektiğinde, bakım veya onarım gibi durumlarda, bağlandığı bu sistemden demonte edilip kıyıya çekilebilmektedir. Bu sistemin ekipmanları çapa, zincir, kollektör, halat, paslanmaz çelik halat ve ışıklandırılmış şamandıra ve bunların bağlantı parçalarıdır. Türbin taşıyıcı platform yerine getirilmeden önce, bu grid sistemi planlandığı gibi kurulmalıdır. Her sistem ekipmanının özel bir işlevi ve faydası vardır. Çapalar, platformun büyüklüğü ve tonajına göre seçilir. Akıntı yönü tarafına daha fazla sayıda olmak

üzere ters akıntılar da hesaplanarak bir hat boyuna çeşitli sayılarda atılır. Bizim incelediğimiz sistemde Boğaz girişi tarafında 500 kg'lık çapalardan 4 adet, boğaz çıkışı tarafına da 2 adet atılması planlanmıştı. Alınan akıntı ölçümü sonuçları değerlendirildiğinde kuvvetli olan üst akıntının Çanakkale Boğaz'ının Ege Denizi yönündeki akıntı sistemi ve platformun kendi ağırlığı ve üzerine konulacak türbin vb makine teçhizatın oluşturacağı yüklerle beraber, akıntının platform üzerine yapacağı sürüklenme etkisi de de dikkate alınarak, Platform bağlantı sisteminin tasarımı, mooring sisteminin (çapa, zincir, halat vb ekipmanların) deniz tabanına sabitlenmesi ve platformun mooring sisteme entegrasyonu yapılarak deniz yüzeyinde akıntı yönüne uygun vaziyette konumlandırılması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ile Mavi İda Enerji firması arasında gerçekleştirilen İşbirliği Proje Protokolü kapsamında gerçekleştirilmiş ve Platform kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Mooring ekipmanlarından olan ve çapaya omega kilitle bağlantısı yapılan zincir de sistemin önemli parçalarındandır. Verdiği ağırlık sayesinde platformun stabilitesini daha da sağlamlaştırmaktadır. Zaman zaman karşılaşılabilecek büyük lodos dalgalarına karşı platformun dengesini ve çapalara gelen kaldırma yükünü azaltmaktadır. Her zincire 10 m olarak eklenmiş ve diğer uçuna paslanmaz çelik halat bağlanmıştır.

Kollektör, şamandıranın altına bağlanmıştır ve işlevi paslanmaz çelik halatı platforma giden halat ile bağlamaktır. Şamandıranın tepesindeki çakar fener deniz trafiği için uyarıcı işlevi görmektedir. Özellikle geceleyin teknelerin seyiri sırasında platformun sınırlarını belirler ve olası kazaları önlemede çok önemli bir görevi vardır.

Çapa, çapa ucuna bağlanmış zincir ve zincire omega kilit ile bağlanmış halatın su altında görünümü ve konumu Şekil 39' da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 37. Mooring ekipmanları, şamandıra, çapa, zincir, kollektör ve halatlar (a,b,c) (Özgün)





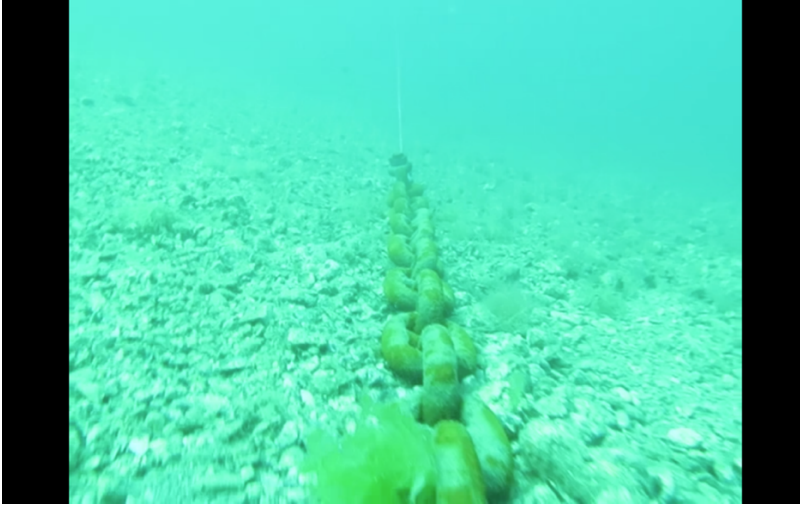
Şekil 38. Platformun çalışma sahasına kurulumu (Özgün)

Kurulum sonrası çekilen bu fotoğraflar ile sistemin eksiksiz bir şekilde tasarlandığı gibi uygulandığı kayıt altına alınmıştır. Her bir çapa, çapa ucuna bağlanan zincir ve halatların bağlantıları kontrol edilmiş ve sistem güvenliği sağlanmıştır. Kurulan bu sistem zorlu deniz koşullarına maruz kalmış ve kusursuz bir performans sergilemiştir.

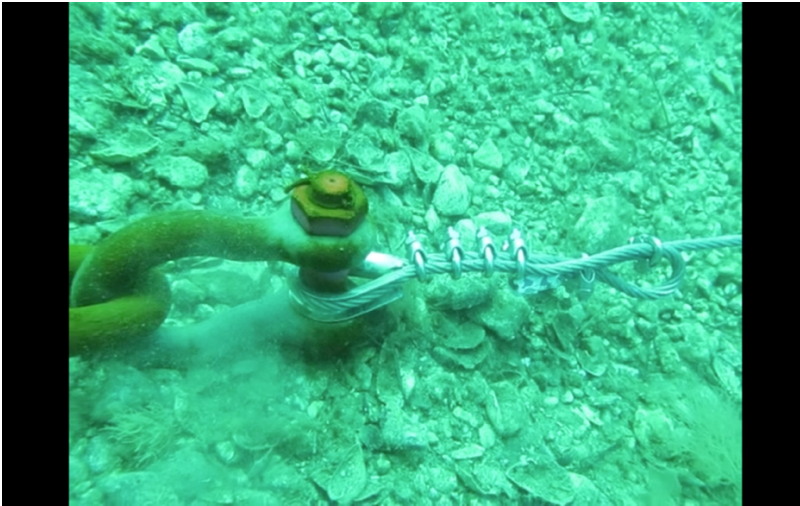




(a)



(b)

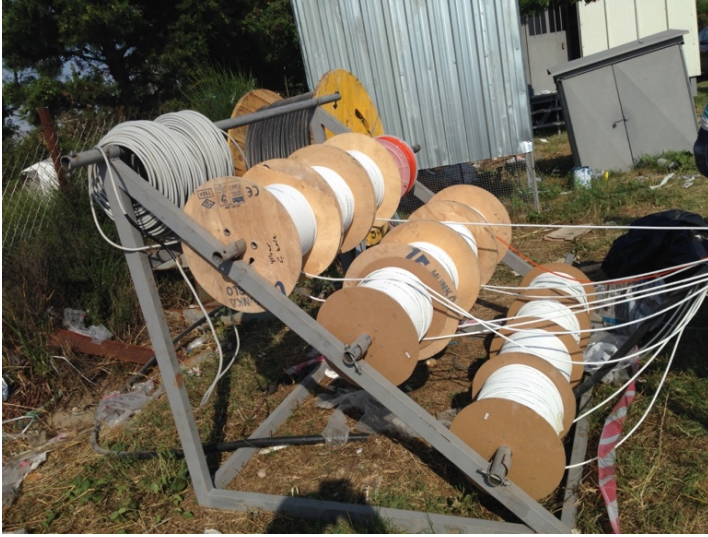


(c)

Şekil 39.Çalışma sahasından mooring sistemi ekipmanları (a,b,c) (Özgün)

#### 4.5. Türbin Kumanda Panosu ve Sualtı Kablosunun Döşenmesi

Türbin üzerindeki platformun grid sistemine montajından sonraki iş adımı sualtı kablosunun döşenmesidir. Bunun için izlenen yol kablo demetini karada hazırlayıp koruyucu plastik bir borunun içine geçirmek ve sonrasında bunu deniz üzerindeki platforma servis teknesi kullanarak ucunu götürmektir. Türbinin kumanda panosu ile iletişimi sağlamak için 11 adet kumanda kablosu, enerjiyi iletecek ana güç kablosu ile beraber fren sistemi için bir adet pnömatik hortum ile beraber koruyucu ana borunun için 250 m olarak karada yerleştirilmiştir.



(a)

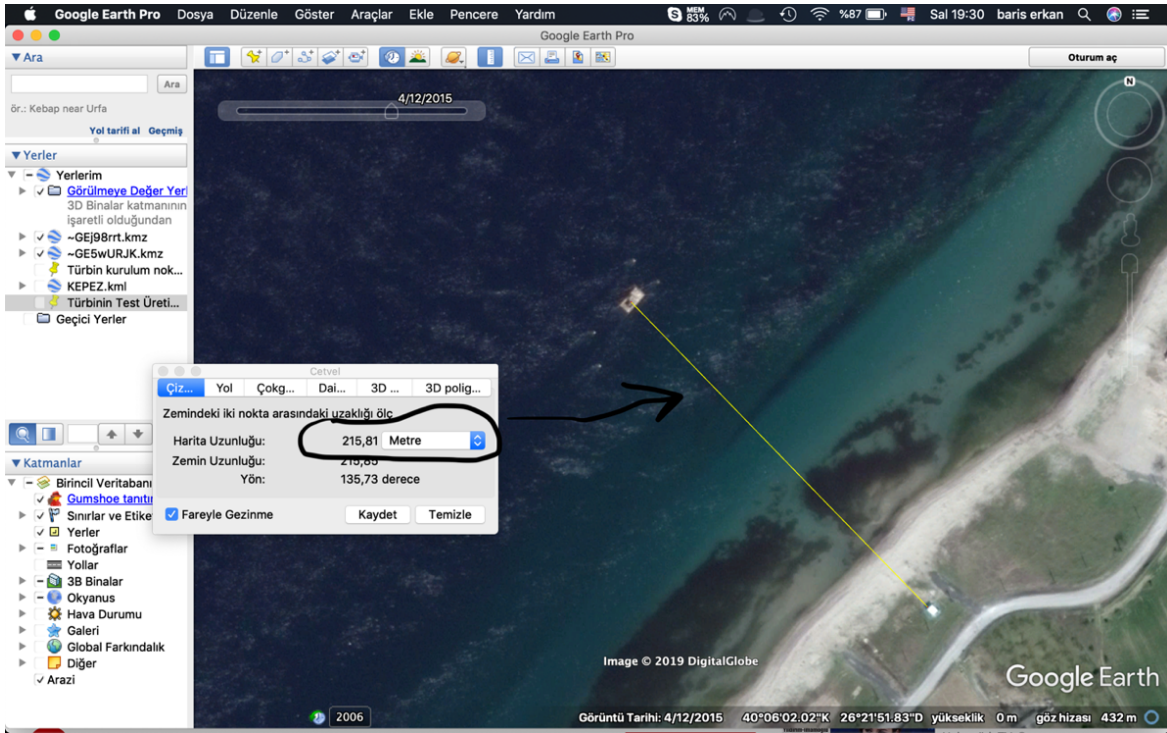


(b)

Şekil 40. Ana güç kablosu, türbin kumanda kabloları ve pnömatik hortum demetlenmesi (a,b) (Özgün)

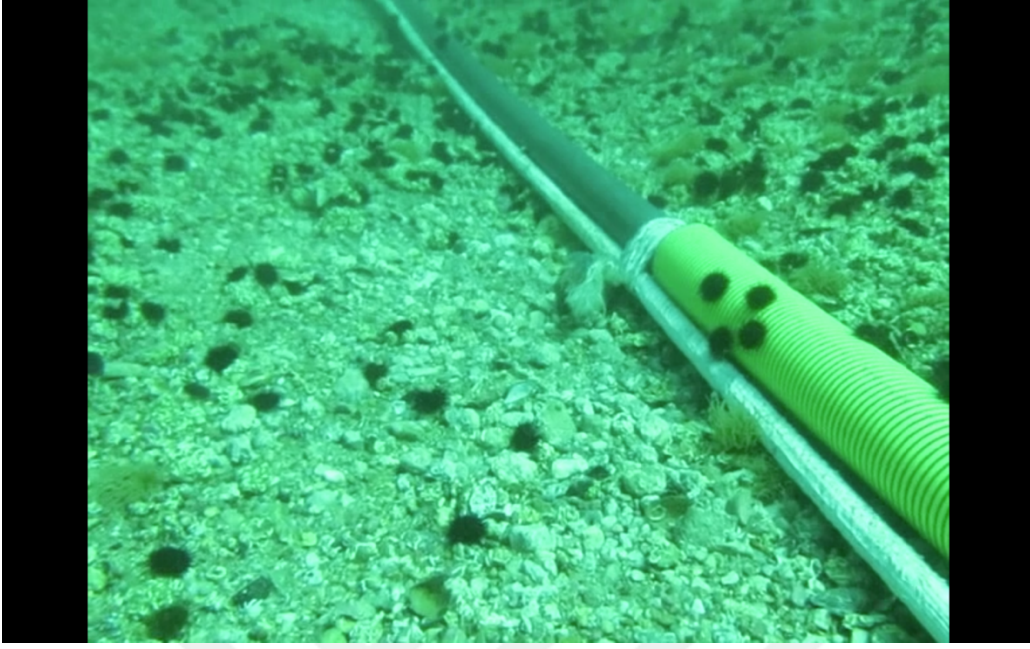


Türbin kumanda kabloları, türbinin içindeki kanat açılı kontrol sistemi, devir sayısı kontrolü, kaçak sensörleri ve elektriksel değerlerin analizinde karadaki kumanda panosu ile türbinin iletişimini sağlamaktadır. Ana güç kablosu ise türbin alternatörünün ürettiği elektriği karadaki elektrik panosuna getirmektedir. Kabloların yanında aynı demetin içinde türbinin acil durum fren sistemi için 6 mm çapında phönamatik bir hortum geçmektedir. Bu kablo ve phönamatik hortum demetini sualtında ve karada korumak üzere dışına geçirilen boru sualtı için sızdırmazlık bağlantı parçaları ile beraber montajlanmıştır. Kumanda ve güç kablolarının girişleri karada bulunan türbin kontrol merkezine kazı yapılarak toprağa gömülmüş olarak getirilmiştir.



Şekil 41. Kablo hattının çekildiği güzergâh platform ve kontrol panosu arasındaki mesafe (Özgün)

Sahada kablo çekilmesi ile ilgili çalışmalar bir tekne yardımıyla karaya uzatılmış 250 m'lik kablo demetinin deniz üzerindeki katamarana getirilmesi ve ilgili kabloların türbinin panosuna girilmesi ile bitirilmiştir. Sualtı kablosunu dışarıdan gelebilecek tehditlere karşı korumak için belli aralıklarla kablo üzerine yastıklama işlemi yapılmıştır. Karada önceden hazırlanan çuvallara kum doldurulması ve ağızlarının kapatılmasının ardından bu yastıklar kablunun üzerine dizilmiştir.



Şekil 42. Sualtı kablo hattının çekilmesi (Özgün)

Bu dizme işlemi sonrasında U şeklinde kıvrılmış demir çubuklar ile çuvallar birbirine tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 43. Kablo hattının çapa yoluyla taranmasından korumak için yastıklama operasyonu (Özgün)

#### 4.6. Açık Deniz Kafes Sistemleri ve Yapısal Özellikleri

Ülkemizde kafes balıkçılığının kıyı alanlarından açık denize taşınması ile ilgili 2006 yılında alınan kararlar uygulamaya giren yönetmelikle ağ kafes tesisleri açık denizlere taşınmış ve 2006 yılından beri kıyıdan uzak, yüksek akıntılı derin deniz sahalarında (0,6 mil, 10 cm/sn, 30 m) üretime devam etmektedir. İlgili mevzuat denizlerde faaliyet gösteren balık çiftliklerinin çevresel açıdan etkin yönetiminin sağlanması amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca 28.10.2020 tarih ve 31288 sayılı Resmi Gazetede "Denizlerde Faaliyet Gösteren Balık Çiftliklerinin Çevresel Yönetimi" Yönetmeliği ile güncellenmiştir.

