

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

**SALINIMLI BİR SU KOLONUNDA DALGA-ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ
OLARAK KONİK BİR DALGA TOPLAYICININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED BURAK DURDU

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

AĞUSTOS 2022

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

**SALINIMLI BİR SU KOLONUNDA DALGA-ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ
OLARAK KONİK BİR DALGA TOPLAYICININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed Burak Durdu
(36193628042)**

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

AĞUSTOS 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisansım ve tez çalışmam süresince, çalışmalarıyla yardım, öneri, engin bilgi ve deneyimleriyle, beni destekleyip yön gösteren danışman Sayın Doç.Dr. Yunus ÖNAL hocama,

Bu tez çalışmam süresince gerekli ölçüm tasarım kısmında değerli fikirlerini paylaşarak desteklerini esirgemeyen İnönü Üniversitesi Fizik Bölümünden Prof.Dr. SERDAR ALTIN hocama,

Çalışmalarımda ve hayatımın her alanında beni destekleyen babam Mehmet Orhan DURDU'ya ve annem Seyhan DURDU'ya,

Yazmış olduğum bu tezin uygulama aşamasında da tarafıma vermiş oldukları maddi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine

Teşekkürü bir borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “SALINIMLI BİR SU KOLONUNDA DALGA-ENERJİ DÖNÜŐTÜRÜCÜŐÜ OLARAK KONİK BİR DALGA TOPLAYICININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİŐİ” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Muhammed Burak DURDU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. DALGA ENERJİSİ	6
2.1 Genel Bilgi	6
2.2 Dalga Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Yönleri	9
2.2.1 Dalga enerjisinin olumlu yönleri	9
2.2.2 Dalga enerjisinin olumsuz yönleri.....	10
2.3 Dalga Hareketinin Denklemi	11
2.4 Dalga Enerjisinin Hesabı	13
3. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ	16
3.1 Kıyı Şeridi (Shorline) Uygulamaları.....	16
3.2 Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar	20
3.3 Açık Deniz Tipi (Off-Shore) Uygulamaları.....	22
3.4 Aktif Durumda Olan Enerji Dönüştürücüleri.....	27
3.5 Dalga Enerjisinin Ekonomik Analizi	31
3.6 Türkiye’deki Dalga Enerjisi Potansiyeli	34
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	37
4.1 Salınan Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücüleri ve Hava Türbinleri: Bir İnceleme.....	37
4.2 Salımlı Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Geometri Optimizasyonu Üzerindeki Uzun Vadeli Dalga Eğilimlerinin Etkisi Hakkında.....	37
4.3 Karada Salınan Su Kolonu Cihazlarının Hidrodinamiği: Düzleştirilmiş Parçacık Hidrodinamiği Kullanan Sayısal Bir Çalışma.....	38
4.4 Çoklu Salımlı Su Sütunu (OWC) Platformunun Hidrodinamik Performansı.....	38
4.5 Yüzen Bir Dalgakırana Entegre Edilmiş Çok Sayıda Salımlı Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Deneysel Araştırması: Dalga Zayıflatma ve Hareket Özellikleri	39
4.6 Eksenel Simetrik Yüzer Salımlı Su Sütun Tipi Dalga Enerjisi Dönüştürücüsünün Genişletilmiş İç Borulu Hidrodinamik Optimizasyonu	39
4.7 Çeşitli Dalgalı Dudak Duvarlarına Sahip Salımlı Bir Su Kolonu Cihazı İçin Dalga Gücü Ekstraksiyon Analizi	40
4.8 Silindirik Çift Odacıklı Salımlı Su Kolonu Cihazının Hidrodinamik Performansı Üzerine Deneysel Araştırma	40
4.9 Sabit Salımlı Su Kolonu Tipi Dalga Enerji Dönüştürücüsünün Performansı Üzerine Deneysel Araştırmalar	41
4.10 Boru Şeklinde Bir Yapıya Entegre Salımlı Su Kolonundan Dalga Gücü Ekstraksiyonu.....	41
4.11 Yatay Taban Plakalı Yeni Bir Salımlı Su Sütunu Dalgakırınının Hidrodinamik Performansı: Deneysel ve Sayısal Çalışma	42

4.12 Model Ölçeğinde Düzenli Dalgalarda Çok Bölmeli Salınımlı Su Kolonunun Modellenmesi.....	42
4.13 Salınımlı Su Kolonu Dalga Enerjisi Dönüştürücülerinde Yay Benzeri Hava Sıkıştırılabilirlik Etkisi.....	42
4.14 U Şeklinde Salınan Su Kolonu Dalga Enerjisi Cihazının Geometrik İncelenmesi	43
4.15 Yüzer Dairesel Salınımlı Su Sütunlu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Üç Üniteli Dizilerinin Hidrodinamik Analizi.....	44
4.16 Çeyrek Daire Şeklindeki Salınan Su Sütunu Cihazının Zaman Alan Analizi.....	44
4.17 Savonius Rotoru Kullanan Salınımlı Bir Su Sütunu Üzerinde Performans Çalışmaları	45
4.18 Salınımlı Su Kolonlarında Dağılım	45
5. MATERYAL YÖNTEM.....	46
5.1 Tezin Amacı.....	46
5.2 Materyal	46
5.3 Yöntem.....	48
5.3.1 Wells türbini	49
5.3.2 Arduino ile dalga yaratıcı	56
5.3.3 Havuz tankı ve konik tasarım	63
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	75
6.1 Sistem Verilerinin Elde Edilmesi.....	75
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1: 2017 Yılıının Sonunda Ülkelere Göre Yenilenebilir Elektrik Kurulu Güç Kapasitesi (GW)	2
Çizelge 1.2: Ülkeler ve Küresel Enerji Verisi.....	3
Çizelge 1.3: 2040 yılı küresel Yenilenebilir Enerji Kullanım ve dağılımı senaryosu.....	4
Çizelge 2.1: Küresel olarak yenilenebilir enerjinin yıllık olarak doğal potansiyeli	7
Çizelge 2.3: 8 s periyotlu dalgalar için genlik ve güç.....	14
Çizelge 3.1: Yaklaşık olarak tahmin edilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim ve dağıtım giderleri.....	32
Çizelge 3.2: Dalga enerjisi bakımından yoğun yerlerin sahip olduğu net dalga gücü.....	33
Çizelge 3.3: Bölgelere göre metre başına düşen ortalama deniz dalgası güç potansiyeli ...	36
Çizelge 6.1: Dalgaların Verileri	75
Çizelge 6.2: Farklı dalga hızlarında ölçülen veriler	89
Çizelge 6.3: Farklı dalga hızlarında ölçülen veriler	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki artış	3
Şekil 1.2: OECD’de enerji kaynağı açısından elektrik üretimi artışı	4
Şekil 2.1: Dünya çapındaki tüm dalga enerjisi şebeke noktaları için yıllık küresel dalga gücü.....	8
Şekil 2.2: Dünya kıyıları üzerindeki dalga enerjisi potansiyeli	9
Şekil 2.3: Genel Dalga Karakteristikleri	11
Şekil 2.4: Su Yüzeyi Profili Örneği	12
Şekil 2.5: Dalga Spektrumu	13
Şekil 2.6: Fırtına ve rüzgarın etkisinde olan deniz dalgaları.....	13
Şekil 2.7: Dalgada biriken kinetik ve potansiyel enerji	14
Şekil 3.1: OWC teorisine dayanan karakteristik bir sistem	17
Şekil 3.2: Portekiz’in Azor Adaları’ndaki Pico adasındaki bir kıyı şeridi OWC dalga santrali.....	17
Şekil 3.3: 2000 yılında İskoçya, Birleşik Krallık’ta İslay adasında kurulan 500 kW gücündeki LIMPET OWC tesisi.....	18
Şekil 3.4: Daralan Kanal’da uygulanan enerji dönüşüm uygulamasının şematik diyagramı	18
Şekil 3.5: Daralan Kanal (TAPCHAN) pilot tesis	19
Şekil 3.6: SEADOG enerji dönüştürücüsünün şematik gösterimi	19
Şekil 3.7: Pendulor enerji dönüşüm sisteminin şematik gösterimi	20
Şekil 3.8: Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi	21
Şekil 3.9: Oceanlinx Dalga enerji dönüştürücüsü	21
Şekil 3.10: Elektriğin iletilmesi için su altı hattı.....	22
Şekil 3.11: Açık Deniz Tipi WEC’lerin derinlik ve uzaklık görünümleri	22
Şekil 3.12: Pelamis.....	23
Şekil 3.13: Pelamis sisteminin taslak görünümü.....	24
Şekil 3.14: Pelamis dalga dönüşüm modülleri	24
Şekil 3.15: Wave Dragon prototipinin deniz testi	25
Şekil 3.16: Reflektörden görülen Wave Dragon Pilot Tesisi	25
Şekil 3.17: Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü.....	26
Şekil 3.18: PowerBuoy.....	27
Şekil 3.19: PowerBuoy dizisi	27
Şekil 3.20: İslay adasında yer alan ve 2000 yılından bugüne kadar çalışmasını sürdüren LIMPET tesisi.....	28
Şekil 3.21: LIMPET tesisinin kesit görünüşü	28
Şekil 3.22: Jeneratör-türbin yapısı	28
Şekil 3.23: Pelamis tam ölçekli prototipi	29
Şekil 3.24: Tam ölçekli Pelamis prototipinin donanım değişikliği için alındığı kuru havuzdaki görüntüsü.....	30
Şekil 3.25: 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin görünümü	30
Şekil 3.26: 2016’da Girit’te bir SINN Güç dalgası enerji santrali modülünün prototipi	31
Şekil 3.27: Bir dalga enerjisi dönüştürücüsünün oluşum maliyeti.....	32
Şekil 3.28: Montajı dahil olmak üzere sistemin dalga enerjisi dönüştürücüsü takılıyken sistem oluşturma maliyeti	33
Şekil 3.29: Dalga enerji sistemlerinin elektrik üretim maliyet aralıkları:(a) Kıyı boyu uygulamaları ve (b) Kıyıdan uzak uygulamalar için	34
Şekil 3.30: Asgari Dalga Enerji Seviyeleri	36

Şekil 3.31: Azami Dalga Enerji Seviyeleri	36
Şekil 5.1: Salınlımlı su kolonunun 3 boyutlu genel görünümü (OWC)	47
Şekil 5.2: Salınlımlı su kolonun 3 boyutlu bölümlerinin gösterimi	48
Şekil 5.3: Pilot tesiste kullanılan Wells Türbini	50
Şekil 5.4: 6 Kanatlı Wells Türbinin 3 boyutlu görüntüsü	50
Şekil 5.5: Çalışmada kullanılacak 3D yazıcıdan çıktısı alınmış Wells Türbini	51
Şekil 5.6: Rulman monte edilmiş Wells türbini	51
Şekil 5.7: Çekirdeksiz Mikro Motor	52
Şekil 5.8: Motor Yuvasının 3B görüntüsü	52
Şekil 5.9: Montajı yapılmış çıkış voltajı alınacak motor yuvası	53
Şekil 5.10: Wells Türbini ve Motorun entegre edilmiş görüntüsü	53
Şekil 5.11: İmal edilmiş pleksi silindir.....	54
Şekil 5.12: Koruyucu kapak 3 boyutlu görünümü	54
Şekil 5.13: 3 boyutlu yazıcıdan çıktısı alınmış koruyucu kapak	55
Şekil 5.14: Türbin ve motorun silindir içerisine montesi.....	55
Şekil 5.15: Silindir yapının yan kesit profili	56
Şekil 5.16: Dalga Levhası	57
Şekil 5.17: Arduino Nano Mikrodenetleyici	57
Şekil 5.18: SG90 RC Mini Servo Motor	58
Şekil 5.19: Monte için çark mekanizmasının 3 boyutlu görünümü	58
Şekil 5.20: Servo motorların çarklar ile montesinin görünümü	59
Şekil 5.21: Bakır teller	59
Şekil 5.22: Üst baş tutucu 3 boyutlu görünümü	60
Şekil 5.23: Üst baş tutucuların 3 boyutlu yazıcıdan imal edilmiş görüntüsü	60
Şekil 5.24: Dalga yaratıcı son görüntüsü	61
Şekil 5.25: Arduino Bağlantı Şeması	62
Şekil 5.26: Arduino Devresi.....	62
Şekil 5.27: Kapalı kutu arduino devresi	63
Şekil 5.28: Hava toplama ünitesi imal edilmiş görüntüsü.....	64
Şekil 5.29: Hava toplama ünitesi	64
Şekil 5.30: Konik yapının hava toplama ünitesine montesi için üretilmiş ara plaka görünümü	65
Şekil 5.31: Konik Yapı 3 boyutlu görünümü	65
Şekil 5.32: Konik yapının 3 boyutlu yazıcıdan üretimi ve monteli halinin görünümü	66
Şekil 5.33: Salınlımlı su kolonu yan kesit görünümü	66
Şekil 5.34: Salınlımlı su kolonu üst kesit görünümü.....	67
Şekil 5.35: Wells türbini ve konik yapı görünümü	67
Şekil 5.36: Dalga yaratıcı görünümü.....	68
Şekil 5.37: Vd1 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü.....	68
Şekil 5.38: Vd1 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	69
Şekil 5.39: Vd2 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü	69
Şekil 5.40: Vd2 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	70
Şekil 5.41: Vd3 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü	70
Şekil 5.42: Vd3 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	71
Şekil 5.43: Vdm1 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü	71
Şekil 5.44: Vdm1 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	72
Şekil 5.45: Vdm2 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü	72
Şekil 5.46: Vdm2 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	73
Şekil 5.47: Vdm3 dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü	73
Şekil 5.48: Vdm3 dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü	74

Şekil 6.1: Wells türbini rpm hızının dalga hızlarına göre zaman serisi	77
Şekil 6.2: 6 farklı dalga hızında silindir yapı içerisindeki hava debisinin zaman serisi.....	78
Şekil 6.3: 6 farklı dalga hızının dalga boylarının zaman serisi	79
Şekil 6.4: 4 farklı dalga hızında wells türbininden alınan voltaj değerlerinin zaman serisi	80
Şekil 6.5: 4 farklı dalga hızında Wells türbininden alınan akım değerleri.....	81
Şekil 6.6: 4 farklı dalga hızında türbinden alınan güç değerleri	82
Şekil 6.7: 4 farklı dalga hızında sistem verimliliği	83
Şekil 6.8: K1 ve K2 durumlarında Wells türbininden alınan ortalama voltaj değerleri.....	84
Şekil 6.9: Türbinli hava hızının dalga çeşitlerine göre Mach Sayıları	85
Şekil 6.10: Türbinli hava hızının dalga çeşitlerine göre Reynolds Sayıları ($Re \times 10^3$)	86
Şekil 6.11: Dalga verileri karşısında sistemin ürettiği Volt değerleri	87
Şekil 6.12: Türbin hızı, hava debisi ve dalga boyu karşısında sistemin ürettiği güç değerleri	87
Şekil 6.13: Prototip çalışma aralığı	89
Şekil 6.14: Ventüri borusu	90

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

a	: Ses Hızı (m/s)
d	: Boru Çapı (m)
Eç	: Sistemden çıkan enerji
Eg	: Sisteme giren enerji
h	: Sistemde bulunan su derinliği (m)
I	: Akım (Amper)
K1	: Konik yapı sisteme dahil
K2	: Konik yapı sisteme dahil değil
Ma	: Mach Sayısı
OWC	: Salınlımlı Su Kolonu
P	: Elektriksel Güç (Watt)
Q	: Hava debisi (m ³ /sn)
Re	: Reynolds Sayısı
rpm	: Bir dakikadaki devir sayısı (dev/dk)
T	: Dalga Periyodu (1/hz)
t	: Zaman (sn)
v	: Dalga Hızı (m/s)
V	: Voltaj (V)
vd1	: Düşük hızda dalga (m/s)
vd2	: Orta hızda dalga (m/s)
vd3	: Yüksek hızda dalga (m/s)
vdm1	: Yavaş hızda manuel dalga hızı (m/s)
vdm2	: Orta hızda manuel dalga hızı (m/s)
vdm3	: Yüksek hızda manuel dalga hızı (m/s)
vk	: Akışkanın Kinematik Viskozitesi (m ² .s-1)
WEC	: Dalga Enerjisi Dönüştürücü
x	: Mesafe (m)
η	: Sistem Verimliliği
λ	: Dalga boyu (m)
ω	: Açısal Hız (radyan/saniye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SALINIMLI BİR SU KOLONUNDA DALGA-ENERJİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ OLARAK KONİK BİR DALGA TOPLAYICININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

MUHAMMED BURAK DURDU

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi Anabilim Dalı

99+xi sayfa
2022

Danışman: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

Fosil yakıtların tükenme eğilimine girdiği günümüzde, dünyadaki enerji gereksiniminin karşılanmasında yeni arayışlar artarak devam etmektedir. Bu yeni arayışlardan biri dalga enerjisidir. Bu tezde, Salımlı Su Kolonu tipinde, ancak daha önce literatürde yer almayan, yeni bir geometrik forma sahip bir dalga enerjisi sistemi incelenmiştir. Kazandıkları enerjiyi kıyılarına taşıyan dalgalar önüne yerleştirilecek özel enerji dönüşüm sistemleriyle, dalga enerjisinin bir kısmı önce mekanik, sonra da elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Enerji üretilmesinde aktif sistemler olarak nitelendirilen sistemlerde aletin bir veya birden fazla elemanı dalga kuvvetiyle hareket eder ve mekanik enerji üretilir. Salımlı su kolonundaki temel prensip su seviyesi üzerinde yer alan bir kapalı hacimde havayı hapsedmeye dayanmaktadır. Kolonun üstü atmosfere açık olduğu için dalga tepesi durumunda daralan kolondaki hava sıkışıp dışarıya basılmakta iken dalga çukurunda oluşan alçak basınç nedeniyle kolonun içine alınmaktadır. Enerji kaybını azaltmak için iki zıt yönde oluşacak hava akımlarına karşı tek yöne dönebilen Wells türbini kullanılacaktır. Bu çalışmadaki yeni metot havanın hapsedildiği alanın yapısını bir konik şekilde tasarlayarak türbine gidecek olan havanın basıncını arttırarak türbine daha kuvvetli bir hava basıncı göndermektir. Böylece üretilen elektrik miktarının arttırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Salımlı Su Kolonu, Wells Türbini, Deniz Dalgasından Enerji Üretimi, Deniz Dalgasından Elektrik Üretimi, Dalga Gücü, Dalga Genliği, Konik ile Faydalı Model

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECT OF A CONICAL WAVE COLLECTOR AS A WAVE-TO-ENERGY
CONVERTER IN AN OSCILLATING WATER COLUMN ON ENERGY EFFICIENCY

MUHAMMED BURAK DURDU

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Science

99+xi pages
2022

Supervisor: Assoc. Yunus ONAL

Today, when fossil fuels tend to run out, new searches continue to meet the energy needs of the world. One of these new pursuits is wave energy. In this thesis, an Oscillating Water Column type wave energy system with a new geometric form, which has not been included in the literature before, has been investigated. With the special energy conversion systems to be placed in front of the waves that carry the energy they gain to the shores, a part of the wave energy can be first converted into mechanical and then electrical energy. In systems characterized as active systems in energy generation, one or more elements of the device move with the wave force and mechanical energy are produced. The basic principle in an oscillating water column is based on trapping air in a closed volume above the water level. Since the top of the column is open to the atmosphere, the air in the shrinking column in case of, wave crest is compressed and taken into the column due to the low pressure formed in the wave trough while it is pressed out. To reduce energy loss, a Wells turbine that can rotate in one direction against the air currents that will occur in two opposite directions will be used. The new method here is to design the structure of the area where the air is trapped in a conical shape and to send a stronger air pressure to the turbine by increasing the pressure of the air going to the turbine. Thus, it is aimed to increase the amount of electricity to be produced.

Keywords: Oscillating Water Column, Wells Turbine, Sea Wave Energy Generation, Sea Wave Electricity Generation, Wave Power, Wave Amplitude, Conical Utility Mod

1. GİRİŞ

Yıllar içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı dünya çapında hızla artmıştır. Ancak yenilenebilir enerjinin nihai enerji tüketimindeki büyüme hızı pek yeterli değildir. Gelişmiş ülkelerde enerji talebi kademeli şekilde artmaktadır ancak şu anda mevcut olarak kullanılan altyapı ve enerji tüketim modellerini değiştirmek zaman almaktadır. Bu sorunun yalnızca gelişmekte olan değil gelişmiş ülkelerde de görülmesinin başlıca nedenleri bunlardır. Fosil yakıtlar, enerji talebinin hızla arttığı gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında çok önemlidir.

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin fiyatlandırma bağlamında güncel olarak fosil yakıtlarla rekabet edebilecek gibi görünmemektedir. Bu yüzden, yenilenebilir enerjinin toplam enerji kullanımının daha büyük bir kısmını oluşturmasının biraz zaman alacağı tahmin edilmektedir. Fakat, dünyanın her yerindeki hükümetler, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek ve ilgili teknolojiyi ilerletmek için politikalar oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için bu çok önemlidir.

Öncelikli olarak hem rüzgar hem de güneş (fotovoltaik) enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretmenin maliyeti; teknolojik gelişmeler, finansal gelişmeler ve yeni pazar fırsatları sonucunda azalmıştır. Dışsallıklar hesaba katılmadan bile, özellikle kıyı bölgelerinde rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı, fosil yakıtlarla maliyet bakımından rekabetçi bir duruma gelmektedir. Hem enerjinin arzı güvenliğini hem de sürdürülebilirliğini garanti altına almak için tasarlanan politikalar, yenilenebilir enerji yatırımlarındaki artışa katkıda bulunan bir diğer faktördür. Ek olarak, yenilenebilir enerji teknolojisine yapılan yatırımlar ve devlet desteğinin bir sonucu olarak bu alana ilgi artmaktadır. Bu sayede pahalı ve yüksek teknoloji ekipman talep eden yenilenebilir enerji projelerinin fiyatları düşmeye başlamakta ve kullanımları yaygınlaşmaktadır. Yenilenebilir enerjiye yönelik küresel yatırımlar incelendiğinde, 2015 yılından bu yana Çin'in yatırımlar konusunda lider konumda olduğu görülmektedir. Çin'den sonra yenilenebilir enerjide yatırımı Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Birleşik Krallık ve Hindistan takip etmektedir [1].

2017 yılındaki güncel yeşil enerji verilerine göre enerji kaynakları kullanılarak 24.097,7 TWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Çizelge 1.1'de 2017 yılının sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretimi için küresel birincil enerji kaynağı oranlarını göstermektedir.

Çizelge 1.1: 2017 Yılıının Sonunda Ülkelere Göre Yenilenebilir Elektrik Kurulu Güç Kapasitesi (GW) [2]

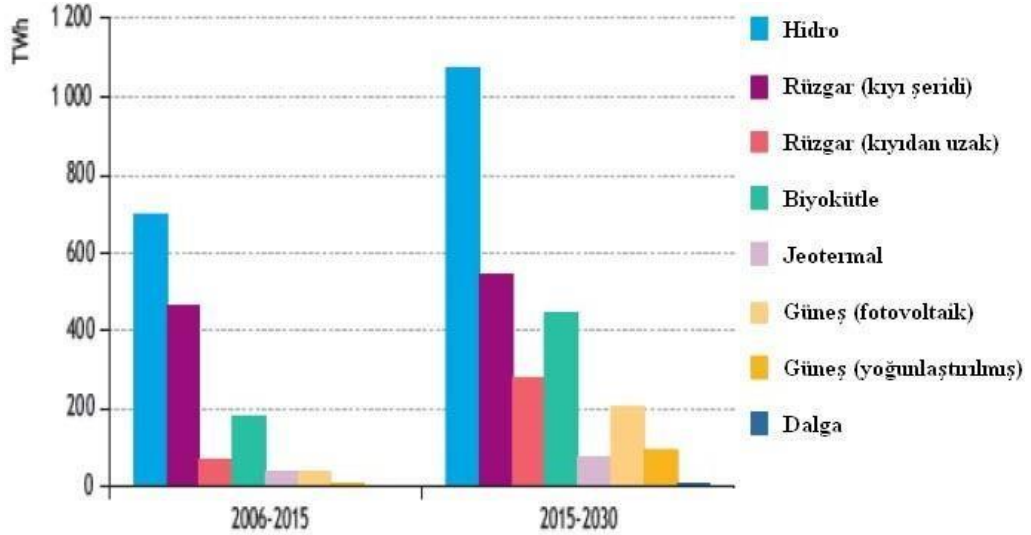
Enerji Kaynakları	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa	Dünya
Hidrolik	313	80	47	5,6	27,2	127	1114
Rüzgar	188	89	33	56	6,8	169	539
Biyoenerji	15	16,7	9,5	8	0,63	40	122
Güneş PV	131	51	18,3	42	3,42	108	442
Güneş Termal	0	1,7	0,2	0	0	2,3	4,9
Jeotermal	0	3,6	0	0	1,06	0,9	13,5
Total	647	242	108	111,6	39,11	447,2	2235,4

2016'da dünyadaki insan sayısı 7334 milyonu üstüneyken birey başına ait enerji kullanımı 1,9 TEP iken elektrik tüketimi 3052 kW/saat olarak saptanmıştır. Verile göre Çin, yüksek elektrik enerjisi kullanımına sahip tüm ülkeler incelendiğinde listenin başında yer almaktadır. Çin'i hemen arkasından ABD, Japonya ve Rusya izlemektedir. Türkiye, büyüklüğü ve nüfusu nedeniyle diğer ülkelerle karşılaştırıldığında önemli bir konuma sahiptir. 79,51 milyonu aşan bir nüfusumuz mevcuttur. Verilere göre, Türkiye'nin gayri safi yurtiçi hasılasının 2016 yılında 857,7 milyar dolar olduğu görülmektedir. Beraberindeyse kişi başına düşen milli gelir yaklaşık olarak 10787 \$'dır. Türkiye, 2016'da kişi başı 2761 kWh net tüketim beraberinde totalde 209,22 TWh elektrik enerjisi tüketmiştir (Çizelge 1.2'de gösterilmiştir) [3].

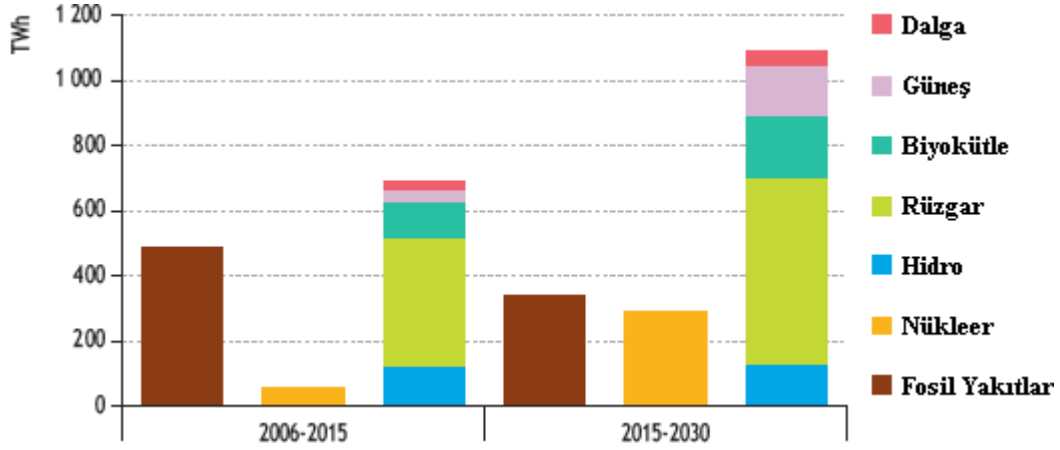
Çizelge 1.2: Ülkeler ve Küresel Enerji Verisi (2016) [3, 4]

Ülke	Nüfus (Milyon)	Elektrik Tüketimi (Twh)	CO ₂ Emisyonu (milyon ton)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)
Çin	1379,2	5593	908,1	2,21	4057
Hindistan	1311,1	1126,5	2066	0,62	859
ABD	321,7	4128,5	4997,5	6,92	12833,25
Rusya	144,096	983,42	1543,12	5,11	6562
Japonya	127,141	998,7	1141,6	3,57	7865
Kanada	35,9	544,5	549,2	7,2	15188
Türkiye	79,51	209,22	317,2	1,54	2761
Dünya	7334,0	22386	32294	1,9	3052

2015'e kadar olan süreçte, yenilenebilir enerjide artışın çoğunluğunun hidro ve rüzgâr enerjisinden gelmesi beklenmektedir. İkisinin de 2015 ve 2030 arasında büyümeye devam edeceği, biokütle ve deniz rüzgâr santrallerinin de bu dönemde artacağı, güneş enerjisinin de (hem fotovoltaik, hem yoğunlaştırılmış sistemler) elektrik üretiminde birçok ülkede payının artacağı öngörülmektedir. OECD de, toplam yenilenebilir enerji üretimi artışı tahminleri, fosil yakıt tabanlı üretim ve nükleer enerji üretiminin toplamından daha fazla olacaktır (Şekil 1.1 ve 1.2) [5].



Şekil 1.1: Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki artış [5]



Şekil 1.2: OECD’de enerji kaynağı açısından elektrik üretimi artışı [5]

Dünyanın toplam enerji talebinin yüzde 14’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) karşılanmaktadır. YEK, biokütle, hidroelektrik, jeotermal, güneş, rüzgâr ve deniz enerjilerini içerir. YEK, temiz veya sonsuz enerji kaynaklarımızdır. Büyük ölçekli hidroelektrik enerji üretimi, küresel elektriğin %20’sini karşılamaktadır [4]. Özellikle kıyı gibi rüzgarlı bölgelerdeyse rüzgar enerjisi gelecek vadede yenilenebilir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları için 2040 küresel yenilenebilir enerji senaryosu Çizelge 1.3’de sunulmuştur [6].

Çizelge 1.3: 2040 yılı küresel Yenilenebilir Enerji Kullanım ve dağılımı senaryosu [6]

	2000	2010	2020	2030	2040
Toplam Tüketim (milyon ton petrol eşdeğeri)	10,038	10,549	11,425	12,487	13,310
Biokütle	1080	1313	1791	2483	3271
Büyük Hidroelektrik	22,7	266	309	341	358
Jeotermal	43,2	86	186	333	493
Küçük Hidroelektrik	9,5	19	49	106	189
Rüzgar	4,7	44	266	542	688
Güneş Isıl	4,1	15	66	244	480
Fotovoltaik	0,1	2	24	221	784
Güneş Termal Enerji	0,1	0,4	3	16	680
Deniz (gelgit/dalga/okyanus)	0,05	0,1	0,4	3	20
Toplam YEK	1,3655	1,7455	2,9644	4289	6351
Yenilenebilir Enerji Kaynağı Katkısı (%)	13,6	16,6	23,6	34,7	47,7

Fosil enerji tüketimi, asit yağmuru, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi mevcut çevresel sorunların oluşumunun nedeni olmaktadır. Dalga enerjisi, su hareketinden elde

edebileceğimiz yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [7]. Dünya okyanusu, 510 milyon km² olan dünyanın 361 milyon km² kapsamaktadır. Bu nedenle, okyanuslar gezegenimizdeki tüm arazinin yaklaşık %71'ini kapsamaktadır ve okyanuslardaki dalgalardan elde edilebilecek enerjinin miktarı yüksektir. Küresel dalga enerjisi rezervinin yaklaşık 2,5 milyar kW olduğu tahmin edilmektedir [8].

2. DALGA ENERJİSİ

2.1 Genel Bilgi

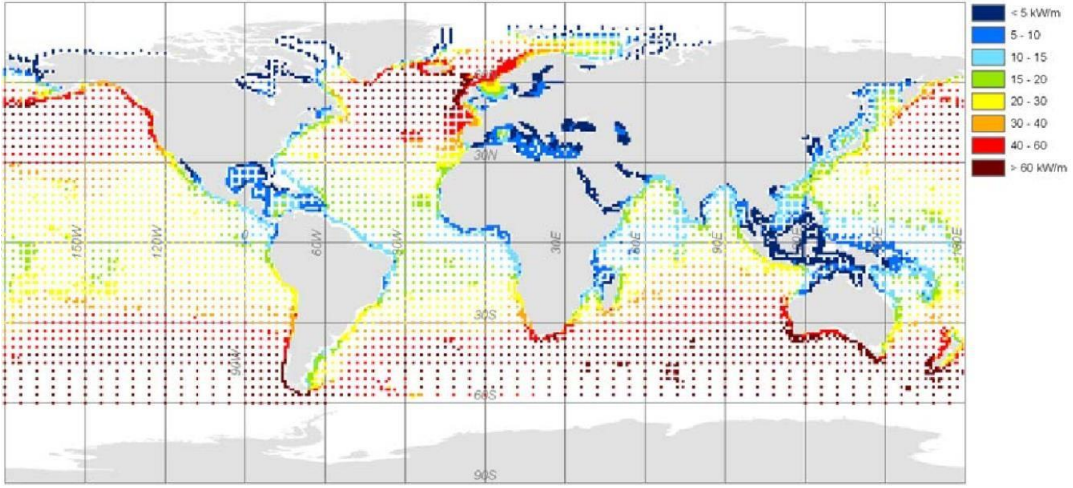
Enerji kaynaklarının verimli kullanımı, ihtiyacı karşılayabilmedeki kalitesine göre gittikçe üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu haline gelmiş bulunmaktadır. Diğer bir söylemle, bugünün dünyasında, gelişmişlik seviyesini gösteren etkenlerden biri, sahip olunan enerji kaynakları ve bu kaynaklardan enerji elde etme yöntemleridir. Enerji elde edilmiş yöntemleri, zaman içerisinde teknolojinin hızla ilerlemesiyle de çeşitlenmiş ve bu elde etme sürecinde meydana gelen kayıplar azaltılmıştır. Bir enerji türünden, diğer bir enerji türüne dönüşüm süreci, ara dönüştürücü sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir [9]. Bu sistemlerde enerji dönüşümü olurken, kayıplar her sistemin kendi elemanlarına bağlı olarak farklı şekillerde kendini göstermektedir. Genel olarak kayıpların, sürtünme ve ısınma kayıpları şeklinde olduğu düşünülmektedir. Enerji eldesinde, günlük hayatta dünyanın büyük bir çoğunluğunda fosil yakıtların kullanıldığı söylenebilir. Doğa ve doğaya bağlı yaşamlar göz önüne alındığında bu yakıtların kullanımı zararlıdır. Bu noktada çevreye uyumlu, çevre dostu yaklaşım ile enerji elde etmek adına popüler olan bir kavram olan yenilenebilir enerji kavramından söz edilebilir. Denizin dalga enerjisinden gel-git enerjisine, sıcaklık gradyentinden tuzluluk gradyentine ve deniz akıntıları enerjisine dek her haldeki deniz temelli yenilenebilir enerjileri deniz yüzeyi buharlaşma enerjisi şeklinde sınıflandırmak doğrudur. Mevcut teknik yöntemlerle, deniz sıcaklık gradyent enerjisini, deniz tuzluluk gradyent enerjisini, deniz akıntı enerjisini veya deniz yüzeyi buharlaşma enerjisini elektrik enerjisine finansal olarak dönüştürmek mümkün değildir. Bu, türbinlerin verimliliği ve çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır. Rüzgâr, hareket eden deniz taşıtları, su altı depremleri veya ayın ve güneşin yerçekimi gibi dış kuvvetler nedeniyle deniz dengeden çıktığında, deniz yüzeyi dalgalar halinde hareket ederek kendini eski haline getirmeye çalışır. Rüzgârın etkisiyle oluşan deniz dalgaları, diğer kaynakların sebep olduğu deniz dalgalarının aksine süreklidir, bu nedenle enerji üretiminde büyük ölçüde göz önünde bulundurulur. Dalgadaki potansiyel enerjinin; doğada bulunan versiyonu doğal potansiyel, bu şekilde bulunan mevcut potansiyelin teknoloji vasıtasıyla kullanılabilir.

Bu durumda enerjiye dönüştürülen versiyonu teknik potansiyel ve bu potansiyelin diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılarak belli bir miktarı ekonomik olarak nitelendikten sonra da ekonomik potansiyel olarak isimlendirilir [9]. Yenilenebilir enerji için küresel olarak yıllık doğal potansiyel, Çizelge 2.1'de açıkça bulunmaktadır. Çizelge 2.1, deniz kaynaklarından gelen doğal enerji potansiyelinin hidrolik ve biokütle enerjisinden gelen doğal enerji potansiyelinden daha büyük olduğunu göstermektedir, ancak bu doğal enerji potansiyelinin rüzgar enerjisinden gelen doğal enerji potansiyelinin sadece %25'i olduğu kabul edilmektedir [9,10].

