

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KIYIDAN UZAK TİP DALGA ENERJİSİ
DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜNÜN DENEYSEL OLARAK
GELİŞTİRİLMESİ

Perihan KARAKÖSE

Yüksek Lisans Tezi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet Koca
OCAK-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIYIDAN UZAK TİP DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜNÜN DENEYSEL OLARAK
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Perihan KARAKÖSE

(162134105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Ocak 2019

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Aydın TURGUT (B.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Emre TURGUT(F.Ü.)

Ocak-2019

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan dalga enerjisinden elektrik enerji dönüşümü yapılmıştır. Dalga enerjisi doğada var olan fakat kullanılabilir enerji dönüşümü çok verimli bir şekilde yapılamayan sınırsız yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Ahmet KOCA 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında elde edilen veriler, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF.18.22 numaralı proje kapsamında finanse edilerek gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP birimine teşekkür ederim.

Perihan KARAKÖSE

ELAZIĞ – 2019

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim Arş. Gör. Halil İbrahim YAMAÇ’a, Arş. Gör. Ali TAŞKIRAN’a, Arş. Gör. Narin KARABULUT’a, Makine Yüksek Mühendisi Rıdvan ÖZGÜL’e, Ayşe KARAKAŞ’a, Mekatronik Yüksek Mühendisi Taylan Gazi ÜREGEN’e, Ömer BAYKARA’ya, Serkan KARAÇÖL’e teşekkürü bir borç bilirim.

Üzerimde emekleri olan eğitim hayatımın tüm evrelerinde bana destek olan ve beni bugünlere getiren aileme, evlatları olmaktan gurur duyduğum sevgili annem Semra KARAKÖSE’ye ve babam Yaşar KARAKÖSE’ye teşekkür ederim.

Perihan KARAKÖSE
ELAZIĞ – 2019

ÖZET

Enerji ihtiyacı hızla artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten günümüze kadar dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. Dalgalar güçlü ve sınırsız yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji, dalganın yüzeyinden ya da yüzey altındaki dalgaların basıncından elde edilmektedir. Dalgalanma rüzgârın su yüzeyinde yaptığı salınım hareketidir. Dalga enerjisi dönüştürücü sistemleri (DEDS) bu hareket sonucu oluşan basıncı kullanarak enerji üretirler. Yeryüzünün %70'den fazlası su ile kaplıdır. Bu nedenle dalgaların sahip olduğu enerji küresel enerji talebinin 1/5'ini karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Fakat dalga enerjisi dönüşüm sisteminin verimi coğrafya ve rüzgâr koşullarına göre %10 ile %35-40 arasında geniş bir aralıkta değişiklik gösterebilir.

Bu çalışmanın amacı yüksek potansiyele sahip dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretilebilecek dalga enerji dönüştürücüsünün prototip tasarımını, üretimini ve güç dönüşüm sistemini oluşturmaktır. Çalışmada kullanılan güç dönüşüm sistemi dalga yüzeyindeki hareketleri, mıknatıslarla çevrili milin kendi ekseninde dairesel hareketini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu hareket sonucu manyetik alan oluşmaktadır ve milin içinde bulunduğu haznenin etrafına sarılı bobinler vasıtasıyla akımın ani değişimleri ile elektrik gücü üretilmektedir. Bu çalışma 13 farklı dalga formunda yapılmıştır. Bu dalga formlarının verimlilik, açısal hız ve güç gibi sonuçlar üzerine etkileri araştırılmıştır. DEDS'den genellikle belirli periyot ve genliklerde verimli sonuç elde edildiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen prototip ile maksimum güç dalga yüksekliği 5 cm ve periyodu 2,5 sn olması durumunda 7 nW olarak; maksimum verim dalga yüksekliği 2 cm ve periyodu 3 sn olması durumunda %9 olarak elde edilmiştir. Bu yüzden bölgenin yıllık ortalama dalga boyuna ve dalga yüksekliğine bağlı olarak tasarımın yapılması gerekmektedir. İleride bobinin sarım sayısı ve mıknatıs miktarı artırılarak daha büyük hacimli bir sistemin geliştirilmesi verimi önemli ölçüde artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Dalga, Enerji, Yenilenebilir Enerji, Verim

SUMMARY

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL OFFSHORE TYPE OF WAVE ENERGY CONVERTER

Energy needs are increasing with the rapidly rising population and developing technology day by day. Sustainability of energy resources has been one of the most important issues and problems of the world, from the past to the present day. Waves are renewable energy resources which is powerful and unlimited. This energy is obtained from the surface of the waves or from the wave's pressure under the surface. Surge is wind swinging movement that the wind makes on the surface of the water. Wave energy converter systems (WECS) produce energy by using the pressure resulting from this motion. More than 70% of the earth is covered with water. Therefore, the energy of the waves has the potential to meet 1/5 of the global energy demand. However, the wave's efficiency may vary from 10% to 35-40% in a wide range depending on geographical and wind conditions.

The objective of this study is to create the prototype design, production and power conversion system of the wave energy converter which can generate electricity from the wave energy with high potential. The power takeoff system used in the study uses the movements in the wave surface to provide the circular movement of the shaft surrounded by magnets around its axis. As a result of this movement, a magnetic field is formed and electrical power is produced by sudden changes of current through coils wrapped around the container in which the shaft is located. This study is carried out in 13 different waveforms. The effects of these waveforms on efficiency, angular velocity and power are investigated. It is observed that efficient results are obtained from WECS for particular periods and amplitudes. In this study, maximum power as 7 nW in the case of the wave height is 5 cm and period is 2.5 s; maximum efficiency as 9% in the case of wave height is 2 cm and period is 3 s are obtained from the prototype developed. Therefore, the design should be done depending on the annual average wave period and wave height of the region. In the future, development of a larger volume system may significantly increase the efficiency by increasing the number of coil turns and the amount of magnet.

Key Words: Wave, Energy, Renewable Energy, Efficiency

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
1.GİRİŞ.....	2
1.1. Literatür Özeti.....	4
1.2. Dalga Enerjisinin Özellikleri	9
1.3. Dalga Enerji Dönüşüm Sistemleri	13
1.3.1. Zayıflatıcı.....	16
1.3.2. Nokta Emici	18
1.3.3. Salınan Dalga Dönüştürücü	19
1.3.4. Salınımlı Su Sütunu	20
1.3.5. Kütle Aşan (Overtopping)	20
1.3.6. Batık Basınç Diferansiyeli Dönüştürücü	21
1.3.7. Döner Kütle Dönüştürücü.....	22
2. MATERYAL VE METOT	2
2.1. Dalga Tankı	2
2.2. Dalga Enerji Dönüştürücünün İmalatı	26
2.3. Güç Dönüşüm Sistemi	31
2.4 Üretilen Güç Ve Dalga Enerjisi Hesabı.....	34
3. BULGULAR.....	37
3.1 Üretilen Dalga Modelleri.....	37
3.2. Üretilen Güç Değeri.....	45
3.3. Dalganın Sahip Olduğu Enerji Potansiyeli ve Sistemin Verimi	57
3.4. Açısız Hıza Bağlı Olarak Sistemin Torkunun Hesaplanması.....	59
3.5. Konuma Bağlı Olarak Üretilen Güç Ve Verimdeki Değişim	62

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	36
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	70



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması .	2
Şekil 1.2. Ocak ayı için aylık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m)	10
Şekil 1.3. Temmuz ayı için aylık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m)	11
Şekil 1.4 Yıllık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m)	11
Şekil 1.5. Dalga Profili .	12
Şekil 1.6. Konumlarına göre deniz tipleri.....	13
Şekil 1.7. DEDS'in hareket tipleri	16
Şekil 1.8. Zayıflatıcı	16
Şekil 1.9. Pelamis	17
Şekil 1.10. Mccape Dalga Pompası	17
Şekil 1.11. Nokta Emici	18
Şekil 1.12. OPT Tarafından Üretilen DEDS	18
Şekil 1.13. Salınan Dalga Dönüştürücü	19
Şekil 1.14. Oyster	19
Şekil 1.15. Salınımlı Su Sütunu	20
Şekil 1.16. Kütle Aşan (Overtopping)	21
Şekil 1.17. Dairesel Rampa Aşan DEDS	21
Şekil 1.18. Batık Basınç Diferansiyelli Dönüştürücü	22
Şekil 1.19. Arşimet Dalga Salınımı	22
Şekil 1.20. Döner Kütle Dönüştürücü	23
Şekil 1.21. Penguen DEDS	23
Şekil 2.1. Deney setinin şematik görünümü	25
Şekil 2.2. Deney Seti	25
Şekil 2.3. Elektronik devrenin şematik görünümü	26
Şekil 2.4. Gövdenin teknik resmi	27
Şekil 2.5. Rotorun teknik resmi	28
Şekil 2.6. Dalga enerji dönüşüm sisteminin teknik görüntüsü	28
Şekil 2.7. 3B Yazıcıdan üretilen gövde	29

Şekil 2.8. Dalga enerji dönüşüm sisteminin genel görüntüsü a) Kapağı açık sistemin izometrik görüntüsü b) Kapağı açık sistemin üstten görüntüsü c) Kapağı kapalı sistemin izometrik görüntüsü d) Kapağı kapalı sistemin üstten görüntüsü	30
Şekil 2.9. Sistemin su içerisindeki görüntüsü a) Önden görüntüsü b) Su altında kalan kısmının görüntüsü	31
Şekil 2.10. Konumlandırılmış mıknatıs konumları	33
Şekil 2.11. Plastiğe sarılı bobin	33
Şekil 3.1. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	37
Şekil 3.2. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	37
Şekil 3.3. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	37
Şekil 3.4. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	37
Şekil 3.5. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	38
Şekil 3.6. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	38
Şekil 3.7. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	38
Şekil 3.8. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	39
Şekil 3.9. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	39
Şekil 3.10. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	39
Şekil 3.11. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	40
Şekil 3.12. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	40

Şekil 3.13. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	40
Şekil 3.14. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	41
Şekil 3.15. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	41
Şekil 3.16. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	41
Şekil 3.17. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	42
Şekil 3.18. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	42
Şekil 3.19. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	42
Şekil 3.20. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	43
Şekil 3.21. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	43
Şekil 3.22. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	43
Şekil 3.23. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	44
Şekil 3.24. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	44
Şekil 3.25. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga.....	44
Şekil 3.26. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler	45
Şekil 3.27. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	46
Şekil 3.28. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	47

Şekil 3.29. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	48
Şekil 3.30. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	48
Şekil 3.31. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	49
Şekil 3.32. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	49
Şekil 3.33. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	50
Şekil 3.34. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	50
Şekil 3.35. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	51
Şekil 3.36. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	51
Şekil 3.37. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	52
Şekil 3.38. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	52
Şekil 3.39. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)	53
Şekil 3.40. Dalga yüksekliğine bağlı olarak efektif akım değerinin değişimi	53
Şekil 3.41. Dalga periyoduna bağlı olarak efektif akım değerinin değişimi	54
Şekil 3.42. Dalga yüksekliğine bağlı olarak efektif gerilim değerinin değişimi	54
Şekil 3.43. Dalga periyoduna bağlı olarak efektif gerilim değerinin değişimi	55
Şekil 3.44. Genel akım ve gerilim periyodunun dalga yüksekliğine göre değişimi	56
Şekil 3.45. Genel akım ve gerilim periyodunun periyoduna göre değişimi	56
Şekil 3.46. Dalga yüksekliğine bağlı olarak üretilen güç miktarındaki değişim	57
Şekil 3.47. Dalga periyoduna bağlı olarak üretilen güç miktarındaki değişim	57
Şekil 3.48. Üretilen güç ve dalganın sahip olduğu güç miktarının dalga yüksekliğine bağlı değişimi	58

Şekil 3.49. Üretilen güç ve dalganın sahip olduğu güç miktarının dalga periyoduna bağlı değişimi	58
Şekil 3.50. Dalga yüksekliğine bağlı verimin değişimi.....	59
Şekil 3.51. Dalga periyoduna bağlı olarak verimin değişimi	59
Şekil 3.52. Dalga yüksekliğine bağlı olarak açısal hızdaki değişim	60
Şekil 3.53. Dalga periyoduna bağlı olarak açısal hızdaki değişim.....	61
Şekil 3.54. Dalga yüksekliğine bağlı olarak tork değişimi.....	61
Şekil 3.55. Dalga periyoduna bağlı olarak tork değişimi	62
Şekil 3.56. Dalga yüksekliğine bağlı sistemin dalga üreticine olan uzaklığı.....	62
Şekil 3.57. Aynı dalga yüksekliğinde konumdaki değişimin üretilen güç miktarına etkisi	63
Şekil 3.58. Aynı dalga yüksekliğinde konumdaki değişimin verime olan etkisi	63

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Dalga formuna ve konumuna bağlı olarak birim alana düşen güç miktarı	3
Tablo 1.2. Santrallerin birim kuruluş maliyeti ve işletme maliyeti aralığı	4
Tablo 2.1. Jeneratör yapımında kullanılan malzemelerin avantaj ve dezavantajları	32
Tablo 3.1. Dalga özelliklerine göre üretilen efektif akım ve gerilim değerleri	46
Tablo 3.2. Dalga formuna bağlı açısal hız değeri	60



KISALTMALAR LİSTESİ

AWS	: Archimedes Dalga Salınım Sistemi
DEDS	: Dalga Enerji Dönüştürücü Sistem
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
J	: Joule
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
mA	: Miliamper
mV	: Milivolt
MW	: Megawatt
N.m	:Newton metre
nW	: Nanowatt
OPT	: Okyanus Güç Teknolojisi
OWC	: Salınlımlı Su Kolonu
TWh	: Terawattsaat
WEC	: Dalga Enerji Dönüşüm Sistemi

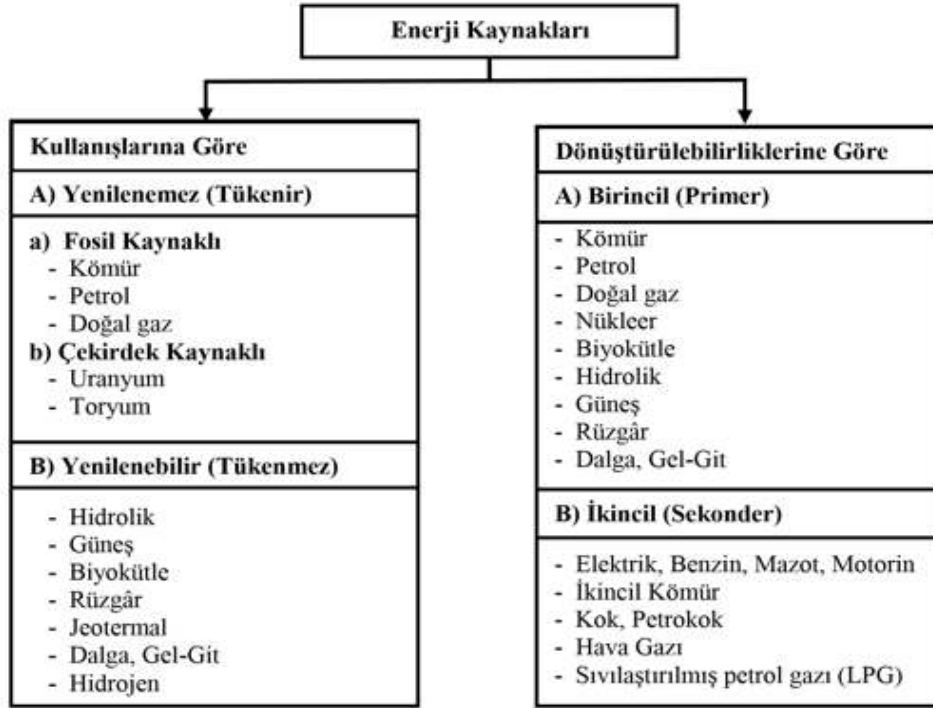
SEMBOLLER LİSTESİ

h	: Su derinliği [m]
L	: Dalga boyu
H	: Dalga yüksekliği
A	: Dalga genliği
η	: Su seviyesinden itibaren su yüzeylerinin düşey doğrultudaki değişimi
V_{DY}	: Dalga yapıcısındaki hacim oranı
S	: Dalga üreticinin genliği
h	: Su derinliği
V_{DT}	: Dalga tepesindeki hacim oranı
λ	: Dalga boyu
k	: Dalga sayısı
P_0	: Üretilen güç değeri [nW]
I_e	: Efektif akım değeri [mA]
V_e	: Efektif gerilim değeri [mV]
Φ	: Faz açısı
E	: Enerji [J]
ρ	: Yoğunluk [g/cm ³]
g	: Yerçekimi ivmesi [m/sn ²]
k	: Dalga numarası
P	: Dalganın sahip olduğu güç potansiyeli [kW/m]
H_m	: Maksimum dalga yüksekliği [m]
η	: Verim
T	: Tork [N.m]
W	: Açısal hız [devir/dakika]

1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji, iklim değışikliğı, küresel ısınma ve nüfus artışı fosil yakıtlarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle enerji ihtiyacının karşılanmasında tehlike oluşturmaktadır. Yeni enerji teknolojilerinin ticarileşme süreci ve bu konudaki yetersizliğı bu alanda yapılan çalışmalarının sayılarının artmasını gerektirmektedir. Dünyada enerji ihtiyacının %90'ı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların maliyetinin yüksek olması ve çevreyi kirletici etkileri göz ardı edilmekte ve yenilenebilir enerji kaynakları verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Ayrıca, gelecek zamanda tükenebilirliği de göz önünde bulundurulduğunda alternatif enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz olacaktır. Bu bağlamda, alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynakları daha da önem kazanmaktadır. Doğada var olan ve doğal süreçlerle yenilenen dalga, rüzgâr, güneş, jeotermal ve hidrolik enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir. Enerji doğada ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer olarak değışik şekillerde mevcuttur. Kinetik, potansiyel, ısı, nükleer, güneş, mekanik vb. enerji türlerinin çeşitleri birbiri içerisinde dönüşüm yapılarak farklı alanlarda kullanılabilir [1].

Enerjiyi farklı formlarda depolayan enerji kaynakları ekonomik açıdan elverişliliğı sağlayabilmek için birçok kategoride sınıflandırılmıştır. Kullanıldığı yere bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir. Şekil 1.1'de enerji kaynaklarının sınıflandırılma şeması görülmektedir [2]. Ömürleri sınırlı olan ve gelişen teknolojiyle daha erken tüketileceğı düşünülen yenilenemez enerji kaynakları, fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak doğada bulunan güneş, rüzgâr, dalga gibi çok yüksek enerji potansiyeline sahip kaynaklar ile sınırsız kullanılabilir enerji potansiyeli kazandırabilecek çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [2].



Şekil 1.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması [2].

Gelecekte, yenilenemez enerji kaynaklarına alternatif olarak doğada bulunan ve çok yüksek enerji potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kaynakları yer alırken gerek iş yükünden kaçmak gerek bu konu hakkında yeterli çalışmanın yapılmaması yenilenemez enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açacaktır.

Yenilenebilir enerji santralleri kurulurken yapılan tasarım sistemin verimliliğini etkilemektedir. Sistemin enerji elde ederken olabildiğince az enerji harcaması ile verimliliğin artırılması hedeflenmektedir. Örneğin, kurulan bir rüzgâr santralinde türbinin kanatlarının büyüklüğü orada bulunan rüzgâr potansiyeline göre belirlenmelidir. Aksi takdirde ekonomik açıdan yüksek bir kayıp olması istenilen verimin alınamaması ile sonuçlanabilir. Güneş enerji sistemleri çok yüksek bir ilk yatırıma ihtiyaç duymakla birlikte kullanılabilir enerjiye dönüşüm süresi uzun bir zaman dilimine yayılmaktadır. Baraj ve termik santral kurulumları çok büyük yatırımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu santrallere kıyasla bakıldığında dalga enerjisi dönüşüm santrallerinin maliyetleri daha kabul edilebilir düzeydedir. Denizdeki dalgaların sahip olduğu mekanik enerjiden verimli bir şekilde kullanılabilir enerji elde edilirse sistem ekonomik açıdan da diğer yenilenebilir enerji santrallerine kıyasla daha verimli olabileceği öngörülmektedir.

Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması ve dalgaların sahip olduğu yüksek enerji potansiyelinin kullanılamaması bu alanda yapılan çalışmaların artırılmasını gerektirmektedir. Delaware Üniversitesi tarafından yapılan dalga-enerji hesaplamalarına göre okyanuslarda meydana gelen dalga ve Karadeniz ile Akdeniz'de yapılan ölçümlere göre birim alana yayılan denizdeki dalga enerjisi miktarları Tablo 1.1'de gösterilmiştir [3].

Tablo 1. 1. Dalga formuna ve konumuna bağlı olarak birim alana düşen güç miktarı [3]

Bölge	Dalga Yüksekliği (m)	Dalga Periyodu (sn)	Deniz Derinliği (m)	Güç (kW/m)
Karadeniz	1,25	4,0	50	1,92
Akdeniz	1,30	6,0	50	2,06
Okyanus	10	10	100	122
Okyanus	20	15	200	485

Fosil yakıtlardan yıllık ortalama 65 TWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu nedenle fosil yakıtlar hızla tükenmektedir [4]. Çizelgeden görüleceği üzere sadece okyanuslardaki değil, denizlerdeki dalga enerjisi de fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji potansiyeline sahiptir.

Öz kütlesi sudan küçük bir kütleyi su içine batırırken ya da öz kütlesi sudan büyük bir kütleyi suyun yüzeyine taşımaya çalışırken harcanan gücün büyüklüğü dalganın sahip olduğu güç hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayabilir. Denizlerdeki bu hareket doğru teknoloji kullanılarak kinetik enerji olarak DEDS'in yapısında bulunan mekanizmayı harekete geçirir ve bu hareket kullanılarak elektriksel güç elde edilir.

Hidroelektrik santrallerde durgun 10000 kg suyun 30 metreden aşağı dökülerek kazandığı kinetik enerji, 1 metre dalga yüksekliğine sahip denizde bir dönüşümünden az alanda elde edilebilir [3]. Verilen örneklerden ve açıklamalardan yola çıkılarak DEDS kullanılarak dalga santrallerinin kurulması ile düşük potansiyele sahip dalgalardan bile küçümsenmeyecek miktarda enerji elde edilebileceği sonucuna ulaşılabilir. Bu durum yenilenemez olan enerji kaynaklarına olan bağlılığın azalması noktasında fayda sağlayacaktır [3].

Doğal yenilenebilir enerji kaynaklarının kuruluş maliyetinin ve işletme maliyetinin yer aldığı Tablo 1.2’de dalga elektrik santrallerinin sadece kuruluş maliyetinin olduğu ve işletme maliyetinin yok denecek kadar küçük tutarlarda olduğu görülmektedir. DEDS kurulum maliyetinin yanı sıra düşük miktarda işletme maliyeti ile sınırsız kullanılabilir enerji elde edilmesine imkan sağlar [3].

Tablo 1. 2. Santrallerin birim kuruluş maliyeti ve işletme maliyeti aralığı [3].

