



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA KARADENİZ'DE DÜŞÜK GÜÇLÜ SİSTEMLER İÇİN  
DALGA ENERJİSİNDEN ENERJİ ÜRETİMİ YÖNTEMİ VE  
UYGULAMASI**

**MEHMET LETİF BAYRAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**ORDU 2021**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**MEHMET LETİF BAYRAM**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### ORTA KARADENİZ'DE DÜŞÜK GÜÇLÜ SİSTEMLER İÇİN DALGA ENERJİSİNDEN ENERJİ ÜRETİMİ YÖNTEMİ VE UYGULAMASI

MEHMET LETİF BAYRAM

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 79 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALİ EKBER ÖZDEMİR)

Elektrik enerjisi, günümüzde en yaygın kullanılan enerji türüdür. Bunun en temel nedenleri: Üretilmesinin kolay olması, verimli bir şekilde depolanabilmesi, diğer enerji türlerine (Isı, mekanik vs.) kolayca dönüştürülebilmesi ve temiz bir enerji türü olması verilebilir.

Gelişen sanayi ve teknoloji, bu enerji türüne olan ihtiyacın zamanla üstel biçimde artmasına neden olmaktadır. Kendisi temiz bir enerji türü olmakla birlikte, elektrik enerjisinin üretimi için günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin çoğu çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların en büyüğü kuşkusuz küresel ısınmadır. Bunun nedeni ise elektrik enerjisi üretiminin ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan sağlanmasıdır. Küresel ısınmanın neden olduğu çevre sorunları nedeni ile yenilenebilir enerji üretimine olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

Bu tez, yenilenebilir enerji kaynaklarından dalga enerjisinin düşük güçlü sistemler için elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayacak aynı zamanda da yerleştirildiği bölgenin dalga enerji üretim potansiyelinin araştırılmasında kullanılacak bir cihazın tasarımı ile ilgilidir. Enerjinin korunum ilkesi gereği herhangi bir enerji türü ancak başka bir enerji türünden dönüştürülebilir. Bu bağlamda dalga enerjisinden elektrik enerjisinin üretimi için piezoelektrik enerji dönüşümü olarak bilinen bir yöntem kullanılmıştır. Temel olarak piezoelektrik etki üzerine mekanik titreşim uygulanan bir kristalin elektriksel olarak polarize olması şeklinde açıklanabilir. Bu etki aynı zamanda da tersinir özelliktedir.

Bu tez kapsamında tasarlanarak imal edilen cihaz, dalga enerjisinden sağlanan hareket enerjisinin, yaylar ile titreşim enerjisine dönüştürülmesi ve bu titreşim enerjisinin ise piezoelektrik dönüştürücüler ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibinde çalışmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin depolanması için diyot ve kapasitörlerden oluşan bir arayüz devresi kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dalga Enerjisi, Piezoelektrik Etki, Titreşim Enerjisi, Yenilenebilir Enerji.

## ABSTRACT

### AN ENERGY GENERATION METHOD AND ITS APPLICATION FOR LOW-POWERED SYSTEMS FROM WAVE ENERGY IN CENTRAL BLACK SEA

MEHMET LETİF BAYRAM

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCES

FISHERIES TECHNOLOGY ENGINEERING

MASTER THESIS, 79 PAGES

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİ EKBER ÖZDEMİR)

Electrical energy is the most common energy type used nowadays. Basic reasons for this can be given as follow: it can be generated easily, it can be stored easily, it can be converted into other energy types (Heat, mechanical etc) and it is a clean energy type. Developing industry and technology cause an exponential increasing demand for electrical energy. Although electrical energy is a clean energy type, most processes which is used to generate electrical energy cause environmental problems. The most important one of these problems is undoubtedly global warming because most of these process use fossil fuel in order to generate electrical energy. Interest for renewable energy generation systems is getting increase due to environmental problems which global warming cause.

This thesis is about a system which can convert wave energy, which is one of the renewable energy resources, into electrical energy. In addition, the fabricated system can be used as a device to evaluate the wave energy potential for a specific area at sea. Due to conservation principle of energy any energy type can only be converted into another energy type. In this context, a method known as piezoelectric energy conversion had been used in this thesis in order to generation of electric energy. Basically, piezoelectric effect can be described as that a crystal, which is under the mechanical stress, produces electrical polarization. At the same time, this effect is reversible. Device fabricated in this thesis works principle based on conversion of mechanical energy supplied from wave into electrical energy via siprings which is placed on piezoelectrical transducers in order that vibrate them. An interface circuit composed diodes and capacitors was used in order to store electrical energy. The manufactured system is placed into a waterproof chamber floating on the sea.

**Keywords:** Piezoelectrical Effect, Renewable Energy, Vibration Energy, Wave Energy.

## TEŞEKKÜR

Tez alıőması boyunca bana her tűrlű yardım ve desteęi veren, bilgi ve tecrűbeleriyle yol gűstererek eősiz katkılar sunan danıőmanım Sayın Doç. Dr. Ali Ekber ŐZDEMİR'e ve bu çalıőmalar esnasında sabır ve katkıları için eőim ve ocuklarıma, Cihan NACAĞ, Ayhan GŪNAYDIN, Seda KONTAŐ ve Ufuk BAYRAKTAR'a' çalıőmam sırasında kűűk ve bűyűk yardımlarını esirgemeyen herkese teőekkűr ederim.

**Mehmet Letif BAYRAM**  
**Őubat 2021**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VI
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Elektriğin Kısa Tarihi.....	1
1.2 Elektrik Enerjisinin Üretimi .....	4
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	12
2.1 Piezoelektrik Dönüşümün Kullanıldığı Enerji Hasatı Uygulamaları.....	12
2.1.1 Akustik Enerjinin Hasatı İle İlgili Uygulamalar .....	13
2.1.2 Yapılar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Üretimi Uygulamaları .....	14
2.1.3 Deniz – Okyanus Dalgasından Enerji Üretimi Uygulamaları.....	15
2.1.4 Giyilebilir Uygulamalar .....	16
2.1.5 Biyomedikal Uygulamaları .....	18
2.1.6 Hibrit Enerji Dönüşüm Uygulamaları .....	18
2.1.7 Ortam Titreşimlerinden Enerji Hasatı Uygulamaları .....	20
2.1.8 Rüzgar Enerjisinden Enerji Hasatı Uygulamaları .....	21
2.1.9 Taşıtlar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları .....	23
2.1.10 Yağmur Damlalarından Enerji Hasatı Uygulamaları.....	24
2.1.11 Taşıt Ve Yaya Yollarındaki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları.....	24
2.2 Temel Piezoelektrik Denklemler ve Önemli Parametreler .....	25
2.3 Piezoelektrik Enerji Hasatının Optimizasyonu için Devre Topolojileri .....	32
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	37
3.1 Hasatçılarda Kullanılan Piezoelektrik Dönüştürücüler ve Özellikleri .....	37
3.2 Enerji Hasatçısında Kullanılan Devre Topolojisi .....	38
3.1 Enerji Hasatçısının İmalatı .....	41
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	45
4.1 Veri Toplama ve Veri Analizi.....	45
4.2 Kutu Şeklinde Teknelere Etkisi .....	52
4.3 Can Kurtarma Filikasında Kullanımı .....	56
4.4 Yüzer Cisimlerde Kullanımı .....	58
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	63
<b>6. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	68

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 Türkiye'ye ait gece çekilmiş uydu fotoğrafı .....	1
Şekil 1.2 Son kırk yıl için enerji üretim yöntemlerinin oransal değişimi .....	4
Şekil 1.3 Elektromanyetik indüksiyon ile elektrik üretimi .....	5
Şekil 1.4 Faraday Yasası (E: Elektromotor kuvvet, B: Manyetik alan, C: Yol, A: Alan) .....	5
Şekil 1.5 Hidroelektrik santralinin çalışma ilkesi .....	6
Şekil 1.6 AC jeneratör yapısı .....	6
Şekil 1.7 Nükleer enerji santrallerinde elektrik enerjisinin üretilmesi .....	7
Şekil 1.8 Fotoelektrik etki.....	8
Şekil 1.9 n - p katkılı yarı iletken yapı ve fotovoltajik enerji dönüşümü prensibi.....	8
Şekil 1.10 Termoelektrik Jeneratör.....	9
Şekil 1.11 Bir TEJ'de sıcaklık farklarının çıkış gerilimine etkisi. ....	10
Şekil 1.12 Enerji hasatı yöntemleri ve muhtemel uygulamaları .....	11
Şekil 2.1 Piezoelektrik etkinin kullanım alanları.....	12
Şekil 2.2 Mekanik kuvvet etkisi ile kristal yapısının polarize olması .....	13
Şekil 2.3 Piezoelektrik çalışma modlarının gösterimi .....	26
Şekil 2.4 Matematiksel modellemede kullanılacak piezoelektrik materyal.....	27
Şekil 2.5 $d_{33}$ modunda çalışan bir PD için eşdeğer elektrik devre.....	28
Şekil 2.6 Kütle - yay - sönümleyici - piezo modeli (a) ve rezonans davranışı (b).....	29
Şekil 2.7 Piezoelektrik enerji hasat makinesi için Mason Eşdeğer Devresi .....	30
Şekil 2.8 Bir piezoelektrik hasatçısının en yalın eşdeğer elektrik devresi.....	31
Şekil 2.9 Standart piezoelektrik enerji hasat devresi .....	32
Şekil 2.10 Tam dalgalı doğrultucu topolojileri.....	33
Şekil 2.11 Yaygın olarak kullanılan enerji hasat devreleri .....	35
Şekil 3.1 Yaygın olarak kullanılan piezoelektrik dönüştürücüler.....	37
Şekil 3.2 Tez kapsamında kullanılan PD .....	37
Şekil 3.3 Enerji hasatçısında kullanılan PD yapısı .....	38
Şekil 3.4 Tez kapsamında kullanılan devre topolojisi .....	39
Şekil 3.5 Kullanılan devre topolojisinde çıkış gerilimi .....	40
Şekil 3.6 Devre topolojisinin PCB tasarımı.....	41
Şekil 3.7 Kullanılan doğrultma stratejisi .....	41
Şekil 3.8 İmal edilmiş olan enerji hasatçısı .....	42
Şekil 3.9 Enerji Hasatçı Bağlantıları.....	42
Şekil 3.10 Deney düzeneğine ait öğeler.....	43
Şekil 3.11 Deney düzeneğinin son hali .....	44
Şekil 3.12 Deney düzeneği ile veri toplama süreci.....	44
Şekil 4.1 01 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	45
Şekil 4.2 02 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	45
Şekil 4.3 03 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	46
Şekil 4.4 04/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	46
Şekil 4.5 05/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	47
Şekil 4.6 06/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	47
Şekil 4.7 07/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	48
Şekil 4.8 08/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	48

Şekil 4.9	09/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı.....	49
Şekil 4.10	01 - 09/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı .....	49
Şekil 4.11	Verilerin Sıcaklık, Nem ve Rüzgar ile Karşılaştırılması .....	51
Şekil 4.12	Gemi Boyutları .....	52
Şekil 4.13	Verilerin Rüzgar, Nem ve Sıcaklık ile Karşılaştırılması .....	53
Şekil 4.14	Can Simidi .....	54
Şekil 4.15	Can Yeleği .....	54
Şekil 4.16	IALA Deniz Şamandıra Sistemi .....	55
Şekil 4.17	Kuşadası 3 nolu Batı Kardinal Şamandırası .....	55
Şekil 4.18	Kuşadası 4 nolu Batı Kardinal Şamandırası .....	56
Şekil 4.19	Filika .....	57
Şekil 4.20	GM yüksekliği .....	57
Şekil 4.21	Filikada elde edilen enerji hasadı .....	58
Şekil 4.22	Seyir Halinde Filikada Enerji Hasadı .....	59
Şekil 4.23	Hızlı Can Kurtarma Botunda enerji hasadı.....	59
Şekil 4.24	Hızlı Can Kurtarma Teknesinden Enerji Hasadı Grafiği.....	60
Şekil 4.25	Filikada Enerji Hasadı Grafiği.....	60



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 1.1 Elektriğin kısa tarihi .....	3
Çizelge 2.1 Kütle yay sistemindeki mekanik - elektriksel büyüklüklerin karşılıkları	30
Çizelge 2.2 Yaygın kullanılan devre topolojilerinin karşılaştırılması .....	36
Çizelge 4.1 Ortalama Veri Tablosu (V).....	50
Çizelge 4.2 Enerji Hasadının Sıcaklık ,Nem ve Rüzgar ile Karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.3 Enerji Hasadı Uygulamaları Tablosu .....	62
Çizelge 4.4 Boyutlar .....	62

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>B</b>	: Manyetik alan
<b>C<sup>E</sup></b>	: Sabit elektrik alanında belirlenen elastik sertlik matrisi
<b>C<sub>0</sub></b>	: İç kapasitans
<b>d</b>	: Draft
<b>D</b>	: Elektriksel indüksiyon vektörü
<b>e</b>	: Piezoelektrik stres matrisi
<b>E</b>	: Elektrik alan
<b>Em</b>	: Elektromotor kuvvet
<b>F</b>	: Kuvvet
<b>G</b>	: Ağırlık Merkezi
<b>I</b>	: Elektrik akımı
<b>M</b>	: Metacenter (Enine Hareket Merkezi)
<b>PD</b>	: Piezoelektrik Dönüştürücü
<b>PCB</b>	: Printed Circuit Board
<b>S</b>	: Gerilme vektörü
<b>SPEHD</b>	: Standart Piezoelektrik Enerji Hasat Devresi
<b>T</b>	: Stres vektörü
<b>TED</b>	: Triboelektrik Dönüştürücü
<b>TEJ</b>	: Termoelektrik Jeneratör
<b>U</b>	: Mekanik yer değiştirme
<b>V</b>	: Elektrik gerilimi
<b>Z</b>	: Empedans
<b>Q</b>	: Elektrik yükü
<b>a</b>	: Kuvvet faktörü
<b>ξS</b>	: Sabit gerinimde geçirgenlik matrisi

---

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzde kullanılan en yaygın enerji türüdür. Elektrik enerjisinin ne ölçüde yaygın kullanıldığının en belirgin göstergelerinden biri Şekil 1.1 ile gösterildiği gibi gece uzaydan çekilmiş uydu görüntüleridir.



Şekil 1.1 Türkiye'ye ait gece çekilmiş uydu fotoğrafı

Elektrik enerjisinin kullanım alanı tabiki aydınlatma ile sınırlı değildir. Ancak gece çekilmiş uydu görüntüleri incelendiğinde sanayii ve teknolojinin yaygın ve gelişmiş olduğu alanların daha parlak olduğu da görülmektedir.

### 1.1 Elektriğin Kısa Tarihi

İnsan medeniyeti geliştikçe elektriğe olan ihtiyaç da artmıştır. Gündelik hayatta, ilk olarak aydınlatma amaçlı olarak kullanılan elektrik enerjisi, elektrik motorlarının icadı ile birlikte sanayii alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel yanmalı motorların aksine daha az yer kaplamaları, daha gürültüsüz, çalışmaları yüksek tork ve hız üretebilmeleri, kontrol ve denetimlerinin daha hızlı ve güvenli yapılabilmesi gibi pek çok nedenden dolayı elektrik motorları zamanla içten yanmalı motorların yerini alarak sanayii alanında yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde içten motorların en yaygın kullanım alanı otomobiller olsada yakın bir gelecekte elektrik motorlarının bu alanda da içten yanmalı motorların yerini alacağı öngörülmektedir. Bu nedenle elektrik enerjisi, gelişen teknoloji ile her geçen gün yeni bir kullanım alanı ile gündelik hayatta dahil olmaktadır.

Bilinen ilk elektrikli cihaz Von Guericke tarafından 1660 yılında icat edilmiş mekanik tork üretebilen basit bir makinaydı. 1675 yılında ise bir Fransız gök bilimci olan Jean Picard, bir cıva barometresinin karanlıkta çalkalandığında barometrenin cam boşluğunda ışık parıldamaları olduğunu keşfetti. Francis Hawksbee ise bu ışığın nedenini belirlemek için 1705'te bir dizi deney yaptı. Ancak elektriğin doğasının anlaşılması için gerekli olan cihazların yeterli olmaması bu alanda yapılan çalışmaların hızlı bir biçimde ilerlemesine mani olmaktaydı. Alessandro Volta tarafından 1800 yılında ilk elektrik bataryasının icadı bu alanda atılmış en büyük adımlardan biriydi. 1820 yılında André-Marie Ampère tarafından elektrik ve manyetizma arasında bir ilişkinin olduğunun anlaşılmasıyla elektrikli cihazların icadına dönük çalışmalarda büyük bir sıçrama olmasını sağlamıştır.

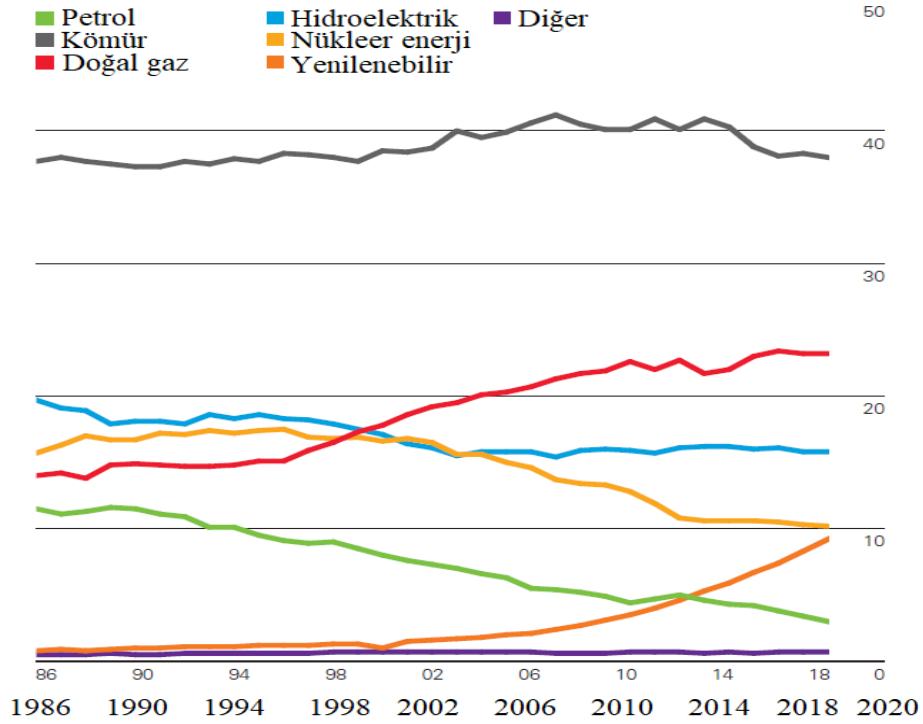
1821 yılında ünlü bilim adamı Michael Faraday, elektromanyetik alanında yaptığı çalışma ile sürekli bir dairesel hareketin sağlanabileceğini ortaya koydu. 1882 yılında elektromanyetizma prensipleri ile çalışan ilk motor Peter Barlow tarafından icat edildi. 1831 yılına gelindiğinde ise Michael Faraday, değişken bir manyetik alan içindeki iletken kullanılarak elektrik akımı üretilebileceğini buldu. Bu buluş ise hala günümüzde kullanılan elektrik jeneratörlerinin temel çalışma prensibidir. 1833 yılında ise Heinrich Friedrich Emil Lenz, elektrik motorları ve jeneratörleri arasındaki tersinir ilişkinin matematik yasalarını ortaya koydu. Ancak elektrik enerjisinin günlük hayatta yaygın olarak kullanılması 1800'lü yılların sonlarına doğru Nikola Tesla ve Tomas Edison'un yaptığı çalışmalar sayesinde olmuştur (Meyer, 1971).

Elektriğin gündelik hayattaki en yaygın kullanım alanlarından biri de iletişim alanıdır. Bu alanda bilinen ilk ve en yaygın kullanımı telgraf iletişimi olmuştur. 1832 yılında Morse tarafından icat edilen ve tek iletişim kablosu ve kodlama özelliği olan telgraf iletişim alanında çığır açılmasına neden olmuştur (Beauchamp, 2001). Çizelge 1.1 ile elektrikle ilgili önemli gelişmeler kronolojik olarak verilmiştir.

**Çizelge 1.1** Elektriğin kısa tarihi

<b>Tarih</b>	<b>Olay</b>
M.Ö 600	Yunan filozof Aristoteles, statik elektriği keşfetti,
1646	Thomas Browne, bir eserinde ilk kez elektrik terimini kullandı,
1660	Robert Boyle, elektriksel kuvvetin vakumda iletilebileceğini keşfetti,
1800	Alessandro Volta, ilk elektrik bataryasını icat etti,
1809	Sir Humphry Davy, ilk elektrikli lambayı icat etti,
1820	Andre-Marie Ampere ve Hans Christian, elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkiyi keşfettiler,
1826	George Ohm: Akım, gerilim, güç ve direnç arasındaki ilişkiyi tanımladı,
1831	Michael Faraday, günümüzdeki elektrik motorlarının çalışma ilkelerini ortaya koydu.
1833	Heinrich Friedrich Emil Lenz, elektrik motorları ve jeneratörleri arasındaki tersinir ilişkinin matematik yasalarını ortaya koydu.
1834	Thomas Davenport, elektrik motorunu icat etti.
1860	J.C. Maxwell, elektromanyetik alanlarla ilgili yasaları ortaya koydu.
1876	Charles Brush, elektrik jeneratörünü icat etti bu icat dinamo olarak adlandırılmaktadır.
1879	40 saatin üzerinde çalışabilen ilk ampul Thomas Edison, tarafından icat edildi.
1882	İlk kamusal elektrik güç istasyonu hizmete sokuldu.
1884	Nikola Tesla, alternatif akım üreten ilk jeneratörü icat etti.
1895	Nikola Tesla'nın katkıları ile Niagara Şelalesinden elektrik enerjisi üretilmeye başlandı.
1897	Joseph Tomson, elektronu keşfetti.
1943	Maxwell H.A. Newman, ilk programlanabilir bilgisayarı icat etti.
1954	İlk nükleer santral Rusya'da elektrik enerjisi üretimi için kuruldu.
1968	İlk ticari bilgisayar HP firması tarafından üretildi.

Elektrik enerjisinin gündelik hayatta ki kullanımının gittikçe yaygınlaşmasının doğal bir sonucu olarak bu enerji türünün üretilmesinin önemi de aynı oranda artmıştır. Kamusal kullanım için ilk elektrik üretimi 1882 yılında Holborn Londra'da yapılmıştır (Board, 1971). Söz konusu santral elektrik enerjisi üretmek için kömür yakan bir yapıya sahipti. Günümüzde pek çok farklı şekilde elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 1.2 ile verilen grafik yaklaşık son kırk yıl için bu enerji üretim yöntemlerinin toplam üretimdeki yüzdelik dilimlerini yıllık bazda göstermektedir (Company, 2019).

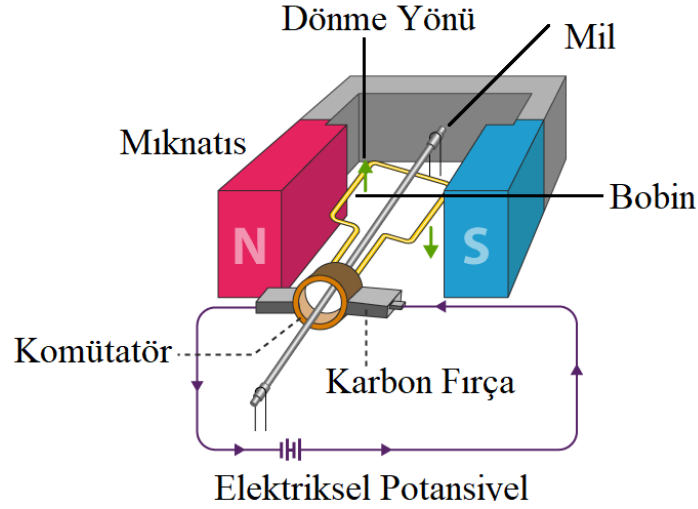


**Şekil 1.2** Son kırk yıl için enerji üretim yöntemlerinin oransal değişimi

Yukarıdaki grafik incelendiğinde elektrik üretimi için günümüzde ağırlıklı olarak kömür ve doğal gaz kullanıldığı görülmektedir. Bilindiği üzere bu yakıtların kullanılması prensibi ile çalışan elektrik santraller yoğun biçimde sera gazı salınımına neden olmaktadır. Bir sonraki bölümde elektrik üretim yöntemleri hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

## 1.2 Elektrik Enerjisinin Üretimi

Elektrik enerjisinin üretilmesinde kullanılan en temel metot, matematiksel yasaları Michel Faraday tarafından konulmuş olan elektromanyetik indüksiyon yöntemidir. Faraday Yasası, 1831'de Michael Faraday'ın zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanına yol açtığı deneysel bulgusunun bir sonucudur. Bu durum Şekil 1.3 ile gösterilmiştir.