Çizelge 2.1: Küresel olarak yenilenebilir enerjinin yıllık olarak doğal potansiyeli

Güneş Temelli Enerji Çeşidi	Güneş Enerji	Rüzgar Enerjisi	Deniz Kaynaklı Enerjiler	Hidrolik Enerji	Biokütle Enerjisi
Küresel Potansiyel [10⁹ x kWh]	1 524 240 000	30 844 000	7 621 000	46 000	1 524 000

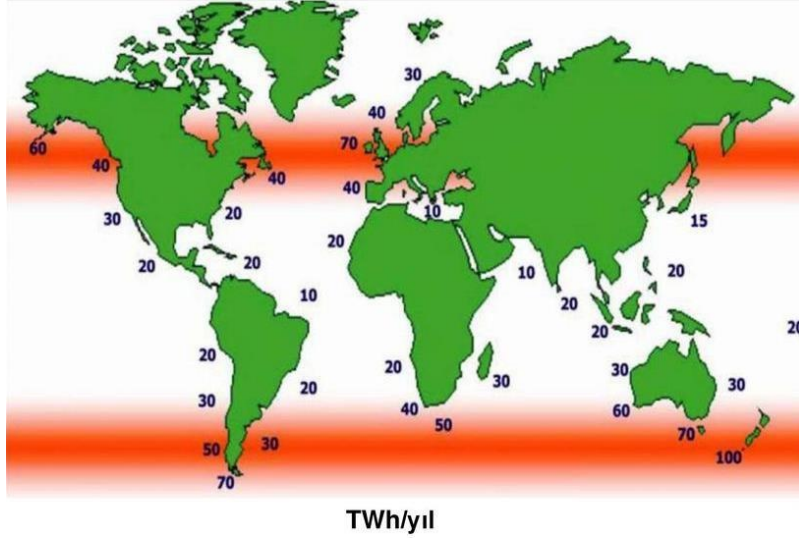
Gel-git enerjisinden yararlanılmasının Türkiye için pek bir önemi yoktur, çünkü bu fiziksel oluşumun oldukça belirgin olduğu okyanus kıyılarında kullanılabilir. Ancak dalga enerjisinin yaklaşık 8.200 km kıyı şeridinde sahip (Marmara Denizi hariç) Türkiye'ye önemli bir potansiyel sunduğu inkâr edilemez. Dalga cephesinin gücü okyanusların dışında 10-40 kW/m arasında değişse bile Akdeniz kıyılarına bu değer yaklaşık olarak 13 kW/m'dir. Türkiye hariç tutularak Akdeniz'de yapılan ölçümlere göre bu güç tüm yıl boyunca 8.4-15.5 kW/m arasında değişmektedir [9]. Türkiye'de yeterli dalga gözlemi ve ilgili ölçüm verisi bulunmamaktadır. Yine de rüzgâr ölçüm verilerini deniz seviyesine göre ayarlayarak rüzgarların üreteceği dalga yüksekliklerini bilmek ve oradan toplanacak dalga enerjisini hesaplamak mümkündür. Birim genişliğe etki eden ortalama dalga gücü, araştırmacılar tarafından Kuzeydoğu Atlantik'te 100 kW/m, Güney Afrika'da 10-14 kW/m, Portekiz Sahillerinde 5-26 kW/m, Kanada'da 0,6-101,6 kW/m, ve Çin'de 0,7-4,5 kW/m olarak verilmektedir [11]. Dalga enerjisi potansiyeli hesaplamalarındaki tahminlerin tümünün belirli çalışmalara dayandığını ve bunların gelecekteki çalışmalarda tartışmaya konu olabileceğini akılda tutmak önemlidir.



Şekil 2.1: Dünya çapındaki tüm dalga enerjisi şebeke noktaları için yıllık küresel dalga gücü [12].

Dalga enerjisi potansiyelini daha doğru bir şekilde tespit etmek için dalga enerjisinin kullanılacağı alanda uzun vadeli, son derece pahalı ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümlerin yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda daha hesaplı rüzgâr ölçümleri yapılmakta ve ilişkiyi açıklayan yarı ampirik formüller kullanılarak dalga enerjisi hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu enerjiden, ölçüm yerinde kurulu bir veya daha fazla dalga türbini tarafından üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı tahmin edilebilir. Tahminlere göre Türkiye kıyı şeridinin sadece beşte biri kullanılarak $18,5 \times 10^9$ kWh dalga enerjisi üretilebilmektedir [9]. Özellikle Norveç'te ve dünyanın birçok kıyısına yenilikçi enerji santralleri inşa edilmiştir. Dalga enerjisi teknolojisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında en yüksek enerji yoğunluğunda olduğu için henüz nispeten yeni bir teknoloji olmasına ve diğer yenilenebilir teknolojilere kıyasla rekabetçi bir konumda olmamasına rağmen, hükümetlerin ve endüstrinin ilgisini çekmektedir.

Dalga enerjisi, sürdürülebilir teknoloji için en çok savunulan enerji şeklidir. Birçok yenilenebilir enerji kaynağına göre daha güvenilir bir konumdadır ve enerji kaynakları arasında oldukça önemlidir. Dalga gücü %90 verimliliğe sahip olmasına rağmen, çıktı açısından güneş ve rüzgâr enerjisi ile kıyaslanamaz. Bu enerji formu basittir, ekosistemi denge sağlar, beraberindeyse uygun fiyatlı, saf ve temizdir. Ayrıca olumsuz çevresel etkileri yoktur Teknolojinin olanakları, ülke ekonomisine büyük faydalar sağlayan dalga enerjisi elde etmeyi kolaylaştırmaktadır. Batıdan esen rüzgarların da yardımıyla yeryüzüne eşit olarak dağılmayan dalga enerjisi çoğunlukla 300-600 enlem arasında yoğunlaşır [13].



Şekil 2.2: Dünya kıyıları üzerindeki dalga enerjisi potansiyeli [14]

2.2 Dalga Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

2.2.1 Dalga enerjisinin olumlu yönleri

Sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler dahil olmak üzere dalga enerjisi ve dalga dönüşümü sistemlerinin pek çok olumlu yönü bulunmaktadır.

1. Dalga enerjisi, sürekli kullanılabilen, ortamın hassas dengesini koruyan, solunabilir temiz hava sağlayan saf, doğal bir enerji kaynağıdır.
2. Bir deniz kıyısından yılda sadece bir ya da iki kere tekrar eden verilere uygun enerji dönüştürücü sistemleri kullanılarak, dalga hareketi tekrarlı (2-8 s periyotlu) daha uzun süreli enerji üretimine olanak sağlar.
3. Herhangi bir dalga yüksekliğinden beklenen enerjiyi yakalama yeteneği kayda değer bir özelliktir.
4. Enerji dönüşüm teknolojilerinin denizin fiziksel, kimyasal ve organik kirliliği üzerinde hiçbir zararlı etkisi yoktur ve bu da onları çevre için güvenli kılar.
5. Uygun dönüşüm süreçleri oluşturulduğunda önemli miktarda enerji çıkarmak için güçlü dalgalar kullanılabilir.
6. Adalar, kıyı yerleşkeleri ve kıyı tesislerinin elektrik ihtiyaçlarının karşılanmasındaki zorluklar karşısında enerji sağlamak için, dalga enerjisi dönüşüm cihazları açık deniz yapılarına yakın inşa edilebilir. Her türlü elektrik ihtiyacına uygun konumlandırma sağlanabilmesi dalga enerjisi dönüştürücülerinin büyük bir avantajdır.

7. Dönüşüm sistemlerinin kıyıya yakın kurulması, enerji üretiminin etkinliğini ve maliyet karşılanabilirliğini artırabilir.
8. Bu çalışmada kullanılan sistem de dahil olmak üzere birçok dalga enerjisi dönüşüm sistemi, enerji dönüşüm sistemine ek olarak dalgakıran görevi görerek dalga yüksekliklerinin düşürülmesinde de önemli bir role sahiptir. Böylece kıyı ve deniz yapılarını koruma fırsatı sağlarlar.
9. Bariyer görevi gördüğü için dalış, balık tutma ve balık çiftlikleri gibi su altı hobileri için ideal koşullar sağlar. Değişken dalga yükseklikleri sistemin gücünü olumsuz etkileyebilir.

2.2.2 Dalga enerjisinin olumsuz yönleri

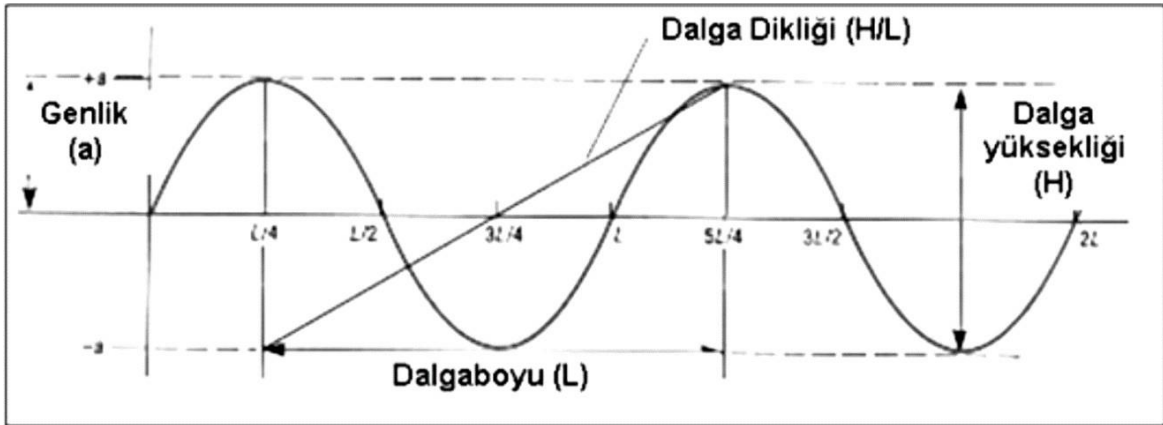
Dalgaları sağlamak ve onlardan enerji üretmek için aşağıdaki zorluklar aşılmalıdır.

1. Sistemleri mümkün olduğu kadar etkin bir şekilde geliştirmek ve dalga potansiyelini, dalga yüksekliklerini, periyotlarını ve bunların yıllık ve uzun vadeli istatistiksel değerlerini hesaplamak için tanımlanmalıdır. Bu istatistiklerin oluşturulması yüksek maliyetlidir.
2. Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerini kurarken, kurulacakları bölgenin rüzgar ve dalga iklimi dikkate alınmalıdır.
3. Büyük dalgalar ve fırtınalar gibi açık deniz şartları aynı zamanda korozyon, plankton vb. gibi kimyasal etkenler, dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan türbinlere, jeneratörlere ve bağlantı elemanlarına olumsuz yönde zarar verir. Bu nedenle sistemler özel olarak oluşturulmalı ve deniz suyunun aşındırıcı etkilerinden korunmalıdır.
4. Enerji dönüşüm sistemi ile üretilen enerjiyi iletmek için gerekli olacak enerji nakil hatlarının kurulmasının maliyeti oldukça fazladır.
5. Açık denizden karaya kadar kurulan enerji nakil hatlarında önemli kayıplar yaşanmaktadır. Açık denizde üretilen enerji lityum-iyon piller aracılığıyla yapılmalıdır. Ancak lityum-iyon pillerin yüksek yatırım maliyeti fiyatları, yüksek nakliye maliyetleri ve kısa pil ömrü nedeniyle açık denizlerde üretilen enerjiyi depolamak ve karaya iletmek ekonomik olarak zordur.

6. Şu andaki ortalama dalga gücü potansiyeli, dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren dalga türbinlerinin nominal gücünü büyük ölçüde belirler. Elektrik enerjisi üretmek için herhangi bir ortalama dalga gücünden nispeten daha kuvvetli bir nominaldeki dalga türbinleri kullanıldığında türbin gücünün önemli bir kısmı boşa harcanmaktadır. Böylece birim dalga elektriği daha pahalı hale gelir.
7. Hidrodinamik ortam bu sistemlerden etkilenecektir, bu nedenle bir yer seçerken seçici olmak önemlidir.
8. Kıyı ve kıyıya yakın alanlardaki sistemlerde kullanılan Wells türbinleri, binaların ses yalıtımını gerektiren gürültü kirliliği üretebilmektedir.
9. Deniz trafiğini tehlikeye atabilecekleri için uygun, görsel ve radar uyarı sistemlerinin kurulması gerekmektedir.

2.3 Dalga Hareketinin Denklemi

Dalga enerjisi en çok kıyıya yakın yerlerde, sarp kayalıklarda ve sığ sularda etkilidir. Büyük dalgaların kıyılarda metrekare başına yaklaşık 10 tonluk bir kuvvet ürettiği düşünülür ki bu son derece kuvvetlidir Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, bir dalga tipik olarak ideal sinüs eğrisi olarak düşünülür. Dalga yüksekliği ve dalga boyu temel karakteristikler olarak kabul edilir.



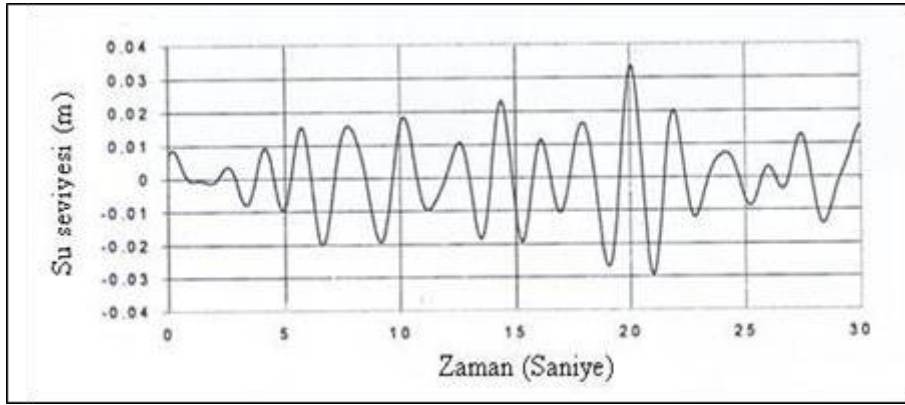
Şekil 2.3: Genel Dalga Karakteristikleri [15]

Dalgalar, deniz ortamında birkaç tekil dalganın üst üste binmesiyle meydana gelen düzensiz dalgalar olarak tanımlanır. Bu bakış açısına göre, deniz ortamındaki dalgalar tanımlanırken çeşitli amaçlar için farklı dalga yükseklikleri kullanılmaktadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Açık Deniz Dalgalarını Karakterize Eden Dalga Yükseklikleri. [16]

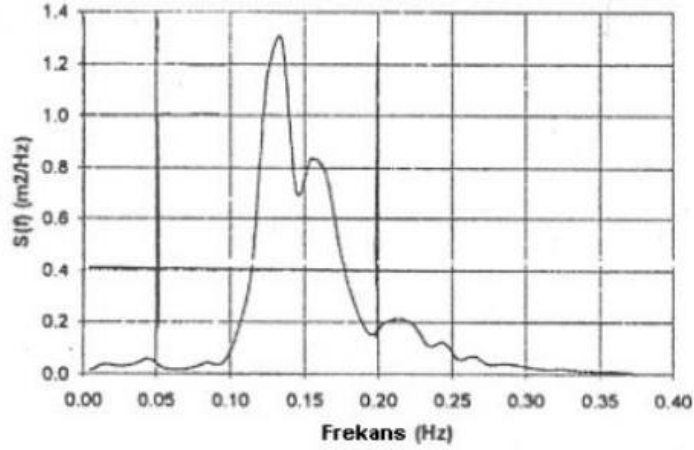
Dalga Adı	Açıklaması	Gösterim Şekli
Önemli dalga yüksekliği	En belirginlerin %30'unun ortalaması	Hs (açık denizde Ho)
Ortalama dalga yüksekliği	Bütün serinin ortalaması	H
H1/10	En büyük %10'un ortalaması	H1/10
Maksimum dalga yüksekliği	Serinin en yüksek değeri	Hmaks.

Fırtına sırasında oluşan dalgaların minimum ve maksimum seviyeleri arasında önemli değişiklikler vardır ve bu farklılıklar fırtına dalgalarının deniz ortamında oluşturduğu deniz yüzeyi profilinde görülebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Su Yüzeyi Profili Örneği [16]

Dalgaların kıyıdaki herhangi bir noktaya sağladığı enerjinin, bir dalganın enerjisinin kendisinin yüksekliğinin karesine bağlı olarak azalıp çoğaldığı göz önüne alındığında, değişik değerlerde olacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, spektral analizi yaklaşımını kullanarak belirli bir dalga yüksekliğini tanımlamak için, deniz ortamında mühendislik yapılarının boyutlandırılmasında fırtına sırasında oluşan dalgaların toplam enerjisi dikkate alınır. Şekil 2.5, deniz dalgası spektrumunu ayrıntılı olarak göstermektedir. Fırtınadaki tüm dalga enerjisi, bu spektrumun altındaki bölge tarafından gösterilir [16].



Şekil 2.5: Dalga Spektrumu [16]

Deniz dalgalarında fırtınanın hızına ve zamana bağlı olarak dalgalanma görülür. Bu nedenle, herhangi bir kıyı bölgesindeki potansiyel dalga enerjisinin tahmini, dalga ikliminden büyük ölçüde etkilenir.

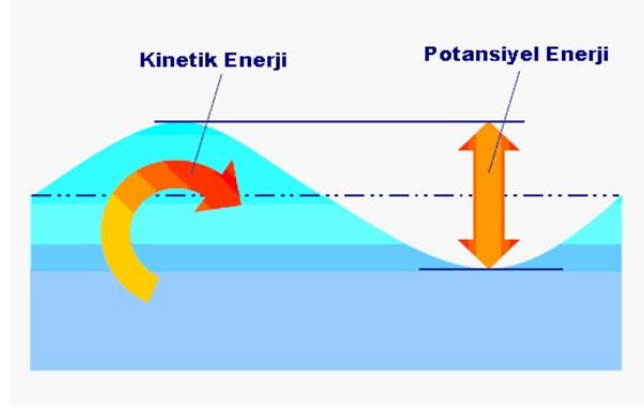


Şekil 2.6: Fırtına ve rüzgarın etkisinde olan deniz dalgaları [17]

2.4 Dalga Enerjisinin Hesabı

Dalgalar; enerjii hem kinetik hem de potansiyel formlarda depolama yeteneğine sahiptir. Dalganın hareketi dolayısıyla sahip olduğu kinetik enerjisi, suyun yüzeyindeki parçacıkların daire şeklinde hareket etmesinden kaynaklanır ve dalgaların potansiyel enerjisi kinetik enerjisinden farklı olarak, dalganın deniz seviyesinden ne kadar yüksek olduğuyla alakalıdır (Şekil 2.7).

Lineer bir dalgayı göz önünde bulundurduğumuzda, ortalama kinetik enerjisi ve potansiyel enerjisi kabaca eşit olduğunu söylemek mümkündür ve bir dalganın enerji akışı, dalganın yüksekliği ve periyodu tarafından belirlenir.



Şekil 2.7: Dalgada biriken kinetik ve potansiyel enerji [15]

Deniz dalgaları enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında güç yoğunluğu (kW/m²) en yüksek enerji formudur [30]. Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisinin yoğunluğu, 0,1-0,3 kW/m² civarında iken, bu enerji formu rüzgâr enerjisine dönüştüğünde, 0,5 kW/m² değerine çıkar. Rüzgâr enerjisi, deniz dalgaları enerjisine dönüştüğünde ise, daha da artarak 2-3 kW/m² değerine ulaşır.

Dünya çapındaki tüm sahillere çarpan dalgalarındaki gücün TW (1012 W) boyutunda olduğu tahmin edilmektedir. Açık denizlerdeki dalgalar için, dalga kırılması ve sürtünmelerin etkisi göz ardı edildiğinde, bu değer daha da büyümektedir (~1013 W) [15]. Bu tablo, gerek gelişen dünyanın enerji talebini karşılamaya yönelik gerek sürmekte olan deniz dalgaları enerjisi dönüşümü araştırmalarını güdüleyen ciddi potansiyeli göz önüne sermektedir.

Derin suda ilerleyen, sinüs formuna sahip dalganın birim genişliğindeki güç,

$$W_{dalga} = (\rho g^2 A^2 T) / 8\pi, \quad (\text{kW/m}) \quad (1.1)$$

ile hesaplanabilir. Burada, ρ deniz suyu yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi, A dalga genliği ve T dalga periyodudur. Bu formülün türetilmesi tez çalışmasının ilerleyen kısımlarda verilecek olup, basit bir örnekle sonuçları irdelenebilir. $T=8$ s periyotlu dalgalar ele alındığında, Çizelge 2.3’de verilen dalga gücü değerleri bulunur.

Çizelge 2.3: 8 s periyotlu dalgalar için genlik ve güç

Dalga Genliği (m)	Dalga Gücü (kW/m)
0,4	~5
0,8	~20
4	~500

$A=0,8$ m olması durumunda, İzmir-Foça açıklarında, 45 km'lik bir sahil şeridindeki dalga gücü, yaklaşık 900 MW olacaktır. Bu değer, Türkiye'nin 4. büyük barajı olan Altinkaya Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin kapasitesinden (~700 MW) daha büyüktür. Bu güç, bir başka deyişle, 300 adet modern rüzgâr türbininin nominal gücünün toplamına eşdeğerdir. Burada, iklimsel değişiklikler, enerji dönüşümünün verimi, ekonomiklik gibi faktörler henüz göz ardı edilmiş olmasına rağmen, böylesi bir potansiyelin üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye için önemi olduğu açıktır [18].

3. DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

Dalga enerjisinin bir kısmı, elde ettikleri enerjiyi kıyılara ileten dalgaların önüne özel enerji dönüşüm cihazları yerleştirilerek mekanik ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Cihazın bir veya daha fazla parçası dalga kuvveti ile birlikte hareket ettiğinde, enerji üretimi için aktif sistemler olarak düşünülen sistemlerde mekanik enerji oluşur. “Duck” ve “The Raft” örneklerden bazılarıdır. Pasif sistemlerin arkasındaki fikir ise, potansiyel enerji elde etmek için bir yapının arkasındaki havuzdaki su seviyesini yükseltmektir. Bu, çok fazla dalganın olduğu sahillerde önce dalganın itiş tesirini hidrolik bir yüksekliğe dönüştürerek yapılır. Herhangi bir mekanik donanımı yoktur ve sabittirler. Yalnızca içlerindeki havanın ilerlemesine izin verirler.

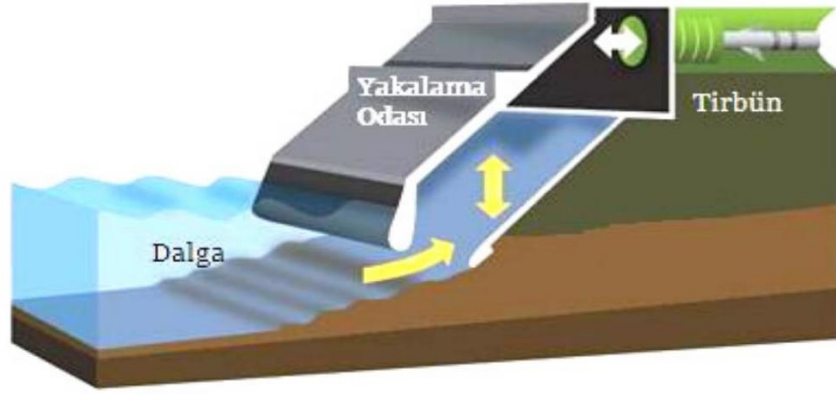
Çok kısa zaman aralıklarında görülebilen değişimler, yıl boyunca mevsimlere göre dalga enerji seviyesindeki değişimlere ek olarak bu sistemlerde önemli gelişmelere yol açmıştır. İdeal bir dönüştürücü sistem, rastgele değişiklik gösteren enerji verilerini kabul edebilen, dalga yönünde yaşanan negatif durumlardan çokça etkilenmeyen, enerji seviyesindeki değişiklikleri kısa süreli depolamayla birlikte karşılayabilen ve ayrıca tasarım seviyesinden önemli ölçüde yüksek olabilecek enerji girdilerine karşı koyarak bu tarz durumlar yaşandığında dönüştürme verimini aşamalı bir şekilde azaltabilen sistemlerdir. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri uygulama bölgesine göre üçe ayrılır. Bunlar; kıyı boyunca uygulanabilen dönüşüm sistemleri, kıyıya yakın yerlerde uygulanabilen dönüşüm sistemleri ve kıyıdan uzağa konumlandırılan dönüşüm sistemleridir. Bir bölgedeki dalga enerjisinin belirlenmesinde en önemli iki faktör dalga yüksekliği ve periyodudur. Herhangi bir dalga yüksekliği aracılığıyla istenilen enerjiyi yakalayabilme özelliği, bu enerji çeşidinin bir diğer faydasıdır [19].

3.1 Kıyı Şeridi (Shorline) Uygulamaları

Enerji dönüşüm sistemleri, bu uygulama türünde gömülmüş veya kıyıda sabitlenmiş şekilde bulunmaktadır. Uzun su altı elektrik kabloları veya derin su bağlantıları da gerekli değildir. Öte yandan, daha zayıf dalga rejiminin bir sonucu olarak elde edilen dalga enerjisi daha düşük olabilir. Bu uygulamanın önünde kıyı şeridi jeolojisi, kıyı yapısının korunması ve gel-git seviyesi vb. engeller bulunmaktadır.

Kıyı tipi uygulamalarda dalga enerjisi dönüştürücüler göz önüne alındığında bu tarz sistemlerin mühim bileşeni Salınımlı Su Sütunu (İngilizce: Oscillating Water Column-

OWC) tabanlı sistemlerdir. Salınlı Su Sütunları, basitçe söylemek gerekirse, dalga etkisinin neden olduğu yüzeydeki salınımdan yararlanır. Yapıdaki su seviyesi Şekil 3.1’de gösterildiği üzere dışarıdan gelen etkiyle dalganın genişlemesi sonucunda dalga üzerinde etki yapmaktadır. Bu salınım ile yapının içindeki hava sürekli olarak dışarı itilir ve tekrar içeri alınır. Bu hareket, yapının atmosfere maruz kalan kısmında sürekli ve saat yönünün tersine hava hareketlerine neden olur. Bir türbin-jeneratör beraberinde bu hava hareketleri enerjiyi elektriğe dönüştürür. OWC sisteminde iki yönlü hava akımlarında da aynı yönde dönmesini sağlayan Wells türbinleri yararlanılmaktadır.



Şekil 3.1: OWC teorisine dayanan karakteristik bir sistem [20]

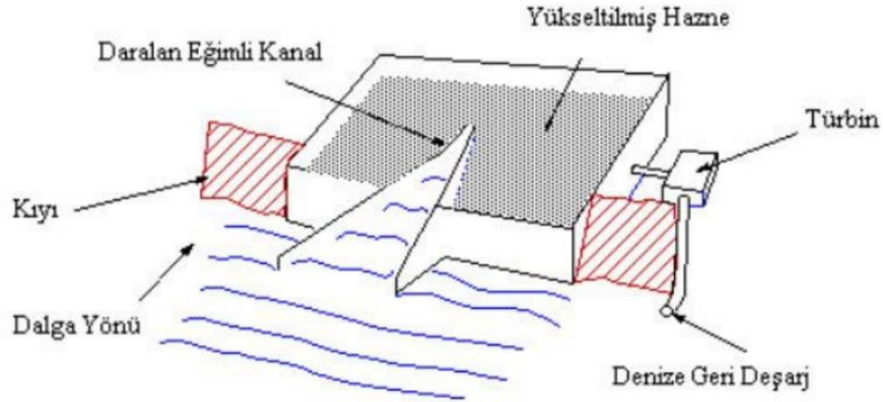


Şekil 3.2: Portekiz'in Azor Adaları'ndaki Pico adasındaki bir kıyı şeridi OWC dalga santrali [21]



Şekil 3.3: 2000 yılında İskoçya, Birleşik Krallık'ta Islay adasında kurulan 500 kW gücündeki LIMPET OWC tesisi [22]

Suyu kıyı şeridinde denizden daha yüksek bir rezervuara taşımak için dalga hareketlerini kullanan ve bu seviye farkının yarattığı potansiyel enerjiyi mekanik ve elektrik enerjisine dönüştüren sistemler, bir başka kıyı tipi enerji dönüştürücü sistemidir. Daralan Kanal (TAPered CHANnel-TAPCHAN) sistem örneğidir.



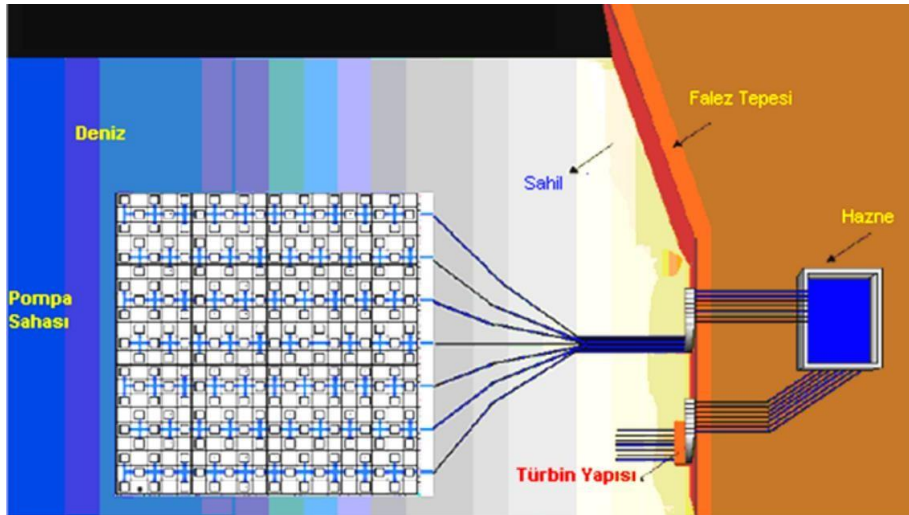
Şekil 3.4: Daralan Kanal'da uygulanan enerji dönüşüm uygulamasının şematik diyagramı [23]



Şekil 3.5: Daralan Kanal (TAPCHAN) pilot tesis [24]

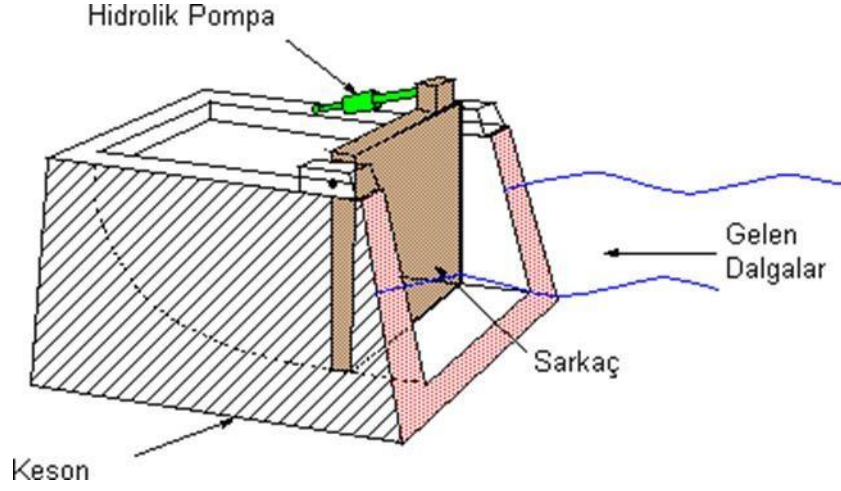
Sistem, dalgaları yoğunlaştırarak ve eğimli, daralan bir kanal kullanarak ve yüksekliklerini yükselterek, kıyıdaki deniz seviyesinden hazneye, depo mantığında, su beslemeyi amaçlamaktadır. Hazneye depolanan su denize tekrar gönderildiğinde, enerji üretmek için türbin mekanizmasından geçer.

Buna benzer olarak, bazı enerji dönüştürücü sistemleri deniz suyunu pompalamak için kıyıya yerleştirilmiş pompaları kullanır ve türbinler bu haznedeki suyun geri dönüş hattında enerji üretimi yapar. Bu sisteme bir örnek olarak, SEADOG sistemi gösterilebilir. Şekil 3.6, SEADOG sisteminin şematik bir şekilde göstermektedir.



Şekil 3.6: SEADOG enerji dönüştürücüsünün şematik gösterimi [25]

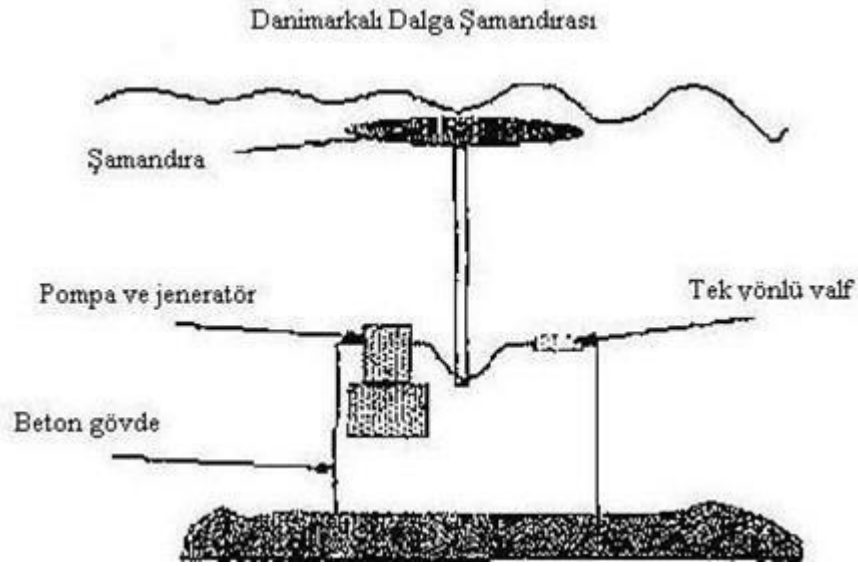
Dalgaların geçişi ile salınan perde veya şamandıra sistemleri ile hidrolik güç üretme ve bu hidrolik gücü elektriğe dönüştürme fikriyle eylemini gerçekleştiren sistemler, kıyıda kurulabilecek bir başka enerji dönüştürücü sistemdir. Şekil 3.7, bu metodolojiyi kullanan Pendulor sisteminin şematik bir gösterimini sağlamaktadır.



Şekil 3.7: Pendulor enerji dönüşüm sisteminin şematik gösterimi [26]

3.2 Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar

Kıyıya yakın uygulamalar için kullanılan sistemler kıyı şeridinin 15-25 metre içinde uygulanmaktadır. Bu tür sistemlerin yapımında, çeşitli Salınlı Su Sütunları teknik taslağı kullanmıştır. En basit dalga pompa sistemlerinden biri olan Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi bunlardan biridir. Sistem üzerinde iki adet giriş bulunmakta olup, sistem gövdesi denizin dibine bağlıdır. Bu açıklıklar, deniz suyunun birinden sisteme girmesine ve diğeri suyun çıkmasına izin verir. Sistemde, girişle ilgili bölgeye tek taraflı bir valf yerleştirilirken çıkışında da bir türbin bulunmaktadır. Sisteme giren suyu türbine basmak için gereken enerji, bir jeneratöre bağlı olan pistonun hareketi ile elde edilir. Dalganın tepesine veya çukuruna göre yukarı veya aşağı hareket eden şamandıra, yukarıda bahsedilen "piston" hareketine neden olur. Şekil 3.8'de Danimarkalı dalga şamandırası sistemi göstermektedir [27].



Şekil 3.8: Danimarkalı dalga şamandırası enerji dönüşüm sistemi [27]

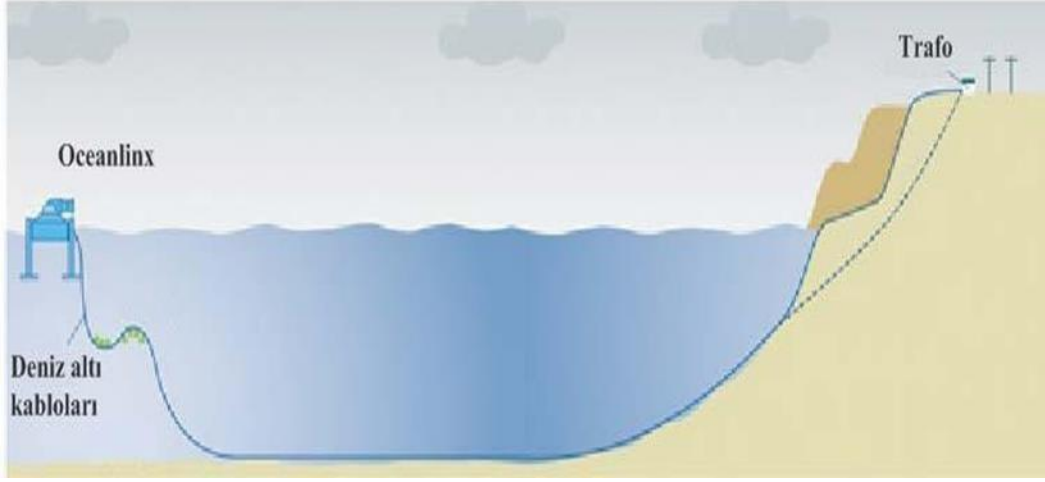
Oceanlinx adlı diğer sistem, SSS sisteminin modernize edilmiş bir versiyonudur.

Sistem genellikle SSS sistemine benzer şekilde çalışır ve elektrik de benzer şekilde üretilir. Sistemdeki bir parabolik duvar, dalgaları sütun üzerinde yoğunlaştırır [28].