Santralin Cinsi	Kuruluş maliyeti (\$/kW)	İşletme maliyeti cent /kWh
Termik Santraller	1200-1300	4,80-5,50
Doğal Gaz Santralleri	500-600	3,90-4,40
Biyokütle	-	5,80-11,60
Rüzgar Santralleri	1100-1300	4,00-6,00
Güneş Pili	3000-6000	25,00-100,00
Nükleer Santraller	3500-4000	11,40-14,50
Hidroelektrik Santraller	800-1000	5,10-11,30
Dalga Elektrik Santralleri	600-2000	0,60-1,50

Dalganın sahip olduğu enerji dünyadaki enerji ihtiyacının % 20 sini karşılayabilecek potansiyeline sahiptir. Ayrıca maliyet olarak da sadece ilk yatırıma ihtiyaç duyması dalga enerjisi çalışmalarında artışı sağlamıştır. Dalga enerjisinin avantajları kadar uygulamada karşılaşılan dezavantajları da vardır. Dalga enerjisi ile elektrik üretebilmek için her dalga boyuna göre sıfırdan bir tasarım yapmak gerekir. Dalga enerjisi sistemleri uygulanırken karşısına pek çok sıkıntılı bölgeler çıkabilmektedir. Bunlar gemi rotaları (güzergâhları), askeri tatbikat alanları, balık avlanma sahaları ve deniz altından giden kablolar gibi. Eğer bunlara dikkat edilmezse, çok büyük sorunlar ortaya çıkabilmektedir [5].

1.1. Literatür Özeti

Enerji ihtiyacı gelişen teknolojiye ve artan nüfusa bağlı olarak gün geçtikçe artmakta ve büyük bir problem haline gelmektedir. Yenilenemez enerji kaynağı olan fosil yakıtlar çevreye zarar vermekle birlikte enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır. Buna bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili araştırmalara başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan dalga enerjisini faydalanabilir enerji kaynağı haline getirebilmek için son zamanlarda çeşitli tasarımlar yapılmıştır.

Bu bölümde iki aşamalı olarak literatür taraması yapılmıştır. Birinci aşamada DEDS prototiplerinin geliştirilebilmesine imkan sağlayan dalga tanklarının üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada ise DEDS ile ilgili deneysel ve sayısal çalışmalara yer verilmiştir.

Dalga tanklarını birbirinden ayıran yegâne özellik dalga üretim şeklidir. Dalga tankı içerisinde dalga üretimi yapan sistemler, dalga üretici olarak adlandırılır. Yaygın olarak kullanılan dalga üretici modelleri piston, çırpma, kama, yılan, kama kesitli tulumba tipidir.

Belgin sayısal olarak yılan tipi dalga üretici tasarlayarak çok yönlü dalgalar üretmiştir. Yapılan tasarım piston tipi dalga üreticiyle karşılaştırarak yeterli doğrulukta çalışıp çalışmadığı belirlenmiş ve farklı noktalarda farklı dalga karakteristiğinde dalgalar üretilebilmiştir. Fakat açılı dalga karakteristiklerinde bozulmalar olduğu sonucuna varılmıştır [6].

Mikkola kama kesitli tulumba tip dalga üretici üzerinde çalışarak kama kesiti dikliğinin dalga parametrelerini nasıl etkilediği üzerine çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada 25° , 35° , 45° dikliğe sahip kamalar kullanılmıştır. Açı değeri arttıkça dalga boyunun arttığı gözlenmiş fakat her dalga boyu için yeni bir periyot belirlenmiştir. Bu dalga boyu arttıkça bozulmalar oluşmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmada istenilen karakteristiğe en yakın dalga üretimi için en uygun açı 35° olarak belirlenmiştir [7].

Patel ve Ionnaou kama tipi ve çırpma tipi dalga üreteçleri arasında karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan karşılaştırmada kama tipi jeneratörlerde deneysel ve teorik arasında uyumsuzluklar gözlenmiştir. Kamayla zemin arasındaki sızdırmazlığın önlenmesi mümkün olmadığı düşünülmüştür. Yapılan çalışmada verimli bir dalga üreticinde kenar sızıntı etkilerinin ve dalganın gelen yansımalarının minimuma indirilmenin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Çırpma tipi dalga üreticinde ise bu koşullar altında teorik ve deneysel arasında mükemmel bir uyum yakalanmıştır. Kenar sızıntıları için esnek su geçirmez membran kullanılmıştır [8].

DEDS üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlar kıyı şeridi uygulamaları, yakın kıyı tipi uygulamalar ve açık deniz tipi uygulamalarıdır.

Kıyı şeridi uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır. Yakın kıyı tipi doğrudan tahrikli DEDS çalışmaları ticarileşmemiş ve az sayıdadır. Doğrudan tahrikli DEDS'in yakın kıyı tipi olarak kullanımında yüksek miktarda enerji elde edilememektedir. 40 m'den daha derin sularda yüksek dalga rejimleri için kıyıdan uzak dönüşüm sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde enerjinin iletimi için sadece uzun elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yakın kıyı tipi DEDS'in, 15-25 m su derinliklerine kadar uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler genellikle dalga enerjisini kıyıya pompalamak için kullanılırlar. Oyster olarak adlandırılan DEDS yakın kıyı tipi uygulamalar arasında yer almaktadır. Deniz tabanına paralel şekilde konumlandırılan levha, salınım hareketi yaparak hidrolik pistonları tahrik etmektedir. Hidrolik pistonla bağlı uzun boru hatlarıyla hareket kabiliyeti kıyıda yer alan türbine aktararak elektrik enerjisi üretilmektedir [9].

Youssef ve arkadaşları küçük bir prototip ile 3 Watt'lık enerji üretmişlerdir. Yapılan tasarımda iki adet kremayer pinyon ikilisi kullanılarak ileri ve geri dönüş için iki farklı hareket elde edilmiştir. Gelen iki yönlü hareket vites kutusundan geçirilerek tek tekerleğe aktarılmıştır. Oluşan dönme hareketi ile bir jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmüştür [10].

Singh ve arkadaşları açık deniz uygulamalarında zemine sabitlenmiş çubuklara bağlı şamandıralardan oluşan bir sistem tasarlamışlardır. Şekil olarak açık deniz tip uygulamalarda fazla hasar görmeyeceği ve şamandıra tipi sistemle kolayca dalganın hareketini kavrayabileceği için uygun görülmüştür. 15 kW enerji elde edilmiştir [11].

Wan ve arkadaşları iki yenilebilir enerji kaynağı olan dalga enerjisi ve rüzgâr enerjisini aynı anda kullanılabilir enerjiye dönüştürebilecek spar torus kombinasyonu adında bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistemin uzunluğu 260 m genişliği 10,30 m olup 1:50 oranında küçülterek bir prototip tasarlamışlardır. Analizler için dalga yüksekliği 2-9 m periyodu 9-23 sn olan düzenli dalgalar oluşturulmuştur. Bu koşullar altında sistemin 100 kW – 1 MW arasında güç üretebileceği sonucuna varılmıştır [12].

Liu ve arkadaşları deneysel olarak dairesel rampa aşan DEDS tasarlamışlardır. Deneysel çalışma için 1:16 oranında küçültülmüş bir prototip üretimini gerçekleştirmişlerdir.

Tank uzunluğu 60 m genişliği 36 m derinliği 1,5 m olan bir sistemde testler gerçekleştirilmiştir. Dairesel rampanın üzerine konumlandırılmış kanatçıklar sayesinde su rampayı aşarak rezervuara boşalmaktadır [13].

Joe ve arkadaşları şamandıra tipi DEDS için dalga kuvvetinden maksimum şekilde faydalanabilecek robotik bir sistem tasarlamışlardır. şamandıranın altına yerleştirilen türbini kendi kendini doğrultan düşük devirli yüksek torklu jeneratörden oluşmaktadır. Bunun için 0,3 x 1 x 0,003 m ebatlarında bir prototipi 3 m² bir alanda gezdirip 10,1 W'lık enerji elde etmişlerdir [14].

Tom ve arkadaşları ise salınımlı DEDS olarak değişken geometriye sahip bir tasarım gerçekleştirmişlerdir. Yapılan tasarımda dalganın frekans değişimine göre cihazın hidrodinamik özellikleri eşleştirilip optimum güç çıkışı elde edilmiştir [15].

zkop ve Altas yaptıkları derleme çalışmasında DEDS teknolojilerinin durumunu farklı bir bakış açısıyla tanımlamayı amaçlamışlardır. DEDS'e dayanan geçmiş çalışmalar, son 20 yılda DEDS teknolojilerinin performansını, verimliliğini ve gelişimini açıkça ortaya koymak için DEDS bileşenleri ile ilgili derinlemesine incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Dalga enerjisi dönüştürücü ve jeneratör hareketi eşitleri, kontrol yöntemleri ve güç elektroniği dönüştürücüsü gibi bir DEDS'in münferit bileşenlerinin birbirleriyle yakın ilişkisi olduğu ve diğerlerinden ayrı olarak tek bir bileşenin optimize edilemeyeceğini belirtmişlerdir. DEDS teknolojilerine dayalı çalışmaların; DEDS, jeneratörler, kontrol yöntemleri, dalgalar ve güç elektroniği türleri ile ilgili olarak tartışılabilmesi için, DEDS teknolojileri geliştirme sürecinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak tanımlayıcı parçalara bölünmesinin faydalı olabileceğini ifade etmişlerdir [16].

Sergiienko ve arkadaşları yaptıkları çalışmada su yüzeyinde yüzer şekilde ve su içerisine konumlandırılmış DEDS'leri kıyaslamışlardır. Su yüzeyindeki dönüştürücülerin g üretim miktarı su altındakilerden yüksektir. Dönüştürücülerin g performansının, suyun ortalama yüzey seviyesine yakınlığı ve gövde şekli ile doğrudan bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [17].

Ghasemi ve arkadaşları dalga enerjisi dönüştürücülerini Sayısal Dalga Tankı (SDT) içerisinde modellemişlerdir. Çırpıcı ve piston tipi dalga üreteçlerini kullanmışlardır. İki tip üreteçte de sonuçlar benzer olmuştur. Üretecin hareketi, g çıkış miktarı ve verimliliğini hesaplamışlardır [18].

So ve arkadaşları yaptıkları çalışmada açık kaynak kodlu DEDS Simülatörü (Wec-Sim) kullanarak, Columbia Power Technologies ürünü SeaRay dönüştürücüsünü 1:7 oranında modellemişlerdir. Modellerini deneysel verilerle karşılaştırarak farklı pozisyon, hız, tork ve güç değerleri için farklı hata oranlarında doğrulamışlardır [19].

Bhinder ve arkadaşları, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerini kullanarak dalga enerjisi üretim sistemlerine akışkan kuvvetlerinin etkisini bulmuşlardır. Akışkan ortam içerisinde zamana bağlı olarak sistemin veriminin etkiyen kuvvetlerle olan bağlantısı incelenmiştir [20].

Rhinefrank ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Columbia Power Technologies tarafından geliştirilen yeni bir nokta soğurucu DEDS ile ilgili sayısal analiz ve ölçekli dalga tankı testleri ortaya koymuşlardır. DEDS'in performansını değerlendirmek için hidrodinamik modelleme araçları kullanılmıştır. Performans ve bağlama tahminleri tam ölçekte değerlendirilerek optimize edilmiş ve sonrasında 1:33 ölçekli bir fiziksel model geliştirilmiştir. 1:33 ölçekli DEDS modelinin fiziksel testleri, Oregon Devlet Üniversitesinin çok yönlü dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir [21].

Dalgaların oluşumunda zaman zaman periyot değişiklikleri oluşmaktadır. Bu periyot değişiklikleri çıkış gücünde de dalgalanmalara neden olmaktadır. Do ve arkadaşları bu dalgalanmanın önüne geçebilmek için çoklu nokta emici DEDS tasarlamışlardır. Farklı noktalarda oluşan hareketten faydalanarak çıkış gücündeki stabilizasyonu sağlamışlardır. Yapılan bu tasarım hem deneysel hem sayısal sonuç elde edilerek deneysel sonuçlarda verim yüzde 27,3 elde edilmiştir [22] .

Elhanafi ve arkadaşları ise çalışmalarını 1:50 oranında geliştirdikleri salınlı su sütunu tipi DEDS üzerinde yapmışlardır. DEDS'i farklı dalga yüksekliği ve periyodunu kullanarak sabit ve yüzen salınlı su sütunu olarak karşılaştırmışlar ve su üzerinde sabit bir şekilde kalabilmesi için halatlar kullanmışlardır. İki sistem için verimliliğini kıyaslayarak sabit sistemin verimliliği düşürdüğü sonucuna varmışlardır [23].

Kim ve arkadaşları ise iki yüzen şamandırayı iç içe konumlandırarak elektrik enerjisi üretmişlerdir. Kalıcı mıknatıs ve bobin kullanarak sistemin jeneratörünü tasarlamışlardır. Kalıcı mıknatıs olarak neodyum mıknatıs kullanmışlardır. 110 m uzunluğunda 3,5 m derinliğine sahip bir tanktan maksimum 0,33 W enerji elde etmişlerdir [24].

Tez çalışmasında farklı periyot ve genlikte dalgalar deneysel olarak dalga tankında üretilmiştir. Yüksek potansiyele sahip dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretilebilecek dalga enerji dönüştürücüsünün prototip tasarımı, üretimi ve güç dönüşüm sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan güç dönüşüm sistemi dalga yüzeyindeki hareketleri, mıknatıslarla çevrili milin kendi eksenine etrafında dairesel hareketini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu hareket sonucu manyetik alan oluşmaktadır ve milin içinde bulunduğu haznenin etrafına sarı bobinler vasıtasıyla akımın ani değişimleri ile elektrik gücü üretilmektedir.

1.2. Dalga Enerjisinin Özellikleri

Yenilenebilir enerji, güneş, dalga ve jeotermal gibi doğal enerji kaynaklarından elde edilir. Bu enerji kaynakları tükenmez olup sürekli olarak yenilenirler. Dalgalar okyanus ve deniz yüzeyinden esen rüzgârlar tarafından oluşturulur. Dalga enerjisi, gezegenimizin yaklaşık dörtte üçünün suyla kaplı olması nedeniyle büyük bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin gelişmiş teknolojisi ile karşılaştırıldığında, dalga enerjisinden yararlanma teknolojisi çok yeni değildir. Fakat verimli DEDS geliştirilememiştir. Bunun dalga hareketlerinin rastgele hareketlere sahip olmasından ve karmaşık okyanus/deniz ortamından kaynaklandığı söylenebilir [25]. Enerji yoğunluğu açısından, dalga enerjisi rüzgâr enerjisinden 4-30 kat daha fazladır [26]. Dalga enerjisinin birçok avantajı olduğu gibi uygulamada karşılaşılan birçok dezavantajı da bulunmaktadır [27].

Dalga enerjisinin avantajları:

- Sonsuz ve yüksek güç potansiyeline sahip olması
- İşletme maliyetinin çok küçük olması ve bu nedenle sadece yatırım maliyetine ihtiyaç duyması
- Çevreye zarar vermemesi
- Şebekenin olmadığı uzak alanlara elektrik iletimi ve özellikle deniz ortamında elektrik ihtiyacını karşılaması
- Bazı yerlerdeki dalga uygulamaları dalyan görevi görerek denizdeki ekolojii korumaktadır.

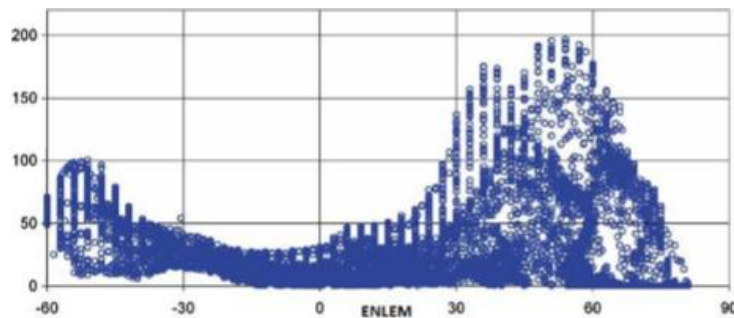
Dalga enerjisinin dezavantajları:

- Dalga özellikleri çevre şartlarına bağlı olarak değişebildiği için her dalga boyuna uygun geometri tasarlanamamaktadır. Diğer bir deyişle her dalga formuna uygun tasarım yapılarak dalganın sahip olduğu mekanik enerjinin en verimli şekilde emilmesi gerekmektedir.
- Dalganın bulunduğu çevre şartları gemilerin geçtiği alanlar, askeri olaylar, balık çiftlikleri dikkat edilmesi gereken noktalardır.

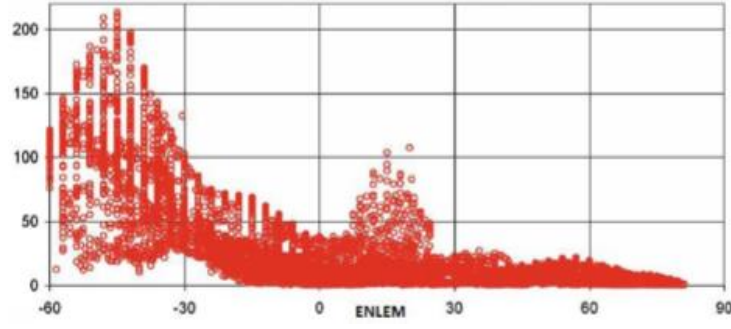
Deniz dalgalarının oluşmasında birçok etken vardır. Dalga tipleri, formuna ve etkileyen parametreye bağlı olarak farklı şekilde adlandırılmıştır. Bu dalga tipleri uzun periyotlu dalgalar, gel-git dalgaları, tsunami, rezonans dalgaları, ender dalgaları ve soluğan dalga isimleriyle bilinirler.

Gel-git dalgaları suyun altında güneşin ve ayın günlük ve aylık hareketine bağlı olarak oluşur. Tsunami denizin herhangi bir kısmında oluşan deprem gibi yer altı hareketleri sonucu oluşan dalgalardır. Göller, kapalı denizler ya da körfezler gibi küçük su kütlelerinin bulunduğu yerlerde bazen oluşan küçük dalgalar rezonansa girerek yüksek periyotlu dalgalara dönüşür. Açık denizlerde yaygın olarak görülen soluğan tipi dalgalar ise fırtınalar sonucu ortaya çıkarak kıyıya kadar etkisini gösterir. Ender tip dalga, soluğan dalgalar gibi fırtına sonrası oluşur fakat iki dalganın birleşimi sonucu oluştuğu için düzensizdir. Dalga enerji girişi $0,1-0,01 \text{ W/m}^2$ arasındadır [28].

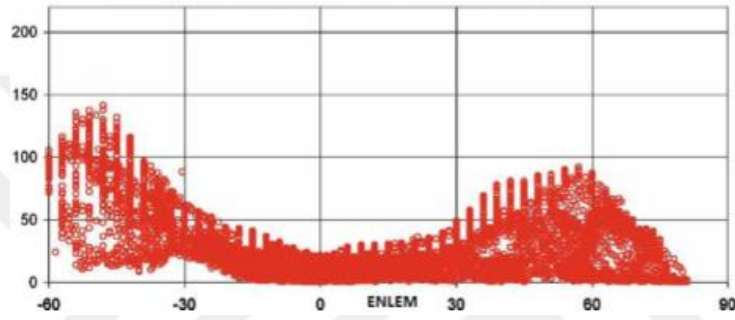
Dalğanın taşıdığı güç potansiyelinin diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında 10-15 kat daha fazla olduğu bilinmektedir. Şekil 1.2, 1.3 ve 1.4’de enlemlere göre dalganın taşıdığı güç potansiyelinin ocak, temmuz ve yıllık ortalama değerleri yer almaktadır [1].



Şekil 1.2. Ocak ayı için aylık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m) [1].



Şekil 1.3. Temmuz ayı için aylık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m) [1].



Şekil 1.4 Yıllık ortalama güç yoğunluğunun dağılımı (kW/m) [1]

Dalga enerji dönüştürücü sistem tasarımlarının geometrik yapısı ve sistem üzerine etki eden dalgaların özellikleri elde edilen güç miktarını doğrudan etkilemektedir. Dalga modelleri oluşturulurken temel parametreler dalga yüksekliği, dalga periyodu ve su derinliğidir. X eksenini yönünde ilerleyen basit bir dalgaya ait dalga profili Şekil 1.5'te gösterilmiştir [29].

Dalga formunu belirleyen dalga değişkenleri:

- “h” su derinliği (taban ile su yüzeyi arası uzaklık),
- “L” dalga boyu (ardışık iki tepe veya çukur arası uzaklık),
- “H” dalga yüksekliği (tepe ile çukur arası uzaklık),
- “A” dalga genliği (tepe ile su yüzeyi arası uzaklık),
- “ η ” herhangi bir anda ortalama su seviyesinden itibaren su yüzeylerinin düşey doğrultudaki değişimlerini ifade etmektedir.

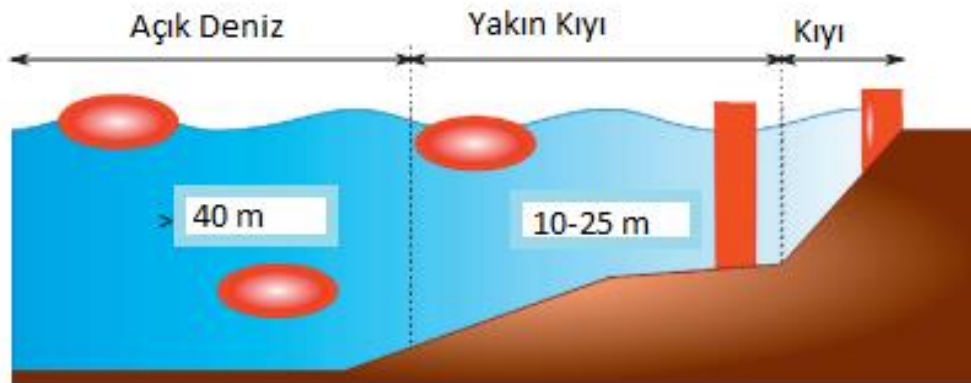
Kaldı ki daha önce bu çalışmaların yeterince yapılmaması nedeniyle birçok dönüştürücü sistemin dalga etkileri yüzünden kullanılmaz hale geldiği, hasar gördüğü literatürde yer almaktadır.

İdeal bir dönüştürücü sistemi rastgele değişimler gösteren enerji verilerini kabul edebilen, dalga yönündeki olumsuzluklardan fazla etkilenmeyen, kısa süreli bir depolama kabiliyeti ile enerji düzeyindeki değişimleri karşılayabilen ve ayrıca tasarım düzeyinin çok üzerinde çıkabilecek enerji girdilerine de direnç göstererek bu durumlarda dönüştürme verimini kademeli olarak azaltabilecek özelliklere sahip olmalıdır. DEDS kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana parametreleridir. Dalga enerjisinin bir avantajı da, her dalga yüksekliğinde enerji üretilebilmesidir [9].

1.3. Dalga Enerji Dönüşüm Sistemleri

DEDS'yi etkileyen birçok parametre vardır. Dalga emilim yönleri, güç dönüşüm sistemleri, konumları, çalışma prensipleri gibi birçok konu DEDS'in verimliliğinde önemli bir etkiye sahiptir. Fakat genel olarak DEDS'de en önemli faktör konumlarıdır.

Konumlarına göre DEDS kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi olarak üç bölüme ayrılmaktadır. Kıyıya olan uzaklıklarına bağlı olarak yapılan tanımlamalar Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Konumlarına göre deniz tipleri

Kıyı tipi uygulamalar genellikle kıyıya ya da deniz tabanına sabitlenmiş şekilde bulunurlar. Bakımı ve onarımı diğer uygulamalara göre oldukça kolaydır. Fakat kıyıya yakın dalgalar küçük ve düzensiz olduğu için yeterince verimli değildir.

Ticari amaçlı olarak salınımlı su sütunu, daralan kanal sistemi ve sarkaç tipi olarak üç yaygın sistem kullanılmaktadır. Kıyı tipi uygulamalarda kullanılan bu sistemler için su bir hazneye doldurulmuş, deniz seviyesinin altında yer alan kapak, akıntının etkisiyle hareket ettirilmiş ya da dar bir alanda gelen dalganın yükselmesi gibi suyun sahip olduğu basınç kuvvetini artırmaya yönelik tasarımlar yapılmıştır. Bu sistemlerde dalga boyunun yanı sıra su kütlesinin sahip olduğu basınç ve sudaki akıntı sistemlerin tasarımında etkili olmuştur [30,31].

