



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PANELİ VE TERMoeLEKTRİK JENERATÖRÜN HİBRİT
ÇALIŞMASIYLA ELDE EDİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN
ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLDANE ÇAMUKA

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. İKRAM ORAK

BİNGÖL 2024

**GÜNEŞ PANELİ VE TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜN HİBRİT
ÇALIŞMASIYLA ELDE EDİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Doç. Dr. İkram ORAK danışmanlığında, Bildane ÇAMUKA tarafından hazırlanan bu çalışma 29/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Zakir ÇALDIRAN	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. İkram ORAK	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Güneş Paneli ve Termoelektrik Jeneratörün Hibrit Çalışmasıyla Elde Edilen Elektrik Enerjisinin Ölçülmesi” konusu, güneş panelinin artık ısısından ek elektrik enerjisi elde edilme konusunda yeteri kadar bilgi olmadığından bu konuda araştırma yapma ihtiyacı doğmuştur.

Çalışmanın hazırlanmasında, her süreçte emek ve yardımlarını esirgemeyen ve danışmanlığımı yapan saygıdeğer hocam Doç. Dr. İkrâm ORAK’a; eğitim ve tez izleme sürecinde bilgilerinden istifade ettiğim saygıdeğer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK ve Dr. Öğr. Üyesi Zakir ÇALDIRAN’a ve öğrenim hayatım boyunca yetişmemde katkısı olan bütün hocalarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yetişmemde ve buralara gelmemde en büyük emek sahibi olan saygıdeğer annem Zöhre Çamuka’ya ve babam Burhanettin Çamuka’ya, tez çalışmam süresince moral, huzur, sağlık ve motivasyonumu en üst düzeyde tutmama yardımcı olan, her süreçte sabır ve metanet gösteren birlikte büyüdüğüm ablam Öğr. Gör. Semra ÇAMUKA ve kardeşlerime, yüksek lisans öğrenimim sürecinde özel desteğinden dolayı Dr. Sadık Varolgüneş’e şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmamda katkı sağlayan Arş. Gör. Rukiye AKINCI’ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Bildane ÇAMUKA
Bingöl 2024

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi.....	6
2.2. Yarıiletkenler.....	6
2.2.1. P-Tipi Yarıiletkenler.....	8
2.2.2. N-Tipi Yarıiletkenler.....	9
2.2.3. P-N Eklem.....	10
2.3. Güneş Enerjisi.....	11
2.3.1. Fotovoltaik Etki.....	12
2.3.2. Fotovoltaik Hücre.....	12
2.3.3. Fotovoltaik Hücresinin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	13
2.4. Termoelektrik Sistemler.....	14
2.4.1. Termoelektrik Etkiler.....	15
2.4.1.1. Seebeck Etkisi.....	15
2.4.1.2. Peltier Etkisi.....	16
2.4.1.3. Thomson Etkisi.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Silikonlu Peltier ile Silikonsuz Peltierin Ölçüm Verileri.....	26
4.2. Silikonlu Alüminyum Kaplamalı ile Silikonsuz Alüminyum Kaplamalı Peltierin Ölçüm Verileri.....	31

4.3. 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Ölçüm Verileri.....	33
4.4. 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin, Fansız Silikonlu Peltierin ve 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Ölçüm Verileri.....	35
4.5. Belirli Tarihlerde 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin ve 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Arduino ile Ölçülen Ölçüm Verileri.....	37
4.6. 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin ve Fansız Silikonlu Peltierlerin Gerilim ve Akım Değerlerinin Ölçüm Verileri ve Güç Hesabı.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	48
EKLER.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

FV	: Fotovoltaik
AM	: Hava kütlesi
TEJ	: Termoelektrik jeneratör
TEC	: Termoelektrik soğutucu
Br	: Brom
Si	: Silisyum
F	: Fosfor
GaAs	: Galyum arsenit
CdTe	: Kadmiyum tellür
CuInSe ₂	: Bakır indiyum diselenid
J	: Joule
Cm	: Santim metre
Mm	: Mili metre
DA	: Doğru akım
T	: Sıcaklık
°C	: Santigrad derece
Wp	: Maximum güç
V _{oc}	: Açık devre voltajı
I _{sc}	: Kısa devre akımı
V _{mp}	: Maximum güçteki voltaj
V	: Voltaj
I	: Akım
U	: Gerilim
P	: Güç
kWh	: Kilo watt saat
mV	: Mili volt
AG	: Alçak gerilim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	İletken, yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin yasak bant aralığı	8
Şekil 2.2.	Katkılandırılmış P- tipi yarıiletken.....	9
Şekil 2.3.	Katkılandırılmış N- tipi yarıiletken.....	9
Şekil 2.4.	P-N Eklem a) tüketim bölgesi b) şeması.....	10
Şekil 2.5.	Tüketim bölgesi.....	11
Şekil 2.6.	FV hücre.....	13
Şekil 2.7.	FV hücrenin yapısı.....	13
Şekil 2.8.	Basit bir termoelektrik devre.....	14
Şekil 2.9.	Seebeck etkisi.....	16
Şekil 2.10.	Peltier etkisi.....	17
Şekil 2.11.	Thomson etkisi.....	18
Şekil 3.1.	Peltier ve FV hücrenin hibrit çalışmasının gösterimi	19
Şekil 3.2.	Model numarası ORB-10P olan güneş paneli.....	20
Şekil 3.3.	TEC1-12706 model peltier..	21
Şekil 3.4.	TEC1-12706 model peltierin test edilmesinin gösterilmesi.....	21
Şekil 3.5.	a) Silikonlu peltier b) Silikonsuz peltier.....	23
Şekil 3.6.	a) Silikonlu ve alüminyumlu peltier b) Silikonsuz ve alüminyumlu peltier.....	23
Şekil 3.7.	Silikonlu ve 5 V değerindeki fanlı peltier.....	23
Şekil 3.8.	Üç adet peltierin gösterilmesi.....	24
Şekil 3.9.	a) Arduino Uno b) SD kart modülü.....	25
Şekil 3.10.	Arduino ile yapılan multimetre.....	25
Şekil 4.1.	Sıcaklığın 36 °C olduğu 27 Temmuz günü saat 10:58’de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	26
Şekil 4.2.	Sıcaklığın 37 °C olduğu 28 Temmuz günü saat 10:50’de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	27
Şekil 4.3.	Sıcaklığın 37 °C olduğu 29 Temmuz günü saat 11:04’te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri	27

Şekil 4.4.	Sıcaklığın 34 °C olduğu 31 Temmuz günü saat 10:46'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	28
Şekil 4.5.	Sıcaklığın 39 °C olduğu 15 Ağustos günü saat 10:42'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	28
Şekil 4.6.	Sıcaklığın 38 °C olduğu 16 Ağustos günü saat 10:54'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	29
Şekil 4.7.	Sıcaklığın 38 °C olduğu 17 Ağustos günü saat 10:51'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	29
Şekil 4.8.	Sıcaklığın 37 °C olduğu 18 Ağustos günü saat 10:49'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri	31
Şekil 4.9.	Sıcaklığın 37 °C olduğu 21 Ağustos günü saat 11:00'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	31
Şekil 4.10.	Sıcaklığın 35 °C olduğu 22 Ağustos günü saat 10:56'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	32
Şekil 4.11.	Sıcaklığın 29 °C olduğu 14 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri.....	33
Şekil 4.12.	Sıcaklığın 29 °C olduğu 15 Eylül günü saat 10:28'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri.....	33
Şekil 4.13.	Sıcaklığın 30 °C olduğu 16 Eylül günü saat 11:12'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri.....	34
Şekil 4.14.	Sıcaklığın 31 °C olduğu 17 Eylül günü saat 10:50'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri.....	34
Şekil 4.15.	Sıcaklığın 32 °C olduğu 22 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	35
Şekil 4.16.	Sıcaklığın 33 °C olduğu 23 Eylül günü saat 10:56'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	36
Şekil 4.17.	Sıcaklığın 32 °C olduğu 24 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri.....	36

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Peltier gerilim testi.....	22
Tablo 4.1.	Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	37
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	38
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	39
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	40
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	41
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	42
Tablo 4.1.	(Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi.....	43
Tablo 4.2.	Sıcaklığın 23 °C olduğu 6 Ekim günü saat 10:45'te kurulan güneş panelinin verileri	44
Tablo 4.3.	Sıcaklığın 22 °C olduğu 5 Ekim günü saat 10:45 de kurulan güneş panelinin verileri	45

GÜNEŞ PANELİ VE TERMoeLEKTRİK JENERATÖRÜN HİBRİT ÇALIŞMASIYLA ELDE EDİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada güneş panelinin arkasına termoelektrik modül yerleştirilerek hibrit bir sistem elde edildi. Bu hibrit sistemi oluşturmaktaki amaç güneş panelinin çalışmasıyla ortaya çıkan artık ısıdan termoelektrik modül yardımıyla gerilim değeri elde etmektir. Bu sayede güneş panelinin ürettiği gerilime ek olarak peltierden de bir gerilim değeri üretilmesidir. Bu hibrit sitem dört farklı aşamada kuruldu. Kurulan her bir deney düzeneğinde daha yüksek gerilime sahip sistemlerin oluşturulması hedeflenmiştir. Her bir aşamada sistemin kurulmasıyla birlikte kullanılan peltierin ortalama anlık gerilim değerleri ve her iki yüzeyin sıcaklık değeri ölçülüp anlık sıcaklık farklarının ortalama değeri bulundu. Ayrıca arduino ile yapılan multimetre ile ortalama anlık gerilim değerleri ölçüldü. Sonuç olarak artık ısı yardımıyla peltierden bir gerilim değeri elde edildi. Elde edilen gerilim değerleri birbirileri aralarında kıyaslandı.

Anahtar Kelimeler: Güneş paneli, fotovoltaik etki, termoelektrik jeneratör, termo elektrik modül, peltier.

MEASUREMENT OF ELECTRIC ENERGY OBTAINED BY HYBRID OPERATION OF SOLAR PANEL AND THERMOELECTRIC GENERATOR

ABSTRACT

In this study, a hybrid system was obtained by placing a thermoelectric module behind the solar panel. The purpose of creating this hybrid system is to obtain voltage value from the residual heat generated by the operation of the solar panel with the help of the thermoelectric module. Thus, in addition to the voltage produced by the solar panel, a voltage value is also produced from the Peltier. This hybrid system was established in four different stages. It was aimed to create systems with higher voltage in each experimental setup established. At each stage, the average instantaneous voltage values and temperature values of both surfaces of the Peltier used within the installation of the system were measured and the average value of the instantaneous temperature differences was found. Additionally, average instantaneous voltage values were measured with a multimeter made via Arduino. As a result, a voltage value was obtained from the Peltier within the help of residual heat. The obtained voltage values were compared with each other.

Keywords: Solar panel, photovoltaic effect, thermoelectric generator, thermoelectric module, peltier.

1. GİRİŞ

Türkiye’de her yıl nüfus artmaktadır ve artan bu nüfus da beraberinde enerji tüketiminin artışına neden olmaktadır. Tüketilen enerji genellikle fosil yakıtlardan elde edilmekte ancak fosil yakıtların hem tükenme ihtimali hem de çevreye zarar vermesi göz önüne alınarak daha temiz enerji elde edilmesini sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sağlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları diğer enerji kaynaklarına göre çevreye zarar vermeyen, maliyeti az olan tükenme ihtimali olmayan kaynaklardır. Rüzgâr, jeotermal, güneş vb. yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilirken güneş pilleri kullanılmaktadır. Güneş pilleri, güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren ve fotovoltaik (FV) çalışma prensibiyle çalışan malzemelerdir. Her yıl güneş pilleri ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde güneş pillerinin çeşidi artmış ve güneş pillerinin çalışmasını etkileyen birçok etki tespit edilmiş olup bu etkileri azaltmaya ve güneş pillerinin verimliliğinin artmasına yönelik bir dizi araştırmalar sürdürülmektedir. Sıcaklık, yüzey parametresi, spektral etki ve foto açısal etki güneş pillerinin çalışmasına etki eden parametrelerdir [1]. Sıcaklık FV pilleri çalışırken etkilerler ve bu yüzden FV çalışırken sıcaklık faktörü göz ardı edilmemelidir. Bir FV modül üretildikten sonra birçok teste tabi tutulur ve bu testlerden biri de sıcaklık değerinin 25°C, güneş radyasyonunun 1000 W/m² ve hava kütle kat sayısının (air mass) 1,5 air mass değerlerine sahip bir ortamda gerçekleştirilen testtir. FV modüller çalışırken bir sıcaklık meydana gelmektedir ve meydana gelen bu sıcaklık nedeniyle FV modül 100% verimle çalışmaz. Şayet elektrik enerjisine çevrilmek istenen enerjinin çevrilmeyen kısmı varsa enerjinin çevrilmeyen kısmı ısı enerjisine çevrilir. Ayrıca modüllerde artan sıcaklık nedeniyle modülün meydana getirdiği gerilim değerinde bir düşüş oluşur. Gerilim düşüşü beraberinde modül çıkış gücünde bir düşüş meydana getirir [2].

Termoelektrik ekipmanlar bulunduran devrelerden oluşan termoelektrik jeneratörler (TEJ) ısıyı elektriğe çeviren materyallerdir. P ve N yarıiletken ayaklardan, seramik plaka ve elektrotları bakırdan oluşan malzemeden meydana gelen TEJ’ler elektriksel olarak seri, ısı olarak paralel bir şekilde bağlanır. TEJ’in bir yüzü ile diğer yüzü arasında farklı sıcaklık

değeri olduğu süre zarfında DC gerilim üretilmeye devam eder. Bu farklı sıcaklık değerlerinin artması ortaya çıkan elektriksel güç değerini de artırır. Kısaca özetlemek gerekirse; termoelektrik jeneratör, sıcaklık farkını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren gürültüye veya titreşime neden olabilecek hareketli parçası olmayan ve çevreye zararsız güvenilir bir termoelektrik cihazdır [3].