Ağ kafes balıkçılığının açık deniz ortamına taşınmasıyla birlikte, yüksek enerjili deniz sahasındaki koşullara dayanıklı malzeme ve teknolojik sistemlerin kullanılması zaruri hale gelmiştir. Günümüzden 10-15 yıl öncesine kadar kafes sistemleri ve malzemeler yurtdışından temin edilirken, artık günümüzde ulaşılan noktada yerli ürünleri ve kafes malzemeleri kullanılmaktadır. Ağ kafes tesisinde genellikle yüzer tip, yuvarlak şekilli gravitasyonel kafesler kullanılmaktadır. Yüzdürücü olarak ana konstrüksiyon yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) (high density polyethilen, Hi-DPE) malzeme kullanılmaktadır. Standart kafes ölçüsü olmayıp, genellikle yetiştirilen balık türüne ve

büyüklüğüne göre kafes modelleri ihtiyaca göre özel üretilmektedir. Dairesel kafes çapları genellikle 20 m ve üzerinde olup, 20 m çaplı ağ kafese bağlanan ağın derinliği de 14 m civarında ayarlanmaktadır. Normal şartlarda uygun bir su sirkülasyonu olan ortamlarda ağ kafeslerde ağın en derin noktası ile deniz tabanı arasındaki mesafenin 8-10 m kadar olması önerilmektedir. Dolayısıyla, ülkemizde yönetmeliklere göre derinliğin en az 30 m olması gerektiği dikkate alındığında, 14 m'lik ağ derinliklerinin 30 m koşullarında oldukça uygun olduğu görülmektedir. Zira 30 m derinliğindeki bir ortamda deniz tabanı ile ağ torba arasında 16 m'lik bir mesafe kalıyor ki, tavsiye edilenin neredeyse 2 katı kadar bir mesafe kalmaktadır.

Alabalık, çipura ve levrek gibi pelajik balıkların dışında ağ kafeslerde orkinos yetiştiriciliğinde nispeten büyük çaplı kafes sistemleri kullanılmaktadır ve yine YYPE malzemenin yapılan ana yüzdürücü yapı 50 m çapa kadar artırılmaktadır. Ağ derinlikleri ise 14-20 m'ye kadar indirilebilmektedir.

Kafesler ve braketlerde genellikle boru polietilen veya galvanizli metal malzemelerden imal edilmektedir. Bu sebepten deniz suyunun korrozif etkisinden en az şekilde etkilenmektedir. Kafeslerin kullanım ömrünü arttıran diğer bir önemli faktör de boruların içlerinin strafor ile doldurularak hasar görme riskinin en aza indirilmesidir. Kafes sistemleri dairesel ve dikdörtgen olmak üzere iki tip olabilir;

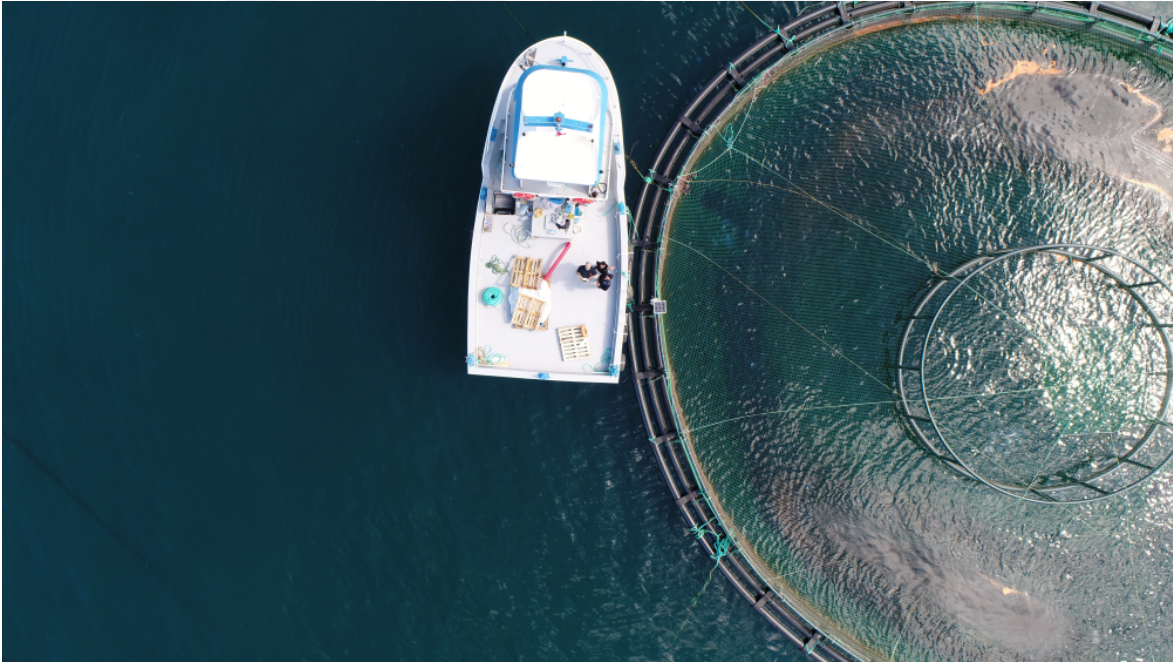
**Dairesel Kafes sistemleri:** Dairesel açık deniz kafes sistemleri, besi kafeslerinin açık deniz koşullarına ve işletici firmanın beklentilerine uygun şekilde seçilen malzeme ve ekipmanlardan yapılır. En yaygın kullanılan kafes sistemi dairesel kafes sistemleridir.

**Dikdörtgen kafes sistemleri:** Dairesel kafes sistemleri kadar olmasa da yetiştiricilikte kullanılabilir. Kafes sistemlerinin alt bileşenleri olarak şamandıralar, kuş ağ destekleri, uyarı ışıkları, çakar fenerler, düğümlü-düğümsüz ağlar, balık boylama sistemleri, kalite ve kontrol sağlayıcı ürünler sıralanabilir.





Şekil 44. HDPE (high density polyethylene, yüksek yoğunluklu polietilen) malzemeden üretilmiş açık deniz kafes görünümü



Şekil 45. HDPE (high density polyethylene, yüksek yoğunluklu polietilen) malzemeden üretilmiş açık deniz kafesin üstten görünümü



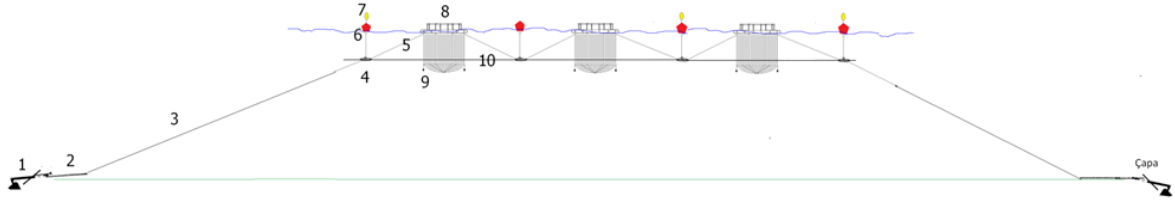


Şekil 46. Açık denizde kurulu, 5x3 grid düzeninde 15 kafesten oluşan ağ kafes tesis görünümü (Barç sistem entegre edilmemiş)



Şekil 47. Açık denizde kurulu, 8x3 grid düzeninde 24 kafesten oluşan ağ kafes tesis görünümü (Barç sistem entegre edilmemiş)

Açık denizde deniz tabanına uygulanan moring sistemi su altı bağlantı yapıları Şekil 48'de şematize edilmiştir. Çalışma sahasında üçlü kafes dizisinden oluşan bir ağ kafes sisteminin (1'li grid serisi) deniz yüzeyinden görünümü Şekil 49'da sunulmuştur.



Şekil 48. Üçlü kafesten oluşan bir ağ kafes sisteminde deniz tabanına uygulanan bağlantı (mooring) yapılarının şematik görünümü

- |                |                 |                        |
|----------------|-----------------|------------------------|
| 1: Gemi Çapası | 2: Çapa zinciri | 3: Çapa halatı         |
| 4: Kolektör    | 5: Kol halatı   | 6: Yüzdürücü şamandıra |
| 7: Çakar fener | 8: Yüzdürücü    | 9: taban çerçevesi     |
|                |                 | 10: Grid               |

halatı



Şekil 49. Çalışma sahasında üçlü kafes dizisinden (üçlü grid serisi) oluşan bir ağ kafes sisteminin deniz yüzeyinden görünümü

#### 4.7. Açık Deniz Kafes Balıkçılığında Yemleme Sistemleri ve Otomasyona Geçiş

Şekil 50' de görüldüğü gibi, 1990'lı yılların başına kadar küçük çaplı kafeslerde düşük hacimli olarak el ile besleme uygulanmaktaydı. Bu tarihten sonra 1995 yılının başlarında, küçük hacimli olarak bir zamanlayıcı ve sayıcı yardımıyla otomatik besleme yapılmaya başlanmıştır. Şekil 52'deki tesiste yarı otomatik besleyicilerin enerjisi üretmek için küçük rüzgâr türbinleri dahi kullanılmıştır. Ancak 2000'li yılların başında küçük hacimli üretimden gelişmiş ve daha büyük tesislere geçildiğinde el ile besleme artık maliyet açısından da otomasyonlu sistemlerden daha pahalı bir metot haline gelmiştir. Günümüzde kafes balıkçılığında daha büyük yapısal hacimlere ulaşılmış ve 50 m çapında ve birçok kafeste aynı anda yapılmakta olup besleme sistemleri otomasyonlu olarak sağlanmaktadır. Şekil 53' de görüldüğü gibi ağ kafes sistemleri çapa ve grid sistemleri ile yere ve birbirine bağlanmıştır.



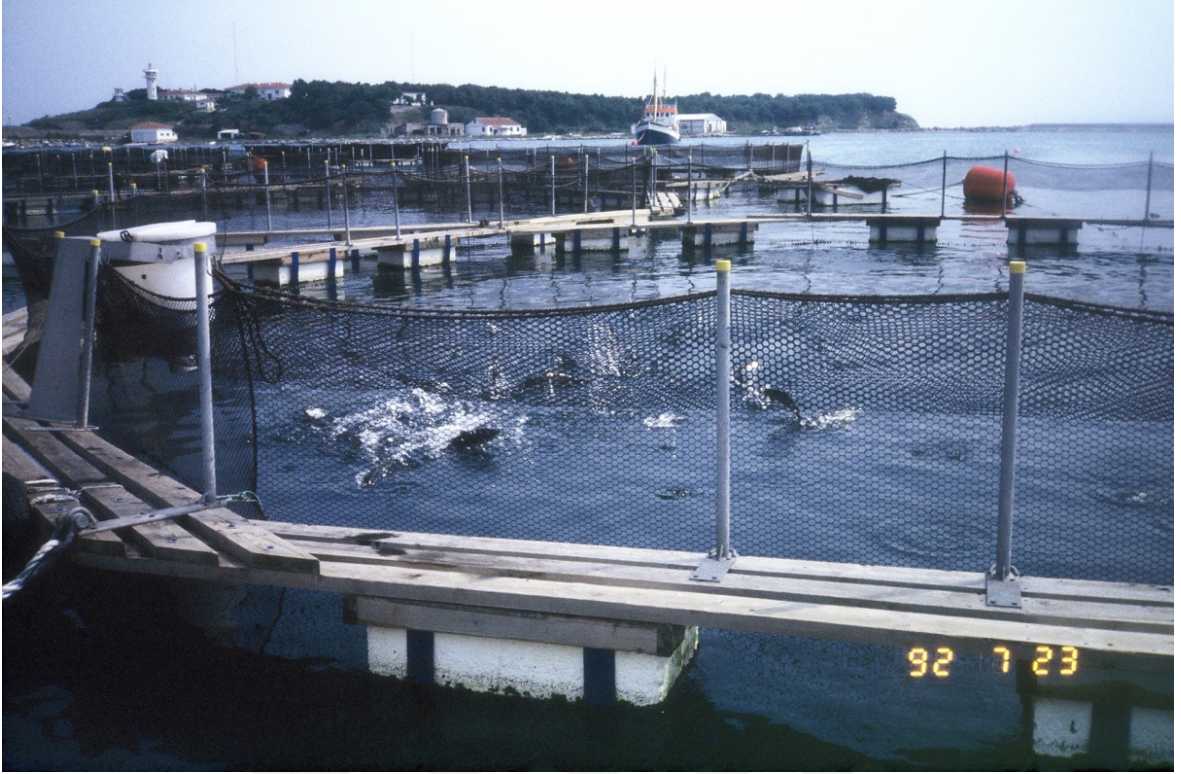


Şekil 50. Küçük ahşap kafeslerde somonların el ile beslenmesi görseli (Temmuz 1992, Kefken Adası, Karadeniz, Murat Yiğit)



Şekil 51. Yemleme küreği kullanılarak elle yemleme (Akuamaks, Serdar Yıldırım'ın izniyle)





Şekil 52. Rüzgar türbini ile enerjisini üreten yarı otomatik zaman kontrollü besleme sistemi (Temmuz 1992, Kefken Adası, Karadeniz, Murat Yiğit)



Şekil 53. Merkezi bir platform üzerinden kontrol edilen tamamen otomasyonlu pnömatik besleyici sistem (Kasım 2018, Sığacık Koyu, Murat Yiğit)

## 4.8. Açık Deniz Kafes Tesislerinde Kullanılan Barç Sistemleri ve Teknik Özellikleri

### 4.8.1 Barç Sistemleri

Deniz teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte denizlerde endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla, özellikle açık deniz ortamlarında arama-tarama, bilimsel araştırma, petrol ve doğalgaz sondaj ve üretim vb çalışmalarda kullanılan yenilikçi inovatif-teknoloji ürünü Barç sistemlerin günümüzde ağ kafes tesislerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Farklı boyutlarda imal edilebilen açık deniz barç sistemleri genellikle yüksek üretim kapasiteli açık deniz ağ kafeslerinde tercih edilmektedir. Özellikle yeni çevre yasasıyla birlikte açık deniz sahalarına taşınmış olan ağ kafes tesislerinde, personel ulaşımı, malzeme, yem vb nakliye işleri gibi deniz yoluyla yapılan taşımacılık maliyetleri artmış durumdadır. Dolayısıyla, günlük yemleme faaliyetleri, periyodik dalış ve sualtı kontrol çalışmaları, dönemsel bakım ve onarım işlemleri, hasat vb çalışmaların sürekli ana karaya bağlı olması işletim ve üretim maliyetlerini artırarak firmanın ekonomik olarak yükünü artırmaktadır. Offshore ağ kafes tesislerinin hemen yanına kurulan ve deniz tabanına bağlantıları sağlanan Barç sistemleri, işletme personeline konaklama olanağı sağlayabildiği gibi, yem depolarını da bünyesinde bulundurması nedeniyle, işletme yönetiminin ana karaya bağımlılığını azaltmaktadır ve böylece önemli bir ekonomik yükün giderilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle açık denizde görev yapan tesis personelinin fırtına vb olumsuz hava koşullarında karşılaşılabilecekleri risklerin de giderilmesine olanak sağlayan barç platform tesisler iş güvenliği ve personelin çalışma ortamının iyileştirilmesi açısından da önemlidir.

Barç platform tesislerde, yemleme otomasyonları, jeneratörler, kontrol odası, yaşam alanları, güvenlik ekipmanı, entegre mort toplama sistemleri, kamera ve sensör sistemleri ve tüm bu ünitelerin kontrolünün yapıldığı yönetim merkezi bulunmaktadır.