Yakın kıyı tipi uygulamalarda kıyıdan uzaklaşıldığı için dalga boyunda artış olmuş ve genellikle ticari amaçlı olarak kurulan sistemlerde şamandıralar kullanılmaya başlanmıştır. Şamandıranın dalganın alçalıp yükselmesine bağlı olarak oluşturduğu mekanik enerji kıyıya veya deniz tabanına kurulan güç dönüştürücüler ile kullanılabilir enerjiye dönüştürülmüştür. Danimarkalı dalga şamandırası ve dalga motoru enerji dönüşüm sistemi yakın kıyı tipi uygulamalarda yapılan tasarımlardan en yaygın olanlarıdır [32].

Açık denizlerde dalganın geri yansımaya neden olacak yapılar olmadığı için genellikle düzenli dalgalar oluşmaktadır. Ayrıca açık denizlerde su derinliğinin 40 m'nin üzerinde olması yerçekiminin etkisini azaltmaktadır. Bu sebeple su üzerinde rüzgârın etkisi oldukça fazla hissedilmekte ve gelen rüzgâra bağlı olarak dalga yüksekliği artmaktadır. Buradaki dalgaların hem çok yüksek bir güce sahip olması hem de düzenli olması bu alanda yapılan çalışmaların artmasını sağlamıştır. Fakat açık deniz tipi uygulamaların dezavantajı elektrik enerjisini iletebilmek için uzun elektrik kablolarına ihtiyaç duyması ve bakım ve onarımının bulunduğu konuma bağlı olarak oldukça güç olmasıdır. Bu sebeple başlangıçta sistem kurulurken basit ve bakım ve onarıma ihtiyaç duymayan sistemlerin kurulması gerekmektedir. Son yıllarda özellikle açık deniz tipi DEDS' lerde doğrudan enerji dönüşümü gerçekleştirilmekte ve uzun elektrik kablolarıyla kıyıya elektrik taşınmaktadır [33].

Amerika Birleşik Devletlerindeki Okyanus Güç Teknolojisi (Ocean Power Technology-OPT) tarafından geliştirilen su üzerindeki yüzer şamandıralar DEDS'in içerisindeki silindirleri yukarı aşağı hareket ettirerek elektrik enerji dönüşümünü

gerçekleştirmektedir. Sistem deniz tabanın uzun halatlarla sabitlenmiştir. Sistemden 1,39 MW boyutunda enerji üretilebilmiştir [34].

Açık denizlerde yaygın olarak kullanılan bir diğer tip ise Pelamistir. Bu sistem uzaktan kumanda ile kontrol edilebilmektedir. Ayrıca bakım ve onarıma ihtiyaç duymamaktadır. 140 m uzunluğunda 3,5 m çapında tasarlanan sistemden 750 W enerji üretilmiştir. Tüm silindirlerden elde edilen enerji ise tek bir elektrik kablosu ile deniz kıyısına taşınabilmektedir [35].

Wave Dragon isimli DEDS dalganın sahip olduğu potansiyel enerji kullanarak enerji üretmektedir. Gelen dalga deniz seviyesinin altında bulunan bir rezervuara düşürülerek türbinin kanatlarına uyguladığı basıncın etkisiyle döner hareket oluşturmaktadır. Bu döner hareketten jeneratör yardımıyla enerji üretilmektedir [36,37].

Büyük Balina DEDS ise dalganın yükselmesiyle içerisinde bulunan havayı sıkıştırmaktadır ve sıkışan havanın etkisiyle türbinin kanatlarındaki basınç artışı döner hareket elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sistemden 120 kW enerji üretilebilmiş ve 50 yıl oluşan fırtınalara dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Açık deniz tipi uygulamalar yaygın olarak kullanılan tasarımlar çeşitlendirilebilir.

Yapılan tasarımlarda bulunduğu bölgedeki dalgaya bağlı olarak yüksek miktarda güç üretilebilmiş ve enerji ihtiyacının büyük bir bölümü dalga enerjisinden karşılanmıştır.

Kurulabilme kolaylığı ve enerji dönüşüm potansiyeline göre DEDS'yi kıyaslayacak olursak aşağıdaki gibi bir tanımlama yapabiliriz.

- Kurulabilme Kolaylığı

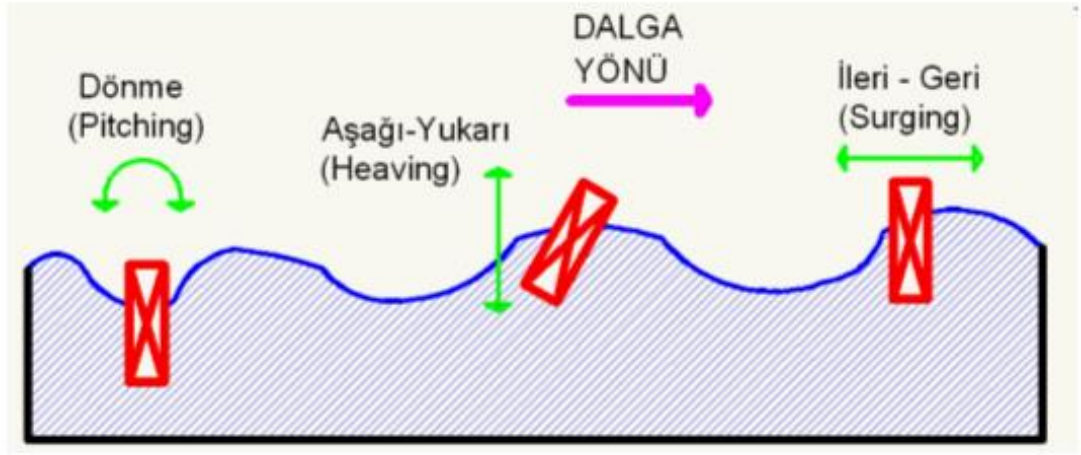
Kıyı Tipi>Yakın Kıyı Tipi>Açık Deniz Tipi

- Enerji Dönüştürme Potansiyeli

Açık Deniz Tipi>Yakın Kıyı Tipi>Kıyı Tipi

Denizin üzerinde yüzer konumda olan DEDS üç ekseninde hareket eder. Aşağı yukarı, ileri geri ve dalgaya paralel olarak dönme hareketi gerçekleştirilir. Şekil 1.7'de DEDS' in hareket tipleri yer almaktadır. Yapılan tasarımlar genellikle bu üç harekette her dalga formunda sürekli hareketi sağlayarak elektrik üretimi üzerinde durulmuştur. Dalgadan elde edilen mekanik, kinetik ya da potansiyel enerji türü güç dönüşüm sisteminin seçiminde büyük rol oynamaktadır.

Dalganın gücünün maksimum düzeyde emiliminin üzerinde tasarımın büyük rolü vardır. Yapılan tasarımın geniş periyot aralığına uygun tasarlanarak her dalga formu için maksimum düzeyde emilim gerektirmektedir.



Şekil 1.7. DEDS'in hareket tipleri [1].

Ticari amaçlı kullanılan DEDS'de dalga potansiyelini maksimum şekilde yakalayabilmek için farklı tipler geliştirilmiştir. Bu tasarımlardan en yaygın olanı ve ticari amaçlı kullanılıp yüksek enerji potansiyeline sahip olan DEDS'den bu bölümde kısaca bahsedilmiştir.

1.3.1. Zayıflatıcı

Zayıflatıcı şamandıra tipi olarak birbirine bağlı sistemlerden oluşmaktadır. Uzunluğu boyunca dalgayı kavrayıp dalgayla aynı doğrultuda bir hareket sergilemektedir. Bu tasarımı en uygun şekilde Pelamis ve MCCAPE dalga pompası sergilemektedir. Şekil 1.8'de zayıflatıcının genel görüntüsü ve hareket yönü gösterilmektedir.

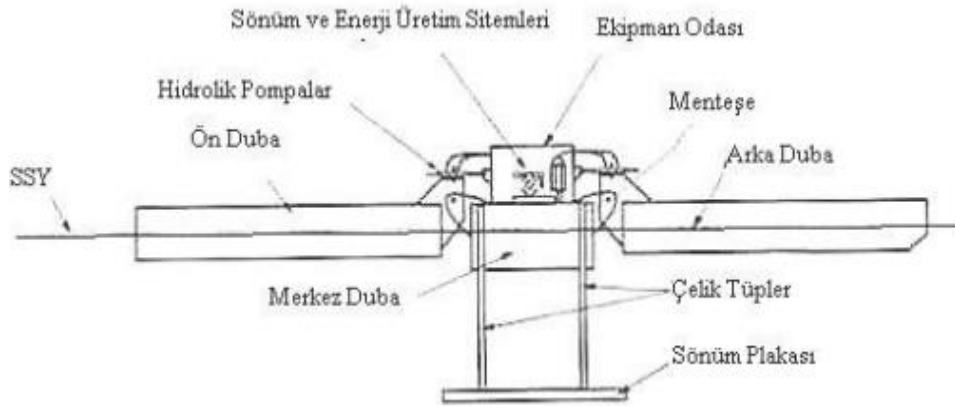


Şekil 1.8. Zayıflatıcı [37].

Pelamis birbirine bağlı uzun silindirlerden oluşmaktadır. Eklem yerlerinde hareketli olan sistem bir yılanı andırmaktadır. Silindirlerin hareketi içerisinde bulunan yüksek basınçlı yağı hareket ettirmekte buda hidrolik pompayı tahrik etmektedir. MCCAPE dalga pompası ise birbirine menteşelenmiş üç adet dikdörtgen plakadan oluşmaktadır. Enerji menteşedeki hareketin hidrolik tulumbaya aktarılması ile sağlanmıştır. şekil 1.9 ve 1.10’da Pelamis ve MCCAPE dalga pompasının görüntüsü yer almaktadır.



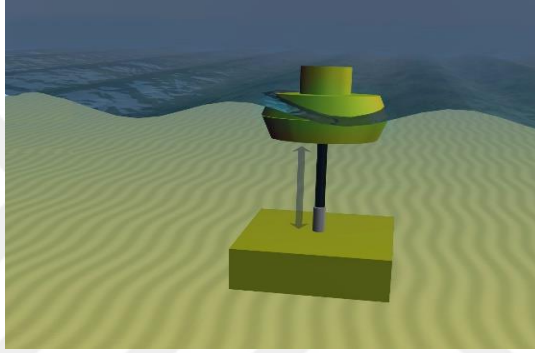
şekil 1.9. Pelamis [9].



şekil 1.10. Mccape Dalga Pompası [9].

1.3.2. Nokta Emici

Nokta emici olarak genellikle şamandıra kullanılmaktadır. Şamandıralar su yüzeyinde istenilen yönde hareket edebilmektedir. Büyükleri dalganın yapısına göre değişmektedir. OPT tarafından geliştirilen DEDS bu sistem üzerine kurulmuş olup şamandıranın hareketi hidrolik yağı jeneratöre pompalamaktadır. Şekil 1.11’de nokta emici tip DEDS’in hareket yönü yer almakta, Şekil 1.12’de ise nokta emici olarak tasarlanan okyanus güç teknolojisinin ürettiği ticari amaçlı kullanılan DEDS yer almaktadır.



Şekil 1.11. Nokta Emici [37].

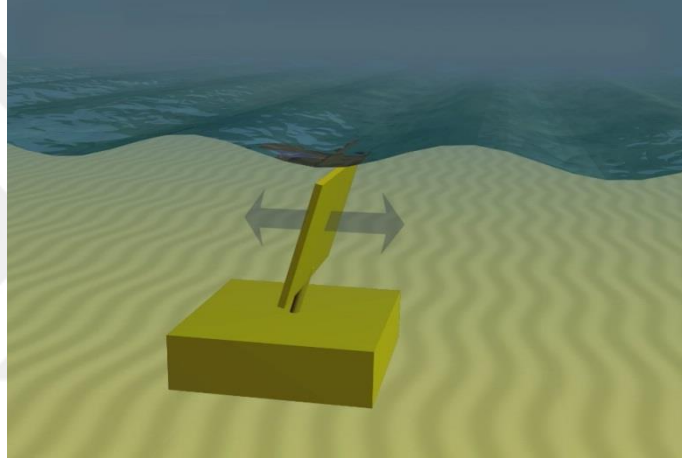


Şekil 1.12. OPT Tarafından Üretilen DEDS [9].

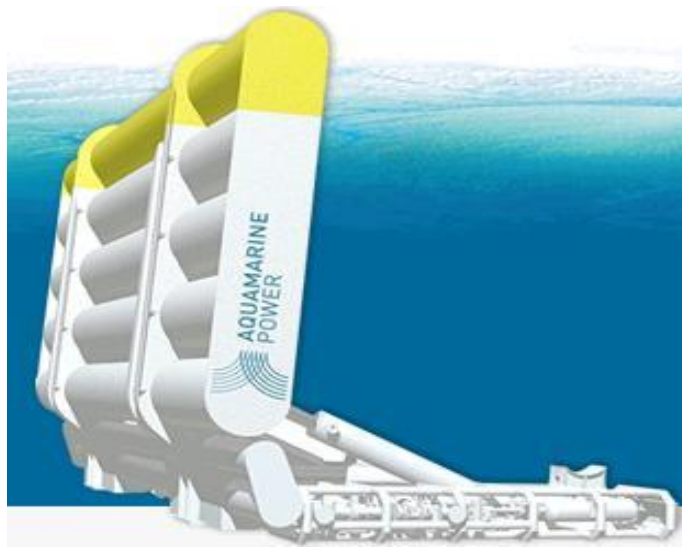
1.3.3. Salınan Dalga Dönüştürücü

Okyanus ve denizlerde sürekli bir akıntı vardır. Bu akıntıyı mekanik enerjiye çevirebilmek için salınan dalga dönüştürücü olarak bilinen Şekil 1.13'deki sistem tasarlanmıştır. Sistem akıntı yönünde ilerlemekte ve bir yayın onu geri çekmesiyle geri gelmektedir.

Yalpalanma olarak bilinen ileri-geri hareket sonucu elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu tip sistemlere örnek olarak Oyster verilebilir. Şekil 1.14'de Oyster'in görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.13. Salınan Dalga Dönüştürücü [37].

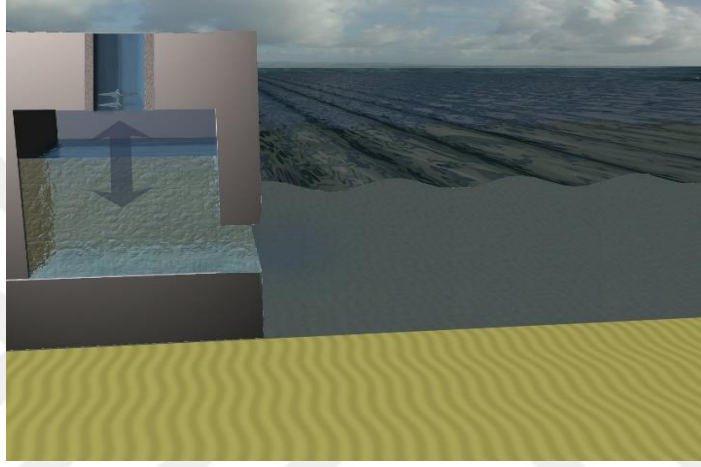


Şekil 1.14. Oyster [9].

1.3.4. Salınlımlı Su Sütunu

Salınlımlı su sütunu olarak tasarlanan sistemler yarısı su altında yer alan dalgalanmanın etkisiyle yüzeyin altındaki suyun rezervuara dolup bir sütunda yükselmesiyle dalga hareketini mekanik harekete dönüştürür.

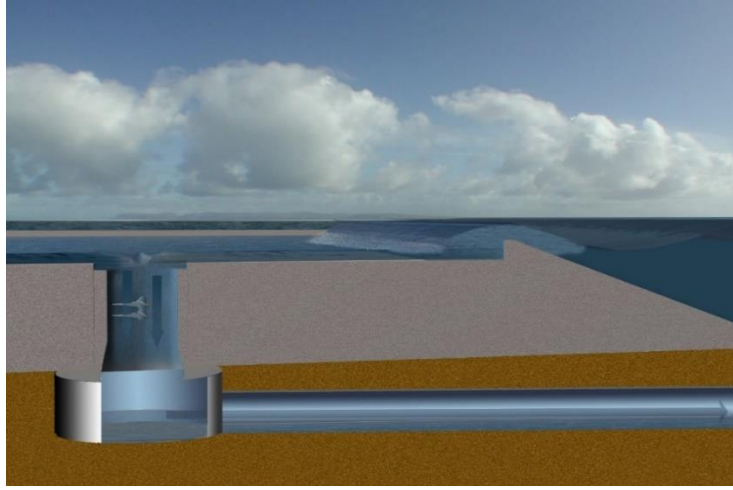
Genellikle sütunun içerisinde yer alan türbini suyun döndürmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Sistem Şekil 1.15’de yer almaktadır.



Şekil 1.15. Salınlımlı Su Sütunu [37].

1.3.5. Kütle Aşan (Overtopping)

Kütle aşan sistemlerde dalga bir rampadan geçirilerek potansiyel enerji kazandırılır. Rampayı aşan su kütlesi daha sonra rezervuara boşalarak türbini döndürür. Şekil 1.16’da kütle aşan sistemin görüntüsü yer almaktadır. Bu tip sisteme örnek olarak dairesel rampa aşan DEDS verilebilir. Bu sistemde dalganın rampadan hızlıca yükselebilmesi için kanatçıklar kullanılmıştır. Şekil 1.17’de ticari amaçlı kullanılan dairesel rampa aşan koloni halinde görüntüsü yer almaktadır.



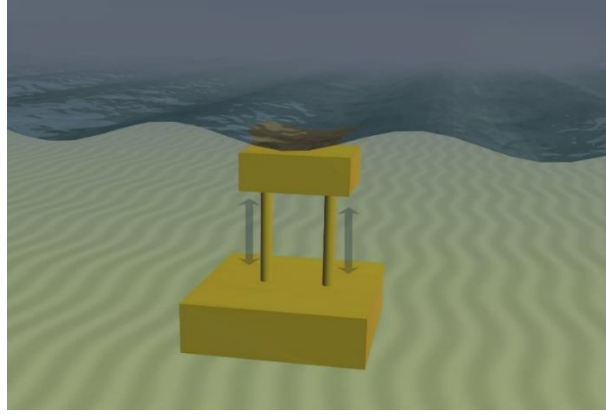
Şekil 1.16. Kütle Aşan (Overtopping) [37].



Şekil 1.17. Dairesel Rampa Aşan DEDS [9].

1.3.6. Batık Basınç Diferansiyeli Dönüştürücü

Batık basınç diferansiyeli suyun altına monte edilir. Genellikle kıyıya yakın bölgelerde kullanılır. Dalganın alçalmasıyla sistemin üzerindeki basınç azalır ve sistem yukarı çıkar. Daha sonra dalganın yükselmesiyle sistemin üzerindeki su kütlesine bağlı basınç artar ve aşağı doğru hareket eder ve oluşan harmonik hareketten elektrik enerjisi elde edilir. Şekil 1.18’de sistemin hareket doğrultusunun gösterildiği şekil yer almaktadır. Bu prensiple çalışan Arşimet dalga salınımı Şekil 1.19’da yer almaktadır. Sistemin doğal frekansının dalganın frekansına eşit olduğu zamanlar sistemin en verimli çalıştığı zamanlardır.



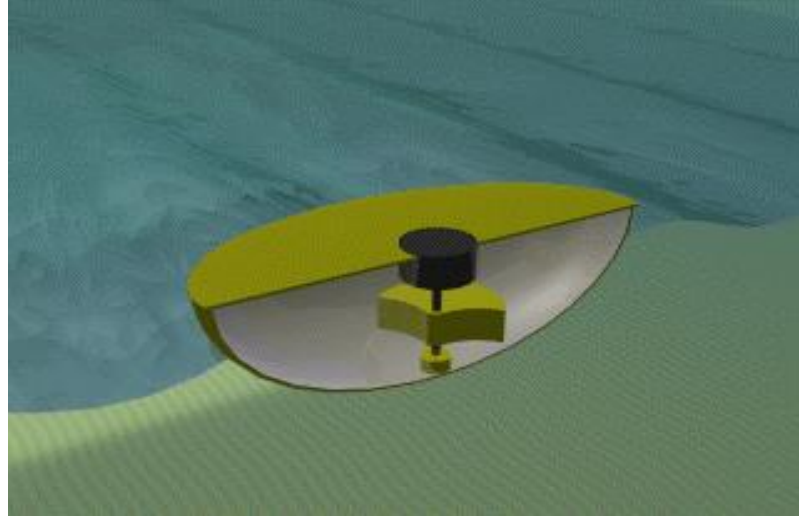
Şekil 1.18. Batık Basınç Diferansiyelli Dönüştürücü [37].



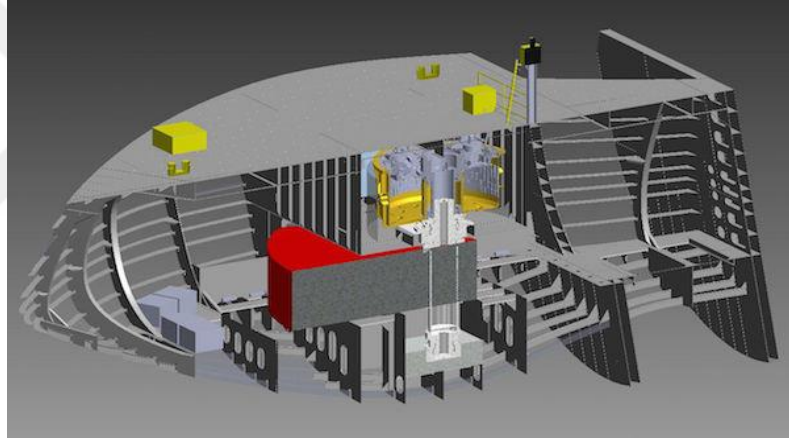
Şekil 1.19. Arşimet Dalga Salınımı [9].

1.3.7. Döner Kütle Dönüştürücü

Döner kütle dönüştürücü yarım yuvarlak bir kütlenin suyun üzerinde yaptığı yalpalanma hareketini dönme hareketine çevirir. Gelen dalga kütleyle ileri geri hareket ettirir. İçerisinde bulunan ağırlık ise bu hareketten etkilenerek yerçekiminin etkisiyle bir milin tam tur dönmesini sağlar. Penguen isimli bir DEDS bu tasarıma uygun olarak birkaç farklı ülke için geliştirilmiştir. Son olarak geliştirilen ve test edilen 30 m uzunluğunda, 16 m genişliğinde ve 9 m yüksekliğindeki sistemden 600 kW enerji üretilmiştir [38]. Şekil 1.20’de sistemin katı modeli yer almaktadır. Şekil 1.21’de ise döner kütle dönüştürücü olarak tasarlanan sistemin kesit görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.20. Döner Kütle Dönüştürücü [36].



Şekil 1.21. Penguen DEDS [38].

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmalar, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Laboratuvarında bulunan dalga tankında gerçekleştirilmiştir. Dalga tankından öncelikle farklı dalga özelliklerine sahip dalga üretilmiştir. DEDS'nin tasarımı için Solidworks paket programı kullanılmıştır. Çizimi gerçekleştirilen parçalar Simplify programı kullanılarak makine dili olan G koduna çevrilmiştir. Daha sonra G koduna göre sistemin üretimi 3B yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen sistemin sızdırmazlığı için DY0 epoksi marina macunu kullanılmıştır. Macun ile yüzeydeki boşluklar kapatılmıştır. Güç dönüşümü ise neodyum mıknatısın plastiğe sarılı bobinin içerisinde tam tur dönmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde; dalga üretim yönteminden, DEDS üretiminden, güç dönüşüm yönteminden ve üretilen güç miktarı ve dalga enerjisini hesaplayabilmek için kullanılan denklemler hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Dalga Tankı

Dalga tankında dalganın özelliklerini etkileyecek en büyük parametre dalga üretici ve dalga tankının boyutlarıdır. Farklı tiplerde tasarlanan dalga tanklarının ortak amacı, gerçeğe en yakın özelliklerde ve istenilen parametrelere sahip dalga üretebilmektir.