Termoelektrik cihazlar hem soğutma işlemi için hem de enerji üretimi için kullanılırlar. Peltier de termoelektrik bir cihazdır. Peltier, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren termoelektrik sistem elemanıdır. P ve N tipi yarıiletkenlerden oluşan termo-element malzeme olan termoelektrik modül peltierleri de kapsamaktadır. Farklı kapasitelerde termoelektrik modül elde etmek için termo-element sistem elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanır ve bu sayede farklı amaçlar için kullanılabilir. Peltierde bulunan P ve N tipi yarıiletkenler birbirine seri olarak bağlanmıştır. İçinde P ve N tipi yarıiletkenlerin bulunduğu peltierlerin iki ucuna DC akım verildiği zaman bu P ve N tipi elemanlar elektronların iki uç arasında ilerlemesini sağlarlar. Böylece bir yüzeyde ısınma olurken diğer yüzeyde soğuma olur. Isının soğuk taraftan sıcak tarafa taşınması işlemi elektronların yardımıyla gerçekleşir. Bir yüzeyin sıcak diğer yüzeyin soğuk olması her iki yüzey arasında bir sıcaklık farkı meydana getirir. Oluşan bu sıcaklık farkı nedeniyle modül elektrik üretir. Ayrıca bir peltierde sıcak tarafın sıcaklığının artışı ne kadar fazla ise buna bağlı olarak soğuk tarafın soğukluğu da aynı değerde artmalıdır.

Güneş enerjisinin kullanıldığı bazı sistemlerin çalışması sonucunda ortaya bir ısı çıktığı ve çıkan bu ısının termoelektrik cihazlar tarafından kullanılarak enerji elde edildiği birçok araştırma neticesinde görülmektedir.

Termoelektrik malzemenin üzeri güneş ışınlarını daha fazla absorbe edebilen bir malzeme ile sarıldıktan sonra bir lens yardımıyla güneş enerjisinin termoelektrik malzemenin sıcak olan yüzeyinde daha fazla yoğunlaşması sağlanır. Bu sayede sıcak ve soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkı artırılıp daha fazla enerji elde edilmiş olunur ve bu sistem bahsi geçen araştırmalar örnek olarak verilebilir. Başka bir sistemde ise; iki kısımdan oluşan sıvı değiştirici, su tankı, ısı borulu vakumlu tüp kolektör, sıvının iletimini sağlayan DC motor ve verilerin tutulmasını sağlayan sensörlerden oluşan bir sistem de verilebilir. Bu sisteme göre kolektör tüplerdeki sıvı güneş tarafından ısıtılır ve ısınan sıvı bir tankla termo elektrik

malzemenin sıcak yüzeyinden geçirilir. Başka bir tankla da sıcaklığı daha düşük bir sıvı soğuk yüzeyden geçirilir ve böylece sıcaklık farkı oluşur. Oluşan bu sıcaklık farkının sonucunda enerji elde edilir. Bu ve benzeri sistemlere bakarak, termoelektrik malzemelerden enerji elde edilirken güneş enerjisinden de yararlanıldığını söyleyebiliriz.

Bu tez çalışmasındaki amacımız; FV hücrenin çalışması sonucu oluşan atık ısının peltier tarafından kullanılarak elektrik enerjisinin üretilmesinin sağlanmasıdır. Böylece FV hücresi ile güneş ışınlarından elde edilen elektrik enerjisine ek olarak enerji üretme imkânları araştırılmış olacaktır. Ayrıca elde edilen bu enerjinin fiyat ve maliyet analizi yapılarak amortisman süresi hesaplanacaktır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olmak üzere, ikinci bölüm kaynak özetleri, üçüncü bölüm materyal yöntem, dördüncü bölüm bulgular ve tartışma ve beşinci bölüm sonuç bölümüdür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Geçmişten günümüze birçok termoelektrik jeneratör sistemleri hem elektrik hem de elektronik devre elemanlarında kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar bu tarz jeneratörlerin farklı alanlardaki ihtiyaçlarını karşılayacak potansiyelde olduğunu göstermektedir.

Düşük sıcaklıklı bir termoelektrik jeneratör sistemi oluşturmuştur. Bu sayede atık ısının tekrar elde edilmesi için termoelektrik jeneratörün uygulama alanının tespit edilmesi istenmiştir. Bunun neticesinde elde edilen deneysel veriler ve teorik veriler karşılaştırılmıştır [4].

Fotovoltaik modülün arkasına bir dizi termoelektrik modül yerleştirilmiş ve bu termoelektrik modülün altına da soğutucunun konulmasıyla sistem kurulmuştur. Modülün arka kısmının gerektiği kadar soğutulduğu baz alınarak verimlilik artışı hesaba katılmıştır. Ayrıca termoelektrik modülün maliyetinin göz önüne alınmıştır [5].

Güneş enerjisini ısı enerjisine çevirmek için frensel lens kullanılmıştır. Bu sayede sitem için belirlenen yağ çeşidinin ısıtılması sağlanıp termoelektrik modülün bir yüzeyinin sıcak olması sağlanmış ve diğer yüzeyinin soğuması içinde soğuk su kullanılmıştır [6].

Termoelektrik malzemenin seebeck etkisinden dolayı sıcaklık farkı olacağı ve bunun sonucunda bir gerilim üreteceği görülmüştür [7].

Fotovoltaik/Termal (PV/T) soğurucu ile termoelektrik jeneratör birleştirilip hibrit yapı oluşturulup bu yapı teorik olarak incelenmiştir. Bu hibrit yapının ana elemanları güneş paneli, bu güneş panelinde oluşan fazla ısıyı absorbe eden ısı borusu ve termoelektrik jeneratördür. Ayrıca bu yapının performansını ve panelin ısı yöntemlerinin takibini yapmak için yapıdaki enerji dengesini baz alan matematiksel bir model tasarlanmıştır. Hibrit yapının performansını ve PV hücrelerinin termal yönetimiyle ilgili gelişmeleri değerlendirmek için sistem içindeki enerji dengesini temel alan bir matematiksel model geliştirilmiştir [8].

Parabolik bir oluk sistemi oluşturulup bu oluğun odak noktasında düz siyah emici plaka yerleştirilmiştir. Bu tabakaya 8 adet termoelektrik modül konmuş ve modülün sıcak yüzeyi bu tabaka ile gerçekleştirilmiştir. Modülün diğer yüzeyinde soğukluk sağlamak içinde soğutma sıvısı ile bir döngüsü oluşturulmuştur. Bu sistemden 10,4 V gerilim, 179,6 mA akım ve 1,87 W'lık bir güç elde edilmiştir [9].

Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde ısı olarak biriken enerji faz değiştiren materyal aracılığıyla çekilmiştir ve termoelektrik modülün çalışmasında kullanılmıştır [10].

Termoelektrik jeneratör üzerinde sıcaklık farkı oluşturup elektrik enerjisi elde etmek için duvarın yüzey ve kalorifer radyatörünün yüzey sıcaklıkları kullanılıp istenilen durum elde edilmiştir. Elde edilen enerjide radyatör kanallarında yer alan fanların beslenmesi için kullanılmıştır. Bu sayede fanların çalışması sağlanmış ve sıcak havanın odaya yayılması sağlanmıştır [11].

Termoelektrik jeneratör sistemden gerilim elde etmek için güneş enerjisinden yararlanılan bir sistem kurulmuştur. Güneş enerjili iki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusundan yararlanarak termoelektrik jeneratörün yüzey sıcaklığının arttırılması amaçlanmıştır. Termoelektrik jeneratörün soğuk yüzeyinin soğutulması amacıyla da pasif su soğutmalı sistemden yararlanılmıştır. Ayrıca reflektör olması durumunda verimlilikte denenmiştir. Bu çalışmada beş adet termoelektrik jeneratör kullanılmıştır. Sonuç olarak yararlanılan soğutma sistemiyle gerilim elde etmek için beş adet termoelektrik jeneratörün ihtiyaç duyulan sıcaklık farkına ulaşabileceği yapısal olarak ispatlanmıştır [12].

TEG ile birleştirilmiş bir sistemi oluşturulmasını ve tasarlanmasını yeni bir düzenleme ile aktarılmıştır. PV modülün arka kısmına bir ısı değiştirici konulmuştur. Bu sayede modülün yüzey sıcaklık azaltılmış. Ayrıca ısı eşanjörünün arka kısmına TEG modülün sıcak yüzeyi sabitlenirken bu modülün soğuk yüzeyine soğutucu sabitlenmiş. Oluşturulan bu sistemin elde edilen gerilim kapasitesi İran'ın farklı iklim şartlarının görüldüğü dört farklı şehirde gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde amaç TEG ve PV modülün termal ve elektriksel performanslarını araştırılmasına dikkat ederken PV modülün arka kısmına sabitlenen ısı eşanjörünün düzenlenmesi yapılmıştır [13].

2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi

Güneş pilleri yarıiletkenlerden üretilen malzemelerdir. Yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji üretimi rüzgâr türbinleri, jeotermal, biyogaz, barajlar ve güneş pilleri kullanılarak gerçekleştirilir. Rüzgâr türbinleri ve barajlarda elektrik enerjisi üretilirken jeneratör kullanılır ancak güneş pillerinde jeneratör kullanılmadan doğrudan elektrik enerjisi üretilir [14].

1839 yılında Alexandra Edmond Bequerel tarafından ilk kez fotovoltaiik materyal üretilmiştir [15]. İki tane aynı olmayan materyalin birbirine ilave edilmesiyle oluşan yapının üstüne güneş ışığı ya da ışıınım enerjisi farklı olan bir ışın düştüğü zaman bu oluşan yapı elektrik pili gibi davranmaktadır [16].

G.W. Adams ve R.E. Day 1876'da Bequerel'in deneyine benzer bir olayı gerçekleştirirken katı bir malzeme kullanmış olup öncelikle selenyum kristalini tercih etmişlerdir [17]. İlk kez güneş hücresi elde edilirken selen kullanılmış ve bu güneş hücresinin yapımı 1877 yılında gerçekleşmiştir. Güneş hücresinin silisyumdan yapılması 1918 yılında olup güneş hücresinin germanyumdan yapılması ise 1951 yılında gerçekleşmiştir. 1954 senesinde silikon kristalinde gerçekleştirilen fotovoltaiik çevrimden ilk kez 6% verimlilik değeri elde edilmiştir [18]. Bell Laboratuvarlarınca alınan patent silisyum güneş hücresi için alınan ilk patent olup bu olay 1954 yılında gerçekleşmiştir. 1975 yılını takip eden yıllarda silikonla yapılan güneş pillerinin üretimi uzaya dayalı uygulamalarda yıllık ortalama 100 kW dolaylarındaydı [19].

1958'te güneş hücresinin ilk kez kullanılmasının sebebi 'Vanguard 1' uydusunun elektrik enerjisini karşılamaktı. Geçmişten günümüze kadar güneş pillerinin kullanım alanlarının ve güneş pillerinin artırılmasına yönelik çalışmalar hala sürmektedir.

2.2. Yarıiletkenler

Malzemeler iletkenlikleri bakımından süperiletken, iletken, yarıiletken ve yalıtkan olmak üzere dörde ayrılır. Süperiletken malzemelerde sıcaklığın belli bir değerin altına

düşmesiyle direnç sıfıra yakın olur. Süperiletkenler iletkenlere göre daha fazla elektrik akımı taşırlar.

İletkeni ısıyı ve elektriği iletebilen malzeme olarak tanımlarken yalıtkanı ısıyı ve elektriği iletmeyen malzeme olarak tanımlarız. İletken malzemeden akımın kolay bir şekilde akmasının nedeni bu malzemenin çok sayıda elektrona sahip olmasıdır. İletken malzemenin sahip olduğu elektronların hareketi sayesinde akım iletken malzemeden akar.

Yalıtkan malzemeyi tanımlayacak olursak; serbest elektronu olmadığı için elektrik akımını taşıyamayan, elektrik iletkenliği çok az veya sıfır olup elektrik alanla kutuplaşabilen malzemedir. Yalıtkan malzemeler oldukça yüksek özdirence sahip olup zor bir şekilde elektrik akımını geçiren malzemelerdir. Elektron yakalayan yalıtkan malzemenin atomunun yakaladığı elektron atoma bağlı kalır.

Yarıiletkenler elektriği iletmeleri bakımından iletken kadar iyi yalıtkan kadar kötü değildir. Kısacası yarıiletkenleri tanımlarken iletkenin ve yalıtkanın arasında olduğunu söyleyebiliriz. Süperiletken, iletken, yarıiletken ve yalıtkan malzeme arasındaki fark elektriksel yük taşıyıcılarının hareketleridir. Atomlarda en zayıf bağa sahip olan atomdan en uzak elektrondur. En uzakta bulunan elektron ise maddenin yapısını yani iletken veya yalıtkan vb. durumları belirleyen değerlilik elektrondur. İletken malzemelerde komşu atomlar arasında serbestçe hareket edebilen elektronlar vardır. Bu elektronlar bulunduğu enerji düzeyinden daha yüksek bir enerji düzeyine yükselmeden hareket edebildiklerinden ötürü bunlara “serbest elektron” denir.

Yalıtkanlarda ve yarıiletkenlerde elektronların olmasının yasak olduğu enerji, değerlilik elektronların olabileceği bir sonraki enerji düzeyi ile değerlik elektronların olduğu enerji düzeyleri arasındaki enerji düzeyleridir. “Değerlik bandı” değerlik elektronların bulunduğu bantken “iletkenlik bandı” yasak bant aralığından sonra elektronların olabileceği enerji düzeylerinden başlayan banttır. Değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında kalan boşluğa yasak enerji aralığı denir.

İletkenlerin, yalıtkanların ve yarıiletkenlerin yasak enerji aralığı farklıdır. İletkenlerin değerlik bandı ve iletkenlik bandı birbiri üzerinde olduğundan yasak band yoktur.

Yalıtkanlarda yasak enerji aralığı fazla olduğundan değerlik bandından iletkenlik bandına elektron geçişi olmaz. Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı yalıtkanlara göre azdır. Yarıiletkenler dışarıdan uyarıldığında değerlik bandından iletkenlik bandına elektron akışı olur. Kısacası bir malzemenin yalıtkan veya yarıiletken olarak adlandırılması yasak enerji aralığının genişliği ile ilgili bir durumdur (Şekil 2.1).