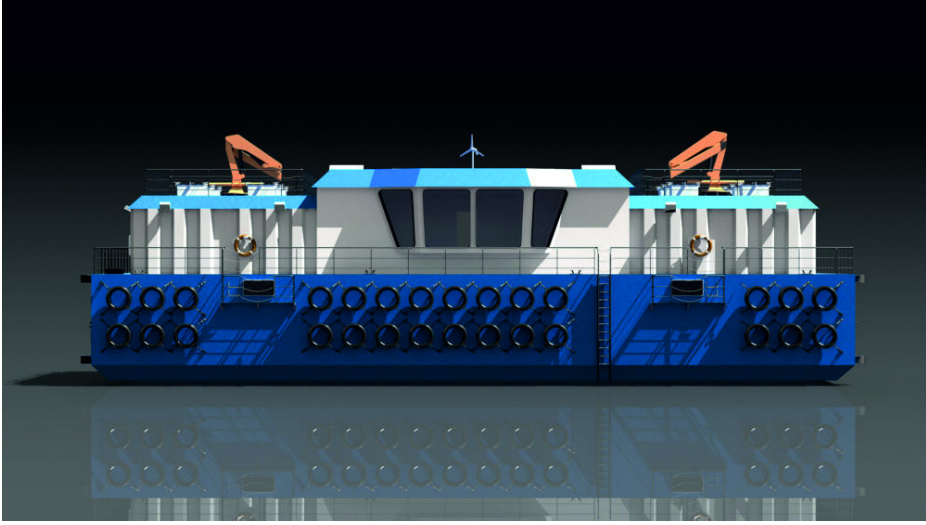
#### 4.8.2. Orta ve Büyük Ölçekli Tesisler için Yemleme Sistemleri ve Diğer Alt Sistemler

Günümüzde birçok firma, barajlarda veya açık deniz sahalarında faaliyet göstermek isteyen orta ve büyük ölçekli ağ kafes tesisleri için üretim kapasitelerine göre değişen boyutlarda yemleme sistemleri çözümleri sunabilmektedirler.

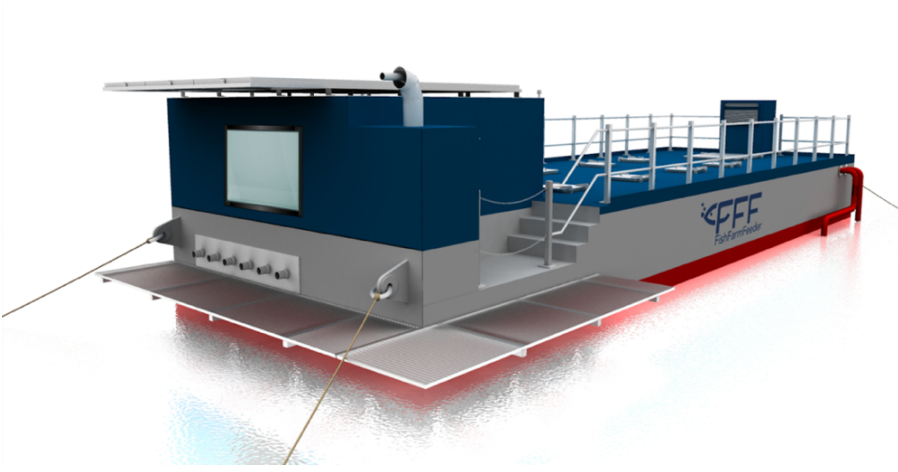
Açık deniz sahalarında kullanılabilen mevcut barç sistemlerinin ağırlıkları 96 ton ile 850 ton arasında değişmekte olup, ihtiyaca göre adapte edilebilmektedir. Barç sistemlerinin tasarımında herhangi bir balık çiftliğine karayolu veya deniz yolu ile taşınabilme, kullanılan parçaların değişim ve bakımı için temininin kolay olması gibi noktalar göz önüne alınmalıdır.

Yenilikçi bir yaklaşım ile tasarlanan ve geliştirilen bu barç sistemleri hem denizde hem de barajlardaki balık çiftlikleri için yatırımın amortisman süresini oldukça kısaltmaktadır. Bunun en önemli etkisi ise otomatik yemlemeden geçmektedir. Orta ölçekli bir balık çiftliği için örnek bir sistem tasarımı aşağıdaki gibi yapılabilir.

Genel boyutlar	: 4,5 m x 14 m
Ağırlık	: 25 ton
Jenaratör	: 1 adet
Kontrol odası	: 12 m <sup>2</sup>
Silo	: 11 m <sup>3</sup> hacimli, 9 ton kapasiteli 4 silo
Yemleme çıkışı	: 16 adet kafes için 8 çıkışlı 2 seçici
Blower	: 15 kW'lık 2 adet blower
Yemleme hızı	: 50 kg /dk'dan fazla yemleme hızı



(a)



(b)



(c)

Şekil 54. Barç sistemlerinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada katkı sağlayan rüzgar, güneş, rüzgar & güneş beraber hibrit modeller (Akuamaks, Serdar Yıldırım'ın izniyle) (a,b,c)



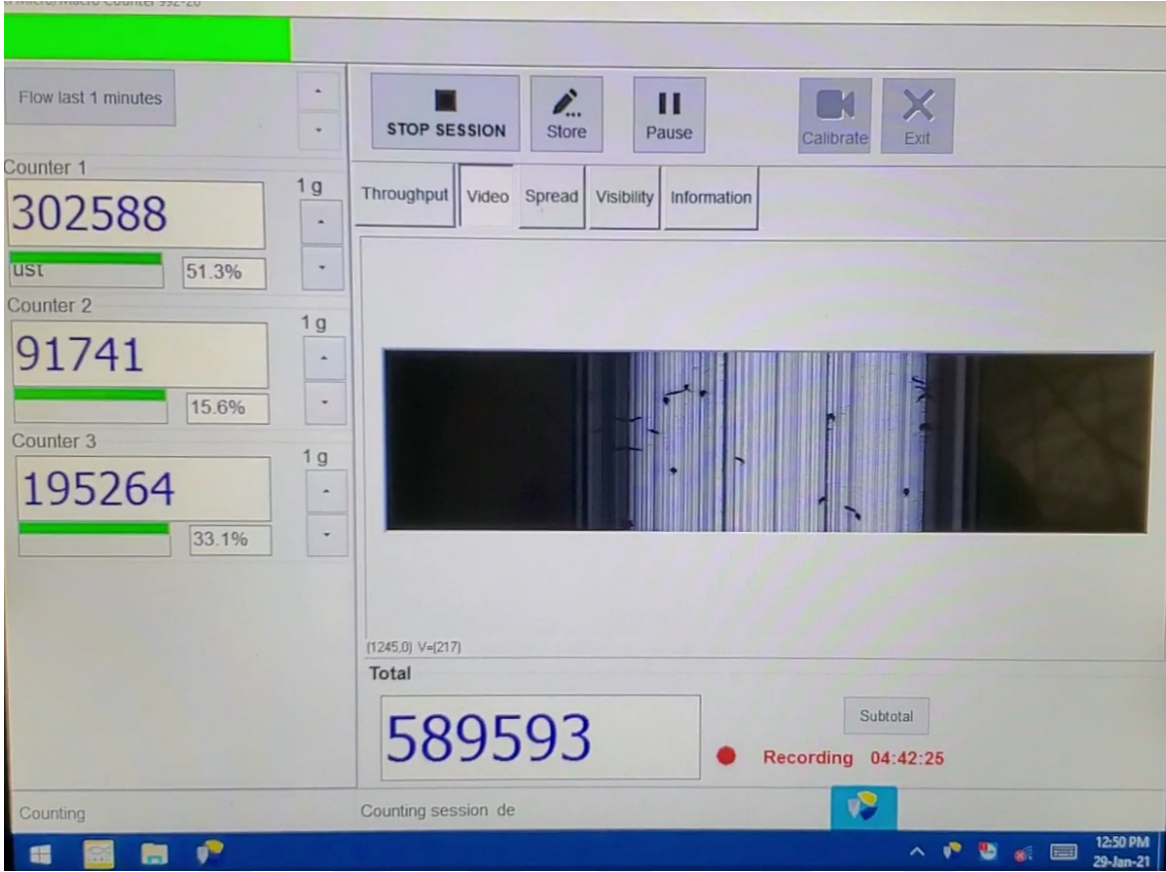


Şekil 55. Barç yemleme depoları ve pompa ünitesi (Akuamaks, Serdar Yıldırım'ın izniyle)

Barç sistemlerinde elektrik enerjisi kullanımı bölümünde benzer ölçekli bir yetiştiricilik tesisindeki pompa kullanım süresi, diğer elektrikli cihazlar, izleme ve takip sistemlerinin günlük enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır.

#### **4.8.3.Barç Platform Sisteme Entegre Ölçüm ve Su Kalitesi Takip ve Kayıt Sistemleri**

Açık deniz, nehir veya barajlarda yapılacak kafes yetiştiriciliğinde kafeslerin oksijen ve sıcaklık ölçümlerinin yapılması ve kayıt altına alınması oldukça önemlidir. Bunun yanında stoklama, yem rasyosu, yemleme, ağların kontrolü ve acil durum yönetiminin sağlanabilmesi için takip ve kayıt sistemleri kritik rol oynamaktadır.



Şekil 56. Barç izleme sistemi panosu görseli

İşletmeler el tipi oksijenmetreler ile yaptıkları ve personelin insiyatifinde olan standart dışı ölçümler yerine entegre ölçüm ve kayıt sistemleri kurarak daha doğru ve eksiksiz kayıt tutma alışkanlığı sağlamaları takip edilebilirlik açısından oldukça önemlidir. İş yoğunluğu, kalibrasyonsuz cihaz kullanımı ve personel eksikliği gibi nedenlerden ihmal edilebilen el tipi oksijenmetreler ile yapılan ölçümler yerine barge ve kafeslere takılan belli aralıklarla ölçüm alabilen oksijen, sıcaklık ve tuzluluk değerlerini anlık ölçüp kayıt altına alan entegre çözümler yatırım maliyetini kalite ve verimliliği arttırması ile kısa sürede kendini geri ödeyebilmektedir.

Barge ve kafeslere entegre edilebilecek alt sistem ekipmanlarına aşağıdaki gibi örneklendirilebilir.

- Çözünmüş oksijen probu,
- Sıcaklık ölçer
- Tuzluluk ölçer

- pH probu
- Bulanıklık probu
- Klorofil A
- GPS
- Şamandra

Barç sistemlere entegre edilen bu ekipmanlarla 7-24 kayıt yapılabildiği gibi, balık sayıcı ve ayırıcılar da entegre edilebilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 57. Balık ayırıcı ve sayıcı sistemler (Akuamaks, Serdar Yıldırım'ın izniyle) (a,b)

#### 4.8.4. Barç Sistemlerinde Enerji Kullanımı

Barç sistemleri içinde bulundurduğu alet, teçhizat ve demirbaşlar ile elektrik enerjisi tüketen sistemlerdir. Yetiştiricilik yapılırken, kafeslerin bakımı ve gözetimi için barç üzerinde kalan personel bulunmaktadır. Bu personel deniz üzerindeki barta yaşamını devam ettirmesini sağlamak üzere asgari koşulların sağlanması gerekmektedir. Bir ev konforunda olmasa da deniz şartlarının izin verdiği ölçüde personelin kendi yeme-içme, barınma ve çalışma şartları için elektrikli alet ve teçhizatlar bulunmalıdır. Barların kıyıya olan uzaklığı göz önüne alındığında günlük ihtiyaçların barç üzerinde karşılanabilmesi önemlidir. Bunlar mevsim şartlarına göre ısınma veya soğutmayı sağlamak üzere barç içindeki klima teşkilatından, yeme-içme için buzdolabı ve ocak ev aletlerinden, ağ kafeslerin periyodik yememesi için gereken otomasyon sistemi ve pompa teşkilatına kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu kapsamda ortalama bir barç sisteminde yemlemeden, yaşamın idame ettirilmesi için gereken elektrik enerjisi ihtiyacı yanında özellikle yetiştiricilik yapılan alanın büyüklüğü, ağ kafes sayısı enerji ihtiyacında belirleyici faktörlerdir (Tablo 5).

Tablo 5

Barç üzerinde elektrik enerjisi tüketen sistemler ve günlük tüketim miktarları

Cihaz	Güç (watt)	1 Günlük Enerji Tüketimi (kWh)
Akuakültür pompası 2 adet	3000	210
Buzdolabı (A+)	44	1,056
Bulaşık Makinesi (A+)	510	0,51
LCD TV (A+)	98	0,294
Fırın	2500	2,5
Enerji Tasarruflu Ampul	12	0,144
Kettle	2200	1,1
Dizüstü Bilgisayar	90	0,45
Telefon şarjı	4	0,02
İnverter Klima	1300	7,8
Pompa kullanma suyu	200	0,4
Toplam		224,274

Tablo 5’te verilen cihaz ve aletlerin enerji tüketimi ortalama olarak verilmiştir. Günlük enerji tüketimi ise kişisel kullanımı göre oldukça değişken olup asgari bir tüketim göz önüne alınarak hazırlanmıştır.

Denizde ağ kafeslerde, yıllık 4000 ton balık üretimi yapan bir işletmenin yemleme için kullanacağı akuakültür pompalarının enerji ihtiyacına bakıldığında;

4.000 ton/yıl kapasiteli ağ kafes tesisinde üretim için;

- 40 metre çapında ve
- 13 metre derinliğinde ağ kafeslerden
- 14 adet gerekmektedir.

Kafes başına kabul edilebilir balık yoğunluğu 285 ton/kafes olarak belirlenmiştir. Günlük atılması gereken yem miktarı, kafesteki balık ağırlığının %1’i olarak hesaplanmıştır. Bu da günlük kafes başına 2,85 ton yemin pompa ile kafeslere dağıtılması anlamına gelmektedir.

Kafeslerdeki balıklara günde 3 defa (gündüz vakti) yem verileceği düşünülürse, sabah, öğlen ve akşam olmak üzere her bir öğün başına 0,95 ton yem her kafese sırayla pompalanması gerekecektir.

Buna göre tesis için seçilecek akuakültür pompasının yaklaşık olarak 1 ton yemi 10 ila 20 dakika arasında kafeslere dağıtabilecek bir kapasitede olması gereklidir. Bu yemleme rejimi için 15 kW’lık pompa gücünün uygun olacağı belirlenmiş (Kişisel görüşme, Akuamaks, Serdar Yıldırım) ve hesaplamalar bu kapasiteye göre yapılmıştır.

Buna göre,

4.000 ton üretim kapasitesi için gerekli olan enerji miktarının hesaplanması için;

Öğün başına 1 tonluk yemin 1 kafese 20 dakikada dağıtıldığı kabul edilirse, 14 kafesin 1 öğündeki yemin dağıtımı için 280 dakika süre gerekecektir. Bu da yaklaşık 280 dakika süreyle pompanın devamlı çalışmasını gerektirir. Tesiste kullanılmak üzere 2 adet 15 kW’lık pompa seçildiğinde, bu süre 140 dakikaya yani yarıya inmektedir.



Yemleme başlangıç:	08:00	13:00	17:00
Yemleme bitiş:	10.20	15:20	19:20

Günde 3 yemleme yapılacağına göre, 2 pompa toplamda 840 dk (14 saat) çalıştığında, saatlik tüketimi 15 kWh olduğuna göre günlük 210 kWh elektrik ihtiyacı olacaktır.

Ortalama bir hesaba göre standart bir barç sisteminin günlük elektrik enerjisi tüketimi 224 kWh civarında hesaplanmıştır. Bu da saatlik 9 kWh'lik bir tüketim oluşturmaktadır.