Galvin 1964 yılında basitleştirilmiş bir teori ortaya atmıştır. Galvin'e göre dalganın hacmi dalga yapıcın hareket ettirdiği hacimle eşittir. Denklem 2.1 dalga yapıcının hareket ettirdiği hacim miktarını vermektedir. Denklemde DY indisi dalga yapıcını temsil etmektedir. S dalga üreticinin genliğini, h ise su derinliğini göstermektedir [39].

$$V_{DY} = S \cdot h \quad (2.1)$$

Denklem 2.2 ise dalganın sahip olduğu hacim oranını vermektedir. Denklemde H dalga yüksekliğini, k dalga sayısını, λ ise dalga boyunu ifade etmektedir[39].

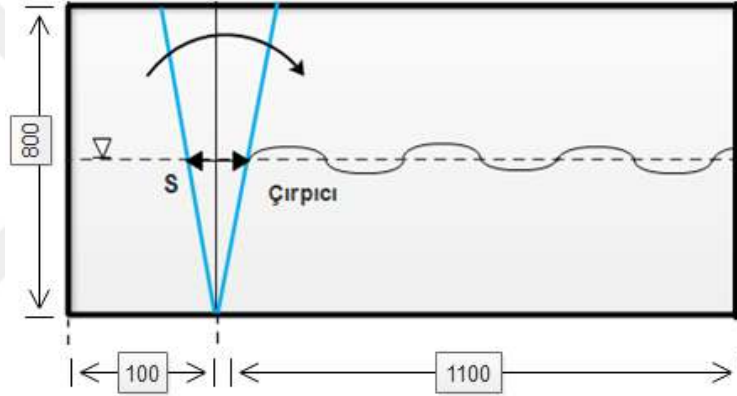
$$V_{DT} = \int_0^{\lambda/2} \left(\frac{H}{2} \right) \sin(kx) dx = \frac{H}{k} \quad (2.2)$$

Denklem 2.1 ve 2.2'de yer alan bağıntılar eşitlenerek Denklem 2.3 elde edilmiştir.

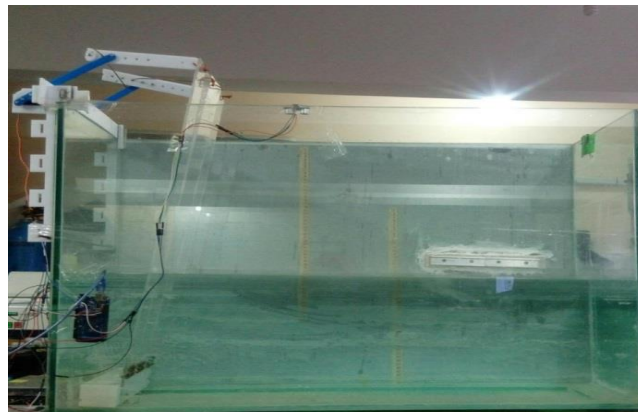
$$S \cdot h = \frac{H}{k} \quad (2.3)$$

Dalga üretmek için 40x80x120 cm boyutlarında bir tank kullanılmıştır. Tankın içerisine çırpma tipi bir üreteç monte edilmiştir. Zemine sabitlenmiş olan bir plaka 2 adet MG995 tipi servo motor kullanılarak ileri geri hareket sağlanmıştır. MG995 servo motor metal dişli sistemi ve 15 kg/cm bir torka sahip olduğu için tercih edilmiştir. Servo motorların kontrolü Arduino mikroişlemcisi kullanılarak yapılmıştır. Plakanın hareket ettirilme mesafesi yani S ve servo motorun dönme hızı dalga periyodunu ve boyunu doğrudan etkilemektedir.

Denklem 2.3 kullanılarak istenilen dalga boyunda dalga üretilmiştir. Deney setinin şematik görüntüsü ve deney setinin genel görünümü Şekil 2.1 ve 2.2’de yer almaktadır. Şekilde ölçüler mm olarak verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney setinin şematik görünümü



Şekil 2.2. Deney Seti

Arduino mikroişlemcisiyle servo motorlar ve mesafe sensörünün kontrolü sağlanmıştır. Mesafe sensörü olarak HCSR04 sensörü kullanılmıştır. Mesafe sensörü ile dalganın yüksekliği zamana bağlı olarak ölçülmüş olup ve ayrıca Arduino programının ara yüzü olan serial monitör ekranına yazdırılmıştır. Servo motor 5 V besleme gerilimine sahiptir. Bu gerilimi elde edebilmek için şebeke gerilimi 12 V güç kaynağı kullanılarak 12 V'a düşürülmüş ve güç kaynağının çıkışındaki gerilim ise 7805 voltaj regülatörü ile sabit 5V'a düşürülmüştür. Bu yöntemle hem servo motorun ihtiyacı olan 5 V çıkış elde edilmiş hem de aşırı zorlanma durumunda motorun şebekeden yüksek gerilim çekmesi önlenmiştir. Şekil 2.3'de üreteç ve sensör için tasarlanan elektronik devrenin şematik görünümü yer almaktadır.



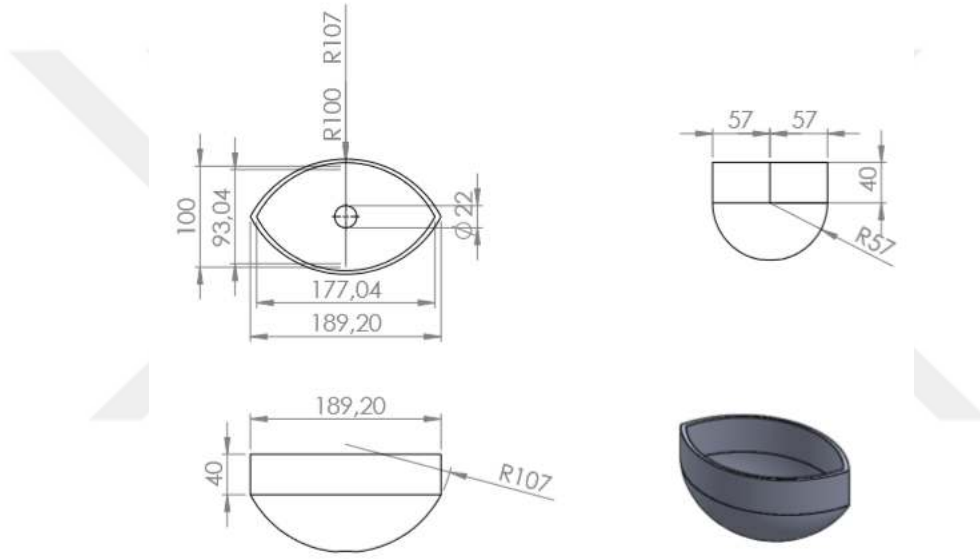
Şekil 2.3. Elektronik devrenin şematik görünümü

2.2. Dalga Enerji Dönüştürücünün İmalatı

DEDS oluşturulmadan önce üretilen dalga boyu çok önemlidir. Bulgular kısmında deney setinden üretilen dalgaların görüntüleri yer almaktadır. Su kütlesi az olduğu için dalganın sisteme uyguladığı basınçta aynı ölçüde azalmaktadır. Bu yüzden dalga yüksekliğinin küçük olduğu dalga formunda devir sayısını artırabilecek ve su üzerinde suyun hareketini kolay kavrayabilecek bir sistem uygun görülmüştür.

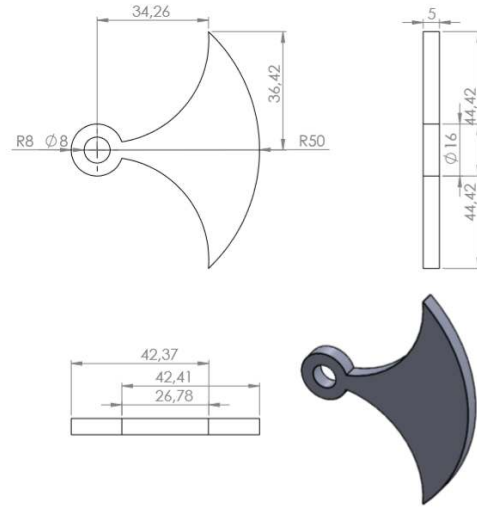
Bunun için Bölüm 1.3’de yer alan DEDS’den döner kütle dönüştürücü tasarlanmıştır. Buna uygun birkaç farklı tasarım yapılmış ve üretilen dalga boyutu aralığında maksimum mekanik enerji üreten sistem üzerinden sonuçlar alınmıştır.

Dalga enerji dönüşüm sistemi iki bölümden oluşmaktadır. Birinci kısımda; mekanik enerji üretilmektedir, ikinci kısımda ise mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Mekanik enerji üretimi için su üzerinde yüzer bir şekilde gövde tasarlanmıştır. Gövde dalğanın hareketine bağlı olarak salınım hareketi yapmaktadır. Şekil 2.4’de gövdenin teknik resmi ve ölçüleri yer almaktadır.



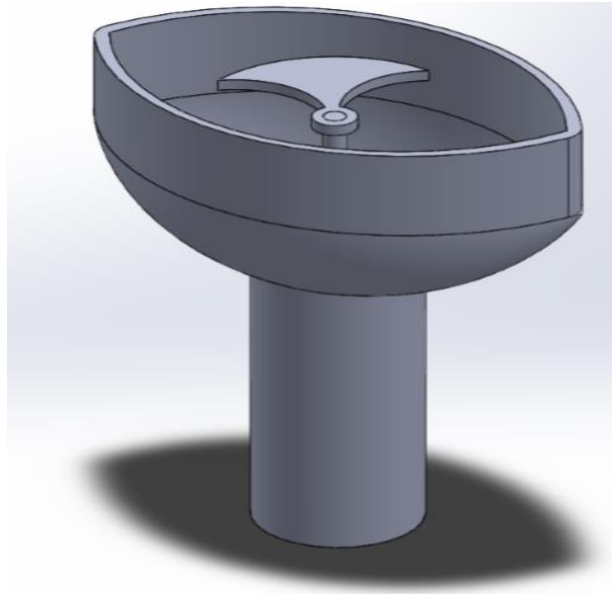
Şekil 2. 4. Gövdenin teknik resmi

Gövdenin yaptığı salınım hareketini döner harekete çevirebilmek için saat rotorundan esinlenilerek bir geometri tasarlanmıştır. Gövdenin sağa sola yalpalanmasıyla rotor sahip olduğu kütleden dolayı bağlı olduğu malle beraber gövdenin devrildiği yöne doğru dönmektedir. Rotorun rahat dönebilmesi için gövdenin tabanına rulman yerleştirilmiştir. Rulmandan geçen mil de rotora bağlanmıştır. Böylece su üstünde yer alan rotorun hareketi güç dönüşüm sistemine aktarılmıştır. Şekil 2.5 ’de rotorun teknik resmi ve ölçüleri yer almaktadır.



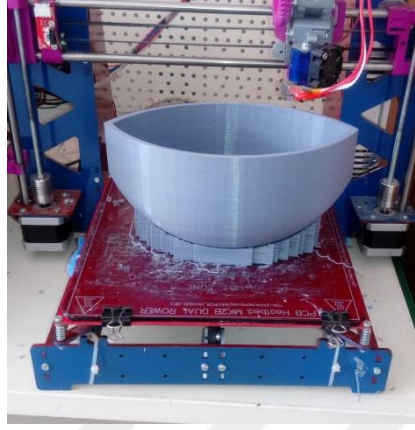
Şekil 2.5. Rotorun teknik resmi

Gövdenin alt kısmına bobin ve mıknatıstan oluşan bir jeneratör tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımdan Bölüm 2.3’de detaylı olarak bahsedilmiştir. Yapılan tasarım bir 3B yazıcı teknolojiyle üretilen bir kılıf ile kaplanmıştır. Üretilen sistemin montajına ait teknik resim görüntüsü Şekil 2.6 ’da yer almaktadır.



Şekil 2.6. Dalga enerji dönüşüm sisteminin teknik görüntüsü

Teknik görüntüleri oluşturulan sistemin imalatı 3B yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. 3B yazıcı ile üretilen gövdenin son hali Şekil 2.7’de yer almaktadır.



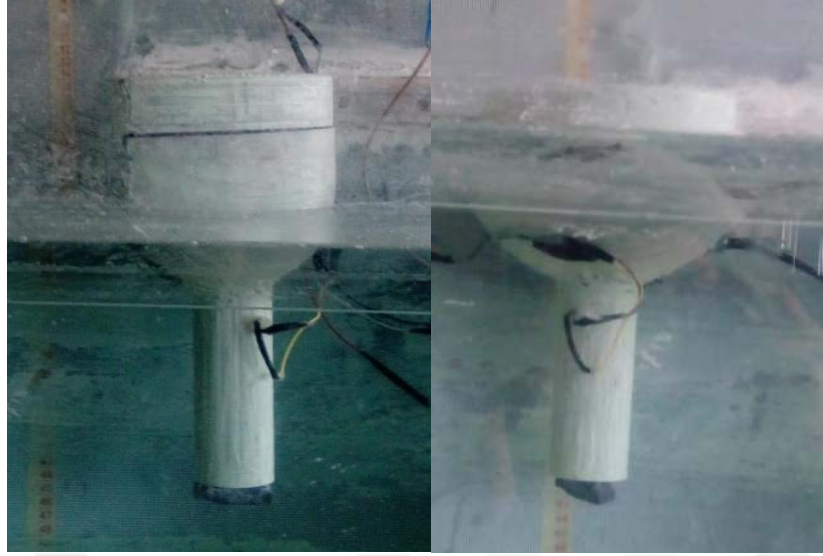
Şekil 2. 7. 3B Yazıcıdan üretilen gövde

Gövdenin içerisinde bulunan rulman yatağına 608 zz sabit bilyalı radyal rulman yerleştirilmiştir. Rulman kenarındaki boşluklar sızdırmazlık macunu ile kapatılmıştır. İç çapı 8 mm olan rulmanın içerisine 8 mm çapında mil sıkı geçme olarak yerleştirilmiştir. 20 cm uzunluğunda olan milin 12 cm’lik kısmı gövdeden aşağıya iletilecek şekilde konumlandırılmıştır. Gövdenin üzerinde kalan milin uç noktasına rotor takılmıştır. Gövdenin altındaki kısımda ise jeneratör yapımı gerçekleştirilmiştir. Gövdenin kapağı açık ve kapalı olarak Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Jeneratörün üstüne 3B yazıcıdan üretilen kılıf geçirilerek gövdeye yapıştırılmıştır. Montajı tamamlanan sistemin üzerine DYÖ epoksi macun sürülerek sistemin sızdırmazlığı sağlanmıştır. Jeneratörden çıkan iki kablonun bağlantı noktaları elektrik bandı ile sarılıp, sızdırmazlığı sağlayabilmek için bandın kenarları silikon ile kaplanmıştır.



Şekil 2. 8. Dalga enerji dönüşüm sisteminin genel görüntüsü a) Kapağı açık sistemin izometrik görüntüsü b) Kapağı açık sistemin üstten görüntüsü c) Kapağı kapalı sistemin izometrik görüntüsü d) Kapağı kapalı sistemin üstten görüntüsü

Sistem suda yüzer ve ağırlık merkezi tam orta noktada olacak şekilde ayarlanmıştır. Ağırlık merkezini orta noktaya taşımak için güç dönüşüm sisteminin tabanına ağırlık yerleştirilmiştir. Dalga enerji dönüşüm sisteminin sudaki konumu Şekil 2.9'da yer almaktadır.



a)

b)

Şekil 2. 9. Sistemin su içerisindeki görüntüsü a) Önden görüntüsü b) Su altında kalan kısmının görüntüsü

DEDS'in üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada dalga enerji dönüştürücü sistemin Solidworks paket programıyla çizimi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada tasarımı gerçekleştirilen sistemin 3B yazıcı teknolojisi ile üretimi imal edilmiştir. Son olarak 3B yazıcıdan üretilen parçaların montajı yapılarak sistem tamamlanmıştır.

2.3. Güç Dönüşüm Sistemi

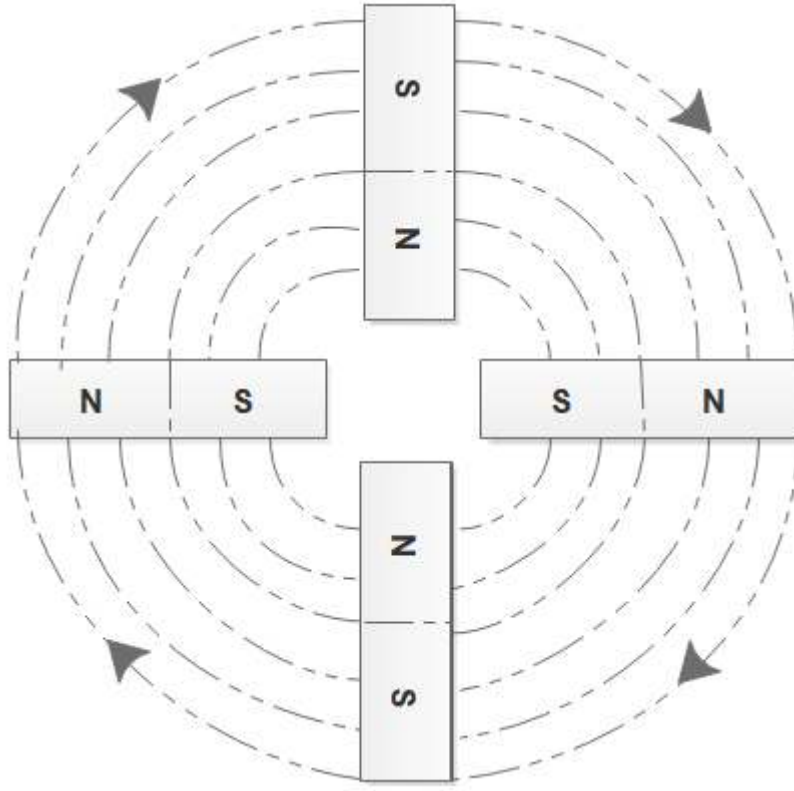
DEDS'de güç dönüşüm sistemleri için dalgadan elde edilen mekanik harekete bağlı olarak döner jeneratör ya da lineer jeneratör kullanılmaktadır. Bir telin içindeki manyetik alan değiştirildiğinde telden akım aktığı görülmektedir. Rüzgâr türbini, dalga hareketi ve buna benzer etkilerle mekanik enerjiden elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

Jeneratörler hareketli ve hareketsiz olmak üzere iki parçadan oluşur. Hareketli kısım için demir, mıknatıs ya da bobin kullanılmaktadır. Bu sistemlerin avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Tablo 2.1 bu sistemler hakkında bilgi vermektedir [40].

Tablo 2. 1. Jeneratör yapımında kullanılan malzemelerin avantaj ve dezavantajları [40].

	Hareketli Mıknatıs	Hareketli Bobin	Hareketli Demir
Avantajlar	Yüksek kuvvet yoğunluğu	Yüksek kuvvet yoğunluğu	Sürtünmenin etkisinden mıknatısın korunması
	Yüksek kuvvet ağırlık oranı	-	İmalat Kolaylığı
	İmalat kolaylığı	-	-
Dezavantajlar	Mıknatıslarda demanyetizasyon oluşma riski	Düşük kuvvet ağırlık oranı	Akı yoğunluğu azdır
	-	Hava aralığının geniş olmasından dolayı mıknatıs kalınlığının artması	Rezonans uygulamaları zordur
	-	İletkenlerin yıpranması	Sıcaklık ve mekanik stres

Dalga üreticiden elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmek için elektromıknatıs bir alan oluşturulması gerekmektedir. Mekanik hareket dönme hareketi olarak elde edildiği için döner jeneratör tasarımı yapılmıştır. Bobin ve demir sahip olduğu dezavantajlardan dolayı tercih edilmemiştir. Ayrıca ölçüm için bobin kullanılması bobinin hareketli olduğu düşünüldüğü zaman bir takım zorluklara yol açacaktır. Mıknatıs olarak ise güçlü çekim alanına sahip ve boyut olarak da küçük olduğu için neodyum mıknatıs kullanılmıştır. Süper mıknatıs olarak bilinen bu mıknatıs kendi boyutlarındaki diğer mıknatıslardan 4-5 kat daha kuvvetlidir. Üstün manyetik özelliklere, yüksek enerji verimliliğine sahiptir [41]. Çekim alanını güçlendirmek için 4 adet mıknatıs milin etrafına 90 derecelik açıyla konumlandırılmıştır. Mıknatısların kutupları Şekil 2.10'deki gibi yerleştirilmiştir. Güç dönüşüm sistemi 10 cm boyunda, 3 cm çapında, 110 sarım sayısına sahip olarak tasarlanmıştır. Milin hareketine bağlı olarak dönen mıknatıslar elektromanyetik alan oluşturmaktadır. Şekil 2.11'de güç dönüşüm sistemi tasarımı esnasında plastiğe sarılı bobin yer almaktadır.



Şekil 2.10. Konumlandırılmış mıknatıs konumları



Şekil 2.11. Plastiğe sarılı bobin

2.4 Üretilen Güç Ve Dalga Enerjisi Hesabı

Elde edilen güç değeri Denklem 2.4 ile hesaplanmıştır. Denklemde P_0 değeri üretilen güç miktarını W olarak vermektedir. I_e değeri ortalama efektif akım değerini, V_e değeri ise ortalama efektif gerilim değerini vermektedir. Denklemde yer alan $\cos \Phi$ ifadesi akım ve gerilim değeri arasındaki faz farkını vermektedir. Akım ve gerilim değeri arasındaki faz açısı 0 kabul edilerek $\cos \Phi$ değeri 1 alınmıştır. [42].

$$P_0 = I_e \times V_e \times \cos \Phi \quad (2.4)$$

Dalga, yüksekliğine bağlı olarak sahip olduğu enerji potansiyeli vardır. Denklem 2.5’da dalganın yüksekliğine bağlı taşıdığı enerji miktarı denklemini yer almaktadır. Bu denkleme göre farklı dalga formları için enerji hesabı yapılmıştır. Tablo 2.2 yüksekliğine bağlı enerji miktarını vermektedir [3].

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2.5)$$

Tablo 2. 2. Dalga yüksekliğine bağlı dalganın taşıdığı enerji potansiyeli

Dalga Yüksekliği (cm)	Dalganın Taşıdığı Enerji Potansiyeli (J)
2	0,00200
3	0,00045
4	0,00080
5	0,00125
6	0,00180
7	0,00245

Dalganın sahip olduğu enerji akısı ise Denklem 2.6 kullanılarak bulunmuştur. Denklemde ρ suyun yoğunluğu olup 0.99984 g/cm^3 olarak alınmıştır. g ise yerçekimi ivmesidir ve $9,80665 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır. H_m ve T dalganın sahip olduğu özellikler olup farklı dalga yüksekliği ve periyoduna bağlı olarak dalganın sahip olduğu güç akısı hesaplanmıştır.