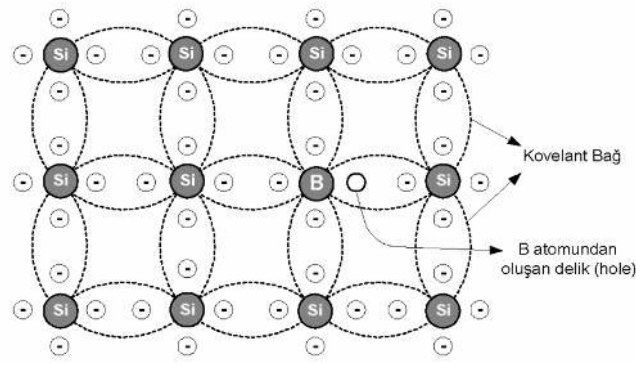


Şekil 2.1. İletken, yarıiletken ve yalıtkan malzemelerin yasak bant aralığı [20]

Elektronik elemanlarda değerlik yörüngesinde 4 tane elektrona sahip olan silisyum genellikle yarıiletken olarak kullanılır. 14 tane elektrona sahip olan silisyumun 3 tane yörüngesi olup en dış yörüngede 4 elektron vardır. Saf silisyum zayıf bir iletkenidir. Silisyuma katkılama işlemi yapılarak elektriği iletebilir hale getirilir.

2.2.1. P-Tipi Yarıiletkenler

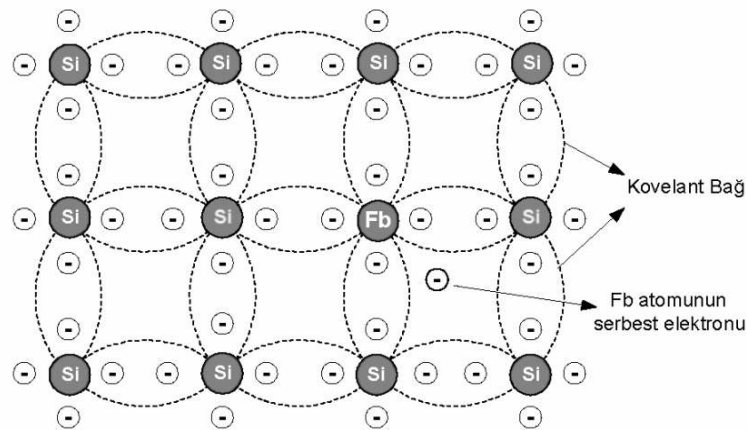
Silisyuma belirlenmiş oranda 3 değerlik elektrona sahip bor (Br) atomları veya Br gibi 3 değerlik elektrona sahip alüminyum atomu eklenir. 3 değerlik elektrona sahip Br atomunun 3 değerlik elektron ve silisyum atomunun 3 değerlik atomu kovalent bağ oluşturur. Böylece silisyumun 1 değerlik elektronu boşta kalır (Şekil 2.2). Bu duruma boşluk veya hole denir [21]. Pozitif yük gibi davranan boşlukların sayısı katkı miktarı ile ayarlanabilir. P-tipi yarıiletkenlerde serbest elektronlar az olduğundan azınlık taşıyıcıyı olup çoğunluk taşıyıcı boşluklardır.



Şekil 2.2. Katkılılandırılmış P-tipi yarıiletken [22]

2.2.2. N-Tipi Yarıiletkenler

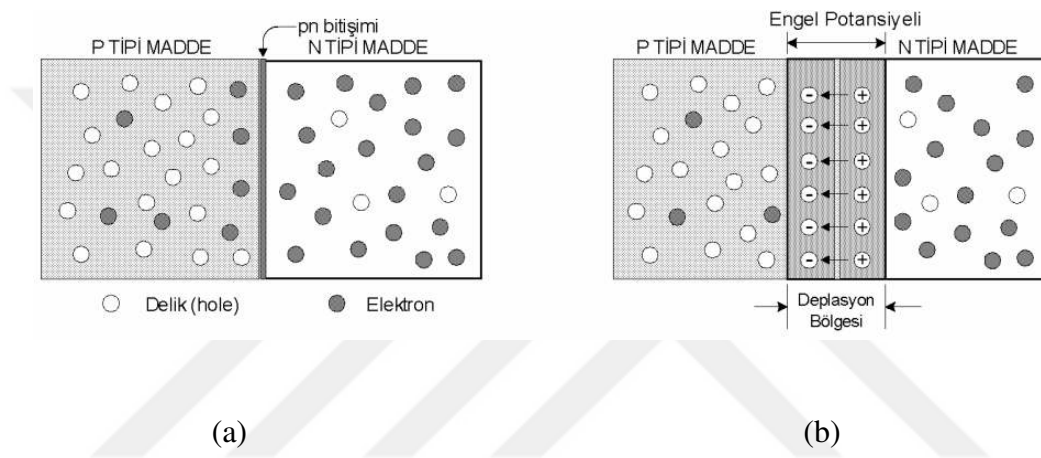
Şekil 2.3' te görüldüğü gibi silisyuma atomuna belirlenmiş oranda 5 değerlik elektrona sahip fosfor (F) atomları veya arsenik, bizmut ve antimon gibi 5 değerlik elektrona sahip atomlardan biri eklenir. 5 değerlik elektrona sahip F atomunun 5 değerlik elektron ve silisyum atomunun 4 değerlik atomu kovalent bağ oluşturur. Böylece fosforun 1 değerlik elektronu boşta kalır [23]. Bu durumda boşluk oluşmaz. Serbest elektronlar negatif yük olarak davranırlar. N-tipi yarıiletkenlerde serbest elektronlar çoğunlukta olduğundan çoğunluk taşıyıcı olup azınlık taşıyıcılar boşluklardır.



Şekil 2.3. Katkılılandırılmış N-tipi yarıiletken [22]

2.2.3. P-N Eklem

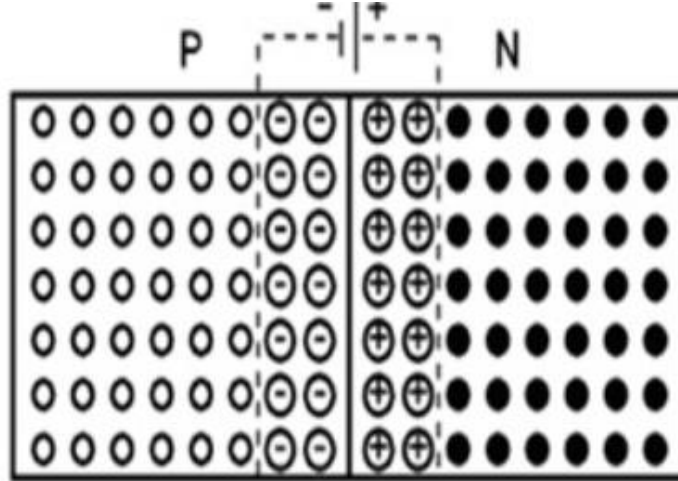
Yarıiletkenler belli oranlarda ve farklı atomlarla katkılandırılmasıyla oluşan P-tipi ve N-tipi yarıiletkenlerin temas ettirilmesiyle P-N eklem meydana getirilir [24]. Oluşturulan P-N eklemde P-tipi yarıiletkende boşluklar N-tipi yarıiletkende elektronlar çoğunlukta olduğundan farklı yük yoğunluklarına sahiptirler. Bu yarıiletkenler temas halinde olduğundan farklı yük yoğunluğu dengeli bir yük dağılımı oluşana kadar her ikisi arasında bir yük alışverişi gerçekleşir.



Şekil 2.4. P-N eklem a) tüketim bölgesi b) şeması [25]

Yük alışverişinin gerçekleşmesi için N-tipi yarıiletkende bulunan elektronların P-tipi yarıiletkende bulunan boşluklarla birleşmesi gerekmektedir. Böylece N-tipi yarıiletkendeki elektron P-tipi yarıiletkene geçer ve bu elektronların geçişiyle geride tüketim bölgesi denen hareketli yüklerden kurtulmuş hareketsiz iyonların olduğu bir bölge oluşur (Şekil 2.4).

Sonrasında bir denge durumu meydana gelir. P-tipi ve N-tipi yarıiletkenin birleştirilmesiyle oluşturulan P-N eklemine oluşturulması aynı yapının içinde gerçekleşeceğinden bu iki farklı yarıiletken arasında bir alan oluşur (Şekil 2.5). Tüketim bölgesinde meydana gelen gerilimin nedeni farklı yarıiletkenler arasında oluşan bu alanın engel olduğu fazla yüklerin eklemi geçmemesinden kaynaklanmaktadır [26].



Şekil 2.5. Tüketim bölgesi [27]

Yarıiletkenlerde iletkenlerden farklı olarak difüzyon akımı vardır. Yarıiletken içindeki bölgelerden herhangi birinin taşıyıcı yoğunluğu, dış etki sebebiyle veya taşıyıcı yoğunluklarının farklı olduğu bölgelerin birleşmesiyle artış sağlayabilir. Bu sebepten dolayı taşıyıcı yükler yoğunluk fazlalığının olduğu bölgeden yoğunluk azlığı olan bölgeye akar ve akan yükten dolayı akım oluşur. Bu akım difüzyon akımı olarak adlandırılır.

P-N eklemdeki elektronlar ve boşluklar yoğunluğun fazla olduğu bölgeden yoğunluğun az olduğu bölgeye difüzyon akışı ile hareket eder. Çoğunluk taşıyıcıların karşı tarafa geçmesi difüzyonla olurken azınlık taşıyıcılar alanın etki etmesiyle karşı tarafa geçerler. Dışardan bir uyarıyla P-N eklem uyarılmadığı sürece denge durumunda olur ve akım akışı olmaz.

2.3. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş elektrik enerjisi üretiminde önemli bir kaynaktır. Güneşte enerjisi güneşte olan reaksiyonlar sonucunda ortaya ısı ve ışık olarak çıkar. Güneşte yer alan hidrojen gazının helyuma dönüştürülmesi olayı füzyon olarak adlandırılır ve bu füzyon olayı güneşte enerji açığa çıkmasına neden olur. Işınım yeryüzüne inen kısım olup yeryüzüne inen kısmından elektrik üretimi, ısıtma gibi gereksinimlerimiz için yararlanılmaktadır. Ancak yeryüzündeki her yer eşit ışınlıma sahip değildir. Çünkü güneş ışınlarının geliş açısı, bulutluluk durumu, yeryüzü şekilleri vb. durumlar bu durumun sebebidir. Bahsi geçen durumlar göz önüne alındığında yeryüzünde her yer farklı ışınlım değerlerine sahip olur. Işınım değerlerinin farklılık arz etmesi güneş enerjisinden elektrik

enerjisi üretilirken farklı değerlerde üretilmesine neden olur. Güneş alan yerler yani ekvator yakınları ve orta kuşaktakiler güneşten daha çok yararlanma imkânına sahiptirler.

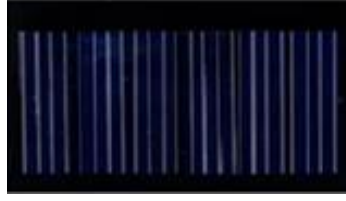
Güneş enerjisinden elektrik enerjisi iki ana grup göz önüne alınarak elde edilir. Bunlardan biri güneş enerjisinden ısı elde edildikten sonra bu ısıdan elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan ısı güneş teknolojileridir. Parabolik oluk tipi toplayıcı sistemler, parabolik çanak sistemler, merkezi alıcı sistemler, güneş bacası sistemi ısı güneş teknolojileridir. Bir diğeri ise fotovoltaik güneş teknolojileridir [28].

2.3.1. Fotovoltaik Etki

Voltaj veya elektrik alanının meydana gelmesini sağlayan bir malzemenin gerekli dalga boyunda ışınlama ile aydınlatılması, P-N eklemünde elektronun ve boşluğun yayılmasıyla voltaj üretimini sağlayan güneş ışınının absorbe edilmesi, elektrotlarda gerilimin meydana gelmesini sağlayan iki elektrotun olması ve bunlardan birine ışımanın yapılması gibi bahsettiğimiz durumlar fotovoltaik etkidir [29].

2.3.2. Fotovoltaik Hücre

Kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenit (GaAs), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum diselenid (CuInSe_2) vb. yarıiletken malzemelerin kullanılmasıyla güneşten gelen ışığı absorbe edip direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren malzemelere fotovoltaik hücre denir (Şekil 2.6). Güneş pili olarak da adlandırılan fotovoltaik hücreler dikdörtgen, kare, daire gibi birden farklı şekle sahiptir ve alan ölçüsü genellikle 100 cm^2 olarak belirtilmektedir. Kullanımı yaygın olan fotovoltaik hücrenin kalınlık ölçüsü $0.2 - 0.4 \text{ mm}$ 'dir. Tek bir fotovoltaik hücreden elde edilen elektrik enerjisi az olduğundan fotovoltaik hücreler birbirine seri veya paralel bağlanarak oluşturulan sistemle elde edilen enerji miktarında artış sağlanır ve oluşturulan bu sisteme modül denir. Modüllerinde birbirine seri veya paralel bağlanması neticesinde dizi elde edilir ve böylece modülde elde edilen enerjiden daha fazla enerji elde edilmiş olunur [30].

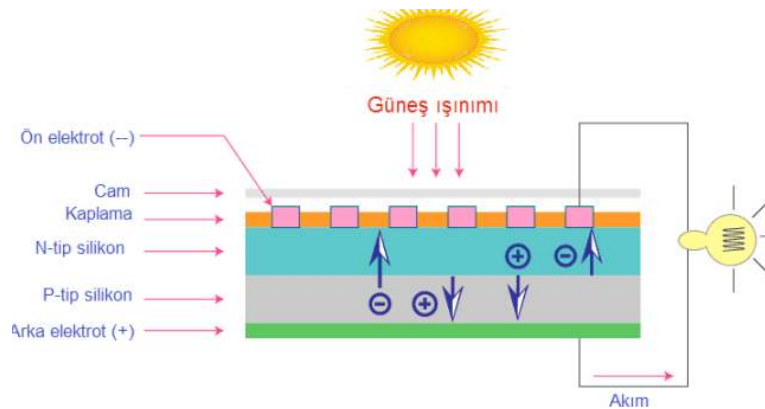


Şekil 2.6. FV hücre

2.3.3. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

“Photo” ve “voltaic” sözcüklerinin birbirine eklenmesiyle meydana getirilen fotovoltaik, güneşten gelen fotonlardan elektriksel potansiyel fark elde edilmesidir [31]. FV hücreler fotovoltaik çalışma prensibiyle çalışırlar. Einstein’a göre ışık parçacık veya tanecik yapısında hareket eder ve ışık yalnızca dalga yapısında değildir. Işıktaki bulunan ve foton olarak isimlendirilen enerjili yapı sayesinde böyle bir özelliğe sahiptir. Başka bir şekilde ifade edecek olursak elektromanyetik parçacıkların yani fotonların hareketi güneş ışınımıdır. Fotonlar aracılığıyla taşınan elektromanyetik radyasyonun enerjisi gerekli yere ulaştırılır. Yarıiletkenlerde ışığın elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan fotonların buradaki görevi elektronların iletkenliğini arttırmaktır.