Elektrik ihtiyacı sektörde çoğunlukla dizel jeneratörler ile sağlanmaktadır. Bu fosil kaynaklara dayalı olması açısından sürdürülebilir bir kaynak olmamakla beraber maliyet açısından da pahalı bir elektrik enerjisi üretimidir. Halbuki barcın elektrik enerjisi ihtiyacının daha çevreci ve temiz enerji olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilmesi mümkündür. Bunun için hali hazırda rüzgâr ve güneş enerjisi kullanılmaya başlanmıştır. Barçın çatı üstü güneş panelleri ile kaplanarak ve rüzgâr türbinleri ile desteklenerek hibrit bir şekilde enerji elde edilerek maliyetin aşağı indirilmesi mümkün görülmektedir.

Rüzgâr ve güneş enerjisine alternatif olarak akıntı enerjisi ile elektrik üretiminin mümkün olabileceği tez kapsamında değerlendirilmiştir. Bunun için Çanakkale Kepez bölgesinde deniz testleri yapılan türbinin elektrik üretim değerleri incelenip daha küçük bir modelinin barçların enerji ihtiyacındaki uygulanabilirliği incelenmiştir.

#### **4.9. Dikey Eksenli Türbinler Ve Yatay Eksenli Türbinlerin Verimliliklerinin Karşılaştırılması**

Günümüzde akıntı enerjisi türbinleri arasında ticarileşmeye başlamış veya prototip çalışmalarının son aşamasına gelmiş olanlara bakıldığında hemen hepsinin yatay eksenli türbinler olduğu söylenebilir. Çanakkale Kepez'deki türbin test barcında hem yatay hem de dikey eksenli türbin modelleri denenmiştir. Bu denemelerde dikey eksenli türbinler 1kW'nın



altındaki güçler için tasarlanmıştır. Bunlar daha çok basit ve enerji ihtiyacının şebekeye verilmediği, barç üzerinde tüketildiği küçük çaplı uygulamalardır. Yatay eksen olarak geliştirilen türbin ise 30kW gücü ile daha çok ticari manada elektrik üretimi için düşünülmüştür. Daha önce tanıtılan özgün akıntı türbinlerinin bu bölümde enerji üretim verileri incelenecek ve karşılaştırılmıştır.

#### 4.9.1 Darrius Tipi Türbin Testleri Ve Bulguları

Darrius tipi türbin dikey eksenli türbinler arasında en yaygın türbin tiplerindedir. Genelde airfoil şeklinde kanat formları kullanılmaktadır. Daha önce tanıtılan ve deniz testleri yapılan türbinin çapı (D) 600mm olup kanat boyu (H) 1000mm'dir. Darrius tipi türbinlerde de aynı enerji formülü kullanılmaktadır.

$$P = 1/2 \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (4.2)$$

- P : Güç (Watt)  
ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
C<sub>p</sub> : Verimlilik katsayısı  
A : Türbin süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
v : Akışkanın hızı (m/s)

Türbinin süpürme alanı ise türbin çapı ile kanat boyunun çarpılması ile bulunmaktadır. Yatay eksenli türbinlerde ise türbin süpürme alanı kanat boyunun karesi ile π sayısının çarpılması ile hesaplanır.

$$A = 0,6 \times 1 = 0,6\text{m}^2 \text{ dir.}$$

$$\rho = 1$$

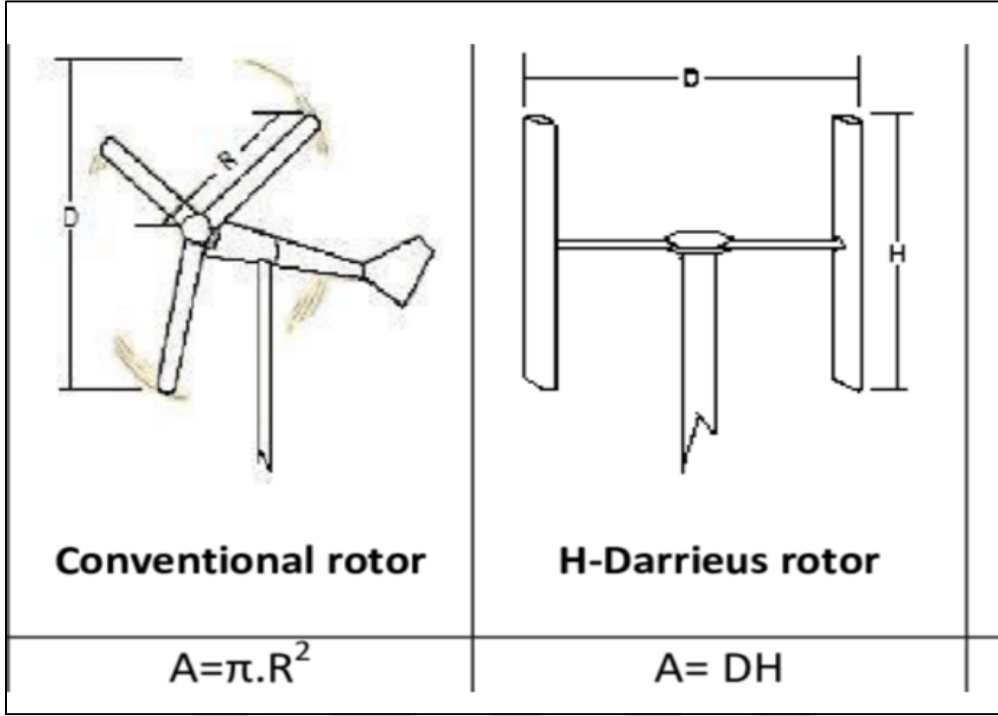
$$C_p = 0,3$$

$$A = 0,6$$

$$v = 1,3 \text{ m/s}$$

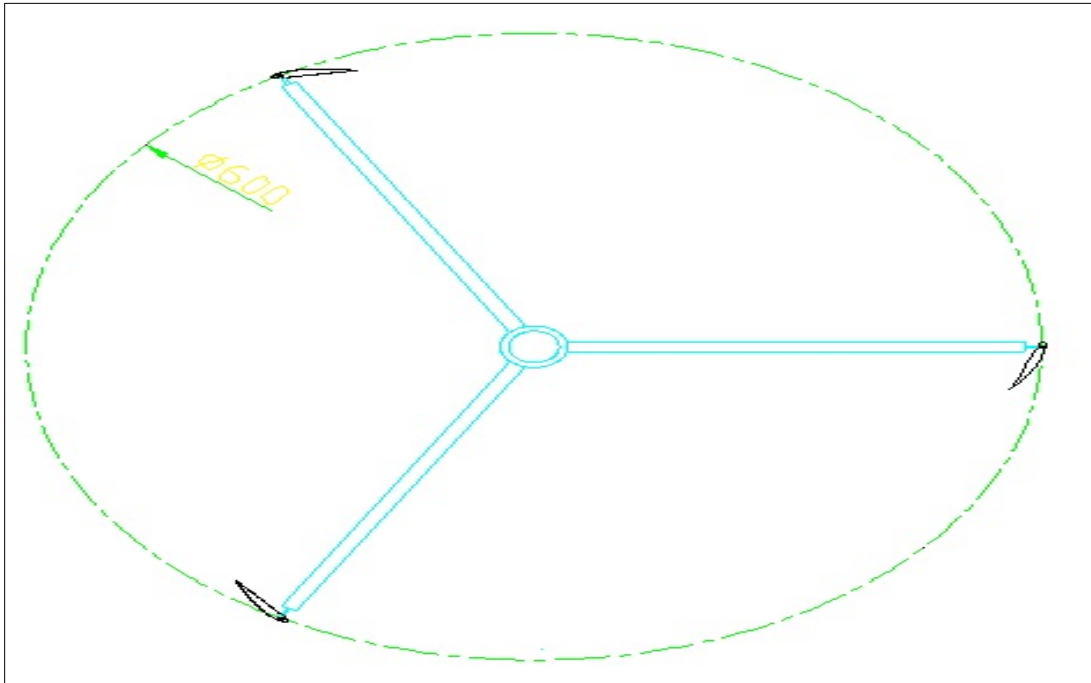
$$P = 1/2 \times 1 \times 0,3 \times 0,6 \times 1,3^3$$

$$P = 197 \text{ watt.}$$



Şekil 58. Farklı kanat yapıları için süpürme alanları hesabı (Koko, 2014)

Bu çalışmada kullanılan Darrieus test türbini göz önüne alındığında;



Şekil 59. Darrieus tipi dikey eksenli türbin üstten görünüş (Özgün)

Tablo 6

Pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b., 7/6/2013 (Özgün)

7.06.2013	cm değerleri								Rüzgar Yön ve Kuvvet ve Akıntı
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m	
07:00	12	8	8	7	6	6	5	5	K.B 2 Poyraz
07:15	13	10	10	9	7	6	6	5	K.B 2 Poyraz
07:30	14	11	10	9	6	7	4	5	K.B 2 Poyraz
07:45	9	5	5	6	2	1	1	2	K.B 2 Akıntı Yıldız
08:00	13	7	8	6	3	2	1	2	K.B 2 Akıntı Yıldız
08:15	14	10	10	9	8	7	6	6	K.B 2 Poyraz
08:30	12	7	10	10	8	5	5	5	K.B 2 Poyraz
08:45	15	10	10	9	6	5	5	5	K.B 2 Poyraz
09:00	15	10	11	10	7	4	3	3	K.B 3 Karayel
09:15	13	8	11	10	6	3	2	3	K.B 2 Poyraz
09:30	15	12	13	12	11	10	7	6	K.B 2 Poyraz
09:45	16	14	13	11	9	7	5	4	K.B 2 Poyraz
10:00	15	13	14	13	10	8	5	5	K.B 1 Poyraz
10:15	15	15	14	13	10	8	6	6	G 2 Poyraz
10:30	16	15	14	13	11	9	7	6	G 2 Poyraz
10:45	16	14	13	13	9	7	4	5	G 3 Poyraz
11:00	12	11	10	11	9	6	4	3	G 2 Poyraz

(a)

7.06.2013	Hız							
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m
07:00	1,53	1,25	1,25	1,17	1,08	1,08	0,99	0,99
07:15	1,59	1,40	1,40	1,33	1,17	1,08	1,08	0,99
07:30	1,65	1,47	1,40	1,33	1,08	1,17	0,88	0,99
07:45	1,33	0,99	0,99	1,08	0,62	0,44	0,44	0,62
08:00	1,59	1,17	1,25	1,08	0,77	0,62	0,44	0,62
08:15	1,65	1,40	1,40	1,33	1,25	1,17	1,08	1,08
08:30	1,53	1,17	1,40	1,40	1,25	0,99	0,99	0,99
08:45	1,71	1,40	1,40	1,33	1,08	0,99	0,99	0,99
09:00	1,71	1,40	1,47	1,40	1,17	0,88	0,77	0,77
09:15	1,59	1,25	1,47	1,40	1,08	0,77	0,62	0,77
09:30	1,71	1,53	1,59	1,53	1,47	1,40	1,17	1,08
09:45	1,77	1,65	1,59	1,47	1,33	1,17	0,99	0,88
10:00	1,71	1,59	1,65	1,59	1,40	1,25	0,99	0,99
10:15	1,71	1,71	1,65	1,59	1,40	1,25	1,08	1,08
10:30	1,77	1,71	1,65	1,59	1,47	1,33	1,17	1,08
10:45	1,77	1,65	1,59	1,59	1,33	1,17	0,88	0,99
11:00	1,53	1,47	1,40	1,47	1,33	1,08	0,88	0,77

(b)

Tablo 6’da Materyal ve Yöntem bölümünde bahsedilen akıntı ölçüm cihazımızın aldığı veriler ile hazırlanmıştır. Veri toplama metodu sabah 7:00 dan başlayarak her 15 dakikada bir su sütunlarının yüksekliğinin cetveller yardımıyla ölçülerek kayıt altına alınması ile başlar. Sonrasında bu su sütunlarına karşılık gelen hız değeri m/s cinsinden çevrilerek yeni bir tablo oluşturulmuştur.

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi akıntı yüzeyde daha hızlı, derinlere gidildikçe %33 e varan bir azalış ölçülmüştür. Türbinin konumlandırılacağı derinliğe göre süpürme alanına denk gelen akıntı hızlarının ortalaması alınarak teorik hesaba dahil edilmiştir. Dairrus tipi test türbininde bu derinlik yüzeyden itibaren 2 m’dir.

Tablo 7

Derinliğe göre akıntı hızları üst akıntı (Özgün)

Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m
07:00	1,53	1,25	1,25	1,17

Tablo 7’deki zaman diliminde türbinin çalışacağı derinlikteki ortalama akıntı hızı 1.3 m/s dir. Akıntı hızı verilerinin alındığı dönemdeki (7.6.2013- 07.00-11:00 arası) saatlik ortalama üretilen elektrik enerjisi 181 Watt olarak ölçülmüştür. Bu değer o periyottaki akıntı hızı ortalaması ile daha önce hesaplandığı üzere 197watt olmalıydı. Burada ölçümlenen 16 watt’lık kayıp, laminer akış bozuklukları ve türbin mekanik verimliliğinden kaynaklanmaktadır. Fiili üretilen enerji değerinden toplam verimliliği tekrardan hesaplamak gerektiğinden aşağıdaki işlem yapılmıştır;

$$P= 181 \text{ watt} = 0.181 \text{ kW}$$

$$A= 0,6 \times 1 = 0,6\text{m}^2 \text{ dir.}$$

$$\rho= 1$$

$$A= 0,6 \text{ m}^2$$

$$v= 1,3 \text{ m/s}$$

$$P = 1/2 \times 1 \times 0,3 \times 0,6 \times 1,33$$

$$0,181= 1/2 \times 1 \times C_p \times 0,6 \times 1,33$$



$$0,181 = C_p \times 0,6591$$

$$C_p = \%27,5$$

Görüldüğü gibi fiili verimlilik ( $C_p$ ) %27,5 olarak hesaplanmıştır. Bu daha önce %30 olarak ön görülmüştür. Literatür çalışmaları sırasında darrius tipi türbinlerin verimlilik katsayılarının bölgedeki akıntı karakteristiğine ve türbin kayıplarına göre değişkenlik gösterebileceği bilinmekle beraber ortalama kabul %30 olarak alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı alandaki akıntı şartları ve türbin mekanik kayıpları ile fiili verimliliğimiz o periyod için %27,5'dir.

Akıntı karakteristiğinin üretilen güçteki verimliliği olan etkisini göstermek amacıyla başka bir dönemdeki elektrik üretim verisi-akıntı hızı verisini aşağıda gösterelim. Türbin mekanik kayıpları her iki dönem içinde aynı olacağı için (türbinde herhangi bir iyileştirme yapılmadan üretime devam edildi) bir önceki hesaplanan verimlilik değeri ile bulunacak yeni verimlilik değeri direkt olarak akıntı karakteristiğinin etkisi olarak kayda geçmiştir.