Şekil 3.9: Oceanlinx Dalga enerji dönüştürücüsü [28]

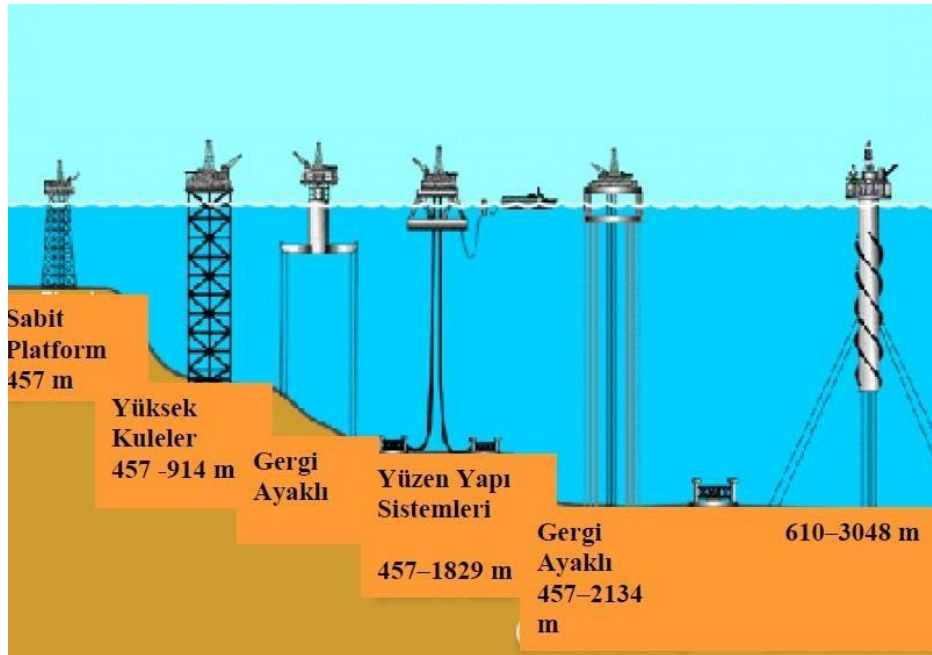
Sistem içinde kullanılan sütundan ayrıştırıcı özelliği genişliği daralan bir tür sütunun tercih edilmesidir. Daralan yapı nedeniyle, daraltma kolonundaki hava mümkün olan en hızlı hızda hareket eder ve türbinden geçerken en fazla enerjiyi üretir. Bu daralan sütun, Oceanlinx sisteminin temeli olarak hizmet eder [28]. Üretilen elektriği kıyıya ulaştırmak için su altı kabloları kullanılmaktadır.



Şekil 3.10: Elektriğin iletilmesi için su altı hattı [28]

3.3 Açık Deniz Tipi (Off-Shore) Uygulamaları

Derinliği 40 metrenin üstündeki sularda, yüksek dalga görülen bölgelerde elektrik üretmek için kıyıya yakın olmayan dönüşüm sistemleri uygulanmaktadır. Açık denizde uygulanan enerji iletimi dolayısıyla uzun elektrik kabloları kullanımını gerektirmektedir.



Şekil 3.11: Açık Deniz Tipi WEC'lerin derinlik ve uzaklık görünümleri [29]

Bunlardan biri olan "pelamis" olarak bilinen deniz yılanı cinsi, şeklinden dolayı bu sistem adını almıştır. Yapı, su altı menteşeleriyle birbirine bağlanan silindirik şeklindeki şamandıralardan oluşan eklemlidir. Sistem deniz yüzeyine yerleştirilmiştir ancak

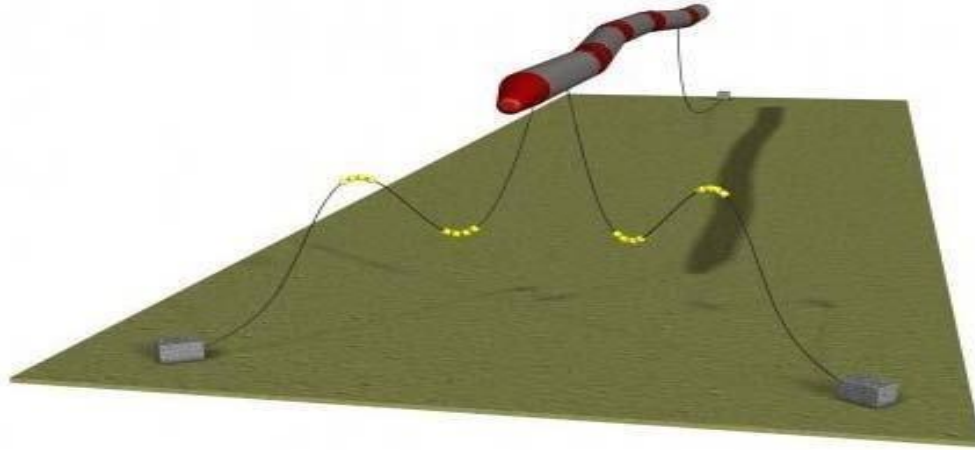
kaymaların önüne geçmek için bazı yerlerden denizin dibine sabitlenmiştir. Uzun Pelamis yaklaşan bir dalga karşısında su yüzeyine tutunmak için manevralar yapar. Hidrolik silindirlerin içinde var olan ve hidrolik sıvının devinimiyle hareket ettirilen pompa, silindirlerdeki hidrolik yağ bunların içinde hareket ederken devreye girer. Jeneratör çalışırken ona bağlı olan pompa elektrik üretir. Üretilen elektriği deniz dibinden yüzeye taşımak için kablolar kullanılır. “Ocean Power Delivery Ltd.” firmasının patentini taşıyan bahsedilen tekniğin açık denizde yapılıp kullanılmasının mükemmel olduğu düşünülüyor. Firma tarafından 130 metre uzunluğa ve 3,5 metre genişliğe sahip 375 kW gücüne sahip bu silindirleri kullanma yoluyla sistemin gerekli koşullarda ve sürekli olarak 375 kW gücünde, 0.75 MW enerjinin toplanması amaçlanmaktadır. Ancak sistemi aktif hale getirmek için içinden geçmesi gereken enerji, nakil hatlarının döşenmesi ve bakım maliyetlerinin yüksek olması bu yöntemi kullanmanın zorlu kısımlarıdır. Bu sistemlerin öncelikli olarak deniz platformlarında kullanılması bu sebeple daha makul olacaktır. Sistemin 130 metre uzunluğundan dolayı çeşitli yönlerde ve yoğunluklarda dalga yükleri aynı anda sistemi alta sabitlemek için kullanılan halatları gerekir ve yıpratacaktır bu nedenle esnek bağlar zorlanacaktır. Bu nedenle, alta bağlanan halatları doğrudan sisteme bağlamak yerine hareketli makaraları ve makaraları sistemin kendisine bağlamak [27,30] daha mantıklı olacaktır. Pelamis sistemi Şekil 3.12’de göstermektedir.



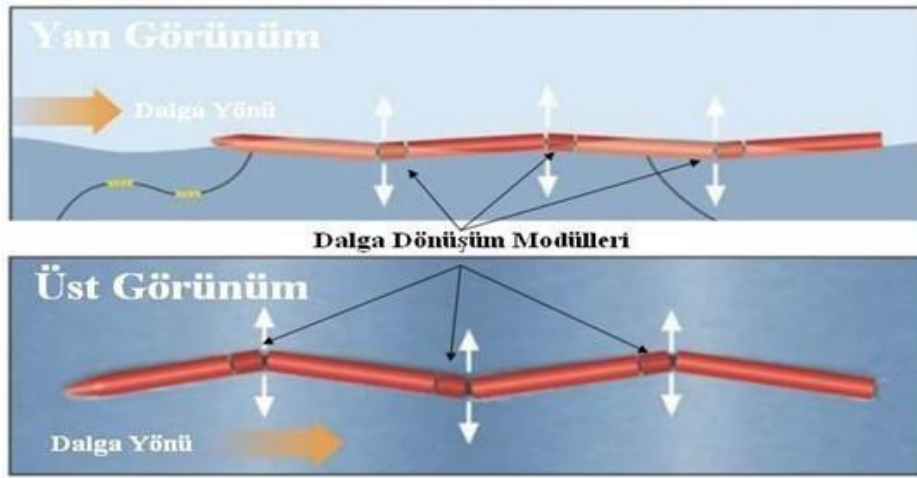
Şekil 3.12: Pelamis [31]

Gelen dalga silindirik yapıların salınım yapmasına neden olur ve silindir içindeki yüksek basınçlı sıvı hareket ederek sistemin hidrolik pompasını çalıştırır. Bir jeneratör yardımıyla

hidrolik pompanın hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Bir deniz dibi kablosu, silindirik yapıların tüm enerjisini yüzeye taşıyabilir. Pelamis, kıydan 5 ila 10 kilometre arası uzaklıkta ve neredeyse 50 ila 70 metre derinlikte, yüksek enerji potansiyeline sahip dalgalardan yararlanmak için inşa edilmiştir [31].



Şekil 3.13: Pelamis sisteminin taslak görünümü [31]



Şekil 3.14: Pelamis dalga dönüşüm modülleri [31]

140 metre uzunluk ve 3.5 metre çap; Pelamis'in üretim sisteminin mevcut konfigürasyondur. Her cihazın 3 dönüştürücü modülü vardır. Her sistem 750 kW çıkış kapasitesine sahiptir. Sistemin verimi, Pelamis enerji dönüşüm sisteminin konuşlandırıldığı alanın dalga özellikleri, verimliliğini etkileyebilir. Yerel dalga koşullarına bağlı olarak sistem her yıl ortalama yüzde 25 ila 40 arasında tam güçte çalışmaktadır. Her makine neredeyse 500 evin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik üretebilmektedir [31].

Danimarka'da bir mühendis olan Erik Friis-Madsen'in tasarladığı ve sonrasında da patentini de aldığı yüzer bir dalga enerji dönüştürücüsü Löwenmark Company'den Wave Dragon, başka bir açık deniz uygulamasına sahiptir.



Şekil 3.15: Wave Dragon prototipinin deniz testi [32]

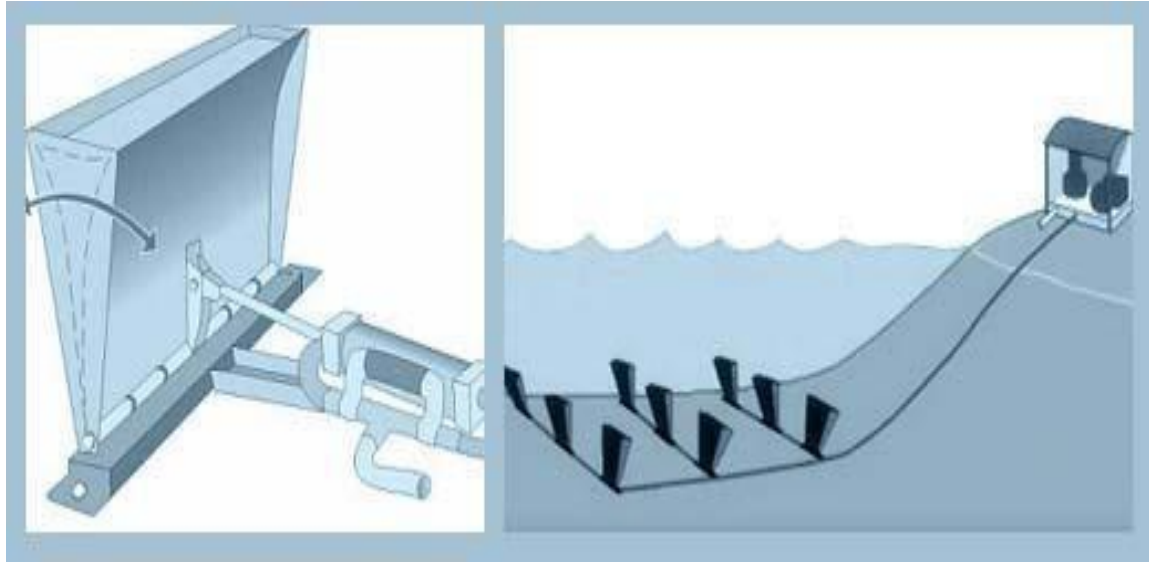
Wave Dragon'ın oldukça kolay yani karışık olmayan bir düzeni mevcuttur. Buradaki fikir, dalgaların enerjisini, hiçbirini kaybetmeden kıyıya ulaşmadan kullanmaktır. Hareket eden tek bileşen türbinlerdir. Yukarı aşağı fırlayarak veya dalgaların hareketiyle bazı kısımların hareket etmesiyle dalganın sistemi aşan sudaki potansiyel enerjiyi kullanır. Kıyıdan uzak yerlerde kullanılan dalga enerjisini dönüştürme tekniğidir. Diğer dönüştürme teknolojilerine kıyasla Wave Dragon'ın kullanımı daha derin sularda dayanıklıdır.



Şekil 3.16: Reflektörden görülen Wave Dragon Pilot Tesisi [33]

Depolanan suyun potansiyel enerjisini etkin bir şekilde kullanmak için bu sistem stabil kalabilen bir çerçeve ile inşa edilmiştir. Deniz seviyesinden daha yüksek bir seviyeye sahip oldukça büyük bir geçici rezervuar mevcuttur. Bu rezervuar Wave Dragon'un üzerinden geçen suyun tutulduğu yerdir. Hidroelektrik santrallere benzer şekilde çalışır. Depolanan su elektrik üretmek için türbinler aracılığıyla akar ve elektrik enerjisine dönüştürülür [32].

Dalga Paleti (WaveRoller), deniz tabanına bağlanan bir levhadan oluşan ve enerji üretmek için oradaki dalgaların hareketini kullanan bir cihazdır. Bir piston, gelen dalga ile ileri geri salınan plakayı tutar. Hidrolik motor bu piston tarafından tahrik edilir. Hidrolik motor, elektrik üreten jeneratöre bağlıdır. Böylece dalga hareketleri hidrolik pistonlar üzerinden elektrik enerjisine çevrilmiş olur [34].



Şekil 3.17: Dalga Paleti sisteminin şematik görünümü [34].

Power Buoy modüler okyanus şamandıraları, yükselen ve düşen dalga hareketlerine tepki olarak şamandıraları hareket ettirir. Sistemin jeneratörü, elektrik üretmek için ortaya çıkan hareket enerjisini kullanır. Denizaltı iletim hattı üretilen elektrik enerjisini karaya aktarır [35].



Şekil 3.18: PowerBuoy [35]

PowerBuoy sistemi, 40 ila 60 metre derinliğindeki ve kıyıdan 8 kilometre uzaklıktaki sularda kullanılabilir. Bu sistemin uygulamaları kıyı açıklarında birden fazla PowerBuoy sisteminin belirli aralıklarla konumlandırılması ile tesis haline gelir. Şamandıraların her biri 4 metre çapında ve 16 metre uzunluğundadır. PowerBuoy tesisinin elektrik gücü 40 kW'dır. PowerBuoy okyanusun uzak bölgelerinde yapılacak araştırmalar için uygun maliyetli ve çevre dostu bir yol sağlar.



Şekil 3.19: PowerBuoy dizisi [35]

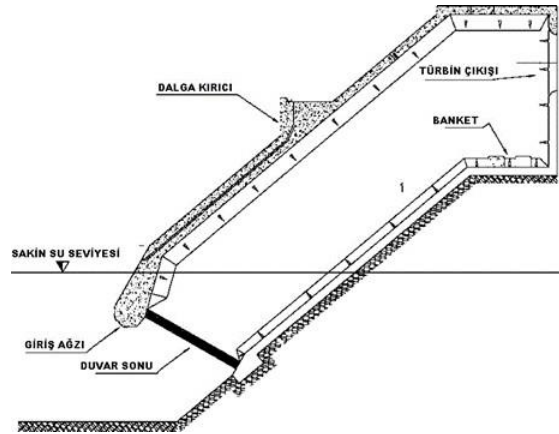
3.4 Aktif Durumda Olan Enerji Dönüştürücüleri

İskoçya'nın Islay Adası'ndaki LIMPET tesisi, salınımlı su sütunu prensibini kullanan enerji dönüştürücüler arasında en çok araştırılan sistemdir (Şekil 3.20). 2000 yılından bu yana Wavegen şirketinin bir parçası olan bu tesis hem enerji üretimi hem de araştırma için kullanılmaktadır. Sistemin kurulu gücü 250 kW'tır.



Şekil 3.20: Islay adasında yer alan ve 2000 yılından bugüne kadar çalışmasını sürdüren LIMPET tesisi [36].

LIMPET sisteminin hava odasının hem ön hem de arka duvarları yatay bir şekilde 40 derecelik açı oluşturacak halde konumlandırılmıştır (Şekil 3.21). Sistem, bu açının oluşturmuş olduğu eğim sayesinde uzun süreli dalgalar için ayarlanabilmekte ve bu da dalgaların odaya girmesini kolaylaştırmaktadır. Dalgaların kolay bir şekilde odaya girmesi havanın daha rahat bir şekilde toplanıp türbine kolay bir şekilde iletilmesini sağlar [36].



Şekil 3.21: LIMPET tesisinin kesit görünüşü [36].



Şekil 3.22: Jeneratör-türbin yapısı [36]

OWC tipi enerji dönüştürücü dalgakıranların inşaatı Portekiz, İspanya ve diğer yerlerde devam etmektedir. Temel teknoloji iyi kurulduğunda, değişken adımlı kuyu türbinleri gibi son teknoloji türbin sistemlerinin kullanılması, Salımlı Su Sütunu tipi enerji dönüşüm sistemlerinin performansını çok fazla iyileştirebilir (Şekil 3.22). Gösterildiği gibi, OWC teknolojisi, dalga enerjisinden elektrik üretmenin en yerleşik yöntemidir ve gelecekte dalga enerjisi dönüştürücüleri arasında önemli bir rol oynamaya devam edecektir [36].

Ağustos 2004'te, Pelamis sisteminin tam ölçekli prototipi, İngiltere'nin Orkney sahili açıklarında konumlandırıldı ve şebekeye bağlandı. Elektrik üretmek ve şebekeye bağlanmak için Pelamis, açık denize kurulan ilk dalga enerji dönüştürücüsüdür. (Şekil 3.23).



Şekil 3.23: Pelamis tam ölçekli prototipi [36].

Portekiz'in 3 pelamis satın almasından sonra prototipe daha gelişmiş güç dönüştürme ekipmanı takılarak 2006 yılında gerekli özelliklere sahip olup olmadığını anlamak için birtakım denemelere tabii tutulmuştur (Şekil 3.24). Nisan ve Temmuz 2007 arasında Orkney'de yapılan testler sırasında cihazın dalga enerjisini yaklaşık %60 verimle dönüştürebildiği keşfedilmiştir [36].



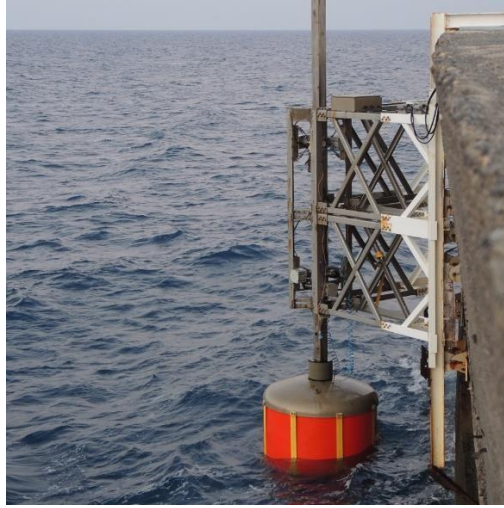
Şekil 3.24: Tam ölçekli Pelamis prototipinin donanım değişikliği için alındığı kuru havuzdaki görüntüsü [36].

Kuzey Danimarka'da, Wave Dragon sistemi 1/4,5 ölçekli bir prototip üzerinde geliştirilmekte ve test edilmektedir. Sistem bir iç denizde yer almaktadır ve fiziksel şartları bu denizin dalga yapısına şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.25). Ancak sistemin türbinleri, otomatik kontrol sistemleri ve şebeke bağlantı teknolojileri, açık deniz tam ölçekli kompleksinde kullanılanlarla aynıdır [36].



Şekil 3.25: 1/4,5 Ölçekli Wave Dragon pilot tesisinin görünümü [36].

SINN Power WEC, esnek olmayan bir çelik çerçeveye bağlı değişken sayıda şamandıradan oluşur. Dalgaların aşağı yukarı hareketi şamandıraları kaldırdığında elektrik üretilir. Yüzer cisimler, bir jeneratör ünitesinden geçen bir çubuğu kaldırır. [37] SINN Power, 2015'ten beri Yunan adası Girit'te tek dalgalı bir enerji dönüştürücü modülünü test ediyor.2018'de bir yüzer dalga enerji dönüştürücüsü devreye alınacak, 2017 için tek modüllü WEC'lerle pazara giriş planlanıyor [38].



Şekil 3.26: 2016'da Girit'te bir SINN Güç dalgası enerji santrali modülünün prototipi [38]

3.5 Dalga Enerjisinin Ekonomik Analizi

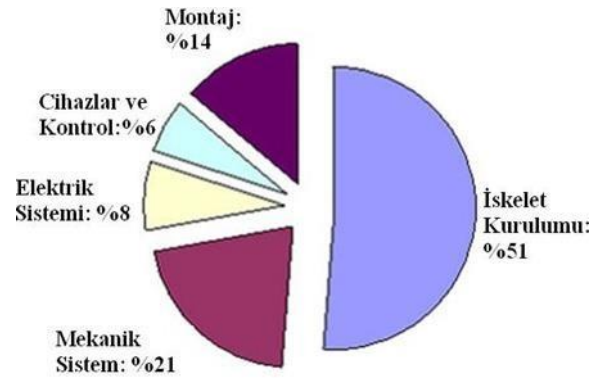
Teorik hesaplamalara göre dünyanın dalga enerjisi potansiyeli yılda 32.000 TWsaat/yıl'a (3.65 TW) eşittir [39]. Rüzgar ve güneş enerjisi gibi önde gelen yenilenebilir enerji kaynakları ve dalga enerjisi göz önüne alındığında dalga enerjisinden maksimum enerji yoğunluğu alınmaktadır. Bu da dalga enerjisinin en önemli özelliğidir. Güneşten alınan enerjinin rüzgara enerjisine dönüştüğü sonrasındaysa rüzgar enerjisinin dalga enerjisine biçimine geçtiği bu döngüde, güç yoğunluğunun güneşten dalga enerjisine dönüştüğü süreçte arttığı herkes tarafından bilinmekte ve kabul görmektedir. Yapılan bir araştırma, 15 derece kuzey enleminde güneş ışığının 0.17 kW/m^2 olduğunu belirtmektedir [40]. Bu güneş ışığı, ortalama 10 m/s hıza ve ortalama 0.58 kW/m^2 güç yoğunluğuna sahip rüzgarlar üretir. Tahmini güç yoğunluğu 8.42 kW/m^2 olan bu rüzgar dalga üretebilir. Enerji kaynaklarına ne kadar harcanacağını belirlerken, üretim ve iletim maliyetlerini karşılaştırmak çok önemlidir. Bu karşılaştırmada, seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM) genellikle dikkate alınır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti, İngilizce “levelized cost of energy” olarak geçmektedir. SEM, proje yatırımına yönelik fiyatın kar sağlama için üretilen elektrik enerjisinin satılması gereken fiyatıdır. 2013'te yayımlanmış Dünya Enerji Konseyi raporunda belirtilen ortalama SEM değeri her bir dalga enerjisi için 49.6 cents/kWh'tir [41]. Bu rakam, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında inanılmaz derecede yüksektir. Yapılacak olan harcamalar ve teknolojik ilerlemeler ile 2030 yılına kadar enerjinin SEM karşılığı 16-17 cents/kWh'ye düşürülmesi amaçlanmaktadır [41]. Ek olarak çizelge 3.1, dalga enerjisinin üretimi ve iletimi ile ilgili maliyetleri (\$/kWh)

diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile ilişkili maliyetlerle karşılaştırmaktadır. Dalga enerjisi sistemleri, çizelge 3.1'de gösterildiği gibi teknolojik gelişmeler ve maliyet projeksiyonları nedeniyle diğer yenilenebilir enerji sistemleri ile rekabet edebilecektir.

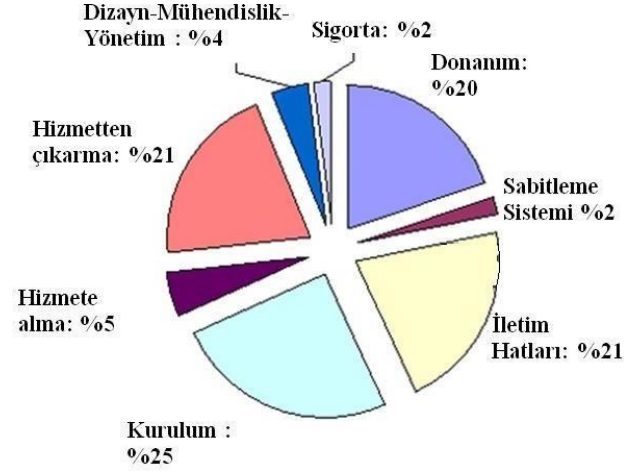
Çizelge 3.1: Yaklaşık olarak tahmin edilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim ve dağıtım giderleri [42]

Enerji teknolojisi	2005-2010	2020>
Rüzgâr (Kara)	\$0.04-0.07	≤ \$0.04
Rüzgâr (Açık deniz)	\$0.10-0.17	\$0.08-0.13
Dalga	≥ \$0.11	\$0.04
Jeotermal	\$0.04-0.07	\$0.04-0.07
Hidroelektrik	\$0.04	\$0.04
Fotovoltaik	> \$0.2	\$0.1
Gelgit	> \$0.11	\$0.05-0.07

Kullanılan teknolojilerin etkinliği, yatırım maliyetleri, kullanılabilirlik ve işletme giderlerinin tümü, dalga enerjisinin ekonomik çalışmasındaki faktörlerdir. Şekil 3.27 ve 3.28'de dalga enerjisi dönüştürücüsü inşa etmek ve aynı zamanda kıyıda konumlandırmak için muhakkak yapmak gereken yatırım maliyetlerinin sistem bileşenlerine göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.27: Bir dalga enerjisi dönüştürücüsünün oluşum maliyeti [43]



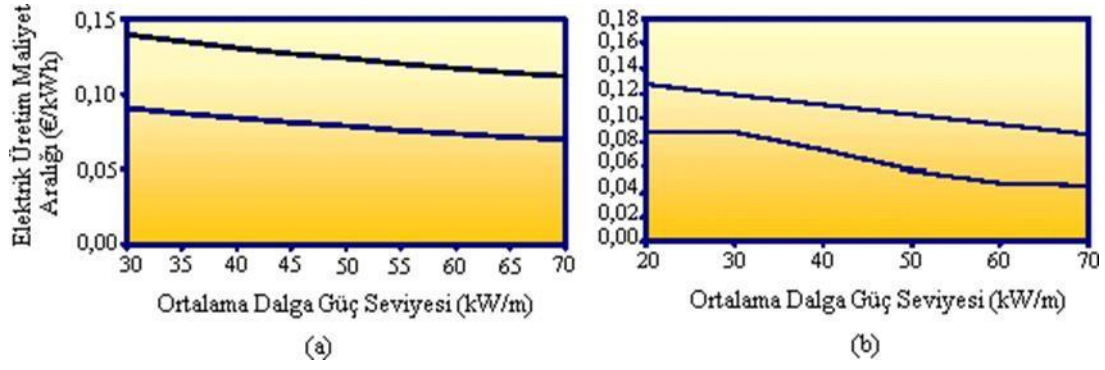
Şekil 3.28: Montajı dahil olmak üzere sistemin dalga enerjisi dönüştürücüsü takılıyken sistem oluşturma maliyeti [43]

Hem Kuzey hem de Güney yarımkürede 40-60 derece arasındaki enlem aralığı, Dünya'nın dalga enerjisinin en bol olduğu yerdir. Bununla birlikte, yıllık ortalama potansiyeli en yüksek olan bölge, 40-60 derece enlemleri arasında Güney Yarımküre de yer almaktadır [44]. Çizelge 3.2 [45], buzulları ve 5 kW/m'den daha az olan alanları ortadan kaldırarak, yüksek dalga enerjisine sahip birkaç saha için net dalga gücünü göstermektedir. Birkaç ülkeye dair dalga güçlerinden örnek vermek gerekirse; İngiltere 120 GW, İrlanda 21GW, Portekiz 10 GW, Danimarka 3.4 GW, İsveç 1GW'dır. Bu ülkelere ek olarak; Fransa, İtalya, İspanya ve Yunanistan'ın Akdeniz tarafında total dalga gücü 30 GW şeklinde görülmektedir [46].

Çizelge 3.2: Dalga enerjisi bakımından yoğun yerlerin sahip olduğu net dalga gücü [46]

Bölge	P _{net} (GW)
Yeni Zelanda ile Avustralya	574
Batı Güney Amerika	324
Kuzey ve Batı Avrupa	286
Güneydoğu Asya ve Melanezya	283
Batı Kuzey Amerika	207
Doğu Güney Amerika	202

Şekil 3.29, kıyı ve açık deniz bölgeleri için dalga gücüne dayalı dalga enerjisi dönüştürme sistemlerini kullanarak elektrik üretme maliyetinin bir tahminini belirtmektedir. Son yirmi yılda, dalga enerjisi sistemlerinin güç üretim fiyatları, genellikle kWh başına 0,08 EURO'ya (% 8'lik bir indirim oranıyla) mal olacak şekilde önemli ölçüde düşmüştür.



Şekil 3.29: Dalgı enerji sistemlerinin elektrik üretim maliyet aralıkları:(a) Kıyı boyu uygulamaları ve (b) Kıyıdan uzak uygulamalar için [47]

Dalgı enerjisinden elektrik üretmenin maliyeti şu anda Avrupa Birliği'ndeki ortalama elektrik maliyetinden (0,04 EURO/kWh) daha yüksek olmasına rağmen, teknoloji geliştikçe bu maliyetin düşeceği tahmin edilmektedir. Daha önce rüzgar, nükleer ve diğer teknolojiler için kullanılan finansal ve ticari destekle, bu düşüş başlangıçta hızlanabilir [47].

3.6 Türkiye'deki Dalgı Enerjisi Potansiyeli

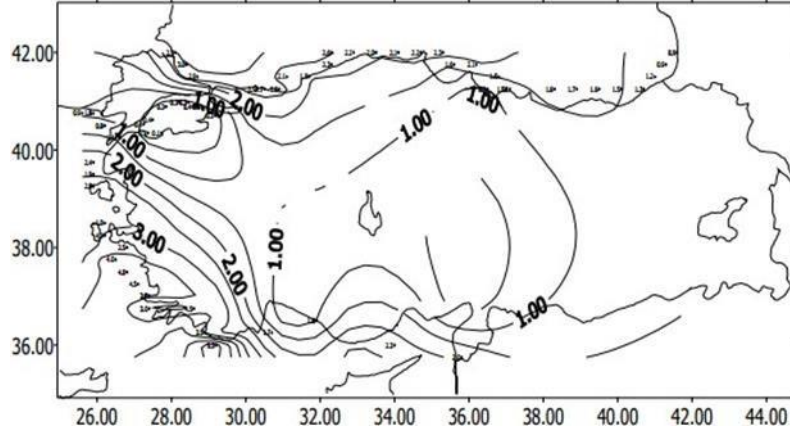
Ülkemizin üç tarafı sularla çevrili yaklaşık 8210 km uzunluğunda bir kıyı şeridi vardır. Ancak Türkiye'deki dalgı potansiyeli her kıyı bölgesinde küçük dalgı enerji sistemlerinin kurulmasına izin vermemektedir. Türkiye'nin total kıyı şeridi uzunluğunun neredeyse beşte birinde 18.5 TW saat/yıl (yaklaşık 2.11GW) olmak üzere dalgı enerjisi teknik potansiyeli bulunmaktadır [48]. [49]'da yer alan ayrıntılar ışığında, Türkiye'nin dalgı enerjisindeki potansiyel 4-17 kW/m (m, dalgı tepe uzunluğunu temsil etmektedir) dalgı gücü aralığında kullanıma uygun bir araç olarak kabaca 10 TW saat/yıl civarında olduğu kabul edilmektedir. Dalgı enerjisi için en iyi alanların İstanbul Boğaz'ının kuzeyi, Karadeniz'in Batısı ve aynı zamanda Ege Denizi'nin Marmaris'ten Finike'ye dek yer alan güneybatı kıyısı olduğu söylenmektedir [49]. Karadeniz Bölgesi'nin dalgı enerjisi potansiyeline ilişkin birkaç bilimsel araştırma yapılmıştır. 15 yıllık sayısal verilere dayanarak Karadeniz'in dalgı enerjisi potansiyeli [50]'de incelenmiştir. Sonuç olarak, Karadeniz'in güneybatı kıyısında dalgı çiftliklerinin kurulması tavsiye edilmektedir. Karadeniz'in batı kesimlerindeki (spesifikolarak Karadeniz'in güneybatısındaki yıllık ortalama dalgı enerjisi kaynağı 3 kW/metreye ulaşabilmektedir), özellikle güneybatı kesimlerindeki dalgaların, doğu kesimlerindeki dalgalara göre yıllık ortalama olarak daha enerjik olduğu keşfedilmiştir [50]. [51]'de yapılan araştırmada, Karadeniz'den gelen 13 yıllık rüzgar verilerinin üçüncü nesil Jenereasyon spektral dalgı modeli kullanılarak

değerlendirilmesinden sonra batıdan doğuya doğru dalga enerjisi potansiyelinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, Karadeniz'in güneybatı bölgesinde ortalama dalga gücünün yaklaşık 7 kW/m, doğu bölgesinde ise sadece 3 kW/m olduğunu gösterdi. Güneydoğu Karadeniz kıyılarının dalga enerjisi potansiyeli [52]'de yayınlanan çalışmada açıklanmıştır. Bu çalışmada en yüksek dalga gücü akısına sahip il 10 MWh/m ile Sinop olmuştur. Raporlara göre, ek kıyı illeri olan Giresun, Hopa, Rize, Ordu, Samsun ve Trabzon'un yıllık dalga enerjisi potansiyeli yaklaşık 6 MWh/m'dir. Bu potansiyele katkıda bulunan dalgalar, 0,5-2 m'lik önemli dalga yüksekliklerine ve 2-5 s'lik dalga periyotlarına sahiptir. [52]'ye göre, DED verimliliği arttıkça ve dalga enerjisi çıkarma için teknolojik yetenekler ilerledikçe dalga enerjisi kayda değer bir enerji kaynağına dönüşecektir. Ancak, Karadeniz'in güneydoğu kıyısı boyunca tahmin edilen dalga enerjisi potansiyeli minimum düzeydedir.

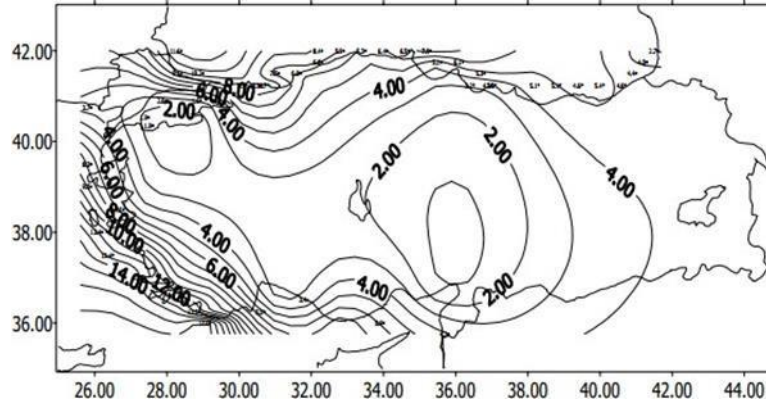
Ülkemizdeki mevcut dalga enerjisi uygulamalarını inceleyecek olursak, bu konudaki önemli prototip denemelerinden biri Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü'yle birlikte Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. tarafından 2008 yılının 15 Şubat, cuma günü itibarıyla başlatılan “Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi” adlı proje beraberinde Sakarya'ya bağlı Karasu ilçesinde yapılmıştır. Hareketli olmasının yanında 5 kW güç çıkışına sahip sistem 4 adet duba, şamandıra ve jeneratörden oluşmaktadır. Cihaz, dalgaların dikey hareketini jeneratöre göndermek için şamandırayı kullanarak çalışır [53].

Dalga enerjisi açısından son dönemde Karadeniz'e güzel haberler gelmiştir. Avustralya merkezli CSG Exploration and Production Services firması ile yapılan görüşmelerde Zonguldak'ta ücretsiz pilot tesis kurulması istendi ve Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı (BAKKA)'nın 2017 yılında Martın 27'sinde yaptığı açıklamaya göre şirketin 50 kW gücündeki pilot tesisin ücretsiz olarak inşa edilmesi konusunda kabul alındığını görebiliriz [54]. Karadeniz'de dalga enerjisi uygulamaları böylece başlayacak. Bölgemizde ve milletimizde dalga enerjisi sistemlerinin geleceği için bu keşif çok önemlidir. Ülkemizin üç tarafı sularla çevrili olması, büyük miktarda dalga enerjisi potansiyeline sahip olduğumuzu göstermektedir. Rüzgar ve güneş enerjisinin yanı sıra dalga enerjisi potansiyeli açısından da çok şanslı bir durumda olmasına rağmen ülkemizde bu alanda büyük yatırımlar ve uygulamalar henüz yapılmamıştır. NATO TU WAVE projesi sonucunda oluşturulan “Türk Kıyı Rüzgarları ve Derin Dalga Atlası” bilgileri kullanılarak ortalama belirgin dalga yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) değerleriyle minimum enerji akışı için aylık ortalama, maksimum enerji akışı için aylık ortalamaların matematik ortalaması ve en büyük değerlerin

en düşük olan değerleri kullanılarak hesaplanan Türk sularının kullanıma hazır yaklaşık azami ve asgari Dalga Enerji seviyeleri Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de verilmiştir [55].