Fotonların birbirinden ayrı ölçülerde enerjiye sahip olmalarının nedeni farklı dalga boylarına sahip güneş ışınım spektrumudur. FV hücreye düşen fotonun bir bölümünü hücre emer, bir bölümünü de geri gönderir.



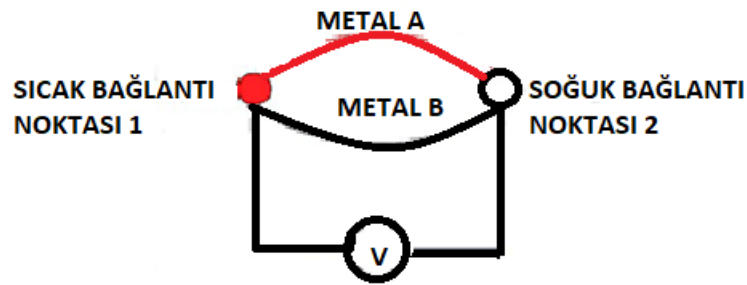
Şekil 2.7. FV hücrenin yapısı [32]

Şekil 2.7’deki gibi FV hücre tarafından elektrik enerjisi üretilmesi için FV hücre tarafından fotonun emilmesi gerekmektedir. Bir malzemenin FV çalışma prensibine göre çalışması için öncelikle ışığın emilimini sağlayan yarıiletken malzemenin P- tipi ve N-tipi yapısına sahip olması gerekmektedir. Bu P-tipi ve N-tipini bünyesinde bulunduran yarıiletkende P-N eklem bulunur. FV olayın gerçekleşmesi için öncelikle P-N ekleme fotonun gelmesi gerekir [33]. Gelen bu fotonun yasak enerji aralığından daha büyük bir enerjiye sahip olması sonucunda değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına çıkar ve böylece elektron-boşluk çiftleri meydana gelir. Sonrasında ise birbirinden kopan elektron-boşluk çiftleri dış yükte akım meydana getirir [34]. Bunun sonucu olarak yarıiletken malzeme FV hücre olarak çalışmış olur.

2.4. Termoelektrik Sistemler

Termoelektrik sistemler, ısı etkisinin ve elektrik etkisinin bir arada bulunduğu ve destek eleman olarak ısıtma ve soğutma işlemlerinin yapılmasını sağlayan elemanların bulunduğu sistemdir [35].

Birbirinin aynı olmayan iki adet yarıiletken malzemeden meydana gelen iki telden biri ısıtılıp diğeri soğutulduğunda elektrik akımı meydana gelir (Şekil 2.8). Meydana gelen elektrik akımı da DC akımdır. Bu akımın oluşmasının sebebi ise sıcaklık farkının meydana gelmesidir.



Şekil 2.8. Basit bir termoelektrik devre [36]

Termoelektrik malzemelerin çıkış noktası olarak termo kulplar kabul edilir. Termo kulplar geniş bir kullanım sahasına sahiptirler. Termoelektrik modüller 4 asıl bölümden meydana gelir. Bunlar; iki yarıiletken materyal, seramik materyal, yarıiletken materyallerin

birleşimini sağlayan birleşim çubuğu, birleşim çubuğu ile yarıiletkeninin birleşimini sağlayan lehim tabakadır [37]. Termoelektrik materyaldeki bu yarıiletkenler saf olmayıp birinde elektronun çok olacağı diğerinde boşluğun çok olacağı şekilde katkı eklenmiş halde olup seri bir şekilde irtibatlandırılmıştır. Kısaca termoelektrik materyalde P-tipi ve N-tipi yarıiletkenler bulunmakta olup hareketsiz yapıdadır. Gürültüsüz çalışması, çevreye zararı olmayan temiz bir enerji kaynağı olması, ebatlarının büyük olmaması ve de istenen ebatta üretilmesi, ortamına göre çalışma özelliğinin değişmemesi, fazla bir bakıma ihtiyaç duymaması ve enerji dönüşümünde yardımcı elemana ihtiyaç duymaması gibi avantajlı özelliklere sahiptir [38]. Ancak her malzemenin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bu malzemenin dezavantajları da verimi yüksek olan malzemenin fiyatının yüksek olmasıdır. Özet olarak bir termoelektrik modüle DC akım verilmesi durumunda sıcaklık veya soğukluk yani ısı farkı meydana gelir. Isı farkı oluşturulduğunda ise DC akım meydana gelir [39].

2.4.1. Termoelektrik Etkiler

2.4.1.1. Seebeck Etkisi

Elektriksel iletkenliğe sahip bir materyalde sıcaklık farkının olmasıyla bu materyalin iki ucunda bir elektrik enerjisinin meydana gelmesine seebeck etki denir [40]. Thomas Johann Seebeck tarafından bulunmuştur ve yapmış olduğu deneyde bir pusula ve iki farklı metalin birleşiminden oluşan bir halka kullanmıştır. Bu halkadaki farklı metallerin kesişim yerlerine farklı değerlerde sıcaklıklar vermiştir. Yapılan bu işlem sonucunda pusula iğnesinde sapma olduğu tespit edilmiştir. Sapmanın olması da kesişen yerlerde bir potansiyel farkın meydana geldiğinin ve şekil 2.9'daki gibi tellerde bir elektrik akışının olduğunun göstergesidir [41].



Şekil 2.9. Seebeck etkisi [42]

Kısacası farklı sıcaklık değerlerinden kaynaklı sıcaklık farkı meydana gelmekte ve bunun sonucunda bir potansiyel fark oluşmaktadır. Oluşan bu potansiyel fark;

$$V = \int_{t_1}^{t_2} (S_B(t) - S_B(t')) dt \quad (2.1)$$

şeklindedir. Formülde yer alan t_1 ve t_2 sıcaklığı ifade ederken S_B ve S_A ise metallerin seebeck katsayılarıdır.

Her bir materyalin seebeck katsayısı farklılık gösterir. Verilen denklemdeki seebeck katsayısı sıcaklık değerlerinde değişmediğinden başka bir denkleme elde edilir. Elde edilen bu denklemde aşağıdaki gibidir;

$$V = (S_B - S_A) \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.2)$$

Elde edilen bu denklemde potansiyel fark, seebeck katsayılarının çıkarılması ve sıcaklıkların çıkarılmasının çarpımından elde edilir.

2.4.1.2. Peltier Etkisi

Farklı olan iki yarıiletken elektrik enerjisi verildiğinde bir akım akışının sağlanması neticesinde ısının akması olayı peltier etkisi olarak tanımlanır (Şekil 2.10). Jean Charles Athanase Peltier'in bulduğu peltier etkisinin çalışma prensibi seebeck etkisi çalışma prensibinin zıttıdır [43].



Şekil 2.10. Peltier etkisi [42]

Birleştirilmiş iki telde akışı sağlanan akımın oluşturduğu ısı vardır ve buna peltier ısı denir. Birden fazla seri bağlantının bulunduğu peltier elemanlarda kesişim yerlerinin bazılarında ısı kaybı yaşanırken bazılarında ısı kazancı yaşanmasının nedeni peltier etkidir. Böyle farklı iki olayın yaşanmasının sebeplerinden biri enerjisi düşük olan elektrona sahip malzemeye akmış olan akımın, enerjisi yüksek olan elektrona sahip bir malzemeden sağlanmış olmasıdır.

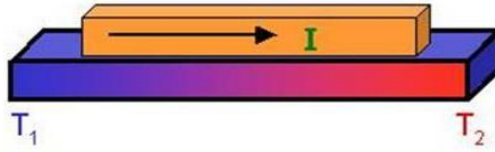
Bu akımın akışı yüksek elektronlar ve düşük elektronların etkileşimini sağlayıp sonucunda yüksekten düşüğe bir enerji aktarımını gerçekleştirir ve böylelikle enerji artışı sağlanmış olup beraberinde ısı artışı da olur. Diğer sebep ise bu farklı enerji değerliliğine sahip elektronlar arasındaki etkileşim sonucunda yüksek olanın enerji vermesinden kaynaklı bir enerji düşüşünden dolayı enerji azalışı ve bundan dolayı ısı azalışı olur [44].

Peltier etkisiyle meydana gelen ısı Joule ısısıyla aynı değildir. Akım yoğunluğunun karesiyle orantılı olan ısı Joule ısısıyken peltier etkisiyle oluşan ısı peltiere verilen elektrik enerjisi ile oluşur.

Kısacası bir cihaz peltier etkisiyle çalışıyorsa ve cihaza elektrik enerjisi verilirse, cihazın yüzeylerinden biri sıcak olurken diğeri soğuk olur. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının artışı yani iletilen ısı miktarı malzemeye verilen elektrik enerjisi ile ilişkilidir.

2.4.1.3. Thomson Etkisi

Thomson etkisi William Thomson tarafından bulunan termoelektrik bir etkidir. Thomson etkisine göre aynı değere sahip olmayan sıcaklıkların etkilediği iletkenin uçları akımın rotasına göre iletkenin üstünde enerji yığılması olduğunu ve bu yığılma sonucunda enerjinin ısı olarak açığa çıktığını ifade etmiştir. Kısacası bir telin üzerinden akımın akmasıyla telin ısınması olayı şeklindedir (Şekil 2.11). Akımın şiddeti, sıcaklık farkı ve zamanla doğru orantılı olan termoelektrik etki Thomson etkisidir [45].



Şekil 2.11. Thomson etkisi [46]

Thomson ısısı Q_T ile belirtilir ve bu ısı aşağıdaki denklemlerle bulunur:

$$Q_T = \iota \cdot \Delta T \cdot I \quad (2.3)$$

Q_T = Thomson ısısı(W)

ι = Thomson katsayısı(V/ °C)

ΔT = İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı (°C)

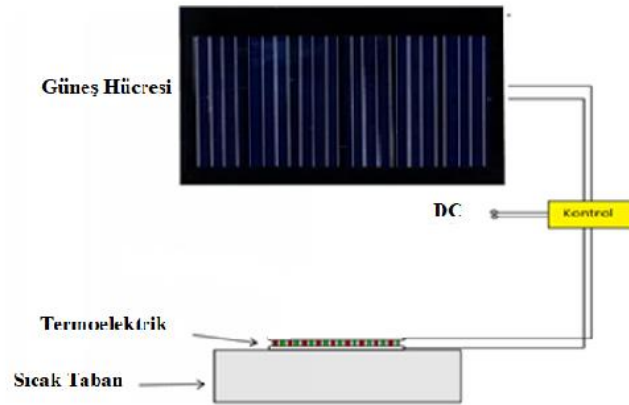
I = İletkenden geçen akım şiddeti(A)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmadaki ilk olarak peltier ve FV hücre temin edildi. Daha sonrasında peltier ve FV hücrenin çalışıp çalışmadığı veya arızalı olup olmadığı ile ilgili kontrol yapıldı. FV hücrenin üzerine ışın düşürülüp gerilim değeri ölçüldü ve sonrasında peltierin yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşturmak için bir yüzeyin ısınması sağlanırken diğer yüzeyin soğutulması sağlanıp peltierde gerilim değeri ölçüldü ve böylece kontrol işlemi yapıldı.

Test aşamasından geçen FV hücre güneş ışınlarına maruz bırakılıp gerilim değeri ölçüldü. Böylelikle farklı sıcaklık değerlerinde ne kadar gerilime sahip olduğu tespit edildi.

Test aşamasından geçen peltierin ölçümü yapıldı ve ölçüm yapılırken yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı değiştirilip farklı sıcaklık farkında peltierden ne kadar gerilim elde edildiği tespit edildi.



Şekil 3.1. Peltier ve FV hücrenin hibrit çalışmasının gösterimi

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi peltier ve FV hücreden oluşan hibrit yapı oluşturulup bu yapı güneş ışınlarına maruz bırakıldı. Sonrasında ise FV hücrenin ve peltierin gerilim değerleri ayrı ayrı ölçüldü ve ölçüm sonucundaki gerilim değerleri kaydedildi. Böylece FV hücrenin çalışması sırasında oluşan atık ısıyı kullanan peltierde bir gerilim değeri oluştuğu bulundu ve ek bir gerilim değeri elde edildi. Ayrıca hibrit yapıdaki FV hücrenin gerilim değerleri

ile hibrit yapı oluşturulmadan önceki FV hücrenin ölçülen gerilim değerleri karşılaştırıldığında eklenen peltierin FV hücrenin çalışmasını etkilemediği aksine öncesinde de bahsettiğim ek gerilim değeri sağladığı görüldü. Elde edilen bu gerilimin aynı anda fiyat performans analizi yapıldı ve sisteme faydasının ne olduğu ortaya konuldu. Böylelikle fiyat verimlilik analizine yeni bir bakış sağlandı.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen her bir işlem tek tek yapıldı. Çalışmaya öncelikle şekil 3.2’de bulunan ve maximum gücü $10 \text{ Wp} \pm 3\%$, açık devre voltajı(V_{oc}) 21.50 V, kısa devre akımı(I_{sc}) 0.64 A, maximum güçteki voltaj değeri(V_{mp}) 17 V olup model numarası ORB-10P olan güneş paneli temin edildi ve arızasız olduğu denenip test edildi.



Şekil 3.2. Model numarası ORB-10P olan güneş paneli

Güneş panelinin çalışması kontrol edildikten sonra şekil 3.3’te bulunan ve modeli TEC1-12706 olan peltier temin edildi. Bu peltierin gücü 51.4 W, gerilimi 12 V, çalışma sıcaklığı aralığı 30 – 70 °C, maximum soğutma gücü 60 W($T_h=70 \text{ °C}$) olup boyutu 40x40 mm’dir.