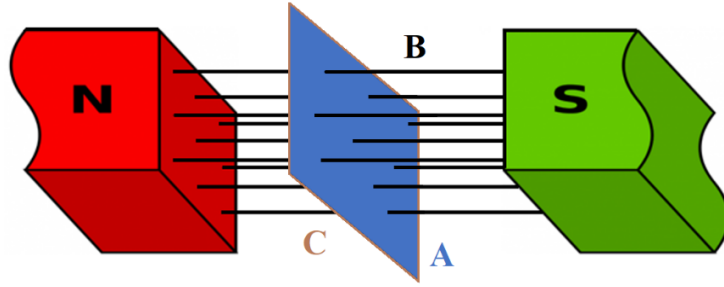


**Şekil 1.3** Elektromanyetik indüksiyon ile elektrik üretimi

Faraday Yasası, kapalı bir C yolu etrafındaki elektromotor kuvveti, bu yolun çevrelediği manyetik akının zaman artış hızının negatifine eşittir. Faraday Yasası'nın matematiksel ifadesi aşağıda verildiği gibidir (Bansal, 2004).

$$\oint_0^C Em. dl = - \frac{d}{dt} \int_0^A B. ds \quad (1.1)$$

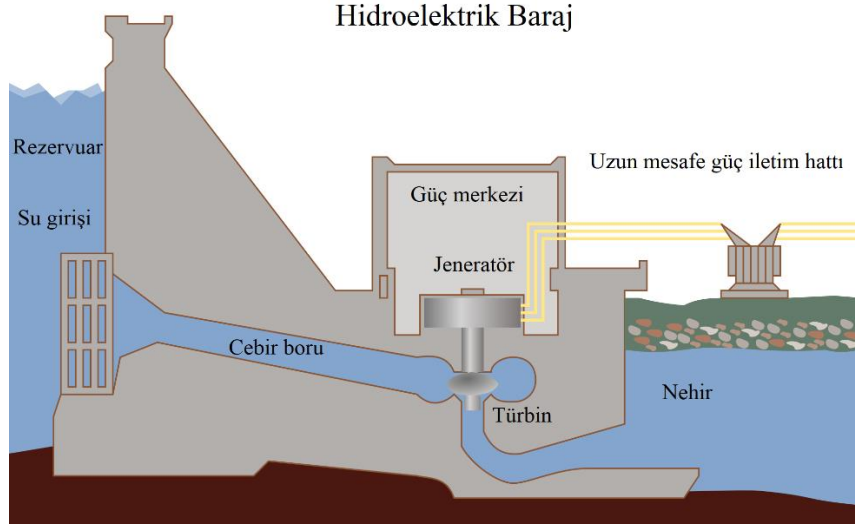
Şekil 1.4 ile Faraday Yasası olarak bilinen ve (1.1) ile matematiksel ifadesi verilen olgu görselleştirilmiştir.



**Şekil 1.4** Faraday Yasası (E: Elektromotor kuvvet, B: Manyetik alan, C: Yol, A: Alan)

Şekil 1.4 içerisinde yer alan C yolu boyunca bir iletken yol oluşturulduğunda bu yol boyunca bir elektrik akımı oluşacaktır. İşte bu akımın akmasını sağlayan kuvvet elektromotor kuvvet olarak ifade edilmektedir. Ancak yukarıda verilen şekilde, bu akımın akabilmesi için C yolu ile çevrelenen A alanı içinden geçen manyetik akın yoğunluğunun değişmesi gerekmektedir. Bunun en pratik yolu A alanının manyetik alan içerisinde hareket ettirilmesidir. Hidroelektrik santrallerinde yer alan

jeneratörlerde, manyetik alan içerisindeki bobin yapısı, suyun mekanik enerjisi kullanılarak döndürülmektedir. Bu durum Şekil 1.5 ile gösterilmiştir.



**Şekil 1.5** Hidroelektrik santralinin çalışma ilkesi

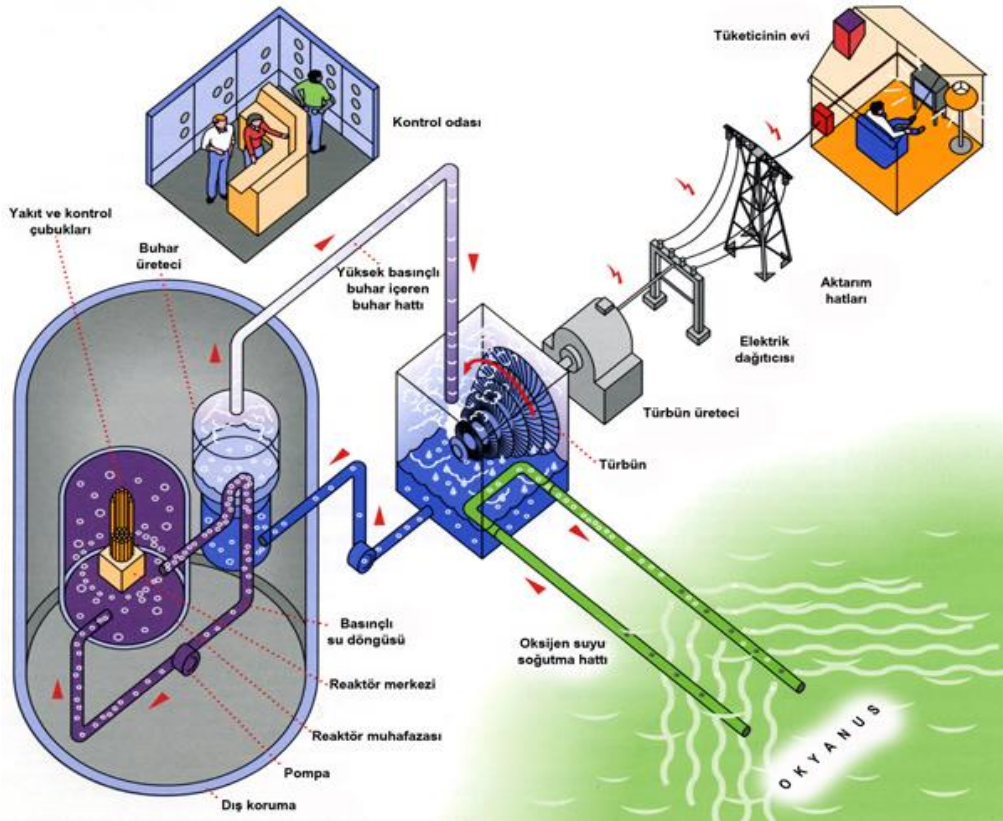
Günümüzde kullanılan jeneratörler ürettikleri akımın dalga şekline göre AC (Alternative Current) ve DC (Direct Current) olmak üzere iki kategori altında incelenirler. Yapı olarak bir birlerinden çok büyük farklılıkları olmayan bu iki jeneratörden AC jeneratörler, sinisoidal dalga biçimli akım – gerilim karakteristiğine sahipken; DC jeneratörler, zamanla dalga biçimi ve yönü değişmeyen akım – gerilim karakteristiğine sahiptirler. Ancak her iki jeneratör türü de Faraday Yasası'na göre çalışmaktadır. **Şekil 1.6** Şekil 1.6 ile bir AC jeneratör yapısı verilmiştir.



**Şekil 1.6** AC jeneratör yapısı

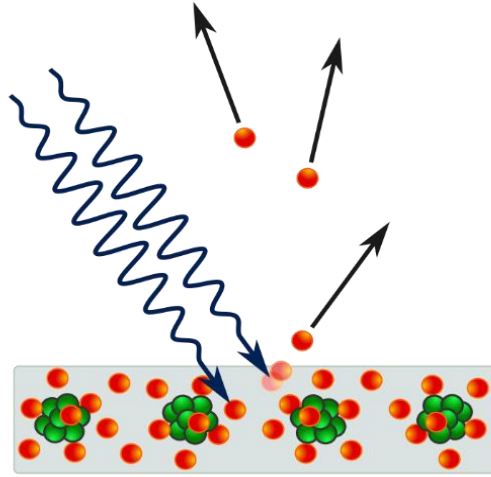


Bir jeneratörün hareketli olan parçası rotor, sabit olan parçası ise stator olarak isimlendirilir. Dolayısı ile bir jeneratörün elektrik enerjisi üretebilmesi için rotorun harici bir mekanik enerji kaynağı vasıtası ile döndürülmesi gerekmektedir. Rüzgar türbinlerinde bu döndürme işlemi için rüzgarı enerjisi, termik santrallerde ise fosil yakıtlardan sağlanan ısı ile buharlaştırılmış suyun buhar basıncı kullanılır. Nükleer santrallerde ise Şekil 1.7 ile gösterildiği gibi nükleer tepkime sonucu oluşan ısı ile buharlaştırılan suyun buhar basıncından yararlanır.



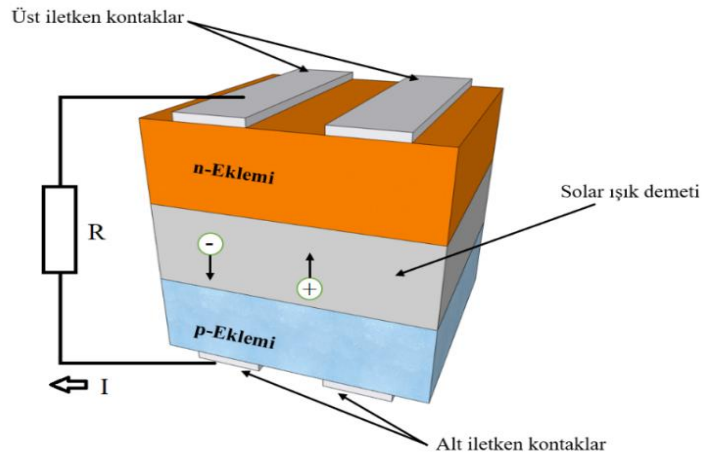
Şekil 1.7 Nükleer enerji santrallerinde elektrik enerjisinin üretilmesi

Ancak elektrik enerjisi üretmenin tek yolu Faraday Yasası'nın kullanılması değildir. Bir elektrik akımının oluşması için, akımın akacağı iletkenin iki ucu arasında bir elektriksel potansiyel farkının oluşturulması gereklidir. Bu potansiyel farkının oluşturulması için farklı yöntemler de kullanılabilir. İşte güneş panellerinde, elektrik enerjisi üretmek için fotoelektrik etki olarak adlandırılan başka bir fiziksel olgudan yararlanır. Bu olgu; yeterince küçük dalga boyuna sahip bir ışık demetinin bir metal yüzeye düştüğünde, bu metalden dışarı elektron atılması olarak açıklanabilir (Verma, 2017). Bu durum Şekil 1.8 ile gösterilmiştir.



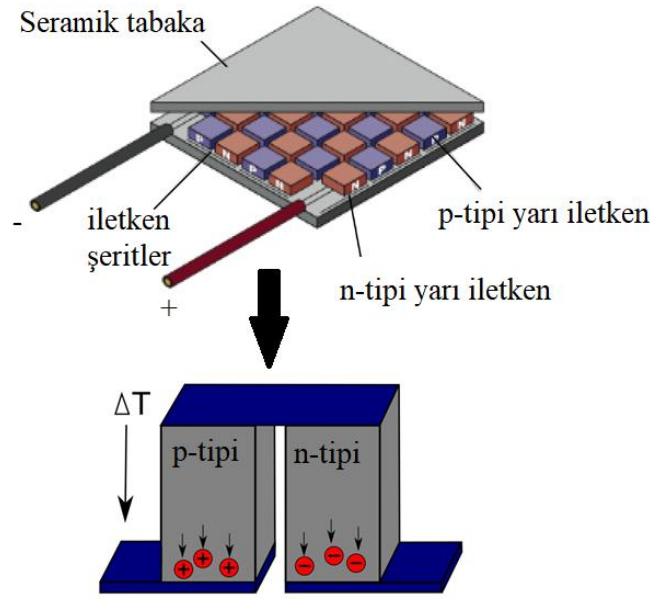
**Şekil 1.8** Fotoelektrik etki

Metal yüzeyinden atılan elektronlar nedeni ile oluşan potansiyel farkı kullanılarak bir elektrik akımının oluşması sağlanabilir. Ancak fotoelektrik etkinin kullanıldığı fotovolttaik hücrelerin verimli şekilde çalışabilmeleri için bu potansiyel farkını oluşturabilecek materyallerden imal edilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle fotovolttaik hücreler p ve n eklemi olarak adlandırılan yarı iletken malzemelerden imal edilirler. Bu yarı iletken eklemlerden n eklemi elektronca normalden zengin, p bölgesi ise fakirdir. Dolayısıyla n bölgesine düşen ışık ışınları bu bölgeden kolayca elektron koparabilirler. Kopan bu elektronlar ise p bölgesi tarafından absorbe edilirler. Böylece istenen elektrik akımı oluşturulmuş olur. Bu durum Şekil 1.9 ile gösterilmiştir (Krauter, 2006).



**Şekil 1.9** n - p katkılı yarı iletken yapı ve fotovolttaik enerji dönüşümü prensibi

Diğer bir elektrik enerjisi üretim yöntemi ise Seebeck etkisi altındaki bir dizi yarı iletken malzemeden, oluşturulan sıcaklık farkı ile elektrik enerjisi üretimidir. Bu etki 1821 yılında Thomas Johan Seebeck tarafından keşfedilmiştir (Rowe, 1995; Özdemir ve ark., 2015). Bu yöntemden elektriksel olarak seri, termal olarak paralel biçimde bağlanmış bir dizi p – n eklemi iki seramik tabaka arasında yerleştirilir ve bu iki seramik tabakadan biri ısıtılıp diğeri soğutulmak suretiyle p – n dizisinin bir elektrik akımı üretmesi sağlanır.



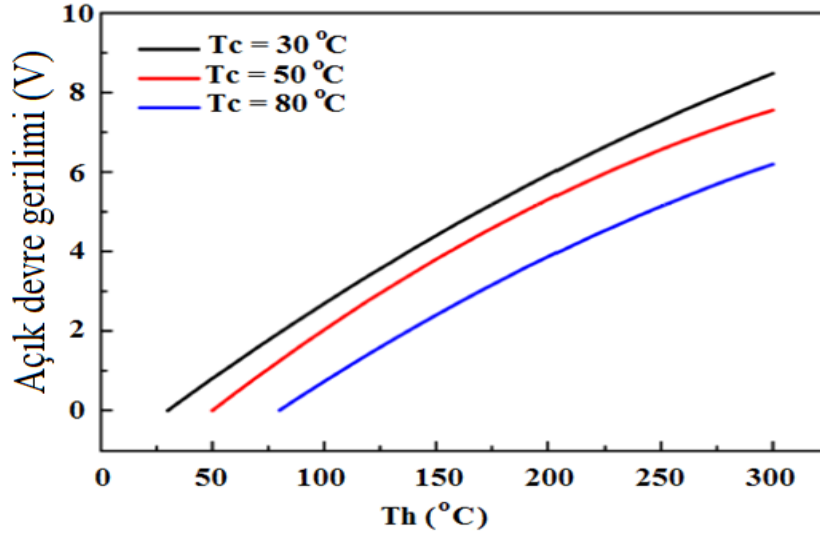
**Şekil 1.10** Termoelektrik Jeneratör

Yukarıda verilen Şekil 1.10 ile Seebeck etkisi altında çalışan ve Termoelektrik jeneratör (TEJ) olarak da adlandırılan yapının çalışma prensibi gösterilmiştir.

$$V_{OC} = \alpha_{TEJ}(T_{Sıcak} - T_{Soğuk}) \quad (1.2)$$

İki yüzeyi arasından bir sıcaklık farkı bulunan termoelektrik jeneratör (1.2) eşitliğinde de gösterildiği gibi bu sıcaklık farkı ile kullanılan materyallere ait Seebeck katsayılarının çarpımı kadar bir çıkış gerilimi üretir (Nia, 2014). Bu sıcaklık farkının artması doğal olarak üretilecek olan açık devre geriliminin artacağı anlamına gelmektedir. Ancak üretilen açık devre gerilimi sadece bu sıcaklık farkının mutlak değerine bağlı değildir. Bir termoelektrik jeneratörün sıcak ve soğuk yüzleri arasında farklı sıcaklık değerleri uygulanarak aynı sıcaklık farkı değerleri elde edilebilir. Örneğin sıcak tarafının değeri 100 C<sup>o</sup>, soğuk tarafının değeri 0 C<sup>o</sup> sıcaklık değerinde

tutulan bir termoelektrik jeneratörün iki yüzeyi arasındaki sıcaklık değeri  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  olacaktır. Aynı sıcaklık farkı, sıcak yüzey  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken soğuk yüzey  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  değerinde tutulduğunda da elde edilir. Fakat yapılan deneylerde soğuk yüzeyin sıcaklık değeri düştükçe termoelektrik jeneratörlerin daha büyük çıkış gerilimleri üretebildiği görülmüştür. Bunun nedeni Seebeck katsayılarının bu sıcaklık değerleri ile değişmesidir. Bu durum ticari bir termoelektrik jeneratörün veri katalog sayfasından alınmış Şekil 1.11 ile gösterilmiştir.

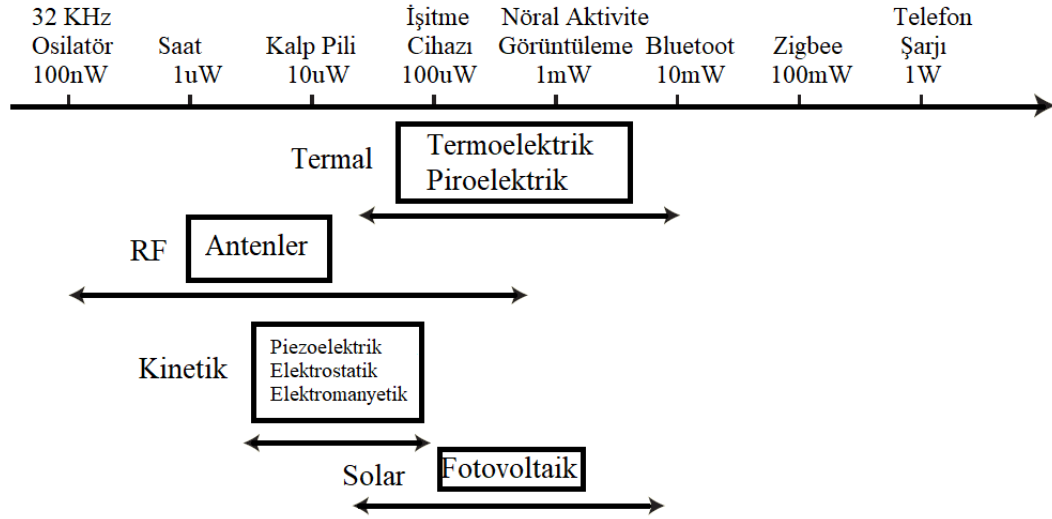


Şekil 1.11 Bir TEJ'de sıcaklık farklarının çıkış gerilimine etkisi

Görüldüğü üzere soğuk yüzeyinin sıcaklığı daha düşük olan bir TEJ, iki yüzeyi arasında aynı sıcaklık farkının bulunduğu ancak soğuk yüzeyi daha sıcak olan bir TEJ'den daha büyük bir çıkış gerilimi üretmektedir. Bu özelliklerinden dolayı TEJ yapıları dünya dışı uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. Örneğin bir uydu paneline yerleştirilen TEJ yapılarının soğuk yüzeyleri  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında sıcaklığa maruz kalırken, uydu güneşe döndüğünde sıcak yüzey yaklaşık olarak  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  değerinde bir sıcaklığa maruz kalacaktır. Bununla birlikte bir TEJ yapısının sahip olduğu avantajlar: Hareketli parça içermemeleri, hafif olmaları, bakım maliyetlerinin olmayışı, sera gazları veyadiğer kirleticileri ortama salmamaları, uzay gibi koşulların son derece zor olduğu ortamlarda bile kullanılabilir olmaları, amaca uygun şekilde istenildiği kadar büyük veya küçük imal edilebilir olmaları ve yaklaşık çalışma ömürlerinin 23 yıl olması gösterilebilir. Bununla birlikte fotovoltaik bir güneş paneli ısındıkça verimi düşmekte iken güneş panelleri için oluşan bu avantaj TEJ yapıları

için bir avantaja dönüştürülebilir. Ancak bu dönüştürücülerden verimli biçimde yararlanabilmek için oldukça yüksek sıcaklık farkları oluşturmak gerekir.

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılabilir pek çok yöntem olmakla birlikte bunların kullanılabilir oranda elektrik enerjisi üretebilme kabiliyetlerinin olup olmaması, pratik kullanım alanları, verim, depolanabilme vs. gibi pek çok neden bu yöntemlerin pratik bir uygulamalarının olup olmaması noktasında önem arz etmektedir. Bir diğer enerji üretme metodu olan piezoelektrik enerji dönüşümü bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacaktır. Ancak literatürde yaygın olarak kullanılan enerji üretim yöntemleri ve bu yöntemlerin olası uygulamaları aşağıdaki Şekil 1.12 ile verilmiştir (Dell'Anna ve ark., 2018).



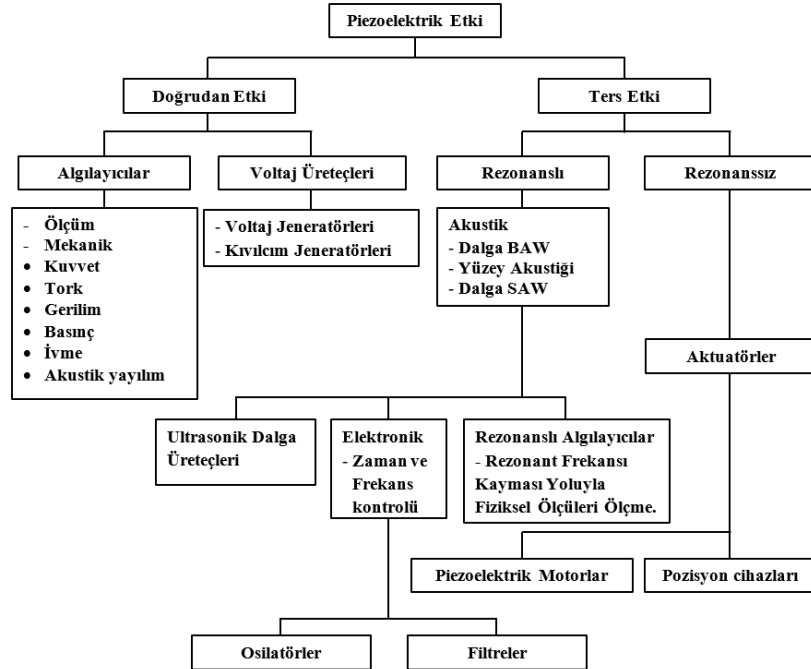
Şekil 1.12 Enerji hasatı yöntemleri ve muhtemel uygulamaları

## 2. GENEL BİLGİLER

Piezoelektrik kelimesi ilk kez, kristal fiziğinin bir araştırma alanı olarak Jacques ve Pierre Curie kardeşler tarafından çalışılmaya başlanmıştır. Aslında bu etki tersinir bir etki olduğundan, ilk keşfedilen etki, günümüzde, doğrudan piezoelektrik etki olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan etkinin keşfini takip eden yılda Gabriel Lippmann, temel termodinamik prensiplere dayanarak, ters etkinin varlığını öngörmüştür ve 1881'in bitiminden önce Curie kardeşler deneysel olarak ters (converse) etkinin varlığını doğrulamışlardır. Bu tersinir etkiye ise günümüzde ters piezoelektrik etki denmektedir (Dineva ve ark., 2014). Genel olarak, üzerine mekanik titreşim uygulanan bazı kristallerin elektriksel olarak polarize olması doğrudan, üzerine elektriksel potansiyel uygulanan bazı kristallerin kristal yapılarında fiziksel olarak deformasyon oluşması ise ters piezoelektrik etki olarak adlandırılır.

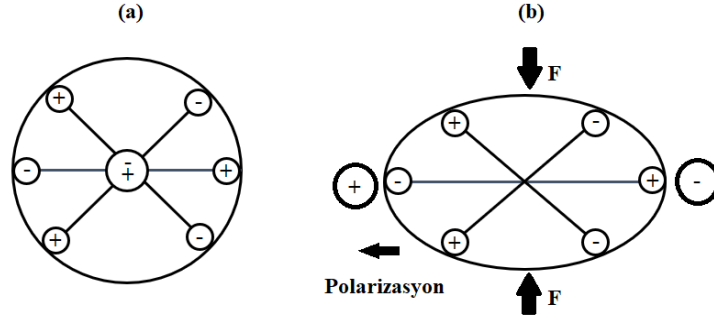
### 2.1 Piezoelektrik Dönüşümün Kullanıldığı Enerji Hasatı Uygulamaları

Günümüzde, hem doğrudan hem de ters piezoelektrik etkiye sahip insan yapımı farklı materyaller üretilip pek çok farklı amaç için kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının genel bir özeti Şekil 2.1 ile gösterilmiştir (Gautschi, 2013).



Şekil 2.1 Piezoelektrik etkinin kullanım alanları

Bu tez kapsamında kullanılacak olan etki, doğrudan piezoelektrik etkidir. Bu nedenle, bu bölüm başlığı altında doğrudan piezoelektrik etkinin doğası hakkında detaylı bilgi verilecektir. Doğrudan etki, mekanik bir gerilme ile kristal yapısı deforme olan bazı materyallerin elektriksel olarak polarize olmasıdır. Bu durum Şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



**Şekil 2.2** Mekanik kuvvet etkisi ile kristal yapısının polarize olması ((a) mekanik kuvvet yok iken (b) mekanik F kuvveti uygulandığında)

Doğrudan piezoelektrik etki altındaki bir piezoelektrik materyal uygulanan harici kuvvetin etkisi ile yüzlerce volt değerinde bir açıkdevre gerilimi üretebilir. Ancak malzemelerin fiziksel özelliklerinden dolayı elde edilebilecek akım değeri ancak nA seviyelerindedir. Bu da üretilen enerjinin oldukça düşük düzeyde olacağı anlamına gelmektedir.

Bununla birlikte, piezoelektrik materyallerin, ortam titreşimlerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi yolu ile enerji hasat (energy harvesting) uygulamalarındaki kullanımı, özellikle son yıllarda popülaritesi gittikçe artan bir çalışma alanıdır. Bunun nedeni, gelişen malzeme bilmi ile daha verimli piezoelektrik yapılarının imal edilmesi ve yine gelişen VLSI teknolojisi ile enerji tüketimi nW – mW ölçeğinde olan elektronik cihazların imal edilebilir olmasıdır. Özellikle son 10 – 15 yılda bu alanda yapılan çalışmaların sayısı ve niteliği oldukça artmıştır. Genel olarak piezoelektrik enerji hasatı ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar aşağıda ana başlıklar altında verilmiştir.