Şekil 3.30: Asgari Dalga Enerji Seviyeleri



Şekil 3.31: Azami Dalga Enerji Seviyeleri

Çizelge 3.3: Bölgelere göre metre başına düşen ortalama deniz dalgası güç potansiyeli[59]

Bölge	Güç (kWh/m)
Karadeniz	1.96-4.22 kWh/m
Marmara Denizi	0.31-0.69 kWh/m
Ege Denizi	2.86-8.75 kWh/m
Akdeniz	2.59-8.26 kWh/m
İzmir-Antalya	3.91-12.05 kWh/m

4. LİTERATUR TARAMASI

4.1 Salınan Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücüleri ve Hava Türbinleri: Bir İnceleme

Okyanus dalgaları, kapsamlı bir şekilde kullanılması halinde, kıyıları denize bakan ülkelerin elektrik enerjisi arzına önemli ölçüde katkıda bulunabilecek önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çok çeşitli teknolojiler önerilmiş, üzerinde çalışılmış ve bazı durumlarda gerçek okyanus koşullarında tam boyutta test edilmiştir. Sabit yapıya veya yüzer salınımlı su sütunu (OWC) cihazları, dalga enerjisi cihazlarının önemli bir sınıfıdır. Şimdiye kadar denize yerleştirilen dalga enerjisi dönüştürücü prototiplerinin büyük bir kısmı OWC tipindedir. Bir OWC'de, havayı iç serbest yüzeyin üzerinde hapseden, su yüzeyinin altında denize açık sabit veya yüzen içi boş bir yapı vardır. Dalga hareketi dönüşümlü olarak, bir kanaldan akmaya zorlanan hapsedilmiş havayı sıkıştırır ve jeneratöre bağlı türbini harekete geçirir. Bu çalışma, OWC teknolojileri ve hava türbinlerinin kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Reaktif faz kontrolü ve mandallama yoluyla faz kontrolü, türbin dönüş hızı kontrolü ile birlikte ele alınan önemli konuları ele alır. Bunu, OWC dönüştürücülerin teorik, sayısal ve deneysel modelleme tekniklerinin bir incelemesi izler. [57].

4.2 Salınımlı Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Geometri Optimizasyonu Üzerindeki Uzun Vadeli Dalga Eğilimlerinin Etkisi Hakkında

Bu çalışmada dalga eğilimlerinin dünyanın çeşitli bölgelerinde enerji üretimi ile ilgili olduğu gösterilmiştir. Buna göre, bu çalışma, dalga trendlerinin dalga enerji dönüştürücülerinin tasarımı üzerindeki etkisini açıklamaktadır. İlk olarak, Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu boyunca dalga eğilimleri ERA5 temel alınarak analiz edilir. Ek olarak, ortalama dalga boyu ile odanın optimal genişliği arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki tanımlayan, salınan bir su kolunun yakalama genişliğini sağlayan deneysel bir model kullanılır. Bu nedenle, dalga eğilimleri ve deneysel modeli birleştirilerek, odanın optimum boyutunun farklı coğrafi konumlar arasında ve 1979-2018 yılları boyunca önemli ölçüde değiştiği bulunmuştur. Orijinal geometri ile dalga eğilimleri dikkate alınarak optimize edilmiş geometri arasındaki

farklar, bazı yerlerde %15'e kadar. Sonuç olarak, cihazın konuşlandırılacağı zamana karşılık gelen kaynaktan ziyade geçmişteki mevcut kaynaklara dayalı olarak tasarlanan salınlı su kolonu odalarının verimsiz olduğu ortaya çıkmıştır. Zaman içinde kaynak kullanılabilirliğindeki değişiklikleri hesaba katmak, geleneksel olmayan yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyet optimizasyonuna yardımcı olabilir. [58].

4.3 Karada Salınan Su Kolonu Cihazlarının Hidrodinamiği: Düzleştirilmiş Parçacık Hidrodinamiği Kullanan Sayısal Bir Çalışma

Salınlı su kolonu (OWC) cihazı, muhtemelen çeşitli dalga enerjisi dönüştürücüleri arasında en çok çalışılan cihazdır. Birçok farklı uygulaması araştırılmıştır. Bir OWC'nin karmaşık hidrodinamik davranışını incelemek için, bu çalışmada zayıf sıkıştırılabilir düzleştirilmiş parçacık hidrodinamiği (SPH) yöntemine dayanan iki boyutlu bir sayısal dalga tankı geliştirilmiştir. Burada, tek fazlı bir SPH modeli çerçevesinde bir pnömatik PTO sisteminin neden olduğu etkiyi simüle etmek için basitleştirilmiş bir pnömatik model önerilmiş ve OWC odası içindeki serbest yüzeye uygulanan hava basıncını belirlemek için uygulanmıştır. Ek olarak, SPH'de sınır koşulu olarak bölgesel bir hayalet parçacık yaklaşımı, ince bir duvarın yakınında akışkan dinamiklerini daha iyi simüle etmek için önerilmektedir. İlk olarak, sayısal model, yayınlanmış fiziksel ve sayısal veriler kullanılarak düzenli dalgalar altında test edilmiştir. Daha sonra, çeşitli dalga koşulları altında çeşitli duvar kalınlıkları ve sönümleme katsayısı için OWC'nin performansını inceleyerek kapsamlı bir hesaplama testi yürütülür. Sonuçlar mevcut SPH modelinin yüksek performanslı OWC'lerin geliştirilmesi için pratik bir araç olarak kullanılabilirliğini göstermektedir [59].

4.4 Çoklu Salınlı Su Sütunu (OWC) Platformunun Hidrodinamik Performansı

Birden çok salınlı su kolonundan (OWC'ler) oluşan dikdörtgen bir mavna, çoklu-OWC platformu olarak anılacaktır. Her bir OWC odası, kısmen suya batmış iki dikey duvar ve platformun güvertesi ile çevrilidir. Bir dalga, her bir OWC odasındaki su kolonunun salınlımını üretir ve bu nedenle hava toplama ünitesi odanın üstüne monte edilmiştir. Çoklu-OWC platformu dalga kırınımı problemlerini çözmek için lineer potansiyel akış teorisine ve öz fonksiyon genişletme yöntemine dayanan yarı analitik bir model geliştirilmiştir. Modelin doğrudan ve dolaylı yöntemlerle değerlendirilen hidrodinamik katsayılarının mükemmel bir uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Doğrulanmış model çoklu-OWC platformunun dalga hareketi, dinamik hava basıncı, dalga gücü, dalga

yansıması ve iletim katsayılarını tahmin etmek için uygulanır. Daha küçük taslak ön duvar ve daha büyük taslak arka duvar, platformun yüksek verimli performans aralığını genişletmek için faydalı bulunmuştur. [60].

4.5 Yüzen Bir Dalgakırana Entegre Edilmiş Çok Sayıda Salınlı Su Kolonu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Deneysel Araştırması: Dalga Zayıflatma ve Hareket Özellikleri

Bu çalışmada, birden fazla Salınan Su Kolonu (OWC) Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü (WEC) ile entegre yüzen bir dalgakıran kavramının kanıtı üzerine yapılan bir çalışmanın B Bölümüdür. Yapı, kıyıya yakın ve açık deniz uygulamaları için tasarlanmıştır ve araştırma, model ölçekli hidrodinamik deneylerle gerçekleştirilmiştir. Bölüm A kavramı ve gerçekleştirilen deneyleri tanıttı, ardından kurulu OWC cihazlarının enerji çıkarma performansına ilişkin bir araştırma. Bu belge, OWC WEC'lerin yüzen dalgakıranın dalga zayıflatması ve hareket özellikleri üzerindeki etkisini kapsar. Bu araştırma bir kavram kanıtı yaklaşımı gerektirdiğinden, yapının genel davranışını belirlemek için cihaza yumuşak bir bağlama sistemi yapılandırıldı. Sonuçlar, eğim hareketinin OWC cihaz performansı açısından en zararlı hareket olduğunu göstermektedir, ancak bunun gerçekçi bağlama düzenlemelerinin dahil edilmesiyle hafifletilmesi beklenmektedir. Ek olarak, bulgular, çoğu durumda, OWC cihaz entegrasyonunun dalgakıran yapısının hem dalga zayıflatması hem de hareketleri üzerinde yararlı etkilere sahip olduğunu ve bu da konseptin ekonomik ve performans uygulanabilirliğine daha fazla güven verdiğini ortaya koymaktadır [61].

4.6 Eksenel Simetrik Yüzer Salınlı Su Sütun Tipi Dalga Enerjisi Dönüştürücüsünün Genişletilmiş İç Borulu Hidrodinamik Optimizasyonu

Bu çalışma OWC'nin gelişimini tartışır. Bugüne kadar çok sayıda dalga enerjisi dönüşüm konsepti geliştirilmiş ve araştırılmıştır, ancak bu konseptlerin uygulamaları görülmemektedir. Bu daha fazla araştırma için gerekliliği ve ek fırsatı sağlar. Genel olarak dalga enerjisi dönüştürücüleri kavramı ve daha özel olarak M-OWC'nin gelişmiş varyasyonu üzerinde durulur. İnceleme, M-OWC konseptinin artan potansiyelini ve son yıllardaki gelişimiyle mevcut durumunu özetlemektedir. Hâlâ geliştirilme aşamasında olmasına rağmen, M-OWC'ler, dikkate alınacak çeşitli yenilikçi konseptler aracılığıyla umut verici sonuçlar sağlama potansiyeline sahip olduğunu gösterir. Yenilenebilir enerji alanında bir başka ciddi rakip olarak dalga enerjisinin ilerlemesini ve daha da geliştirilmesini destekler. [62].

4.7 Çeşitli Dalgalı Dudak Duvarlarına Sahip Salınlı Bir Su Kolonu Cihazı İçin Dalga Gücü Ekstraksiyon Analizi

Ön dudak duvarı ve arka dudak duvarı kabaran bir açık deniz OWC cihazından dalgagücü çıkarma performansı araştırılır ve potansiyel akış teorisine göre, sınır değeri problemini çözmek ve teorik bir model oluşturmak için eşleşen özfonksiyon yöntemi kullanılır.

Simetri dudak-duvar draftları, oda genişliği ve yay sertliğinin varyasyonunun, optimum ekstraksiyon verimliliği ve farklı hareketli bileşenlerle OWC'nin diğer parametreleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Göreceli olarak daha derin bir duvar çekiminin, ilgili dalga frekansı aralığı içinde dalgalanan bir ön dudak duvarı ile donatıldığında güç ekstraksiyonu için daha faydalı olduğu bulunmuştur. Sıkışan enerjiyi iyileştirmek ve kabaran bir ön dudak duvarı için pnömatik hazne içinde çalkalama modunun oluşumunu azaltmak için, bir orta odacık genişliği daha çok arzu edilir, çünkü tepe etkinliğini ve yüksek verimli frekans bant genişliğinin genişlemesini önemli ölçüde artırabilirken, kabaran arka dudak duvarı modeli bu açıdan daha düşüktür. Ek olarak, genel olarak nispeten daha küçük bir yay sertliği ve hatta sıfır sertliği, ön duvar için arka duvardaki kabarma hareketinden daha fazla tavsiye edilir, çünkü eski, kabarma modunun olumlu etkilerini tam olarak kullanabilir [63].

4.8 Silindirik Çift Odacıklı Salınlı Su Kolonu Cihazının Hidrodinamik Performansı Üzerine Deneysel Araştırma

Bu çalışmada sabit bir silindirik çift odacıklı Salınan Su Sütunu (OWC) dalga enerjisi cihazının hidrodinamik performansı, tek odacıklı bir OWC ile karşılaştırıldığında dönüşüm verimliliğini değerlendirmek için deneysel olarak incelenmiştir. Mevcut çalışmanın katkısı, açık deniz dalga enerjisini verimli bir şekilde yakalamak için çift odacıklı OWC cihazının tasarımına ve optimizasyonuna rehberlik etmektir. Dalga dikliği, açılma oranı, iç ve dış hazne draftları dahil olmak üzere çeşitli parametrelerin önerilen OWC cihazının hidrodinamik verimliliği üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Çift odacıklı OWC cihazının hidrodinamik verimliliğinin, tek odacıklı olana kıyasla arttığı bulunmuştur. Açıklık mesafesinin bölme kolonlarının alanına oranı hidrodinamik verimlilik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada optimum açılma oranının % 1.5-% 2.0 arasında olduğu tespit edilmiştir. Hidrodinamik verimliliğin dalga dikliğinin artmasıyla azaldığı, dış oda çekişinin azalmasıyla arttığı da gözlemlendi [64].

4.9 Sabit Salımlı Su Kolonu Tipi Dalga Enerji Dönüştürücüsünün Performansı Üzerine Deneysel Araştırmalar

Salımlı su kolonu (OWC) tipi dalga enerjisi dönüştürücüleri, kullanılmayan okyanus dalgası enerjisini toplamak için en umut verici adaylardır. OWC ön duvar açıklığı ve PTO (PTO) sönümleme optimizasyonu, uygulanabilir enerji ekstraksiyonu için çok önemlidir. Odanın su altı açıklık yüksekliğinin, PTO sönümlemesinin ve dalga dikliğinin enerji dönüştürücü verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek için tabana sabitlenmiş bir salımlı su sütunu için kapsamlı bir deneysel araştırma yapıldı. Çeşitli dalga diklik değerleri altında fiziksel deneylerde çok çeşitli açılma yükseklikleri ve PTO sönümlenmeleri kullanılmıştır. Su kolonu yer değiştirmeleri, hızları ve hareket davranışları da incelenmiştir. Farklı dalga diklik değerleri altında maksimum verim elde etmek için optimum oranlar belirlenmiştir. Sonuçlara göre, Bu çalışmanın temel bulgusu, belirli bir dalga dikliği aralığı için, sisteme uygulanması gereken optimum sönümlemenin sadece dalga özelliklerine değil, aynı zamanda odanın açılma yüksekliğine de bağlı olmasıdır [65].

4.10 Boru Şeklinde Bir Yapıya Entegre Salımlı Su Kolonundan Dalga Gücü Ekstraksiyonu

Bu çalışmada, bir salımlı su kolonunun (OWC) dikey boru şeklindeki bir yapıya entegrasyonu ele alınmıştır. OWC odası, suya batık tarafı kısmen denize açık olan boru şeklindeki yapı ile çevrelenmiştir. Okyanus dalgaları cihaz boyunca yayılırken, odanın tepesine yerleştirilmiş bir hava türbini, dalga gücünü çıkarmak için çalıştırılabilir. Cihazın sonlu su derinliklerinde dalga saçılımı problemini çözmek için potansiyel akış teorisine ve öz fonksiyon eşleştirme yöntemine dayalı analitik bir model geliştirilmiştir. Dalga uyarma hacim akısı, hidrodinamik katsayılar, optimum türbin sönümleme ve güç yakalama faktörü değerlendirilir. Başarılı bir doğrulamanın ardından, model, boru şeklindeki yapının yarıçapının ve sonlu duvar kalınlığının, açıklığın boyutunun ve konumunun dalga gücü çıkarımı üzerindeki etkisini araştırmak için uygulanır. Daha ince bir bölme duvar kalınlığının, daha geniş bir birincil güç yakalama faktörü tepkisi bandı açısından dalga gücü ekstraksiyonuna yararlar sunduğunu ve dikey açıklığın yüksekliğini artırarak daha geniş ve daha yüksek bir yakalama faktörü bandının elde edilebileceğini bulunmuştur [66].

4.11 Yatay Taban Plakalı Yeni Bir Salınlı Su Sütunu Dalgakıranının Hidrodinamik Performansı: Deneysel ve Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, yatay bir taban plakasına sahip yeni bir salınlı su sütunu (OWC) dalgakıranının hidrodinamik özellikleri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Açık kaynak paketi OpenFOAM ile çözülen viskoz, tamamen doğrusal olmayan sayısal dalga tankı (NWT), laminar akış koşulları altında oluşturulur. Sayısal sonuçları deneysel olanlarla karşılaştırdıktan sonra, iyi doğrulanmış sayısal model ayrıca yatay alt plaka (D) uzunluğunun, arka plakanın daldırma derinliğinin (d_2), su derinliği (h), yansıma üzerindeki dalga yüksekliği (H) (C_r), iletim (C_t) katsayılar, dağılım katsayısı (C_d) ve sütunla sınırlı enerji katsayısı (C_e) değerleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucunda su derinliğinin uzun dalgaların hidrodinamik katsayısı üzerinde önemsiz etkisi vardır. Ancak kısa dalgalarda dalgakıran performansını etkiler. Alt plakanın uzatılmasının enerji dağılımını etkili bir şekilde artırabildiğini ve daha düşük yansıma ve iletim katsayılarına yol açtığını göstermiştir. Arka plakanın daha küçük bir taslağının da enerji dağılımını artırabileceğini göstermektedir [67].

4.12 Model Ölçeğinde Düzenli Dalgalarda Çok Bölmeli Salınlı Su Kolonunun Modellenmesi

Bu makale, zaman alanında çok odacıklı salınan su sütunu (MC-OWC) yanıtını tahmin etmek için kullanılan sayısal modellerin güvenilirliğini inceler. PTO'suz hidrodinamik ve termodinamik sert piston modellerinden oluşan bir hibrit sistem kullanılan bu modelde normal dalga koşullarında iç su yüzeyi seviyesi ve hazne içindeki anlık basınç için model oluşturulmuştur. Modelin güvenilirliğinin doğrulanmasında bir dalga tankından elde edilen deneysel veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yöntemin düzenli ve düzensiz dalga koşullarında MC-OWC'nin hidrodinamiğini tanımlamak için genişletilebileceğini göstermektedir [68].

4.13 Salınlı Su Kolonu Dalga Enerjisi Dönüştürücülerinde Yay Benzeri Hava Sıkıştırılabilirlik Etkisi

Bu çalışmada, osilasyon yapan bir OWC dalga enerjisi dönüştürücüsünün denize yüzer şekilde konuşturulması ve sabit tam boy bir OWC prototipi üzerinde geniş bir araştırma ve geliştirme çabası konusu olmuştur. Su yüzeyinin altında denize açık, içi boş (sabit veya yüzer)

bir yapıdan oluşur. Dalga hareketi, havayı bir elektrik jeneratörüne bağlı bir türbin içinden akmaya zorlar, iç bölmede suyun serbest yüzeyinin üzerinde hapsolmuş havayı dönüşümlü olarak sıkıştırır. Hava sıkıştırılabilirliğinin yay benzeri etkisi odadaki yoğunluk-basınç ilişkisi ile ilgilidir. Tam boyutlu dönüştürücünün güç performansını önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Üç teorik model analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır: (i) Sıkıştırılmaz Hava Modeli; (ii) İzantropik Süreç Model; (iii) ve (daha zor ve nadiren benimsenen) yetersiz verimli türbinden kaynaklanan kayıpların hesaba katıldığı adyabatik izantropik olmayan süreç modelidir. Havanın mükemmel bir gaz olduğu varsayılır. Dalga enerjisi emiliminin hidrodinamik modellemesi, doğrusal su dalgası teorisine dayanmaktadır. Wells türbini ile donatılmış sabit yapılı bir OWC için sayısal sonuçlar içeren bir vaka çalışmasıyla gösterilmektedir. Sonuçlar, düzenli ve düzensiz dalgalar için ve dalga tankında küçük ölçekli model testinin teorik simülasyonu için gösterilmiştir [69].

4.14 U Şeklinde Salınan Su Kolonu Dalga Enerjisi Cihazının Geometrik İncelenmesi

Sabit bir U-şekilli salımlı su kolununun (U-OWC) dalga enerjisi dönüştürücüsünün hidrodinamik performansı sayısal olarak incelenmiştir. Zaman alanlı yüksek dereceli sınır eleman yöntemine (HOBEM) dayalı olarak, bir U-OWC cihazı ile doğrusal olmayan dalga etkileşimini simüle etmek için iki boyutlu, tamamen doğrusal olmayan bir sayısal model uygulanır. Modelde, gelen dalgaları oluşturmak için iç alan kaynağı yöntemi benimsenmiş ve oda içindeki serbest yüzeye uygulanan hava basıncını belirlemek için doğrusal bir pnömatik model kullanılmıştır. Sayısal model, hazne merkezindeki serbest yüzey yüksekliği, hazne içindeki hava basıncı ve hidrodinamik verimlilik gibi yayınlanmış deneysel verilere göre iyi bir şekilde doğrulanmıştır. Ayrıca, mevcut model geometrik parametrelerin etkilerini incelemek için uygulanır (dikey kanal yüksekliği, dikey kanal genişliği ve duvar kalınlığı). Sonuçlar, dikey kanalın geometrik parametrelerinin, hazne içindeki hava basıncı ve hidrodinamik verimlilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Hem dikey kanal yüksekliğinin hem de duvar I kalınlığının artmasıyla birlikte hazne içindeki hidrodinamik verim ve hava basıncının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, duvar I kalınlığının artmasıyla verimin artış hızı kademeli olarak yavaşlamaktadır, bu da bir U-OWC cihazının tasarımında ve yapımında inşaat maliyeti ve hidrodinamik performansın kapsamlı bir şekilde dikkate alınması gerektiğini gösterir [70].

4.15 Yüzer Dairesel Salımlı Su Sütunlu Dalga Enerji Dönüştürücülerinin Üç Üniteli Dizilerinin Hidrodinamik Analizi

Bu makale, bağımsız olarak yüzen koaksiyel silindirlere oluşan bir dizi Salınan Su Sütunu (OWC) cihazının hidrodinamik analizini ele almaktadır. Platform, serbest yüzer veya deniz dibine bağlı TLP konfigürasyonu olarak kabul edilir. Üç sınır değeri problemi olan kırınım, hareket ve basınca bağlı radyasyon problemlerine ilişkin sayısal sonuçlar verilmiştir. Eşleştirilmiş aksel simetrik özfonksiyon genişleme formülasyonları kullanılarak analitik bir çözüm yöntemi ile elde edilmiştir. Her durumda, komşu cisimlerle çoklu saçılma fiziksel fikri kullanılarak uygun şekilde hesaba katılmıştır. Birinci, ortalama ve ikinci derecede dalga kuvvetleri için sayısal sonuçları içerir. [71].

4.16 Çeyrek Daire Şeklindeki Salınan Su Sütunu Cihazının Zaman Alan Analizi

Bu çalışmada dalga gücünü kullanmak için mevcut sayısız mekanizmadan “salınan su sütunu cihazının (OWC-WEC)” işleyişi laboratuvarında deneyler yoluyla analiz edilir. Birkaç araştırmacı, frekans alanındaki OWC cihazlarının çalışma mekanizmalarını keşfetme de önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu bağlamda, bir OWC-WEC'in işleyişinin zaman alanında araştırılması gerekmektedir. Rastgele faz yaklaşımı kullanılarak P-M spektrumunda birkaç deniz durumu oluşturuldu. OWC tesisinin işleyişini araştırmak için zamana bağlı bir simülasyon yürüttü. Türbin parametreleri elektrik santralinin verimliliğini etkilediği ortaya çıktı. Zamana bağlı simülasyonda birden fazla odaya sahip yüzen bir OWC-WEC'nin hareketini incelemek için Cummins denklemini kullandı. Sabit bir OWC-WEC'nin çalışma prensibini keşfetmek için CFD aracını kullandı. Bu araştırma, cihazın hava yakalama verimliliğinin dalga yüksekliğine zıt olarak değiştiğini gösterdi. Bu sonuç yüzen bir OWC-WEC sisteminin tamamen doğrusal olmadığını gösterdi. OWC'nin veriminin, gelen dalgaların frekansından, elastik katsayısından etkilendiği gözlemlendi. Modelin çalışma prensibini incelemek için 3 boyutlu bir model kullanmıştır. Bu çalışmada sonucunda: (i) dalga eğikliği cihazın performansı üzerinde daha az etkiye sahiptir, (ii) yayılan dalga nedeniyle serbest yüzeyin yükselmesi şekil parametrelerinden daha az etkilenir ve (iii) serbest yüzey yüksekliği, oda konfigürasyonundan güçlü bir şekilde etkilenir. Ayrıca yarı-analitik yöntemi kullanarak bir dizi U-şekilli OWC-WEC'nin tepkisini incelendi. Bu çalışma aşağıdaki sonuçlara yol açmıştır: (i) cihaz odasının güç çıkışı, OWC- WEC dizisine kıyasla tek odacıklı OWC için daha fazladır ve (ii) düzensiz dalgalar durumunda, sistem parametrelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. [72]

4.17 Savonius Rotoru Kullanan Salınlı Bir Su Sütunu Üzerinde Performans Çalışmaları

Bu çalışmada, daha basit bir Savonius tipi türbini dahil etmek için yeni bir salınlı su sütunu (OWC) tasarımı önerilmiştir. Havalandırılmalı OWC cihazları, havadan enerji elde etmek için Wells veya Impulse türbini gibi çift yönlü bir türbin kullanır. Savonius türbini çok daha ucuzdur ve düşük Reynolds sayılarında etkili bir seçenektir. Mevcut dikdörtgen OWC cihazında, dairesel OWC'den farklı olarak, yakalama odasının giriş genişliği, türbin bölümündeki çaptan etkilenmeden artırılabilir. Birincil yakalama verimliliğini artırmak için, OWC'nin ön ve arka duvarları yansımayı en aza indirecek şekilde eğimlidir. Savonius rotor karakteristikleri, gelen dalgaların frekansındaki değişime göre incelenmiştir. Rotor devri dalga periyoduna ve birincil dönüşüm verimliliğine duyarlıdır, derinlikteki değişiklikler ise rotor devrini yalnızca düşük frekanslarda etkiler. Savonius rotoru ile umut verici sonuçlar gösterilmiştir. Sonuç olarak OWC sistemlerinde türbin bileşenlerinin maliyetlerini azaltmak için büyük ölçekli OWC cihazlarına dahil edilebilir. [80]

4.18 Salınlı Su Kolonlarında Dağılım

Çoğu OWC, gelen dalga frekanslarında rezonansa girecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle cihazın verimliliği maksimum olmalıdır. Bununla birlikte, OWC'lerin verimliliğini kontrol eden sönümlenme faktörleri açıkça tanımlanmamıştır. Bu sönümlenme faktörlerini tanımlamak ve OWC'lerdeki bileşenlerden kaynaklanan enerji kaybı miktarını tahmin etmek için bir OWC'nin iç akışkanlar dinamiğinin kapsamlı bir çalışmasını ele alır. Viskoz ve Reynolds gerilmelerinden kaynaklanan pistonlu hareketteki dağılım, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan şekilde modellenir. Doğrusal ve doğrusal olmayan dağılımın Power Take-Off (PTO) sönümlenmesi ile karşılaştırılması sunulmuştur. Tüm dağılım faktörleri arasında, viskoz ve Reynolds kesme gerilmeleri PTO sistemi dikkate alınarak güncellenmiştir. Kesme gerilmelerinin doğrusal ve doğrusal olmayan sönümlenmeleri kıyaslanmıştır. Her iki sönümlenme faktöründen kaynaklanan enerji kaybı miktarları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak doğrusal olmayan sönümlenme modeli kullanıldığında güç çıkışının büyük oranda düştüğü gözlemlenmiştir. [81]

5. MATERYAL YÖNTEM

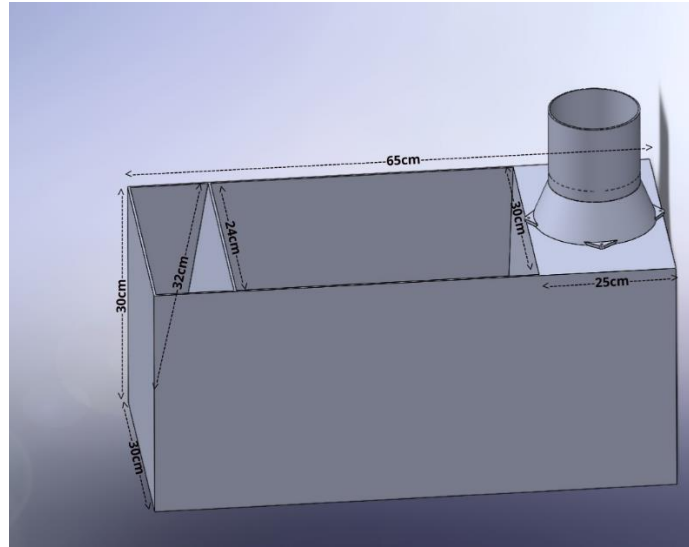
5.1 Tezin Amacı

Dünyanın pek çok yerinde şu anda hali hazırda kullanılan dalga enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan sistemlerden Salınlımlı Su Kolonu sisteminde dalganın etkilediği hava basıncının olduğu bölmenin konik şeklinde tasarlanarak dalganın oluşturduğu hava basıncını türbine daha güçlü bir tork ile iletip türbinin üreteceği elektriğin miktarını arttırmak hedeflenmektedir. Türkiye'nin adalar içinde olmak üzere var olan 8333 km'lik kıyı şeridini, Karadeniz ve ege bölgesinde dalganın genliği ve şiddetinin oldukça fazla olması, Türkiye'nin baraj açısından zengin olması ve bunu sonucunda belirli barajlarda dalga oluşması ayrıca hidroelektrik santrallerindeki enerji üretiminden sonra suyun düştüğü bölgelerdeki dalgaları da dikkate alırsak göz ardı edilmeyecek bir enerji potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyeli ise literatürdeki sistemlerden farklı bir faydalı model oluşturup hayata geçirerek büyük bir enerji ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Elde edilen enerjiyi kıyılara ileten dalgaların önüne özel enerji dönüşüm cihazları yerleştirilerek, bu enerjinin belirli bir miktarı başlangıçta mekanik olarak ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu şekilde enerji üretimi için aktif sistemler şeklinde nitelenen sistemlerde, cihazın en az bir (daha fazla da olabilir) bileşeni dalga kuvveti ile birlikte hareket ettiğinde mekanik enerji üretilir. Salınlımlı su kolonundaki ana ilke; su seviyesinin üstünde bulunan bir kapalı hacimde havayı hapsedme öncülünde çalışmaktır. Kolonun üstünün atmosfere açık olması sebebiyle dalga tepesi oluştuğunda daralan kolondaki hava sıkışır ve dışarı doğru bastırılırken dalga çukurunda yaşanan alçak basınç sebebiyle kolonun içine dahil edilmektedir. Burada yeni teknik, türbine gidecek havanın basıncını arttırmak için hapsedilecek alanın konik bir şekilde tasarlanması ve sonrasında da daha güçlü bir basınç göndermek olacaktır. Bu sayede, elektrik miktarı üretiminde artış gözlemlenebilir.

5.2 Materyal

Bu çalışma yaratıcı düşünsel evreden başlayarak somut bir ürün haline dönüşmüştür. Çeşitli kriterleri yerine getiren, araçlarla amaçları yapılabilirlik bağlamında bir araya getiren

bir dizi mekanizmaların araştırması; en uygun mekanizmayı değerlendirecek bir tasarım etkinliği; tasarımın ekonomik ve güvenilirlik çerçevesinde imal edilebilirliği; imal edilebilen sistemin ekonomik ve ergonomik bir biçimde çalıştırılabilmesi ve diğer prototiplere göre daha fazla elektrik enerjisi üreten bir sistem üretilmesi amaçlanmıştır. Kazandıkları enerjiyi kıyılarına taşıyan dalgalar önüne yerleştirilecek özel enerji dönüşüm sistemleriyle, dalga enerjisinin bir kısmı önce mekanik, sonra da elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Enerji üretilmesinde aktif sistemler olarak nitelendirilen sistemlerde aletin bir veya birden fazla elemanı dalga kuvvetiyle hareket eder ve mekanik enerji üretilir. Salımlı su kolonundaki temel prensip su seviyesi üzerinde yer alan bir kapalı hacimde havayı hapsetmeye dayanmaktadır. Kolonun üstü atmosfere açık olduğu için dalga tepesi durumunda daralan kolondaki hava sıkışıp dışarıya basılmakta iken dalga çukurunda oluşan alçak basınç nedeniyle kolonun içine alınmaktadır. Burada ki yeni metot havanın hapsedildiği alanın yapısını bir konik şeklinde tasarlayarak türbine gidecek olan havanın basıncını arttırarak türbine daha kuvvetli bir hava basıncı göndermektedir. Sistemin tasarımı ve imalatı hesaplamalı bilim ve mühendislik yöntemleri ve deneysel yöntemler birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiş Salımlı su kolonu (OWC) sisteminin prototipi imal edilmiştir. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1: Salımlı su kolonunun 3 boyutlu genel görünümü (OWC)

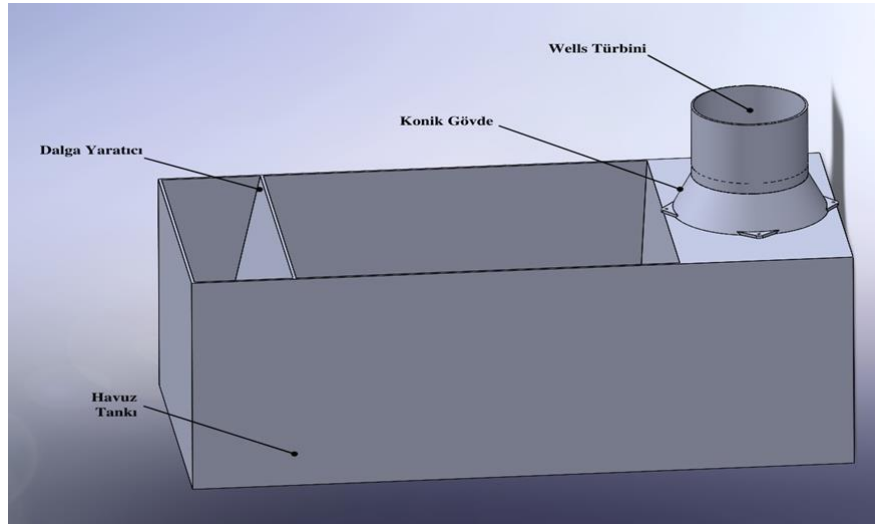
Ana yapı bütünlüğü içinde ve etkileşimli olarak elemanların biçimleri, kesitleri, malzeme ve imalat yöntemleri belirlenerek yapı nicelleştirilmiştir. Bu tasarım sürecinde şu ölçütler dikkate alınmıştır:

1. Standart boyutların kullanılması; mümkün olduğunca standartlara uygun hazır elemanların değerlendirilmesi

2. Hacim-işlev ilişkisinde, var olan hacmin tümünün işlevsel kullanımı,
3. Boyutsal tutarlılık ve toleransların uygunluğunun sağlanması
4. Kullanılan parça adedinin çeşit ve miktar olarak en düşük düzeyde tutulması
5. Bakım için montaj ve demontajın kolay ve ekonomik olması; iç bileşenlere ulaşılabilir olması
6. Ergonomik, ekonomik ve güvenli bir kullanım özelliğine sahip olması
7. Malzeme kullanımının ekonomik olması
8. Estetik olması

Buna göre tasarımın genel yapısı, Şekil 5.2 de görülen temel parçalardan oluşmuştur:

- a. Havuz Tankı
- b. Wells Türbini
- c. Konik Gövde
- d. Dalga Yaratıcı



Şekil 5.2: Salımlı su kolonun 3 boyutlu bölümlerinin gösterimi

5.3 Yöntem

Bu çalışmada, deniz dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek, Salımlı Su Kolonu (OWC) sisteminin tasarımı, Wells türbini dönüş hızı, oluşan dalganın genliği ve konik yapı içerisindeki hava debisi analizleri yapılmıştır. Çalışmada, deniz dalgasının aşağı yukarı hareketinden oluşan hava hava toplama haznesinde birikir. Bu dalga hareketi havuz tankına

bağlı bir dalga yaratıcı ile gerçekleşir. Dalga yaratıcı düzeneği 2 servo motorun bağlı olduğu bir panelin arduino devresi üzerinden ileri geri hareketi ile sağlanır. Dalga yaratıcı haricinde manuel dalgalarda yaratılmıştır. Dalga hareketi ile biriken hava konik bir yapıdan geçirilerek hava debisinin kinetik enerjisinin artırılması sağlanır. Kinetik enerjisi artan hava doğrudan Wells türbinine aktarılır. Wells türbini zıt hava akımlarına karşı tek bir yöne dönebilen özel kanat açılara sahip bir türbindir. Wells türbini dalganın aşağı yukarı hareketinden kaynaklanan zıt hava akımının da dönme hızını en aza indirmek için kullanılmıştır. Sistemin gücü dalga periyodu, dalga yüksekliği, türbin çapı ve konik yapının eğimine bağlı olarak değişmektedir. Sistemin hareket dönüşüm mekanizmasının bulunduğu havuz tankı deniz kıyısına yerleştirildiği için bu sistem kıyıya yakın enerji dönüşüm sistemi olarak adlandırılmaktadır. Kıyıya yakın bölgelerde deniz dalgasından elektrik üreten bir Salınlı Su Kolonu (OWC) sisteminin uygun kıyı bölgesi bulunarak bir dalga enerji santrali kurulması için ön prototip konumundadır. Dalga Enerji Dönüştürücü Sisteminin bileşenlerinin boyutsal tasarımı OWC üzerine yapılan verisel ve nümerik analizler, aktif olarak çalışan pilot tesislerin verileri ve literatürde yer alan makalelerdeki optimal veriler ışığında yaratıcı soyut düşünce prototip olarak hayata geçirilmiştir.