Şekil 3.3. TEC1-12706 model peltier

TEC1-12706 model peltier temin edildikten sonra şekil 3.4’te gösterildiği gibi laboratuvar ortamında bir tarafı buza temas ettirilirken diğer tarafına sıcak su konularak test edildi. Ayrıca buzun ve sıcak suyun içine ayrı ayrı termometreler konularak buzun ve sıcak suyun sıcaklık değeri ölçüldü. Sıcaklık değerleri belli olan buz ve sıcak su sayesinde peltier üzerinde oluşacak sıcaklık farkı bulundu ve peltierdeki gerilim değeri ölçüldü. Böylece ne kadar sıcaklık farkında ne kadar gerilim elde edildiği bulundu (Tablo 3.1).

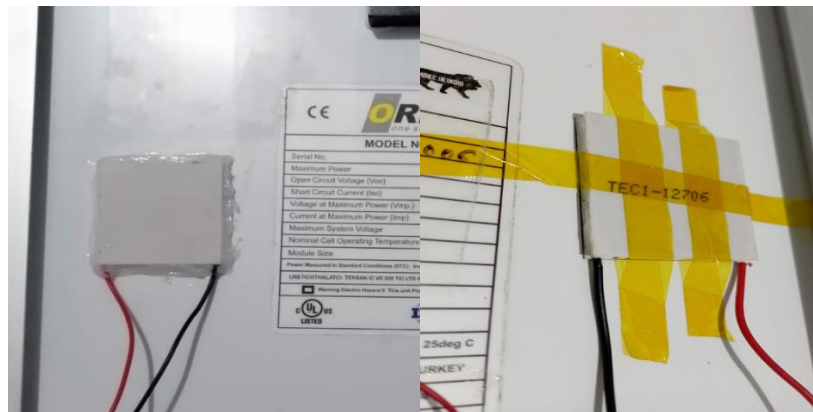


Şekil 3.4. TEC1-12706 model peltierin test edilmesinin gösterilmesi

Tablo 3.1. Peltier gerilim testi

Buzu Sıcaklık Değeri (°C)	Sıcak Suyun Sıcaklık Değeri (°C)	Peltierde Okunan Gerilim Değeri (mV)
0,2	20,2	0,240
0,2	15,2	0,175
0,2	10,2	0,140
0,2	5,2	0,074

Peltier ve güneş panelinin test aşaması bittikten sonra güneş panelinin arka yüzeyine peltier yapıştırıldı. Peltier panelin arkasına yapıştırırken dört farklı aşama gerçekleştirildi. Birinci aşamada iki adet peltier kullanıldı ve bunlardan biri panelin arkasına silikonlanırken diğeri silikonlanmadan bantla yapıştırıldı (Şekil 3.5). Peltierin güneş paneline temas eden yüzeyi ve dışarda kalan yüzeyi arasında bir sıcaklık farkı oluşturuldu ve gerilim değerleri ölçüldü. Silikonlu peltierin gerilimini ölçerken modeli PeakTech 2010DMM olan multimetre kullanırken bantlı peltierin gerilimini ölçmek için modeli UNI-T UT90A olan multimetre kullanıldı. PeakTech 2010DMM model multimetrenin teknik özellikleri şu şekildedir: DC Gerilim sınır değerleri 200 mV / 2 V / 20 V / 200 V / 1000 V ve 200 mV ile 200 V arasındaki sınır değerlerinde doğruluk değeri $\pm 0,5\%$ rdg. + 3dgt. , 1000 V daki doğruluk değeri $\pm 1,0\%$ rdg. + 5 dgt. dir. UNI-T UT90A model multimetrenin teknik özellikleri şu şekildedir: DC Gerilim sınır değerleri 200 mV / 2 V / 20 V / 200 V / 1000 V ve bu sınır değerlerinde doğruluk değeri $\pm 0,5\%$ rdg. + 2dgt. dir.

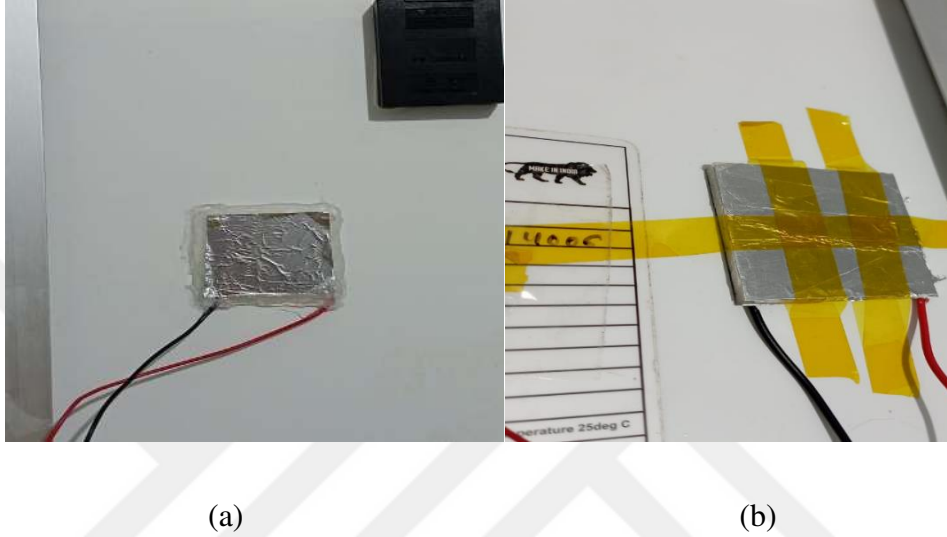


(a)

(b)

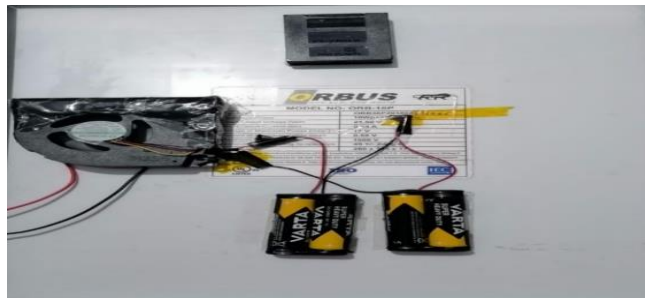
Şekil 3.5. a) Silikonlu peltier b) Silikonsuz peltier

İkinci aşamada silikonlu ve silikonsuz peltierlerin güneş paneline temas etmeyen yüzeyi alüminyum ile kaplandı ve gerilim değerleri ve her iki yüzeyin sıcaklığı ölçüldü (Şekil 3.6). Silikonlu alüminyum ile kaplanan peltierin gerilimini ölçerken modeli PeakTech 2010DMM olan multimetre kullanırken bantlı alüminyum ile kaplanan peltierin gerilimini ölçmek için modeli UNI-T UT90A olan multimetre kullanıldı.



Şekil 3.6. a) Silikonlu ve alüminyumlu peltier b) Silikonsuz ve alüminyumlu peltier

Üçüncü aşamada güneş panelinin arka yüzeyindeki silikonsuz peltier söküldü. Kalan silikonlu peltierin üzerine 5 V değerinde bir fan takıldı ve 5 V değerindeki fanın beslemesi dört adet 1.5 V değerindeki piller ile sağlandı (Şekil 3.7). Böylelikle fanın bir yüzeyi güneş paneline temas ettiği için sıcak olurken diğer yüzeyi 5 V değerindeki fan tarafından soğutularak peltier üzerinde bir sıcaklık farkı oluşturuldu ve peltierin gerilim değeri ölçüldü. Bu peltierin gerilimini ölçerken modeli PeakTech 2010DMM olan multimetre kullanıldı.



Şekil 3.7. Silikonlu ve 5 V değerindeki fanlı peltier

Dördüncü aşamada ise güneş panelinin arkasına üç tane peltier silikonlandı. Şekil 3.8’de görüldüğü üzere birinci peltierin üzerinde peltierin boyutlarında (40x40 mm) 12 V değerinde fan takıldı. 12 V’luk fanın beslemesi bir adet 9 V pil ve 2 adet 1.5 V pil ile sağlandı. İkinci peltierin üzerine fan takılmadı. Üçüncü peltierin üzerine de 5 V değerinde fan takıldı ve 5 V’luk fanın beslemesi ise dört adet 1.5 V pil ile sağlandı. Böylece üç peltierin de iki yüzeyinin sıcaklığı ölçülüp gerilim değerleri de ölçüldü. 12 V fanlı silikonlu peltierin gerilimini ölçerken modeli PeakTech 2010DMM olan multimetre kullanırken fansız silikonlu peltierin gerilimini ölçmek için modeli UNI-T UT90A olan multimetre ve 5 V fanlı silikonlu peltierin gerilimini ölçmek için de TTT-ECHNI-C VC81D modeli multimetre kullanıldı.

TTT-ECHNI-C VC81D model multimetrenin teknik özellikleri şu şekildedir: DC Gerilim sınır değerleri 400 mV / 4 V / 40 V / 400 V / 600 V ve bu sınır değerlerinde doğruluk değeri $\pm 0,5\%$ rdg. + 4dgt. dir.



Şekil 3.8. Üç adet peltierin gösterilmesi

Ayrıca ölçüm yapılırken değerlerin çok hızlı değiştiği görüldü ve daha fazla değerlin kaydedilmesi için arduino ile bir multimetre hazırlandı ve verilerin SD karta yazılması sağlandı. Arduino, SD kart, arduino SD kart modülü, arduino LCD ekran ve I²C arduino ile multimetre yapımında kullanıldı (Şekil 3.9). Yapılan bu multimetre hem üçüncü hem de dördüncü aşamada kullanıldı. Böylece kaydedilemeyen daha fazla verinin kaydedilmesi sağlandı.

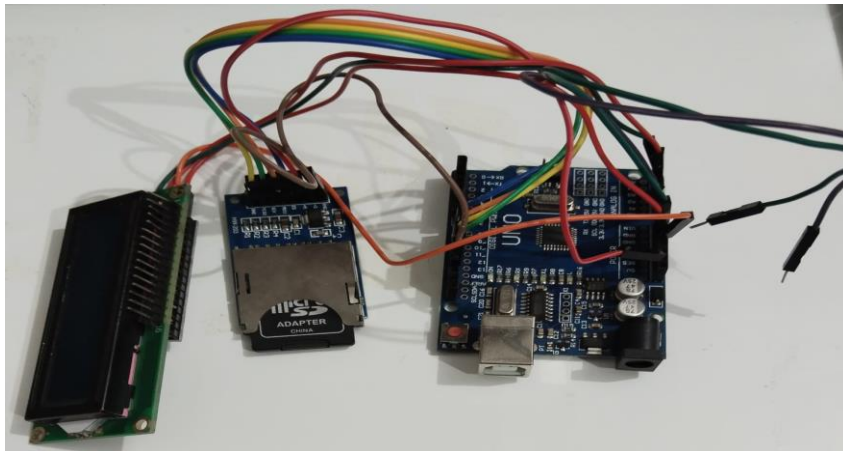


(a)

(b)

Şekil 3.9. a) Arduino Uno b) SD kart modülü

Kendine has yazılımı olan elektronik projelerde kullanılan karta arduino denir ve kullanılan arduino çeşidi arduino Uno'dur. Arduino Uno'nun mikroişlemcisi ATmega328 olup 14 tane dijital giriş/ çıkış pinine sahiptir. Bu pinlerin bazıları PWM çıkışı olarak kullanılırken bazıları da analog girişi için kullanılır. Bu arduino da seri haberleşme için RX ve TX pinleri kullanılır. Ayrıca arduino üzerinde 16 MGHZ'lik kristal osilatör, USB girişi, güç jakı ve reset düğmesi vardır. Farklı büyüklüklerdeki belgeleri, resim, video vb.ni saklamak için kullandığımız karta SD kart denir. Burada gerilim değerlerini sakladığımız elaman olarak kullanıldı. SD karta okuma ve yazma yapılmasını sağlayan arduino SD kart modülü aracılığıyla SD karta gerilim değerlerinin aktarılması ve kaydedilmesi sağlandı. Arduino LCD ekran ile peltierin gerilim değerinin ekrana yansıtılması sağlandı. Ayrıca bu LCD ekran için arayüz oluşturulması için I₂C kullanıldı ve bu sayede LCD ekrandaki 16 pin girişi kullanmak yerine I₂C sayesinde 4 pin kullanıldı (Şekil 3.10).