### 2.1.1 Akustik Enerjinin Hasatı İle İlgili Uygulamalar

Akustik ile ilgili yapılan çalışmalar genel olarak ortamdaki ses dalgalarının piezoelektrik dönüştürücüler (PD'ler) yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi

ile ilgili çalışmalardır. Bu çalışmalarda elde edilen elektrik enerjisi çoğu nW düzeyindedir. Bu alanda yapılmış olan çalışmalardan biri olan (Hassan ve ark., 2014) çalışmasında iki ayrı çalışma modu için ortamdaki ses dalgalarından enerji üretilmiştir. İlk çalışma modunda 62 Hz frekansında 78.6 dB genliğindeki bir kaynağın 1cm uzağına yerleştirilen düzenek ile 26.7 mV değerinde bir gerilim üretilmiştir. İkinci çalışma modunda ses kaynağına ait fiziksel parametreler 102.6 dB, 374 Hz olarak seçilmiş ve yine kaynağın 1cm uzağına yerleştirilen bir düzenek ile 91mV çıkış gerilimi elde edilmiştir.

Akustik alanında yapılan bir diğer çalışmada (Neri ve ark., 2011) ise gürültü kaynağı olarak seçilen tren, otomobil ve mikrodalga fırını gibi yapıların çıkardıkları gürültülerden nano algılayıcı bir yapı ile enerji hasatı yapılması olanağı araştırılmış ve 10-8 ile 10-4 W ölçeğinde enerji üretilebileceği gösterilmiştir.

Nouh ve ark., (2014) ise yaptıkları çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak bir sıcaklık kaynağının herhangi bir yüzey üzerinde oluşturduğu sıcaklık değişimi nedeniyle yüzey üzerinde oluşan akustik dalgalardan teorik ve deneysel olarak enerji hasatının olanağını araştırmışlardır. Bu işlem için diyafram tip olarak tabir edilen PD'ler kullanmışlar ve yaptıkları deneysel çalışmalarda 0 – 12 V aralığında değişen çıkış gerilimleri elde etmişlerdir.

Bu ve benzeri çalışmalarda elde edilen gerilim değerleri göreceli olarak büyük gibi görünse de üretilen enerji daha önce de belirtildiği gibi çoğunlukla nW ölçeğindedir. Üretilen enerji seviyesinin bir hayli düşük olmasından dolayı bu kapsamda yapılan çalışmalardan elde edilen enerjinin her hangi bir pratik kullanım alanı mevcut değildir.

### **2.1.2 Yapılar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Üretimi Uygulamaları**

Bu alanda yapılan çalışmalar daha çok bina, köprü gibi yapılar üzerinde oluşan mekanik titreşimlerin söndürülmesi temelindedir. PD'ler mekanik titreşimlerden elektrik enerjisi üretirken aynı zamanda titreşim kaynağını söndürürler. Bu özelliklerinden dolayı yapı, taşıt vs. gibi istenmeyen titreşimlerin olduğu yüzeylerde, bu titreşimlerin söndürülmesi için de kullanılırlar. Bu kullanım alanında hem istenmeyen titreşim söndürülmüş hem de elektrik enerjisi üretilmiş olur. Bu mekanizma ileriki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.



Xie ve ark., (2015) tarafından yapılan çalışma bu alanda yapılan çalışmalara örnek olarak verilebilir. Yapılan bu çalışmada gökdelen gibi yüksek katlı binalarda oluşan titreşim enerjisinden elektrik enerji üretimi olanağı araştırılmıştır. Kullanılan piezoelektrik jeneratörler bir kütle – yay sönümlendirici olarak kullanıldığı için sadece titreşim sönümlendirmesi değil aynı zamanda titreşimin yönlendirilmesi de sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan piezoelektrik hasat cihazı, paylaşılan bir şaft ile birbirine bağlanan iki grup seri piezoelektrik jeneratöründen oluşur. Şaft, binanın çatısına sabitlenmiş bir konsolun ucundaki dayanıklı bir kütleye menteşelenmiş bir bağlantı çubuğu tarafından tahrik edilmiştir. Sismik hareketlerin belli açısız frekanslarında önerilen sistemin %8 - %10 arasında bir verime sahip olabileceği ve MW ölçeğinde enerji üretebileceği iddia edilmiştir.

Li ve Strezov (2014) bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak verilebilecek bir diğer çalışmadır. Bu çalışmada ise eğitim kurumlarındaki yaya kaynaklı titreşimlerin elektrik enerjisine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bilindiği üzere eğitim kurumları gibi mobilitenin yüksek olduğu yapılar yaya kaynaklı doğal bir titreşim kaynağına sahiptirler. Teorik düzeyde yapılan bu modelleme çalışmasında modelleme için kullanılan yapının 1.1 – 9.9 MW/h değerinde bir yıllık enerji üretim potansiyeli olduğu ortaya konmuştur.

### **2.1.3 Deniz – Okyanus Dalgasından Enerji Üretimi Uygulamaları**

PD temelli elektrik enerji üretme alanında en yaygın çalışma alanlarından biri dalga enerjisinin hasatıdır. Bu alanda yapılan çalışmalardan biri olan (Kim ve ark., 2018) çalışmada deniz kenarına yerleştirilen bir yapı içerisinde hareket eden dalgaların basıncı ile elektrik üreten bir sistem tasarlanmış ve diyafram tip PD'lerin kullanıldığı bu çalışmada oluşturulan nümerik model ile 11.24V çıkış gerilimi ve 12.35mW bir güç üretimi yapılacağı öngörülmüştür.

Mutsuda ve ark., (2017) ise yaptıkları çalışmada elastik özellikli, özel olarak üretilmiş bir dizi PD kullanarak okyanus dalgalarından enerji üretecek bir sistem tasarlamışlardır. Bu çalışmanın temel amacı; kablosuz algılayıcı düğümlerinin bir uygulama alanı olan çevre izleme sistemleri gibi düşük güçlü sistemleri ihtiyaç duyduğu mW düzeyinde enerji üretmektir. Tasarlanan sistem, deniz üzerinde yüzer

halde duran şamandıra benzeri bir yapı olup bu yapı üzerine çarpan dalgalardan sağlanan mekanik kuvvet kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir.

Görüldüğü üzere bu alanda yapılan çalışmalarda elde edilen enerji miktarı büyük ölçekte kullanılabilir olmaktan çok uzaktır. Bunun nedeni, piezoelektrik materyallerin düşük enerji yoğunluğu olan malzemeler olmasıdır. Bu kapsamda değerlendirilebilecek olan bir diğer çalışmada (Na ve ark., 2018) okyanusdan sağlanan kinetik enerjiden elektrik üretmeyi amaçlayan bir cihaz tasarlanmıştır. Yapılan analizler sonlu elemanlar yöntemi olarak bilinen bir metot kullanılarak gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları ile deneysel sonuçların uyduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen deneysel bulgulara göre imal edilen cihaz ortalama 71.4µA akım ve 2.42V çıkış gerilimi üretebilen ve çıkış ortalama gücü 0.13mW olan bir cihazdır.

Nabavi ve ark., (2018) ise yaptıkları çalışmada şamandıra tipli bir enerji hasatçı ile okyanus dalgalarından elektrik enerjisi üretimi ile ilgili teorik düzeyde bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada modellemesi yapılan sistemin 0 -20mW civarında bir çıkış gücü üretebileceğini ortaya koymuşlardır. Bir başka modelleme çalışmasında (Xie ve ark., 2014) boyuna dalgalardan elektrik enerjisi üretecek bir sistem için modelleme çalışması yapılmış ve yapılan bu teorik çalışmada dalga yükseklikleri sırası ile 2m, 3m ve 15m olduğu durumlar için sistemin üretebileceği çıkış gücü modellenmiştir. Modellenen sistemin 55W çıkış gücü üretebileceği, sistemin ölçeğinde yapılacak değişiklikler ile bu değer 145W değerine çıkabileceği ortaya konmuştur.

Yapılan literatür taramasında, bu alanda yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak teorik düzeyde kaldığı, deneysel anlamda imal edilen sistemlerin ise laboratuvar ölçeğinde olduğu görülmüştür.

#### **2.1.4 Giyilebilir Uygulamalar**

Piezoelektrik enerji hasatı ile ilgili bir diğer popüler çalışma alanı ise giyilebilir cihaz tasarımı ile ilgili olan çalışmalardır. Bu çalışmalarda yoğunluklu olarak insan hareketleri bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar çoğunlukla kişisel elektronik cihazların (mobil telefon, elektronik saat, tablet, bilgisayar vb.) ihtiyaç duyduğu enerjinin üretilmesini amaçlamaktadır.

Zeng ve ark., (2017) çalışmasında giyilebilir uygulamalar için enerji üretebilecek özellikte esnek yapıda PD üretmişlerdir. Üretilen bu cihaz, 2.2 cm bükülme yarıçapına dayanabilecek özellikte olup, bu bükülme yarı çapında anlık 54.2V çıkış gerilimi 6.7 $\mu$ A çıkış akımı üretebilmektedir. 4.8cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bu dönüştürücü 105 $\mu$ W değerinde bir güç üretebilmektedir. Bununla birlikte 40000 bükülmeye dayanabilecek özelliktedir.

Qian ve ark., (2018) giyilebilir piezoelektrik uygulamalarına örnek olarak verilebilecek bir çalışmadır. Bu çalışmada ayakkabı içerisine yerleştirilmiş bir dizi PD yardımı ile hareket halinde elektrik enerjisi üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, enerji üretimi için cihaz tasarımı, optimizasyonu, modellenmesi, imalatı ve testi aşamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde her bir ayakkabı içerisinde 4 adet PD kullanıldığında, her bir ayakkabının sırası ile 4.8 ve 5.6km/s yürüyüş hızları için 14mW ve 20mW enerji üretilebileceği görülmüştür.

Anlaşılabacağı üzere giyilebilir uygulamalarda temel enerji üretim süreci yürüme hareketi ile sağlanmaktadır. Kuang ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada insan yürüyüş hareketinden, kablosuz algılayıcı düğümü için enerji üreten bir enerji hasat cihazının tasarımı ve deneysel sonuçları verilmektedir. Bir önceki çalışmanın aksine bu çalışmada PD'ler ayakkabı içerisine yerleştirilmemiştir. Bu çalışmada kullanılan enerji hasat cihazı, diz eklemine bükülmesi ile elektrik enerjisi üretecek biçimde tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada 3 – 7 km/s hızlarında değişen yürüyüş hızları için 1.9 $\pm$ 0.12 – 4.5 $\pm$ 0.35 mW aralığında değişen çıkış güçlerinin üretilebileceği gösterilmiştir. Kablosuz algılayıcı düğümünün 4m mesafede bir baz istasyonuna 482 adet veri örneği gönderebildiği de görülmüştür.

Kalantarian ve Sarrafzadeh (2016) ise yaptıkları çalışmada batarya ihtiyacı olmayan %10.76 doğruluk ile çalışan bir adım sayıcı tasarlamışlardır. Tasarlanan adım sayıcı ihtiyaç duyduğu enerjiyi ayakkabı içine yerleştirilmiş bir dizi PD'den sağlamaktadır.

Jung ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada düşük frekanslı giyilebilir uygulamalarda kullanılacak esnek yapıda bir PD üretmiş ve potansiyel uygulama alanlarını göstermişlerdir. Üretilen PD 120V çıkış gerilimi 700  $\mu$ A çıkış akımı üretme kapasitesine sahiptir. Üretilen PD'nin ilk potansiyel uygulama alanı ayakkabı içerisine

yerleştirilerek yürüyüş esnasında elektrik enerjisi üretimi iken bir diğer potansiyel uygulama alanı olarak saat kordonu verilmiştir. Bu uygulamada bir saat kordonun altına yerleştirilen PD'nin kol hareketleri ile elektrik enerjisi üretebileceği gösterilmiştir.

### **2.1.5 Biyomedikal Uygulamaları**

Biyomedikal uygulamaları doğrudan insan sağlığı ile ilgili uygulamaları içerdiği için bu alanda geliştirilen cihazların son derece güvenli olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı bu alanda yapılan çalışmaların sayısı ve niteliği, literatürde bu alanda yapılan diğer çalışmalara nazaran daha azdır. Bu alanda yapılan çalışmalar daha çok implant edilebilir cihaz tasarımı ile ilgilidir.

Chen ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada implant edilebilir biyomedikal uygulamalarda kullanılan PD'ler için verimli enerji hasatı yapmak için kullanılacak bobin içermeyen, kapasitör temelli bir doğrultucu tasarımı yapmışlardır. Daha öncede belirtildiği gibi biyomedikal uygulamaları son derece hassas uygulamalar olduğu için bu uygulamalarda hareket kaynağı ve PD tasarımının yanı sıra verimli enerji hasatı ve bu amaç için tasarlanmış ara yüz devreleride oldukça önem arz etmektedir.

### **2.1.6 Hibrit Enerji Dönüşüm Uygulamaları**

Daha öncede belirtildiği gibi elektrik enerjisinin üretilmesinde farklı enerji dönüşüm yöntemleri kullanılabilir. Bu bölüm başlığı altında bu farklı enerji dönüşüm yöntemlerinin piezoelektrik enerji dönüşüm yöntemi ile birlikte kullanıldığı uygulamalardan bahsedilecektir.

Yu ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada elektromanyetik ve piezoelektrik enerji dönüşümlerinin aynı anda kullanıldığı bir enerji hasat cihazının tasarımını göstermişlerdir. Çalışmada geliştirilen enerji hasat cihazı bir dizi piezoelektrik kiriş, bu kirişe bağlı ve kirişin esnemesi ile salınım hareketi yapan bir NdFeB mıknatıs, bu mıknatısın hareketi ile üzerinde gerilim indüklenen bobin ve üretilen enerjiyi hasat etmek için standart PCB tasarımlı bir ara yüz devresini içermektedir. Ayrıca çalışmada enerji hasatçısının çıkış gücünü hesaplamak için bir matematiksel model de kullanılmıştır. Bu matematiksel model sonlu elemanlar yöntemi olarak bilinen bir

hesaplama yöntemini esas almaktadır. Deneysel sonuçlar bu hibrit enerji hasatçısının  $40.62\mu\text{W}$  bir maksimum çıkış gücü üretebildiğini göstermiştir.

Li ve ark., (2018) ise yaptıkları çalışmada piezoelektrik ve triboelektrik enerji dönüşüm yöntemlerini aynı anda kullanan bir enerji hasat sistemi önermişlerdir. Triboelektrik fiziğin, sürtünen cisimler ile ilgili bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada önerilen enerji hasat cihazı düşük frekanslı ortam titreşimlerinden elektrik enerjisi üretmek için tasarlanmıştır. Bir kütle yay sistemi olarak tasarlanan cihaz, bu kütle yay sistemi içerisine yerleştirilmiş piezoelektrik ve triboelektrik katmanlardan oluşturulmuştur. Yapılan deneylerde 3Hz civarında bir salım için 1g uyarım rezonansında sistem içindeki PD'lerden 58.4V triboelektrik dönüştürücülerden (TED) 60V açıkdevre gerilimi üretilmiştir. Ayrıca yapılan deneylerde,  $4.7\mu\text{F}$  değerinde bir kapasitör, 50 saniye içinde, 7.6V değerinde şarj edilmiştir.

Botteron ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada her 34 saniyede ortam sıcaklık bilgisini iletmek için  $12.6\mu\text{W}$  enerji talep eden bir kablosuz algılayıcı düğümü tasarlamışlardır. Tasarlanan kablosuz algılayıcı düğümünün ihtiyaç duyduğu enerji bir dizi fotovoltaiik hücre ve PD içeren hibrit bir enerji üretim sistemi ile üretilmiştir. Sistem PV hücreler PD'lerden elde edilen enerjinin hasatı için bir yükselten dönüştürücü, sıcaklık verisinin ölçülmesi için bir sıcaklık algılayıcısı ve ölçme işlemi için PIC24F16 mikrodenetleyici ve UWBTX kablosuz verici ve anten içermektedir.

Jella ve ark., (2018) ise yaptıkları çalışmada solar, piezoelektrik ve termoelektrik enerji dönüşümünün aynı anda kullanıldığı bir enerji üretim sistemi tasarlamışlardır. Dahası tasarladıkları sistem tek bir yapı halinde olup yapılan deneylerde periyodik bir basınç altında piezoelektrik kısım 1.47V çıkış gerilimi ile  $0.56\mu\text{A}$  çıkış akımı üretirken, termal, solar ve piezoelektrik kısmının birlikte 0.77V açıkdevre gerilimi  $0.022\text{mA}/\text{cm}^2$  kısa devre akım yoğunluğu üretebildiği gözlemlenmiştir.

Cho ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada plastik bir su borusu içerisine üzerinde sürekli mıknatıs bulunan, suyun akışı ile dönen bir çark yerleştirmişler ve plastik borunun üzerine ise bir sargı sarmışlardır. Bu sayede boru içerisinde su akışı olduğunda çarkın bir tarafına bağlı olan sürekli mıknatıs dönerek sargı etrafında

değişken bir manyetik alan oluşturarak sargıda bir gerilim endüklenmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte ucuna başka bir sürekli mıknatıs yerleştirilmiş olan esnek bir piezoelektrik konsol, çarkın her dönüşünde manyetik etkiden dolayı periyodik bir esneme hareketi yapacaktır. Bundan dolayı, önerilen sistem hidro-elektromanyetik ve piezoelektrik enerji dönüşümü ile elektrik üretebilecek bir yapı olarak tanıtılabilir. Tasarlanarak imal edilen sistemin  $200\Omega$  bir yük direnci için  $648\text{mW}$  enerji üretebildiği gözlemlenmiştir.

Fan ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada silindirik bir borunun her iki ucuna birer sürekli mıknatıs ve ortaya da bu iki magnetinde iteceği şekilde üçüncü bir sürekli mıknatıs yerleştirmişlerdir. Bu sayede ortadaki mıknatıs havada asılı kaldığından, oldukça düşük frekanslı titreşimlerde bile boru içinde yukarı – aşağı yönünde salınım yapabilmektedir. Silindirik borunun dışına sarılmış bir salgı asılı sürekli mıknatısın salınımı ile indüklenirken borunun her iki yanına dik olarak yerleştirilmiş ve uçlarında sürekli mıknatıs bulunan iki adet piezoelektrik kiriş boru içindeki asılı sürekli mıknatısın hareketi ile uyumlu şekilde uçlarındaki mıknatıslardan dolayı esneyebilmekte böylece elektrik enerjisi üretebilmektedirler. Yapılan deneylerde sistemin piezoelektrik kısmından  $0.32\text{mW}$  maksimum güç değeri sağlanırken elektromanyetik kısmından  $1.23\text{mW}$  güç üretilmiştir.

Görüldüğü üzere elektromanyetik, fotovoltaik, termoelektrik ve triboelektrik gibi farklı enerji dönüşüm metotları ile piezoelektrik enerji dönüşümünün aynı anda kullanıldığı hibrit enerji üretim sistemleri üzerinde farklı sayı ve nitelikte çalışmalar yapılan popüler bir çalışma alanıdır.

### **2.1.7 Ortam Titreşimlerinden Enerji Hasatı Uygulamaları**

Piezoelektrik dönüşüm temelli enerji hasatı için bir diğer uygulama alanı ise ortam titreşimlerinden yapılan enerji hasatı uygulamalarıdır. Xie ve Wang, (2017) yaptıkları çalışmada ortam titreşimlerinden enerji üreten silindirik yapıda bir enerji hasat cihazı tasarlamışlardır. Teorik düzeyde gerçekleştirilen bu çalışmada, bir tarafı silindirik bir yapının iç yüzeyine sabitlenmiş, diğer ucuna sürekli mıknatıs yerleştirilmiş esnek piezoelektrik levhalar kullanılmıştır. Yapının orta kısmına yerleştirilen rotor ise piezoelektrik dilmimlerin ucundaki sürekli mıknatıslar ile aynı kutuplara sahip sürekli mıknatıslar ile donatılmıştır. Bu sayede manyetik etki ve ortam

titreşimleri ile piezoelektrik levhaların titreşmesi sağlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile sistem ölçüleri değiştirilerek 60.13KW enerji üretilebileceği öngörülmüştür.

Bu alanda yapılan çalışmalar ortam titreşimleri için kütle yay şeklinde açıklanabilecek sistemler olup ortam titreşimlerinden verimli biçimde elektrik enerjisi üretmek için çoğunlukla piezoelektrik dönüştürücüler ile birlikte sürekli mıknatısların da kullanıldığı çalışmalardır. Bu kapsamda yapılan belli başlı çalışmalar ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile detaylı bilgi Tran ve ark., (2018) çalışmasında bulunabilir.

### **2.1.8 Rüzgar Enerjisinden Enerji Hasatı Uygulamaları**

PD kullanılan uygulamalarda enerji üretimi için mutlak şekilde bir mekanik titreşim kaynağına ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, Piezoelektrik temelli enerji hasatçıları için rüzgarın çok iyi bir titreşim kaynağı olacağı açıktır.

Wang ve ark., (2018) bu kapsamda yaptıkları çalışmada biyolojik kökenli bir yapı olan ağaç yapraklarından esinlenmişlerdir. Bu çalışmada damarlı ve damarsız yapıda çeşitli yaprak şekillerinde piezoelektrik tabakalar üretilmiş ve farklı rüzgar hızları altında bu yapıların elektriksel karakteristikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada damar içeren yaprak biçimli piezoelektrik dönüştürücüler ile daha yüksek çıkış enerjisi üretildiği görülmüştür. 100µm kalınlığındaki piezoelektrik materyalden imal edilen yaprak biçimli PD'ler 11m/s değerinde bir rüzgar hızı altında 1.094V çıkış gerilimi üretebilmişlerdir.

Zhang ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada kullandıkları bir kanatçıklı yapının miline monte ettikleri yıldız biçimli bir katı yüzey ve bu yüzey etrafına yerleştirilmiş esnek piezoelektrik levhalar kullanmışlardır. Kullandıkları yıldız biçimli bu yüzey, mil ile birlikte dönmekte ve dönüş hareketi yaparken etrafına yerleştirilmiş piezoelektrik materyale çarparak esnetmektedir. Tasarladıkları ve imal ettikleri enerji hasatçısının 14m/s değerindeki bir rüzgar hızı için 160.2V değerinde bir maksimum gerilim çıkışı ile 2.566mW değerinde bir maksimum çıkış gücü üretebildiğini göstermişlerdir.

Akkaya Oy ve Özdemir, (2018) yaptıkları çalışmada miline dengesiz bir ağırlık yerleştirdikleri bir pervanenin dönmesi ile titreşim oluşturan bir sistem tasarlamışlardır. Pervanenin milinin dengesiz olması ile rüzgar altında dönerken titreşen bu yapı üzerine yerleştirildiği platforma bu titreşimleri taşımaktadır. Bu

titreşimler ise platformun altındaki diyafram tipi PD'ler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Kullanılan PD'ler bir dizi seri ve bu seri hatların paralel olarak bağlandığı bir devre şeması ile birleştirilmişlerdir. Her bir seri hattın çıkışı bir köprü doğrultucu ile doğrultulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda imal edilen enerji hasatçısının farklı rüzgar hızı ve yük direnci için performansı değerlendirilmiş ve 4.5 – 5 m/s değerinde bir rüzgar hızı için 150K yük direncinde 519 $\mu$ W bir maksimum çıkış üretebildiği görülmüştür.

Rezaei-Hosseinabadi ve ark., (2015) ise yaptıkları çalışmada pervane, pervanenin kanatçıkları ve PD'ler üzerine yerleştirilmiş sürekli mıknatıslar ve esnek levha biçiminde PD'ler kullandıkları bir yapı tasarlamışlardır. Bu tasarım, rüzgar etkisi ile dönen pervane üzerindeki sürekli mıknatısların dairesel şekilde hareket etmesini, bu sürekli mıknatıslar ile PD'ler üzerindeki mıknatısların sürekli olarak değişen bir manyetik kuvvet ile birbirlerini etkilemelerini ve bu manyetik kuvvet ile PD'lerin sürekli olarak esnemesini sağlamaktadır. İmal edilen bu enerji hasatçısı 0.9m/s gibi düşük rüzgar hızlarında bile enerji üretme kapasitesine sahip olmakla birlikte benzer topolojiye sahip yapılardan %10 daha verimlidir.

Ancak yapısal olarak bu çalışmaya benzeyen başka bir teorik çalışmada, Viet ve ar., (2017) rüzgar etkisi altında dönen bir pervane, sürekli mıknatıslar ve PD'ler kullanılarak 7.5m kanat uzunluğu ve 1.75m/s rüzgar hızı için 5KW enerji üretilebileceğini ortayakoymuşlardır. Bu çalışmada kullanılan PD'ler bir önceki çalışmanın aksine esnek yapıda olmayıp üzerlerine yerleştirilen yaylı bir mekanizmanın manyetik etki ile PD'leri sıkıştırması prensibi ile enerji üretmektedir.

Orrego ve ark., (2017) ise film tipi bir dizi PD'yi doğrudan ortamdaki rüzgarın etkisine maruz bıraktıkları bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada PD'lerden sağlanan enerjinin hasatı için LTC-3588 seri numaralı bir enerji hasat entegresi kullanılmıştır.

Yapılan literatür taramasında, bu alanda yapılan çalışmaların diğerlerine nazaran göreceli olarak daha fazla sayıda olduğu görülmekle birlikte çoğu çalışmanın ya yalnızca teorik düzeyde kaldığı ya da benzer nitelikte olduğu görülmüştür.