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} \cdot H_m^2 \cdot T \left(\frac{kW}{m} \right) \quad (2.6)$$

Elde edilen veriler kW/m olarak bulunmuştur. Elde edilen değer W/cm'ye çevrilerek yüzeye çarpan dalganın uzunluğu ile çarpılmıştır. Böylece dalganın sahip olduğu güç potansiyeli hesaplanmıştır. Üretilen güç miktarının dalganın güç potansiyeline olan oranı ise sistemin verimini vermektedir. Denklem 2.7'de verim denklemi yer almaktadır.

$$\eta = \frac{P_0}{P} \quad (2.7)$$

Sistemdeki zorlanma dalganın ilettiği harekete bağlı olarak değişmektedir. Tork arttıkça dönme hareketi de aynı oranda azalmaktadır. Su üzerinde yüzen bir sistem üzerine etki eden tork miktarı, gelen dalganın hacmine bağlı olarak değişmektedir. Denklem 2.8'de açısal hıza bağlı olarak jeneratöre iletilen tork değerinin genel denklemi yer almaktadır. P_0 her deney için üretilen güç miktarını W değeri ise DED sistemin açısal hızını vermektedir.

$$P_0 = T \times W \quad (2.8)$$

3. BULGULAR

Enerji ve güç denklemleri kullanılarak dalganın sahip olduğu enerji ve güç miktarı belirlenmiş olup sistemden elde edilen akım ve gerilim grafikleri değişken dalga formuna uygun olarak çizdirilmiştir. Elde edilen güç değerine bağlı olarak sistemin verimi hesaplanmıştır. Sistemin açısal hızına bağlı olarak 13 farklı dalga formu için sistemin sahip olduğu tork değeri elde edilmiştir. Hesaplanan değerler neticesinde dalga yüksekliği ve periyodunun bu değerlere olan etkisi incelenmiştir.

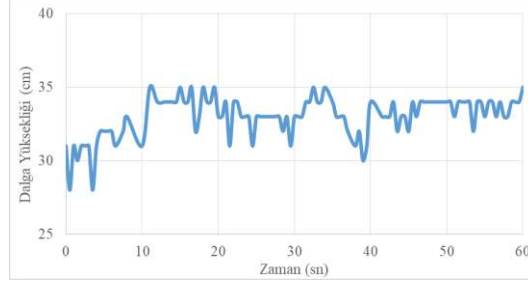
3.1 Üretilen Dalga Modelleri

Ölçümlerin yapıldığı dalganın HCSR04 mesafe sensörü kullanılarak ölçülen değeri ve deney setinde üretilen dalga aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.1-3.26'da yer alan farklı dalga yüksekliğine ve periyoduna sahip dalga tiplerinin dalga tankından alınan görüntüsü ve bir dakika süreyle sensörden alınan değerlerin zamana göre değişim grafiği yer almaktadır. Mesafe sensörünün suya olan uzaklığı ses dalgası gönderilerek hesaplanmaktadır. Ses dalgasının gidip gelme süresi aradaki mesafeyi vermektedir. Sensörden alınan verilerin okunma zamanı anlık değildir. Alınan ölçüler belirli bir zaman diliminde gözlenmiştir. Grafikten ve deney setinin üzerindeki cetvelden gözlenen değerler karşılaştırıldığında Şekil 3.1'de dalga yüksekliği 4 cm, periyodu ise 3 sn olarak bulunmuştur.



Şekil 3. 1. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.2’de dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formuna göre dalga yüksekliği ölçülmüş ve dalga yüksekliğinin 31-35 cm arasında değiştiği gözlenmiştir.



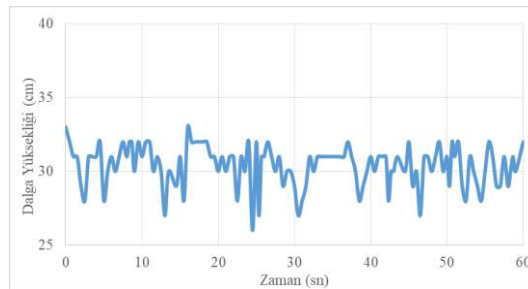
Şekil 3. 2. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.3 dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formunun deney setindeki görüntüsü yer almaktadır. Periyodun değeri küçük olması dalganın bir noktada pik yapmasını ve sinüs dalgalar yerine üçgen dalgaların oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 3. 3. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.4’de yer alan grafikte değeri genellikle 28 cm ile 33 cm arasında değişmektedir.



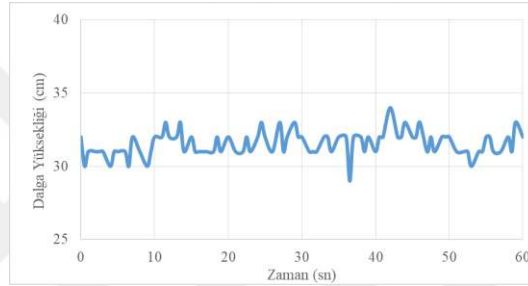
Şekil 3. 4. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.5’de dalga yüksekliği 2 cm olan dalga gösterilmiştir. Periyodunun 3 sn olması dalga dikliğini azaltmıştır ve sinüs eğrisine yaklaşan bir dalga elde edilmiştir.



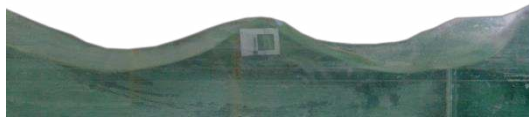
Şekil 3. 5. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.6’da yer alan grafikte dalga yüksekliği 2 cm iken ölçülen değerler arasındaki genliğinde azaldığı görülmüştür.



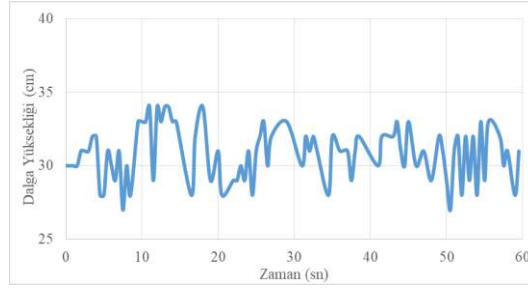
Şekil 3. 6. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Dalga yüksekliği 5 cm’den, 6 cm’ye çıkarıldığında tepe noktalarında kırılmalar görülmüş ve dalga dikliği azalmıştır. Şekil 3. 7’de dalga yüksekliği 6 cm olan dalganın görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3. 7. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.8’de dalga yüksekliği 6 cm olan dalga formunda ultrasonik mesafe sensöründen alınan değerlerin 28 ile 34 cm arasında değiştiği görülmektedir.



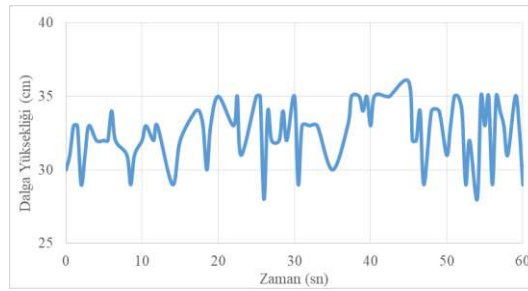
Şekil 3. 8. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.9’da yer alan dalga modelinde dalga yüksekliği 7 cm’ye ulaşmış ve dalga tepesinde bozulmalar görülmüştür. Ayrıca dalga yüksekliğinin artması iki dalga tepesi arasındaki mesafeyi artırmış ve deney setinde oluşan dalga sayısını azaltmıştır.



Şekil 3. 9. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Dalga yüksekliğinin 7 cm’ye ulaşması Şekil 3.10’da yer alan dalga yüksekliği grafiğinde genliğin artmasını sağlamıştır.



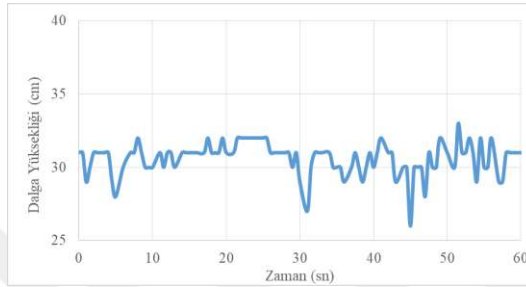
Şekil 3. 10. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.11’de periyot 4 sn’ye çıkarılmış ve periyot artıkça daha sinüzoidal dalgaların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca periyodun artması dalga genliğinin de artmasını sağlamıştır.



Şekil 3. 11. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.12’de ise değerlerin 28 cm ile 32 cm arasında değiştiği gözlenmiştir.



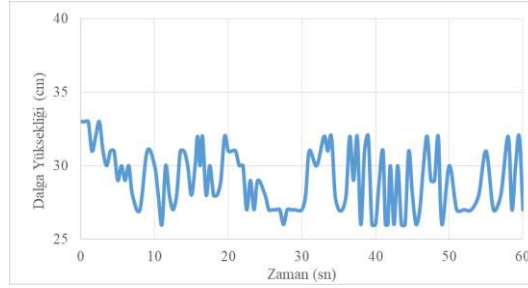
Şekil 3. 12. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Düşük periyotlu dalgalarda, dalga tankında oluşan dalga sayısı artmakta ve ayrıca dalga tepelerinde bozulmalar görölmektedir. Şekil 3.13’de oluşturulan dalgadaki bozulma açıkça görölmektedir.



Şekil 3. 13. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.14’de dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn iken üretilen dalga formunun ultrasonik mesafe sensöründen alınan değere bağlı olarak çizilen grafiği yer almaktadır.



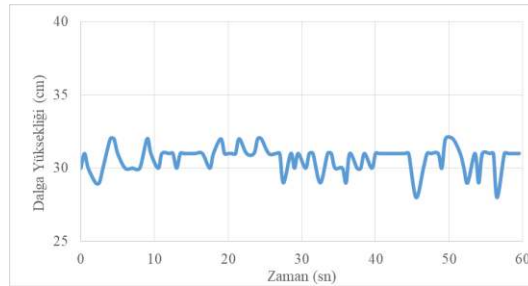
Şekil 3. 14. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formunda periyot arttığı için dalganın dikliği oldukça düşmüş ve yayvan bir dalga modeli ortaya çıkmıştır. Bu dalga formunun deney setinden elde edilen görüntüsü Şekil 3.15’de yer almaktadır.



Şekil 3. 15. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.16’da yer alan grafikte iki tepe noktasının arasındaki mesafe periyodun artışına bağlı olarak artmıştır.



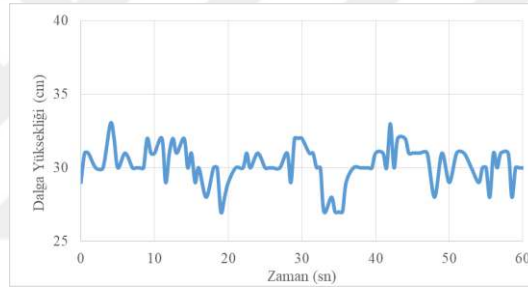
Şekil 3. 16. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.17’de dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn iken oluşturulan dalgaanın görüntüsü yer almaktadır. Bu dalga formunda dalga boyunun arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3. 17. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.18’de periyot 4,5 sn’ye çıkarılmıştır. Periyodun artışına bağlı olarak tanktaki ortalama su seviyesi değişmiştir. Bu yüzden değerler bazen 30’un altında 3 cm değişmiş bazen ise 30 cm’nin üzerine çıkmıştır.



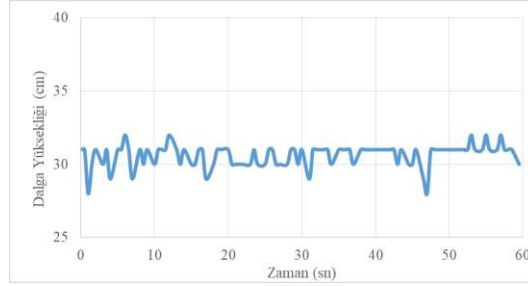
Şekil 3. 18. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.19’de dalga yüksekliği 6 cm, periyodu 5 sn olan dalga tipi görülmektedir.



Şekil 3. 19. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.20’de periyot 5 sn’ye çıkarılmıştır. Buna bağlı olarak dalga yüksekliğindeki değişim ultrasonik mesafe sensöründen gözlemlenememiştir.



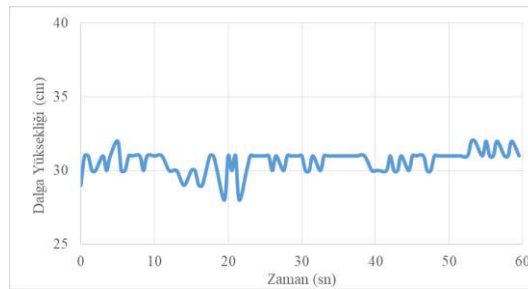
Şekil 3. 20. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.21’de dalga yüksekliği 5 cm ve periyodu 5,5 sn iken oluşan dalga formunun tam bir sinüs eğrisi oluşturduğu görölmektedir.



Şekil 3. 21. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.22’de elde edilen grafikte su seviyesi çok değişmemiştir. Bunun sebebi artan dalga periyodu ile dalga tankında oluşan dalga sayısının azalmasıdır. Bu da tek bir noktadan alınan ölçüme bağlı olarak su seviyesindeki değişikliğin algılanmasını engellemektedir.



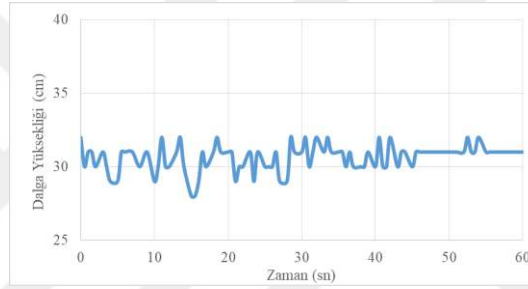
Şekil 3. 22. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.23’de dalga yüksekliği 4 cm ve periyodu 6 sn olan dalga formu profili yer almaktadır.



Şekil 3. 23. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.24’de dalga yüksekliği 4 cm’ye periyodu ise elde edilen maksimum değer olan 6 sn’ye ulaştırılmıştır.



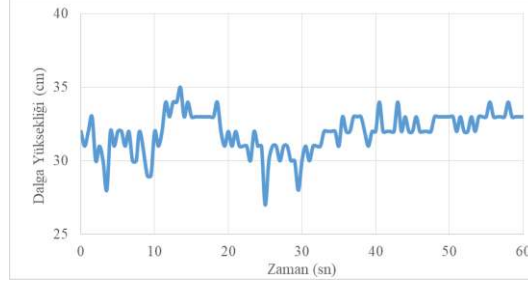
Şekil 3. 24. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

Şekil 3.25 de oluşan dalğanın periyodu 6 sn olmasına rağmen dalga yüksekliği azaldığı için dalga tankında oluşan dalga sayısı artmıştır. Şekil 3.26’da elde edilen grafikte ise dalga yüksekliğinin ölçülen değerinin buna bağılı olarak 3 cm’lik aralıkta değiştiğini göstermektedir.



Şekil 3. 25. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu deney setinde üretilen dalga

Şekil 3.26’da elde edilen grafikte dalga yüksekliğinin ölçülen değerinin 3 cm’lik aralıkta değiştiğini göstermektedir.



Şekil 3. 26. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu mesafe sensöründen alınan veriler

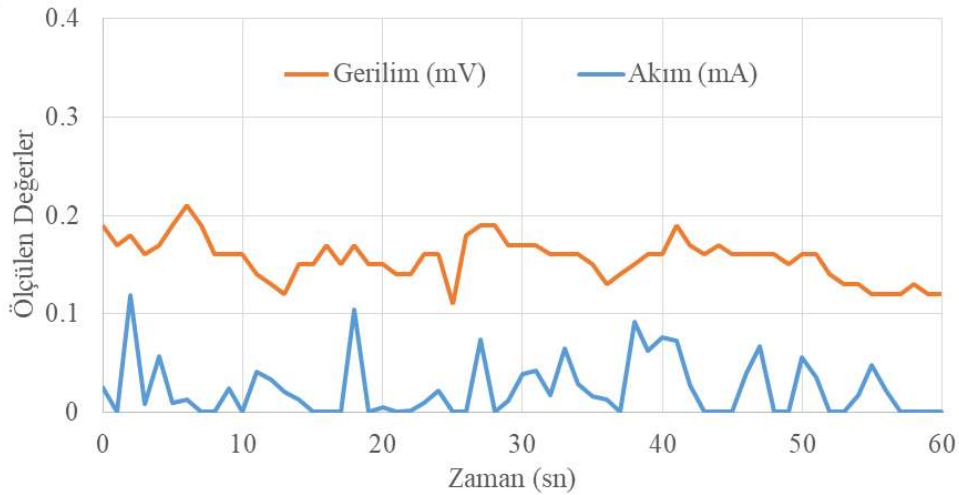
3.2. Üretilen Güç Değeri

Akım ve gerilim değerlerinin ölçümü plastiğe sarılı olan bobinin iki ucundan alınmıştır. Ölçümler için dijital multimetre kullanılmıştır. Multimetrede okunan değerler video çekilerek anlık değerler kaydedilmıştır. Daha sonra 1 sn periyotlar ile okunan değerler Excel ortamına taşınmıştır. Alternatif akım veya gerilim ölçümlerinde multimetre efektif gerilim ve efektif akım değerini ölçmektedir. Ölçülen değerlerin ortalaması alınarak her dalga formunda elde edilen efektif değerler hesaplanmıştır. Tablo 3.1’de üretilen değerler dalga formunda göre verilmiştir. Şekil 3.27 – 3.39’da zamana bağlı olarak her dalga formu için efektif akım ve efektif gerilim değerinin değişim grafiği yer almaktadır.

Tablo 3. 1. Dalga özelliklerine göre üretilen efektif akım ve gerilim değerleri

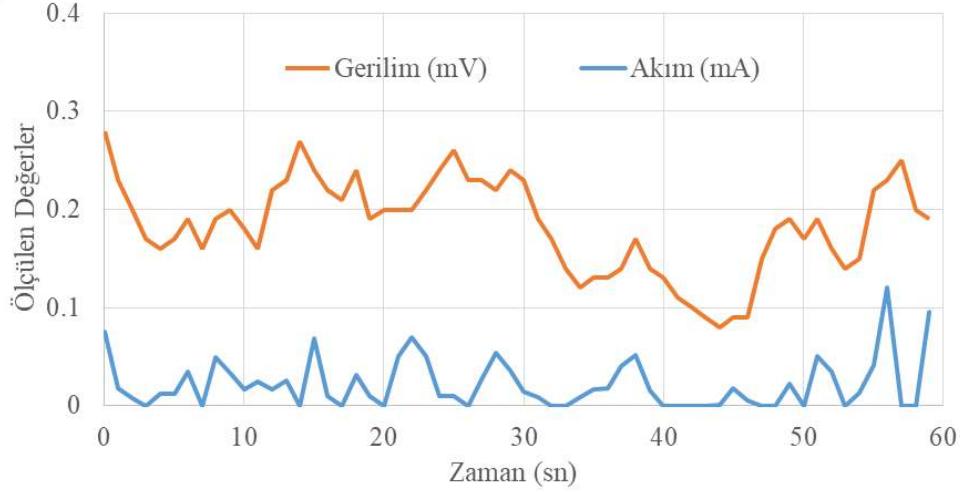
Dalga Formu		Efektif Akım Değeri (mA)	Efektif Gerilim Değeri (mV)
Dalga Yüksekliği (cm)	Periyot (sn)		
4	3,0	0,0232	0,1557
2	3,0	0,0220	0,1837
5	2,0	0,0232	0,2280
6	2,0	0,0246	0,1977
7	2,0	0,0184	0,1905
4	4,0	0,0159	0,1615
5	2,5	0,0305	0,2380
3	3,5	0,0245	0,1810
3	4,5	0,0267	0,2338
6	5,0	0,0203	0,2400
5	5,5	0,0299	0,2279
4	6,0	0,0249	0,2240
3	6,0	0,0225	0,2108

Şekil 3.27’de dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formunda DEDS’nin çıkışından ölçülen akım ve gerilim değeri zamana bağlı çizdirilmiştir.



Şekil 3.27. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 3 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

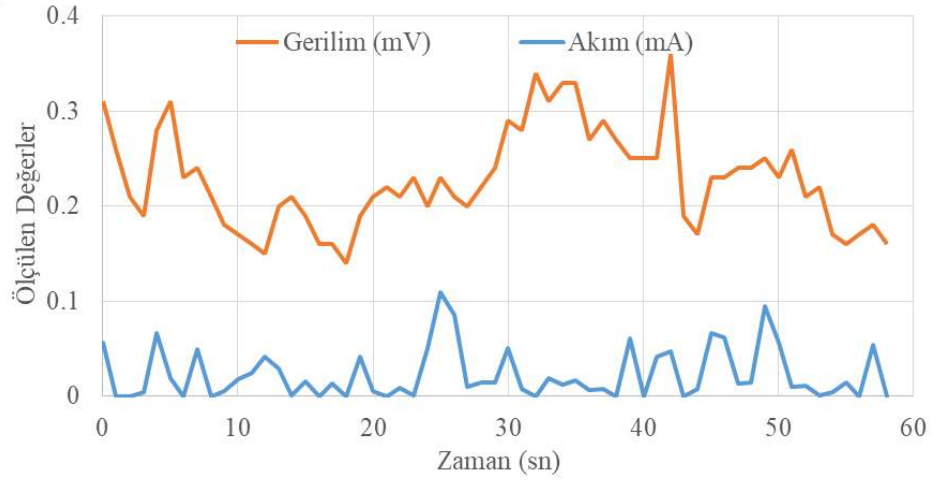
Bobin ani akım değişiminden etkilenecek gerilim depolamaktadır. Şekil 3.28’de yer alan grafikte de ani akım değişimin arttığı noktalarda gerilim değeri 0,3 mV’a yaklaşmıştır. Fakat 45. sn’ ye de akım üretimi durduğu için gerilim değeri de buna bağlı olarak 0,1 mV değerinin altına düşmüştür.



Şekil 3.28. Dalga yüksekliği 2 cm periyodu 3 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

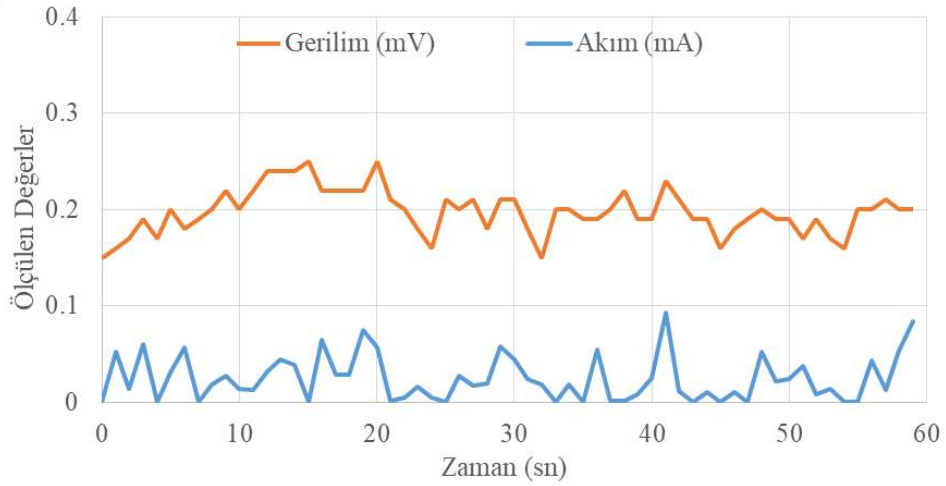
Dalga yüksekliği 5 cm, periyodu 2 sn iken üretilen gerilim değeri 0,4 mV’a yaklaşmıştır. Bu maksimum güç üretiminin bu dalga tipinde üretildiğini göstermektedir. Akım değerinin sürekli olarak artışı sürekli bir dönme hareketinin olduğunu göstermektedir. Bu da sonuçları olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 3.29’da dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formunda DEDS’den üretilen değerlerin değişim grafiği yer almaktadır.