5.3.1 Wells türbini

OWC sistemlerinde dalga, kapalı haznedeki içeri girerek buradaki havayı sıkıştırır. Sıkışan hava, türbine doğru akar ve türbinin kanatlarına çarparak türbinin dönmesini sağlar. İkinci bir hareket olarak dalga, geri çekilirken hava boşluğu oluşturarak vakum etkisiyle hazne içerisine doğru hava akımı meydana getirir. Bu hava akımı da türbini döndürür. Dönen türbin, her iki halde jeneratörü tahrik eder ve elektrik enerjisi üretilmiş olur.

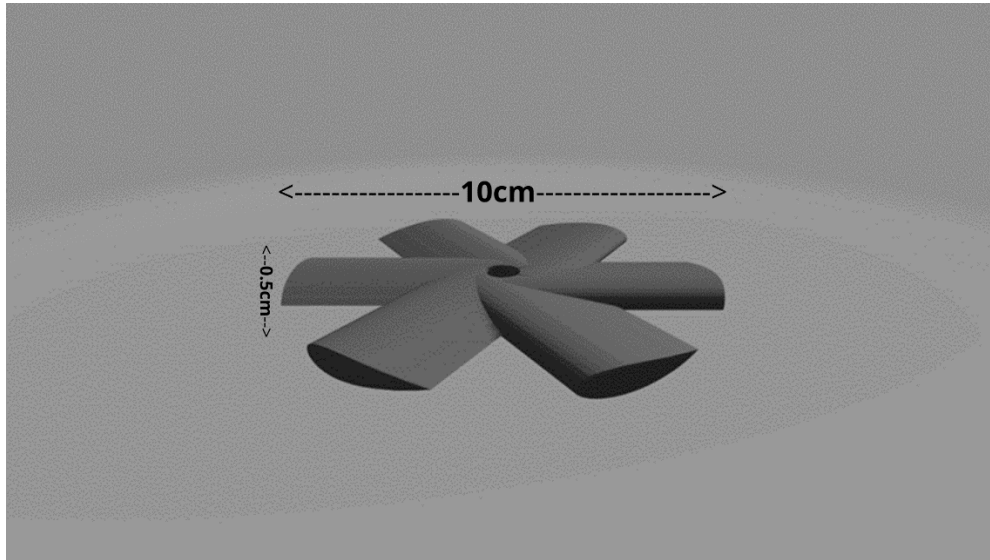
Havanın her iki yöndeki hareketinde, türbinin kanatlarının aynı yönde dönmesi önemlidir. Bunu sağlayan yapı, kanatların simetrik aerofoil yapılarıdır. Bu türbinler, literatürde özel olarak incelenir ve Wells türbini adıyla anılır.

Wells türbinleri, yaklaşık olarak %40 verimle çalışan sistemlerdir. Wells türbinlerinin verimini arttırmakla, bütün sistemin veriminin arttırılacağı bilinmekte ve bu yönde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.



Şekil 5.3: Pilot tesiste kullanılan Wells Türbini [73]

Bu çalışmada baz alınan Wells türbini boyutları, bütün çap 10 cm olup iç çapı 0.5 cm uzunluğundadır. Kalınlığı 0.5 cm olan 6 adet simetrik NACA 0015 profiline sahip kanattan oluşmaktadır. Wells türbinin sağlam ve hafif olması amaçlanmıştır. Bu nedenle PLA plastikmalzemedan 3D yazıcı yardımı ile üretilmiştir. Wells Türbinin ağırlığı 16 gram olup bu ağırlık en optimal ağırlık aralığında tutulmuştur. Sistemde kullanılan Wells türbinin çıktıya hazır hali Şekil 5.4 de verilmiştir.



Şekil 5.4: 6 Kanatlı Wells Türbinin 3 boyutlu görüntüsü



Şekil 5.5: Çalışmada kullanılacak 3D yazıcıdan çıktısı alınmış Wells Türbini

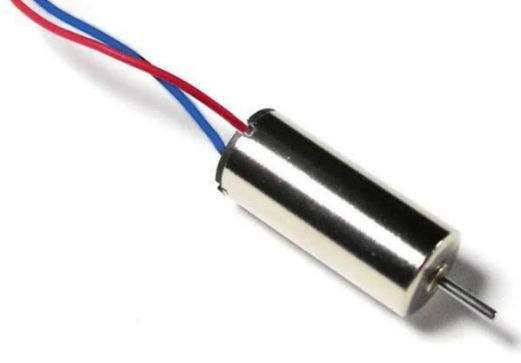
Çalışmadaki türbinin yaratacağı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılacak motorun türbin ile kayıpsız hareketi ve tam entegre olması için türbinin iç çapı büyüklüğünde sert plastik rulman monte edilmiştir. (Şekil 5.6)



Şekil 5.6: Rulman monte edilmiş Wells türbini

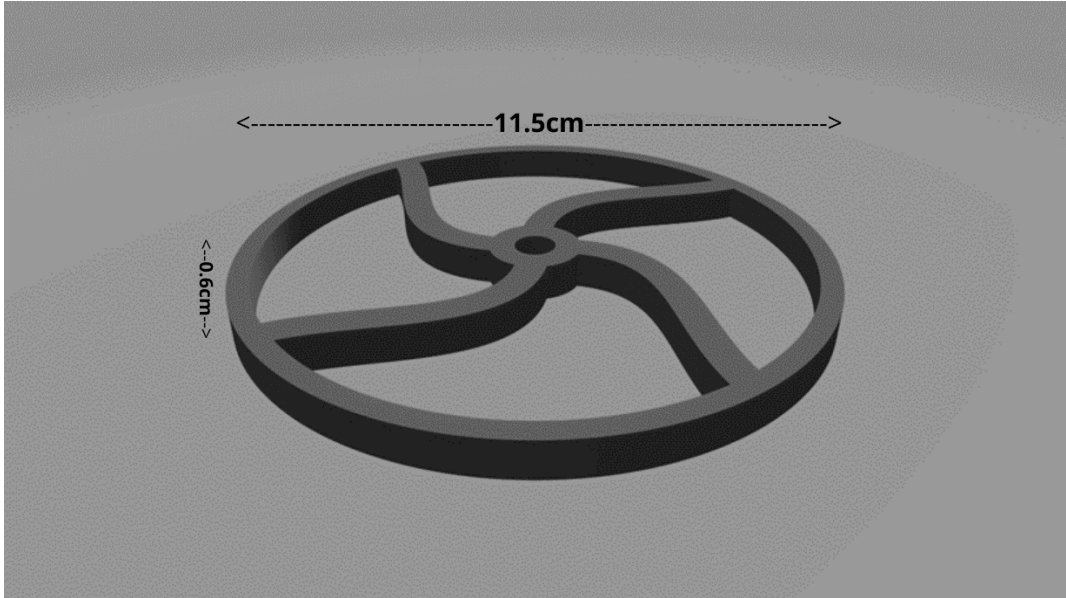
Dalga hareketi sonucunda türbinde oluşacak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için Çekirdeksiz Mikro Motor tercih edilmiştir. Tercih edilmesinin başlıca sebepleri;

- Motor uzunluğu 16 mm, motor çapı 8 mm olup daha az yer kaplamaktadır
- Drone pervanelerinde kullanıldığı için 50000 rpm gibi yüksek bir hıza sahiptir
- Nominal voltajının 3.7V ve anma akımının 170 mA olup çalışmadaki prototip için yeterli seviyelerdedir.

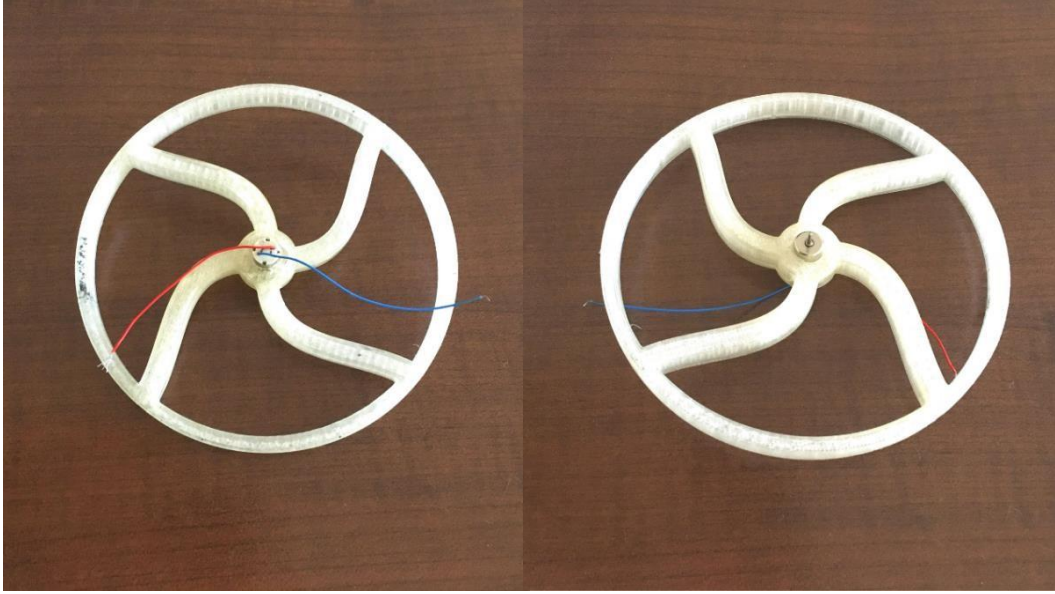


Şekil 5.7: Çekirdeksiz Mikro Motor [74]

Wells türbinin ve mikro motorun silindirik yapı içerisinde sabit kalıp birbirlerine entegre olması amacıyla 11.5 cm çapa 0.6 cm kalınlığa sahip bir ara araç olan motor tutucu üretilmiştir. (Şekil 5.8)

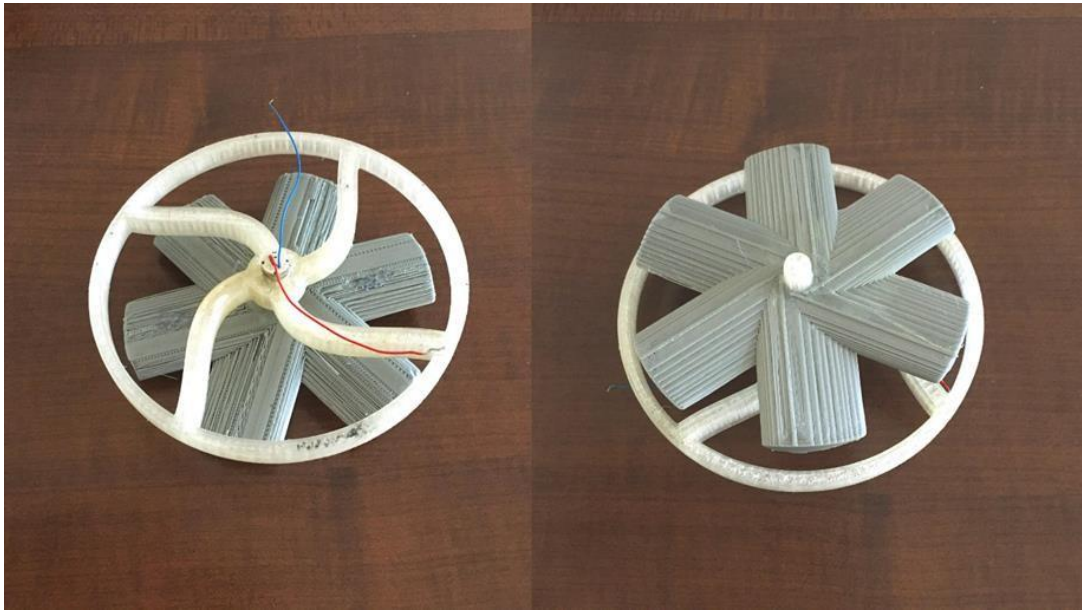


Şekil 5.8: Motor Yuvasının 3B görüntüsü



Şekil 5.9: Montajı yapılmış çıkış voltajı alınacak motor yuvası

Wells türbini ve motor tutucu aksamları en az sürtünme ile birbirlerine söküptakılabilecek şekilde monte edilmiştir. (Şekil 5.10)



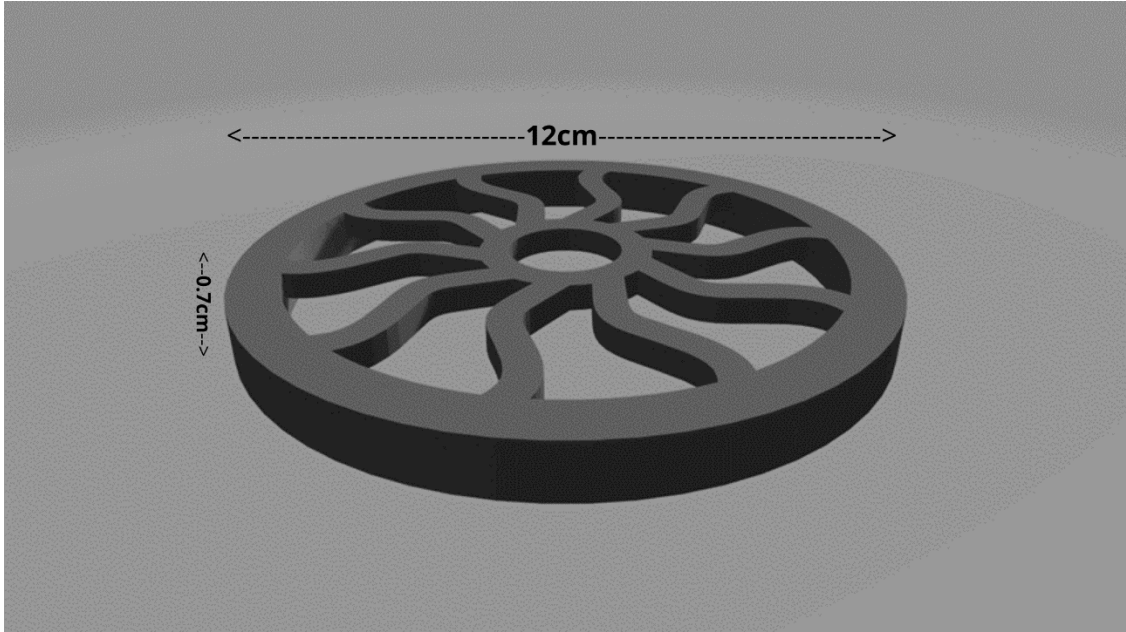
Şekil 5.10: Wells Türbini ve Motorun entegre edilmiş görüntüsü

Wells türbini ve mikro motoru içinde stabil bir şekilde barındıran pleksi den üretilmiş silindir yapı üretilmiştir. (Şekil 5.11)



Şekil 5.11: İmal edilmiş pleksi silindir

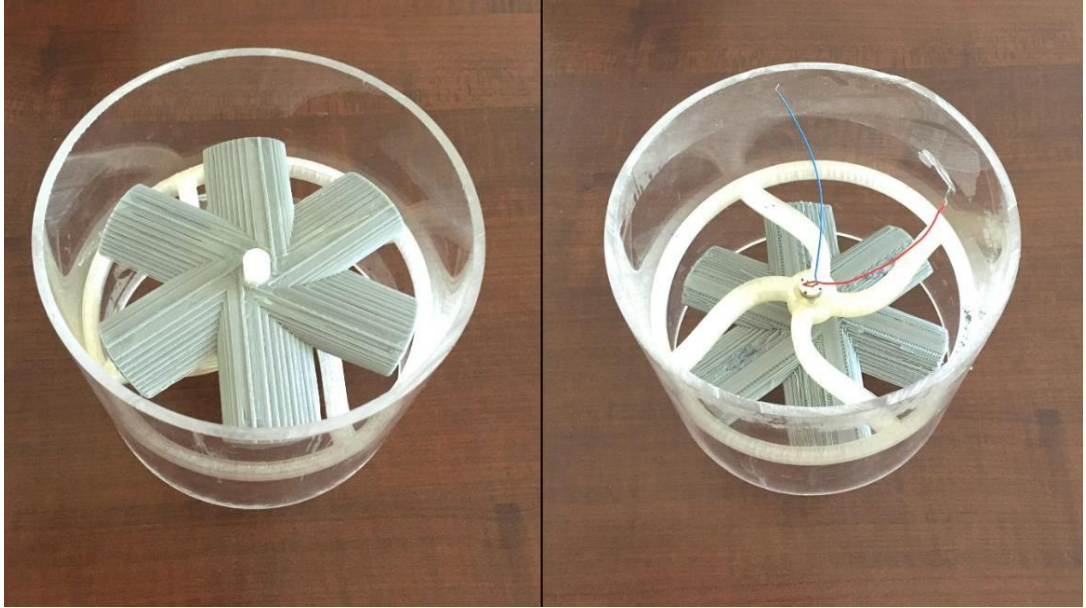
Wells türbini ve mikro motorun daha stabil çalışması ve korunması için silindir yapının üst kısmına koruyucu kapak tasarlanmıştır. (Şekil 5.12)



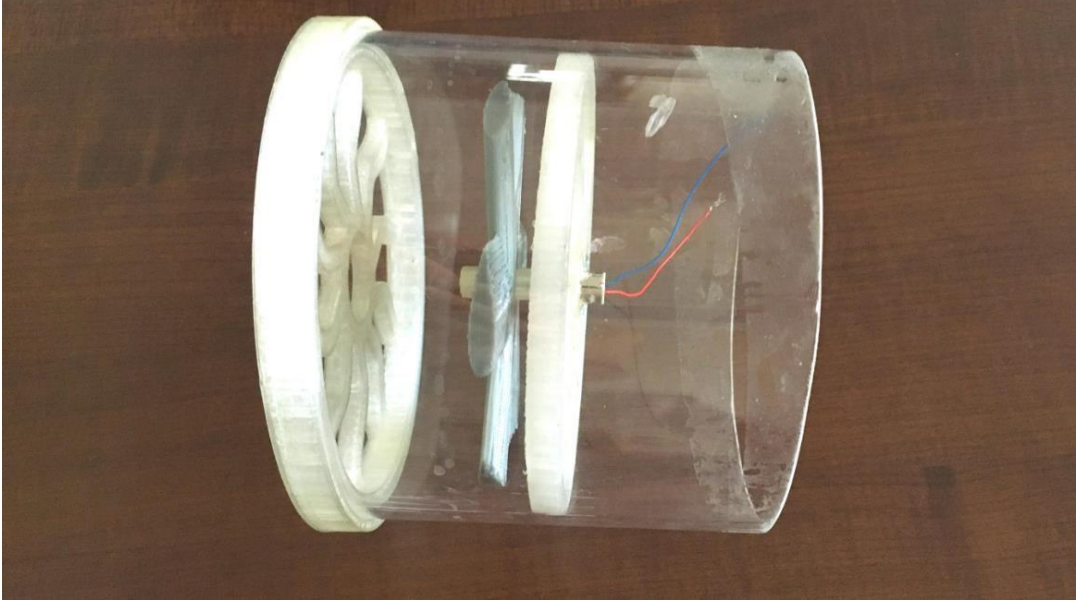
Şekil 5.12: Koruyucu kapak 3 boyutlu görünümü



Şekil 5.13: 3 boyutlu yazıcıdan çıktısı alınmış koruyucu kapak



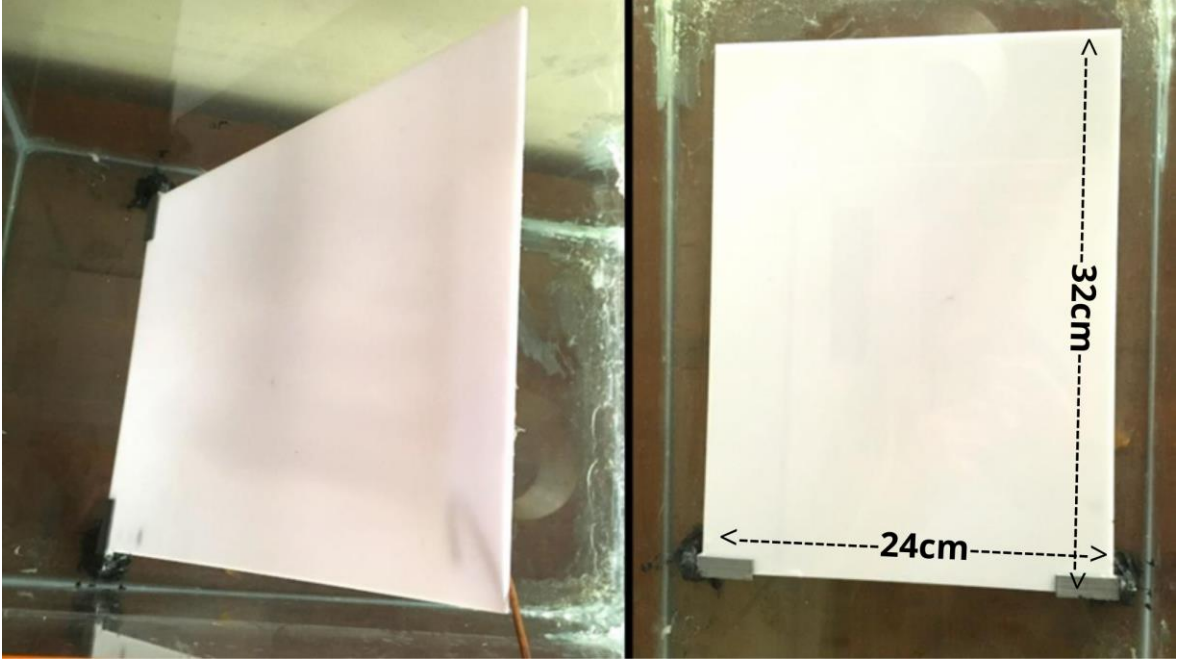
Şekil 5.14: Türbin ve motorun silindir içerisine montesi



Şekil 5.15: Silindir yapının yan kesit profili

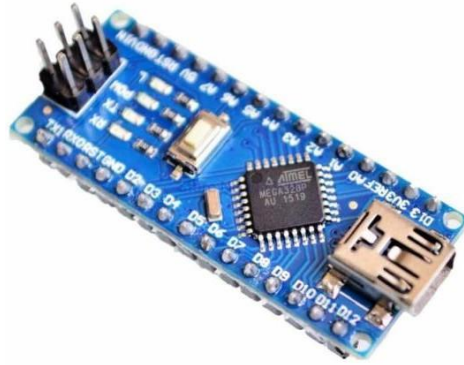
5.3.2 Arduino ile dalga yaratıcı

Salınımlı su kolonları kıyı şeridi uygulamalarıdır. Bu neden ile kıyı şeridine belirli su seviyelerin de gömülüp sabitlenirler. Bu çalışmada çeşitli verilerin sağlıklı alınabilmesi için deniz ve okyanuslarda olduğu gibi sabit ve düzenli dalgalar ile test edilmesi gerekmektedir. Düzenli ve sabit dalgaların salınımlı su kolonu düzeneği üzerindeki etkilerini görebilmek amacı ile otonom bir dalga yaratıcı tasarlanmıştır. Tasarlanan dalga yaratıcı 32 cm uzunluğunda 24 cm genişliğinde sert plastik malzemedan üretilen bir dikdörtgen levhanın (Şekil 5.16) belirli sabit açılarla ileri geri hareketi ile düzenli sabit ve otonom dalgalar üretilmiştir. Bu levha havuz tankının tabanına iki köşesinden sabitlenmiştir.



Şekil 5.16: Dalga Levhası

Dalga levhasının ileri geri hareketini sağlamak amacı ile bir arduino devresi tasarlanmıştır. Bu elektronik devrede Atmega328 temelli bir mikrodenetleyici olan Arduino Nano kullanılmıştır (Şekil 5.17). Bu mikrodenetleyiciyin seçilmesinde; üzerinde bulunan 14 adet dijital giriş/çıkış pini olması ve küçük olup daha az yer kaplaması başlıca sebeplere bağlıdır.



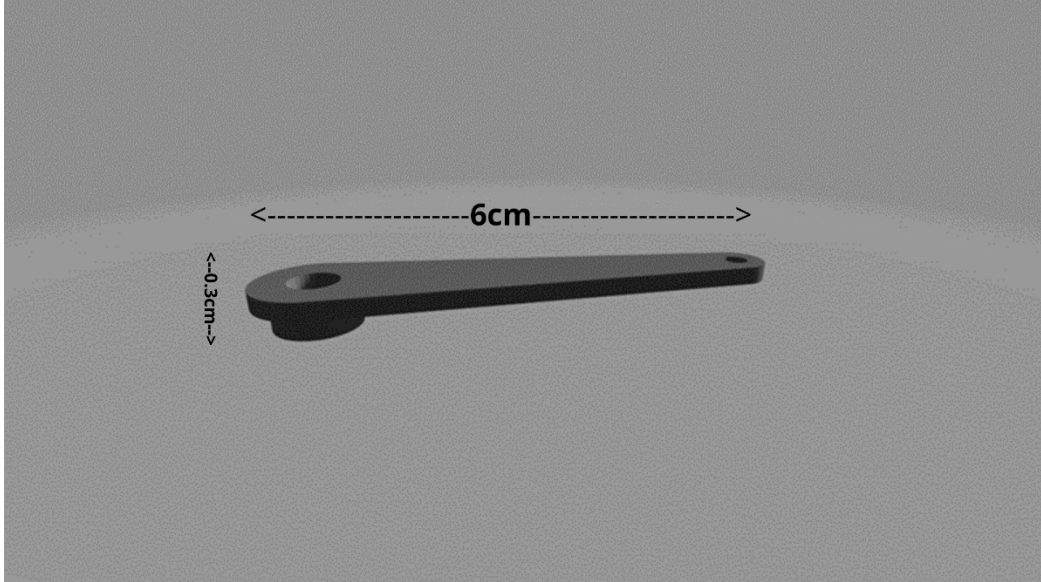
Şekil 5.17: Arduino Nano Mikrodenetleyici [75]

Dalgayı yaratacak levhanın ileri geri hareketini sağlamak amacı ile 2 adet SG90 RC Mini Servo Motor kullanılmıştır (Şekil 5.18). Servo motorların çalışma gerilimi 4.8 - 6.0 VDC, hızları 0.1 sn/60°, zorlanma torku 1.8 kg.cm olup levha hareketi için optimal seviyededir.

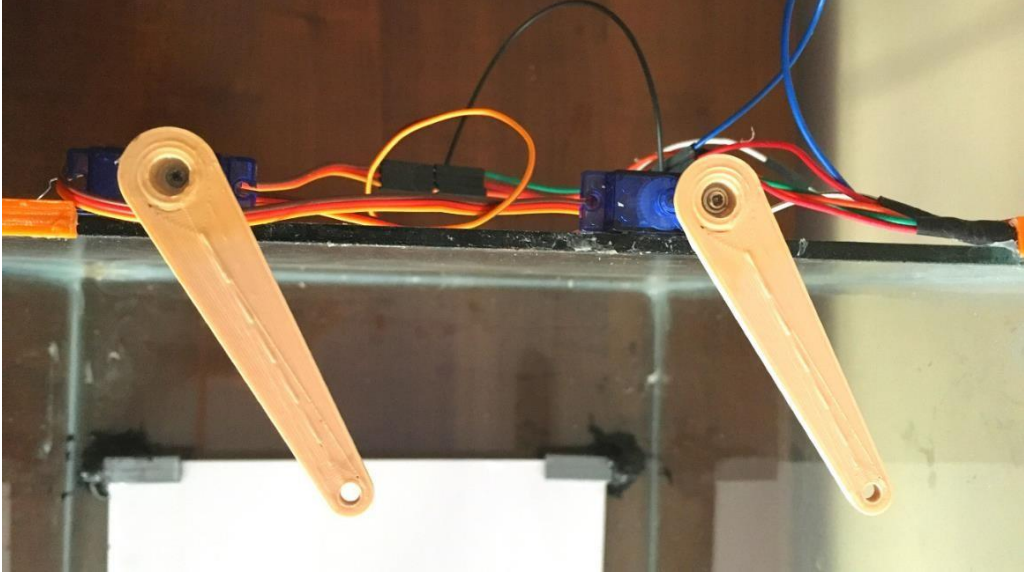


Şekil 5.18: SG90 RC Mini Servo Motor [76]

Servo motorların dikdörtgen levhayı stabil bir şekilde hareket ettirmesi ve montesi için servo motorlara 3 boyutlu yazıcı ile 2 adet çark tasarlanmıştır. Bu çark mekanizmasının bir ucu servo motor diğer ucu bakır teller ile monte edilebilmesi için tasarlanmıştır. (Şekil 5.19)

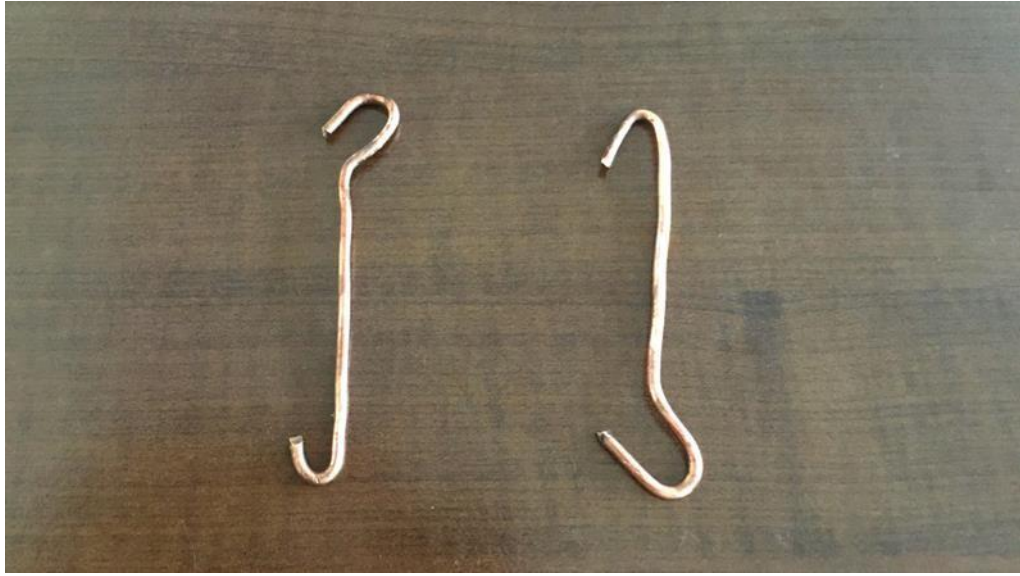


Şekil 5.19: Monte için çark mekanizmasının 3 boyutlu görünümü



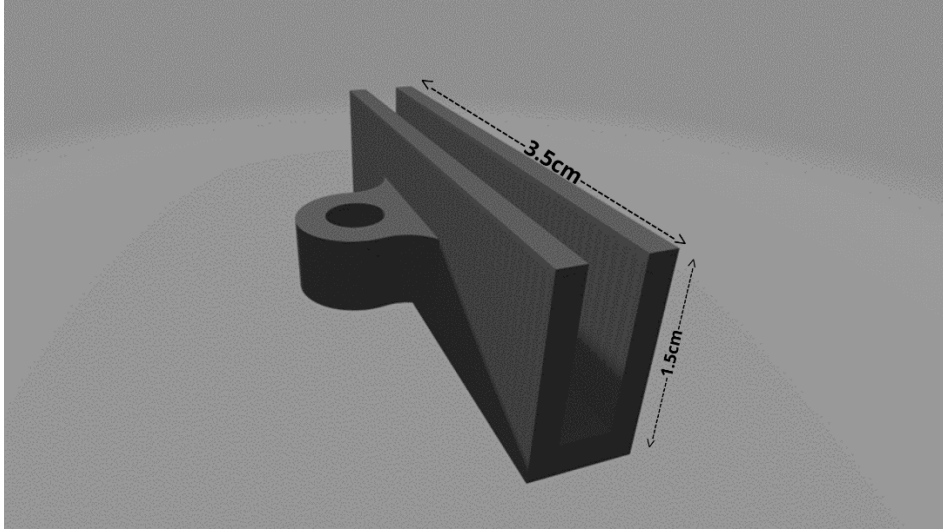
Şekil 5.20: Servo motorların çarklar ile montesinin görünümü

Levhanın en az etki ile ileri geri gitmesi için kalın bakır teller kullanılmıştır. (Şekil 5.21)

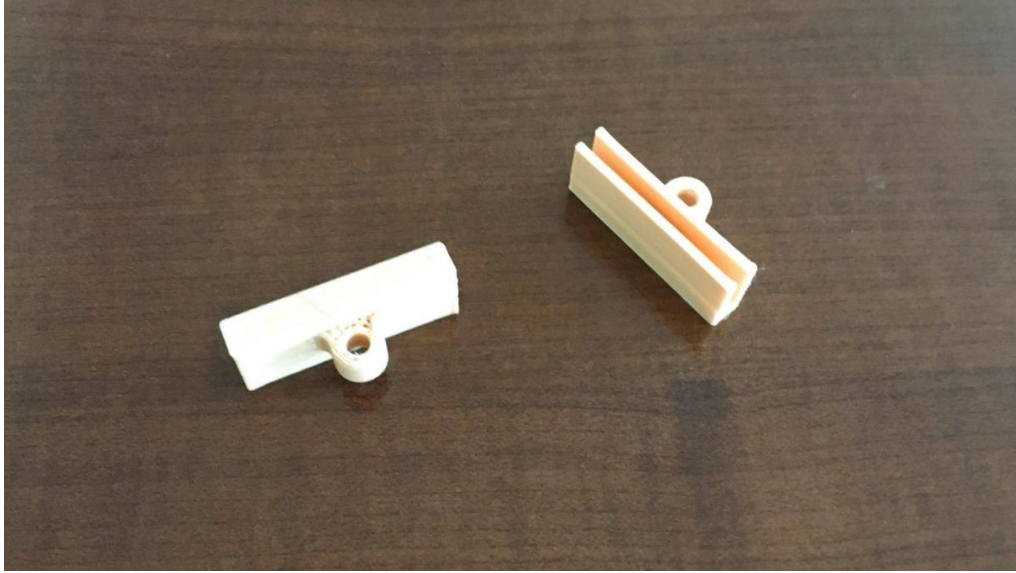


Şekil 5.21: Bakır teller

Bakır tellerin dalga yaratıcı levhayı tam kavraması için levhanın st kısmına monte edilen st baş tutucular 3 boyutlu yazıcıdan üretilmiştir. (Şekil 5.22)

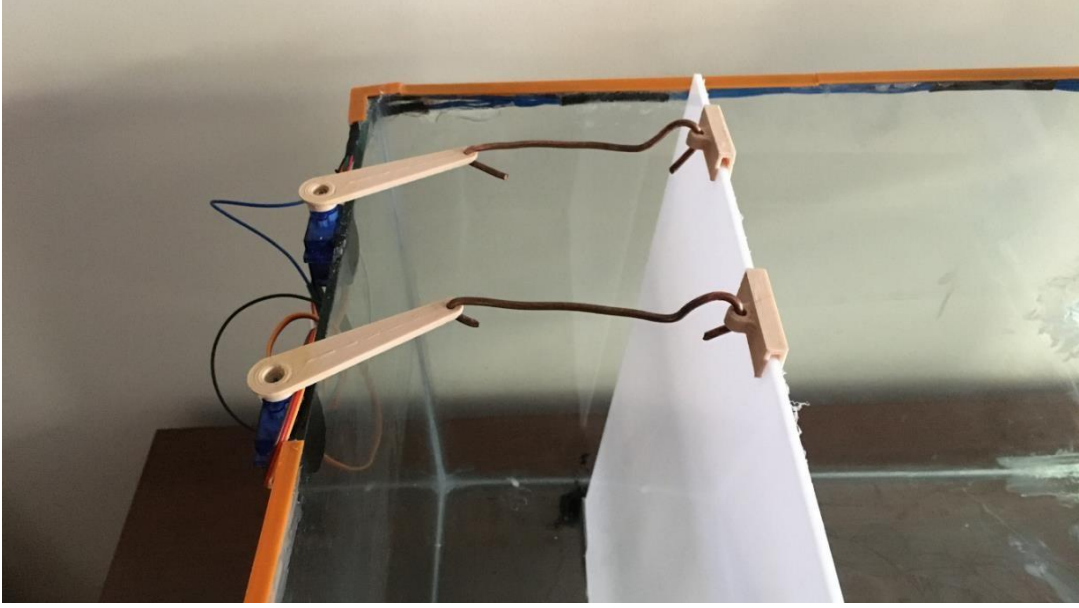


Şekil 5.22: Üst baş tutucu 3 boyutlu görünümü



Şekil 5.23: Üst baş tutucuların 3 boyutlu yazıcıdan imal edilmiş görüntüsü

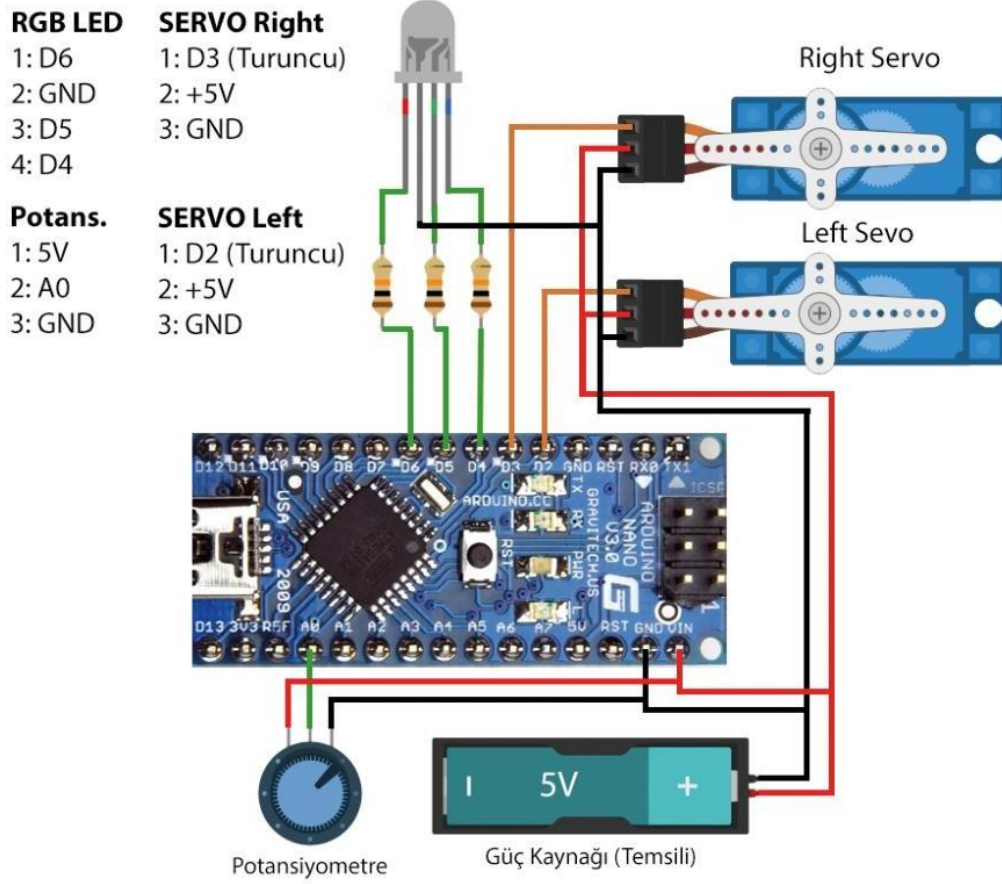
Tüm ara parçalar ile servo motorların dalga yaratıcı levha ile stabil olarak montesi yapılmıştır. (Şekil 5.24)



Şekil 5.24: Dalga yaratıcı son görüntüsü

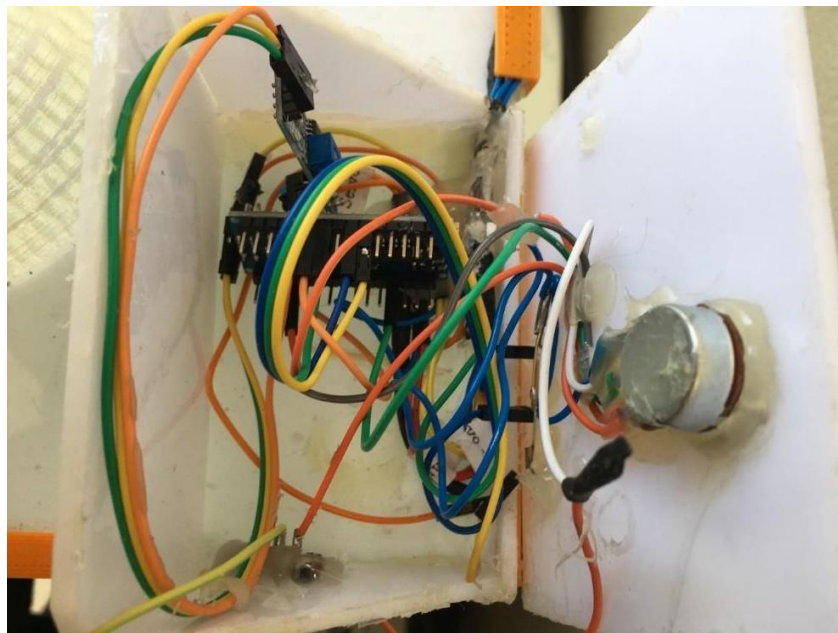
Arduino devresi levhayı ayarlanabilir bir hızda ileri geri hareket ettirmektedir. Hızı ayarlamak için potansiyometre kullanılmıştır. Yavaş orta ve hızlı olmak üzere 3 farklı hızda levhayı ileri geri hareket ettirmektedir. Böylece farklı hızlarda veriler stabil olarak alınmıştır. Arduino devresi için 1 adet Arduino Nano, 1 adet IR Kızılötesi Engel Kaçınma Sensörü, 2 adet SG90 RC Mini Servo Motor, 3 led ışık, 3 led ışığın üzerine direnç sağlamak için 3 adet 1k direnç, hareket hızını ayarlamak için potansiyometre, 1 adet on/off anahtarı, 5V DC güç kaynağı ve jumper kullanılmıştır.