### 2.1.9 Taşıtlar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları

Taşıtlar, enerji üretmek için mekanik titreşimlere ihtiyaç duyan PD'ler için önemli bir titreşim kaynağı olarak kullanılabilirler. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biri olan Lafarge ve ark., (2018) çalışmada araçların süspansiyon sistemi için geliştirdikleri bir sistem ile enerji hasatı yapmışlardır. Hem teorik hem deneysel düzeyde yapılan çalışmada mW ölçeğinde enerji üretilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Fan ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada bir taşıtın ön ve arka tekerleri arasındaki, sürüş esnasında değişkenlik gösteren yükseklik farkı nedeni ile sınırlı bir bölge içinde bir PD üzerinde yuvarlanan bir kütle yardımı ile enerji hasatı yapan bir hasatçı tasarlamışlardır. PD'den sağlanan çıkış gerilimini bir köprü doğrultucu ile doğruluttuktan sonra 1  $\mu$ F değerindeki çıkış kapasitörünü şarj etmek için kullanılmıştır. Yapılan deneylerde bu depolama kapasitörünün 4V civarında bir gerilim değeri ile şarj edilebildiği görülmüştür.

Xie ve Wang (2015) yaptıkları çalışmada arabaların süspansiyon sistemlerinde kullanılacak bir sistemin modellenmesi ile ilgili teorik bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma ile kullanılan özel yapıdaki PD'ler ile 738W değerinde bir çıkış gücü üretilebileceğini göstermişlerdir.

Wang ve Inman (2013) yaptıkları çalışmada küçük hava taşıtları için kullanılacak çok fonksiyonlu bir kanat direği tasarımı ile ilgili teorik sonuçları paylaşmışlardır. Bu kanat direği piezoelektrik materyalden oluşturulduğu için uçuş esnasında kanatlar üzerinde oluşan titreşimlerden enerji hasatı yapabilmektedir. Bununla birlikte taşıtın herhangi bir kötü hava koşulu altında denge problemi yaşamaması durumunda, titreşim kontrolü ile dengesini koruyabileceği de belirtilmiştir. Çalışmada, kurulan model için gerekli olan matematiksel denklemler için Euler-Lagrange eşitliklerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte önerilen yöntemin, bu alanda kullanılan yöntemlerle aynı başarıya %76 daha az enerji tüketerek ulaştığı da belirtilmiştir.

### **2.1.10 Yağmur Damlalarından Enerji Hasatı Uygulamaları**

Piezoelektrik enerji hasatı alanında yapılan yaratıcı ve ilginç bir diğer çalışma alanı ise yağmur damlalarının çarpması sonucu oluşan mekanik titreşimlerden elektrik enerjisi üretimidir. Abidin ve ark., (2018) bu kapsamda yaptıkları benzetim çalışmasında, yağmur damlaları ile enerji hasatı yapmak için gerilim çarpıcı devrelerinin ara yüz olarak kullanılmasını incelemiştir. Bilindiği üzere ara yüz devreleri enerji hasatı performansını önemli ölçüde arttırmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerilim çarpıcı olarak bilinen ve diyot ile kapasitör kombinasyonundan oluşan bir devre kullanılmış ve kullanılan bu devrenin enerji hasatı için uygun olduğu yapılan benzetimler üzerinden gösterilmiştir.

Wong ve Dahari (2017) ise yaptıkları çalışmada yağmur damlalarından elektrik enerjisi üretmek için geliştirdikleri sistem ile 2.45V AC gerilim üretmişlerdir. Bununla birlikte, yapılan deneylerde 330K $\Omega$  değerinde bir yük direnci için 18 $\mu$ W bir çıkış gücü üretmeyi başarmışlardır.

Wong ve ark., (2017) ise yaptıkları çalışmada 250 – 300 dakika aralığındaki bir yağmur perodu için geliştirdikleri sistem ile 155 $\mu$  ile 2076 mJ arasında değişen bir enerji üretmeyi başarmışlardır.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak üretilen enerji miktarının kullanılabilir düzeyin çok altında kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte literatürde bu alanda yapılan çalışmaların büyük oranda birbirine benzer çalışmalar olduğu da görülmüştür.

### **2.1.11 Taşıt Ve Yaya Yollarındaki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları**

PD kullanılan enerji hasatı uygulamalarından bir diğer popüler çalışma alanında, gerek taşıt gerek ise araç yollarından sağlanan mekanik titreşimlerden yapılan enerji hasatı uygulamalarıdır. Yang ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada yaya veya taşıt yollarına döşenebilecek ve üzerindeki titreşimlerden enerji üretebilecek bir sistem tasarlayıp imal etmişlerdir. Yapılan deneylerde, 20km/s ile 80km/s arasında değişen hızlarda bir deney taşıtı kullanılmış olup üretilen enerji hasatçısının aktif trafik koşulları altında 250V değerinden yüksek bir açık devre gerilimi üretebildiği görülmüştür. Ayrıca, bu deneylerde üretilen enerjinin taşıtın ilerisindeki sinyalizasyon

cihazlarındaki LED aydınlatıcılar için yeterli miktarda enerji üretebildiği gösterilmiştir.

Noh (2018) ise yaptığı çalışmada bir demir yolunda ray üzerindeki mekanik titreşimler yerine, yolcu kabinleri ve araç katarları arasında ortamda oluşan akustik titreşimlerden enerji üreten bir sistem tasarımını tanıtmıştır. Bunun nedeni hızlı trenlerin çalışma koşullarında oldukça büyük bir gürültü üretmeleridir. Yapılan deneylerde bir dikdörtgen piezoelektrik levha ile 100dB bir ses basıncı seviyesi için 0.7V değerinde bir gerilim üretilebileceği ve bu değer düşük güçlü sistemleri için kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Karimi ve ark., (2016) ise bir köprüden taşıt geçerken oluşan titreşimlerden enerji hasatı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu hasat için konsol-kiriş yapıda PD'ler kullanılmış olup çalışma hem teorik hemde deneysel düzeyde gerçekleştirilmiştir. Ancak elde edilen enerji miktarı pratik kullanım için oldukça düşük seviyelerde kalmıştır.

Jung ve ark., (2017) ise yaptıkları çalışmada esnek piezoelektrik polimer yapıda dönüştürücüler içeren ve karayollarında taşıt geçişleri esnasında enerji üretebilen bir enerji hasatçısının tasarımını vermişlerdir. Üretilen enerji hasatçısı 8km/s hızında bir taşıt hareketliliğinde, 40K $\Omega$  bir yük direnci için 200 mW bir sürekli güç çıkışı sağlayabilmektedir. Üretilen hasatçıda çok sayıda polimer piezoelektrik katman lamine bir yapıda bir araya getirildiği için mekanik olarak yüksek bir çalışma ömrüne sahiptir.

Yapılan literatür taramasında, bu alanda yapılan çalışmaların çoğunluklu olarak asfalt yol içerisine yerleştirilen ve otomobil geçişi ile enerji üreten enerji hasatçıları çalışmaları olduğu görülmüştür.

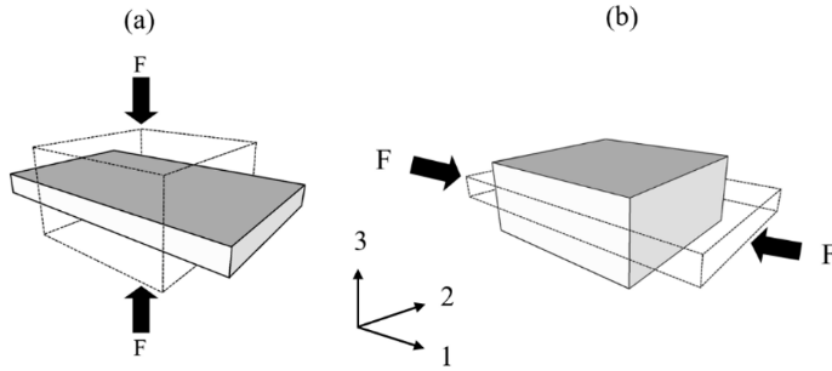
## 2.2 Temel Piezoelektrik Denklemler ve Önemli Parametreler

Bu bölüm başlığı altında bir piezoelektrik enerji hasatçısı tasarlanırken kullanılacak olan temel matematiksel denklemler ve bu denklemlerin türetilmesi detaylı bir biçimde anlatılacaktır. IEEE standartlarına göre, lineer piezoelektrik için piezoelektrik kurucu denklemler aşağıda verildiği gibidir (ANSI/IEEE, 1988).

$$\begin{cases} [T] = [c^E][S] - [e][E] \\ [D] = [e][S] + [\varepsilon^S][E] \end{cases} \quad (2.1)$$

Yukarıda verilen eşitlikte  $[T]$ ,  $[S]$ ,  $[E]$  ve  $[D]$  büyüklükleri sırası ile stres vektörü, gerilme vektörü, elektrik alan ve elektriksel indüksiyon vektörüdür. Bununla birlikte  $[c^E]$ ,  $[e]$  ve  $[\epsilon^S]$  büyüklükleri ise piezoelektrik materyalin fiziksel özellikleri olup sırasıyla sabit elektrik alanında belirlenen elastik sertlik matrisi, piezoelektrik gerilme matrisi ve sabit gerinimde geçirgenlik matrisi. Eşitlik 2.1 kullanılarak çeşitli piezoelektrik eleman geometrilerinin enerji dönüşümünü analiz etmek mümkündür.

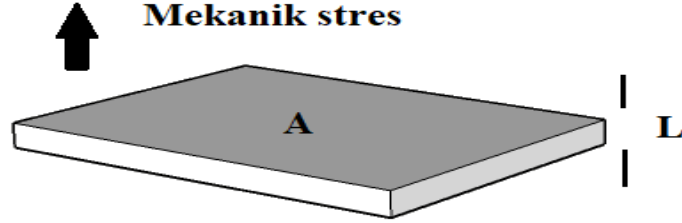
Piezoelektrik enerji hasatı için diğer önemli bir parametre ise çalışma modudur. Çalışma modu piezoelektrik materyale uygulanan mekanik kuvvetin ve oluşan elektrik polarizasyonun kartezyen koordinat sistemindeki gösterilimi ile ilgili bir büyüklüktür. Bu büyüklük  $d_{ij}$  ile ifade edilir. Bu ifadedeki  $i$  alt indisi elektriksel polarizasyonun yönünü  $j$  ise uygulanan mekanik kuvvet veyastresin yönünü belirtmektedir. Bu durum Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.



**Şekil 2.3** Piezoelektrik çalışma modlarının gösterimi

Çalışma modu olarak 4,5,6 yönleri karterzen koordinat sistemindeki eksenler etrafındaki burulma ile ilgilidir. Piezoelektrik materyalerinin kırılğan bir yapıda olmasından dolayı bu indis ile gösterilen çalışma modları pratikte kullanılmazlar. Literatürde yapılan çalışmalarda en çok kullanılan çalışma modu, bu çalışmada da esas alınacak olan  $d_{33}$  modudur. Bununla birlikte çalışma modu yapılacak olan matematiksel analizler içinde önemlidir. Çünkü tasarlanan enerji hasatçısı için eşitlik (2.1) ile verilen kurucu denklemlerin kullanılan çalışma modu için yeniden yazılması gerekmektedir. Örneğin  $d_{33}$  modunda çalışan, kesit alanı  $A$  ve kalınlığı  $L$  olan ve Şekil 2.4 ile gösterilen bir piezoelektrik materyal için eşitlik (2.1) yeniden düzenlenerek aşağıdaki gibi yazılabilir (Li, 2014).

$$\begin{cases} AT_3 = Ac_{33}^E S - Ae_{33} E \\ AD_3 = Ae_{33} S + A\varepsilon_{33}^S E \end{cases} \quad (2.2)$$



**Şekil 2.4** Matematiksel modellemede kullanılacak piezoelektrik materyal

Aynı şekilde, bu piezoelektrik materyal için aşağıdaki fiziksel büyüklükler de tanımlanabilir.

$$Q = D \times A \quad (2.3)$$

$$V = E \times L \quad (2.4)$$

$$F_P = T \times A \quad (2.5)$$

$$S_1 = S_2 = 0, S_3 = \frac{U}{L} \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitliklerde görülen  $Q$ ,  $V$ ,  $F_P$  ve  $U$  sırasıyla elektrik yükü, elektrot boyunca gerilim, alan üzerindeki kuvvet ve yer değiştirmedir. Eşitlik (2.4) ve (2.6), eşitlik (2.2)'de yerlerine yazılırlarsa eşitlik (2.7) elde edilir.

$$\begin{cases} AT_3 = Ac_{33}^E \frac{U}{L} - Ae_{33} \frac{V}{L} \\ AD_3 = Ae_{33} \frac{U}{L} + A\varepsilon_{33}^S \frac{V}{L} \end{cases} \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7) ise eşitlikler (2.3) ve (2.5) dikkate alınırsa aşağıdaki biçimde düzenlenebilir (2.8).

$$\begin{cases} F_P = K_P^E U + \alpha V \\ Q = -\alpha U + C_0 V \end{cases} \quad (2.8)$$

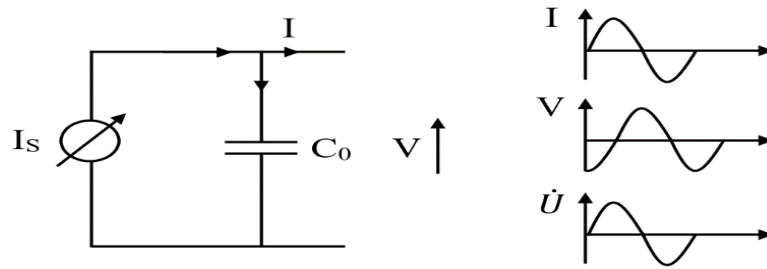
(2.8) de yer alan ifadelerden  $K_P^E$ ,  $\alpha$  ve  $C_0$  sırasıyla, toplu sertlik, kuvvet faktörü ve iç kapasitans olarak ifade edilen büyüklükler olup matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$K_P^E = \frac{c_{33}^E A}{L}, \quad \alpha = -\frac{e_{33} A}{L}, \quad C_0 = \frac{\varepsilon_{33}^S A}{L} \quad (2.9)$$

Bilindiği üzere elektrik yükü  $Q$ ' nun zamana göre türevi elektrik akımını vereceğinden akım ( $I$ ) aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\alpha \frac{dU}{dt} + C_0 \frac{dV}{dt} = -\alpha \dot{U} + C_0 \dot{V} \quad (2.10)$$

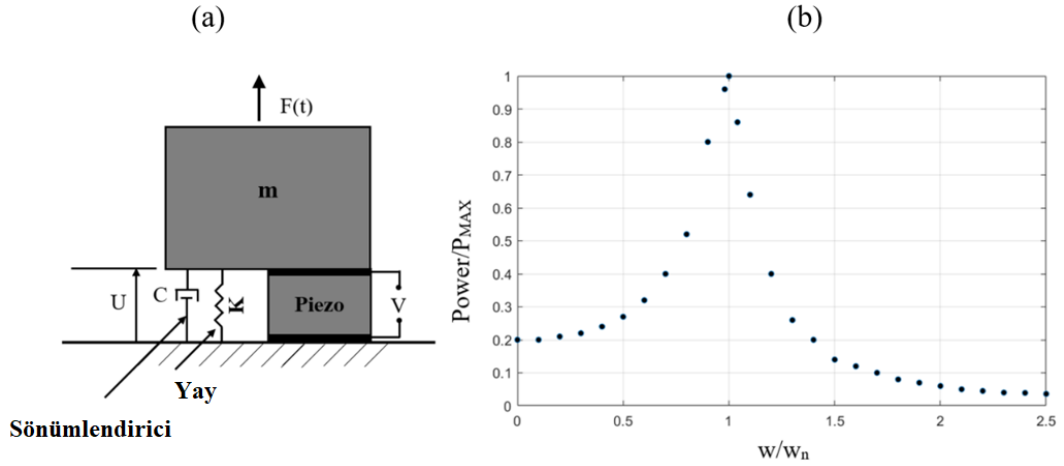
Belli sınır koşulları için yukarıda verilen ifadelerin yeniden yazılması mümkündür. Bu sayede farklı çalışma koşullarındaki piezoelektrik materyaller için matematiksel modeller oluşturulabilir. Ayrıca eşitlik (2.10) temelinde,  $d_{33}$  çalışma modundaki bir piezoelektrik materyalin eşdeğer devresi titreşim bağımlı bir akım kaynağı olarak Şekil 2.5 ile gösterildiği gibi verilebilir.



**Şekil 2.5**  $d_{33}$  modunda çalışan bir PD için eşdeğer elektrik devre

Yukarıda verilen Şekil 2.5 incelendiğinde bu akım kaynağının çıkış gerilimi ve akımı arasında yaklaşık 90 derecelik bir faz farkı görülmektedir. Bunun nedeni piezoelektrik materyalin iç kapasitesidir. Dolayısı ile piezoelektrik materyaller kapasitif özellikte malzemelerdir. Bu özellikleri enerji hasatının verimini arttırmak için kullanılacak olan ara yüz devrelerinin tasarımında önemlidir.

Piezoelektrik materyalin bir enerji hasatı uygulamasında kullanmanın bir sonraki adımı ise piezoelektrik elemanın bir piezoelektrik enerji hasat sistemine eklenmesidir. Piezoelektrik enerji hasat sistemleri temel olarak, atalet jeneratörleri olarak düşünülebilirler. Bir atalet jeneratörü, bir hareketli kısım, bu mekanik kısım üzerine yerleştirilmiş bir kütle ve harici bir kuvvet uygulandığında oluşan titreşimleri bu kütleyle ileten sabit bir referanstan oluşmaktadır. Fiziksel olarak ise bir atalet jeneratörü, ikinci dereceden kütle – yay – sönümlendirici sistem olarak tanımlanabilir. Şekil 2.6 ile bir kütle – yay – sönümlendirici – piezo model ve onun rezonans davranışı verilmiştir (Caliò ve ark., 2014).



Şekil 2.6 Kütle - yay - sönümleyici - piezo modeli (a) ve rezonans davranışı (b)

Şekil 2.6 incelendiğinde en büyük çıkış gücünün sistemin doğal rezonans frekansında ( $w_n$ ) elde edildiği görülmektedir. Bu aynı zamanda çoklu çalışma frekansı olan sistemlerde enerji hasatı için özelleşmiş ara yüz devrelerinin kullanılması gerektiği anlamına da gelmektedir. Çünkü çalışma frekansı değiştiğinde piezoelektrik materyalin kapasitif reaktansının değeri de değişecektir.

Piezoelektrik enerji hasat sistemleri için tanımlanan diğer bir önemli parametrede bağlanma katsayısı olarak tanımlanan ve  $k^2$  şeklinde ifade edilen parametredir. Bu parametre, matematiksel olarak (2.11) ile ifade edilebilir.

$$k^2 = \frac{\text{Depolanan mekanik enerji}}{\text{Üretilen elektrik enerji}} \quad (2.11)$$

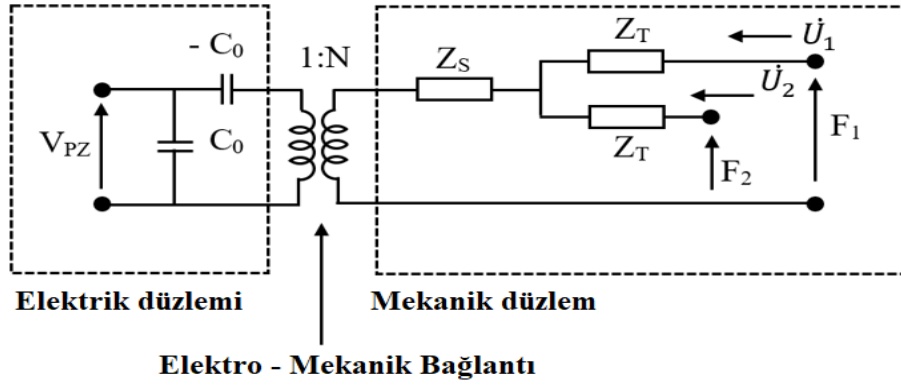
(2.11) eşitliğinden de anlaşılacağı üzere  $k^2$  mekanik enerji – elektrik enerjisi dönüşümünün ne kadar verimli bir şekilde sağlandığını belirtir. Bununla birlikte Şekil 2.6 ile verilen elektromekanik sistemdeki mekanik büyüklüklerin elektriksel karşılıkları ise Çizelge ile verilmiştir (Li, 2014).

**Çizelge 2.21** Kütle yay sistemindeki mekanik - elektriksel büyüklüklerin karşılıkları

Mekanik nicelik	Elektriksel nicelik
Kuvvet (F)	Voltaj (V)
Hız ( $\dot{U}$ )	Akım ( $i = \dot{Q}$ )
Yer değiştirme (U)	Yük (Q)
Momentum (p)	Manyetik akı bağlantısı ( $\lambda$ )
Kütle (m)	İndüktans (L)
Uyum (1/K)	Kapasitans (C)
Viskoz direnç (C)	Direnç (R)

Dinamik sistemler, diferansiyel denklemler kullanılarak modellenildiği için bu sistemlerin davranışlarını analiz etmek için bu diferansiyel denklemleri temel alan pek çok yöntem mevcuttur.

Piezoelektrik dönüşüm içeren dinamik sistemlerin analizinde yaygın olarak Mason veya KLM modelleri kullanılır. Şekil 2.7 ile bir enerji hasatçısındaki piezoelektrik elemanın Mason eşdeğer devresi verilmiştir (Sherrit ve ark., 1999).



**Şekil 2.7** Piezoelektrik enerji hasat makinesi için Mason Eşdeğer Devresi



Piezoelektrik materyalin ihmal edilecek kadar küçük bir kalınlığı olduğu varsayıldığında, Mason eşdeğer devresi için çeşitli parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$Z_s = \frac{Z}{j \sin \frac{wl}{V_b^D}} \quad (2.12)$$

$$Z_T = jZ \tan \frac{wl}{2V_b^D} \quad (2.13)$$

$$C_0 = \frac{wt}{l} \epsilon_{33}^T (1 - k_{33}^2) \quad (2.14)$$

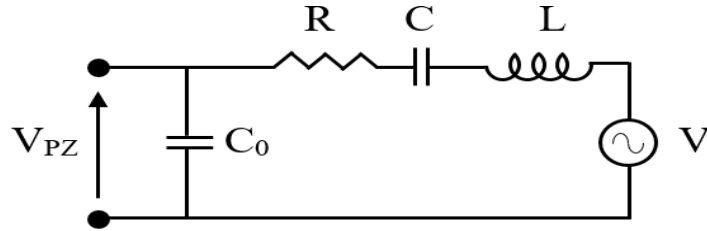
$$V_b^D = \sqrt{\frac{c_{33}^D}{\rho}} \quad (2.15)$$

$$Z = \rho wt V_t^D \quad (2.16)$$

$$N = \frac{wt}{l} \frac{g_{33}}{s_{33}^E \rho_{33}^T} = \frac{wt}{l} \frac{d_{33}}{s_{33}^E} = \frac{wt}{l} \sqrt{\frac{\epsilon_{33}^T}{s_{33}^E}} k_{33} \quad (2.17)$$

Mason eşdeğer devresinde yer alan  $C_0$ ,  $N$ ,  $Z_s$ ,  $Z_T$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $\dot{U}_1$ ,  $\dot{U}_2$  parametreleri sırasıyla piezoelektrik elemanın eşdeğer kapasitansı, elektromekanik kuplaj, mekanik, empedanslar, mekanik kuvvetler ve titreşim hızlarıdır.

Genel olarak bir piezoelektrik dönüştürücü hasatçısının eşdeğer elektrik devresi en yalın hali Şekil 2.8 ile verildiği gibidir.

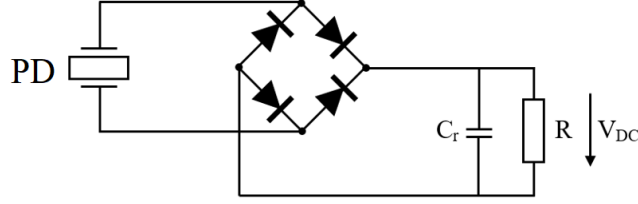


**Şekil 2.8** Bir piezoelektrik hasatçısının en yalın eşdeğer elektrik devresi

Görüldüğü üzere bir piezoelektrik enerji hasatçısı en genel olarak bir iç direnç, iç kapasite ve çalışma frekansına göre değeri değişen bir dahili kapasiteden oluşmaktadır. Bu nedenle verimli bir enerji hasatı ve elde edilen gerilimin doğrultulması için doğrultma ve empedans uyumunu sağlayacak çeşitli ara yüz devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bir sonraki bölüm enerji verimini arttırmak için kullanılan bu ara yüz devreleri ile ilgili olacaktır.

### 2.3 Piezoelektrik Enerji Hasatının Optimizasyonu için Devre Topolojileri

Bir piezoelektrik enerji hasatçısından elde edilen elektriksel gücün kaynaktan yüke verimli bir şekilde aktarılabilmesi, kaynak ve yük arasındaki ara yüz devresinin performansına bağlıdır. Bu kapsamda en bilinen ara yüz devresi, standart piezoelektrik enerji hasat devresi (SPEHD) olarak isimlendirilir ve Şekil 2.9 ile verildiği gibidir (Do ve ark., 2015).