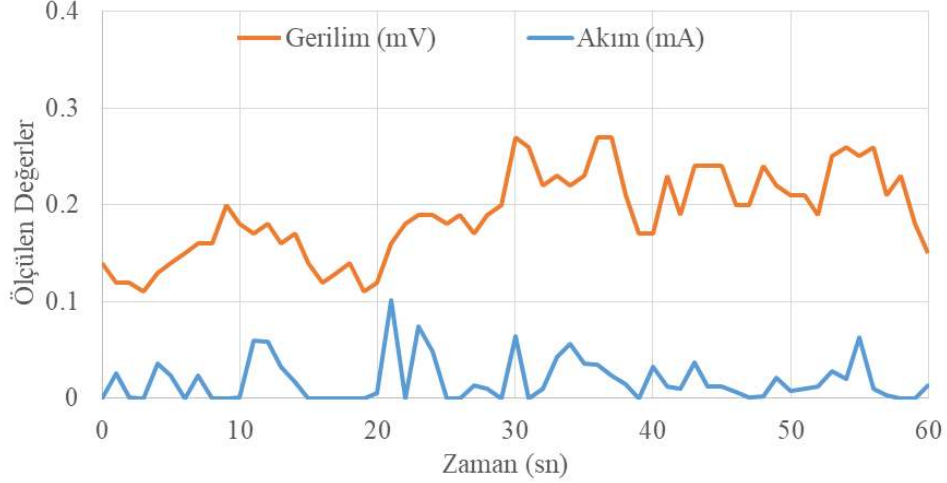
Şekil 3.29. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Dalga yüksekliği 6 cm, periyot değeri 2 sn iken de sürekli bir akım artışı oluşmaktadır. Fakat 5-6 sn boyunca akım değerindeki stabilizasyon akım ve gerilim değerlerinin aynı doğrultuda ilerlemesini sağlamıştır. Şekil 3.30’da akım ve gerilimlerin değişim grafiği yer almaktadır.



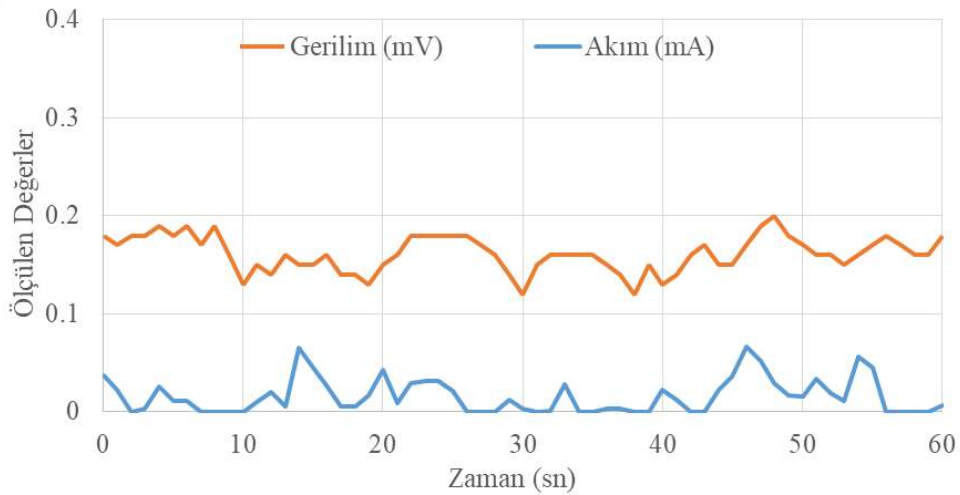
Şekil 3.30. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Sistemin dönme hızı da üretilen güç miktarını etkilemektedir. Dönüş hızı yavaşladıkça çok küçük bir akım üretilmiş ve bu küçük akım değişimleri gerilimin artmasını sağlamıştır. Şekil 3.31’de dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn iken elde edilen verilerin değişim grafiği yer almaktadır



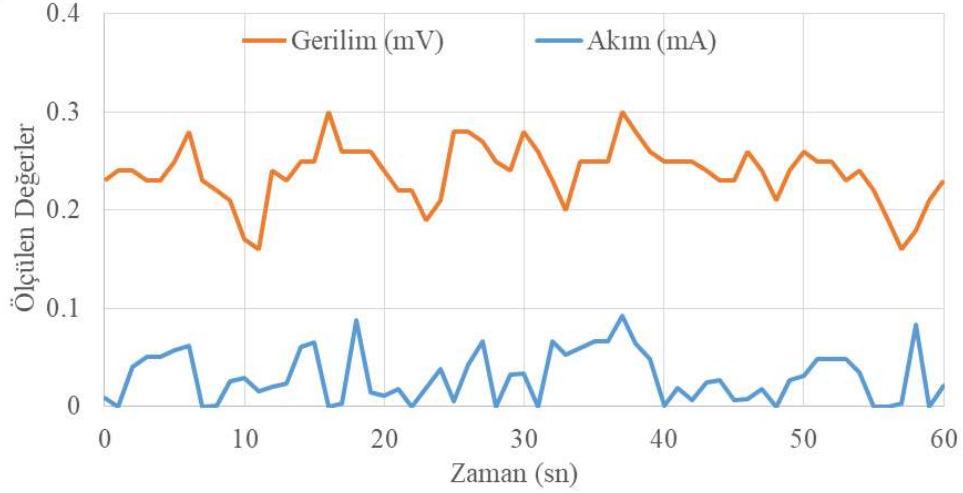
Şekil 3.31. Dalga yüksekliği 7 cm periyodu 2 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.32’de yer alan grafikte akım değişim periyodu artmıştır. Akım değişim periyodunun artışı sistemin verimini olumsuz yönde etkilemiş ve gerilim değerinde büyük bir değişiklik gözlenmemiştir.



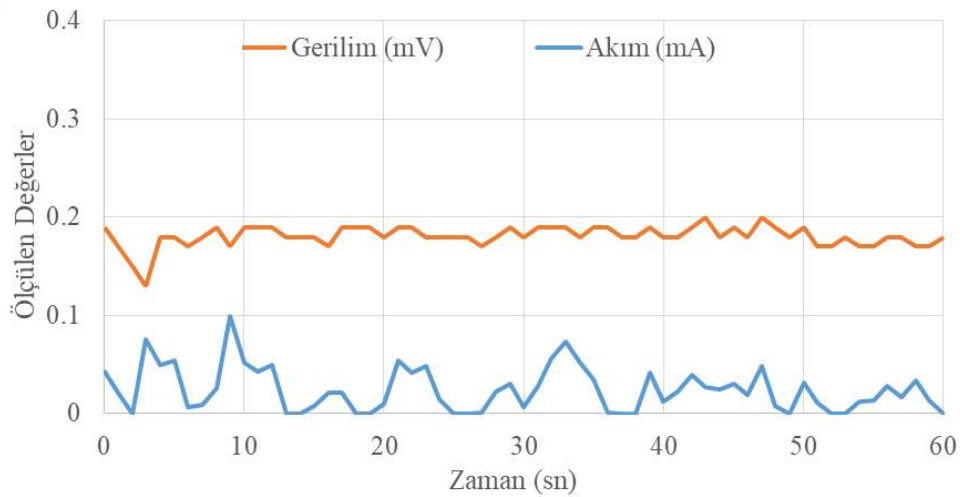
Şekil 3.32. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 4 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.33’de yer alan grafikte akım ve gerilim değeri periyodik olarak değişmiştir. Bu dönme hareketinin sürekliliğini göstermektedir.



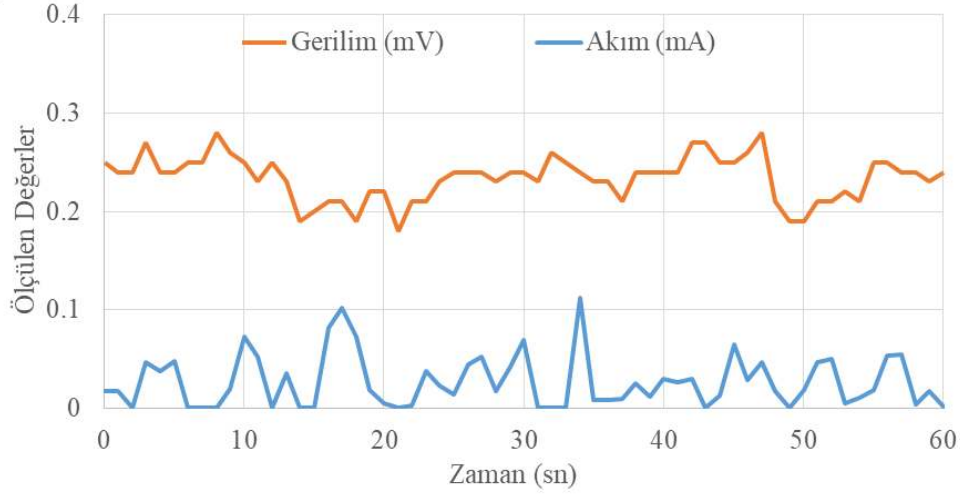
Şekil 3.33. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 2,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.34’de yer alan grafikte akım değeri sürekli üretilmesine rağmen gerilim değerinin bu durumdan çok az etkilendiği gözlemlenmiştir. Ani olmayan değişim sistemin sadece düşmesini engellemiş fakat depolama yapamadığı için artmasını sağlayamamıştır.



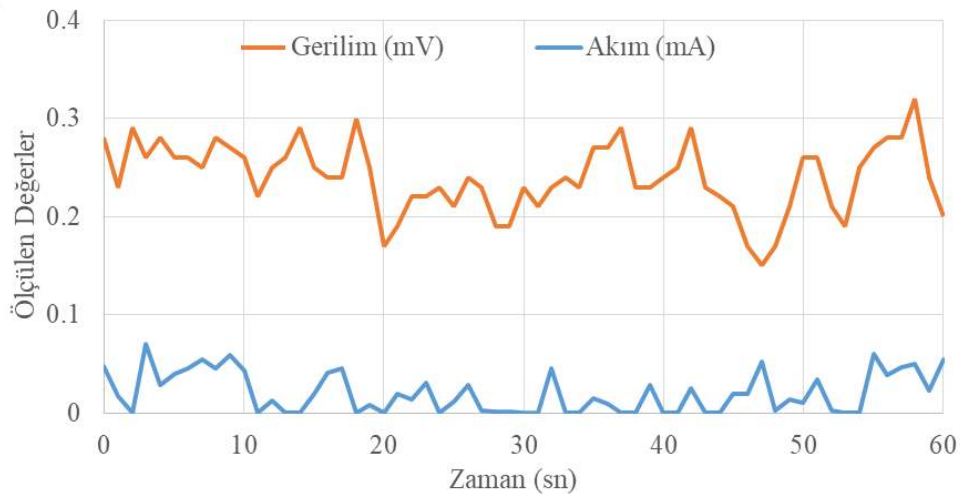
Şekil 3.34. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 3,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.35’de akım değeri belirli aralıklarla pik yapmış ve 0.1 mA’lık değerlere ulaşmıştır. Buna bağlı olarak üretilen gerilim değerleri de 0,3 V değerine yaklaşmıştır.



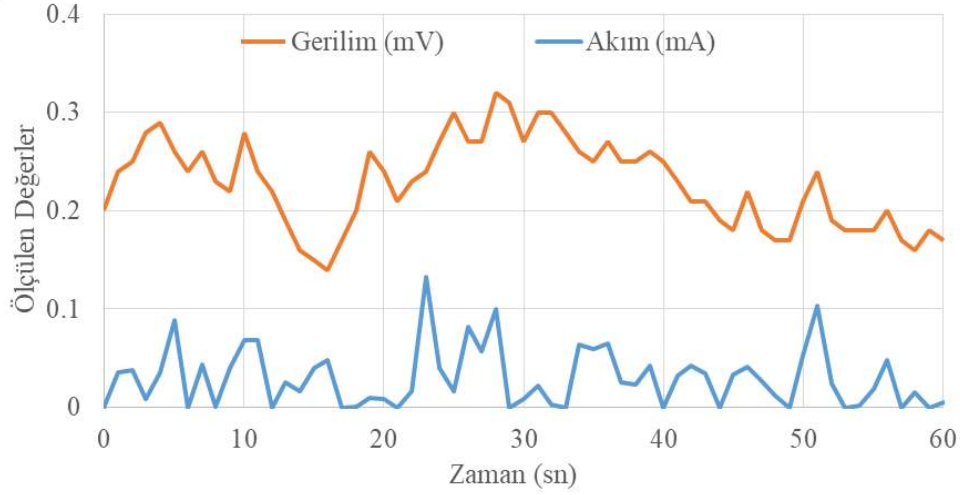
Şekil 3.35. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 4,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.36’da üretilen akım değeri çok yüksek değerlere ulaşamamıştır. Fakat ardı ardına oluşan değişimler gerilim miktarının artmasını sağlamıştır. Diğer dalga formlarında gerilim değeri çok değişmemesine rağmen dalga yüksekliği 6cm periyodu 5 sn iken gerilim değerinde dalgalanmalar görülmektedir. Buna akımın sürekli üretilmemesi neden olmuştur.

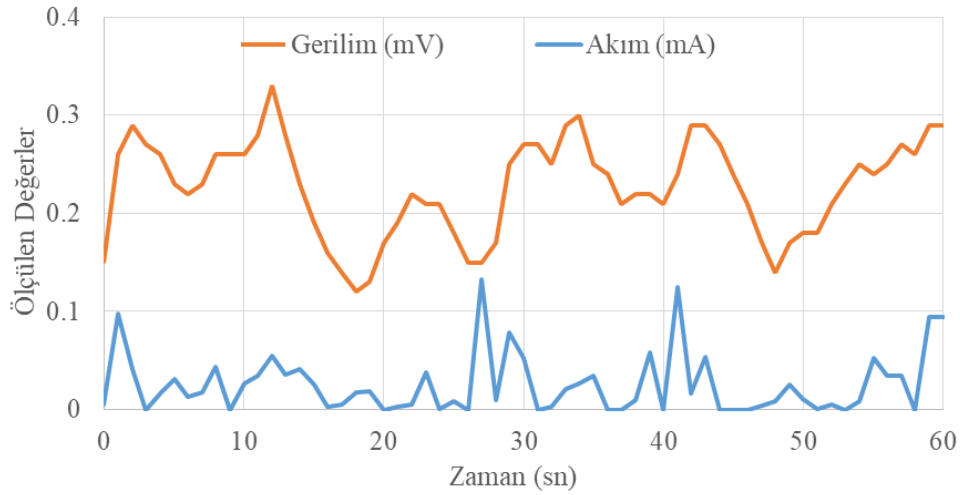


Şekil 3.36. Dalga yüksekliği 6 cm periyodu 5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

Şekil 3.37’de dalga yüksekliği 5 cm dalga periyodu 5,5 iken sonuçlar alınmış ve alınan verilerin sürekli arttığı gözlenmiştir. Bu da sistemde sürekli bir mekanik hareket olduğunu ve mıknatısın sürekli olarak bobini enerjilendirdiğini göstermektedir.

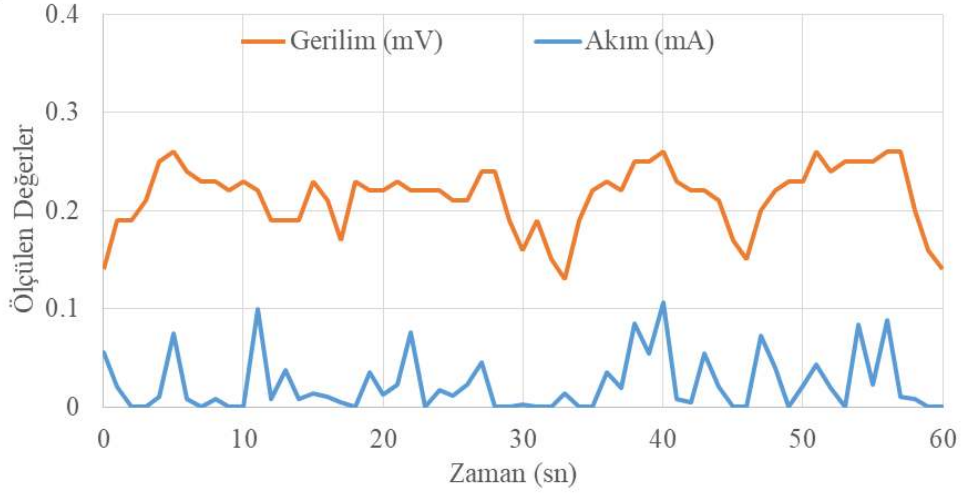


Şekil 3.37. Dalga yüksekliği 5 cm periyodu 5,5 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)



Şekil 3.38. Dalga yüksekliği 4 cm periyodu 6 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

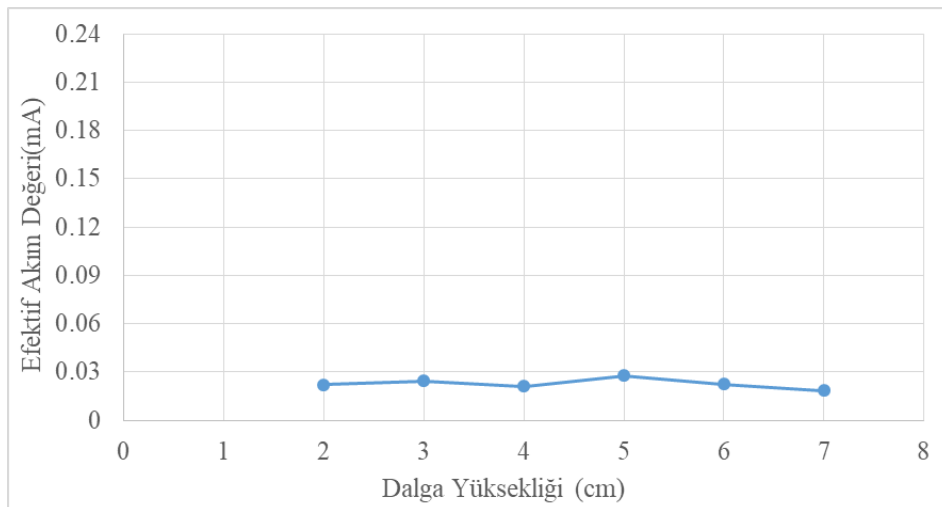
Şekil 3.39’da yer alan grafikte dalga yüksekliği 3 cm dalga periyodu 6 sn iken sonuçlar alınmış ve üretilen gerilim değeri sadece hiç akımın üretilmediği zaman diliminde düşüş göstermiştir.



Şekil 3.39. Dalga yüksekliği 3 cm periyodu 6 sn olan dalga formu için üretilen akım (mA) ve gerilim değerleri (mV)

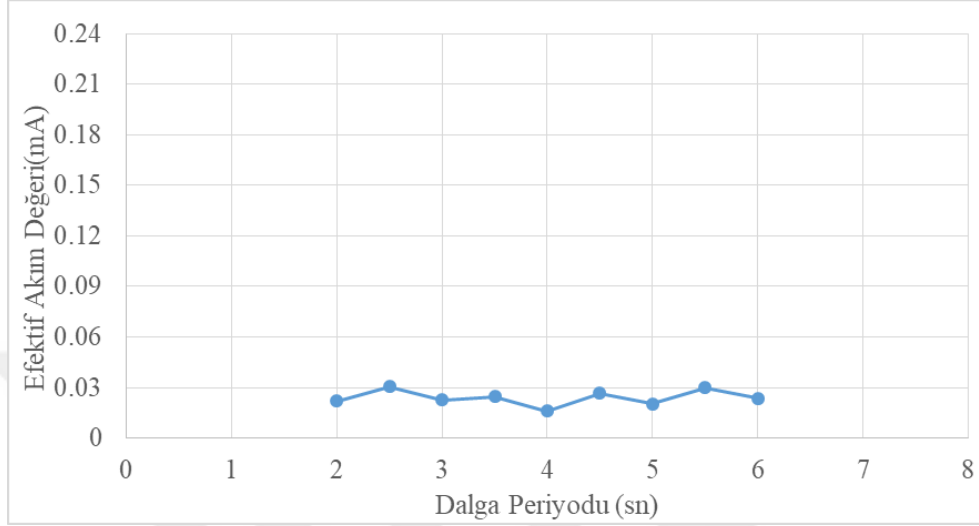
Efektif akım değeri dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak çok fazla değişmemiştir. Çünkü ortalama bütün dalga tiplerinde aldığı devir sayısı yakındır ve her dönme hareketinde üretilen akım değeri aynıdır. Maksimum gerilim değeri ise dalga yüksekliği 5 cm gerilimi 5 sn iken sağlanmıştır.

Efektif akım değerinin dalga yüksekliğine bağlı olarak değişimi Şekil 3.40’da yer almaktadır.



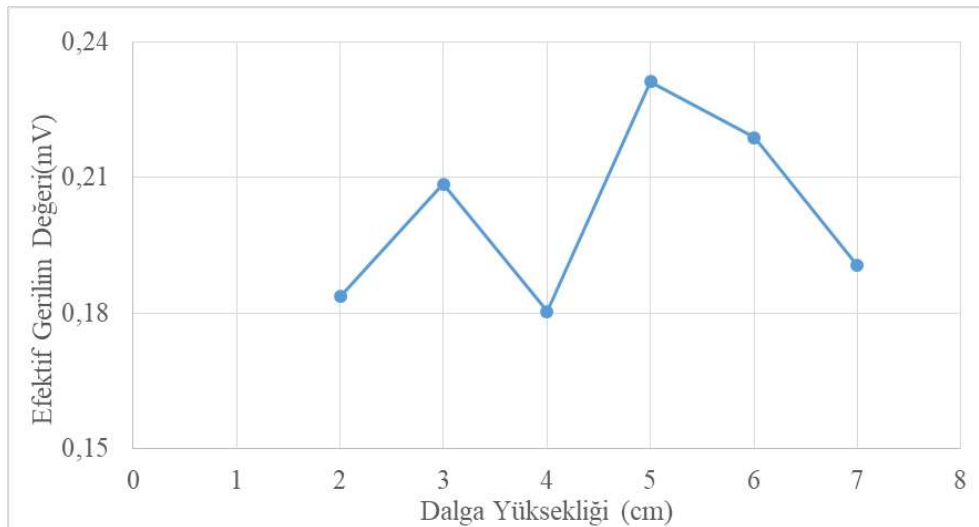
Şekil 3.40. Dalga yüksekliğine bağlı olarak efektif akım değerinin değişimi

Şekil 3.41’de ise dalga periyoduna bağlı olarak efektif akım değerinin değişimini göstermektedir. Fakat ortalama efektif akım değeri dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak çok değişmemiştir.



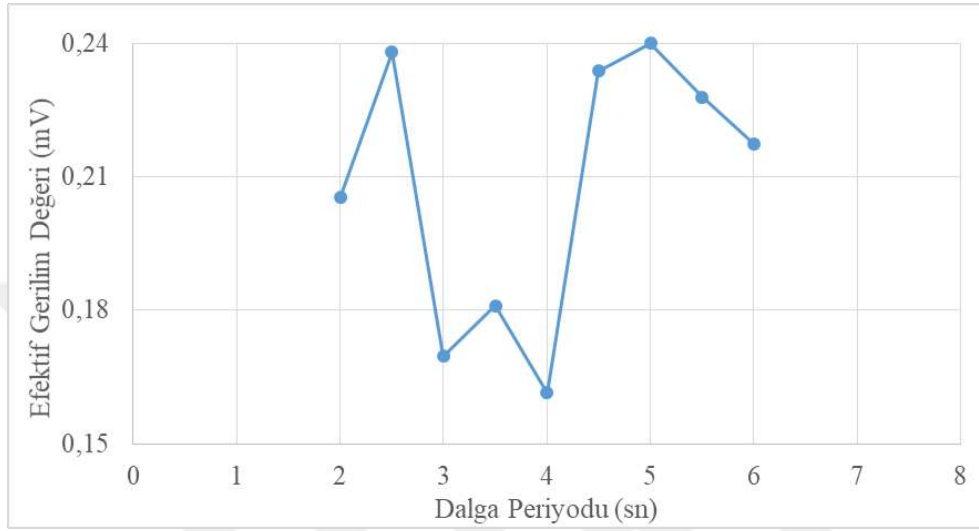
Şekil 3.41. Dalga periyoduna bağlı olarak efektif akım değerinin değişimi

Efektif gerilim değerinde akım değerinin aksine dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Akım değerindeki değişim depolanan gerilim miktarında farklılıklara neden olmuştur. Şekil 3.42’de efektif gerilim değeri dalga yüksekliğine bağlı olarak çizdirilmiş ve maksimum gerilim değeri dalga yüksekliği 5 cm iken üretilmiştir.