Tablo 8

Pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b., 8/6/2013 (Özgün)

8.06.2013	cm değerleri								Rüzgar Yön ve Kuvvet ve Akıntı
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m	
07:15	12	15	14	9	7	5	4	4	K.B 3 Poyraz
07:30	13	17	16	10	7	6	4	5	K.B 4 Karayel
07:45	12	16	14	8	6	5	4	5	K.B 4 Karayel
08:00	9	12	10	7	5	4	3	5	K.B 3 Karayel
08:15	14	17	13	8	5	5	4	5	K.B 3 Karayel
08:30	14	16	13	7	5	4	4	5	K.B 3 Karayel
08:45	13	16	13	8	5	6	5	5	K.B 3 Karayel
09:00	14	17	15	11	7	7	6	6	K.B 4 Karayel
09:15	13	16	13	11	10	7	6	7	K.B 4 Poyraz
09:30	9	11	8	7	8	7	6	5	K.B 4 Karayel
09:45	12	14	12	10	11	9	6	7	K.B 4 Poyraz
10:00	11	14	11	8	8	5	4	4	K.B 4 Poyraz
10:15	14	18	14	10	8	6	5	5	K.B 4 Poyraz
10:30	16	18	14	9	8	6	5	6	K.B 4 Poyraz
10:45	13	16	13	8	7	6	4	6	K.B 4 Karayel
11:00	16	18	15	13	11	7	7	6	K.B 4 Poyraz

(a)

8.06.2013	Hiz							
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m
07:15	1,53	1,71	1,65	1,33	1,17	0,99	0,88	0,88
07:30	1,59	1,82	1,77	1,40	1,17	1,08	0,88	0,99
07:45	1,53	1,77	1,65	1,25	1,08	0,99	0,88	0,99
08:00	1,33	1,53	1,40	1,17	0,99	0,88	0,77	0,99
08:15	1,65	1,82	1,59	1,25	0,99	0,99	0,88	0,99
08:30	1,65	1,77	1,59	1,17	0,99	0,88	0,88	0,99
08:45	1,59	1,77	1,59	1,25	0,99	1,08	0,99	0,99
09:00	1,65	1,82	1,71	1,47	1,17	1,17	1,08	1,08
09:15	1,59	1,77	1,59	1,47	1,40	1,17	1,08	1,17
09:30	1,33	1,47	1,25	1,17	1,25	1,17	1,08	0,99
09:45	1,53	1,65	1,53	1,40	1,47	1,33	1,08	1,17
10:00	1,47	1,65	1,47	1,25	1,25	0,99	0,88	0,88
10:15	1,65	1,87	1,65	1,40	1,25	1,08	0,99	0,99
10:30	1,77	1,87	1,65	1,33	1,25	1,08	0,99	1,08
10:45	1,59	1,77	1,59	1,25	1,17	1,08	0,88	1,08
11:00	1,77	1,87	1,71	1,59	1,47	1,17	1,17	1,08

(b)

Tablo 9

Derinliğe göre akıntı hızları üst akıntı (Özgün)

Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m
07:15	1,53	1,71	1,65	1,33

Yukarıdaki zaman diliminde türbinin çalışacağı derinlikteki ortalama akıntı hızı 1.56 m/s'dir. Akıntı hızı verilerinin alındığı dönemdeki (8.6.2013- 07.15-11:00 arası) saatlik ortalama üretilen elektrik enerjisi 353Watt olarak ölçülmüştür.

$$P = 353 \text{ watt} = 0,353 \text{ kW}$$

$$A = 0,6 \times 1 = 0,6 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

$$\rho = 1$$

$$A = 0,6 \text{ m}^2$$

$$v = 1,56 \text{ m/s}$$

$$P = 1/2 \times 1 \times 0,3 \times 0,6 \times 1,56^3$$

$$0,353 = 1/2 \times 1 \times C_p \times 0,6 \times 1,56^3$$

$$0,353 = C_p \times 1,14$$

$$C_p = \%31$$

İkinci veri setinde görüldüğü gibi (ilk ölçümün ertesi günü yapılan ölçüm 8.6.2013-07.15-11:00 arası) akıntı hızı değerleri bir önceki güne göre daha yüksek ölçülmüştür. Bu veriler ışığında akıntı hızı değerini ve üretilen fiili enerjiyi, güç formülüne koyduğunuzda çıkan verimlilik sonucu %31 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç daha yüksek akıntı hızları için kanat profilimizin daha iyi verim verdiğini göstermektedir. Bunun yanında akıntı hızındaki laminer akış oranı da daha yüksek olabilir. Bilindiği gibi türbin çalışırken katamaranın dalga ile salınımı, akıntı hızındaki laminer akış gibi verimliliği etkileyen diğer faktörler de mevcuttur. Ancak bu çalışmamızda dalga ve laminer akış faktörlerinin türbin verimine etkisi incelenmemiştir.

Darrius tipi türbin ile yapılan test üretimlerinde üretilen elektrik test platformunun üzerindeki sabit bir elektrik tüketicisiye bağlanarak ölçümler yapılmıştır. Bunun nedeni

üretileen enerjinin 1kW altında kalmasından dolayı kıyıya kablolarla taşınmasının fizibil olmayışıdır.

Dikey eksenli türbinler ile yapılan test üretimi sonuçları incelendiğinde verimlilik değeriinin %15-%32 arasında dalgalanmakta olduğu görülmüştür. Verimlilik dalgalanmasının nedenleri arasında üretileen gücün düşük olmasından kaynaklı (1kW altı) dalga ve katamaran stabilitesinin toplam verimlilik üzerine etkisinin fazla olduğu düşünölmektedir. Bu yorumu yaparken bir sonraki bölümde verileri paylaşılacak olan 30kW gücündeki yatay eksenli türbinin verimlilik dalgalanmasının çok daha düşük olması temel nedendir. Sistem büyödükçe çevresel etkilerden daha az etkileneerek daha kararlı bir üretim sağlanmaktadır. Bunun yanında yatay eksenli 30 kW'lık türbinin tasarımı noktasında bu dalgalanmaları azaltmak için volan sistemi geliştirilmiş olup türbin verimliliğinde çok daha kararlı bir konuma gelinmiştir.

#### **4.9.2 Yatay Eksenli 30 kW Gücündeki Türbin Testleri ve Bulguları**

Akıntı türbinleri konusunda yapılan literatür çalışmalarının çok büyük çoğunluğu, kapalı kontrol edilebilir ve kararlı havuz şartlarında hazırlanmıştır. Bu test havuzlarında yapılan çalışmalar da 1kW gücün altında tutulmuş ve ideal şartlar göz önünde alınarak testler yapılmıştır. Ancak deniz şartları incelendiğinde, havuz şartlarından oldukça farklıdır. Yapay akıntı havuzlarındaki akış oldukça ideal şartlarda olması rağmen gerçek deniz koşullarında akıntı, rüzgâr, gel-git ve gemi dalgalarından etkilenmektedir. Bu da akıntıdan enerji üretiminde karşılaşılabilecek olası sorunları önceden tespit etmeyi oldukça zorlaştırmadır. Bunun için gerçek deniz şartlarında ve gerçek boyutlarda bir akıntı türbininin incelenmesi, akıntı enerjisinin potansiyeli belirlemede ve bu alanda yapılacak Ar-Ge çalışmalarına yön vermesi için olmazsa olmaz bir adımdır.

Yatay eksenli türbin tasarımında boyutlandırma çalışmaları yapılırken akıntı hızı verileri dikkate alınarak ilerlenmiştir. Akıntı hızının yüzeyden derinlere inildikçe azaldığı gözlemlenmiş olup türbinin verimli çalışacağı derinlik sahası doğrudan türbinin çapını belirleyeceği için akıntı hızı verileri yol gösterici olmuştur.

Aşağıda paylaşılan veriler katamaran üzerinde pitot tüpleri ile alınmış verilerdir. Veri toplamının her saat başında pitot tüplerinin gösterdiği veri, geleneksel şamandıra metoduyla



doğrulanmıştır.

Tablo 10

Pitot tüpü ile akıntı ölçümü a, pitot tüpü ölçümlerinin m/s cinsinden çevrimi b., 2/5/2013

(Özgün)

2.05.2013	cm değerleri							
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m
10:30	19	19	15	18	12	13	10	10
10:45	19	20	17	17	12	13	9	10
11:00	19	17	17	15	12	10	9	8
11:15	17	18	17	16	12	11	7	7
11:30	18	19	16	15	10	9	5	5
11:45	19	19	15	15	12	10	6	6
12:00	20	19	17	17	14	11	7	7
12:15	14	16	13	17	11	9	9	11
12:30	19	19	16	15	13	12	9	6
12:45	16	16	15	14	9	7	5	5
13:00	15	16	11	11	6	6	5	5
13:15	16	16	13	14	9	9	5	6
13:30	15	17	16	15	10	9	6	6
13:45	17	19	11	14	9	8	4	4
14:00	17	18	16	15	11	9	7	7
14:15	16	17	15	13	10	9	5	4
14:30	16	17	15	15	10	8	6	5
14:45	15	16	15	14	10	8	5	5
15:00	20	21	17	15	12	9	7	6
15:15	17	17	17	16	12	10	7	5
15:30	17	19	15	15	11	8	6	5
15:45	14	15	13	11	7	5	3	3
16:00	13	15	11	13,5	12,5	8	4	4
16:15	13	14	14	14	12	10	6	6
16:30	19	21	18	16,5	11	8	5,5	4
16:45	15	16	13	14	8	7	4	4
17:00	11	13	10	10	6	4	2	2
17:15	15	16	13	12	8	7	5	4,5
17:30	13	15	12	11	7	5	3	4

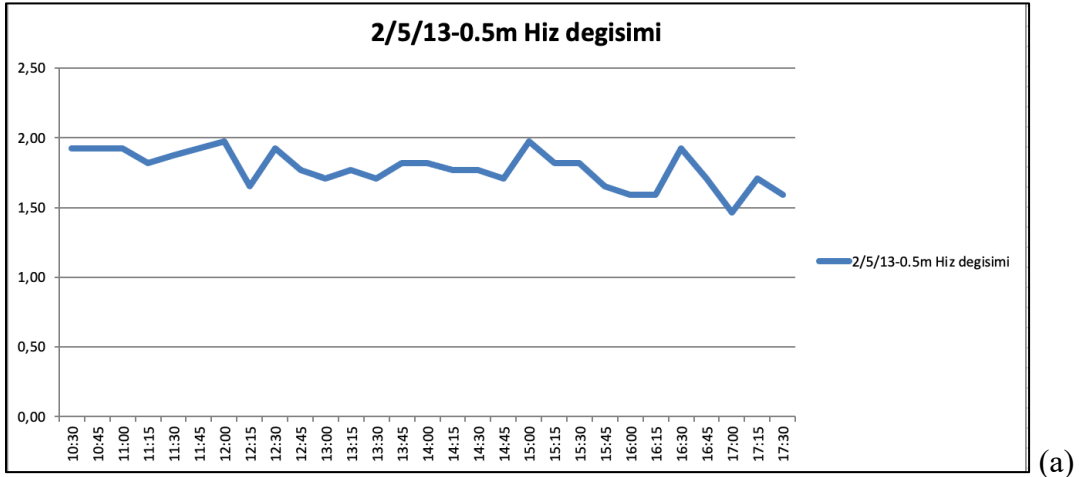
(a)

2.05.2013	Hız							
Saat	0,5 m	1 m	1,5 m	2,5 m	3,5 m	4,5 m	5,5 m	6,2 m
10:30	1,93	1,93	1,71	1,87	1,53	1,59	1,40	1,40
10:45	1,93	1,98	1,82	1,82	1,53	1,59	1,33	1,40
11:00	1,93	1,82	1,82	1,71	1,53	1,40	1,33	1,25
11:15	1,82	1,87	1,82	1,77	1,53	1,47	1,17	1,17
11:30	1,87	1,93	1,77	1,71	1,40	1,33	0,99	0,99
11:45	1,93	1,93	1,71	1,71	1,53	1,40	1,08	1,08
12:00	1,98	1,93	1,82	1,82	1,65	1,47	1,17	1,17
12:15	1,65	1,77	1,59	1,82	1,47	1,33	1,33	1,47
12:30	1,93	1,93	1,77	1,71	1,59	1,53	1,33	1,08
12:45	1,77	1,77	1,71	1,65	1,33	1,17	0,99	0,99
13:00	1,71	1,77	1,47	1,47	1,08	1,08	0,99	0,99
13:15	1,77	1,77	1,59	1,65	1,33	1,33	0,99	1,08
13:30	1,71	1,82	1,77	1,71	1,40	1,33	1,08	1,08
13:45	1,82	1,93	1,47	1,65	1,33	1,25	0,88	0,88
14:00	1,82	1,87	1,77	1,71	1,47	1,33	1,17	1,17
14:15	1,77	1,82	1,71	1,59	1,40	1,33	0,99	0,88
14:30	1,77	1,82	1,71	1,71	1,40	1,25	1,08	0,99
14:45	1,71	1,77	1,71	1,65	1,40	1,25	0,99	0,99
15:00	1,98	2,02	1,82	1,71	1,53	1,33	1,17	1,08
15:15	1,82	1,82	1,82	1,77	1,53	1,40	1,17	0,99
15:30	1,82	1,93	1,71	1,71	1,47	1,25	1,08	0,99
15:45	1,65	1,71	1,59	1,47	1,17	0,99	0,77	0,77
16:00	1,59	1,71	1,47	1,62	1,56	1,25	0,88	0,88
16:15	1,59	1,65	1,65	1,65	1,53	1,40	1,08	1,08
16:30	1,93	2,02	1,87	1,79	1,47	1,25	1,04	0,88
16:45	1,71	1,77	1,59	1,65	1,25	1,17	0,88	0,88
17:00	1,47	1,59	1,40	1,40	1,08	0,88	0,62	0,62
17:15	1,71	1,77	1,59	1,53	1,25	1,17	0,99	0,94
17:30	1,59	1,71	1,53	1,47	1,17	0,99	0,77	0,88

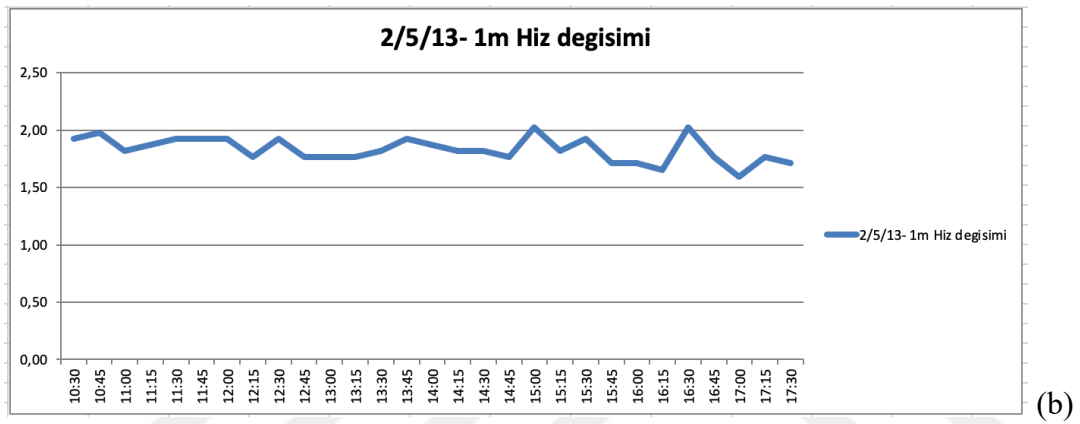
(b)

Tablo 10’da verileri her derinlik sütunu için zamana göre akıntı hızı grafikleri çıkarılmıştır. Bu çalışma sayesinde türbin çapına karar verilmeye çalışılmaktadır.

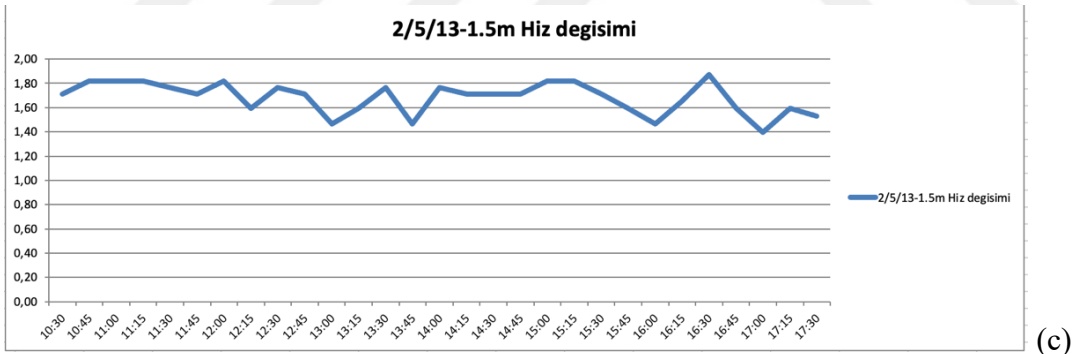
Zamana bağlı hız grafiklerinde 8 saatlik zaman içinde akıntı hızında trajik bir dalgalanma gözlemlenmemiştir. Akıntı hızları incelendiğinde ilk 4m’deki dağılım türbin çalıştırmak için en uygun saha olarak görülmektedir. Bu ölçümlerin yapıldığı noktadaki derinlik 10 m olmakla beraber 4,5 m’den sonraki akıntı hızında önemli miktarda düşüş görülmektedir.