Şekil 2.9 Standart piezoelektrik enerji hasat devresi

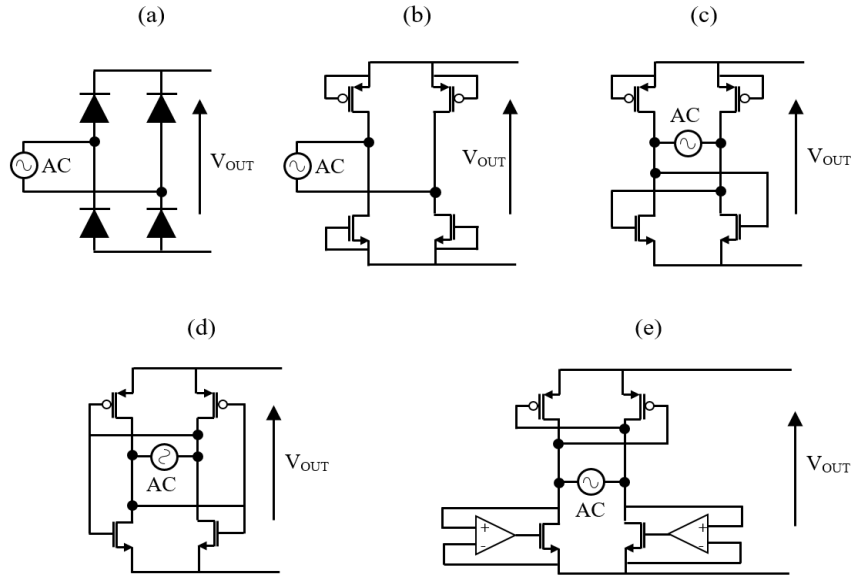
Şekil 2.9 ile verilen SPEHD bir adet köprü doğrultucu ve çıkış gerilimini depolamak için bir şarj kapasitöründen oluşur. Ancak standart enerji hasat devresinin verimi, diyotlar üzerindeki gerilim düşümleri ve dönüştürücünün çıkışında görülen yük uyumsuzluğundan dolayı düşüktür (Do ve ark., 2015; Ramadass ve Chandrakasan, 2010). Daha verimli enerji hasatı için standart enerji hasat devresinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yapılabilecek ilk iyileştirme, pasif diyotların üzerindeki gerilim düşümlerinin azaltılmasıdır. Standart bir diyot iletme geçtiğinde üzerinde yaklaşık olarak 0.7V civarında bir gerilim düşümü oluşur. Bu da bir köprü doğrultucuda ister pozitif ister negatif piezovoltaj için aynı anda iki diyotun iletme geçmesi ve doğrultma işlemi esnasında minimum 1.4V gerilim kaybının oluşmasına neden olur. Bu gerilim kaybının sadece bir PD için olduğu düşünülürse örneğin 100 adet dönüştürücünün kullanıldığı bir piezoelektrik enerji hasat devresinde 140V gerilim kaybı oluşacağı açıktır.

Bu kayıpları önlemek için yapılması gereken, doğrultma işleminin daha az kayıpla yapılması için farklı yaklaşımların geliştirilmesi olacaktır. Bunun için ilk olarak düşünülebilecek ilk yöntem pasif diyotların, Schottky diyotlar ile değiştirilmesi olabilir. Schottky diyotlar pasif diyotlara göre daha düşük voltaj düşümü ile doğrultma işlemini gerçekleştirebilirler. (Yaklaşık 0.3 – 0.4V) Ancak bu durumda bile belli bir gerilim kaybı olacağı açıktır.

Bu problemin çözümü için diğer bir diğer alternatif ise CMOS aktif doğrultucu tasarımlarının kullanılmasıdır. Literatürde enerji hasat veriminin artırılması için önerilen farklı doğrultucu devre topolojileri mevcuttur (Sauer ve ark., 2005; Peters ve ark., 2007; Szarka ve ark., 2012).

Voltaaj düşümünü azaltan, sistem verimini arttıran geleneksel aktif doğrultucular genellikle çıkıştan güçlendirilirler. Yani ihtiyaç duydukları enerjiyi bağlandıkları sistemden karşılarlar. Bu ise başka bir problemin ortaya çıkmasına sebep olurlar. Geleneksel aktif doğrultucuların en büyük dezavantajı, bu doğrultucuların, sistem herhangi bir enerji hasatı yapmadığında bile çıkış depolama kapasitöründen enerji tüketmesidir. Şekil 2.10 ile piezoelektrik enerji hasatçılarında kullanılan belli başlı doğrultma yöntemleri gösterilmektedir.



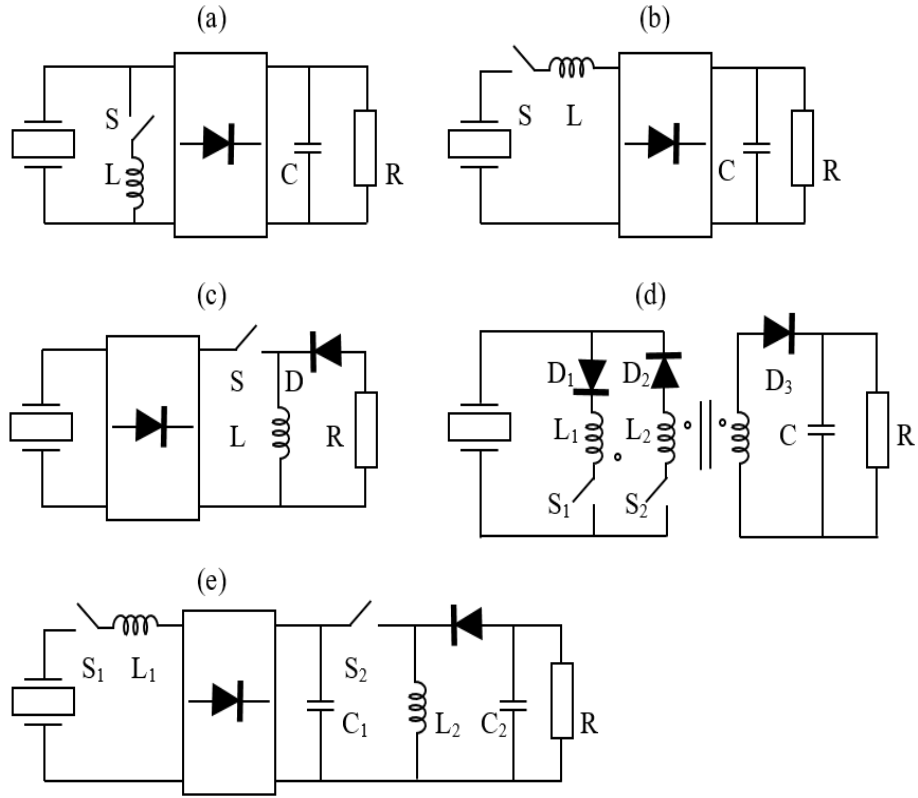
**Şekil 2.10** Tam dalgalı doğrultucu topolojileri (a) pasif diyot doğrultucu, (b) diyot bağlı MOSFET doğrultucu, (c) geçit çapraz bağlı NMOS doğrultucu, (d) çapraz bağlı doğrultucu ve (e) çapraz bağlantılı aktif doğrultucu PMOS anahtarları.

Bir PD'nin üreteceği enerji tek başına oldukça düşük seviyede olacaktır. Kullanılabilir oranda yüksek enerji üretilmesi için bir piezoelektrik enerji hasatçısında çok sayıda PD kullanmak gerekecektir. Bu durumda, bu dönüştürücüler arasındaki elektriksel bağlantının, çıkış gücünü arttıracak şekilde yapılması zorunluluğu ortaya çıkacaktır. Literatürde sunulan devre topolojileri, birden fazla PD'nin birbiri arasındaki elektrik bağlantısı için bir yöntem önermemektedirler. Birden fazla

piezoelektrik eleman içeren sistemlerde her bir piezoelektrik elamanı kendi rezonans frekansında çalıştırmak da her zaman mümkün değildir. Bu da, bu elemanların üretecekleri akım ve gerilimler arasında faz farkları oluşacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, birden fazla piezoelektrik elemanın birbirine doğrudan seri veya paralel bağlanmasının iyi bir yöntem olmayacağı açıktır.

PD'ler değişen mekanik titreşim altında gerilim ürettikleri için ürettikleri bu gerilimde zamanla değişen nitelikte olacaktır. Bilindiği üzere değişken gerilimin depolanabilmesi için mutlaka doğrultulması gerekmektedir. Bu nedenle tüm piezoelektrik enerji hasatçıları bir adet doğrultucu içermek zorundadırlar. Bu doğrultma topolojilerinin tamamı az veya çok gerilim kaybı oluşmasına neden olurlar.

PD'lerden sağlanan gücün verimli bir şekilde yüke aktarılması için maksimum güç aktarımı yasası gereği piezoelektrik enerji hasatçısı ve çıkış yükü arasında bir empedans uyumunun sağlanması gerekmektedir. Bu gereksinimin sağlanması için kullanılan bazı devre topolojilerinde, doğrultucu çıkışı ile yük arasına bir DC – DC dönüştürücü bağlanmaktadır (Guyomar ve ark., 2005). Bununla birlikte güç akışının artırılması için piezoelektrik elemanın çıkış voltajının yapay olarak artırıldığı nonlineer anahtarlama sürecinin kullanıldığı devre topolojilerinde literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde anahtarlama işlemi, kristal yapısındaki yer değiştirmenin maksimum veya minimum anlarında yapılmaktadır (Guyomar ve ark., 2005). Ancak titreşen bir cismin mekanik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi zorunlu olarak titreşimlerin sönümlenmesine neden olur. Bu nedenle piezoelektrik enerji hasatının verimi aynı zamanda piezoelektrik sistemin elektromekanik bağlanma katsayısına da bağlıdır. Yüksek bağlanma katsayısına sahip sistemlerde mekanik titreşimler zamanla sönümleneceğinden sistemin verimi oldukça düşük olacaktır (Lesieutre ve ark., 2004). Şekil 2.11 ile piezoelektrik enerji hasatı için literatürde yaygın olarak kullanılan bazı anahtarlama devre topolojileri verilmiştir.



**Şekil 2.11** Yaygın olarak kullanılan enerji hasat devreleri (a) Sargı üzerinde paralel eşzamanlı anahtarlama hasat devresi (p-SSHI), (b) Sargı üzerinde seri eşzamanlı anahtarlama hasat devresi (s-SSHI), (c) Eşzamanlı yük çıkarma hasat devresi (SECE), (d) Optimize edilmiş eşzamanlı yük çıkarma hasat devresi (OSECE), (e) Çift eşzamanlı anahtarlama hasat devresi (DSSH)

Literatürde diğer ara yüz devrelerinden daha yüksek verimle enerji hasatı yaptığını iddia eden pek çok devre topolojisi olmakla birlikte en yaygın kullanılan yöntemler Şekil 2.11 ile verilenlerdir. Ancak bu yöntemlerin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bu devre topolojilerinin iyi ve kötü yanları Çizelge 2.2 ile verilmiştir.

**Çizelge 2.3** Yaygın kullanılan devre topolojilerinin karşılaştırılması

<b>Devre Topolojisi</b>	<b>Avantaj</b>	<b>Dezavantaj</b>
<b>SPEHD</b>	Basit	Yük eşleşmesi Düşük çıkış gücü
<b>p-SSHI</b>	Yüksek çıkış gücü Anahtarlama stratejisi	Yük eşleşmesi Sargı (Bobin) kullanımı Anahtar tasarımı
<b>s-SSHI</b>	Yüksek çıkış gücü Anahtarlama stratejisi	Yük eşleşmesi Sargı (Bobin) kullanımı Anahtar tasarımı
<b>SECE</b>	Yük bağımsız	Sargı (Bobin) kullanımı Anahtar tasarımı Kompleks anahtarlama stratejisi
<b>OSECE</b>	Geniş bant genişliği Anahtarlama stratejisi	Kompleks devre topolojisi Eleman kayıpları
<b>DSSH</b>	Yük bağımsız	Kompleks devre topolojisi Kompleks anahtarlama stratejisi

Enerji hasatı için kullanılan devre topolojilerinin hepsi için, kullanılan eleman sayısı genel olarak bir sorun teşkil etmektedir. Çünkü eleman sayısı arttıkça, bu elemanlar üzerindeki gerilim düşümleri ve bu elemanlar tarafından harcanan enerji, toplam verimin azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle birden fazla piezoelektrik eleman içeren sistemlerde her bir piezoelektrik eleman için ayrı ayrı enerji hasat devre topolojilerinin kullanılması hem sistem verimi hem de maliyeti açısından çok büyük bir dezavantaj teşkil etmektedir. Bu nedenle yüksek çıkış gücü için olabildiğince fazla piezoelektrik elemanın, uygun bir elektromekanik bağlanma katsayısı ve elektriksel bağlantı ile bir araya getirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde bir araya getirilen piezoelektrik elemanlardan oluşan sistem çıkışı, uygun bir enerji hasat devresinin girişine bağlanabilir.

### 3. MATERYAL YÖNTEM

Bu bölüm başlığı altında dalga enerjisinden enerji hasatı için tasarlanmış olan sistem ve yapılan deneyler detaylı bir biçimde anlatılacaktır.

#### 3.1 Hasatçılarda Kullanılan Piezoelektrik Dönüştürücüler ve Özellikleri

Piezoelektrik enerji hasatçıları tasarlandıkları yapı, çalışma frekansı ve titreşim kaynağının türüne göre farklı PD yapıları içermektedirler. Bu kapsamda kullanılan PD'in yapıları genel olarak esnek film yapıda PD'ler ve katı hal PD'ler olmak üzere iki kategori altında incelenebilir. Şekil 3.1 de bu dönüştürücülerden bazıları gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yaygın olarak kullanılan piezoelektrik dönüştürücüler

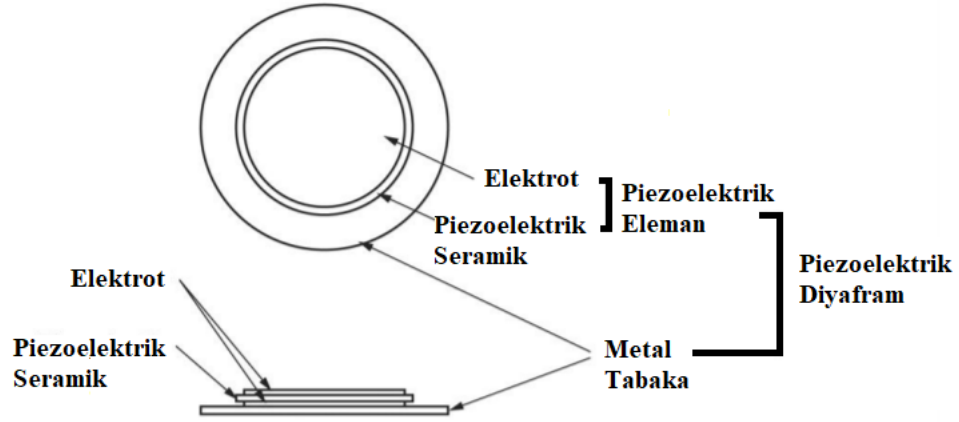
Şekil 3.1 incelendiğinde yaygın olarak kullanılan PD yapılarının düzlemsel bir yüzeye oldukça ince bir katman şeklinde yayılmış piezoelektrik materyalden oluştuğu görülmektedir. Bunun temel nedeni piezoelektrik materyallerin oldukça kırılgan yapıda olmalarından dolayı daha önce de belirtildiği üzere çoğunlukla  $d_{33}$  modunda çalışacak şekilde imal edilmesidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Tez kapsamında kullanılan PD

Bu tez kapsamında tasarlanıp imal edilen piezoelektrik enerji hasatçısında diyaffram tipi olarak tabir edilen ince bir bakır plaka üzerine yine ince bir katman

piezoelektrik malzeme eklenmesi ile oluşturulan dönüştürücü yapısı kullanılmıştır. Kullanılan bu dönüştürücünün yapısı Şekil 3.3 ile verilmiştir.



Şekil 3.3 Enerji hasatçısında kullanılan PD yapısı

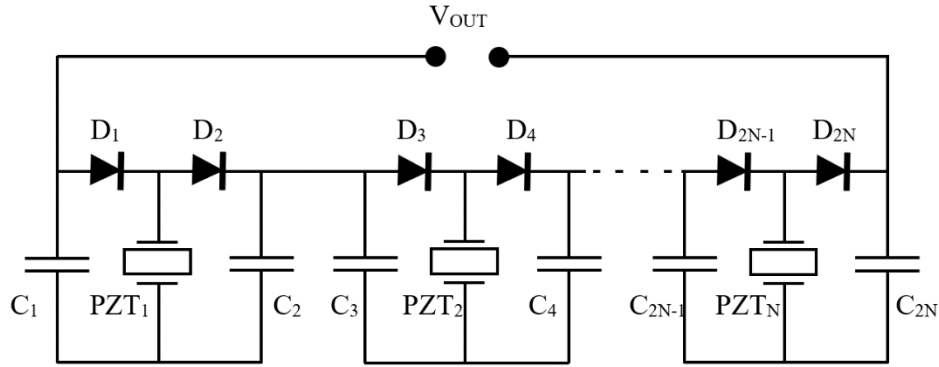
Yukarıdaki şekil ile verilen PD aslında enerji hasatı uygulamaları için değil akustik uygulamalar için geliştirilmiş bir dönüştürücüdür. Genel olarak ters piezoelektrik etki ile elektrotlar arasında uygulanan 20Hz ile 20KHz arasındaki elektrik sinyalleri altında aynı frekans aralığında ses dalgaları üretmek için kullanılır. Ancak daha öncede belirtildiği üzere piezoelektrik etki tersinir özellikte olduğu için ters piezoelektrik etki altında çalışan bir materyal doğrudan piezoelektrik etkinin kullanıldığı uygulamalar için de tercih edilebilir.

### 3.2 Enerji Hasatçısında Kullanılan Devre Topolojisi

Tasarlanarak imal edilen enerji hasatçısı 20 adet PD içermektedir. Bu dönüştürücülerin hepsi aynı anda, maruz kaldıkları mekanik titreşimin genlik ve frekansına uyumlu şekilde farklı özellikte bir çıkış gerilimi üreteceklerdir. Bu dönüştürücülerin ideal olmayan birer gerilim kaynağı şeklinde düşülecek olmaları, onların doğrudan seri veyaparalel olarak bağlanmalarının uygun bir birleştirme stratejisi olmadığı anlamına gelir. Çünkü bütün PD'lerin doğrudan seri bağlanmaları durumunda sistem çıkışı tüm bu dönüştürücülerin ürettikleri gerilimlerin toplamı olacaktır. Ancak bu dönüştürücülerden herhangi birinin bozulması, kırılması veyakopması durumunda sistem çıkışından herhangi bir gerilim değeri alınamayacaktır. Tüm dönüştürücülerin paralel bağlanmaları durumunda ise her dönüştürücü aynı miktarda çıkış gerilimi üretemeyeceğinden bazı dönüştürücülerin üreteceği enerji diğer dönüştürücüler üzerinde harcanacaktır. Bu da sistem veriminin



önemli ölçüde düşebileceği anlamına gelmektedir. Dolayısı ile hem sistem çıkışında verimi mümkün olduğunca yüksek biçimde koruyabilecek, hem bu dönüştürücüleri birbirlerine uygun bir biçimde bağlayabilecek hem de bu dönüştürücülerden biri veya birkaçının bozulması durumunda tüm sistemin çalışmasına devam edebilmesini sağlayacak bir devre topolojisi kullanılmalıdır. Bu kapsamda yapılan literatür taramasında Özdemir (2019) tarafından önerilen devre topolojisinin kullanılmasında karar kılınmıştır. Kullanılan devre topolojisi aşağıdaki Şekil 3.4 ile verildiği gibidir.



**Şekil 3.4** Tez kapsamında kullanılan devre topolojisi

Kullanılan devre topolojisinin belli başlı avantajları şunlardır:

✓ Her bir dönüştürücü için sadece iki adet diyot ile doğrultma işlemi yapılır: Yaygın kullanılan devre topolojilerinde doğrultma işlemi için köprü doğrultucu kullanılır. Bu ise üretilen gerilim dalgasının hem pozitif hem negatif değer aldığı durumlarda aynı anda iki adet diyotun iletimde olması anlamına gelir. Oysa önerilen devre topolojisinde pozitif ve negatif gerilim değerlerinin her ikisi içinde yalnızca bir adet diyot iletimde olacağından toplam gerilim kaybı yarı yarıya az olacaktır. Bununla birlikte kullanılan diyot sayısı yarı yarıya azalacağından bu durum üretim maliyetine de yansımaktadır.

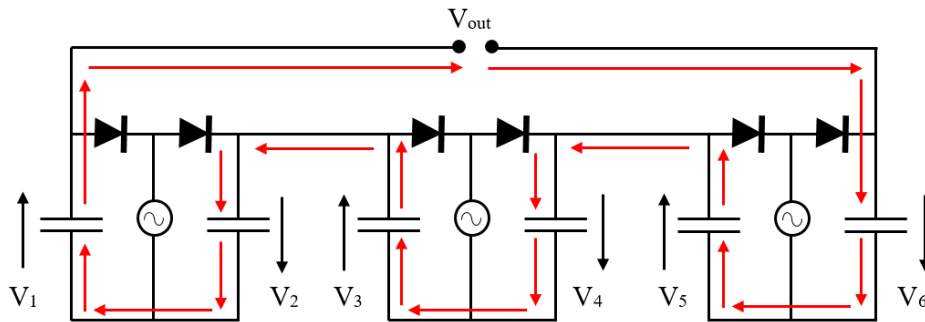
✓ Dönüştürücülerin bazılarının arızalanması sistem çalışmasını etkilemez: Kullanılan devre topolojisinde bazı dönüştürücülerin arızalanması durumunda bağlantı paypass kapasitörleri üzerinden tamamlanacağı için sistemde bir açık devre oluşmayacaktır. Bu da, çalışmaya devam eden dönüştürücü çıkışlarının toplamının sistem çıkışında okunabileceği anlamına gelir. Çünkü, aynı zamanda tüm PD'ler elektriksel olarak baypass kapasitörleri üzerinden birbirlerine seri bağlanmış durumdadırlar.

✓ Sistem çıkışı başka ara yüz devrelerine doğrudan bağlanabilir: Kullanılan devre topolojisi kullanılan diyot ve bypass kapasitörleri sayesinde nispeten gürültüsüz bir DC gerilim üretme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle sistem çıkışı herhangi bir DC – DC dönüştürücü girişine doğrudan bağlanabilir. Ayrıca kullanılan kapasitörler üretilen gerilimin bir kısmını üzerlerinde tutacaklarından mekanik titreşimin olmadığı durumlarda bir süre daha bir sonraki katmanı besleyecek enerji sistemde her zaman var olacaktır.

✓ Herbir dönüştürücü farklı genlik ve frekans değerinde çıkış gerilimi üretebilir: Kullanılan diyot ve kapasitörler ile her bir PD farklı bir frekans ve genlik değerinde çıkış gerilimi üretse bile bu gerilim değerlerinin doğrultulacak olması sistem çıkışında olumsuz bir durum oluşmasına neden olmaz.

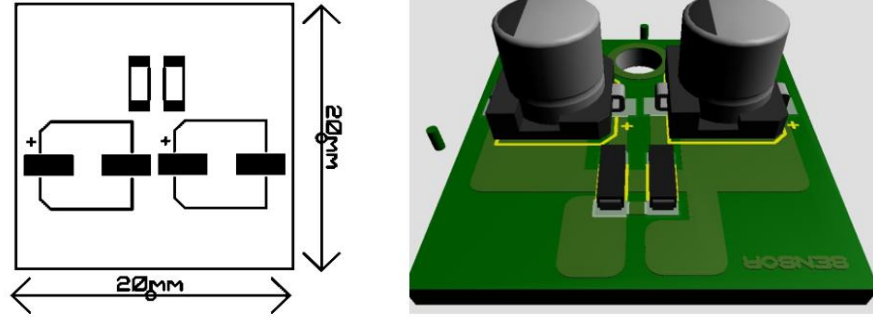
Kullanılan devre topolojisinin en önemli dezavantajı, PD tarafından üretilen gerilimin dalga biçimine uygun anahtarlama stratejilerini kullanan devre topolojileri ile birlikte kullanılmak için uygun bir yapısının olmamasıdır. Ancak literatürde kullanılan anahtarlama devre topolojilerinin çift yönlü anahtarlar, sargı, köprü doğrultucu ve harici diyotlar ve bazı durumlarda harici gerilim kaynağı gereksinimleri vardır. Yapılan teorik çalışmalarda bu devre topolojilerinin bazıları her ne kadar standart enerji hasat topolojisine göre %900 kadar daha yüksek bir verime sahip oldukları iddia edilse de, kullanılan eleman sayılarının çok fazla olması ve bu elemanlar üzerinde kayıplar ile harici gerilim kaynakları tarafından harcanan enerjinin ihmal edilmesi ek olarak karmaşık anahtarlama stratejileri nedeni ile pratik kullanımlar için uygun olmadıkları öngörülmüştür.

Kullanılan devre topolojisinde çıkış gerilimi Kirchoff Kanunu ile aşağıdaki Şekil 3.5 ile verildiği gibi hesaplanabilir.



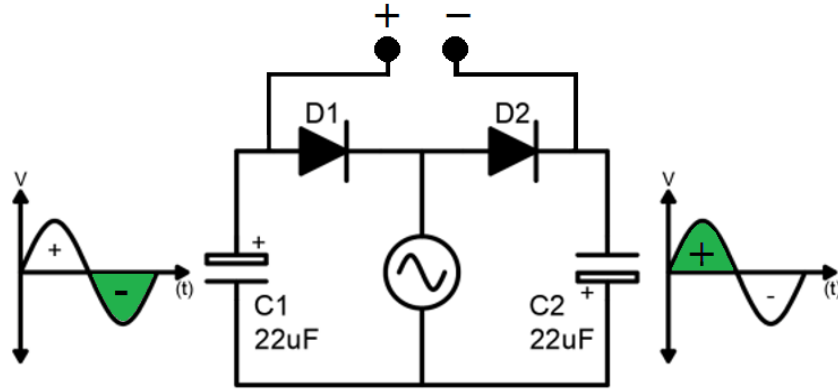
Şekil 3.5 Kullanılan devre topolojisinde çıkış gerilimi

Görüldüğü gibi çıkış gerilimi her bir baypass kapasitörünün üzerindeki gerilimin toplamı şeklindedir. Seçilen devre topolojisinin enerji hasatçısında kullanılması için PCB tasarımı yapılmıştır. Hasatçıda kullanılan PCB tasarımı ise Şekil 3.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Devre topolojisinin PCB tasarımı

Her bir PD için bu PCB devre yapısından bir tane imal edilmiş ve gerekli elektrik bağlantıları yapılmıştır. Bir tek PD için kullanılan devre topolojisi ile yapılan doğrultma işlemi ise Şekil 3.7 ile gösterilmiştir.