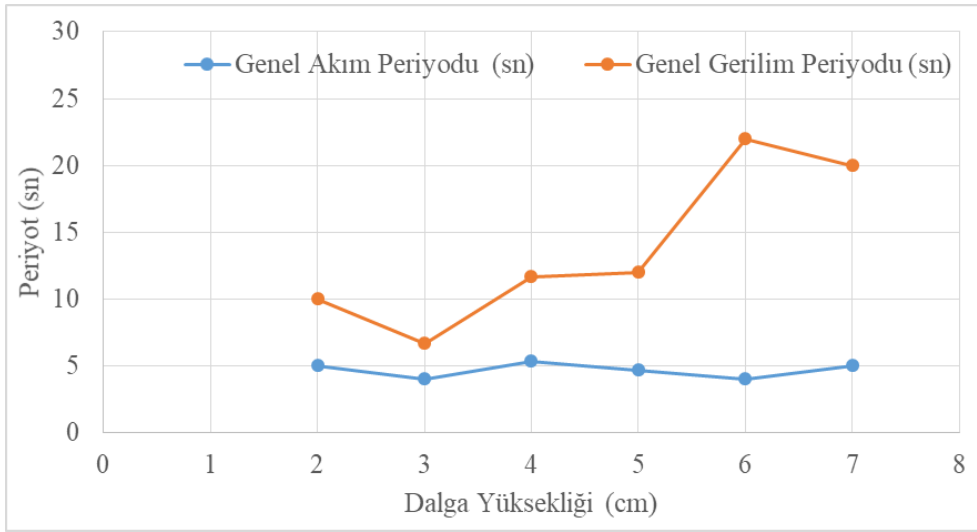
Şekil 3.42. Dalga yüksekliğine bağlı olarak efektif gerilim değerinin değişimi

Şekil 3.43’de ise üretilen gerilim değerinin dalga periyoduna bağlı olarak değişimi çizdirilmiştir. Sistemin verimli çalışabilmesi için dalganın doğal frekansının DEDS’nin frekansına eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle dalganın frekansı DEDS’nin frekansına en yakın olduğu zaman dalga periyodunun 2,5 ve 5 sn olduğu zamandır.

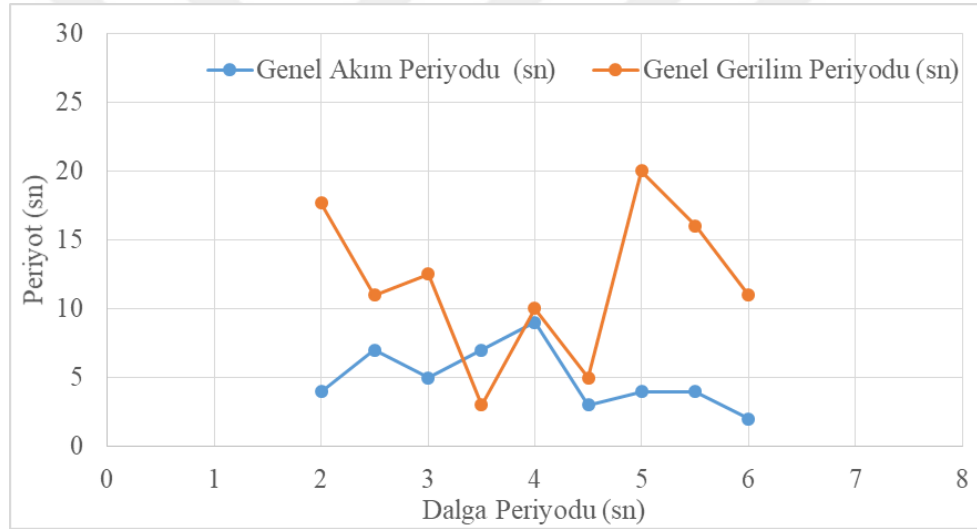


Şekil 3.43. Dalga periyoduna bağlı olarak efektif gerilim değerinin değişimi

Düzensiz bir şekilde üretilen gerilim ve akım değerleri belirli periyotlarla kendini tekrarlamaktadır. Her dalga formu için elde edilen zamana bağlı gerilim ve akım değişimi grafiklerinden yola çıkılarak her grafikten genel akım ve gerilim periyodu belirlenmiştir. Belirlen bu periyottaki değişimde dalga yüksekliğinin ve dalga periyodunun etkisi Şekil 3.44 ve 3.45’de gösterilmiştir.



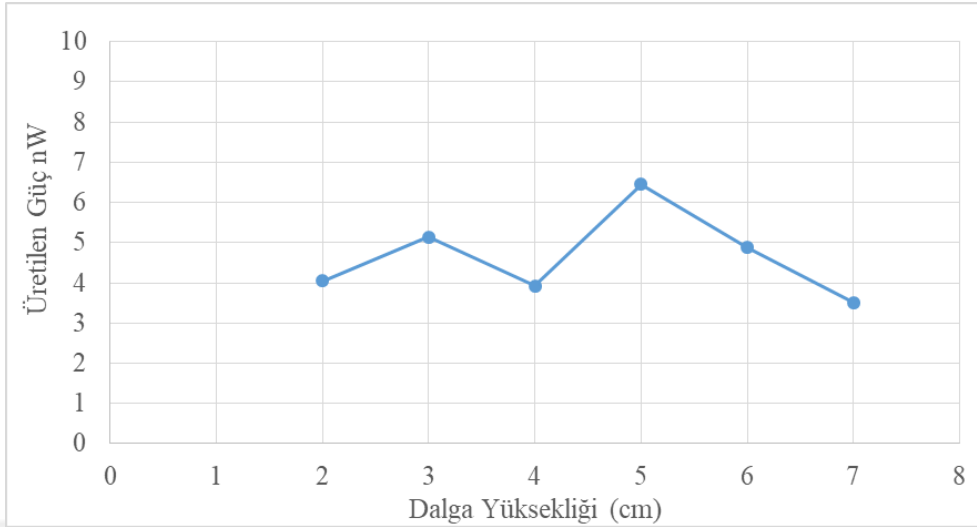
Şekil 3.44. Genel akım ve gerilim periyodunun dalga yüksekliğine göre değişimi



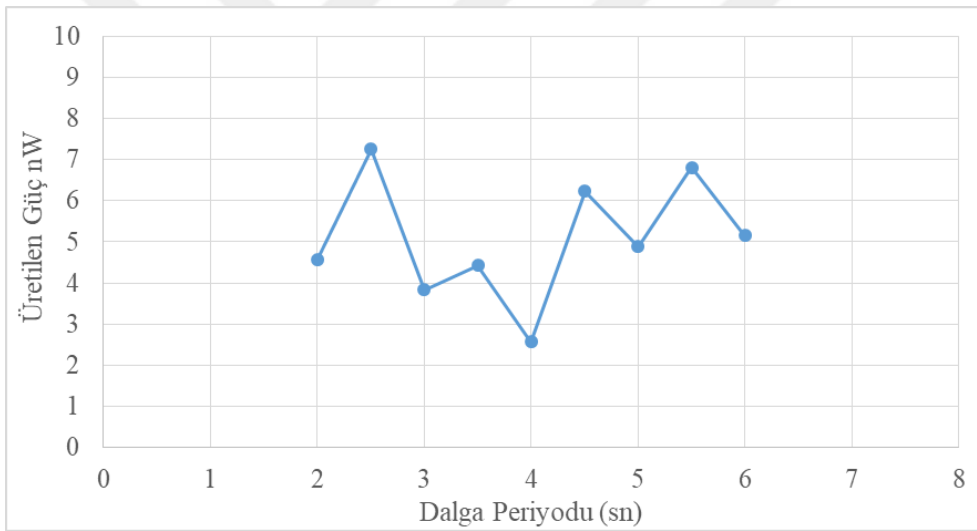
Şekil 3.45. Genel akım ve gerilim periyodunun periyoduna göre değişimi

Denklem 2.5 kullanılarak her dalga tipinde elde edilen güç miktarı hesaplanmış ve dalga yüksekliğine ve dalga periyoduna göre üretilen güç miktarının değişim grafiği Şekil 3.46 ve 3.47’de gösterilmiştir. Maksimum güç dalga yüksekliği 5 cm dalda periyodu 2,5 sn iken sağlanmıştır. Dalga yüksekliği bir noktaya kadar güç miktarını artırmış bir noktadan sonra ise dalga yüksekliği üretilen güç miktarını olumsuz yönde etkilemiştir.

Dalga periyodunun artışı ise üretilen güç miktarını olumsuz yönde etkilemiştir. Çünkü periyodun artması dalga boyunun artmasına sebep olmuş ve yapılan salınım sayısını azaltmıştır.



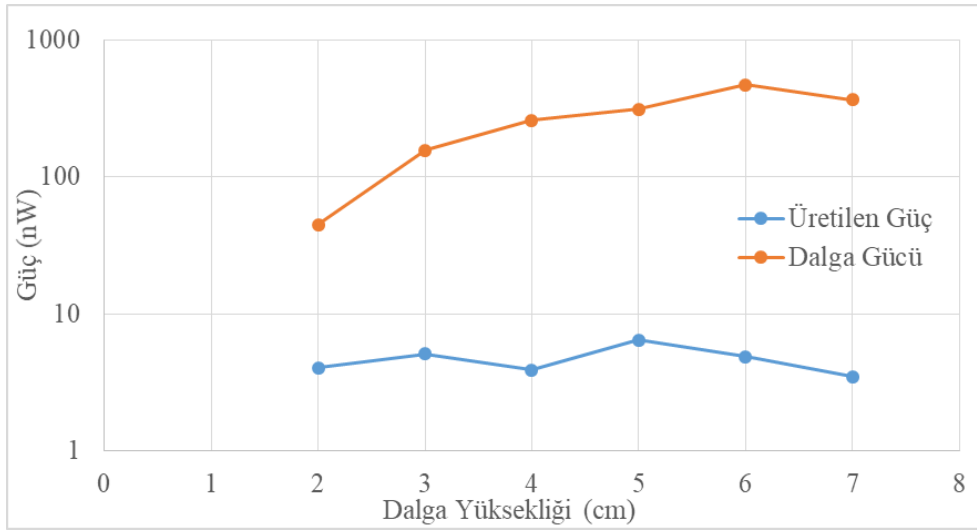
Şekil 3.46. Dalga yüksekliğine bağlı olarak üretilen güç miktarındaki değişim



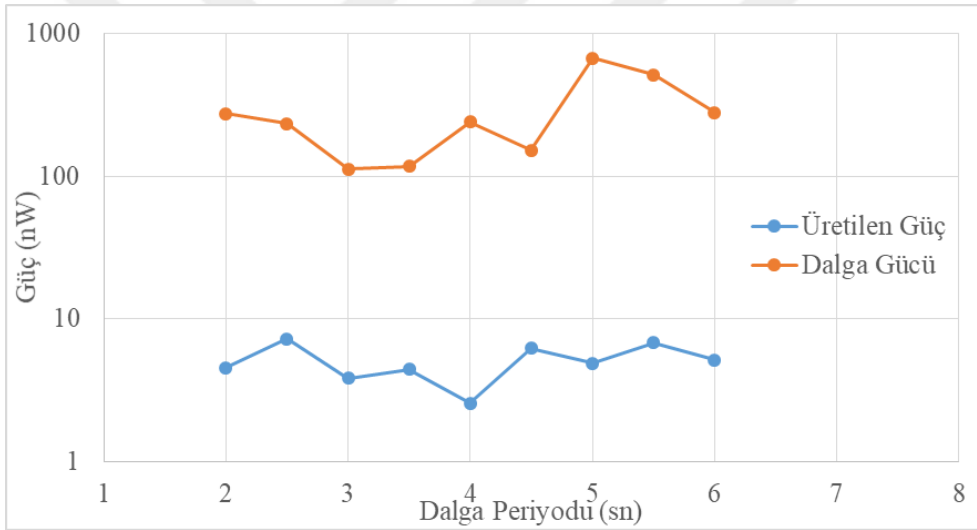
Şekil 3.47. Dalga periyoduna bağlı olarak üretilen güç miktarındaki değişim

3.3. Dalganın Sahip Olduğu Enerji Potansiyeli ve Sistemin Verimi

Bu bölümde Denklem 2.7 kullanılarak dalganın sahip olduğu güç potansiyeli 13 farklı dalga formu için hesaplanmıştır. Dalganın sahip olduğu güç potansiyeli dalga yüksekliğine bağlı olarak artmıştır. Üretilen güç miktarı ise maksimum dalga yüksekliği 5 cm dalga periyodu 2,5 sn iken sağlanmıştır. Sistemin tasarımı maksimum güç üretilebilecek dalga formunu etkilemektedir. Şekil 3.48 ve 3.49’da üretilen güç değeri ve dalganın sahip olduğu güç potansiyeli dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak çizdirilmiştir.



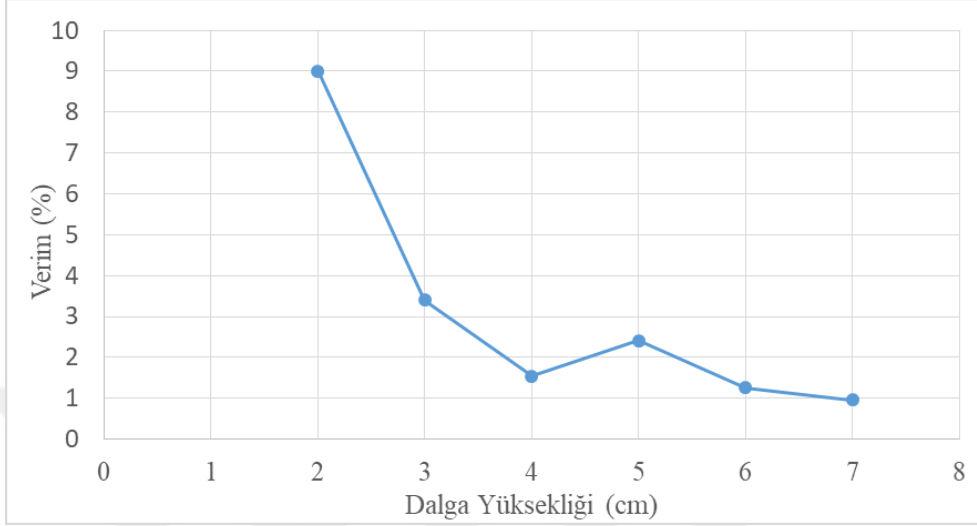
Şekil 3.48. Üretilen güç ve dalga gücünün dalga yüksekliğine bağlı değişimi



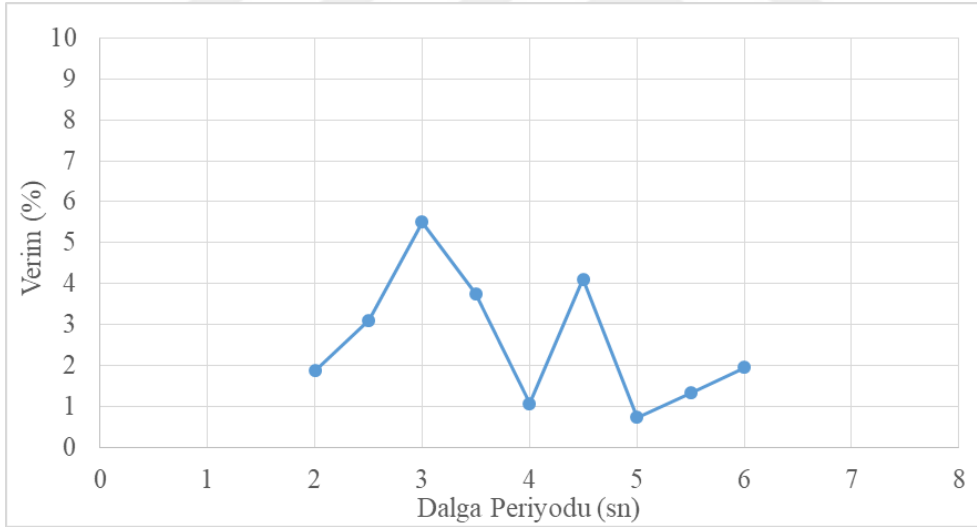
Şekil 3.49. Üretilen güç ve dalga gücünün dalga periyoduna bağlı değişimi

Denklem 2.8 kullanılarak üretilen güç miktarı dalga gücü ile oranlanmış ve yüzde olarak dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak Şekil 3.50 ve 3.51’de gösterilmiştir. Grafikte maksimum verim dalga yüksekliği 2 cm dalga periyodu 3 sn iken sağlanmıştır. Dalga yüksekliği dalga gücüne bağlı olarak artmaktadır. Fakat üretilen güç miktarında dalga yüksekliğine bağlı olarak yüksek bir artış olmadığı için sistemin verimi düşmektedir. Şekil 3.50’de yer alan grafikte hiperbolik şekilde düşen verim dalga yüksekliği 5 cm’ye çıkınca artış göstermiştir.

Bu durum maksimum güç üretiminin 5 cm dalga formunda üretilmesine bağlı olarak verimin artmasını sağlamıştır.



Şekil 3.50. Dalga yüksekliğine bağlı verimin değişimi



Şekil 3.51. Dalga periyoduna bağlı olarak verimin değişimi

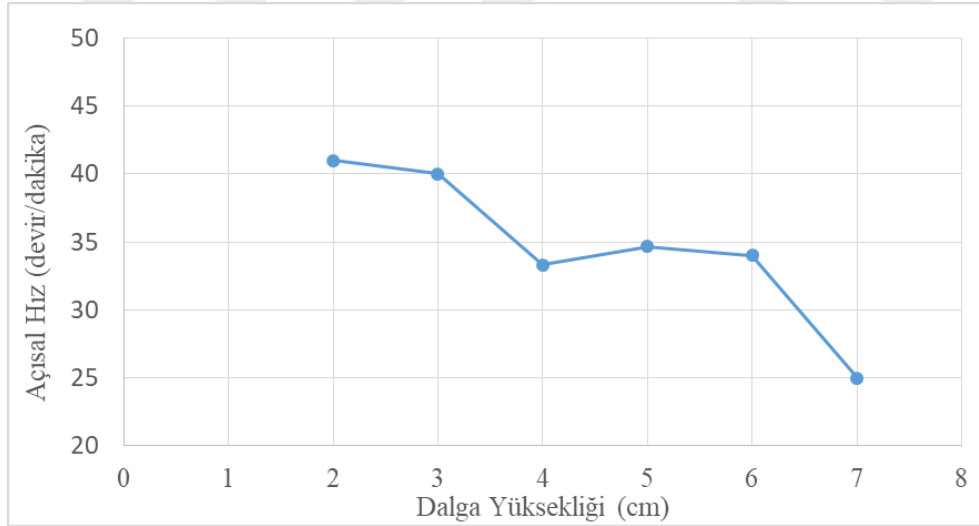
3.4. Açısal Hıza Bağlı Olarak Sistemin Torkunun Hesaplanması

Açısal hız, sistemde bir dakikada oluşan devir sayısı olarak tanımlanabilir. Her dalga formunda sistem bir dakika boyunca gözlenmiş ve oluşturduğu devir sayısı belirlenmiştir. Tablo 3.2’de her dalga formunda bir dakikada sistemin oluşturduğu devir sayısı yer almaktadır.

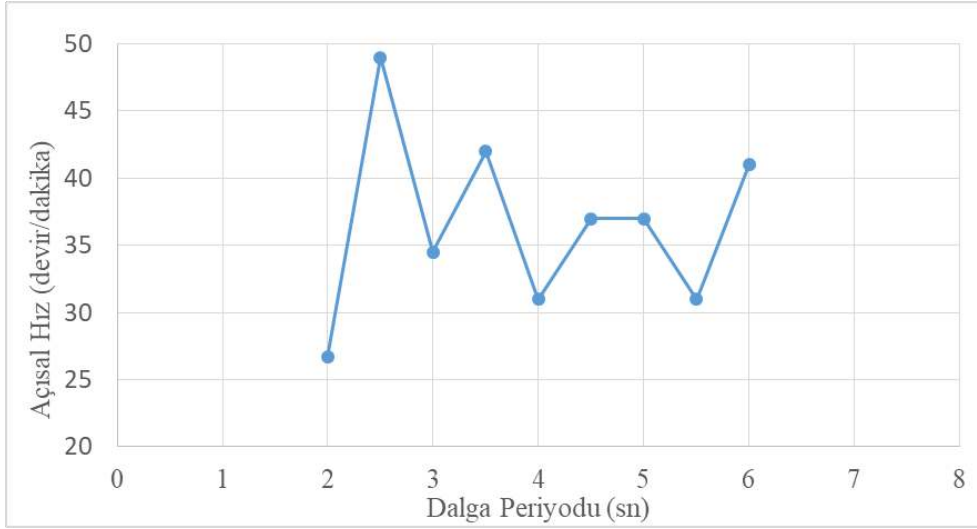
Tablo 3. 2. Dalga formuna bağılı açısal hız değeri

Dalga Formu		Açısal Hız (devir/dakika)
Dalga Yüksekliği (cm)	Periyot (sn)	
4	3,0	28
2	3,0	41
5	2,0	24
6	2,0	31
7	2,0	25
4	4,0	31
5	2,5	49
3	3,5	42
3	4,5	37
6	5,0	37
5	5,5	31
4	6,0	41
3	6,0	41

Şekil 3.52’de sistemin açısal hızının dalga yüksekliğine bağılı olarak değişimi gösterilmektedir. Dalga yüksekliği arttıkça oluşan açısal hız değeri azalmaktadır.

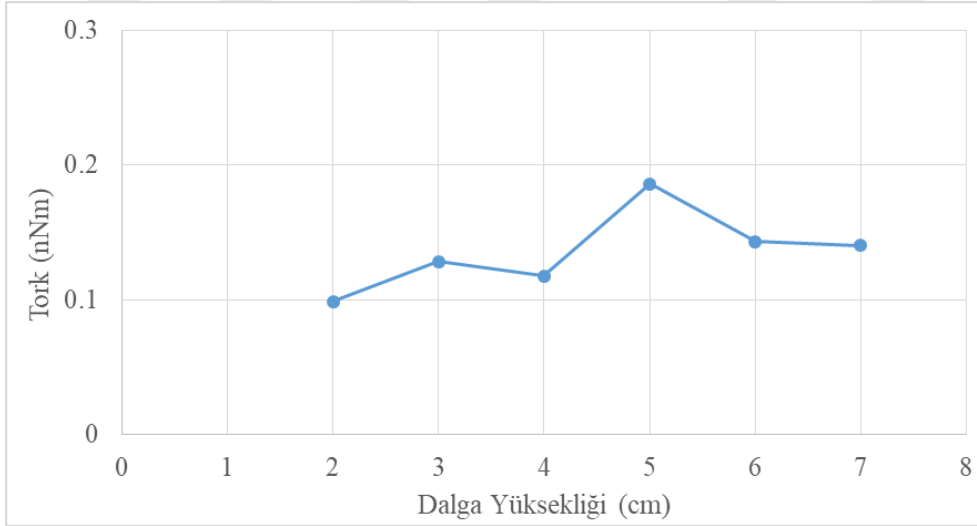
**Şekil 3.52.** Dalga yüksekliğine bağılı olarak açısal hızdaki değişim

Şekil 3.53’de dalga periyodunun açısal hızı etkisi gösterilmektedir. Grafiğe bakacak olursak düzenli bir artış ya da azalış görülmektedir. Bu sebeple sistemin açısal hızını periyodundan çok dalga yüksekliğinin etkilediği söylenebilir.