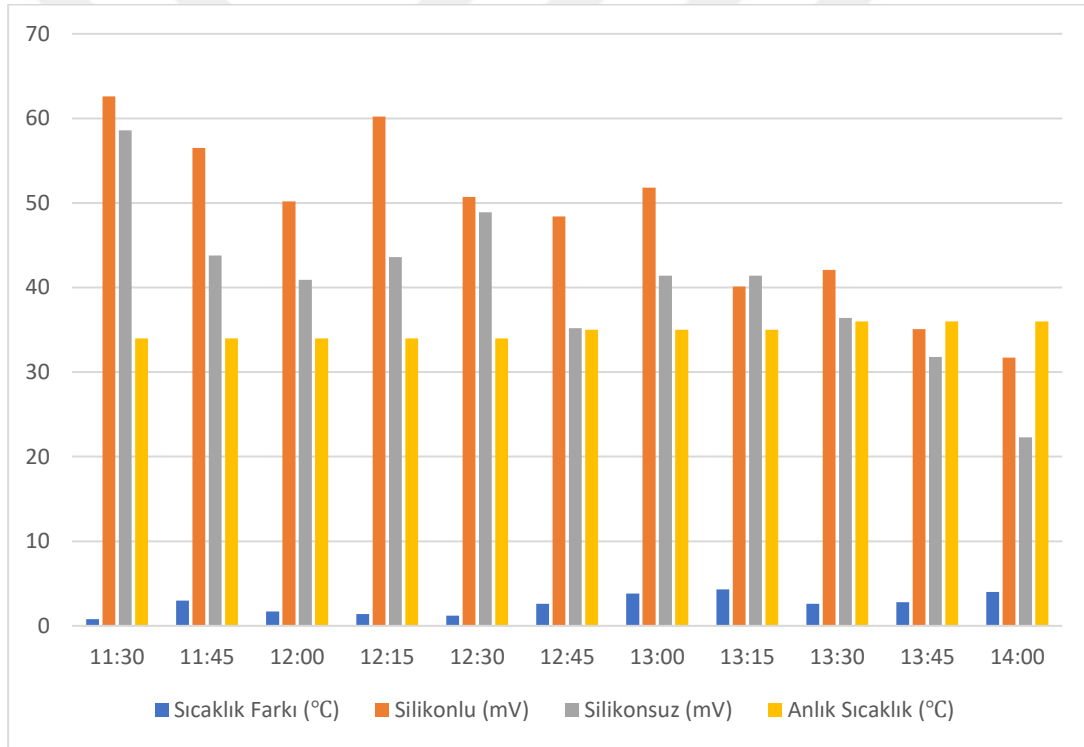


Şekil 3.10. Arduino ile yapılan multimetre

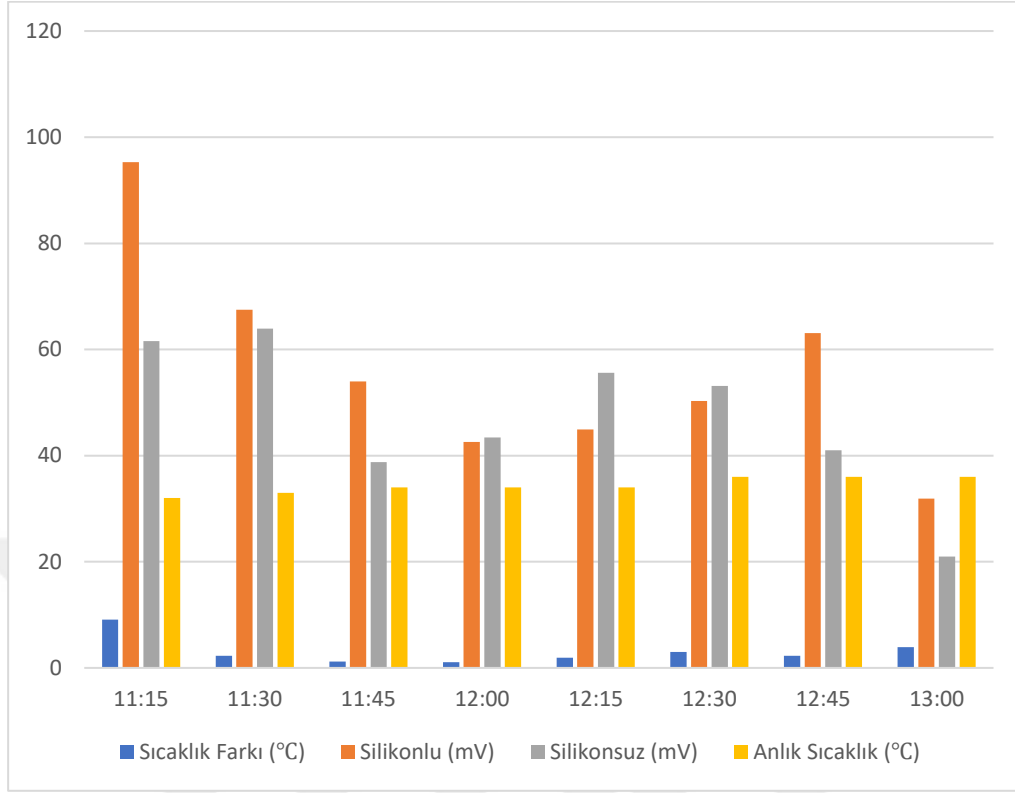
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada bahsi geçen dört aşamanın her birinde aşamalara uygun olarak sistem kuruldu ve günün belirli saatlerinde ölçümler yapıldı. Yapılan ölçümler neticesinde anlık gerilim, sıcaklık ve sıcaklık farkı gibi değerler elde edildi. Elde edilen değerler ile grafikler çizilip her biri bir alt başlık şeklinde sunuldu.

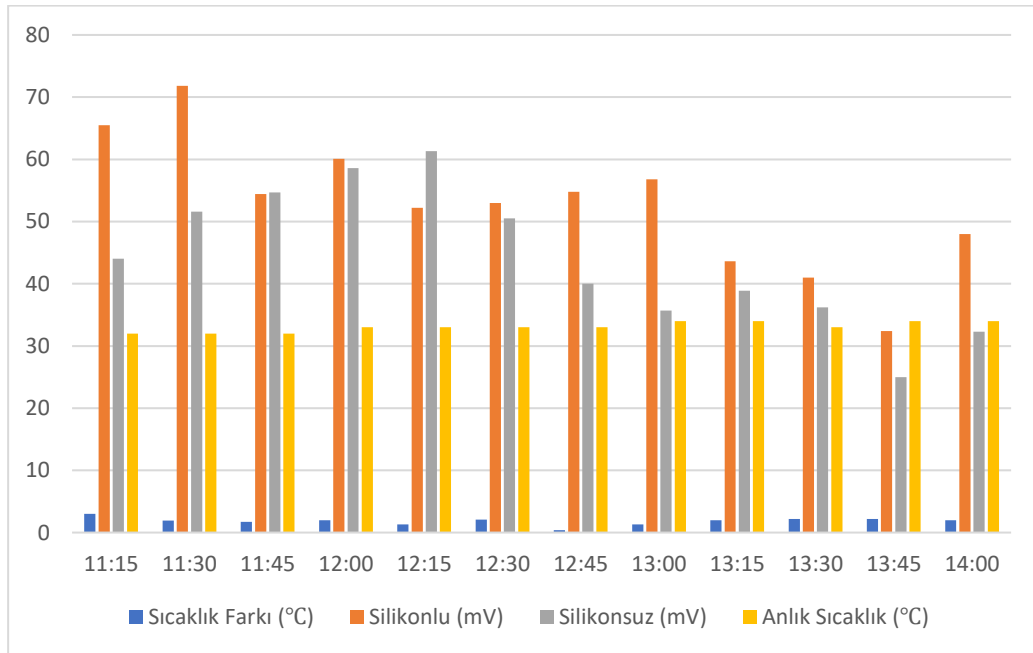
4.1. Silikonlu Peltier ile Silikonsuz Peltierin Ölçüm Verileri



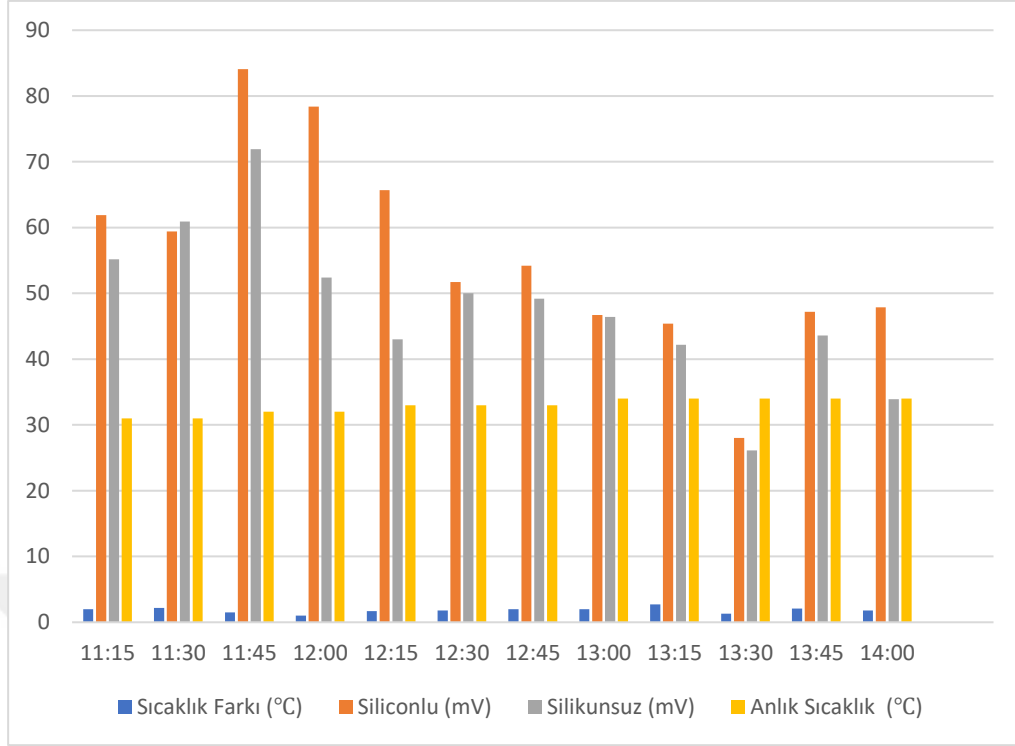
Şekil 4.1. Sıcaklığın 36 °C olduğu 27 Temmuz günü saat 10:58'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



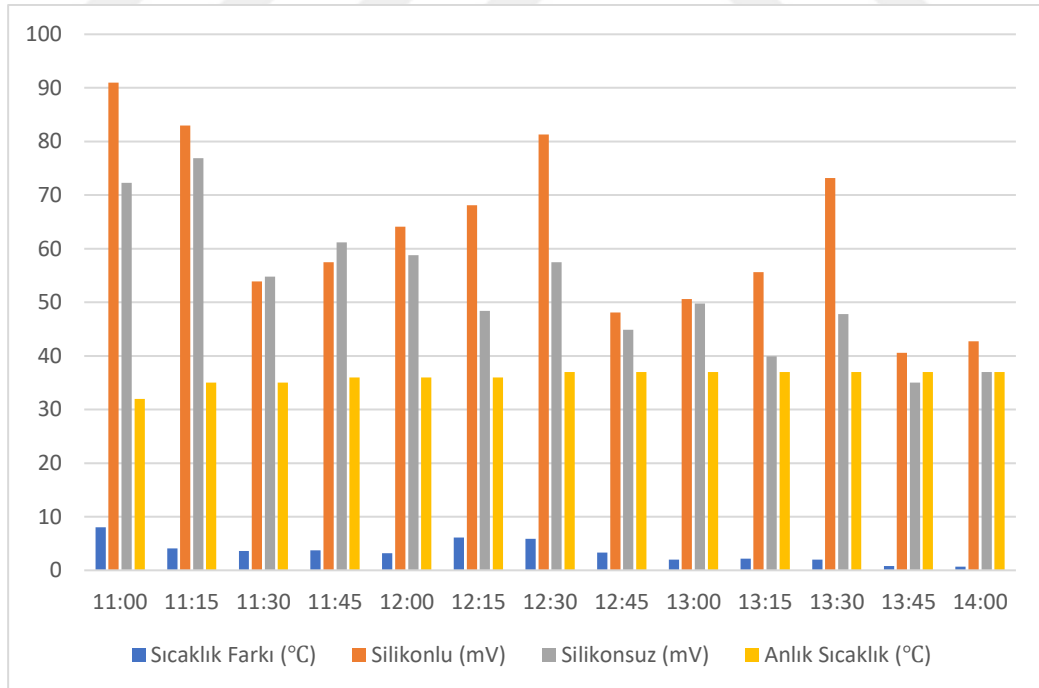
Şekil 4.2. Sıcaklığın 37 °C olduğu 28 Temmuz günü saat 10:50'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



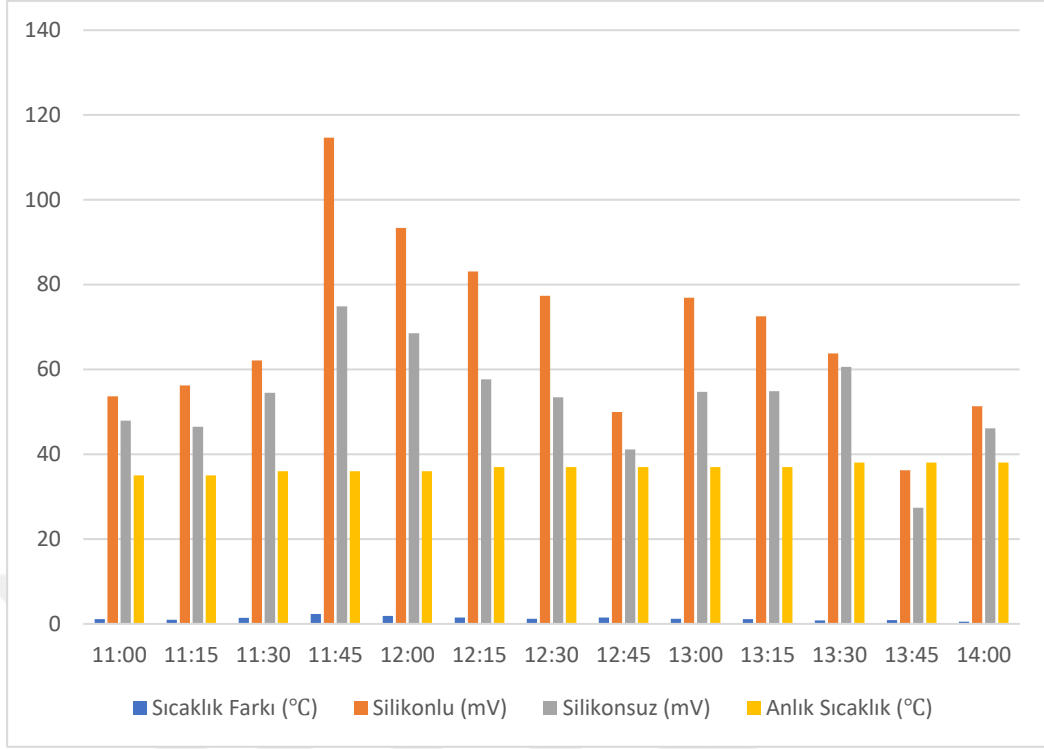
Şekil 4.3. Sıcaklığın 37 °C olduğu 29 Temmuz günü saat 11:04'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