Arduino devresi bağlantı şeması Şekil 5.25 da gösterilmiştir.



Şekil 5.25: Arduino Bağlantı Şeması

Arduino devresi bağlantıları yapıldıktan sonra görüntüsü Şekil 5.26 de gösterilmiştir.



Şekil 5.26: Arduino Devresi

3 farklı hız için 3 adet led ışık kullanılmıştır. Dalga levhasının hızını ayarlamak için potansiyometre kontrolü sağlanmıştır. Devrenin enerjisi on/off anahtarı ile ayarlanabilmektedir. Havuz tankının üst kısmında bir kutu içerisinde toplanıp sabitlenmiştir.



Şekil 5.27: Kapalı kutu arduino devresi

Dalga yaratıcı arduino devresi için kod yazılırken servo motorların dönüş hızlarını potansiyometre üzerinden ayarlanabilir olarak ayarlanmıştır. Servo motorların her ileri geri hareketinden sonra gecikme süreleri konulmuştur. Bu gecikme süreleri servo motorun ileri hareketi ile oluşturacağı dalganın hava toplama bölgesine çarpıp geri gelerek kendi periyodunu sönümlenmesi için ayarlanmıştır. Bu gecikme süreleri bu çalışma için deneme yanılma yolu ile tespit edilmiştir. Servo motorların hangi hız seviyesinde çalıştığını görmek için 3 adet sıralı led ışığı potansiyometre verisine göre güç vermektedir.

Açık kaynak koduna github linki üzerinden ulaşılabilir. [77]

5.3.3 Havuz tankı ve konik tasarım

Havuz tankı prototipi yapılmadan önce Solidworks üzerinde 3B modeli geliştirilmiştir. Havuz tankı ölçüleri ve açıları detaylı bir literatür taraması sonucunda en optimal ölçüler ele alınarak geliştirilmiştir. Havuz tankı 65x30x30 cm ebatlarında cam malzemenen üretilmiştir. Hava toplama bölümü için tankın alt kısmına 30x28 cm ebatlarında 30 derece eğim ile oval cam plaka yerleştirilmiştir (Şekil 5.28). Bu oval cam plaka toplanan havanın daha hızlı wells türbinine iletilmesini sağlamak amacı ile eklenmiştir.



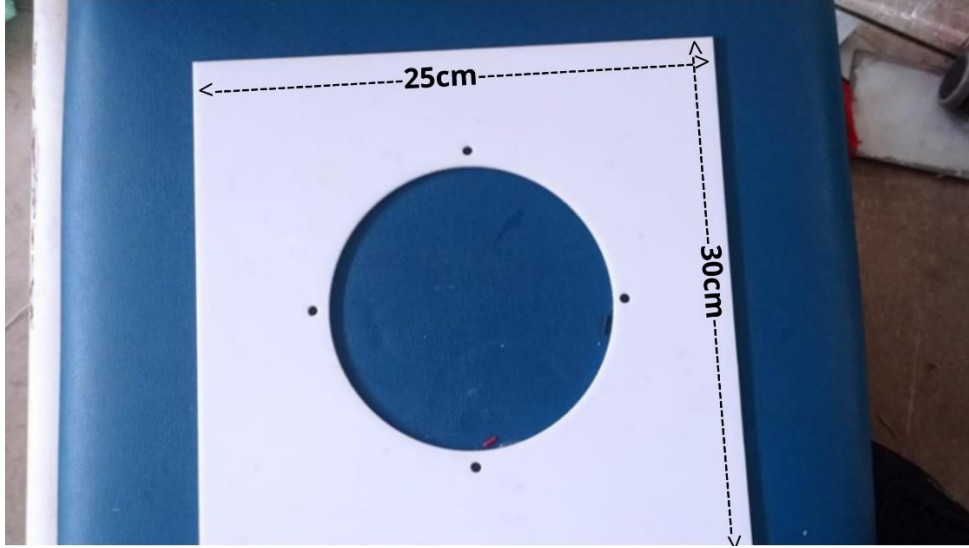
Şekil 5.28: Hava toplama ünitesi imal edilmiş görüntüsü

Hava toplama bölgesi için havuz tankının üst kısmından 90 derece ile dik inen 29x15 cm ebatlarında cam malzemeden oluşan plaka eklenmiştir. (Şekil 5.29) Bu plaka ilk olarak dışa doğru 30 derece eğim ile eklenmiştir. Fakat alınan veriler ışığında 90 derece dik olarak eklendiğinde veri artışı gözlemlenmiştir.



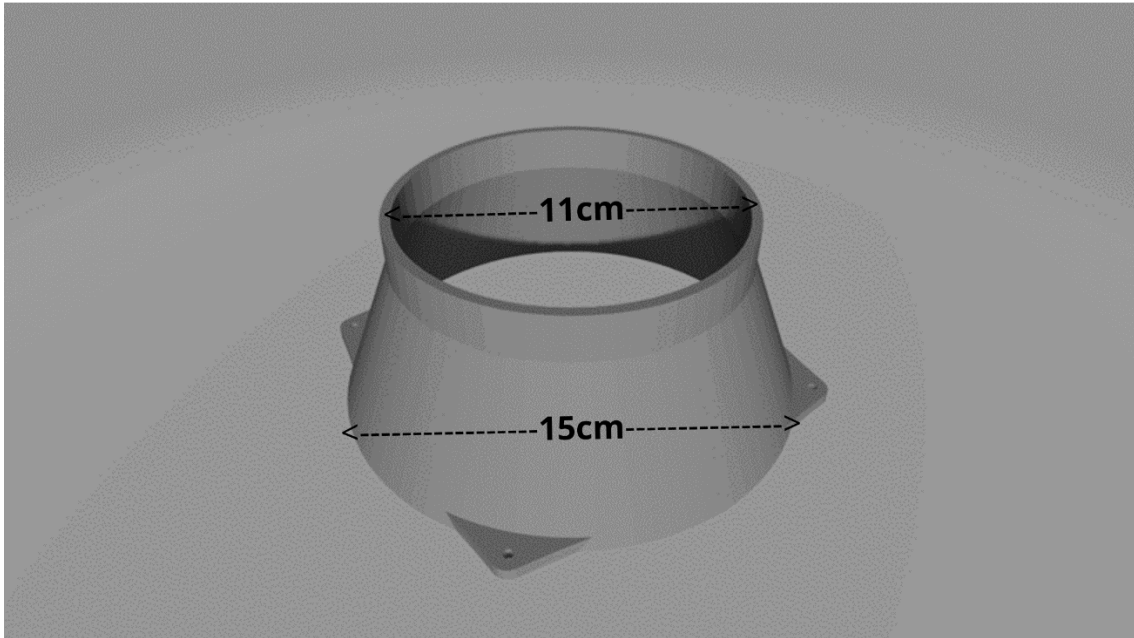
Şekil 5.29: Hava toplama ünitesi

Türbinin yerleştirileceği 30x25 cm ebatlarındaki üst plaka havuz tankına monte edilmiştir. Bu üst plaka üzerine faydalı koniğin alt çapı olan 15 cm çaplı bir delik açılmıştır. (Şekil 5.30)



Şekil 5.30: Konik yapının hava toplama ünitesine montesi için üretilmiş ara plaka görünümü

Konik yapı hava toplama bölgesi ile Wells türbinin bulunduğu silindirin arasına monte edilerek geçen havanın akış hızını arttırması amaçlanmıştır. Konik yapının 3 boyutlu çizimi Şekil 5.31 de gösterilmiştir. Konik yapının alt çapı 15 cm üst çapı 11 cm olacak şekilde 3 boyutlu yazıcıdan üretilmiştir.

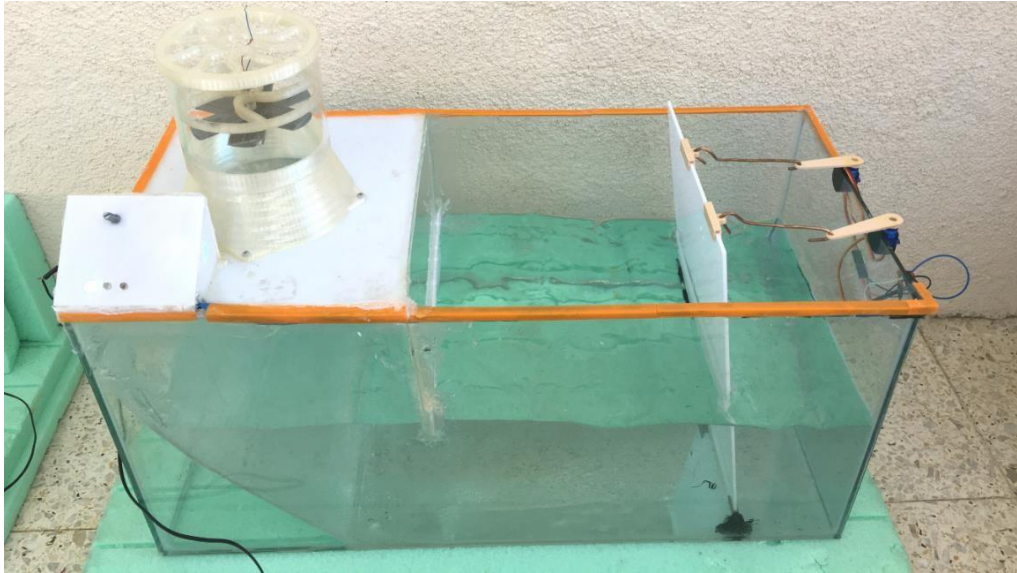


Şekil 5.31: Konik Yapı 3 boyutlu görünümü

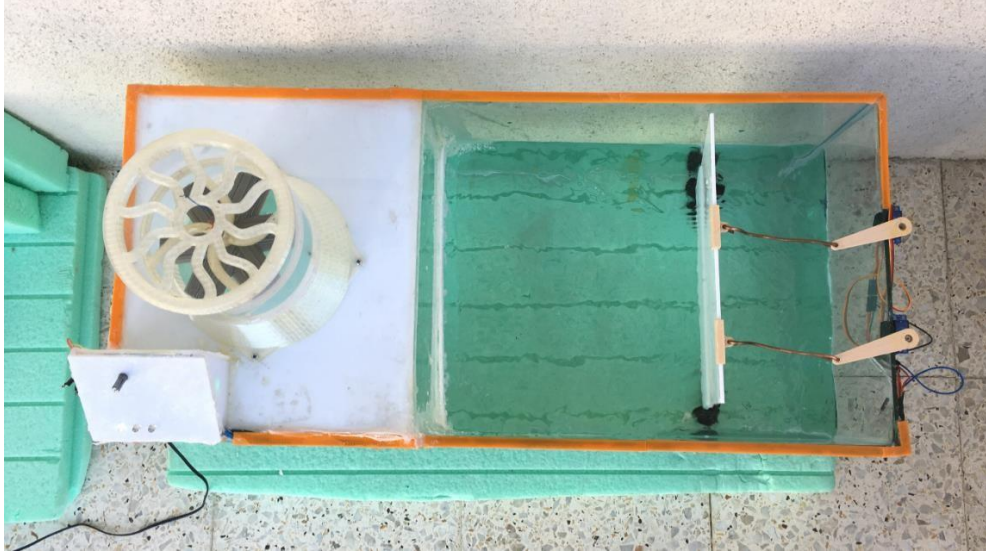


Şekil 5.32: Konik yapının 3 boyutlu yazıcıdan üretimi ve monteli halinin görünümü

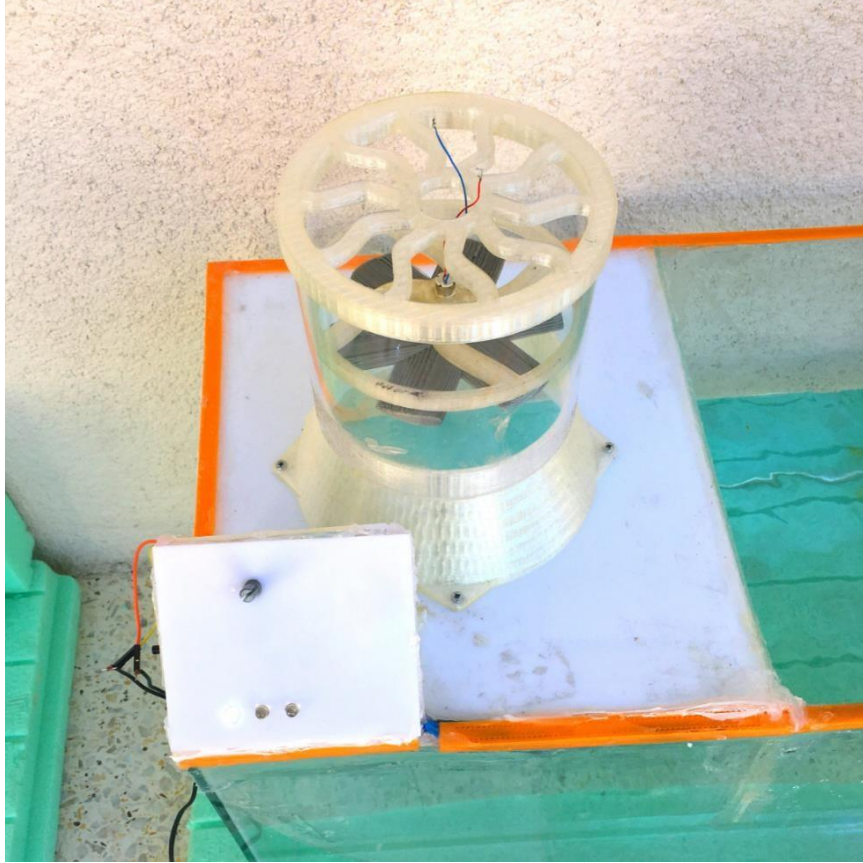
Konik yapı sisteme eklenip çıkarılabilir yapıda monte edilmiştir. Bunun amacı konik yapı sisteme dahil edilirken alınacak veriler ile konik yapı sistemden çıkarılıp alınacak verilerin kıyaslanması amaçlanmıştır. İmal edilen prototipin çalışır halde görüntüleri Şekil 5.33 gösterilmiştir.



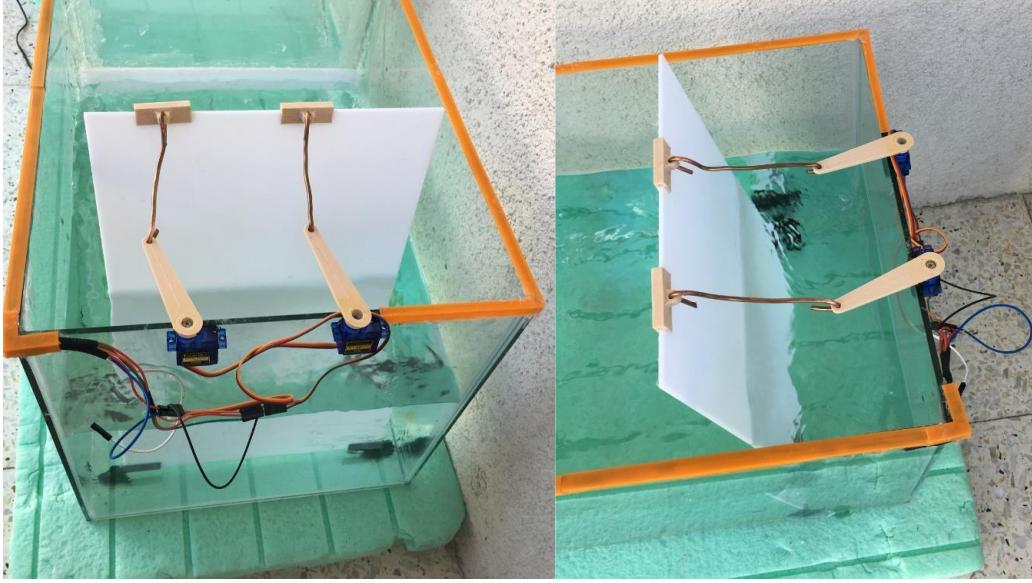
Şekil 5.33: Salınımlı su kolonu yan kesit görünümü



Şekil 5.34: Salımlı su kolonu üst kesit görünümü



Şekil 5.35: Wells türbini ve konik yapı görünümü

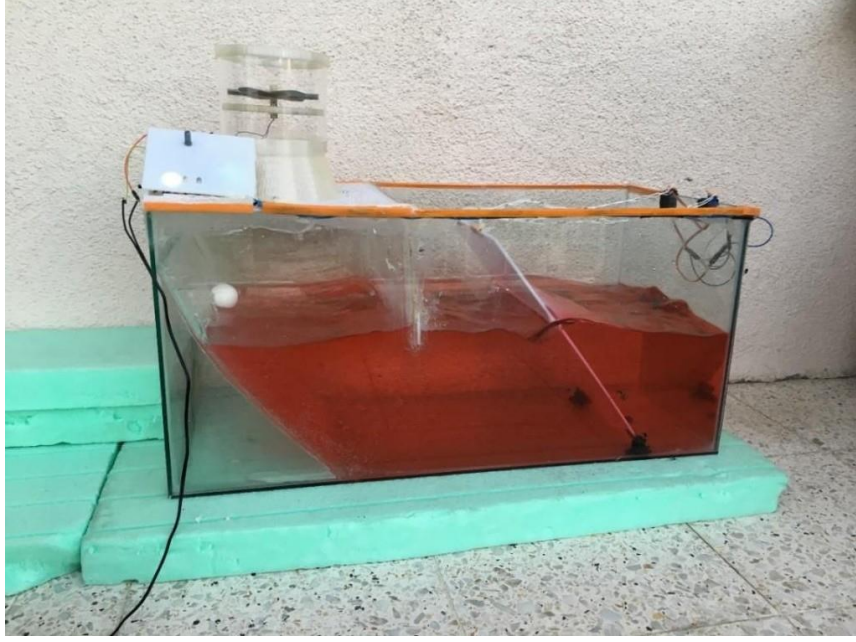


Şekil 5.36: Dalga yaratıcı görünümü

Sistemin salınım düzeylerini incelemek için havuz tankı içerisindeki suya kırmızı gıda boyası katılmıştır. Havuz tankı içerisindeki dalganın yüksekliğinin rahat gözlemlenebilmesi için plastik bir top bırakılmış olup tüm dalga hızlarındaki anlık görüntüleri alınmıştır.



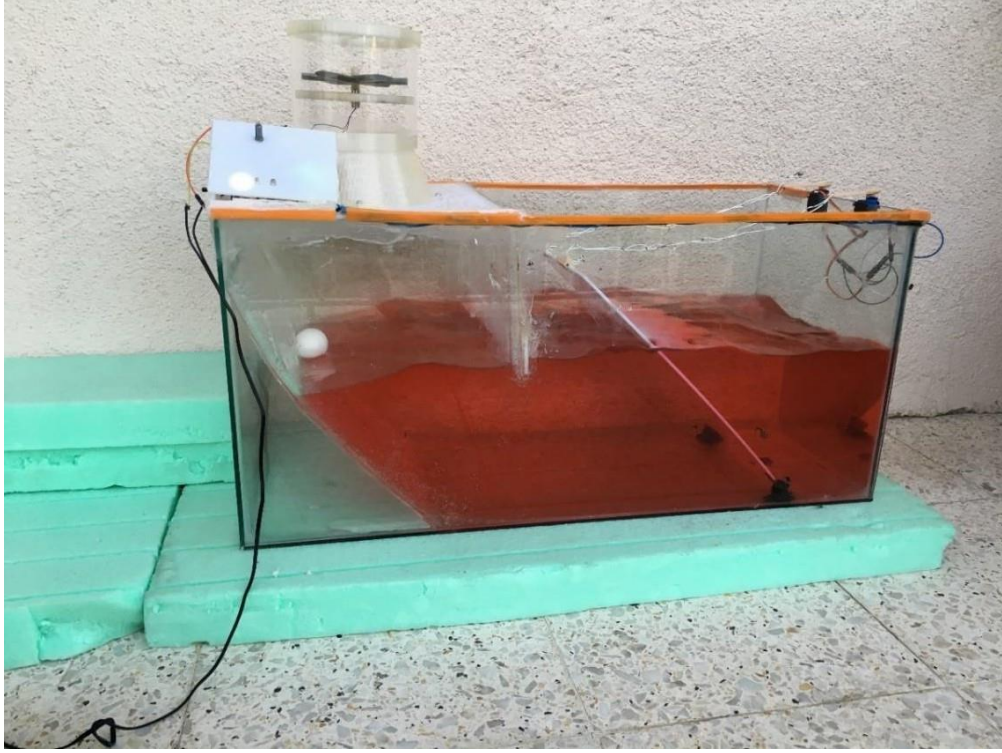
Şekil 5.37: V_{d1} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



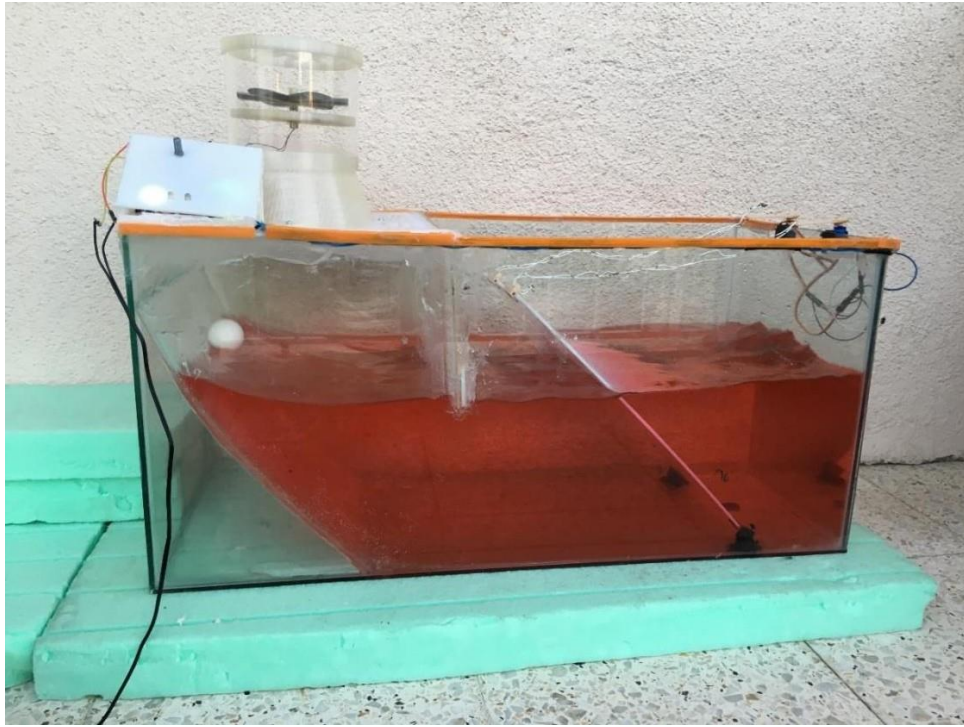
Şekil 5.38: V_{d1} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü



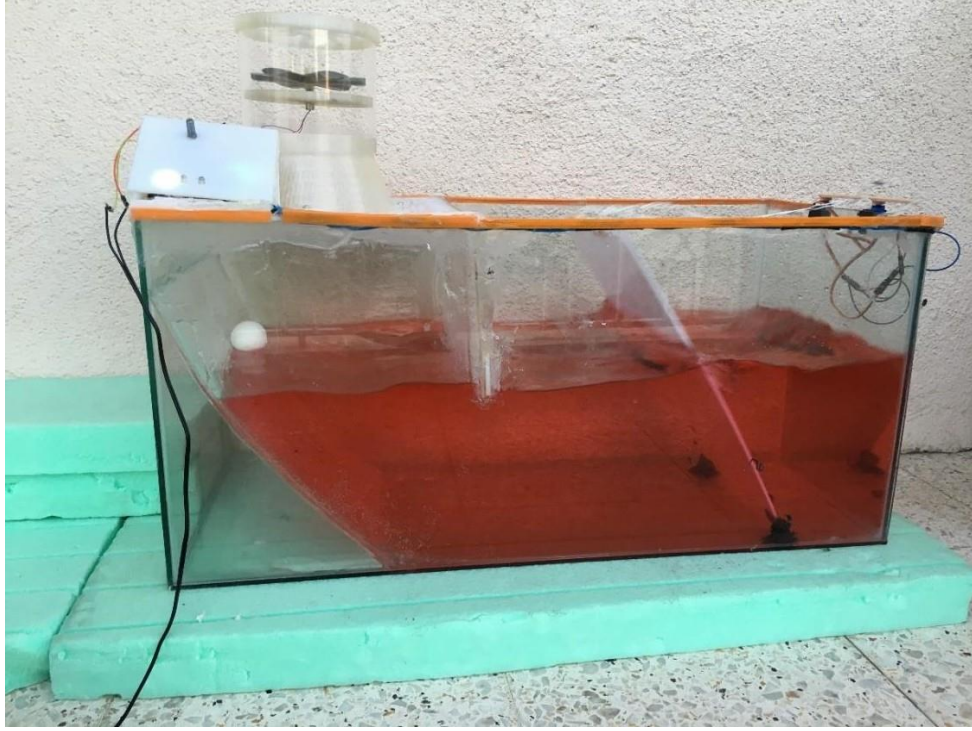
Şekil 5.39: V_{d2} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



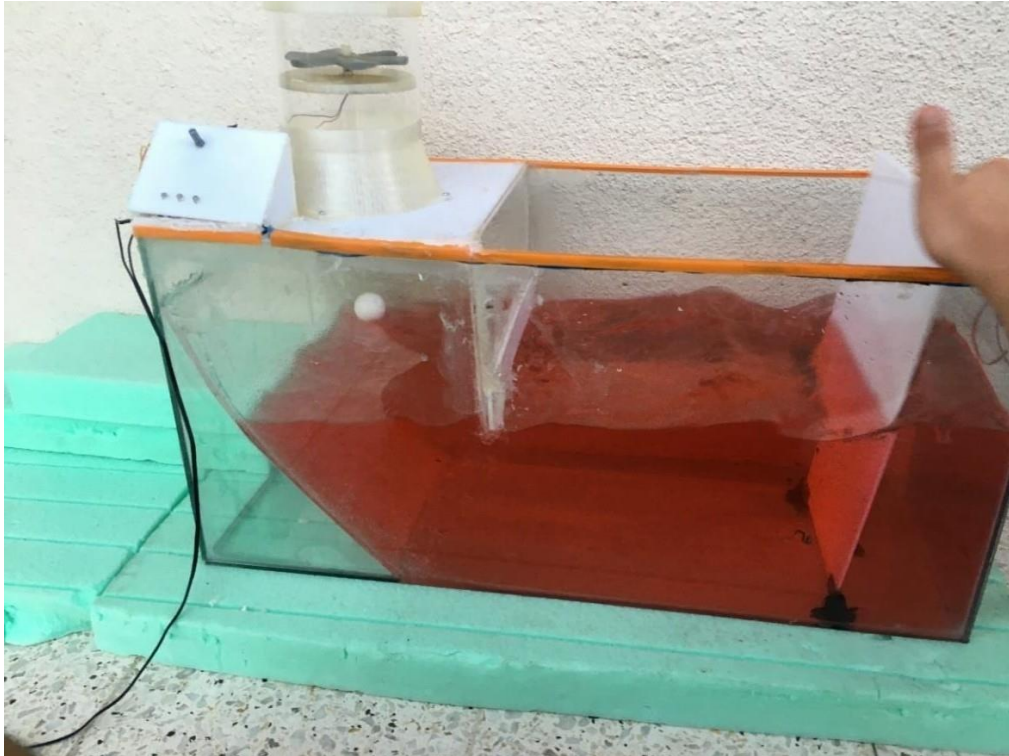
Şekil 5.40: V_{d2} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü



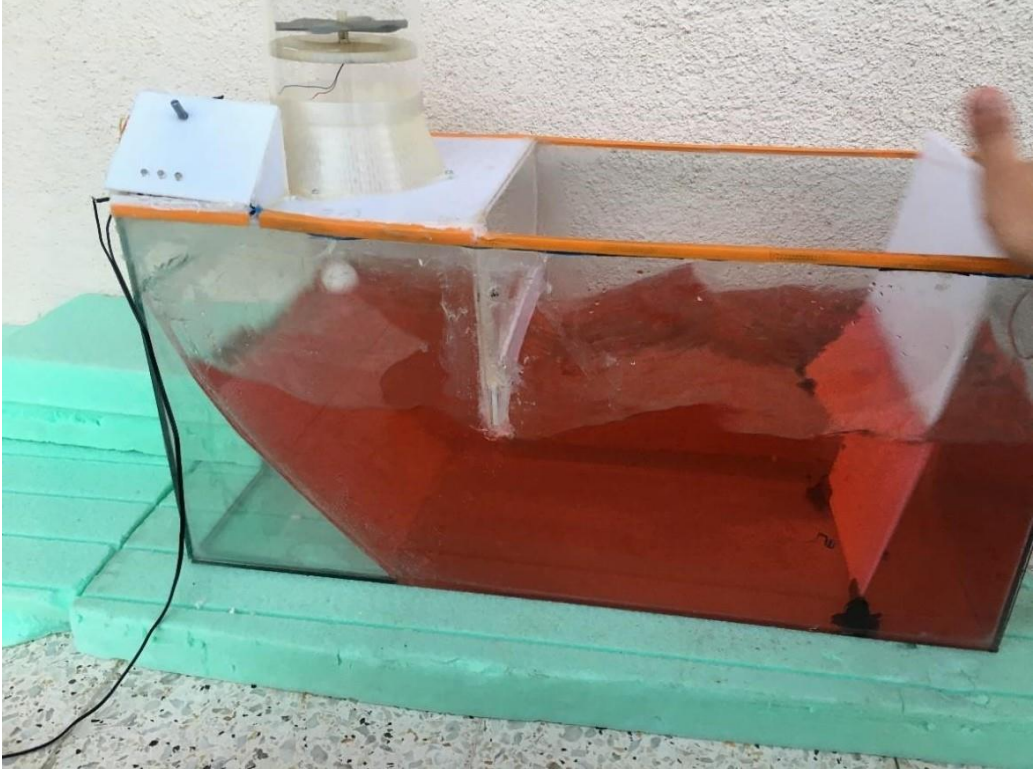
Şekil 5.41: V_{d3} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



Şekil 5.42: V_{d3} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü



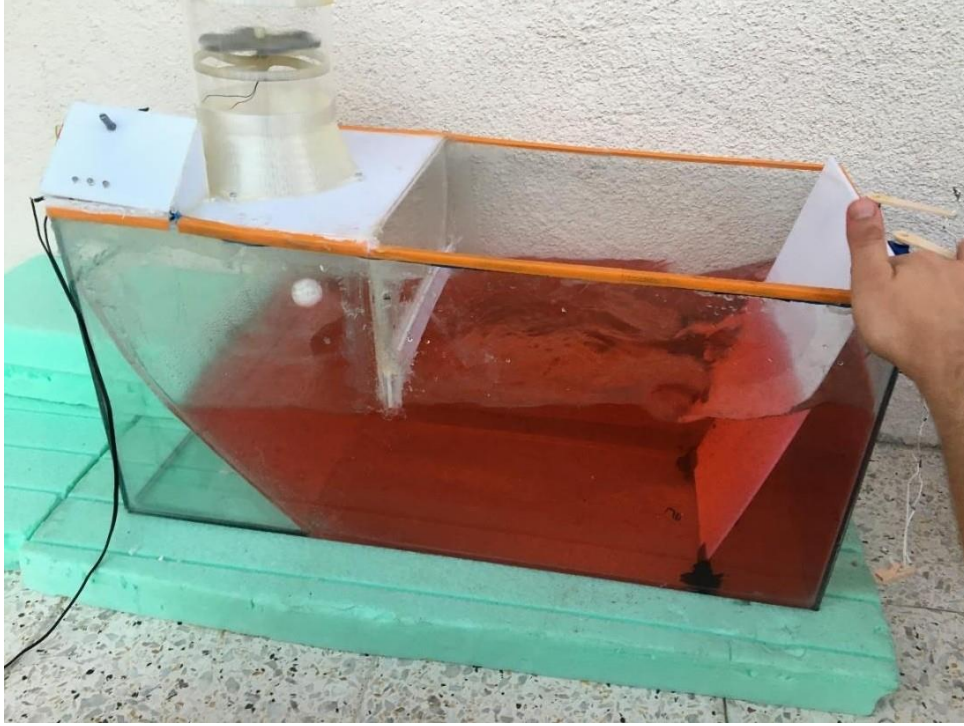
Şekil 5.43: V_{dm1} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



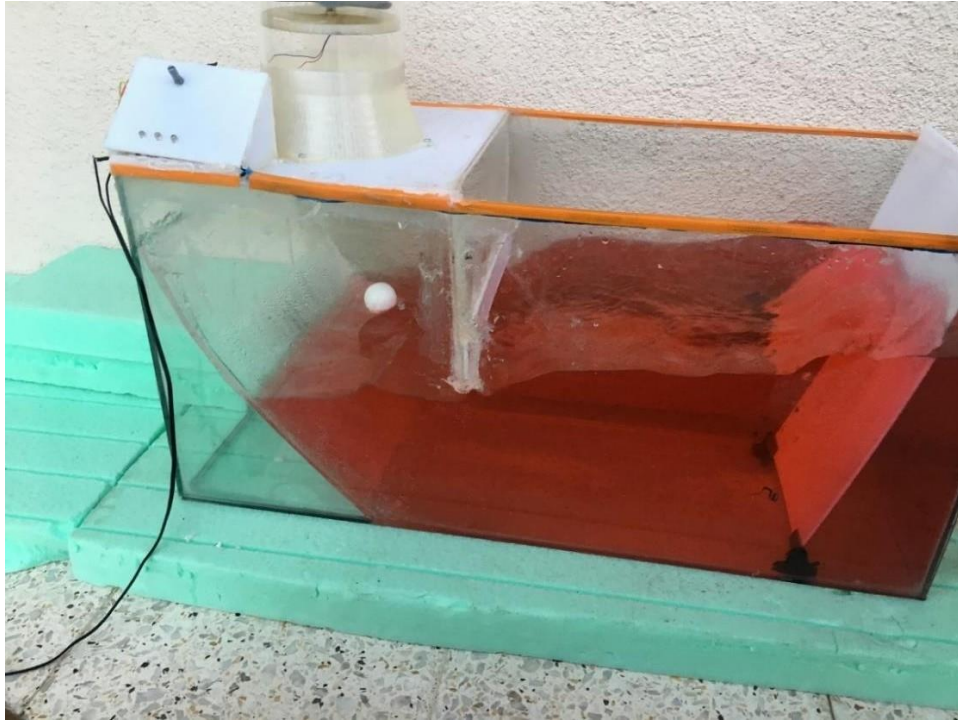
Şekil 5.44: V_{dm1} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü



Şekil 5.45: V_{dm2} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



Şekil 5.46: V_{dm2} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü



Şekil 5.47: V_{dm3} dalgası uygulanmaya başladığındaki anlık görüntü



Şekil 5.48: V_{dm3} dalgasının ortalama değerlere ulaştığı anlık görüntü

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Sistem Verilerinin Elde Edilmesi

İmal edilen Salınlı su kolonundan alınacak veriler havuz tankındaki en optimal su seviyesinde alınacaktır. Optimal su seviyesi bu prototip için deneysel yöntem ile bulunmuştur. Alınacak veriler Wells türbinin rpm (dönme) hızı, silindir yapı içerisindeki hava debisi, dalga boyu ve türbine bağlı mikro jeneratörden alınacak voltaj ve akım değerleridir. Bu değerler 6 farklı dalga hızı için alınacaktır. Dalga yaratıcı otonom sistemin yarattığı 3 farklı dalga hızı mevcuttur. Bunlara ek olarak 3 farklı hız düzeyinde manuel dalga yaratılacaktır. Ayrıca veriler konik yapı varken ve konik yapı yokken ayrıca alınacaktır. Çalışmada su derinliği 17 cm belirlenerek en optimal çalışma düzeyi tespit edilmiştir. Çalışmada 27 litre su kullanılmıştır. Çalışmada alınacak veriler sistemde konik yapı varken (K1) ve konik yapı yokken (K2) alınıp konik yapının veriler üzerindeki etkisi kıyaslanacaktır. Ölçülen ve hesaplanan tüm veriler Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 de verilmiştir. Öncelikle, üretilen düzenli ve düzensiz dalga çeşitleri olan V_{d1} , V_{d2} , V_{d3} , V_{dm1} , V_{dm2} , V_{dm3} dalgalarının dalga yükseklikleri, dalga periyodları ve dalga frekansları ölçülmüş olup Çizelge 6.1 de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Dalgaların Verileri

	V_{d1}	V_{d2}	V_{d3}	V_{dm1}	V_{dm2}	V_{dm3}
Dalga Yüksekliği (cm)	1.8	2.7	3.9	4.8	5.8	9.4
Dalga Periyodu (sn)	0.92	0.55	0.33	0.2	0.14	0.123
Dalga Frekansı (hertz)	1.08	1.8	3	5	6.7	8.1

Sistemin Rpm hızı IR Kızılötesi Engel Kaçınma Sensörü ile ölçülmüştür. Sensör arduino devresine bağlanarak tüm dalga hızlarında türbinin rpm hızları alınmıştır. Wells türbinin rpm hızları ölçülürken ortalama rpm değerleri alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 de verilmiştir.