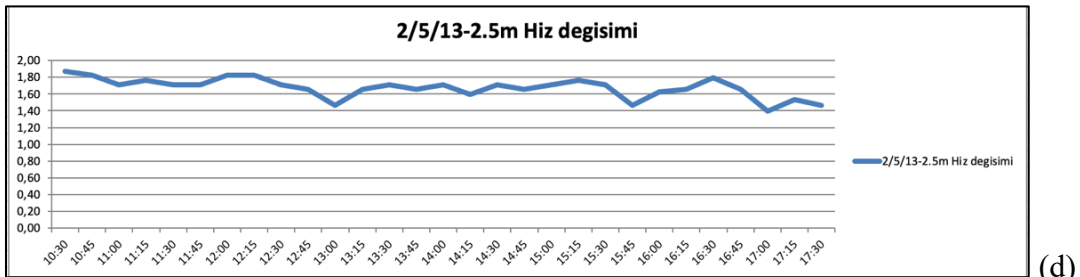
(a)



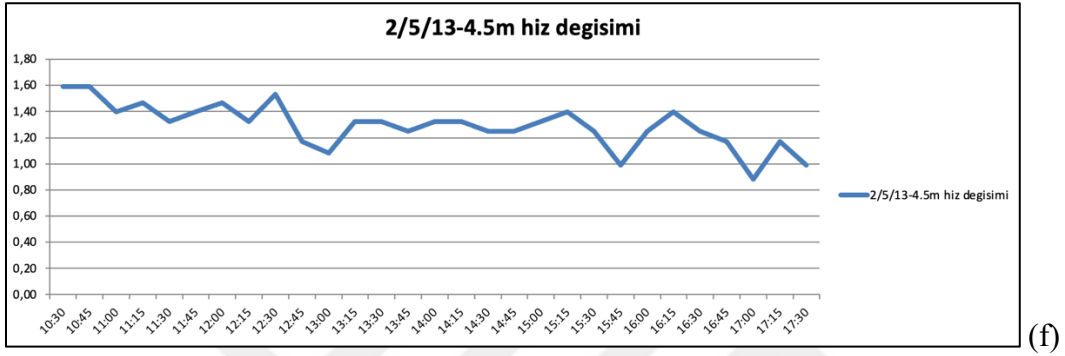
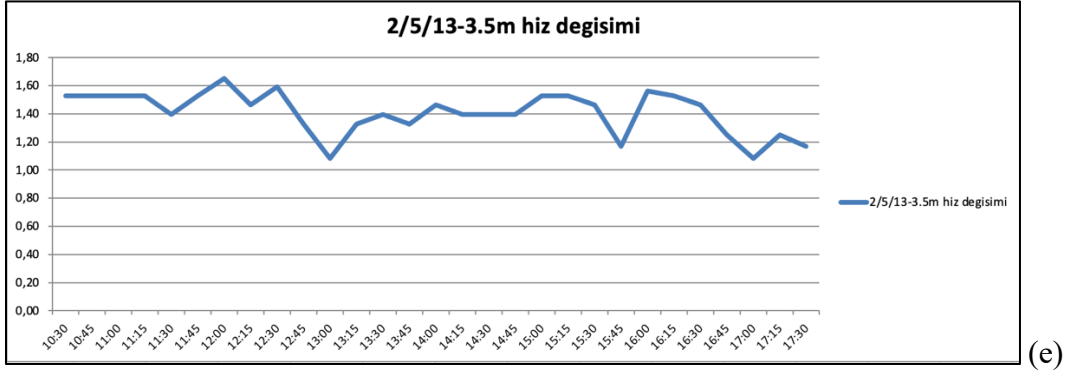
(b)



(c)



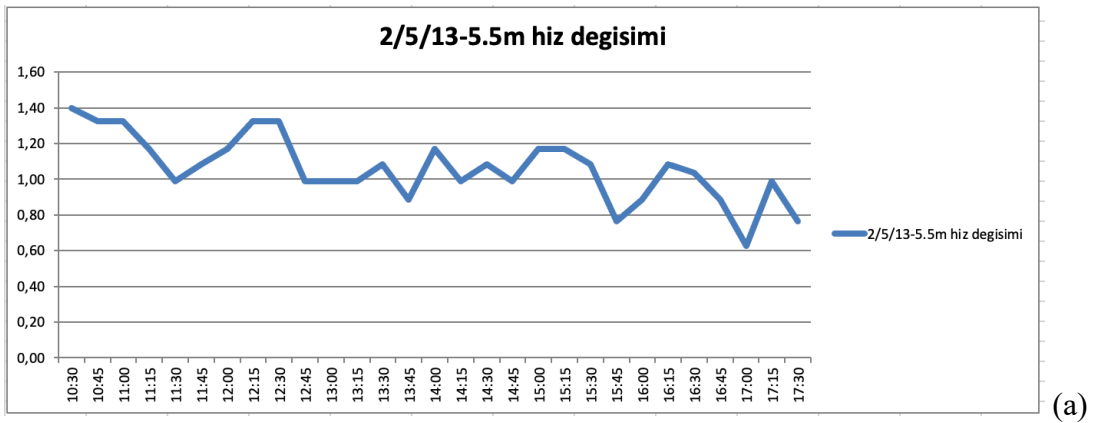
(d)

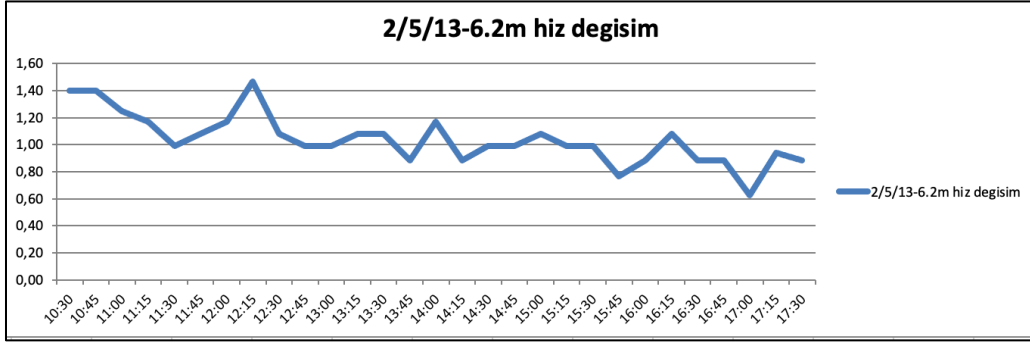


Şekil 60. Su yüzeyinden itibaren ilk 4,5 m’de akıntı ölçümü ve hız değişimleri (a,b,c,d,e,f)

Akıntı hızındaki düşmenin yanında, derinlik arttıkça hızdaki dalgalanmanın arttığı gözlemlenmiştir. Bu değişim boğazın çift akıntılı sisteminden kaynaklandığı söylenebilir. Her ne kadar platformun bulunduğu ölçüm yapılan yerdeki derinlikte tespit edilmiş ters bir alt akıntı olmasa da Marmara’dan Ege’ye doğru akan üst akıntıyı azaltıcı etkisi olmaktadır.

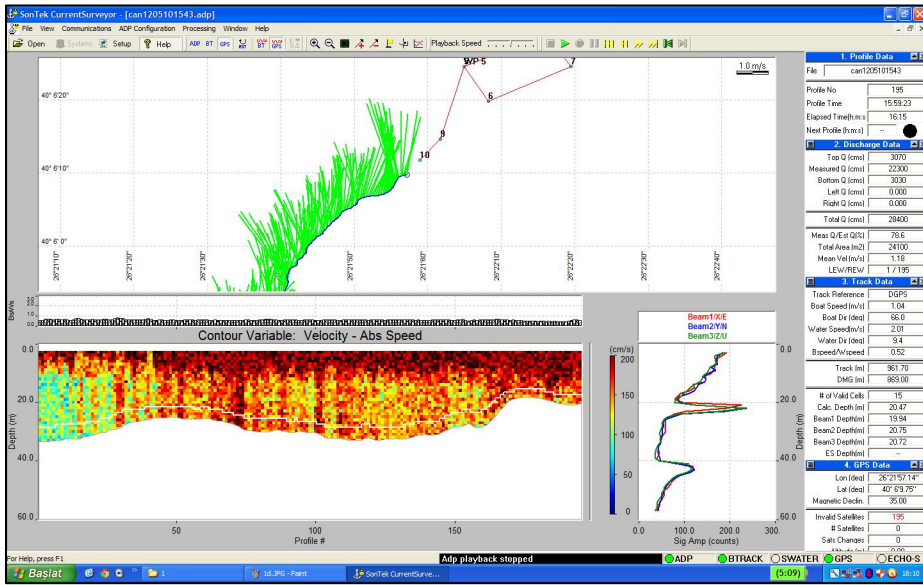
Test platformu üzerinden alınan pitot tüplerinden gelen veriler incelendiğinde ideal türbin boyutlandırmasının 4,4 metre olmasına karar verilmiştir. Farklı günlerde ADCP cihazı ile yapılan akıntı ölçümleri verileri de benzer sonuçları göstermektedir.



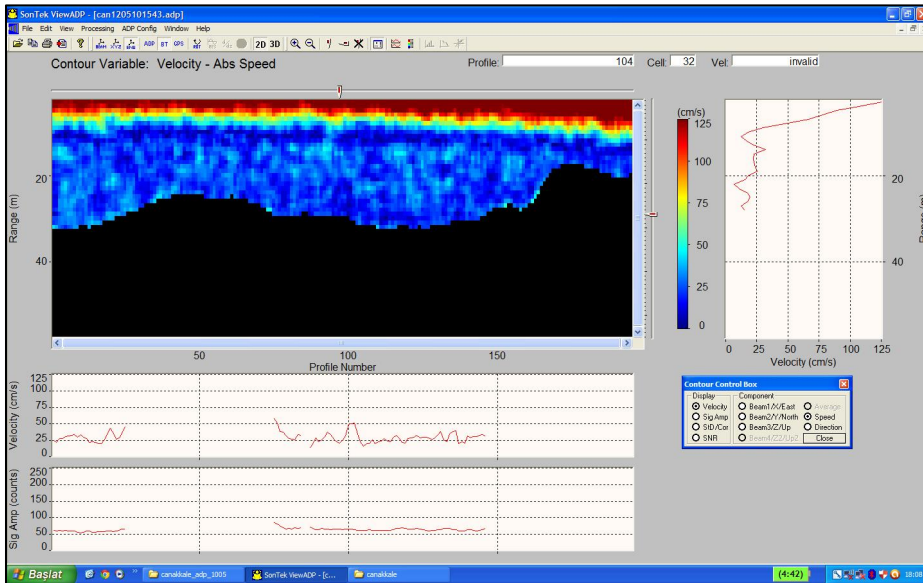


(b)

Şekil 61. Su yüzeyinden itibaren 5,5-6,2 m arasındaki derinlikte akıntı ölçümü ve hız değişimleri (a,b) (Özgün)



(a)



(b)

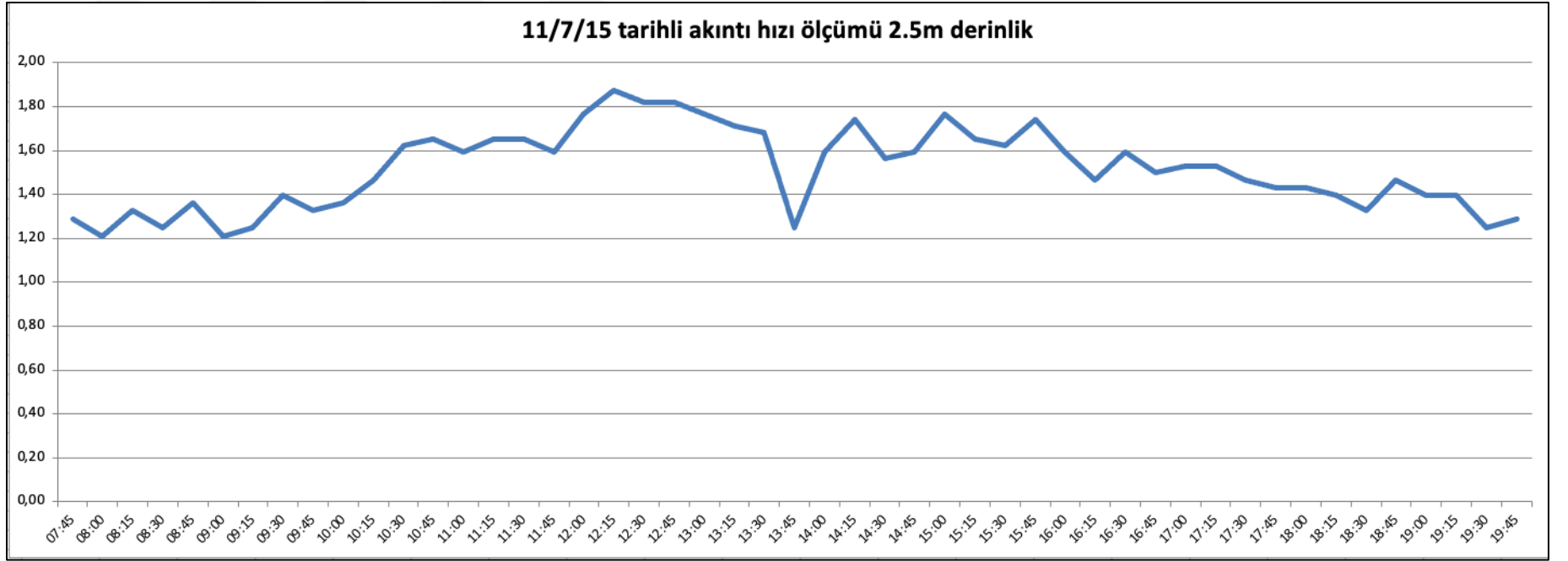
Şekil 62. ADCP cihazı ile yapılan akıntı ölçümü güzergahı ve akıntı hızı ölçümü(a,b)



Şekil 62 b'deki hız verisi incelendiğinde, kırmızı olarak renklendirilmiş derinliklerin akıntıdan enerji üretimi için uygun derinlikler olduğu söylenebilir. Koyu kırmızı renkler 1.5m/s ve üzeri akıntı hızlarını göstermektedir. Kırmızı olarak renklendirilmiş derinlik su yüzeyinden 5 m aşağıya kadar gitmektedir. Bu veriler ışığında türbin boyutlandırması yapılmıştır. Sırası ile önce türbin çapına karar verilmiş sonrasında ise akıntı ölçümü verileri sayesinde üretilebilecek teorik enerji hesaplanarak alternatörün gücüne (30kW) karar verilmiştir.

2015 yılının ikinci yarısından itibaren Mavi İda Enerji firmasına ait platformda 30 kW'lık akıntı türbini deniz şartlarında test edilmeye başlanmıştır. Geçmişte çalışılan 1kW altı dikey eksenli türbinlerin aksine bu türbinde karaya kablo bağlantısı yapılarak üretilen enerji kumanda odasına taşınmıştır. Bunun iki nedeni vardır. Birinci üretilecek elektriğin oldukça yüksek olmasından dolayı platform üzerinde tüketiminin sorun yaratacağı, ikinci ise türbinin açılı kontrol sistemini kumanda etmek için gereken sinyal kablolarının kıyıdaki kumanda panosuna götürülmesi zorunluluğudur.

Aşağıdaki grafiklerde test üretimleri sırasında alınan akıntı hızı ölçümü ve aynı periyod boyunca üretilen enerjinin verisi görülebilir. Pitot tüplerinden oluşan akıntı ölçerimizde özellikle dikkate alacağımız derinlik yüzeyden itibaren 2,5 m olan derinliktir. Bunun nedeni türbinin yatayda ekseninin bu derinliğe konuşlanmasındandır. Buna alternatif bir diğer yaklaşım ise su yüzeyinden itibaren türbin süpürme alanı içinde kalan ilk 5 m'nin akıntı hızlarının ortalamasını almaktır. Buradaki karşılaştırmada ortalama yerine, 2,5 m'lik akıntı hızını referans olarak verimlilik hesaplamalarına geçilecektir.