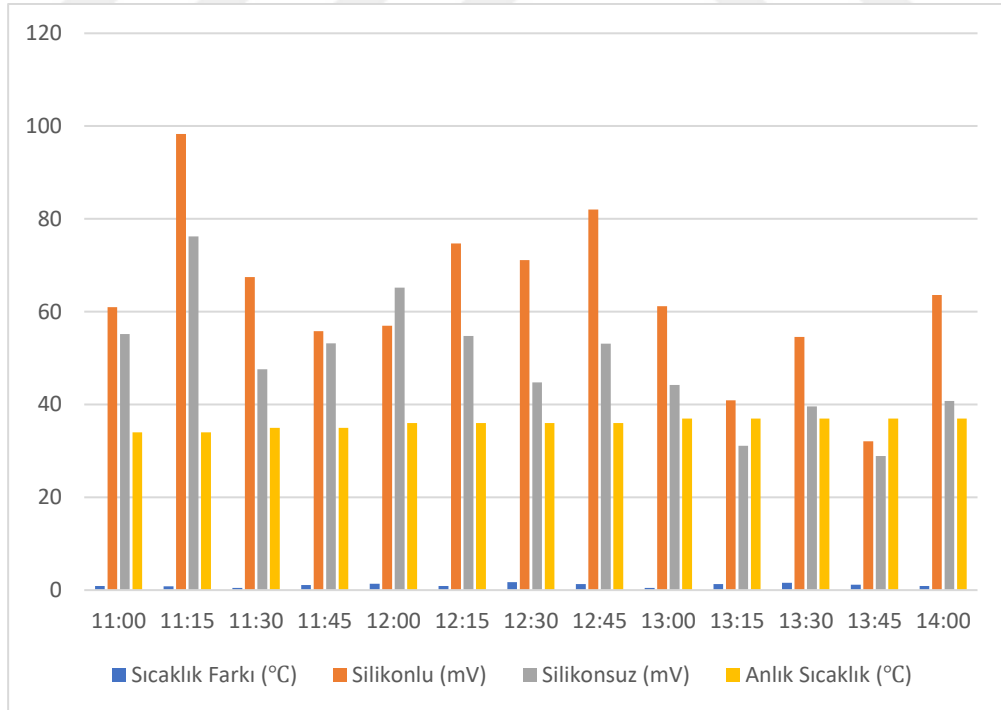
Şekil 4.4. Sıcaklığın 34 °C olduğu 31 Temmuz günü saat 10:46'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



Şekil 4.5. Sıcaklığın 39 °C olduğu 15 Ağustos günü saat 10:42'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



Şekil 4.6. Sıcaklığın 38 °C olduğu 16 Ağustos günü saat 10:54'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri

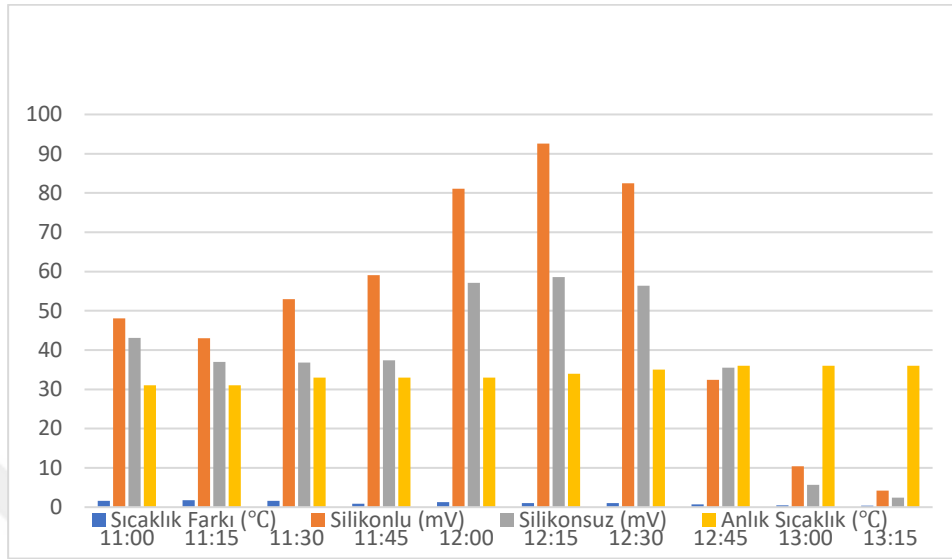


Şekil 4.7. Sıcaklığın 38 °C olduğu 17 Ağustos günü saat 10:51'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri

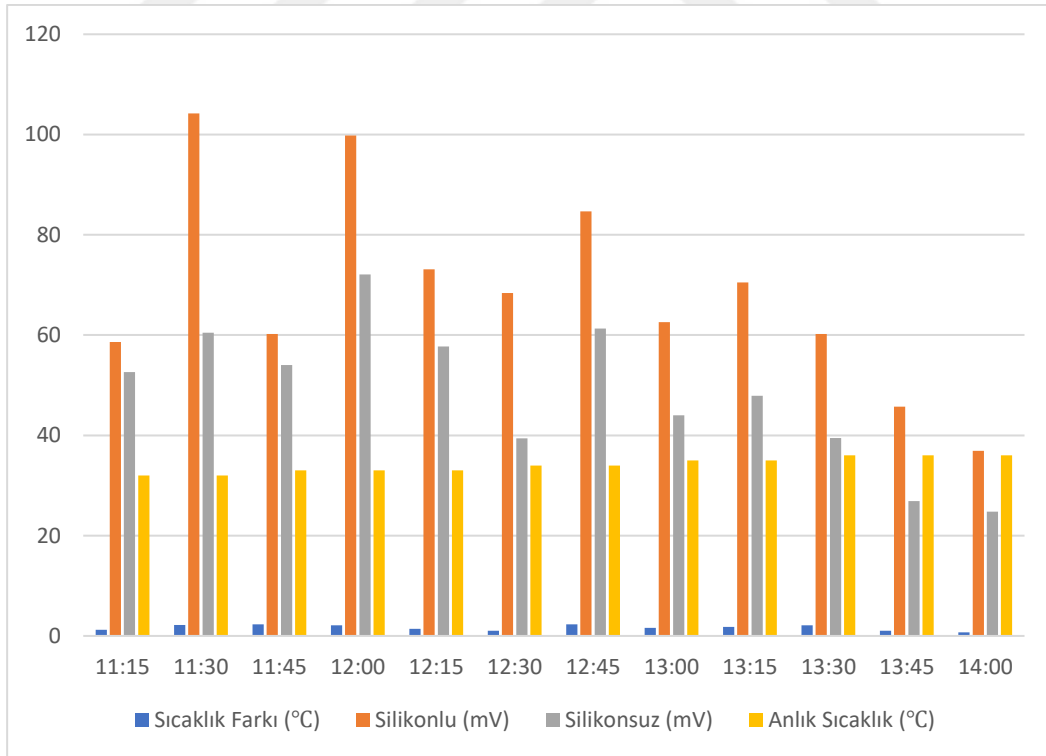
Şekil 4.1 ve 4.3 elde edilen anlık ortalama gerilim değerleri sırasıyla 48,127 mV, 52,8 mV ve silikonlu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 2,34 °C, 1,84 °C, iken silikonsuz peltierden elde ettiğimiz anlık ortalama gerilim değerleri 40,39 mV, 44,06 mV'tur. Bu elde edilen anlık ortalama gerilim değerleri göz önüne alındığında silikonlu peltierden elde edilen anlık ortalama gerilim değeri silikonsuz peltierden elde edilen anlık ortalama gerilimden daha büyük olduğu görüldü. Bu durumun sebebi silikonlu peltierin FV'ye tamamen temas ederken silikonsuz olan peltierin FV'ye tamamen temas etmemesidir.

Şekil 4.2, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de elde edilen silikonlu peltierin anlık ortalama gerilim değerleri sırasıyla 56,2 mV, 55,8 mV, 62,28 mV, 68,56 mV, 63,061 mV ve silikonlu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 3,1 °C, 1,84 °C, 3,507 °C, 1,26 °C, 1,084 °C iken silikonsuz peltierin anlık ortalama gerilim değerleri ise 47,3 mV, 47,9 mV, 52,638 mV, 52,938 mV, 48,82 mV'tur. Elde edilen bu veriler ışığında birinci ve üçüncü şekilde olduğu gibi silikonlu peltierden elde edilen ortalama anlık gerilimin silikonsuz peltierden elde edilen anlık ortalama gerilimden daha büyük olduğunu görüldü ve sebep şekil 4.1 ve 4.3'tekilerle aynıdır. Bahsi geçen şekillerde dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta şekillerde görüldüğü üzere anlık ortalama gerilim değerinin arttığıdır ve bu artışı sağlayan unsur da rüzgârın esmesidir. Rüzgârın esmesi peltierdeki sıcaklık farkını arttırdığından gerilim değeri artar. Bu sayede rüzgârın esmesi ve rüzgârın esiş hızı göz önüne alınması gereken önemli bir etmendir. Rüzgârın yanı sıra şekil 4.2 ve 4.4'ün ölçümlerini yaptığımız günde güneşin bulutun arkasında olduğu zamanda yani FV'nin üzerine düşen güneş ışınlarının parlaklığının azaldığı durumda da anlık ortalama gerilim değeri ölçüldüğü ancak normal duruma göre bu gerilim değerinin düştüğü görüldü.

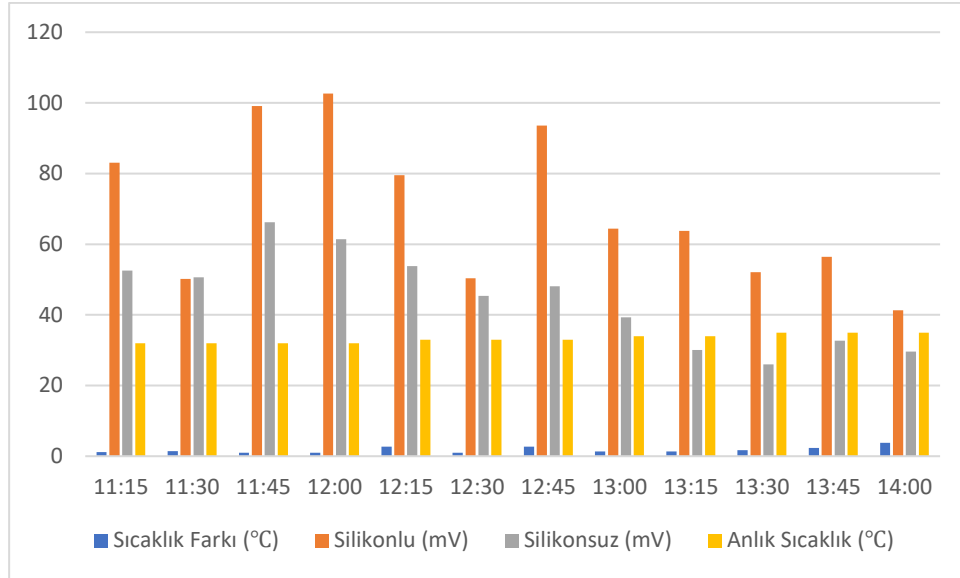
4.2. Silikonlu Alüminyum Kaplamalı Peltier ile Silikonsuz Alüminyum Kaplamalı Peltierin Ölçüm Verileri



Şekil 4.8. Sıcaklığın 37 °C olduğu 18 Ağustos günü saat 10:49'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



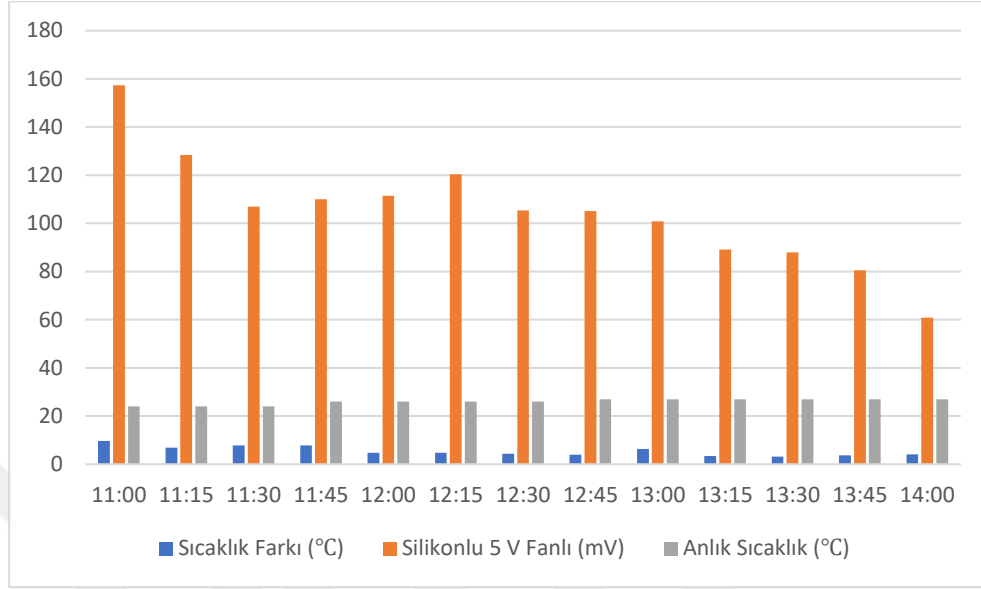
Şekil 4.9. Sıcaklığın 37 °C olduğu 21 Ağustos günü saat 11:00'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



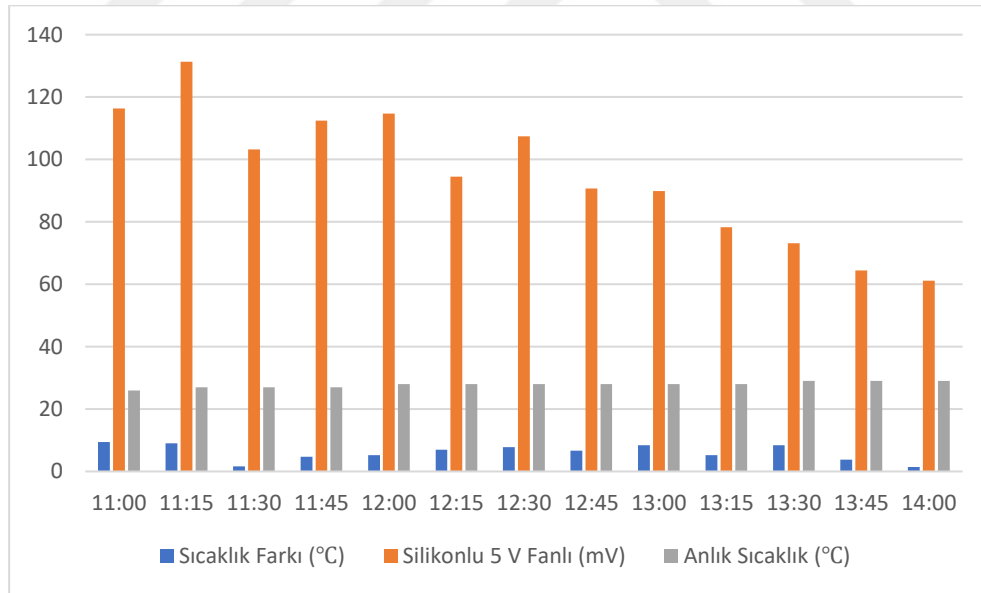
Şekil 4.10. Sıcaklığın 35 °C olduğu 22 Ağustos günü saat 10:56'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri

Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da silikonlu alüminyum kaplamalı peltierin ölçülen anlık ortalama gerilim değerleri 50,64 mV, 68,74 mV, 69,70 mV ve silikonlu alüminyum kaplamalı peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 1,08 °C, 1,64 °C, 1,78 °C iken silikonsuz alüminyum kaplamalı peltierden ölçülen anlık ortalama gerilim değerleri 37,00 mV, 48,39 mV, 44,64 mV'tur. Bu veriler ışığında bir önceki şekillerin hepsinde olduğu gibi silikonlu alüminyum kaplamalı peltierin ölçülen anlık ortalama gerilim değeri silikonsuz alüminyum kaplamalı olan peltierin anlık ortalama gerilim değerinden daha yüksek olup yüksek olmasının sebepleri diğerleri ile aynıdır. Ayrıca bu şekillerde de rüzgârın estiği zaman anlık ortalama gerilim değerinin arttığı ve özellikle şekil 4.8'de güneşin bulutun arkasında olduğu yani FV'nin üzerine düşen güneş ışınlarının parlaklığının azaldığı durumda da şekil 4.2 ve 4.4'te olduğu gibi anlık ortalama gerilim değeri ölçüldüğü ancak normal duruma göre bu gerilim değerinin düştüğü görüldü. Hatta şekil 4.8'de havanın tamamen kapandığı durumda bile gerilim değeri ölçüldüğü görüldü. Bu durumun sebebi ise havanın tamamen kapalı olmasına veya güneşin bulutun arkasında olmasına rağmen peltierin FV'ye temas eden yüzeyindeki sıcaklığın azalmasına rağmen hala sıcak olması ve peltier üzerinde bir sıcaklık farkı olmasıdır.