Silindir yapı içerisindeki hava debisi;

$$Q = V_t \cdot A_s \quad (2.1)$$

2.1 Formülündeki türbinin dönme hızı V_t ;

$$V_t = \omega \cdot r \quad (2.2)$$

2.2 Formülündeki türbinin açısal hızı ω ;

$$\omega = 2\pi / T \quad (2.3)$$

2.3 Formülündeki periyot olan T ;

$$T = 1/f \quad (2.4)$$

2.4 denklemi ile bulunur. Prototip ölçüleri ve alınan veriler formüllerde kullanılarak Silindir yapı içerisindeki hava debisi tüm dalga çeşitleri için hesaplanmıştır.

Üretilen dalganın dalga boyu λ ;

$$\lambda = v / f \quad (2.5)$$

2.5 Formülündeki frekans değeri prototip üzerinden manuel olarak ölçülmüştür. Frekans ölçümü dalga yaratıcı panelin havuz tankı boyunca 1 saniyede kaç dalga oluşturduğunu yüksek çözünürlüklü bir kameraya kayıt alınıp kaydın yavaşlatılması ile bilgisayar üzerinde tespit edilmiştir.

2.5 Formülündeki dalganın yayılma hızı olan v ;

$$v = x / t \quad (2.6)$$

2.6 formülü ile bulunur. 2.6 formülündeki x havuz tankının uzunluğu, t ise bir dalganın oluşup sönümlendiği süredir. Manuel ölçümler ile veriler formüllerde kullanılarak farklı dalga hızlarındaki dalga boyları hesaplanmıştır.

Wells türbinine bağlı olan çekirdeksiz mikro motor bir jeneratör görevi görüp çıkışlarından multimetre yardımı ile Voltaj ve Akım değerleri alınmıştır.

Sistemin elektriksel gücü P ;

$$P = I \cdot V \quad (2.7)$$

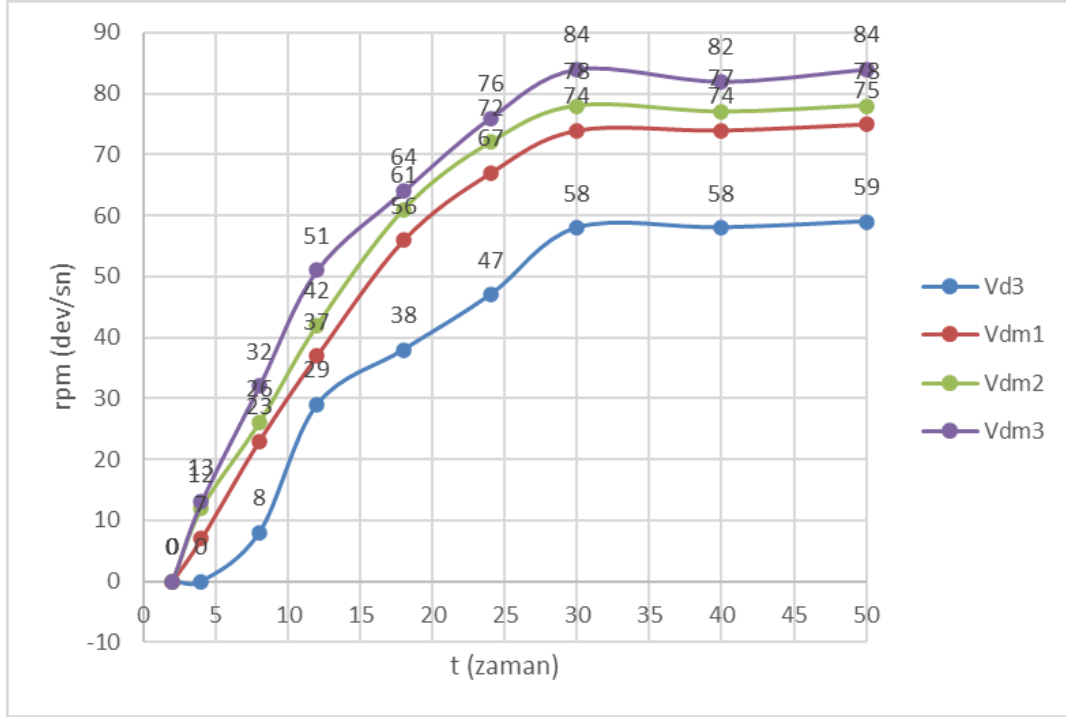
2.7 Formülü ile bulunmuştur.

Prototipin farklı dalga hızlarındaki sistem verimliliği η ;

$$\text{Verimlilik} = (E_{\text{ç}} / E_{\text{g}}) \times 100 \quad (2.8)$$

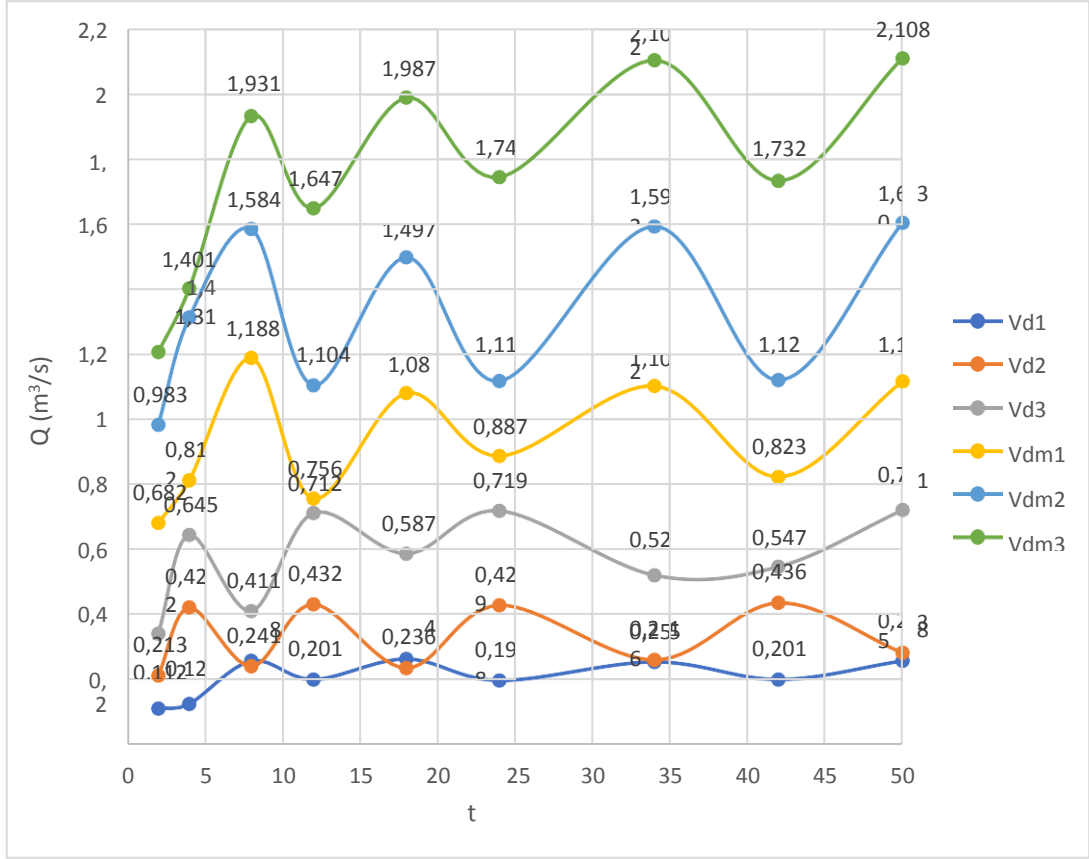
2.8 Formülü ile sistem verimliliği farklı dalga hızları için hesaplanmıştır.

Prototip üzerinde ölçülen veriler ve yapılan hesaplamalar sonucunda K1 durumunun zamana karşı grafikleri aşağıda verilmiştir.



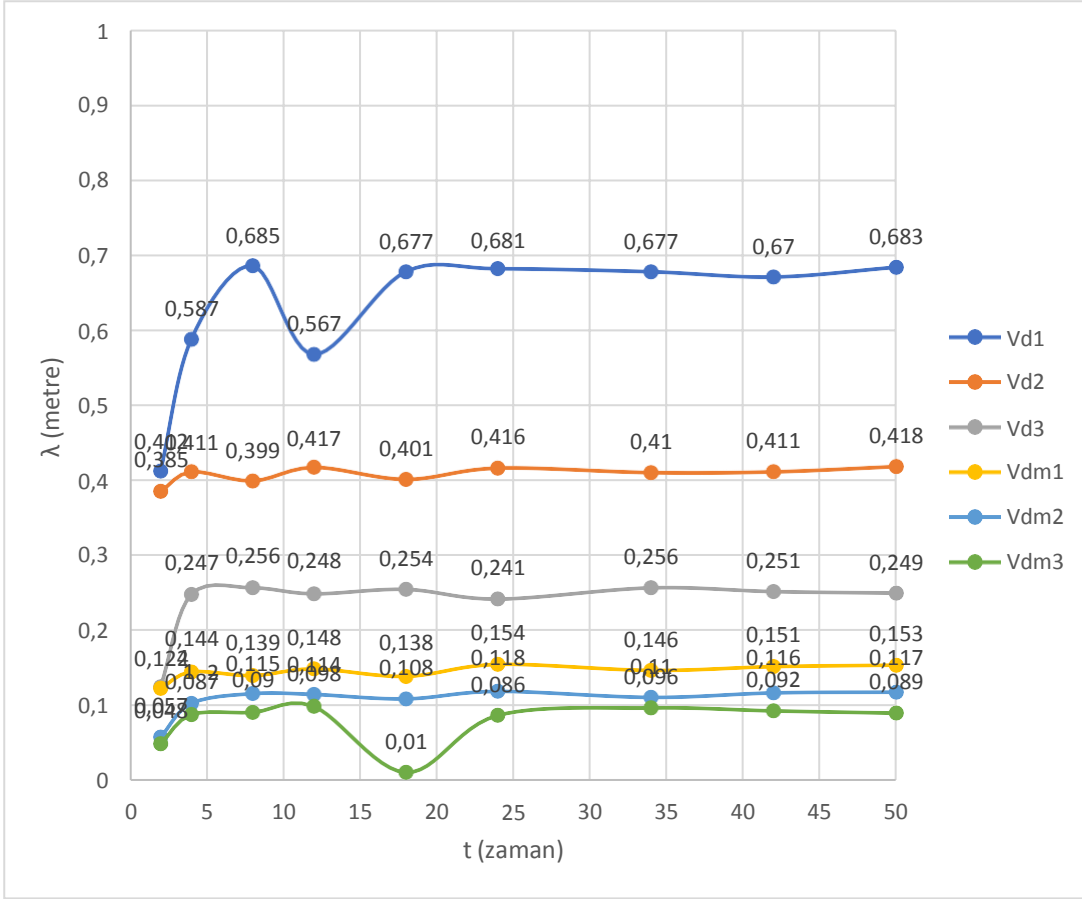
Şekil 6.1: Wells türbini rpm hızının dalga hızlarına göre zaman serisi

Şekil 6.1'deki grafik incelenirse türbinin harekete geçmesi için ortalama 0-4 saniye geçmesi gerekmektedir. 8-25 saniyeleri arasında türbinin rpm hızı artarak devam etmektedir. 25-30 saniye sonunda tüm dalga hızları için türbinin ortalama rpm hızı sabitlenmektedir. V_{d1} ve V_{d2} dalga hızlarında türbin dönmemektedir. Bu nedenle grafiğe dahil edilmemiştir.



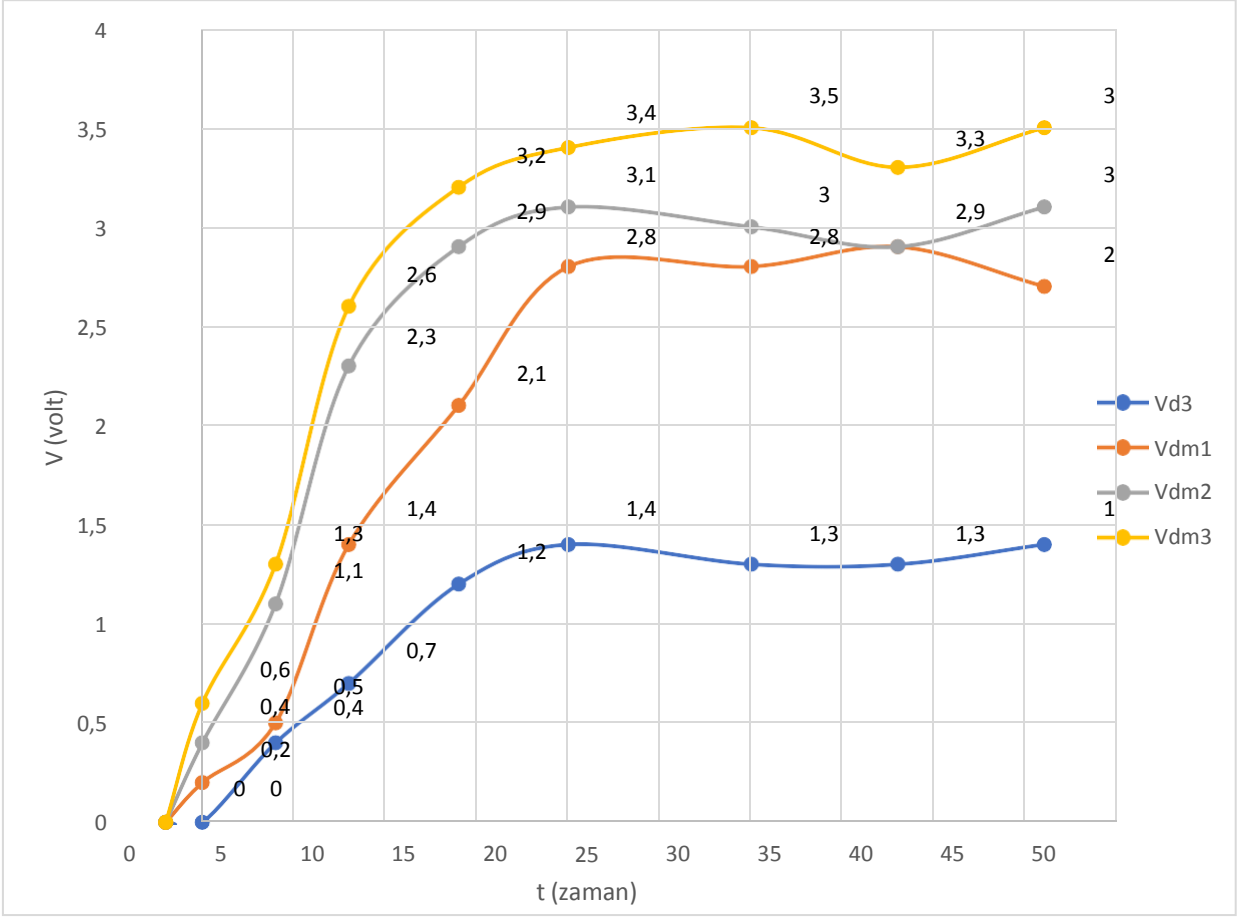
Şekil 6.2: 6 farklı dalga hızında silindir yapı içerisindeki hava debisinin zaman serisi

Şekil 6.2'deki grafik incelenirse tüm dalga hızlarında silindir yapı içerisindeki hava debisi değerlerinin alındığı görülmektedir. Hava toplama ünitesi içerisindeki havanın hareketi oluşan dalgalara bağlı olduğu için hava debisi değerleri salınımlı bir şekilde ölçülmüştür.



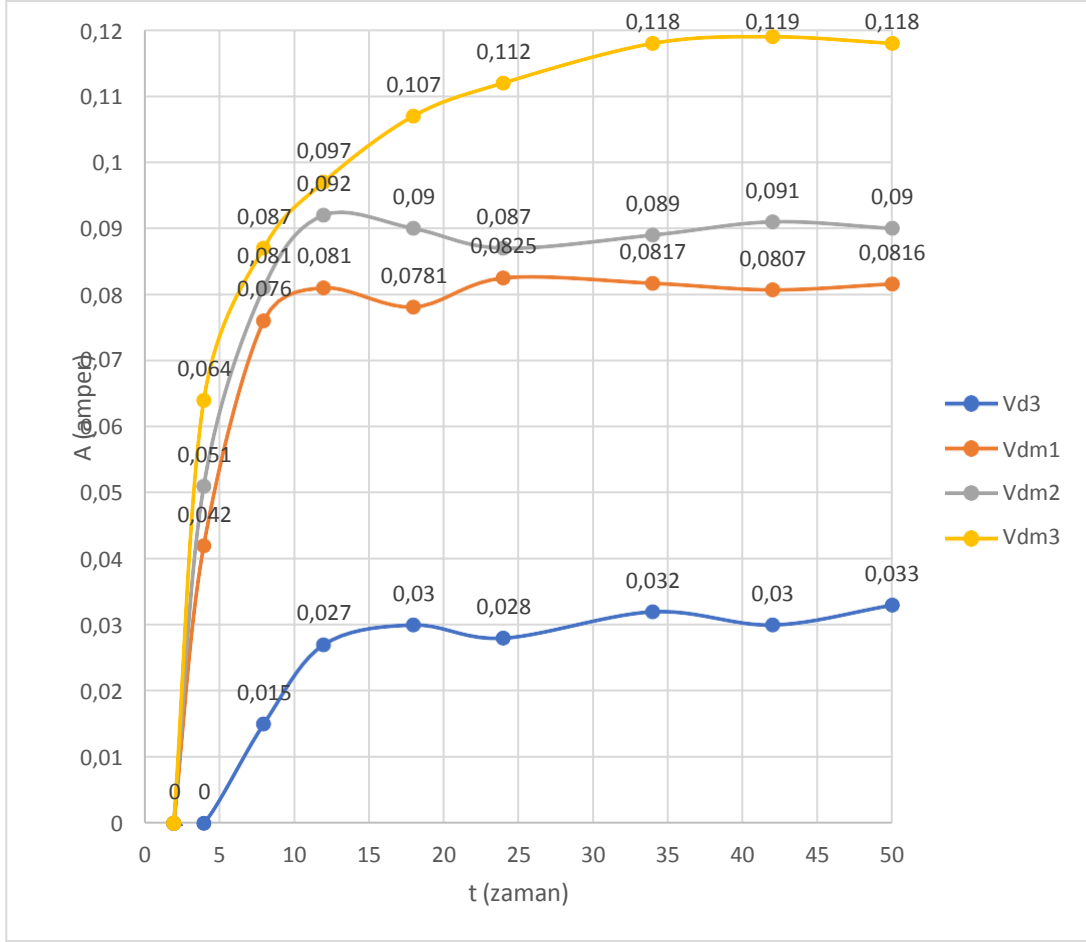
Şekil 6.3: 6 farklı dalga hızının dalga boylarının zaman serisi

Şekil 6.3' deki grafik incelenirse konik yapının dalga boyu üzerinde hiçbir etkisi olmadığı görülür. Sistemdeki tüm veriler konik yapıdan etkilenirken dalgaların dalga boyları konik yapıdan etkilenmediği gözlemlenmiştir.



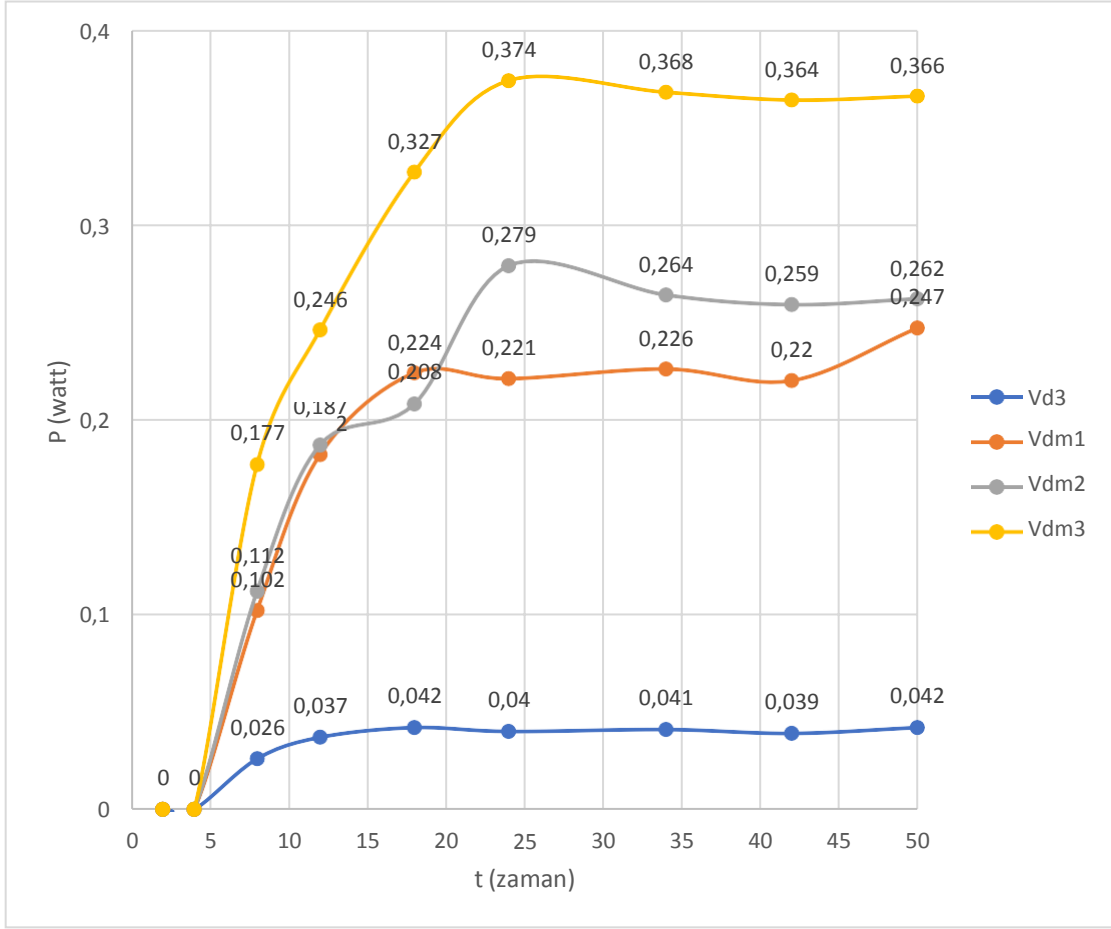
Şekil 6.4: 4 farklı dalga hızında wells türbininden alınan voltaj değerlerinin zaman serisi

Şekil 6.4'deki grafik incelenirse dalgaların hızları arttıkça Wells türbinine bağlı çekirdeksiz motordan alınan voltaj değerleri artmaktadır. V_{dm3} dalgası sistemin sınır dalga hızı olduğu için bu dalga hızında alınan voltaj değeri olan 3.5V çekirdeksiz motorun çıkış voltajı olan 3.7V' a çok yaklaşmıştır.



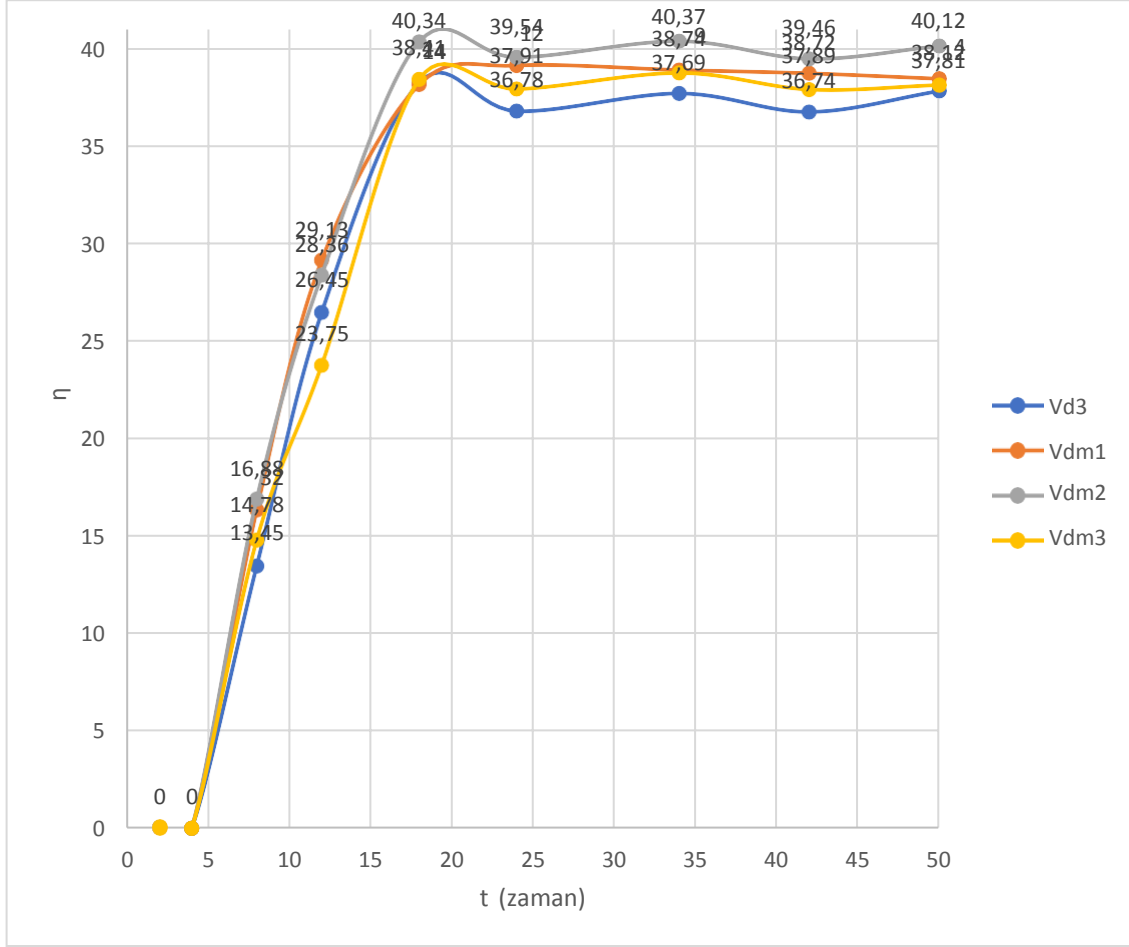
Şekil 6.5: 4 farklı dalga hızında Wells türbininden alınan akım değerleri

Şekil 6.5'te görüldüğü üzere dalga hızlarının artışı türbinden alınan akım değerlerinde zamanla artışa sebep olmuştur.



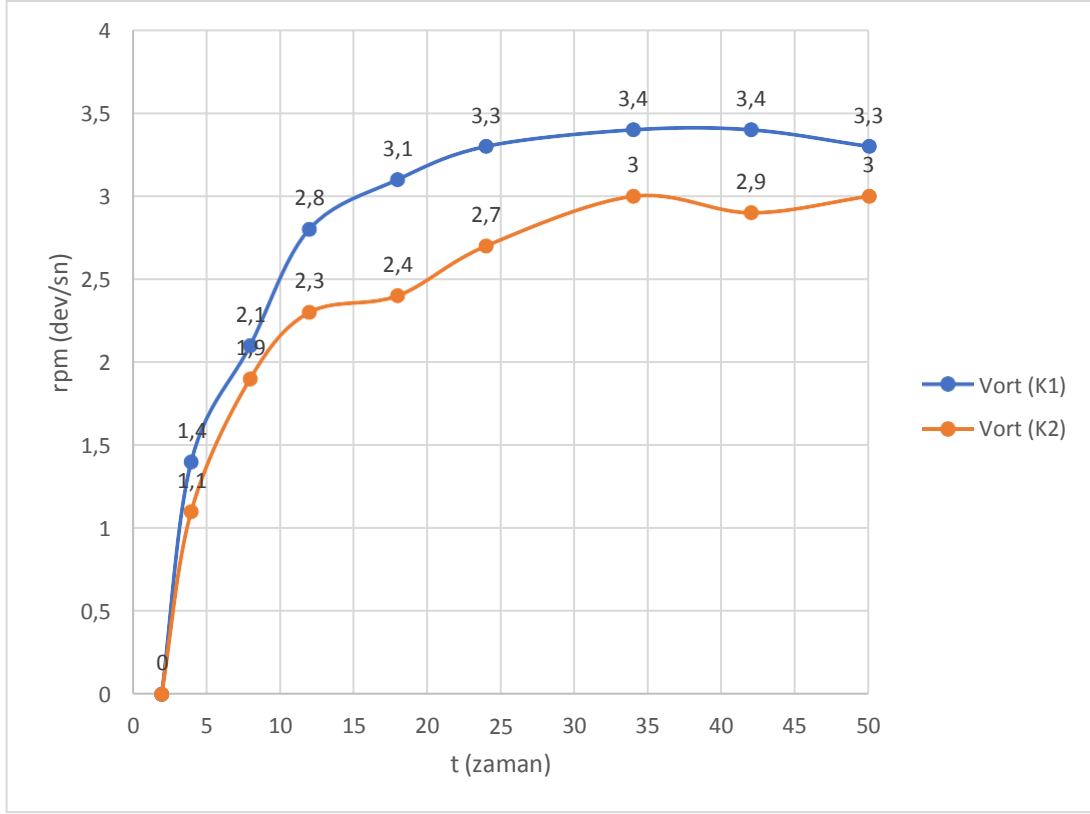
Şekil 6.6: 4 farklı dalga hızında türbinden alınan güç değerleri

Şekil 6.6' da görüldüğü üzere dalga hızı arttıkça sistemden alınan güç değerleri artmıştır. Sistemin ulaşabileceği sınır değere yaklaştıkça bu artış yavaşlayarak devam etmiştir.



Şekil 6.7: 4 farklı dalga hızında sistem verimliliği

Şekil 6.7’de görüldüğü üzere sistemin verimliliği her dalga hızı için belirli seviyelerde artmıştır. 15-20 saniye aralığında sistem kararlı hale geldiği için verim ortalamaları olarak sabit ilerlemiştir. Sistem verimliliği çıkan enerjinin giren enerjiye oranı olduğu için V_{dm3} dalga hızı sınır değeri olduğu için sistemin verimliliği azalmaktadır.



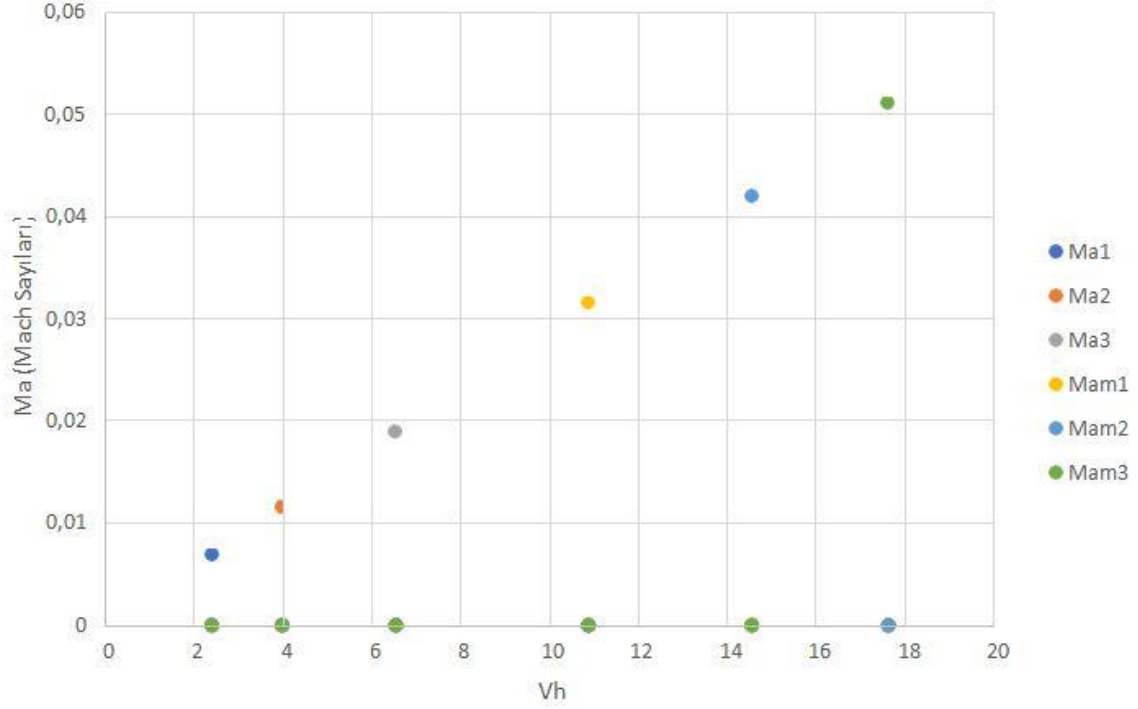
Şekil 6.8: K₁ ve K₂ durumlarında Wells türbininden alınan ortalama voltaj değerleri

Şekil 6.8’ de ki grafik yorumlanırsa konik yapının yaratmış olduğu voltaj farkı görülmektedir. Konik yapının havayı daraltarak türbine ilemesi sonucu türbin üzerinden alınan voltaj değerleri artmaktadır.