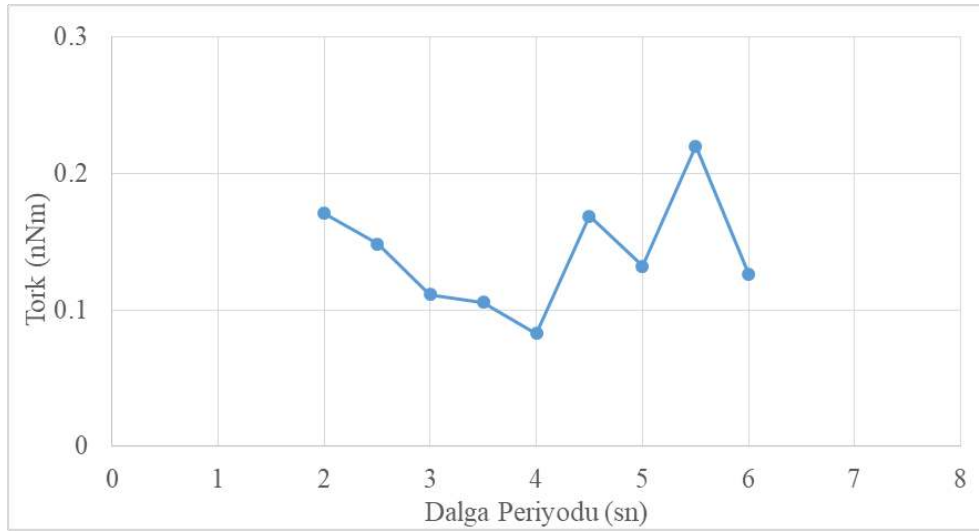
Şekil 3.53. Dalga periyoduna bağlı olarak açısal hızdaki değişim

Bu denkleme göre jeneratöre iletilen torkun dalga yüksekliğine bağlı olarak değişimi Şekil 3.54 'de yer almaktadır. Sistemin torku Denklem 2.8 kullanılarak 13 farklı dalga formu için hesaplanmıştır. Dalga yüksekliği açısal hızı artırarak tork değerlerinin azalmasını sağlamıştır.



Şekil 3.54. Dalga yüksekliğine bağlı olarak tork değişimi

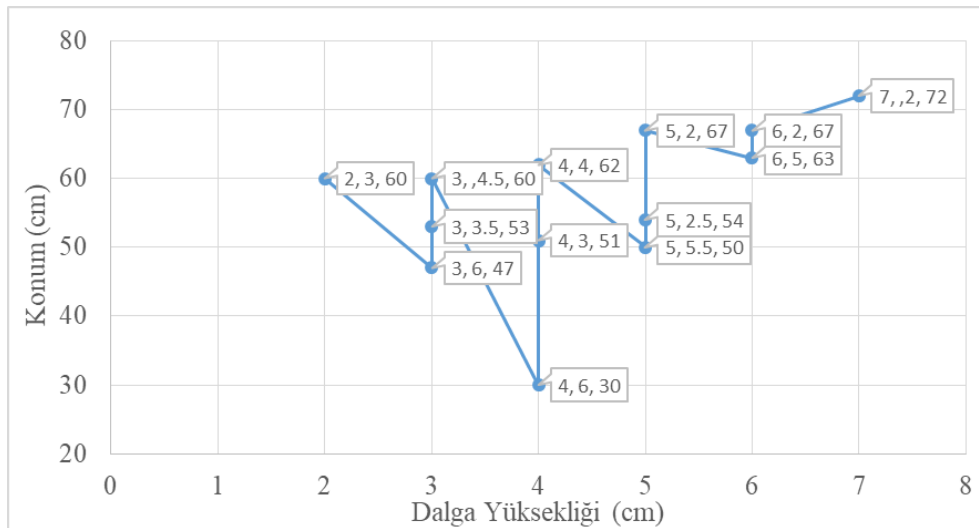
Şekil 3.55'de ise sistemin torkunun dalga periyoduna bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.55. Dalga periyoduna bağlı olarak tork değişimi

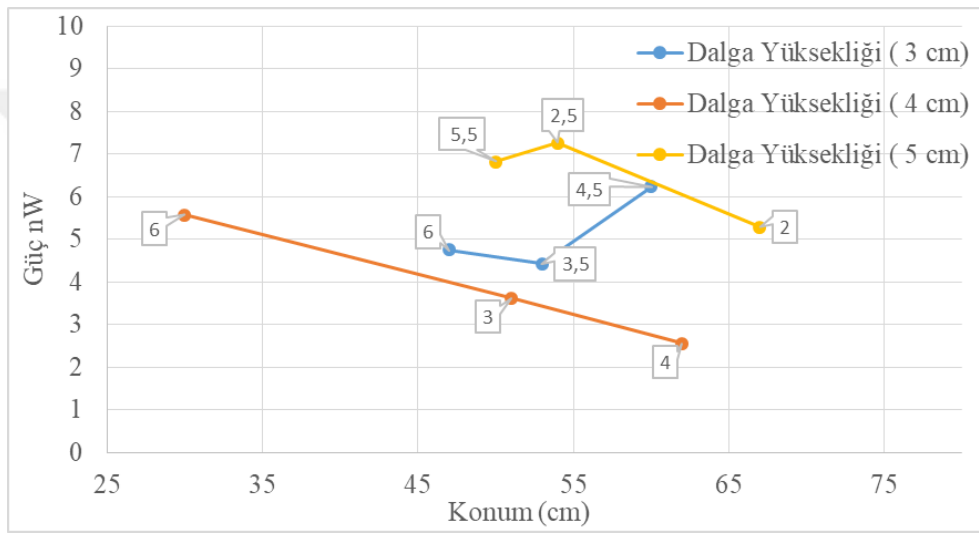
3.5. Konuma Bağlı Olarak Üretilen Güç Ve Verimdeki Değişim

Sistem dalga tankında yüzer bir şekilde yerleştirildikten sonra dalga onu belirli bir konuma taşımaktadır. Dalga formuna bağlı olarak değişen bu konumun dalga üreticisine olan uzaklığının sistemin verimini ve ürettiği güç potansiyelini nasıl etkilediği bu bölümde incelenmiştir. Şekil 3.56’da farklı dalga yüksekliklerinde sistemin dalga üreticisine uzaklığına ait grafik yer almaktadır. Grafikte kutucuklarda verilen değerler sırasıyla dalga yüksekliğini, dalga periyodunu ve bu dalga formlarında DEDS’nin dalga üreticisine olan uzaklığını vermektedir.

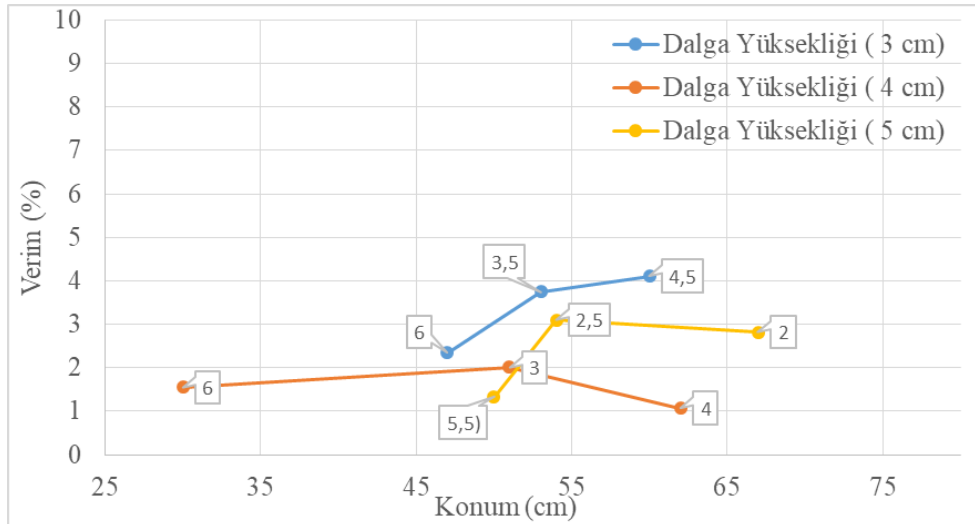


Şekil 3.56. Dalga yüksekliğine bağlı sistemin dalga üreticisine olan uzaklığı

Şekil 3.57 ve 3.58’de ise aynı dalga yüksekliğinde konumdaki değişimin verimi ve üretilen güç miktarını nasıl değiştiğini nasıl etkilediğini gösteren eğriler yer almaktadır. Şekil 3.57’de yer alan grafiğe göre aynı dalga yüksekliğine sahip olan ölçümlerde genellikle üretilen güç miktarının azalmasına neden olmuştur. Özellikle dalga yüksekliği 4 cm olan eğride görüldüğü gibi konum 25 cm ile 65 cm arasında değişmiş ve konumun üretilen güç miktarını azalttığı görülmüştür. Fakat dalga yüksekliği 3 cm ve 5 cm olan eğride konumlar arasındaki fark çok fazla değişmediği için artış ve azalışlar görülmüştür.



Şekil 3.57. Aynı dalga yüksekliğinde konumdaki değişimin üretilen güç miktarına etkisi



Şekil 3.58. Aynı dalga yüksekliğinde konumdaki değişimin verime olan etkisi

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan dalga enerjisi sınırsız, temiz ve taşıdığı güç potansiyeli özellikle okyanuslarda çok yüksektir. Sadece kurulum maliyetine ihtiyaç duyan dalga enerjisi, maliyet olarak da çok avantajlıdır. Fakat bu alanda yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu sebeple bu alanda yapılan çalışma sayısının artırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada dalga tankı kullanılarak farklı dalga tiplerinin DEDS üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geliştirilen dalga enerji dönüşüm sisteminden farklı dalga tipleri için akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Bir bobinden geçen akım değişkense bobinde oluşan alan kuvveti de değişkendir. Bobin, üzerinden geçen akımın değişim hızına bağlı olarak üzerinde enerji depolamaktadır [43]. Bu yüzden elde edilen grafiklerde akım değeri için o anlık değer ölçülmüş gerilim için ise akım değişiminden bağlı olarak depolanan gerilim değerleri değişiklik göstermiştir. Her dalga formu için efektif akım ve gerilim değerleri bulunarak dalga yüksekliğine bağlı olarak değişim grafiği bulunmuştur. Genellikle geliştirilen DED sistemlerinde, belirli dalga boyu ve periyodunda maksimum %35-%40 güç verimi alınmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen prototip ile dalga yüksekliği 5 cm, dalga periyodu 2,5 sn iken maksimum güç 7 nW olarak hesaplanmıştır. Dalga yüksekliği 2 cm, dalga periyodu 3 sn iken maksimum verim %9 olarak elde edilmiştir. Farklı dalga tiplerinde oluşturulan akım ve gerilim grafikleri için ortalama bir periyot belirlenmiş ve bu periyotların dalga yüksekliğine bağlı olarak değişim grafiği oluşturulmuştur. Genel akım periyodunun dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Genel gerilim periyodunu ise dalganın özellikleri çok fazla etkilenmemiştir.

Dalğanın sahip olduğu enerji ve güç potansiyeli ise genel denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Dalğanın sahip olduğu enerji dalga yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır. Üretilen güç değerinin dalğanın sahip olduğu güç değerine bölünmesiyle sistemin verimi hesaplanmıştır. Fakat hesaplanan verim değerleri çok yüksek çıkmamıştır.

Su üzerinde yüzer bir kütleyle elektrik enerjisi üretilmektedir. Dolayısıyla sistemin öz kütesinin suyun öz kütesinden küçük olması gerekmektedir. Tasarım yapılırken dalga boyuna uygun bir geometri tasarlanmıştır. Dalga tankı küçük olduğu için uzun dalga boyuna sahip dalgalar üretilmemiştir. Bu yüzden mıknatıs, bobin ve malzemenin kütlesi hesaplanarak ona uygun bir hacim belirlenmiş ve kütlenin su üzerinde yüzmesi sağlanmıştır.

Bu çalışma genel olarak bir DEDS tasarımında dalga yüksekliği ve periyodunun sistemin özelliklerini nasıl etkilediği ile ilgili fikir vermektedir. DEDS ile ilgili yapılan çalışmalarda bölgenin yıllık ortalama dalga formu hesaba katılarak ona uygun tasarım yapılması gerekmektedir. Ayrıca mıknatıs sayısının ve bobinin sarım sayısının sistemin hacmine bağlı olarak artması sistemin ürettiği güç miktarını artıracaktır. Dalga yüksekliğinin fazla olduğu denizlere ve okyanuslara uygun geometrinin tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca su basıncının yüksek olduğu yerlerde devir sayısı dişlilerle artırılabilmesi için çok küçük bir hareketten yüksek devir sayısı elde edilebilir. Artan devir sayısı sistemin verimliliğini önemli ölçüde artıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bilgiç, İ.**, 2011. Bir dalga enerjisi konvertör sisteminde güç optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Hatay.
- [2] **Koç, E. ve Şenel, M. C.**, 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, **54**, **639**, 32-44.
- [3] **Mert, S.**, 2012. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Tasarımı ve Deneysel Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimler Ens. İstanbul.
- [4] **Marques, A., C., Fuinhas, J., A., Pereira, D., A.**, 2018. Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries, Energy Policy, **116**, 257-265
- [5] <http://www.enerjibes.com/dalga-enerjisi/> . Dalga Enerjisi Nedir? . 10 Kasım 2016.
- [6] **Belgin, M.**, 2002. Sayısal Dalga Tankında Çok Yönlü Dalga Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [7] **Mikkola, T.**, 2006. Time Accurate Simulation of a Plunger Type Wave Maker Using Unstructured Finite Volume Solver with Surface TrackingA Nearshore Heaving-Buoy Sea Wave Energy Converter for Power Production , 26th Symposium on Naval Hydrodynamics, Finland, September 17-22.
- [8] **Patel, M. H. and Ionnaou, P. A.**, 1980. Comparative Performance Study of Paddle and Wedge-Type Wave Generators, J. Hydronautics, **14**, **1**.
- [9] **Karaköse, P.**, 2018. Dalga Enerji Dönüşüm Sistemleri, Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Elazığ.
- [10] **Youssef, J., Matar, J., Rahme, P. and Mosleh, C.B.**, 2016. A Nearshore Heaving-Buoy Sea Wave Energy Converter for Power Production , Procedia Engineering, **145**, 136-143.
- [11] **Singh, P.M., Chen, Z. and Choi, Y.D.**, 2015. Component structural analysis on 15kW class wave energy converter, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, **8**, 821-827.
- [12] **Wan, L., Greco, M., Lugni, C., Gao, Z. and Moan T.**, 2017. A combined wind and wave energy-converter concept in survivalmode: Numerical and experimental study in regular waves with a focus on water entry and exitLing, Applied Ocean Research, **63**, 200-216.

- [13] **Liu, Z., Shi, H. and Kim, K.**, 2017. Experimental study on overtopping performance of a circular ramp wave energy converter, *Renewable Energy*, **104**, 163-176.
- [14] **Joe, H., Kim, M., Wi, S.M., Kwon, H.S., Yu, S.C.**, 2014. Development of Mooring-less Robotic Buoy System using Wave Powered, *Renewable Energy*, IEEE.
- [15] **Tom N. M., Lawson, M. J., Yu, Y.H., Wright, A. D.**, 2016. Development of a nearshore oscillating surge wave energy converter with variable geometry, *Renewable Energy*, **96**, 410-424.
- [16] **Ozkop, E. and Atlas, H. İ.**, 2017. Control, power and electrical components in wave energy conversion systems: A review of the Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **67**, 106-115.
- [17] **Sergiienko, N. Y., Cazzolato, B. S., Ding, B., Hardy, P., Arjomandi, A.**, 2017. Performance comparison of the floating and fully submerged quasipoint absorber wave energy converters, *Renewable Energy*, **108**, 425-437.
- [18] **Ghasemi, A., Anbarsooz, M., Malvandi, A., Ghasemi, A., Hedayati, F.**, 2017. A nonlinear computational modeling of wave energy converters: A tethered point absorber and a bottom-hinged flap device, *Renewable Energy*, **103**, 774-785.
- [19] **So. E., Michelen, C., Bosma, B., Lenee-Bluhm, P., Brekken, T. K. A.**, 2017. Statistical Analysis of a 1:7 Scale Field Test Wave Energy Converter Using WEC-Sim, *Ieee Transactions On Sustainable Energy*, **8(3)**, 1118-1126.
- [20] **Bhinder, M. A., Babarit, A., Gentaz, L., Pierra Ferrant, P.**, 2015. Potential time domain model with viscous correction and CFD analysis of a generic surging floating wave energy converter, *International Journal of Marine Energy*, **10**, 70-96.
- [21] **Rhinefrank, K., Schacheri A., Prudell, J., Cruz, J., Stillinger, C., Naviaux, D., Brekken, T., von Jouanne, A., Newborn, D., Yim, S., Cox, D.**, 2013. Numerical Analysis and Scaled High Resolution Tank Testing of a Novel Wave Energy Converter, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, **135**, 041901-1.
- [22] **Do, H., Dang, T. and Ahn, K. K.**, 2018. A multi-point-absorber wave-energy converter for the stabilization of output power, *Ocean Engineering*, **161**, 337-349.

- [23] **Elhanafi, A., Macfarlane, G., Fleming, A. and Leong, Z.,** 2017. Experimental and numerical investigations on the hydrodynamic performance of a floating–moored oscillating water column wave energy converter. *Applied Energy*, **205**, 369-390.
- [24] **Kim, J., Koh, H. J., Cho, I. H., Kim, M. H. and Kweon, H. M.,** 2017. Experimental study of wave energy extraction by a dual-buoy heaving system, *International journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, **9**, 24-35.
- [25] **Li, D.T., Xie, Y.H. and Li, D.T.,** 2013. The research and development of steady and continuously wave power generating, *Frontiers of Energy and Environmental Engineering*.
- [26] **Yongliang, Z. and Zheng, L.,** 2011. Advances in ocean wave energy converters using piezoelectric elements, *Journal of Hydroelectric Engineering*, **30(5)**, 145.
- [27] **Arslan, S.,** 2016. Overview of Generating Electricity from Wave Energy Systems and Investigation of Generator Topologies Used in Archimedes Wave Swing Systems, *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, Kilis, Turkey, March 19-20.
- [28] **Meeren, D. V.,** 2011. Analysis of a power conversion system for a wave energy converter, **Master's thesis**, Tampere University of Applied Sciences.
- [29] **Yamaç, H.İ.,** 2016. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Enerji Hasatı İçin Piezoelektrik Malzeme Kullanılması Durumunda Sistemlerin Modellenmesi Ve Analizinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Elazığ.
- [30] **Clément, A., McCullenc, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonisa, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.P., Schild, P., Sjöström, B.O., Sørensen, H.C., Thorpe, T.,** 2012. Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **6, 5**, 405-431.
- [31] **Bak. U.,** 2003. Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisine Dönüşüm Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimler Enst., İstanbul.
- [32] <http://www.sciencephoto.com/media/340546/view> , Science Photo Library, Osprey, 12 Nisan 2018.

- [33] **Sun, L., Zang, J., Stansby, P., Carpintero Moreno E., Taylor, P.H., Eatock Taylor, E.**, 2016. Linear diffraction analysis of the three-float multi-mode wave energy converter M4 for power capture and structural analysis in irregular waves with experimental validation, *J. Ocean Eng. Mar. Energy*, 51-68.
- [34] http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx. Dalga Enerjisi Üretim Sistemleri, 2018.
- [35] **Paasch, R., Ruehl, K. Hovland, J., Meicke, S.**, 2012. Wave energy: a Pacific perspective, *Phil. Trans. R. Soc.*, **370**, 481-501.
- [36] <http://www.wavedragon.net/?option=com%20content&task=view&id=6&Itemid=5>, The Wave Dragon Technology, 25 Şubat 2018.
- [37] http://www.aquaret.com/indexfca4.html?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=280&lang=en Dalga, 10 Aralık 2018.
- [38] Ford, J., 2015. Wave energy device using wind turbine components set for development at Wave Hub.
<https://www.theengineer.co.uk/issues/june-2015-online/wave-energy-device-using-wind-turbine-components-set-for-development-at-wave-hub/>, 5 June 2015.
- [39] **Çelebi, M.S. ve Belgin, M.**, 2002. Sayısal dalga tankında çok yönlü dalga modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [40] **Kendir, S., Salman, A., Tatar, Y. E. ve Uzun, S.**, 2013. Dalga enerjisi sistemi, Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- [41] **Li, W., Isberg, J., Engström, J.**, 2015. Parametric Study of the Power Absorption for a Linear Generator Wave Energy Converter, *Journal of Ocean and Wind Energy*, **2**, 4, 248-252.
- [42] http://www.robotiksistem.com/tork_nedir_tork_hesaplama.html, Tork nedir, Tork Hesaplama. 10 Mart 2018.
- [43] **Özer, E.**, 2018. Alternatif Akım Devre Analizi.
http://websitem.karatekin.edu.tr/user_files/mkarayel/files/alternatifakimdevreanalizi.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Perihan Karaköse

Doğum Tarihi: 18 Aralık 1994

Tel No: 05387238541

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	2012
Y. Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	2017

Projelerde Yaptığı Görevler :

Robot Balık, TÜBİTAK Projesi, 114E652, *Araştırmacı Asistan*, 2017.

3 Eksen CNC, 1. Dönem Bitirme Projesi, **Tasarımı, İmalatı ve Elektronik Pano Düzenlemesi**, 2015.

3 Eksen Eczane Otomasyonu, 2. Dönem Bitirme Projesi, **Tasarımı, İmalatı ve Programlaması**, 2016.

Sıkıştırılmış Havayla Çalışan Araba Projesi, Doç. Dr. Oğuz Yakut yürütücülüğünde kurulan bir klüp projesi, **İmalat**, 2016.

Vakum Pres Makinası, Doç. Dr. Oğuz Yakut yürütücülüğünde kurulan bir klüp projesi, **İmalat**, 2016.

Çizgi İzleyen Robot, Makine Elamanları Dersi Proje Ödevi, **Tasarım, İmalat ve programlama**, 2014.

ESERLER

A.Yüksek Lisans Semineri

A1. Karaköse, P. Aralık 2017. Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri, Yüksek Lisans Semineri, Elazığ,

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler :

B1. Ay, M., Özmen Koca, G., Korkmaz, D., Bingöl, M. C., Akpolat, Z. H., Bal, C., Karaköse, P. Ekim 2017. Prototype Design and Waterproof Production of Intelligent Robotic Fish (i-RoF), *8th International Advanced Technologies Symposium* , Elazığ.

B2. Koca, A., Yamaç, H. İ., Mayıs 2017. Numerical Analysis Of Wave Amplitude Effect On Power Output Of Oscillating Water Column Device With Coastal Elevation , *International Engineering and Technology Symposium*, Batman.

B3. Karaköse, P. Koca, A., Yamaç, H. İ., Ekim 2018. Offshore Wave Energy Converter Systems, *International Symposium on Graduate Research in Science*, İstanbul Üniversitesi