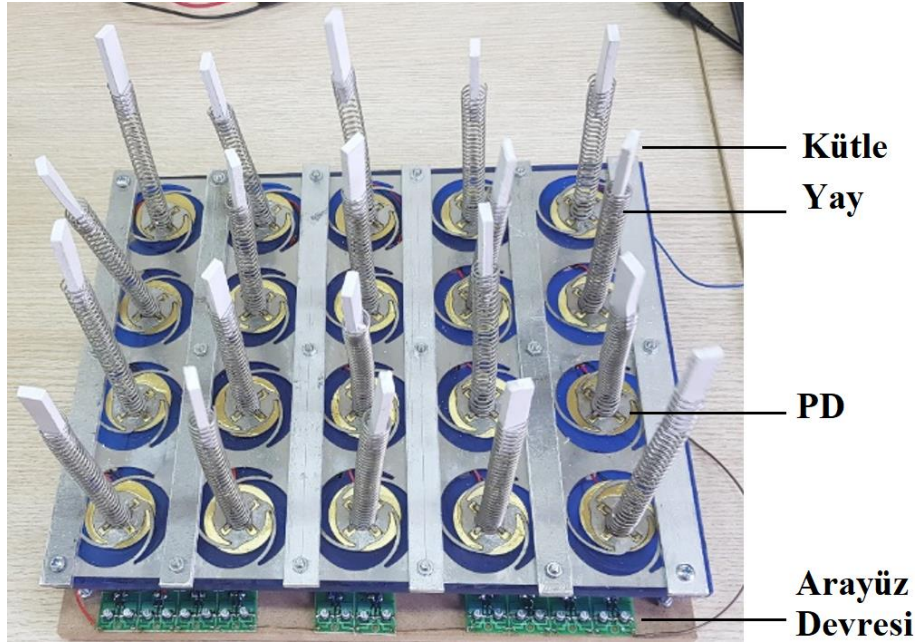


Şekil 3.7 Kullanılan doğrultma stratejisi

### 3.1 Enerji Hasatçısının İmalatı

Daha öncede belirtildiği gibi imal edilen enerji hasatçı, bir kütle yay sistemi olarak tasarlanıp imal edilmiştir. İmalat için bir sert plastik yüzey CNC ile PD ve gerekli kablo bağlantıları için oyulmuş ve 20 adet PD bu oyuklara yerleştirilmiştir. Her bir PD için bir adet üzerine 10 g. ağırlığında kütle yerleştirilmiş olan 15 cm uzunluğunda yay imal edilmiştir. Bu yaylar ile PD arasına yine CNC ile oyulmuş bir metal tabaka konulmuştur. Bu metal tabaka üzerinde yayların takılabileceği çentikler bulunmaktadır. Dolayısı ile sistemde oluşan titreşimler yay kütle yapısı ile doğrudan

PD üzerine aktarılmaktadır. İmal edilen hasatçı Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 ile gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8 İmal edilmiş olan enerji hasatçısı

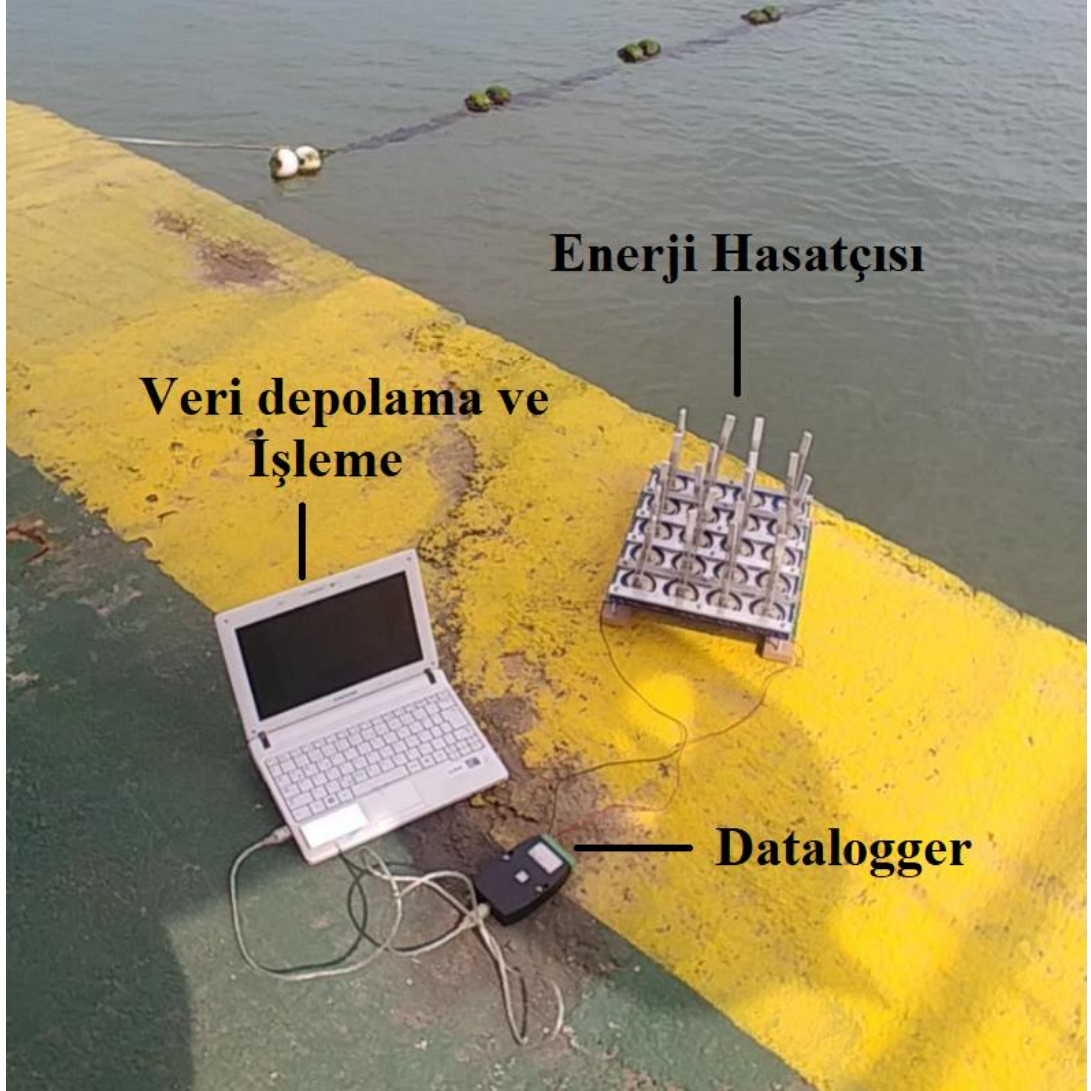


Şekil 3.9 Enerji Hasatçı Bağlantıları

Enerji hasatçısı her sırasında 4 adet PD bulunan 5 sıralı bir PD dizisi şeklinde imal edilmiştir. Her bir sıranın arasında titreşimlerin gövde üzerine yayılmasını önlemek, PD'lerin üzerinde yoğunlaşmasını sağlamak amacıyla metal sabitleme çubukları yerleştirilmiştir.

Hasat edilen enerjinin toplanması için kullanılan ara yüz devresinde MBR0560 0.5A 60V Schottky diyotlar ve 22uF 16V SMD kapasitörler kullanılmıştır. Sistem su içerisinde yüzebilmesi ve bu esnada sudan izole olabilmesi için kapalı bir plastik kutunun içine yerleştirilmiştir. Veri alım ve işleme işlemleri için UDL150 veri kayıtcısı

kullanılmış ve bu kayıtcı ile sistemin çıkış gerilimi gerçek zamanlı olarak toplanmıştır. Deneý düzeneğini oluşturan öğeler Őekil 3.10 ile verilmiştir.



**Őekil 3.10** Deneý düzeneđine ait öđeler

Őekil 3.10 ile gösterilen elemanlara, deniz ortamındaki nem ve korozyonun etkisinin azaltılabilmesi ve düzeneğin yüzer şekilde konumlandırılması için bir plastik, su geçirmez kap kullanılmıştır (Őekil 3.11). Deneý düzeneğinin deniz ortamındaki görünümü ise Őekil 3.12 ile verilmiştir.



**Şekil 3.11** Deney düzeneğinin son hali

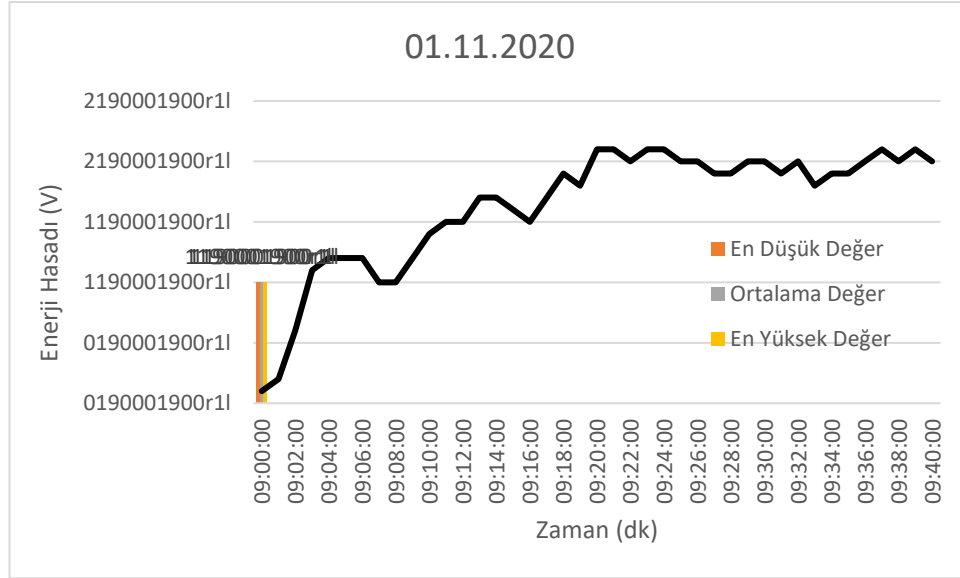


**Şekil 3.12** Deney düzeneği ile veri toplama süreci

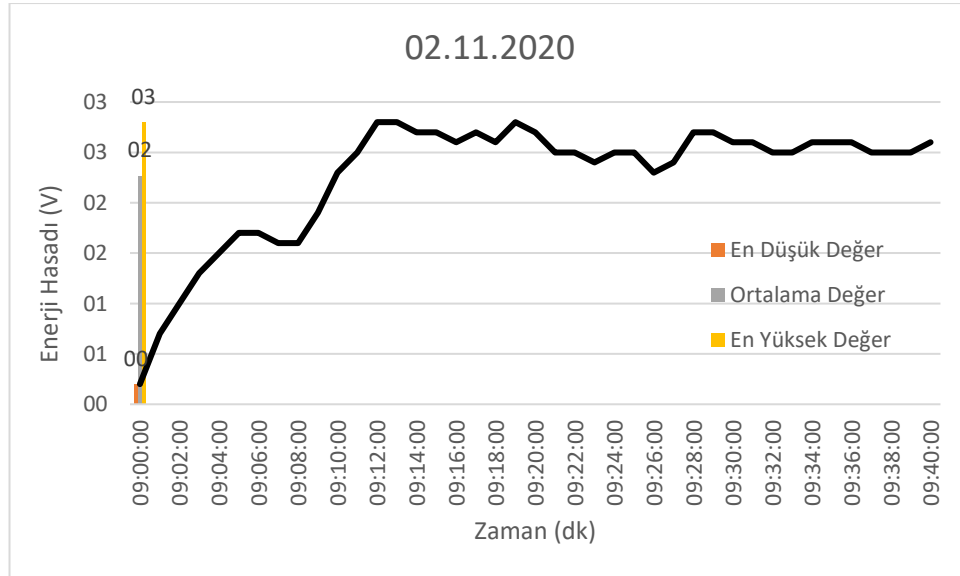
## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Veri Toplama ve Veri Analizi

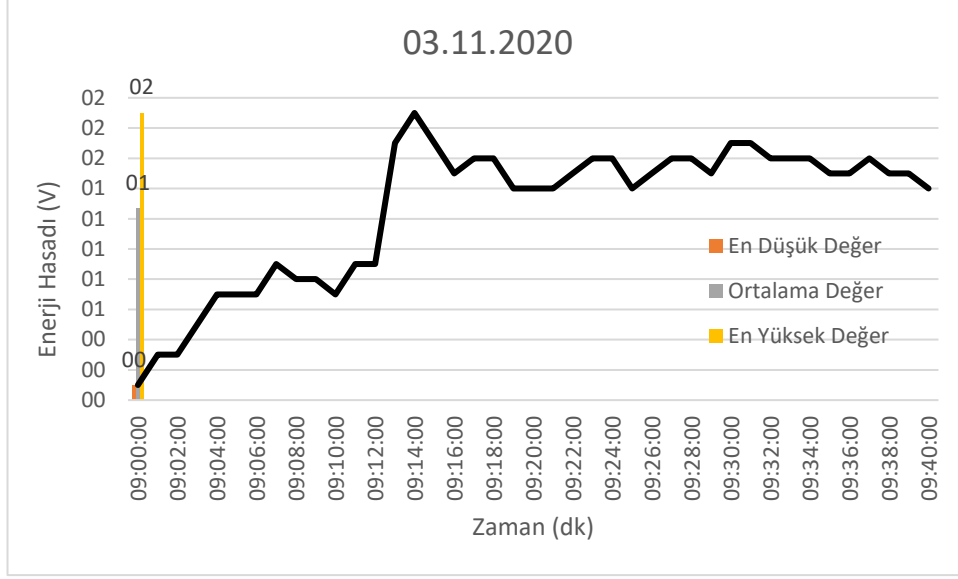
Hazırlanan deney düzeneği kapalı plastik bir kap ile sudan izole edilmiş Fatsa Balıkçı Barınağı içerisinde belli tarih ve zaman aralıklarında veriler alınmıştır (Şekil 4.1 - 4.10 ve Çizelge 4.1 – 4.2).



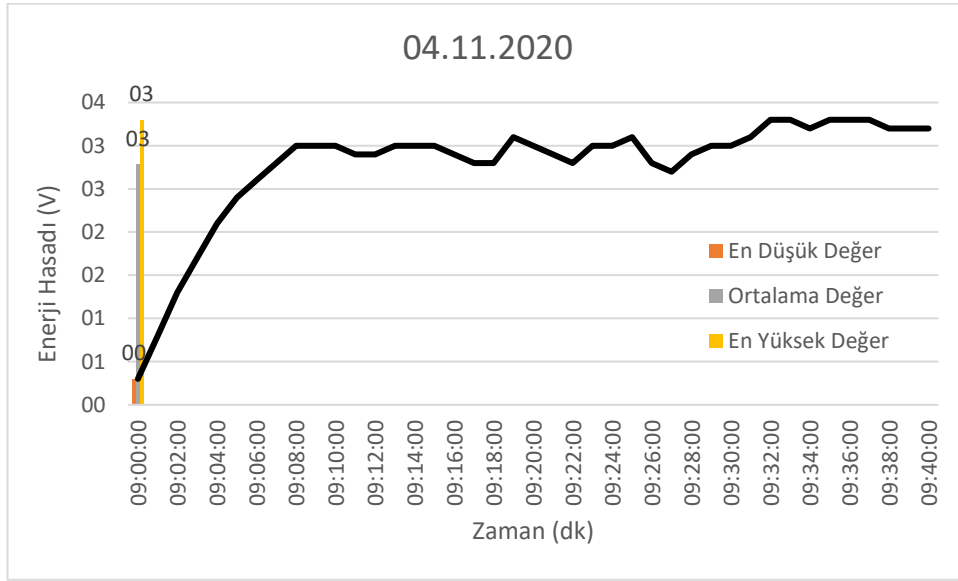
Şekil 4.1 01 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



Şekil 4.2 02 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı

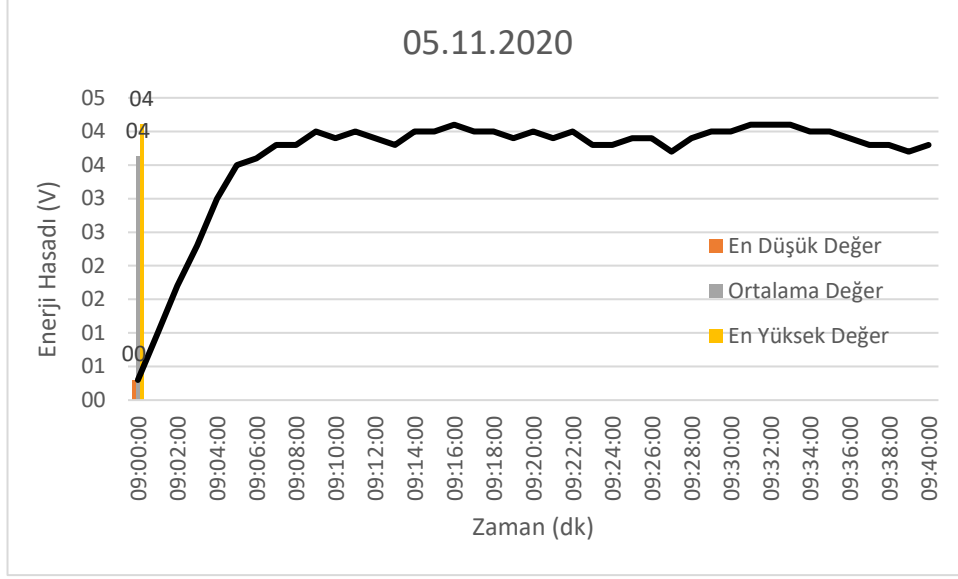


Şekil 4.3 03 /11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı

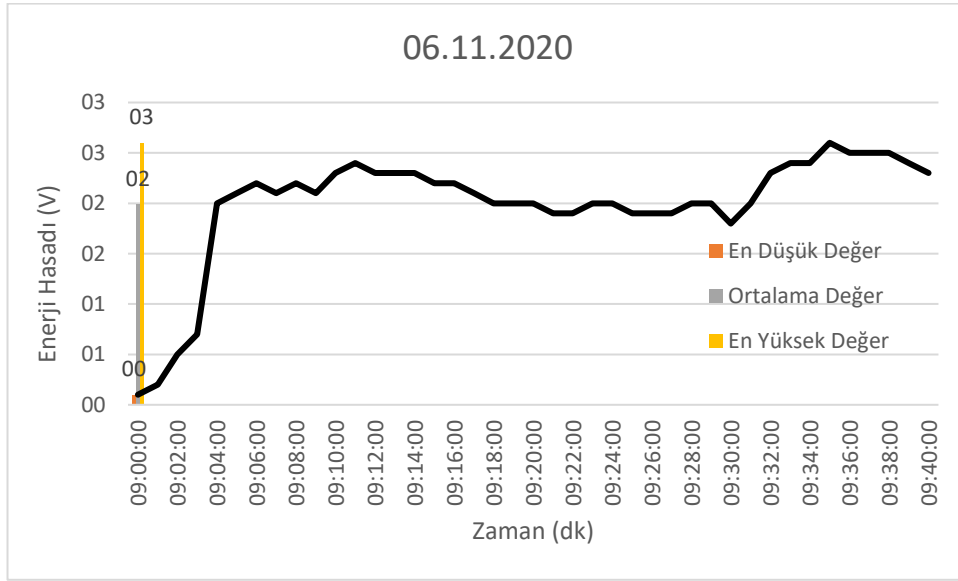


Şekil 4.4 04/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı

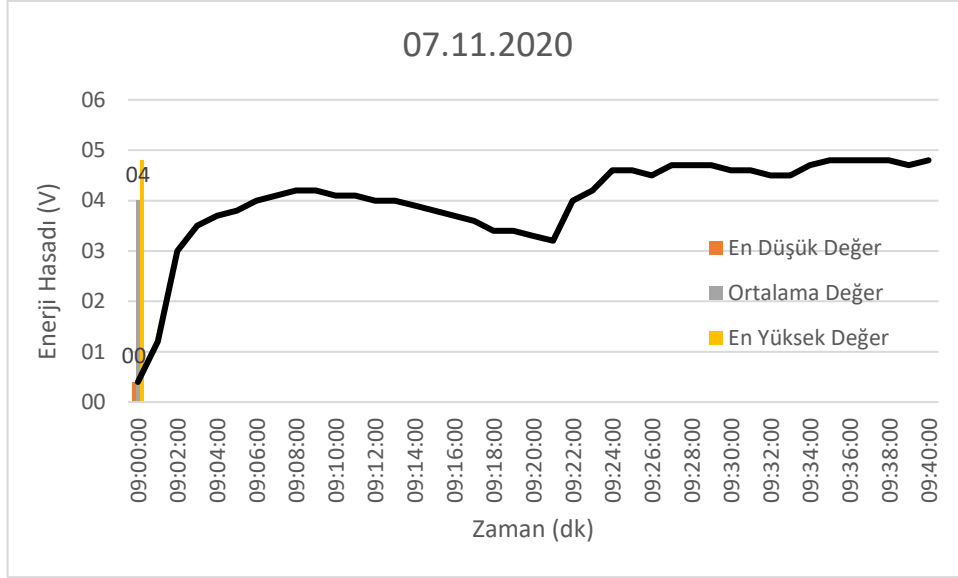




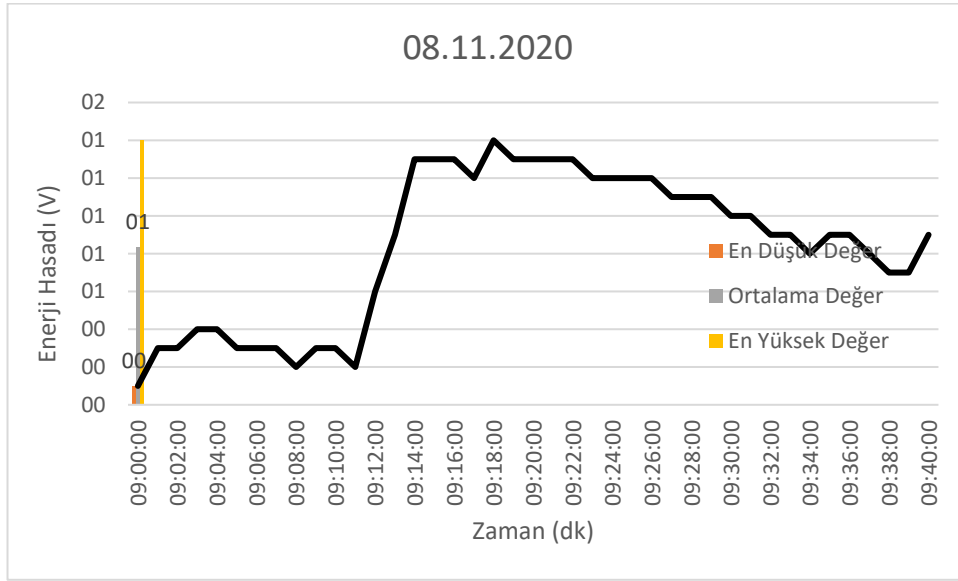
Şekil 4.5 05/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



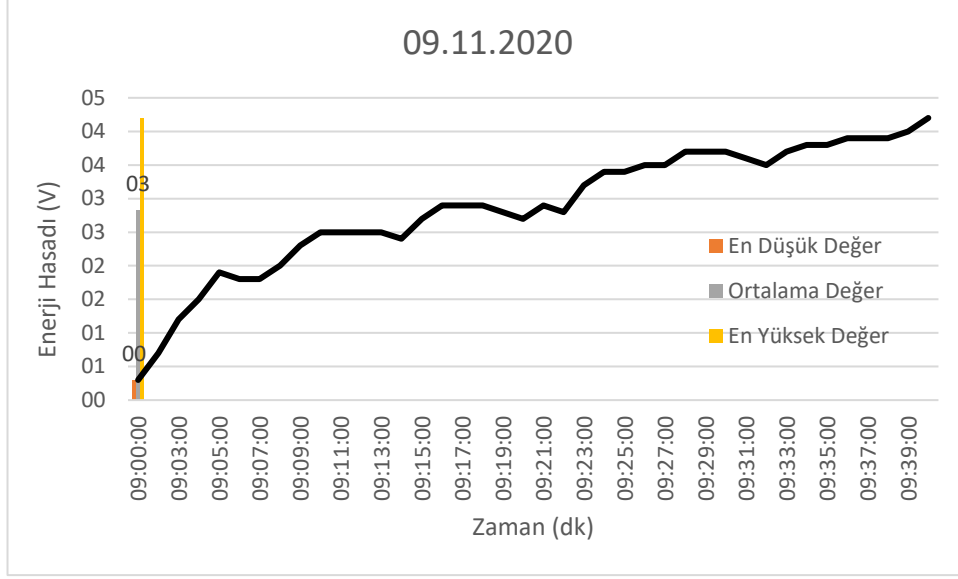
Şekil 4.6 06/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