Şekil 63. Akıntı hızı verisi (m/sn), 12 saatlik (07:45-19:45 arası, 11/7/2015) (Özgün)

Şekil 63'deki verilen periyod boyunca ortalama saatlik üretilen güç 10,23 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu 12 saatlik süre boyunca toplam üretilen elektrik enerjisi ise 122,76 kWh'tir. Yine aynı periyod için ortalama akıntı hızı ise 1,51 m/s'dir. Ana formülümüze geri dönüp ortalama güç ve ortalama hız verilerini yerleştirip verimlilik hesaplayacak olursak;

$$P = 1/2 \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (4.2)$$

P : Güç (Watt)  
ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
C<sub>p</sub> : Verimlilik katsayısı  
A : Türbin süpürme alanı (m<sup>2</sup>)  
v : Akışkanın hızı (m/s)

$$P = 10,23 \text{ kW}$$

$$V = 1,51 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1015 \text{ kg/m}^3$$

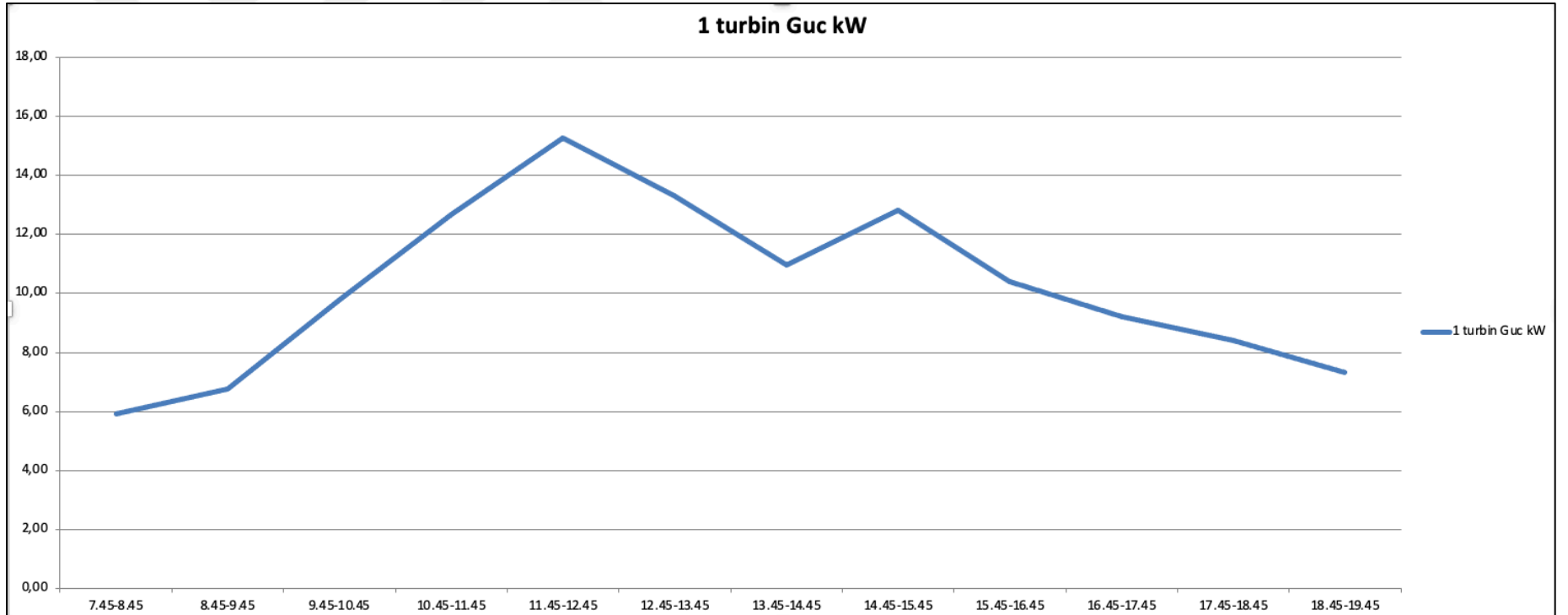
$$A = 15,20 \text{ m}^2$$

$$10,23 = 1/2 \times 1,015 \times C_p \times 15,20 \times 1,51^3$$

$$10,23 = C_p \times 26,16$$

Buradan C<sub>p</sub> verimlilik değeri %39 olarak hesaplanmaktadır.

Literatür çalışmalarında da incelendiği gibi, yatay eksenli akıntı türbinleri, dikey eksenli akıntı türbinlerine göre daha verimlidir. Çalışmanın yapıldığı Çanakkale Boğazı ve Mavi İda Enerji firmasının geliştirdiği türbinler için de literatür bilgileri doğrulanmıştır.



Şekil 64. 30 kW'lık türbininden elde edilen 12 saatlik enerji üretim verisi (07:45-19:45 arası, 11/7/2015) (Özgün)

### 4.9.3 Yatay Eksenli 2,5m Çapındaki Prototip Türbin Bulguları ile Karşılaştırma

Akıntı enerjisi konusunda Ar-Ge çalışmalarının en yoğun yapıldığı ülkelerden biri de İskoçya'dır. Gel-git kaynaklı yüksek akıntı hızlarına (3-4 m/s ye kadar çıkmakta) sahip coğrafyasında akıntı türbinlerinden enerji üretme konusunda hem laboratuvar (havuz testleri) hem de saha testleri gerçekleştiren Üniversiteler bulunmaktadır. Glasgow'daki Strathclyde Üniversitesi'nden J.A Clarkle ve bir grup araştırmacı akademisyen yatay eksenli bir türbin geliştirerek deniz koşullarında testlerini gerçekleştirmişlerdir.



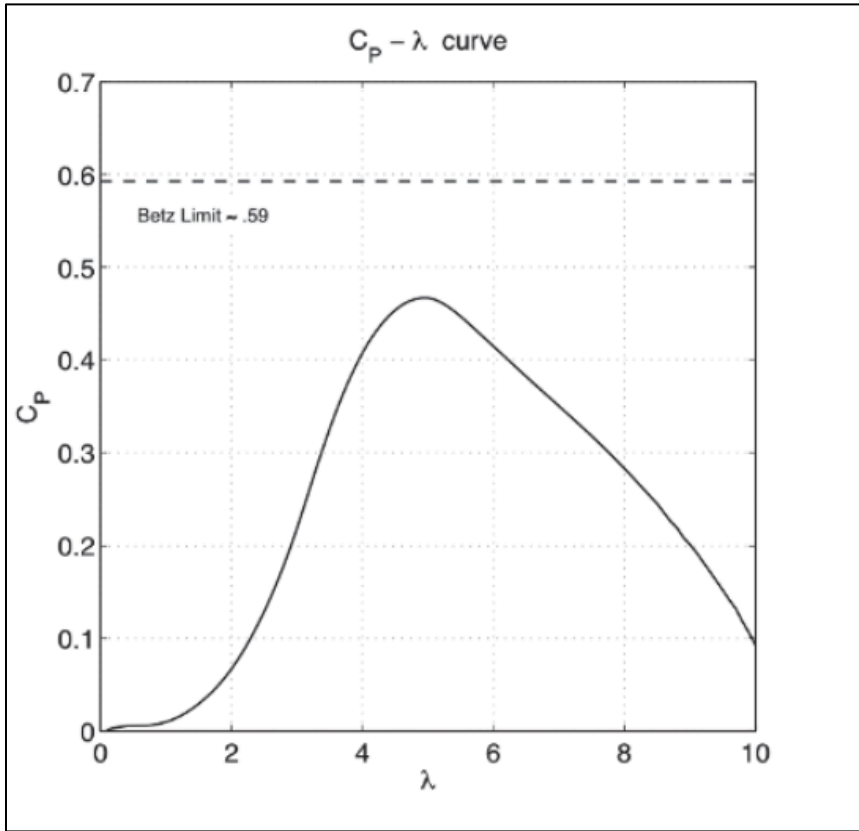
Şekil 65. Strathclyde Üniversitesi'nde geliştirilen 2,5m çapındaki akıntı türbini (Clarke vd., 2006)

Şekil 65'te görülen akıntı türbini gerçek türbinin 1/10 ölçekli prototipidir. Türbin birbirine test dönen iki grup kanattan oluşmaktadır. Akıntıyı ilk alan ön grup 3 kanatlı olarak, arkadaki terse dönen grup ise 4 kanatlı olarak tasarlanmıştır. Türbin çapı 2,5 m ve ağırlık olarak 663 kg gelmektedir. Türbinin deniz testi, fotoğrafta görülen teknenin yanına türbini monte ederek gerçekleştirilmiştir. Tekneye yol verilerek suni bir akıntı oluşturulmuştur. Test



boyunca ulaşılan maksimum akıntı hızı 1,5m/s'dir. Ancak türbin 3,5 m/s akıntı hızına göre tasarlanmıştır. Clarke vd. (2007), türbin verimlilik katsayısı olan  $C_p$  değerini 1,5 m/s akıntı hızına göre 0,38 olarak hesaplamışlardır ve bu hızda üretilen elektrik 2098W olarak kayda geçirilmiştir.

Yatay eksenli akıntı türbinlerinin verimlilikleri üzerine yapılan bir diğer çalışmada, Johnstone vd, (2011) farklı TSR'lere göre oluşabilecek  $C_p$  değerlerini Şekil 66'da yayınlamıştır. Teorik sınır olan 0,59'luk Betz Limiti gösterilmiştir.



Şekil 66. Yatay eksenli akıntı türbinleri için farklı TSR' lerde  $C_p$  değerleri (Johnstone vd, 2011)

Pembrokeshire Üniversite'sinden, Watt vd (2005), İngiltere'nin çeşitli bölgeleri için akıntı enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli hesapları gerçekleştirmişlerdir. Bu hesaplamalarda farklı türbin çapları için, türbin verimliliği  $C_p$  değerini 0,3 (kötümser senaryo) ile 0,4 (iyimser senaryo) üzerinden alınmış ve günlük, yıllık toplam elektrik üretimleri hesaplanmıştır.

Tablo 11

İngiltere’de kurulan yatay eksenli bir akıntı türbininin farklı çaplar için üreteceği elektrik enerjisi değerleri ( $C_p$  değeri 0,4 olarak seçildiğinde) (Watt vd, 2005)

$C_p$ 0,4 olarak seçilmiştir	2,5m (D)	5m (D)	10m (D)	20m (D)
1 günde üretililebilecek Enerji (kWh)	56,26	225,06	900,26	3601,06
1 yılda üretililebilecek Enerji (kWh)	20537,3	82149,19	328596,8	1314387

Tablo 12

İngiltere’de kurulan yatay eksenli bir akıntı türbininin farklı çaplar için üreteceği elektrik enerjisi değerleri ( $C_p$  değeri 0,3 olarak seçildiğinde) (Watt vd, 2005)

$C_p$ 0,3 olarak seçilmiştir	2,5m (D)	5m (D)	10m (D)	20m (D)
1 günde üretililebilecek Enerji (kWh)	42,19	168,79	675,19	2700,79
1 yılda üretililebilecek Enerji (kWh)	15402,97	61611,89	246447,6	985790,3

## BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Barcın Enerji İhtiyacını Karşılatabilecek Kapasitedeki Bir Türbinin Boyutlandırılması

Çalışma kapsamında incelenen akıntı türbinlerinden elde edilen enerji miktarları belirlenerek, Offshore barç platformlardaki ihtiyaç miktarına göre akıntı gücü ve türbin boyutu ilişkilendirilmiştir. Bu bölümde, bölgesel olarak açık deniz koşullarında farklı akıntı hızlarına bağlı durumlara göre öneriler sunulmuştur.

#### Sonuç 1

**“Yeni Çevre Yasası” gereği asgari şartlar olan 0,1 m/s üzerinde akıntı hızı olan bölgelerdeki Tesisler için;**

Bu durumda ortalama akıntı hızı 0,25 m/s olan bir deniz sahasında kurulmuş barç sistemine entegre edilmiş bir akıntı türbininden elde edilebilecek enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

Burada Güç hesabı yapılırken, önceki bölümlerde incelenmiş ve bu çalışma kapsamında testleri gerçekleştirilmiş 4,4 m çapındaki yatay eksenli akıntı türbini üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (5.1)$$

$$V = 0,25 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,14 \times 2,2^2 = 15,20 \text{ m}^2$$

$$P = 0,5 \times 1015 \times 0,35 \times 15,20 \times 0,016 = 43 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{günlük}} = 43 \times 24 = 1032 \text{ Watt (Türbinin günlük enerji üretimi)}$$

Görüldüğü gibi düşük akıntı hızından dolayı 4,4 m çapındaki bir akıntı türbininden üretilen elektrik enerjisi, barcın elektrik ihtiyacını karşılamaktan çok uzaktır. Tablo 5’ de

belirtildiği gibi barcın günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 224,27 kWh olup türbinden gelen enerji 217 de biridir. Şüphesiz bu durumda barcın enerji ihtiyacını karşılamada diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak gerekmektedir.

### *Öneri 1.*

Barcın enerji ihtiyacında diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak: Barç üzerindeki yaşama alanına özellikle çatı kısmı başta olmak üzere fotovoltaik güneş panelleri yerleştirilebilir. Güneş panellerinin boyutları ve kapasiteleri incelendiğinde ortalama 70 m<sup>2</sup>'lik bir alana 10kW gücünde mikro bir güneş enerji santrali kurulabilmektedir. Güneş enerjisi toplam kurulu gücünün %15-22'lik bir kısmını yıllık ortalamada üretebilmektedir. Bu da saatlik yaklaşık 2 kW'lık bir güce karşılık gelmektedir. Yine aynı barç üzerine rüzgar türbini kurulumu yapılarak yenilenebilir enerjiden üretim artırılabilir. Barç üzeri rüzgar türbini 3,2 m çapında seçildiğinde 2 kW'lık bir kapasiteye sahip olmuştur. Rüzgâr türbinlerinin kapasite faktörü %20-30 arasındadır. Bu da ilave olarak saatlik 0,5 kW'lık bir katkı sağlayabilmektedir. Bu durumda rüzgar ve güneşi beraber kullanarak günlük net 60kWh bir elektrik üretimi yapılabilir. Bu da toplam enerji ihtiyacının %27 lik bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması anlamına gelmektedir. Barç üzerindeki alana ilave rüzgar türbinleri kurularak yenilenebilir enerji üretimi daha yukarı çekilebilir.