Mach sayısı akışkanın hızının ortamdaki ses hızına oranı olarak tanımlanır.

$$Ma = V/a \quad (2.9)$$

Bir akışkanın Mach sayısı 2.9 denklemi ile bulunur. 2.9 denklemindeki V akışkanın (hava) hızıdır. a ise ses hızıdır. Deney 1 atmosfer basınç ve 20 °C sıcaklık baz alınarak hesaplanmıştır.



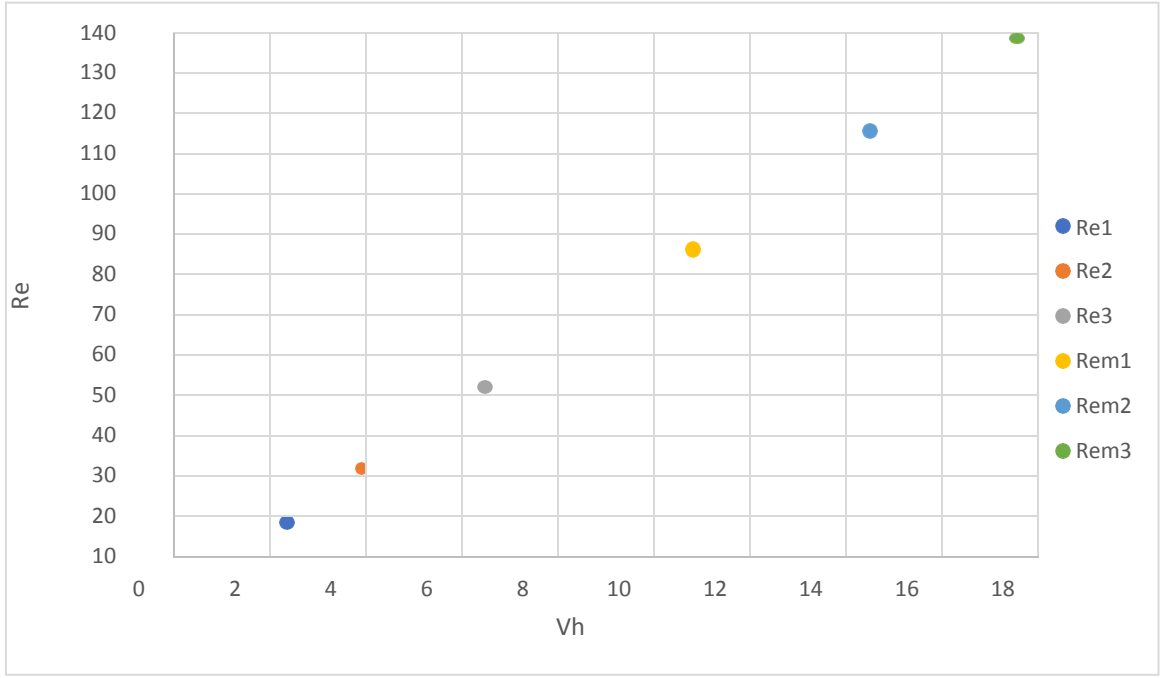
Şekil 6.9: Türbinli hava hızının dalga çeşitlerine göre Mach Sayıları

Şekil 6.9' da ki grafik incelendiği zaman akışkanın hızı arttıkça Mach sayısı artış göstermektedir. Tüm dalga hızlarında silindir yapı içerisindeki hava hızı $Ma < 0.8$ olduğu için tüm hava hızları subsoniktir.

Akışkanlar mekaniğinde Reynolds sayısı (Re), bir akışkanın, atalet kuvvetlerinin (μ , x), viskozite kuvvetlerine (v) olan oranıdır ve sonuç olarak bu değer bu iki tip kuvvetin bellibir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini verir. Bundan dolayı Reynolds sayısı, laminar akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimlerini belirlemek için kullanılır.

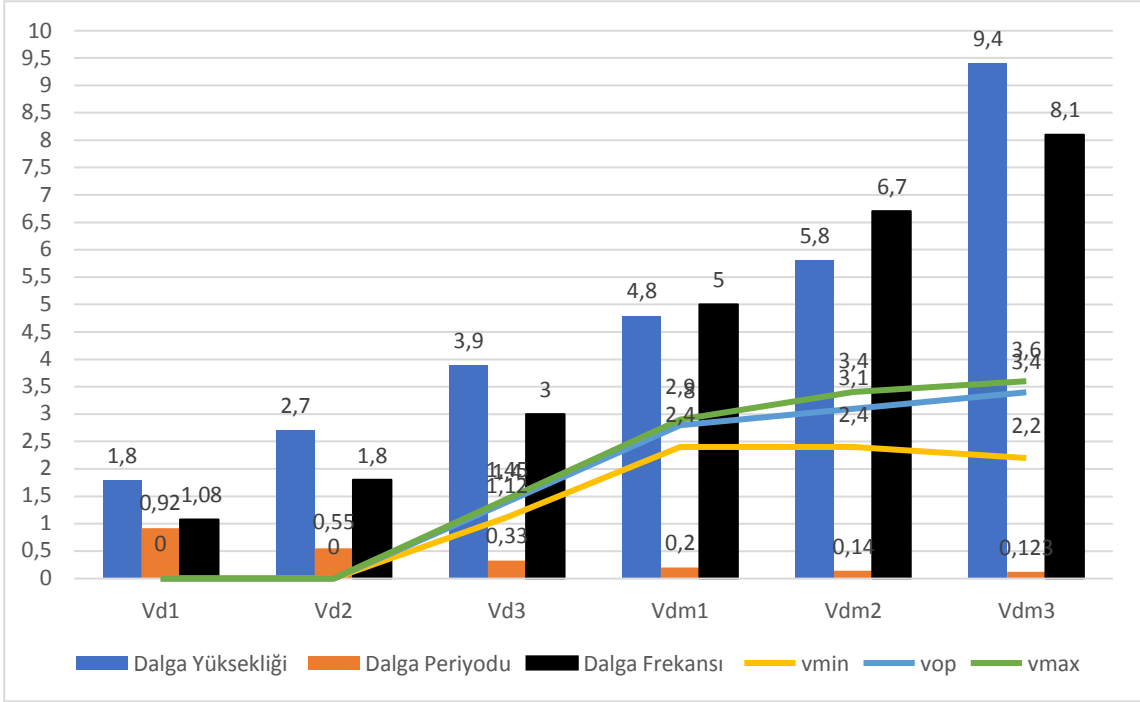
$$Re = (\mu \cdot x) / v \quad (2.10)$$

Reynolds sayısı 2.10 denklemi ile bulunur. v ve μ değerleri bu deney için 1 atm basınç ve 20 °C sıcaklık baz alınarak hesaplanmıştır.

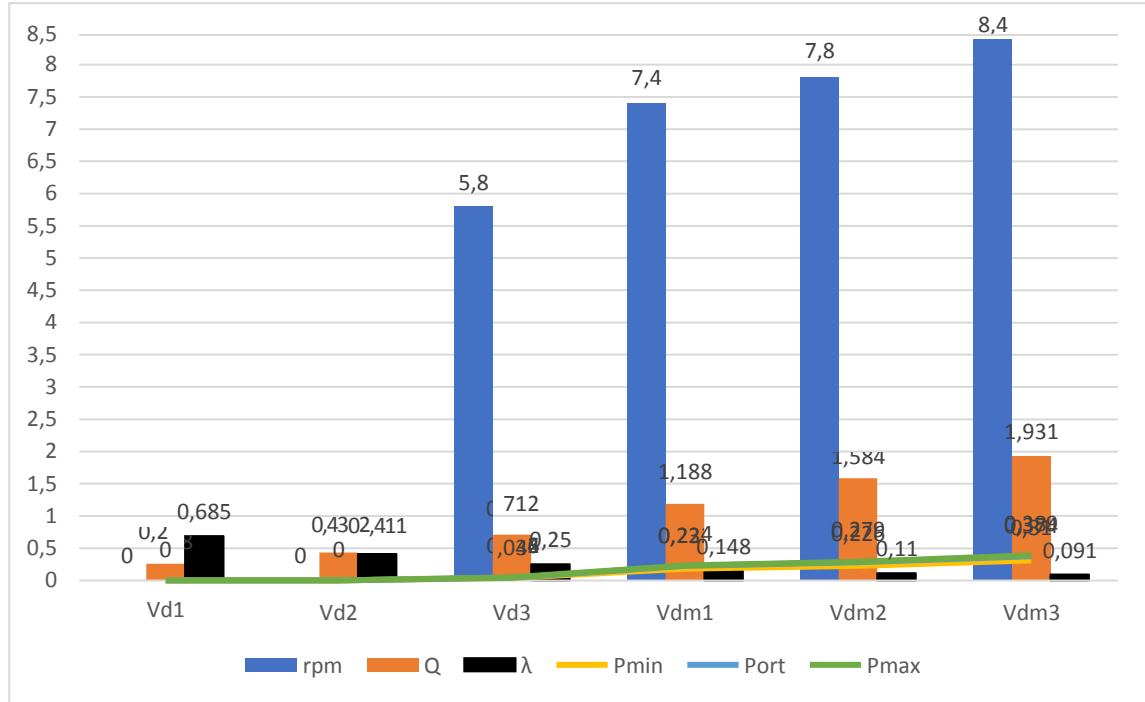


Şekil 6.10: Türbinli hava hızının dalga çeşitlerine göre Reynolds Sayıları ($Re \times 10^3$)

Şekil 6.10' da ki grafik incelendiği zaman akışkanın hızı arttıkça Re sayısında artış görülmektedir. Tüm dalga hızlarında $Re > 4000$ olduğu için sistemdeki akış türbülanslı akıştır. Bu değer silindir içerisindeki akışkanın düzensiz zorlanmış ve enerji kaybına açık olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 6.11: Dalga verileri karşısında sistemin ürettiği Volt değerleri

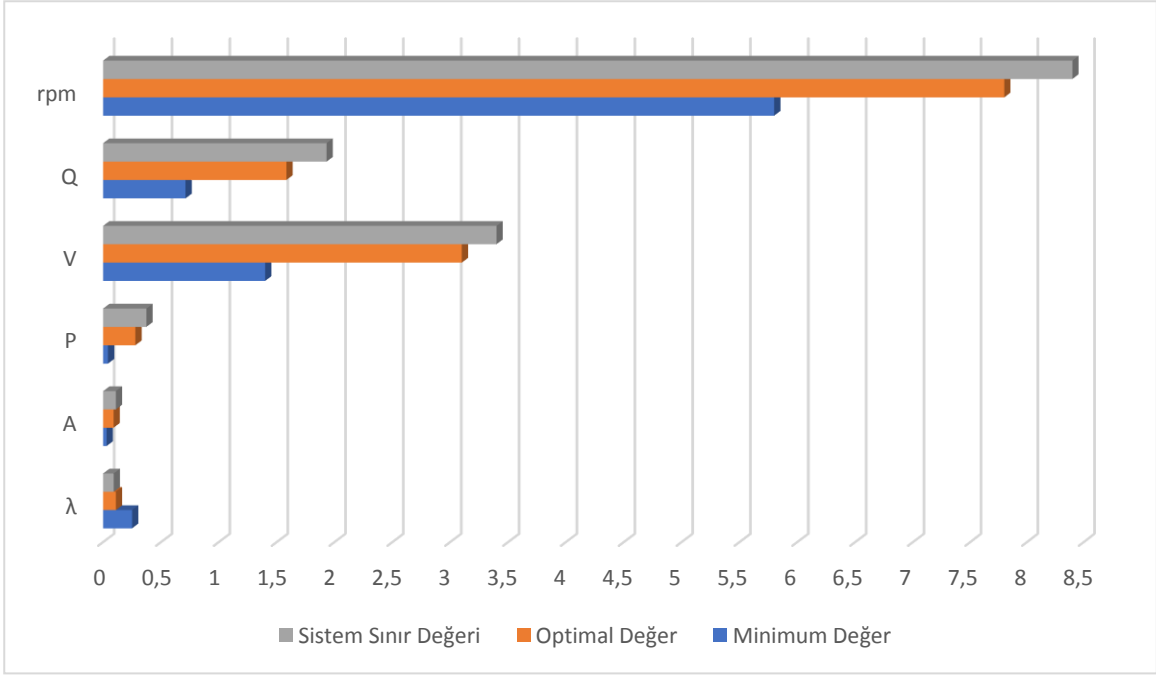


Şekil 6.12: Türbin hızı, hava debisi ve dalga boyu karşısında sistemin ürettiği güç değerleri

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'deki grafiklerden yola çıkarak; Prototip üzerinde V_{d1} dalgası uygulandığında sistemden sadece Q ve λ değerleri alınmıştır. Türbinin dönmesi için yeterli düzeyde hava akımı oluşmamıştır. Bu nedenle V_{d1} dalga hızında sistemden güç elde

edilememiştir. V_{d2} dalgası uygulandığında Q ve λ değerleri V_{d1} ile kıyasla daha yüksektir. V_{d2} dalgasında da sistemden güç elde edilememiştir. V_{d3} dalgası sisteme uygulandığında wells türbini harekete geçmeye başlamıştır. V_{d3} sistem için minimum dalga hızıdır. Minimum dalga hızında türbinin rpm değeri 58 dev/dk olup minimum rpm hızıdır. Sistemin minimum frekans değeri 3Hz, minimum dalga yüksekliği 3.9 cm ölçülmüştür. V_{dm1} dalgası sisteme uygulandığında sistemden en kararlı veriler alınmıştır. V_{dm1} dalgası sistemin optimal çalışma seviyesine yakın bir seviyedir. V_{dm2} dalgası sisteme uygulandığında sistemden en optimal veriler elde edilmiştir. V_{dm2} dalgası bu sistem için en kararlı ve en optimal dalga hızı seviyesi olmuştur. Sistemin optimal frekans değeri 6.7Hz, optimal dalga yüksekliği 5.8 cm ölçülmüştür. V_{dm2} dalgası sisteme uygulandığında türbin rpm hızı 72 dev/dk ölçülmüştür. V_{dm3} dalgası sisteme uygulandığında dalga yüksekliği ortalama 9.4 cm yükseldiği için havuz tankından her salınımında su dökülmektedir. V_{dm3} bu sistem için sınır çalışma değeridir. Sistemin sınır frekans değeri 8.1 sınır dalga yüksekliği 9.4 cm ölçülmüştür. Tüm grafikler dikkate alındığında 0-5 saniye aralığında dalga enerjisinin sahip olduğu kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşmemiştir. Bu zaman aralığında potansiyel enerji yok denecek kadar az olduğu için sistem verileri oluşmamıştır. 0-20 saniye aralığında oluşan dalgaların kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüştüğü zaman aralığıdır. Bu zaman aralığında süre ilerledikçe potansiyel enerji güçlendiği için sistem verilerinde düzenli olarak artış görülmektedir. 20-30 saniye aralığında dalganın kinetik enerjisinin %95'i potansiyel enerjiye dönüştüğü için tüm veriler ortalama olarak sabit değerlere ulaşmıştır. 30-50 saniye aralığında tüm veriler ortalama olarak sabit değerlerde kalmıştır.

Prototipe ait verilerin çalışma aralığı ilişkisi Şekil 6.1'de verilmiştir. Türbinin rpm hızları diğer verilere göre yüksek olduğu için rpm hızları 10'a bölünerek grafik oluşturulmuştur.



Şekil 6.13: Prototip çalışma aralığı

Şekil 5.61 incelenirse sistemin verilerinin hangi değerlerde minimum, optimal ve maksimum değer aldığı görülmektedir.

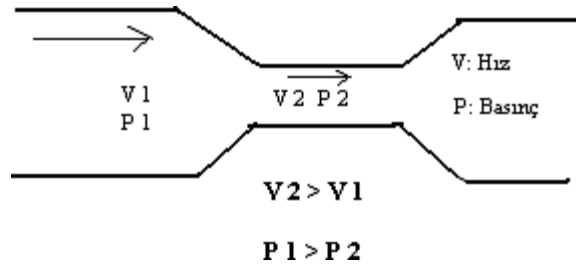
Çizelge 6.2: Farklı dalga hızlarında ölçülen veriler

K1	rpm	Q	λ	V	A	Ma	Re	P	η
vd1	0	0.258	0.685	0	0	0.068	0.179	0	0
vd2	0	0.432	0.411	0	0	0.114	0.299	0	0
vd3	58	0.7128	0.25	1.4	0.03	0.188	0.495	0.042	38.24
vdm1	74	1.188	0.148	2.8	0.08	0.314	0.827	0.224	39.12
Vdm2	78	1.584	0.110	3.1	0.09	0.422	1.108	0.279	40.34
Vdm3	84	1.931	0.091	3.4	0.11	0.511	1.343	0.374	38.78

Çizelge 6.3: Farklı dalga hızlarında ölçülen veriler

K_2	rpm	Q	λ	V	A	P	η
v_{d1}	0	0.127	0.685	0	0	0	0
v_{d2}	0	0.326	0.411	0	0	0	0
v_{d3}	52	0.678	0.25	1.1	0.014	0.011	35.68
v_{dm1}	68	1.065	0.148	2.3	0.056	0.11	36.12
v_{dm2}	72	1.356	0.110	2.7	0.073	0.197	38.77
v_{dm3}	79	1.509	0.091	3	0.091	0.273	36.54

Bu çizelgelerde verilen değerler, tez kapsamında faydalı model olarak önerilen konik yapı ile türbin veriminin arttığını kanıtlamaktadır. Sonuçta, yapılan deneyler ve sayısal çözümler göstermektedir ki, konik yapıli sistemde verim değerleri kayda değer şekilde artmıştır. Referans çalışma ile aynı şartlarda yapılan deney sonuçlarında da görülen bu verim artışının sebebi, Bernoulli prensibinin en bariz uygulaması 'Venturi borusunun ' çalışmasıdır (Şekil 5.62). Bu borunun orta kısmı uçlarına oranla daha dardır. Hava bu borudan geçerken dar kısma geldiğinde sürati artar ve basıncı azalır. Dar kısımdan geniş kısma geçtiği zaman sürati azalır ve basıncı yükselir. Bu akışkanlar dinamiği prensibi esas alınarak salınlı su kolonunda hava toplama ünitesi ve Wells türbini arasına konik bir yapı eklenerek sistem verimliliği artırılmıştır.



Şekil 6.13: Ventüri borusu

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada yaşanan çevresel etkilere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve ilgi giderek artmaktadır. Bu kaynaklardan birisi olan dalga enerjisi dünya üzerindeki denizlerde azımsanmayacak bir potansiyele sahiptir. Dalganın hareketi esnasında sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjinin özellikle potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürecek kıyı şeridi bölgelerde kullanılmak üzere deniz dalgasından elektrik üreten bir dalga enerjisi çevirici (OWC) sistemin tasarımı ve prototipinin imalatı bu tez çalışmasında gerçekleştirilmiştir. Salınlı su kolonunda türbinin dönüş hızı haznede sıkışan havaya bağlıdır. Hava ne kadar çok sıkışırsa Wells türbinin dönüşü o kadar fazla olur ve üretilen güç daha fazla olur. Bu çalışmada literatürde yer alan OWC sistemlerine konik bir yapı eklenerek daha verimli hale getirilmiştir.

Sistem basit ve korozyona dayanıklı, bakım ve kurulumu ucuz, hassas cihazlar içermeyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçek deniz uygulamalarında Wells türbini ve hava toplama ünitesi su geçirmez kabin içerisine yerleştirilerek çevresel etkilere karşı korunması gerekecektir. İşletme ömrünün en az 20 yıl olacak biçimde tasarlanması gerekecektir. Elektrik üretimi 0.4 metreden büyük düzenli dalgalar için 24 saat kesintisiz olacağı öngörülmektedir. Söz konusu bu prototipin gerçek kıyı şeridi uygulamaları için Türkiye'nin iyi dalga gücü kaynaklarından olan Kalkan açıkları için yapılan tahminler ve istatistiksel analizlerle toplanan bilgiler dalga gücü yoğunluğunun 6.6 kW/m-7.6 kW/m arasında olduğunu göstermektedir. Dalga yükseklikleri 1.21 metreye varabilmekte ve dalga periyotları 6.09 saniyeye ulaşmaktadır. Bu bilgiler yılın büyük bir çoğunluğu için geçerlidir. Bu prototipin kıyı uygulamaları için tavsiye edilen en iyi yerler: Karadeniz'in batısında İstanbul Boğazı'nın kuzeyi ve Ege Denizi'nin güneybatı kıyıları açıkları; Marmaris ve Finike arasındadır. Başlangıç denemeleri için bu kıyılar en uygun yerlerdir.

Verimliliği artırmak için malzemeler ve tasarım üzerinde daha fazla araştırma yapılabilir. OWC üzerinde daha fazla havayı yakalamak için hava toplama ünitesi üzerinde faydalı modeller geliştirilebilir. Elektrik üretimini arttırmak için Wells türbini kanat profili üzerinde çalışılabilir. Dünyadaki kıyılarda potansiyeli değerlendirilmediği için büyük bir dalga enerjisi kaybı söz konusudur. Bu kayıp enerji, güç krizini azaltmada yardımcı olabilir.

Bu teknolojiyi büyük ölçekte yaymak, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından çok daha ucuz ve verimli olacaktır. Bu teknoloji, her türlü yaşam ve çevre için tamamen zararsızdır ve özellikle gelişmekte olan ülkemizde, son derece faydalı olacağı düşünölmektedir. Az gelişmiş yakın bölge (köy) için elektriği azaltabilir. Yakın bölgeler için gelir kaynağı olarak da kullanılabilir. Geliştirilen prototip, verimi arttıran küçük ölçekli deneyleri simüle etmek için kullanılabilir. Dalga jeneratörü ekipmanı, sensörler, değişen su kolonu, eğim açısı vb. ile enerji üretimi üzerindeki etkisini ölçmek kullanılabilir.

Bu tez çalışması İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021-2653 nolu proje olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Karagöl E.T. & Kavaz, İ.** (2017). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji. *Setav*. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>
- [2] **Ren21.** (2018). Renewables 2018 global status report, renewables energy policy network for the 21st century (REN21), Paris: REN21 Secretariat, www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-652GSR2018FullReportweb-1.pdf, erişim tarihi: 04.07.2017.
- [3] **International Energy Agency** (2017). *IEA statistics: World energy balances overview 2017*. <http://www.iea.org/statistics>, erişim tarihi: 19.03.2018.
- [4] **World Bank** (2016). Gross Domestic Product per Capita by Country in Current US\$ <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>, erişim tarihi: 20.03.2018
- [5] **Tezcan, N.** (2015). OECD ve BRIC ülkelerinin enerji göstergeleri açısından çok boyutlu ölçekleme analizi ile karşılaştırılması. *İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, (77), 119. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/98082>
- [6] **Kralova, I. & Sjöblom J.** (2010). Biofuels-renew able energy sources: A review. *J Dispers Sci Technol.* 31(3):409–25.
- [7] **Chen, Z., Yu H., Hu M., Meng G. & Wen C.** (2013). A review of off shore wave energy extractionsystem. *Adv Mech Eng.*
- [8] **Fang, H.W., Feng, Y.Z. & Li, G.P.** (2018). Optimization of wave energy converter arrays by an improved differential evolutionary algorithm. *Energies.* 11(12).
- [9] **Ültanır, M. Ö.** (1998). *21. Yüzyıla Girenken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi*, S.80, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239.
- [10] **Özdamar, A.** (2000). Dalga enerjisinden elektrik enerjisi eldesi üzerine bir araştırma: Çeşme örneği. *Su Ürünleri Dergisi*, 17(1-2), 201-213.
- [11] **Li, G. & Gou, J.** (1985). Progress in China’s developmental research on wave energy, *Proc.: Hydrodynamics of Ocean Wave Energy Utilization*, 125-132.
- [12] **Fugro, O. T.** (2010). Küresel dalga enerji potansiyelinin değerlendirilmesi. *Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/ASSESSING-THE-GLOBAL-WAVE-ENERGY-POTENTIAL-FugroOCEANOR-Trondheim/d7fd7fc8b4ec97db3cec84648b3303e9f267b581/figure/2>
- [13] **Ün Tezcan, Ü.** (2013). “Dalga enerjisi teknolojisi, ekonomisi, çevresel 111 etkisi ve dünyadaki durumu”. Erişim tarihi :23.11.2017 http://www.emo.org.tr/ekler/6a781dbfd8e524b_ek.pdf

- [14] **Önöz, B.** (2013). Dalga enerjisi. *İTÜ Elektrik Mühendisliği Kulübü*. <http://eski.emhk.itu.edu.tr/%5Cimg%5Cemhk%5Cdatafiles/Bihrat%20%C3%96N%C3%96Z%20-%20Dalga%20Enerjisi.pdf>
- [15] **Uygun, I., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A. & Belenli, İ.** (2006). Batı Karadeniz bölgesindeki dalga enerjisi potansiyelinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (1).
- [16] **Kabdaşlı, S., Önöz, B., Yeğen, B., Yılmaz, A., Babaç, G., Varol, Ö.E. & Albostan, A.** (2007). “Türkiye kıyılarındaki dalga enerjisi potansiyelinin belirlenmesi-Kumköy örneği”, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İzmir: 445-449.
- [17] **Deniz Dalgası.** (t.y.). <https://www.dunyaenerji.org.tr/abd-dalga-enerjisi-teknolojisine-odaklanan-projeler-icin-27-milyon-dolarlik-fon-acikladi/>
- [18] **Şentürk, U. & Özdamar, A.** (2021). Dalga enerjisi türbinleri ve bir türbinin incelenmesi. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/348359809_DALGA_ENERJISI_TURBINLERI_ve_BIR_TURBININ_INCELENMESI
- [19] **Falcao, A.F.O. & Henry, J.C.C.** (2016). Salınlı su-kolon dalga enerjisi dönüştürücüleri ve hava türbinleri: Bir inceleme. *Yenilenebilir Enerji*, 85:1391- 1424.
- [20] **Safty E. A.** (2018) Su dalgası enerjisinden yararlanmak için yeni bir tasarım. *Semantic Scholar*.<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Novel-Design-to-Harness-Water-Wave-Energy-Safty-Safty/f72c12e3a3390900966724594aa6c56a20793f53>
- [21] **Falcão, A.F., Sarmiento, A., Gato, L.M., & Brito-Melo, A.** (2020). The Pico OWC wave power plant: Its lifetime from conception to closure 1986–2018. *Applied Ocean Research*, 98, 102104. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141118719305875>
- [22] **Cruz, J.** (2008). *Ocean Wave Energy, Current Status and Future Perspectives*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [23] **Ün Tezcan, Ü.** (2013). Dalga enerjisi teknolojisi, ekonomisi, çevresel etkisi ve dünyadaki durumu. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*. https://www.emo.org.tr/ekler/6a781dbfd8e524b_ek.pdf?nhoakluoahydncbz
- [24] **Sundar, V. & Sannasiraj, S. A.** (2021, 22 Ağustos). Ocean Wave Energy Systems. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-78716-5_2
- [25] **Bedard, R. & Hagerman, G.** (2004). Offshore Wave Energy Conversion Devices E2I EPRI Evaluation Report No. E2I-EPRI-WP-004-USRev. 1, Haziran 2004.
- [26] **Ün Tezcan, Ü.** (2003). Dalga enerjisi: teknolojisi, ekonomisi, çevresel etkisi ve dünyadaki durumu. *Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 2003, 15-18 Ekim 2003, İzmir.
- [27] **McCormick, M.** (1981). *Ocean wave energy conversion*, Wiley, Annapolis, Maryland.

- [28] **Oceanlinx technical information.** (2009). www.oceanlinx.com/assets/FactSheets/oceanlinx_technical_facts_sheet_v3_eng.pdf
- [29] **Dokka K. V.** (2021, October) Green hydrogen from stranded or soon to be stranded offshore oil and gas platforms. *Universitat Politècnica De Catalunya Barcelonatech*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/359245/vamsi-krishna-dokka_msc-thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] **Clément, A., McCullen, P., Fálcao, A.F.O., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström, B.O., Sørensen, H.C. & Thorpe, T.** (2002), Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 405-431.
- [31] **Henderson, R.** (2005). Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis Wave energy converter. *Renewable Energy*, 31(2), 271-283. Ocean Power Delivery, February 2006. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148105002259>
- [32] **Wave dragon.** (2006). Development and validation of technical and economic feasibility of a multi MW Wave Dragon offshore wave energy converter, http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5
- [33] **Wave dragon.** (t.y.). https://www.wikiwand.com/en/Wave_Dragon
- [34] **Etap** (2007). A new Wave of Energy is about to Wash over Europe” Environmental Technologies Action Plan, Mart 2007, http://ec.europa.eu/environment/etap/inaction/pdfs/mar07_wave_energy.pdf
- [35] **Rodrigues, L.** (2005). *Wave power conversion systems for electrical energy production*, Nova University of Lisbon.
- [36] **Cruz, J.** (2008). *Ocean wave energy, current status and future perspectives*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [37] **Faq - Sinn power wave energy.** (t.y.). sinnpower.com/faq.
- [38] **News - sinn power wave energy.** (t.y.). sinnpower.com
- [39] **Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlomer S., Von Stechow C. & Matschoss P.** (2012). *Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press,
- [40] **Mendonça H. & Martinez S.** (2016). Energy conversion efficiency assessment of a direct drive wave energy converter with different current controllers, *IEEE International Energy Conference*, Nisan 2016, Leuven: 1-6.
- [41] **World Energy Council** (2013). *World energy perspective, cost of energy technologies*. Bloomberg New Energy Finance,
- [42] **Delucchi, M. A. & Mark Z. J.** (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs and policies, *Energy policy*, 39(3), 1170-1190.

- [43] **Wacop.** (t.y.). *Mean available wave power.* <https://wacop.gsd.spc.int/RegionalWaveEnergy.html>
- [44] **López I., Andreu J., Ceballos S., De Alegría I.M. & Kortabarria I.** (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 413-34.
- [45] **Mork G., Barstow S., Kabuth A. & Pontes M.T.** (2010). Assessing the global wave energy potential, *ASME 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Ocak 2010, Shanghai, Bildiriler Kitabı: 447-454.
- [46] **Vicinanza, D., Contestabile, P. & Ferrante V.** (2013). Wave energy potential in the north- west of Sardinia (Italy), *Renewable Energy*, 50, 506-521.
- [47] **Boud, R.** (2002). Economics and Financing, *European Thematic Network on Wave Energy*, Brighton.
- [48] **Hepbasli, A., Ozdamar, A. & Ozalp N.** (2001). Present status and potential of renewable energy sources in Turkey, *Energy Sources*, 23(7), 631-648.
- [49] **Sağlam, M., Sulukan, E. & Uyar, T. S.** (2010). Wave energy and technical potential of Turkey, *Journal of Naval Science and Engineering*, 6(2), 34-50.
- [50] **Akpınar, A. & Kömürcü M. İ.** (2013). Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data, *Applied Energy*, 101, 502-512.
- [51] **Aydoğan, B., Ayat, B. & Yüksel, Y.** (2013). Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, *Renewable energy*, 57, 436-447.
- [52] **Akpınar, A. & Kömürcü, M. İ.** (2012). Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea, *Energy*, 42(1), 289-302.
- [53] **Kapluhan, E.** (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Dalga enerjisinin dünyadaki ve Türkiye’deki kullanım durumu, *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17), 65-86.
- [54] **Bakka.** (2017, 27 Mart). <http://www.bakka.gov.tr/site/haber/951/>
- [55] **Boud, R.** (2002) Economics and Financing. *European Thematic Network on Wave Energy*. Brighton.
- [56] **Boud, R.** (2002). Economics and Financing. *European Thematic Network on Wave Energy*, Brighton.
- [57] **Falcão, A.F.O.** (2016). Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review. *Renewable Energy*, 85, 1391-1424
- [58] **Ulazia, A.** (2020). On the impact of long-term wave trends on the geometry optimisation of oscillating water column wave energy converters. *Energy*, 206, 118146.
- [59] **Zhu, G. & Graham, D.** (2020). Hydrodynamics of onshore oscillating water column devices: A numerical study using smoothed particle hydrodynamics. *OceanEngineering*, 218, 108226.
- [60] **Zheng, S. & Antonini, A.** (2020). Hydrodynamic performance of a multi-

Oscillating Water Column (OWC) platform. *Applied Ocean Research*, 99, 102168.

- [61] **Howe, D., Nader, J.R. & Macfarlane, G.** (2020). Experimental investigation of multiple oscillating water column wave energy converters integrated in a floating breakwater: Wave attenuation and motion characteristics. *Applied Ocean Research*, 99, 102160.
- [62] **Doyle, S. & Aggidis, G. A.** (2019). Development of multi-oscillating water columns as wave energy converters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 75-86.
- [63] **Wang, C. & Zhang, Y.** (2021). Wave power extraction analysis for an oscillating water column device with various surging lip-walls. *Ocean Engineering*, 220, 108483.
- [64] **Ning, D., Zhou, Y., Mayon, R. & Johanning, L.** (2020). Experimental investigation on the hydrodynamic performance of a cylindrical dual-chamber Oscillating Water Column device. *Applied Energy*, 260, 114252.
- [65] **Çelik, A. & Altunkaynak, A.** (2019). Experimental investigations on the performance of a fixed-oscillating water column type wave energy converter. *Energy*, 188, 116071.
- [66] **Zheng, S. & Zhu, G.** (2020). Wave power extraction from a tubular structure integrated oscillating water column. *Renewable Energy*, 150, 342-355.
- [67] **Deng, Z. & Ren, X.** (2019). Hydrodynamic performance of a novel oscillating-water-column breakwater with a horizontal bottom-plate: Experimental and numerical study. *Ocean Engineering*, 187, 106174.
- [68] **Shalby, M. & Walker, P.** (2017). Modelling of the multi-chamber oscillating water column in regular waves at model scale. *Energy Procedia*, 136, 316-322.
- [69] **Falcão, A.F.O. & Henriques, J.C.C.** (2019). The spring-like air compressibility effect in oscillating-water-column wave energy converters: Review and analyses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 483-498.
- [70] **Ning, D. & Guo, B.** (2020). Geometrical investigation of a U-shaped oscillating watercolumn wave energy device. *Applied Ocean Research*, 97, 102105.
- [71] **Konispoliatis, D.N. & Mazarakos, T.P.** (2016). Hydrodynamic analysis of three-unit arrays of floating annular oscillating-water-column wave energy converters. *Applied Ocean Research*, 61, 42-64.
- [72] **Trivedi, K. & Koley, S.** (2022). Time-domain analysis of quarter-circle shaped oscillating water column device: Experimental and numerical study. *Energy Reports*, 8, 431-437.
- [73] **Patel, S., Ram, K., Ahmed, M. R. & Lee, Y.H.** (2011). Performance studies on an oscillating water column employing a Savonius rotor. *Science China Technological Sciences*. 54. 1674-1679. doi:10.1007/s11431-011-4407-z.
- [74] **Hasan, M.K. & Manasseh, R.** (2014). Dissipation in oscillating water columns, Department of Mechanical and Product Design Engineering Faculty of Science, *19th Australasian Fluid Mechanics Conference Melbourne*, Engineering and Technology Swinburne University of Technology, 8-11 December 2014, VIC 3122, Melbourne, Australia

- [75] **Coastal conversions.** (t.y.). <https://www.nsenergybusiness.com/features/-feature-coastal-conversions/attachment/nsidewellsturbine/>
- [76] **Çekirdeksiz mikro motor.** (t.y.). <https://www.robotistan.com/cekirdeksiz-mikro-motor-816mm>
- [77] **Kızıl ötesi yakınlık sensörü.** (t.y.) <https://www.n11.com/urun/kizilotesi-yakinlik-sensoru-ir-kizilotesi-engel-kacinma-sensoru-3848200?magaza=cbtnxglobal>
- [78] **S90 mini servo motor.** (t.y.). <https://www.robotistan.com/tower-pro-sg90-rc-mini-servo-motor>
- [79] **Deeportal.** (t.y.). <https://github.com/deeportal/deeportal.git>
- [80] **Hasan, M.K. & Manasseh, R.** (2014). Dissipation in oscillating water columns, Department of Mechanical and Product Design Engineering Faculty of Science, *19th Australasian Fluid Mechanics Conference Melbourne*, Engineering and Technology Swinburne University of Technology, 8-11 December 2014, VIC 3122, Melbourne, Australia
- [81] **Patel, S., Ram, K. & Ahmed, M.R. & Lee, Y.H.** (2011). Performance studies on an oscillating water column employing a Savonius rotor. *Science China Technological Sciences*. 54, 1674-1679. doi:10.1007/s11431-011-4407-z.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Muhammed Burak Durdu

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2022, İnönü Üniversitesi, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2019-2020 Sağlamlar İnşaat A.Ş., Elektrik Mühendisi
- 2022-... Eva Yol İNŞ., Mühendis, Elektrik Mühendisi