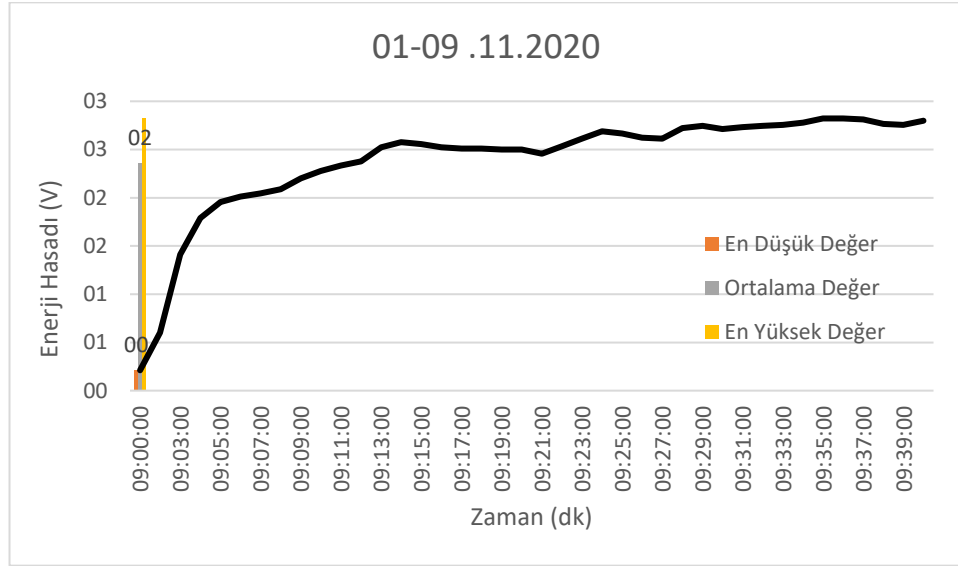
Şekil 4.7 07/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



Şekil 4.8 08/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



Şekil 4.9 09/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı



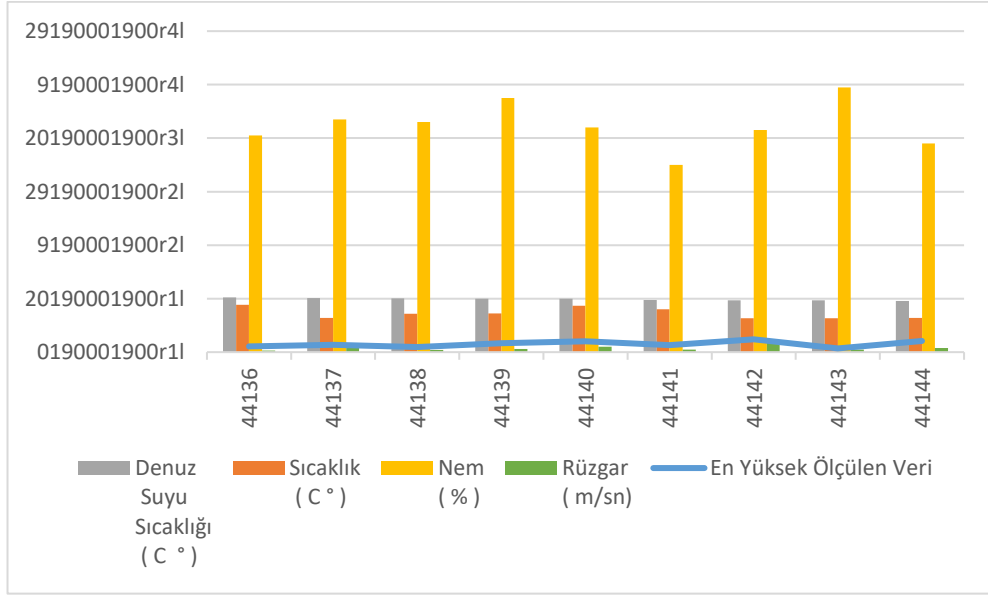
Şekil 4.10 01 - 09/11/2020 tarih ve saat 09:00 -09:40 aralığı enerji hasadı

**Çizelge 4.1 Ortalama Veri Tablosu (V)**

Saat / Tarih	01.11.2020	02.11.2020	03.11.2020	04.11.2020	05.11.2020	06.11.2020	07.11.2020	08.11.2020	09.11.2020	Anlık Ortalama
09:00:00	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0.2
09:01:00	0.2	0.7	0.3	0.8	1.0	0.2	1.2	0.3	0.7	0.6
09:02:00	0.6	1.0	0.3	1.3	1.7	0.5	3.0	0.3	1.2	1.1
09:03:00	1.1	1.3	0.5	1.7	2.3	0.7	3.5	0.4	1.2	1.4
09:04:00	1.2	1.5	0.7	2.1	3.0	2.0	3.7	0.4	1.5	1.8
09:05:00	1.2	1.7	0.7	2.4	3.5	2.1	3.8	0.3	1.9	2.0
09:06:00	1.2	1.7	0.7	2.6	3.6	2.2	4.0	0.3	1.8	2.0
09:07:00	1.0	1.6	0.9	2.8	3.8	2.1	4.1	0.3	1.8	2.0
09:08:00	1.0	1.6	0.8	3.0	3.8	2.2	4.2	0.2	2.0	2.1
09:09:00	1.2	1.9	0.8	3.0	4.0	2.1	4.2	0.3	2.3	2.2
09:10:00	1.4	2.3	0.7	3.0	3.9	2.3	4.1	0.3	2.5	2.3
09:11:00	1.5	2.5	0.9	2.9	4.0	2.4	4.1	0.2	2.5	2.3
09:12:00	1.5	2.8	0.9	2.9	3.9	2.3	4.0	0.6	2.5	2.4
09:13:00	1.7	2.8	1.7	3.0	3.8	2.3	4.0	0.9	2.5	2.5
09:14:00	1.7	2.7	1.9	3.0	4.0	2.3	3.9	1.3	2.4	2.6
09:15:00	1.6	2.7	1.7	3.0	4.0	2.2	3.8	1.3	2.7	2.6
09:16:00	1.5	2.6	1.5	2.9	4.1	2.2	3.7	1.3	2.9	2.5
09:17:00	1.7	2.7	1.6	2.8	4.0	2.1	3.6	1.2	2.9	2.5
09:18:00	1.9	2.6	1.6	2.8	4.0	2.0	3.4	1.4	2.9	2.5
09:19:00	1.8	2.8	1.4	3.1	3.9	2.0	3.4	1.3	2.8	2.5
09:20:00	2.1	2.7	1.4	3.0	4.0	2.0	3.3	1.3	2.7	2.5
09:21:00	2.1	2.5	1.4	2.9	3.9	1.9	3.2	1.3	2.9	2.5
09:22:00	2.0	2.5	1.5	2.8	4.0	1.9	4.0	1.3	2.8	2.5
09:23:00	2.1	2.4	1.6	3.0	3.8	2.0	4.2	1.2	3.2	2.6
09:24:00	2.1	2.5	1.6	3.0	3.8	2.0	4.6	1.2	3.4	2.7
09:25:00	2.0	2.5	1.4	3.1	3.9	1.9	4.6	1.2	3.4	2.7
09:26:00	2.0	2.3	1.5	2.8	3.9	1.9	4.5	1.2	3.5	2.6
09:27:00	1.9	2.4	1.6	2.7	3.7	1.9	4.7	1.1	3.5	2.6
09:28:00	1.9	2.7	1.6	2.9	3.9	2.0	4.7	1.1	3.7	2.7
09:29:00	2.0	2.7	1.5	3.0	4.0	2.0	4.7	1.1	3.7	2.7
09:30:00	2.0	2.6	1.7	3.0	4.0	1.8	4.6	1.0	3.7	2.7
09:31:00	1.9	2.6	1.7	3.1	4.1	2.0	4.6	1.0	3.6	2.7
09:32:00	2.0	2.5	1.6	3.3	4.1	2.3	4.5	0.9	3.5	2.7
09:33:00	1.8	2.5	1.6	3.3	4.1	2.4	4.5	0.9	3.7	2.8
09:34:00	1.9	2.6	1.6	3.2	4.0	2.4	4.7	0.8	3.8	2.8
09:35:00	1.9	2.6	1.5	3.3	4.0	2.6	4.8	0.9	3.8	2.8
09:36:00	2.0	2.6	1.5	3.3	3.9	2.5	4.8	0.9	3.9	2.8
09:37:00	2.1	2.5	1.6	3.3	3.8	2.5	4.8	0.8	3.9	2.8
09:38:00	2.0	2.5	1.5	3.2	3.8	2.5	4.8	0.7	3.9	2.8
09:39:00	2.1	2.5	1.5	3.2	3.7	2.4	4.7	0.7	4.0	2.8
09:40:00	2.0	2.6	1.4	3.2	3.8	2.3	4.8	0.9	4.2	2.8
<b>En Düşük Ölçülen Değer</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>
<b>Ortalama Değer</b>	<b>1.6</b>	<b>2.3</b>	<b>1.3</b>	<b>2.8</b>	<b>3.6</b>	<b>2.0</b>	<b>4.0</b>	<b>0.8</b>	<b>2.8</b>	<b>2.4</b>
<b>En Yüksek Ölçülen Değer</b>	<b>2.1</b>	<b>2.8</b>	<b>1.9</b>	<b>3.3</b>	<b>4.1</b>	<b>2.6</b>	<b>4.8</b>	<b>1.4</b>	<b>4.2</b>	<b>4.8</b>

**Çizelge 4.12** Enerji Hasadının Sıcaklık ,Nem ve Rüzgar ile Karşılaştırılması

Sıra No	Tarih	Saat Aralığı	Toplam Süre (dk)	En Düşük Ölçülen Veri	En Yüksek Ölçülen Veri	Veri Ortalaması	Sıcaklık (C °)	Deniz Suyu Sıcaklığı (C °)	Nem (%)	Dalga (m)	Rüzgar (m/sn)
1	1.11.2020	09:00 09:40	40	0.10	2.10	1.63	17.7	20.5	81	0,2-0,5	0.6
2	2.11.2020	09:00 09:40	40	0.20	2.80	2.27	12.8	20.2	87	0,2-0,5	1.6
3	3.11.2020	09:00 09:40	40	0.10	1.90	1.27	14.3	20.1	86	0,2-0,5	0.8
4	4.11.2020	09:00 09:40	40	0.30	3.30	2.78	14.5	20	95	0,2-0,5	1.2
5	5.11.2020	09:00 09:40	40	0.30	4.10	3.63	17.3	20	84	0,2-0,5	2
6	6.11.2020	09:00 09:40	40	0.10	2.60	1.99	16	19.5	70	0,5-1,25	1
7	7.11.2020	09:00 09:40	40	0.40	4.80	4.00	12.7	19.4	83	0,2-0,5	3.6
8	8.11.2020	09:00 09:40	40	0.10	1.40	0.83	12.7	19.4	99	0,2-0,5	1
9	9.11.2020	09:00 09:40	40	0.30	4.20	2.83	12.8	19.1	78	0,2-0,5	1.6
Toplam Süre (dk)									<b>360.00</b>		
En düşük Ölçülen Veri Ortalaması									<b>0.10</b>		
En Yüksek Ölçülen Veri Ortalaması									<b>4.80</b>		
Genel Veri Ortalaması(Maksimum)									<b>4.00</b>		



**Şekil 4.11** Verilerin Sıcaklık, Nem ve Rüzgar ile Karşılaştırılması

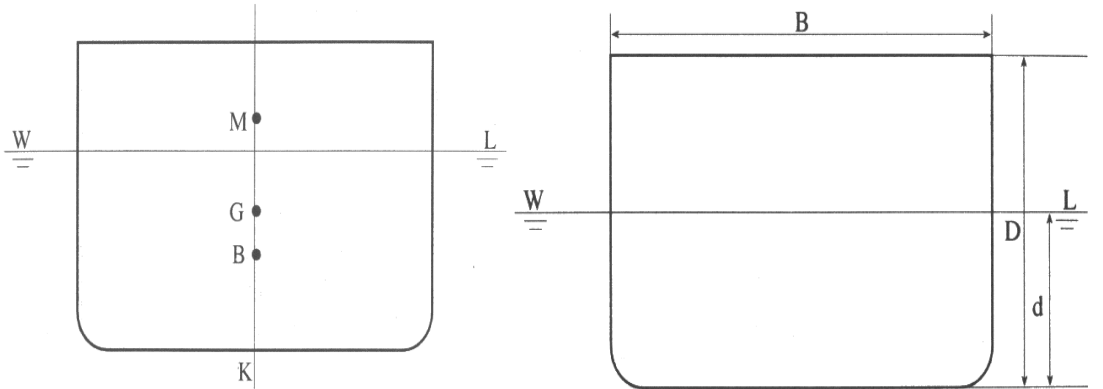
Şekil 4.11’de gösterilen veriler ile ilgili olarak;

- ✓ Deniz suyu sıcaklığı ve dalga yüksekliği Ordu istasyonundan alınmıştır.
- ✓ Saatler lokal saattir.
- ✓ Dalga yüksekliği 0.1-0.5 Küçük Dalgalı- 0.5-1.25 hafif çalkantılı olarak tabir edilir.

Her sırasında 4 adet PD bulunan 5 sıralı toplam 20 adet PD oluşan ve PD dizisi şeklinde imal edilen enerji hasatçısı ile günlük ortalamada 4.00 V, genel ortalamada 2.4 V açık devre gerilimi elde edilmiştir. Günlük en yüksek 4.8 V açık devre gerilimi elde edilmiştir. Genel ortalamada 2.8 V olarak tesipt edilmiştir. Bu sınırlı sayı ve ölçüde hazırlanan enerji hasatçı göstermiştir ki PD balıkçılık ve denizcilik alanında bir çok yerde kullanılabilir. Özellikle hazırlanan enerji hasatçı ile enerji hasadı yapılırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

#### 4.2 Kutu Şeklinde Teknelere Etkisi

İnşaa tekniği açısından su altı hacmi diktörtgen prizma şeklinde olan deniz araçları, enine hareket merkezi metacenter (M) geminin ağırlık merkezi olan G noktasına çok yakındır. Metacenter yüksekliği (GM) şu anlama gelmektedir: Bu tür gemiler tender gemi olarak tanımlanmaktadır. Bu tarz gemilerde yük, yolcu ve gemi hasar görmez. Tahıl, kereste vb. yükler taşıyan gemiler ile konteyner gemileri örnek olarak gösterilebilir. Bu gemiler limanda yük operasyonları için beklediğinde, açık denizde demirde beklediğinde ve seyir halindeyken dalga vb. dış ortamlardan en az etkinlenmektedirler. Teorik olarak gemi ile su hattı (WL) arasında düz bir çizgi durmaktadır. Bu durum Şekil 4.12 gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.12** Gemi Boyutları (Akın, 1999)

Hazırlanmış olduğumuz enerji hasatçı özellikle dış ortamlardan etkinlenmemesi için kapalı bir plastik kap içerisine konmuştur. Özellikle rüzgar ile teması kesilerek sadece dalga enerjisi ile enerji hasadı için gerekli şartlar sağlanmıştır. Aynı zamanda enerji hasatçısı su vb. zararlardan izole edilmiştir. Durgun suda tam da tender gemilerin özelliklerinden bahsedildiği gibi diktörtgen prizma şeklindeki hasatçıyla

Şekil 4.13'deki şekilde değişik zaman aralıklarında veriler alınmıştır. Fatsa Balıkçı Barnağı içerisinde yapılan çalışmada, enerji hasatçı kendi doğal dengesi ve yüzülebilirlik yeteneği ile enerji hasadı yapılabileceğini göstermiştir.



**Şekil 4.13** Verilerin Rüzgar, Nem ve Sıcaklık ile Karşılaştırılması

20 adet PD ile elde edilen bu enerji hasadı PD'ler hazırlanan bu devre topolojisi ile kendi doğal dengesiyle su üstünde duran ve sektörde kullanılan birçok ekipmanda kullanılabileceği görülmüştür.

Örneğin Uluslararası Can ve Mal Emniyeti Sözleşmesi SOLAS'a göre, gemilerde kullanılacak bir can yeleği en az 8 saat yanan ve 0.75 mumluk bir ışık ile donatılması gerekir (SOLAS/74, 1975). Denize adam düştü ve kazazedeyi su üstünde tutmak için kullanılan can simitlerinde kullanılan fenerler yerine bu can kurtarma araçlarının içerisinde PD uygun şekilde sıralanarak uygun şartlarda kesintisiz enerji hasadı sağlanabilir (Şekil 4.14 – 4.15).



Şekil 4.14 Can Simidi (SOLAS/74, 1975).



Şekil 4.15 Can Yeleği (SOLAS/74, 1975).

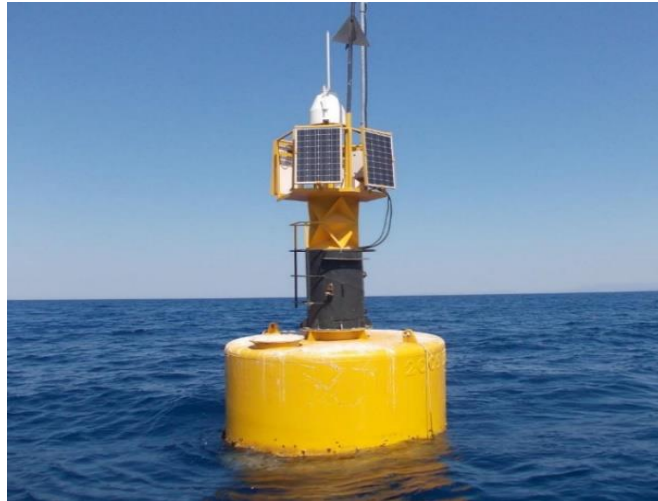


Denizde emniyet hususunda önem arz eden şamandıralar su üzerinde yüzden ve deniz dibine bağlı olan seyir yardımcılarıdır. Deniz yüzeyinde ve deniz dibinde bulunan tehlikelerin konumlarının belirlenmesi ve seyir planlamasının bu doğrultuda hazırlanması konusunda önemlidir. Şamandıralar ışıklı ve ışısız olarak ikiye ayrılmaktadır.

1982 senesinde Uluslararası Fener Otoriteleri Birliği (IALA)'nin "A" sistemini onaylamıştır. 1984 yılında da Kardinal ve Lateral İşaret Şamandıraları kullanılmaya başlanmıştır (IALA, 1982).



**Şekil 4.16** IALA Deniz Şamandıra Sistemi (Anonim, 2021a)



**Şekil 4.17** Kuşadası 3 nolu Batı Kardinal Şamandırası (Anonim, 2021b)

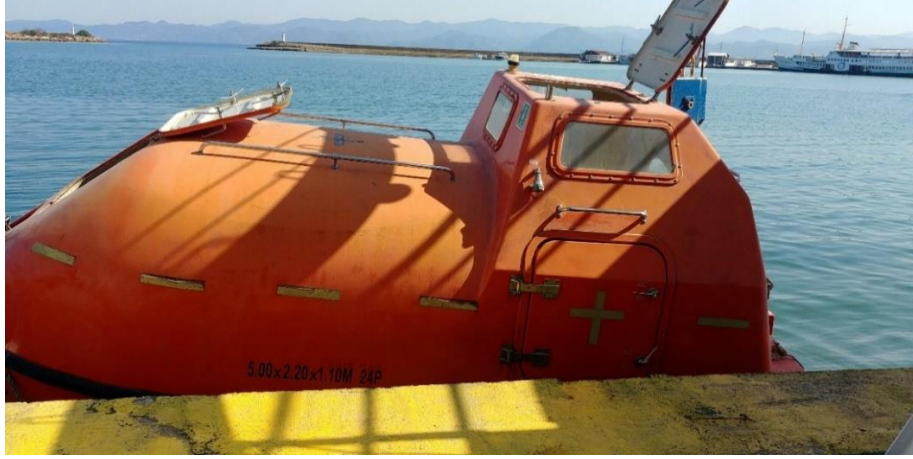


**Şekil 4.18** Kuşadası 4 nolu Batı Kardinal Şamandırası (Anonim, 2021c)

Seyir açısından son derece önemli bu seyir yardımcıları sabit ve yüzer durumda kullanılmaktadır. Seyir yardımcılarının ve fenerlerin ihtiyaç duyduğu enerji Şekil 4.16 - 4.18’de görüldüğü gibi güneş enerjisi ile sağlanmaktadır. Hazırlanan enerji hasatçıda da görüldüğü gibi hem sabit hem de yüzer durumda kullanılan bu seyir yardımcılarının su ile temas eden yüzeylerine gerekli izolasyonu sağlamak koşulu ile PD kullanıldığında güneş enerjisinde olduğu gibi alternatif olarak kullanılabilir.

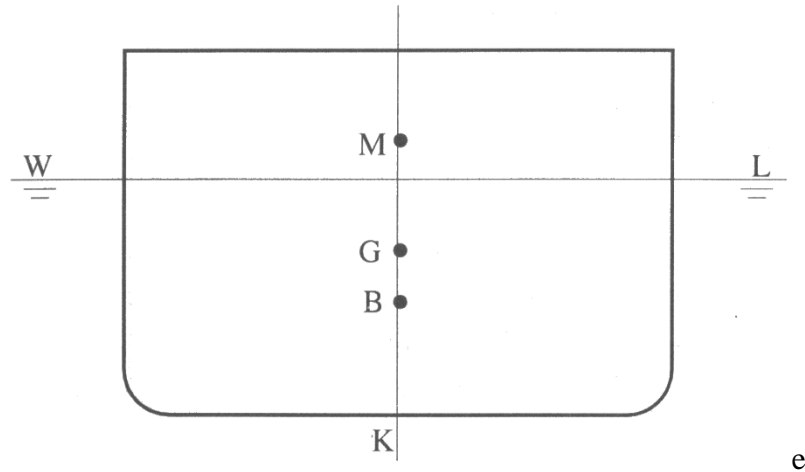
### **4.3 Can Kurtarma Filikasında Kullanımı**

Filika veya can filikası denizde oluşabilecek batma, yangın, çarpışma veya çatışma gibi durumlarda tüm personelin gemiyi güvenli bir şekilde terk etmesini sağlayan SOLAS’a (Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi) göre donatılan bot ya da teknelerdir (SOLAS/74, 1975) (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19** Filika

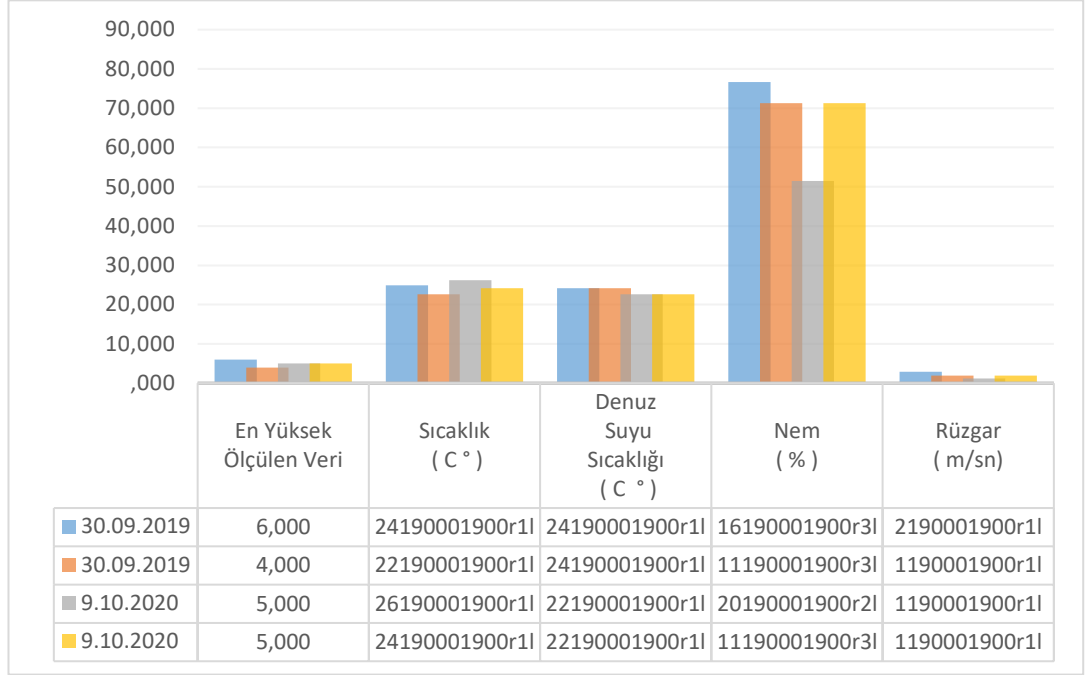
Filikalar inşa tekniği açısından her türlü hava şartlarında yüzebilir durumda yapılırlar. Tender gemilerin aksine benzer durum stiff gemilerde de mevcuttur. Kütük demir, ağır yük cevheri bu tür gemiler ile taşınır. Bu tür gemilerin çok yalpa yapmalarından dolayı gemi ve yükü yıpranır. Çalışanların konforu yoktur fakat enine hareket merkezi (M) ile geminin ağırlık merkezi (G) arasındaki mesafe oldukça fazla olduğu için gemi yalpa yapsa da doğrultucu kuvveti fazla olduğu için çabuk doğrulacaktır (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20** GM yüksekliği (Akın, 1999)

Filika ve bu tarz deniz araçları beşik gibi sürekli sallanırlar. GM'i küçük tekneler başka bir deyişle su altı hacmi diktörge prizma şeklinde olan teknelerde hazırlanan enerji hasatçı ile enerji hasadı yapılabildiği görülmüştür. Filika ve vb. araçlarda ise mevcut dalga enerjisine ek olarak cismin sürekli yalpa hareketi ilave edilmektedir. Filikaların iskele ve sancak taraflarına düşenecek PD ile gemiyi terk

durumlarında ihtiyaç duyulan aydınlatma vb. enerji ihtiyacının karşılanabileceği Şekil 4.21’de görülmektedir.