### **Sonuç 2**

**“Oldukça Açık Deniz” niteliğinde olan deniz sahalarında faaliyet gösteren Tesisler için;**

Bir önceki senaryoda görüldüğü gibi akıntı türbinlerinden elde edilebilecek gücü etkileyen iki önemli faktörü (akıntı hızı ve türbin çapı) daha önce bahsetmiştik. Yetiştiricilik yapılacak olan bölgedeki akıntı hızları için 2005-2006 yılında yürürlüğü giren yeni çevre yasasına göre 0,1 m/s den yüksek olması zorunluluğu getirilmiştir. Ancak akıntı türbinlerinden enerji üretiminde 1 m/s nin altındaki su hızlarında enerji üretimi verimli sayılmamaktadır. Bu çerçevede bir pilot analiz çalışması yapılacak olursak yetiştiricilik yapılacak alandaki ortalama akıntı hızını 0,75 m/s olduğunu varsayalım. Daha önce

incelediğimiz gibi orta büyüklükteki bir yetiştiricilik tesisin elektrik tüketen sistemlerinin hepsi toplandığında saatlik ortalama 9,3 kW (224:24= 9,3kW) güç tüketmektedir. Barç platformuna bağlanabilecek akıntı türbini çapını 3 metre olarak belirlersek bu şartlarda üretilebilecek enerji;

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (5.1)$$

$$V = 0,75 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,14 \times 1,5^2 = 7,065 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,39 \times 7,065 \times 0,75^3$$

$$P = 581 \text{ Watt}$$

Görüldüğü üzere düşük akıntı hızından dolayı 3 m çapındaki bir akıntı türbinin tesise verebileceği elektrik enerjisi katkısı saatlik 0,581kWh tir. Bu da tesisin saatlik tüketiminin %6,5 uguna denk gelmektedir. Yetiştiricilik tesisinde en çok enerji tüketen ekipman, yem pompaları olup tesisin toplam enerji tüketiminin %93,5'lik kısmını oluşturmaktadır. Bu noktada akıntı hızını değiştirmenin mümkün olmadığından ötürü, tesisin enerji tüketiminin daha büyük bir kısmını yenilenebilir kaynaklardan sağlamak için birkaç senaryo hazırlanmıştır;

#### *Öneri 1.*

Akıntı türbinini çapını artırarak daha fazla enerji üretmek: Yetiştiricilik tesisleri için türbin boyutlandırması yapılırken türbin çapını fazla büyütmek tercih edilmemiştir. Bunun nedeni türbin çapını arttırdığımızda, türbin boyutlarının ve ağırlığının bakım onarımı zorlaştırıcı bir etki yapacağıdır. Periyodik bakımlar için türbinin taşınmasını ve yeniden tesise kurulumunu ciddi şekilde zorlaştıracak ve bakım maliyetini arttırmıştır. Halbuki 3 m çapındaki bir türbin için bakım ve onarım faaliyetlerinin büyük kısmı barç üzerinde yapılabilir. Bakım ve onarım konusundaki maliyeti bir kenara bırakıp türbin çapını 6,4 metreye çıkardığımızdaki durumdaki üretilecek enerjiye baktığımızda;



$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (5.1)$$

$$V = 0,75 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,14 \times 3,2^2 = 32,15 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,39 \times 32,15 \times 0,75^3$$

$$P = 2,64 \text{ kW}$$

Türbin çapını arttırarak enerji üretimini saatte 2,64kWh a çıkarmış olduk. Bu durumda tesisin enerji ihtiyacının %29,3 ü akıntı türbininden karşılanmış olmuştur.

Şekil 67’de görüldüğü gibi türbin boyutundaki yapılan artış, üretilen enerji miktarını arttırsa da bakım-onarım maliyetlerini geometrik olarak arttırmaktır.



Şekil 67. 55 kW akıntı türbini, Çap 6,4 m (Özgün)

## Öneri 2.

Akıntı türbinini çapını değiştirmeden sayısını arttırarak daha fazla enerji üretmek: İlk hareket noktamız olan 3 m çapındaki türbinlerin sayısını arttırarak yenilenebilir enerjiden elde edilen üretim arttırılabilir. İlk alternatifte göre bunun daha verimli olacağı düşünölmektedir. Bunun nedeni türbin çapı büyüdüğünde türbinin gücünün lineer olarak artması ancak türbin maliyetinin ondan daha fazla artmasıdır.

Türbin çapını küçük tutmanın diğer bir faydası da daha önce bahsedildiği gibi bakım-onarım maliyetleridir. 3 m'lik bir türbinden üretilebilecek güç 0,581 kW olarak gösterilmişti. Bir önceki senaryodaki üretilen güç olan 2,64 kW'ya ulaşabilmek için 4 adet 3 m'lik türbin gerekmektedir. Bunun işletme açısından çok daha verimli olacağı düşünölmektedir.

## Sonuç 3

**“Tamamen Açık Deniz” veya “akışlı sistem” olarak adlandırılan deniz sahalarında faaliyet gösteren Tesisler için**

Üçüncü senaryo olarak Yeni Çevre yasasının yetiştiricilik için izin verdiği kıyıda açıkılık ve derinlik gibi asgari şartlarının en az üç katı arttırılarak (90-100 m derinlik ve 7-8km kıyıda uzaklık) kurulacak bir tesisin enerji ihtiyacını karşılamada akıntı türbinlerinin uygulanabilirliğine bakalım. Bu projeksiyon bize önümüzde yıllarda Bakanlığın belirlediği yetiştiricilik alanlarının sınıra yaklaştığı ve yeni yetiştiricilik tesislerinin kıyıda 15-20km gibi oldukça uzak sahalarda yapılması durumundaki koşullarda enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı sorusuna çözüm bulmaya yardımcı olacaktır. Bu çerçevede yetiştiricilik yapılacak saha kıyıda 20km uzakta, 100m derinlikte ve 2,1 m/s ortalama akıntı hızına sahip bir yer olsun. Buraya, bu tez kapsamında incelenen 30kW gücündeki 4,4m çapındaki yatay eksenli akıntı türbini kurulduğunda sistemin ihtiyacını karşılamadaki durumunu inceleyelim.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3 \quad (5.1)$$

$$V = 2,1 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = 3,14 \times 2,2^2 = 15,20 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,39 \times 15,20 \times 2,1^3$$

$$P = 27,45 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Günlük}} = 27,45 \times 24 = 658,8 \text{ kWh (Günlük türbinin üreteceği elektrik enerjisi)}$$

Akuakültür pompalarıyla birlikte, barçta operasyonel aktiviteler ve personel yaşam faaliyetleri için Buzdolabı, Bulaşık Makinesi, TV, Fırın, Bilgisayar sistemleri, soğutucu, ısıtıcı ve cihazlar için gerekli enerji miktarları da dikkate alındığında, 4.000 ton üretim kapasiteli ağ kafes tesisleri etrafına yerleştirilecek olan barç sisteminde toplam enerji ihtiyacı 224,27 kWh şeklinde hesaplanmıştır (Tablo 5). Bir diğer deyişle saatlik 9,3kW lık bir güce ihtiyaç vardır.

Türbinin üretebileceği günlük enerji 658,8kWh olarak hesaplanmış olup 224,27kWh günlük barç ihtiyacını emniyetli bir şekilde karşılayabilmektedir.

Buna göre, çalışmada ulaşılan 30 kW enerji üretebilen 1 adet türbin sisteminin 4.000 ton balık üretimi için barç platform üzerinde ihtiyaç duyulan enerji miktarının üretilmesi için yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Denizde ağ kafes sistemlerinde gerekli enerji için kullanılacak temiz enerji kaynakları arasında akıntı, rüzgar ve güneş enerjisi tez içerisinde değerlendirilmekle beraber kurulan tesisler daha çok kıyıdan uzakta ve dalgaya açık alanlar olduğu için dalgadan üretilen enerji de ileriki yıllarda önemli olabilecektir. Henüz araştırma aşamasında olan dalgadan enerji üretme çalışmaları kafesleri etkileyen hakim dalga yönünde kurulacak dalgakıran veya benzeri sistemlere entegre edilmesi ile yeni enerji kaynakları sağlanabilecektir. Yine benzer şekilde, kafes mooring sistemlerine de dalga ve akıntıdan enerji üretimi ile ilgili sistemlerin kurulumu mümkün görülmektedir.

### *Öneri 1.*

Alternatif Hibrit Üretim Kombinasyonlarının uygulanması: Tamamen açık deniz veya akışlı sistemlerde, kıyıdan uzaklık ve derinlik faktörleri göz önüne alındığında yüksek

enerjili dalga oluşumları öngörülmektedir. Oluşacak bu dalga enerjisini, elektrik enerjisine çevirmek için dalga enerji teknolojilerinden faydalanılabilir. Tesis çevresindeki dalganın enerjisi alınarak hem elektrik üretimi sağlanacak hem de kafeslere gelecek yük azaltılacaktır.

Dalga ve akıntı enerjisinin beraber kullanımına ilave olarak, akıntı ve offshore rüzgar da hibrit olarak kullanılabilir. Özellikle iyi rüzgar alan bölgelerde yüzer veya sabit offshore rüzgar türbinlerinin taşıyıcı yapılarına akıntı enerjisi türbinlerin eklenerek üretilecek enerjide artış sağlanırken ilave kurulum maliyeti ve taşıyıcı yapı gereksinimi olmadığı için maliyet tasarrufu da sağlanabilir.



## KAYNAKÇA

- Afşar, E. ve Yurddaş, Ç. (2018). CAMELYAF- GLASS FIBER, CTP Teknolojisi. [https://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2018/11/CTP\\_Teknolojisi.pdf](https://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2018/11/CTP_Teknolojisi.pdf) (Erişim tarihi: 20.11.2021)
- Akwensivie, F. (2004). In the wake of a marine current turbine. Published M.Sc. thesis, University of Strathclyde, Scotland.
- Anonymous, (2018). Schottel Hydro pulls out of Canada Project. <https://www.machinery-market.co.uk/news/19683/Schottel-Hydro-pulls-out-of-Canada-project> (Erişim tarihi: 18.11.2021)
- Clarke, J.A., Connor, G., Grant, A.D., Johnstone, C.M. ve Mackenzie, D. (2007). “Development of a contra-rotating tidal current turbine and analysis of performance”. Energy Systems Research Unit. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.523.4281&rep=rep1&type=pdf> (Erişim tarihi: 08.01.2022)
- Demirören, A., Gören, Ö. ve Üstün, Ö. (2013). “İstanbul Boğazı’ndaki akıntı enerjisi yardımıyla elektrik eldesi” Erişim: [https://www.emo.org.tr/ekler/ef560b7064c2e68\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/ef560b7064c2e68_ek.pdf) (Erişim tarihi: 04.10.2021)
- Ergün S., Yiğit M. ve Yılmaz S. (2020). Turkish aqua-feed industry and future challenges. In: MARINE AQUACULTURE IN TURKEY: ADVANCEMENTS AND MANAGEMENT. Ed. Çoban D., Demircan M.D., Tosun D.D. Turkish Marine Research Foundation TÜDAV Publication No: 59, pp: 231-253, Istanbul, 2020. [https://tudav.org/wp-content/uploads/2020/12/Marine\\_Aquaculture\\_in\\_Turkey\\_2020\\_low.pdf](https://tudav.org/wp-content/uploads/2020/12/Marine_Aquaculture_in_Turkey_2020_low.pdf) (Erişim tarihi: 02.12.2021)
- FAO (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI). ISBN: 978-92-5-134325-8, pp. 240. Rome, Italy.
- Gant, S. ve Stallard, T. (2008). “Modelling a tidal turbine in unsteady flow”. Paper ISOPE-2008. [https://www.researchgate.net/publication/267797083\\_Modelling\\_a\\_Tidal\\_Turbine\\_in\\_Unsteady\\_Flow](https://www.researchgate.net/publication/267797083_Modelling_a_Tidal_Turbine_in_Unsteady_Flow) (Erişim tarihi: 18.10.2021)



- Grabbe, M. (2009). "Marine current energy conversion, resource and technology". Uppsala Universitet, Division of Electricity, Department of Engineering Science. UURIE 309-09L, Uppsala 2009.
- Johnstone, C.M., McCombes, T., Bahaj, A.S., Myers, L., Holmes, B., Kofoed, J.P. ve Bittencourt, C. (2011). "EquiMar: Development of Best Practices for the Engineering Performance Appraisal of Wave and Tidal Energy Converters". Energy Systems Research Unit, [https://www.researchgate.net/publication/264156622\\_Development\\_of\\_Best\\_Practices\\_for\\_the\\_Engineering\\_Performance\\_Appraisal\\_of\\_Wave\\_and\\_Tidal\\_Energy\\_Converters](https://www.researchgate.net/publication/264156622_Development_of_Best_Practices_for_the_Engineering_Performance_Appraisal_of_Wave_and_Tidal_Energy_Converters) (Erişim tarihi: 21.08.2021)
- Khan, M.J., Bhuyan, G., Iqbal, M.T. ve Quaicoe, J.E. (2009). "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review". Applied Energy, 86, 1823-1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017>.
- Koko, P.S. (2014). "Techno-economic analysis of an off-grid micro-hydrokinetic river system as a remote rural electrification option". Published Master thesis, Central University of Technology, Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Kurucu, A.A. (2017). "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Hesaplanması". Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (1). [https://doi.org/10.1501/sbeder\\_0000000133](https://doi.org/10.1501/sbeder_0000000133).
- McGeehan, P. (2012). In Quest for River's Power, an Underwater Test Spin, Newyork Times. <https://www.nytimes.com/2012/09/12/nyregion/in-quest-for-east-rivers-power-a-search-for-stouter-arms.html?ref=todayspaper> (Erişim tarihi: 16.01.2022)
- Menicou, M. ve Vassiliou, V. (2010). "Prospective energy needs in Mediterranean offshore aquaculture: Renewable and sustainable energy solutions". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 3084-3091. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.013>.
- Oram, P. (2019). SIMEC ATLANTIS TO DEVELOP LARGEST TIDAL STREAM TURBINE WITH GE, May 17, 2019, <http://www.energyglobalnews.com/simec-atlantis-to-develop-largest-tidal-stream-turbine-with-ge/>.

- Rinaldi, G. (2020). "Offshore Renewable Energy – Resources, Challenges and Applications". Renewable Energy, Ed. Al Qubeissi, M., El-lharouf, A., Soyhan, S. InTech Open, September 9, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91662>.
- Roberts, D. (2019). The global transition to clean energy, explained in 12 charts. Vox, published June 26, 2019. <https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs> (Erişim tarihi: 25.04.2022)
- Schottel, (2018). Following a successful Scottish testing programme the first PLAT-I platform is being relocated to Nova Scotia, Canada <https://www.schottel.de/en/media-events/press-releases/press-detail/following-a-successful-scottish-testing-programme-the-first-plat-i-platform-is-being-relocated-to-nova-scotia-canada>
- Srikanth, N. (2018). "Hybrid floating renewable towards tropics". Nanyang Technologicaş University, Energy Research Institute, Singapore. [https://www.celluleenergie.cnrs.fr/wp-content/uploads/2018/08/r3-\\_wind\\_and\\_marine.pdf](https://www.celluleenergie.cnrs.fr/wp-content/uploads/2018/08/r3-_wind_and_marine.pdf) (Erişim tarihi: 17.02.2022)
- Subramaniam, T.K., Premanand, R. (2015). "A device to harness the power of the tides and waves off every coast". American Journal of Environmental Engineering and Science, 2 (6), 74-77. <http://www.aascit.org/journal/ajees>.
- Tarhan İ., Yüksel B., Demircan O., Özmetin C., Türkeş M., Sümer S. K., Yiğit M., Baysal H., şahiner N., İlten N., Büyükatęř İnanmaz Y., Akyol T., Aslan Çam A vd. (2013). TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Sonuç Raporu: Deniz Enerjileri (Ed. Murat Yiğit, Yeşim Büyükatęř). GMKA, Balıkesir, ss. 70-96, 2013. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Yenilenebilir-Enerji-Arastirmasi.pdf>.
- UN-WPP (2019). United Nations, World Population Projects 2019. UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics. <https://population.un.org/wpp/>
- UIUC (2022). UIUC Applied Aerodynamics Group, Department of Aerospace Engineering, UIUC Airfoil Coordinates Database. [https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord\\_database.html](https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html)? (Erişim tarihi: 06.12.2021)

Watt, L., Morris, S., Tidmarsh, G., (2005). “Pembrokeshire Recovery of Energy from Tidal Streams (PRETS)”. Pembrokeshire Collage.

Whitlock, R. (2015). Tocado and Huisman install tidal energy plant in Dutch Eastern Scheldt. Renewable Energy Magazine, Published 25 September, 2015, The Netherlands. [https://www.renewableenergymagazine.com/ocean\\_energy/tocado-and-huisman-install-tidal-energy-plant-20150925](https://www.renewableenergymagazine.com/ocean_energy/tocado-and-huisman-install-tidal-energy-plant-20150925).

Worldometer (2022a). World Population Growth, <https://www.worldometers.info>

Worldometer (2022b). World Energy Use, <https://www.worldometers.info/energy/>