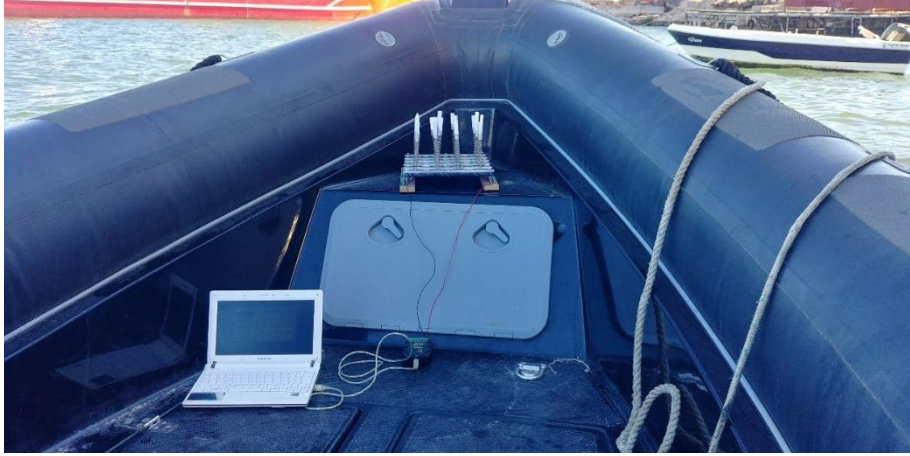
Şekil 4.21 Filikada elde edilen enerji hasadı

#### 4.4 Yüzer Cisimlerde Kullanımı

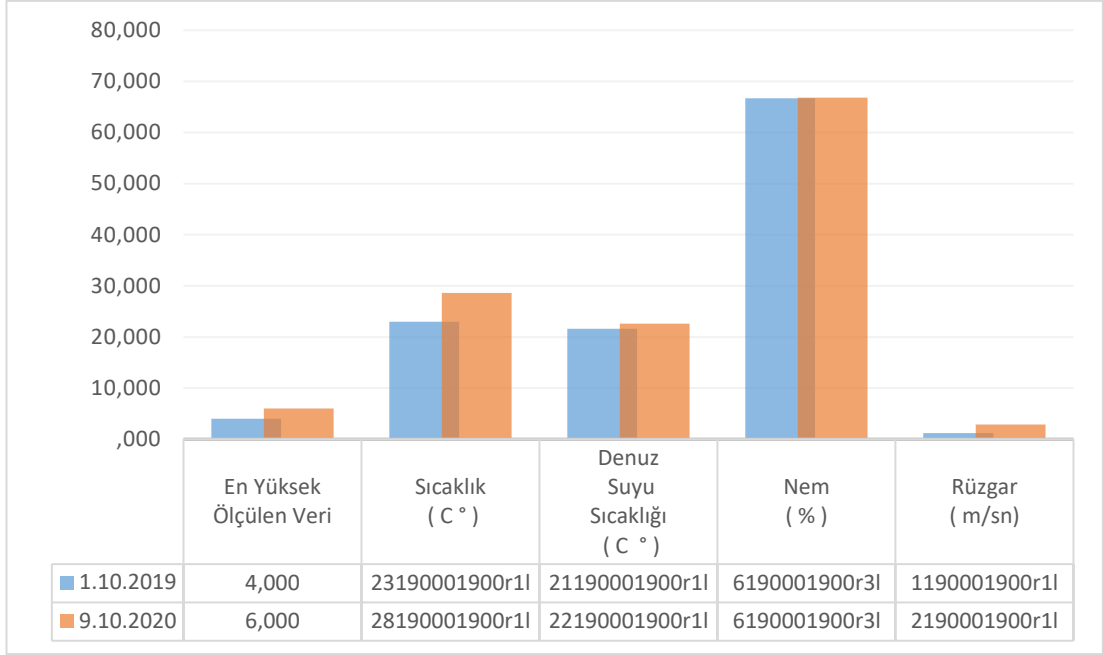
Enerji hasatçı ile kutu şeklindeki teknelerde ve filikada ölçülen verilerde cisimlerin sabit, kendi doğal dengelerinde ve hareketsiz hallerinde enerji hasadı yapılmıştır (Şekil 4.22 – 4.23). Aynı enerji hasatçı ile seyir halindeki filika ve hızlı can kurtarma botunda alınan verilerde de şu sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.24 – 4.25).



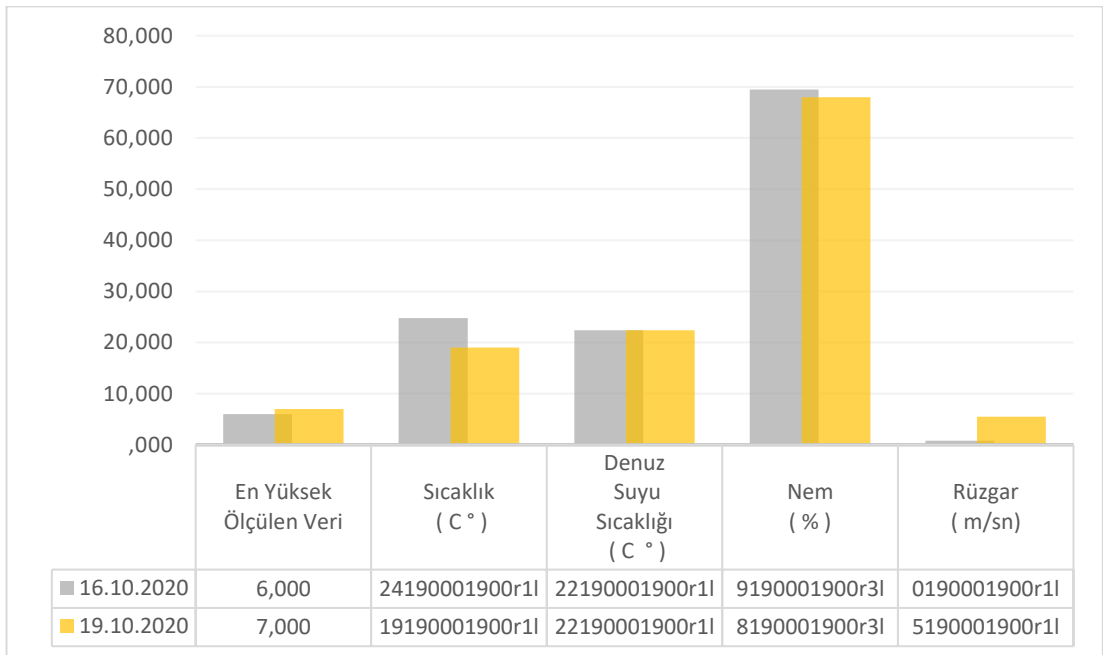
**Şekil 4.22** Seyir Halinde Filikada Enerji Hasadı



**Şekil 4.23** Hızlı Can Kurtarma Botunda enerji hasadı.



**Şekil 4.24** Hızlı Can Kurtarma Teknesinden Enerji Hasadı Grafiği



**Şekil 4.25** Filikada Enerji Hasadı Grafiği

Hızlı can kurtarma botunda 20 dakikalık iki ayrı seferde toplam 40 dk. enerji hasadı yapılmıştır. Saatte ortalama 5-6 Knot hızında yapılan bu uygulamada hızlı can kurtarma botunun su tutma yüzeyinin fazla olması, yalpa durumunun olmaması kısacası inşa özelliğinden ve düşük süratte konumu ile suda durgun haldeki konumu

arasında enerji hasadı açısından çok belirgin farklar oluşmamıştır. Kısmen fazla olduğu görülmüştür.

Filikada aynı şekilde yapılan uygulamada filikanın yalpa durumunun fazla olması ve inşa tekniği açısından sürekli beşik gibi sallanmasından dolayı enerji hasadı belirgin oranda artmıştır.

Enerji hasatçı ile yapılan veri analizlerinde kutu şeklindeki durumunda toplam 360 dk. veri analizi yapılmış olup en fazla 4.8 V sınırında enerji hasadı yapılabileceği tespit edilmiştir. Suda serbest halde duran filikada farklı zaman periyotlarında yaklaşık 120 dk. veri analizi yapılmış olup, en yüksek 6 V sınırında enerji hasadı tespit edilmiştir. Seyir halindeki hızlı can kurtarma botunda toplam 40 dk. veri analizi yapılmış olup en yüksek 6 V enerji hasadı ölçülmüştür. Seyir halindeki can filikasında 40 dk veri analizi yapılmış olup en yüksek 7 V enerji hasadı ölçülmüştür.

PD' ler ile birçok farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır: Akustik Enerjinin Hasatı İle İlgili Uygulamalar, Yapılar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Üretimi Uygulamaları, Deniz – Okyanus Dalgasından Enerji Üretimi Uygulamaları, Giyilebilir Uygulamalar, Biyomedikal Uygulamaları, Hibrit Enerji Dönüşüm Uygulamaları, Ortam Titreşimlerinden Enerji Hasatı Uygulamaları, Rüzgar Enerjisinden Enerji Hasatı Uygulamaları, Taşıtlar Üzerindeki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları, Yağmur Damlalarından Enerji Hasatı Uygulamaları, Taşıt Ve Yaya Yollarındaki Titreşimlerden Enerji Hasatı Uygulamaları. Enerji hasadı uygulamalarında bazı uygulamalar teorik düzeyde kalmış, bazılarında kısmen enerji hasadı yapılmış, bazı uygulamalarda deneysel düzeyde veya laboratuvar ölçeğinde kalmıştır.

Yapılan literatür taramasında Deniz – Okyanus Dalgasından Enerji Üretimi Uygulamaları konusunda, yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak teorik düzeyde kaldığı, deneysel anlamda imal edilen sistemlerin ise laboratuvar ölçeğinde olduğu görülmüştür.

Bu tez kapsamında tasarlanan enerji hasatçı ile farklı durum ve şartlarda değişik deniz araçlarında ve koşullarında yapılan ölçümler Çizelge 4.3 gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4** Enerji Hasadı Uygulamaları Tablosu

<b>Uygulamalar</b>	<b>PD(Adet)</b>	<b>En Düşük Değer(V)</b>	<b>En Yüksek(V)</b>
<b>Yüzer Cisim</b>	20	0.1	4.80
<b>Filika</b>	20	6	7
<b>Boot</b>	20	4	6

Çizelge 4.3 görüldüğü gibi 25\*30 cm ölçülerinde ki 20 adet PD ile farklı yüzer araçlarda alınan veriler ve birim sonuçları incelendiğinde, yüzer cisimlerde her koşulda ve hava şartlarında (Çizelge 4.2), enerji hasadı yapılabildiği tespit edilmiştir.

Bu alanda yapılan çalışmalarda hasad edilen enerji ya yetersiz ya da uygulanabilir olmaktan uzaktır. Bu nedenle çoğu deneysel yüzeyde kalmıştır. Ancak bu tez kapsamında ki enerji hasatçıdan alınan veriler; uygulanan cisimlerin en boy ve alanları ile oranlandığında (Çizelge 4.4) bu cisimlerin ölçülerilerine oranla PD sayısı arttırıldığında elde edilen sonuçlar, birim veriler tezde konusu edilen uygulamalar için yeterli ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Gerekli koşullar sağlandığında seyir emniyet ve can güvenliği ekipmanı olarak kullanılan cihazlarda enerji ihtiyacını karşılamakta alternatif olarak dalga enerjisinin ve PD kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.4** Boyutlar

<b>Cisimler</b>	<b>Boy(m)</b>	<b>En(m)</b>	<b>Draft (m)</b>	<b>Alan(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Hacim (m<sup>3</sup>)</b>	<b>PD(Adet)</b>
EH	0.30	0.25	0.25	0.08	0.02	20
Yüzer Cisim	0.55	0.39	0.10	0.21	0.02	20
Filika	5.20	2.20	1.20	12.48	13.73	20
Boot	7.30	2.80	0.70	10.22	14.31	20



## 5. KAYNAKLAR

- Abidin, N. A., Nayan, N. M., Azizan, M. M., & Ali, A. (2018). Analysis of voltage multiplier circuit simulation for rain energy harvesting using circular piezoelectric. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *101*, 211–218.
- Akın, T. (1999). Gemi Stabilesi. İstanbul.
- Akkaya Oy, S., & Özdemir, A. E. (2018). Piezoelectric-based low-power wind generator design and testing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *43*(6), 2759-2767.
- Anonim, (2021a). Kıy1 Emniyeti Genel Müdürlüğü. <https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/>
- Anonim, (2021b). Kıy1 Emniyeti Genel Müdürlüğü (1), Aydın. [https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/yer-detay/514/KUSADASI-3-NOLU-BATI-KARDINAL-ISIKLISAMANDIRA#/kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Place/Images/kl/DK/Ld/FL/Original/69\\_8a5347bf-63fa-4fa3-8efb-75389a2db8aa.jpg](https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/yer-detay/514/KUSADASI-3-NOLU-BATI-KARDINAL-ISIKLISAMANDIRA#/kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Place/Images/kl/DK/Ld/FL/Original/69_8a5347bf-63fa-4fa3-8efb-75389a2db8aa.jpg)
- Anonim, (2021c). Kıy1 Emniyeti Genel Müdürlüğü (2), Aydın. [https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/yer-detay/515/KUSADASI-4-NOLU-BATI-KARDINAL-ISIKLISAMANDIRA#/kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Place/Images/RN/83/r6/xQ/Original/69\\_8bf2b0b1-deee-482d-b0d6-b96e482c869c.jpg](https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/yer-detay/515/KUSADASI-4-NOLU-BATI-KARDINAL-ISIKLISAMANDIRA#/kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Place/Images/RN/83/r6/xQ/Original/69_8bf2b0b1-deee-482d-b0d6-b96e482c869c.jpg)
- ANSI/IEEE. (1988). IEEE Standard on Piezoelectricity (176-1987). IEEE.
- Bansal, R. (2004). Handbook of Engineering Electromagnetics. New York: Marcel Dekker.
- Beauchamp, K. (2001). History of Telegraphy (Cilt 13). London: IET.
- Board, C. E. (1971). Modern Power Station Practice (Cilt 34). Elsevier.
- Botteron, C., Briand, D., Mishra, B., Tasselli, G., Janphuang, P., Haug, F.J., . . . Farine, P.A. (2016). A low-cost UWB sensor node powered by a piezoelectric harvester or solar cells. *Sensors and Actuators A: Physical*, *239*, 127–136.
- Caliò, R., Rongala, U. B., Camboni, D., Milazzo, M., Stefanini, C., de Petris, G., & Oddo, C. M. (2014). Piezoelectric energy harvesting solutions. *Sensors*, *14*(3), 4755-4790.
- Chen, Z., Law, M. K., Mak, P. I., Ki, W. H., & Martins, R. P. (2017). Fully integrated inductor-less flipping-capacitor rectifier for piezoelectric energy harvesting. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, *52*(12), 3168-3180.
- Cho , J. Y., Choi, J. Y., Jeong, S. W., Ahn, J. H., Hwang, W. S., Yoo, H. H., & Sung, T. H. (2017). Design of hydro electromagnetic and piezoelectric energy harvesters for a smart water meter system. *Sensors and Actuators A: Physical*, *261*, 261–267.
- Company, B. (2019). BP Statistical Review of World Energy. London: BP Company.
- Dineva, P., Gross, D., Müller, R., & Rangelov, T. (2014). Dynamic Fracture of Piezoelectric Materials, Solid Mechanics and Its Applications. Switzerland: Springer International Publishing.

- Do, X., Nguyen, H., Han, S., Ha, D., & Lee, S. (2015). A self-powered high-efficiency rectifier with automatic resetting of transducer capacitance in piezoelectric energy harvesting systems. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23(3), 444-453.
- Fan, K., Chang, J., Chao, F., & Pedrycz, W. (2015). Design and development of a multipurpose piezoelectric energy harvester. *Energy Conversion and Management*, 96, 430-439.
- Fan, K., Liu, S., Liu, H., Zhu, Y., Wang, W., & Zhang, D. (2018). Scavenging energy from ultra-low frequency mechanical excitations through a bi-directional hybrid energy harvester. *Applied Energy*, 216, 8-20.
- Dell'Anna, F., Dong, T., Li, P., Wen, Y., Yang, Z., Casu, M. R., ... & Berg, Y. (2018). State-of-the-art power management circuits for piezoelectric energy harvesters. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 18(3), 27-48.
- Gautschi, G. (2013). Piezoelectric Sensorics: Force Strain Pressure Acceleration and Acoustic Emission Sensors Materials and Amplifiers. New York: Springer Science & Business Media.
- Guyomar, D., Badel, A., Lefeuvre, E., & Richard, C. (2005). Toward energy harvesting using active materials and conversion improvement by nonlinear processing. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 52(4), 584-595.
- Hassan, H. F., Hassan, S. I., & Rahim, A. R. (2014). Acoustic energy harvesting using piezoelectric generator for low frequency sound waves energy conversion. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5(6), 4702-4707.
- IALA. (1982). Uluslararası Fener Otoriteleri Birliği. IMO Sembol.
- Jella, V., Ippili, S., Eom, J.H., Kim, Y.J., Kim, H.J., & Yoon, S.G. (2018). A novel approach to ambient energy (thermoelectric, piezoelectric and solar-TPS) harvesting: Realization of a single structured TPS-fusion energy device using MAPbI<sub>3</sub>. *Nano Energy*, 52, 11-21.
- Jung, I., Shin, Y.-H., Kim, S., Choi, J.-y., & Kang, C.-Y. (2017). Flexible piezoelectric polymer-based energy harvesting system for roadway applications. *Applied Energy*, 197, 222-229.
- Jung, W. S., Lee, M. J., Kang, M. G., Moon, H. G., Yoon, S. J., Baek, S. H., & Kang, C. Y. (2015). Powerful curved piezoelectric generator for wearable applications. *Nano Energy*, 13, 174-181.
- Kalantarian, H., & Sarrafzadeh, M. (2016). Pedometers without batteries: An energy harvesting shoe. *IEEE Sensors Journal*, 16(23), 8314-8321.
- Karimi, M., Karimi, A., Tikani, R., & Ziaei-Rad, S. (2016). Experimental and theoretical investigations on piezoelectric-based energy harvesting from bridge vibrations under travelling vehicles. *International Journal of Mechanical Sciences*, 119, 1-11.
- Kim, K.-H., Cho, S.-B., Kim, H.-D., & Shim, K.-T. (2018). Wave power generation by piezoelectric sensor attached to a coastal structure. *Journal of Sensors*, 1-7.

- Krauter, S. C. (2006). *Solar Electric Power Generation - Photovoltaic Energy Systems*. New York: Springer.
- Kuang, Y., Ruan, T., Chew, Z. J., & Zhu, M. (2017). Energy harvesting during human walking to power a wireless sensor node. *Sensors and Actuators A: Physical*, 254, 69–77.
- Lafarge, B., Grondel, S., Delebarre, C., & Cattan, E. (2018). A validated simulation of energy harvesting with piezoelectric cantilever beams on a vehicle suspension using Bond Graph approach. *Mechatronics*, 53, 202–214.
- Lesieutre, G., Ottman, G., & Hofmann, H. (2004). Damping as a result of piezoelectric energy harvesting. *Journal of Sound and Vibration*, 269(3-5), 991-1001.
- Li, X., & Strezov, V. (2014). Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational buildings. *Energy Conversion and Management*, 85, 435–442.
- Li, Y. (2014). Simple techniques for piezoelectric energy harvesting optimization. Lyon: INSA de Lyon.
- Li, Z., Saadatnia, Z., Yang, Z., & Naguib, H. (2018). A hybrid piezoelectric-triboelectric generator for low-frequency and broad-bandwidth energy harvesting. *Energy Conversion and Management*, 174, 188-197.
- Nia, M. H., Nejad, A. A., Goudarzi, A. M., Valizadeh, M., & Samadian, P. (2014). Cogeneration solar system using thermoelectric module and fresnel lens. *Energy Conversion and Management*, 84, 305-310.
- Meyer, H. W. (1971). *A History of Electricity and Magnetism* (Cilt 16). Burndy Library.
- Mutsuda, H., Tanaka, Y., Patel, R., Doi, Y., & Moriyama, Y. (2017). A painting type of flexible piezoelectric device for ocean energy harvesting. *Applied Ocean Research*, 68, 182–193.
- Na, Y. M., Lee, H. S., & Park, J. K. (2018). A study on piezoelectric energy harvester using kinetic energy of ocean. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(10), 4747-4755.
- Nabavi, S. F., Farshidianfar, A., & Afsharfard, A. (2018). Novel piezoelectric-based ocean wave energy harvesting from offshore buoys. *Applied Ocean Research*, 76, 174–183.
- Neri, I., Travasso, F., Vocca, H., & Gammaitonia, L. (2011). Nonlinear noise harvesters for nanosensors. *Nano Communication Networks*, 2(4), 230–234.
- Noh, H.M. (2018). Acoustic energy harvesting using piezoelectric generator for railway environmental noise. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(7),1-9.
- Nouh, M., Aldraihem, O., & Baz, A. (2014). Theoretical modeling and experimental realization of dynamically magnified thermoacoustic-piezoelectric energy harvesters. *Journal of Sound and Vibration*, 333(14), 3138–3152.
- Orrego, S., Shoele, K., Ruas, A., Doran, K., Caggiano, B., Mittal, R., & Kang, S. H. (2017). Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag. *Applied Energy*, 194, 212–222.

- Özdemir, A. E. (2019). Circuit topology for piezoelectric transducers in a piezoelectric energy harvester. *IET Renewable Power Generation*, 2105-2110.
- Özdemir, A. E., Köysal, Y., Özbaş, E., & Atalay, T. (2015). The experimental design of solar heating thermoelectric generator with wind cooling chimney. *Energy Conversion and Management*, 127-133.
- Peters, C., Kessling, O., Henrici, F., Ortmanns, M., & Manoli, Y. (2007). CMOS integrated highly efficient full wave rectifier. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems* (s. 2415-2418). New Orleans: IEEE.
- Qian, F., Xu, T. B., & Zuo, L. (2018). Design, optimization, modeling and testing of a piezoelectric footwear energy harvester. *Energy conversion and management*, 171, 1352-1364.
- Ramadass, Y., & Chandrakasan, A. (2010). An efficient piezoelectric energy harvesting interface circuit using a bias-flip rectifier and share inductor. *IEEE Journal of Solid-State Circuit*, 45(1), 189–204.
- Rezaei-Hosseiniabadi, N., Tabesh, A., Dehghani, R., & Aghili, A. (2015). An efficient piezoelectric windmill topology for energy harvesting from low-speed air flows. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(6), 3576-3583.
- Rowe, D. M. (1995). *Handbook of Thermoelectric, Peltier Devices as Generator*. Florida: CRC Press.
- Sauer, C., Stanac´evic, M., Cauwenberghs, G., & Thakor, N. (2005). Power harvesting and telemetry in CMOS for implant devices. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 52(12), 2605-2613.
- Sherrit, S., Leary, S., Dolgin, B., & Bar-Cohen, Y. (1999). Comparison of the Mason and KLM equivalent circuits for piezoelectric resonators in the thickness mode. *IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings* (912 -926). Caesars Tahoe, NV, USA: IEEE.
- SOLAS/74. (1975). *Denizde Can Emniyeti Uluslararası Sözleşmesi*.
- Szarka, G., Stark, B., & Burrow, S. (2012). Review of Power Conditioning for Kinetic Energy Harvesting Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(2), 803-815.
- Tran, N., Ghayesh, M., & Arjomandi, M. (2018). Ambient vibration energy harvesters: A review on nonlinear techniques for performance enhancement. *International Journal of Engineering Science*, 127, 162–185.
- Verma, H. C. (2017). *Concepts of Physics Chapter 42 Photoelectric Effect and Wave Particle Duality*. Bharati Bhawan.
- Viet, N., Al-Qutayri, M., Liew, K., & Wang, Q. (2017). An octo-generator for energy harvesting based on the piezoelectric effect. *Applied Ocean Research*, 64, 128–134.
- Wang, W., He, X., Wang, X., Wang, M., & Xue, K. (2018). A bioinspired structure modification of piezoelectric wind energy harvester based on the prototype of leaf veins. *Sensors and Actuators A: Physical*, 279, 467–473.

- Wang, Y., & Inman, D. J. (2013). Experimental validation for a multifunctional wing spar with sensing, harvesting, and gust alleviation capabilities. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 18(4), 1289-1299.
- Wong, C. H., & Dahari, Z. (2017). Development of vibration-based piezoelectric raindrop energy harvesting system. *Journal of Electronic Materials*, 46(3), 1869-1882.
- Wong, V.K., Ho, J.H., & Chai, A.B. (2017). Performance of a piezoelectric energy harvester in actual rain. *Energy*, 124, 364-371.
- Xie, X., & Wang, Q. (2015). Energy harvesting from a vehicle suspension system. *Energy*, 86, 385-392.
- Xie, X., & Wang, Q. (2017). A study on a high efficient cylinder composite piezoelectric energy harvester. *Composite Structures*, 161, 237-245.
- Xie, X., Wang, Q., & Wang, S. (2015). Energy harvesting from high-rise buildings by a piezoelectric harvester device. *Energy*, 93, 1345-1352.
- Xie, X., Wang, Q., & Wu, N. (2014). Potential of a piezoelectric energy harvester from sea waves. *Journal of Sound and Vibration*, 1421-1429.
- Yang, H., Wang, L., Zhou, B., Wei, Y., & Zhao, Q. (2018). A preliminary study on the highway piezoelectric power supply system. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(2), 168-175.
- Yu, H., Zhou, J., Yi, X., Wu, H., & Wang, W. (2015). A hybrid micro vibration energy harvester with power management circuit. *Microelectronic Engineering*, 131, 36-42.
- Zeng, Z., Gai, L., Petitpas, A., Li, Y., Luo, H., Wang, D., & Zhao, X. (2017). A flexible, sandwich structure piezoelectric energy harvester using PIN-PMN-PT/epoxy 2-2 composite flake for wearable application. *Sensors and Actuators A: Physical*, 265, 62-69.
- Zhang, J., Fang, Z., Shu, C., Zhang, J., Zhang, Q., & Li, C. (2017). A rotational piezoelectric energy harvester for efficient wind energy harvesting. *Sensors and Actuators A: Physical*, 262, 123-129.

## 6. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet Letif BAYRAM
Doğum Yeri	Eleşkirt
Doğum Tarihi	01.01.1974
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05054527958
E-Posta Adresi	mlbayram@odu.edu.tr



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Fırat Üniversitesi
Fakülte	Teknik Eğitim Fakültesi
Bölümü	Makine Eğitimi
Mezuniyet Yılı	1996
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Fen Bilgisi Eğitimi Bilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.