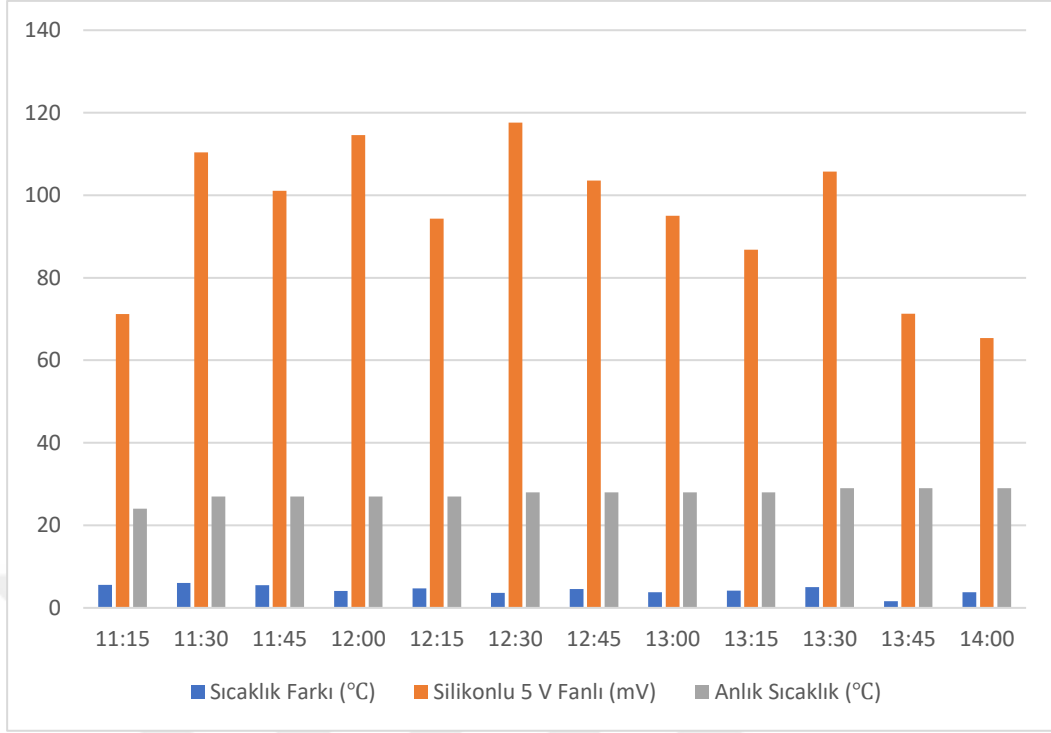
4.3. 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Ölçüm Verileri



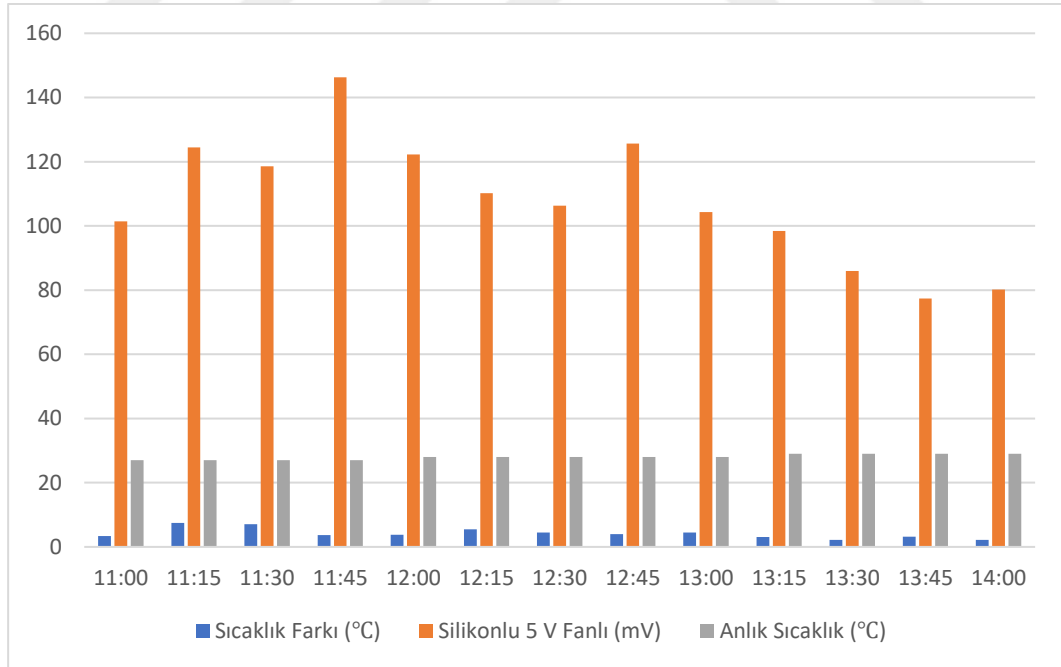
Şekil 4.11. Sıcaklığın 29 °C olduğu 14 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri



Şekil 4.12. Sıcaklığın 29 °C olduğu 15 Eylül günü saat 10:28'de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri



Şekil 4.13. Sıcaklığın 30 °C olduğu 16 Eylül günü saat 11:12’de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri

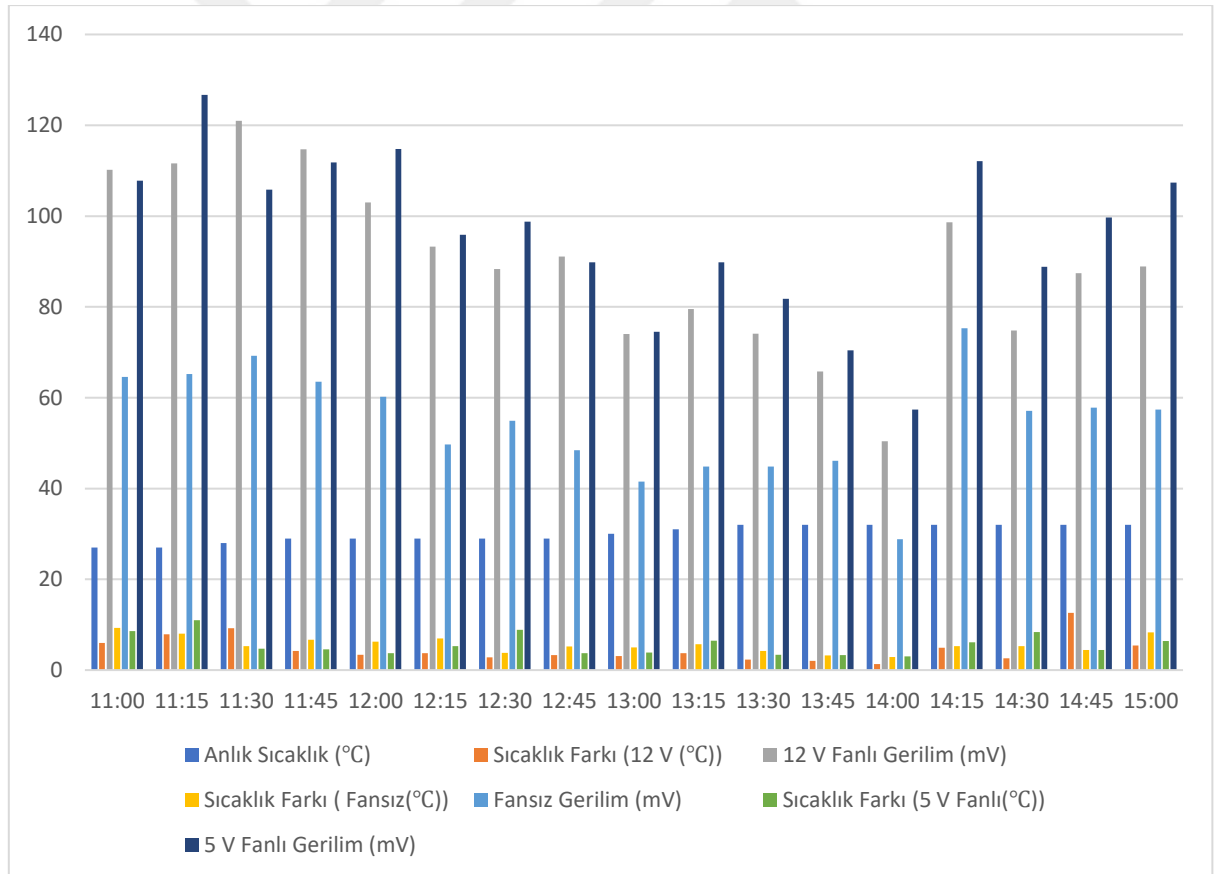


Şekil 4.14. Sıcaklığın 31 °C olduğu 17 Eylül günü saat 10:50’de kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierin verileri

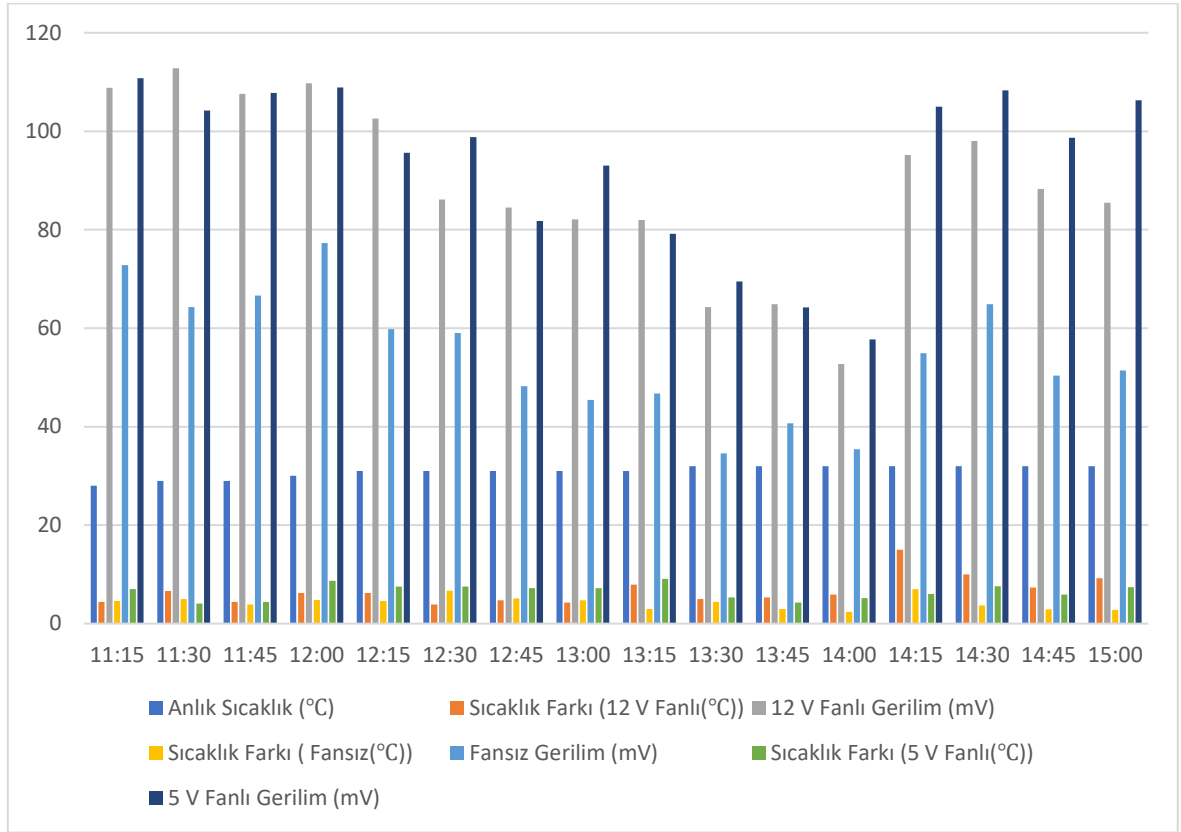
Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 göz önüne alındığında bu sistemden elde edilen anlık ortalama gerilim değerleri 104,938 mV, 95,19 mV, 94,75 mV, 107,807 mV ve bu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 5,42 °C, 6,046 °C, 4,375 °C, 4,207 °C'dir.

Elde edilen bu anlık ortalama gerilim değerleri ile şekil on bire kadar olan diğer şekillerdeki anlık ortalama gerilim değerleri karşılaştırıldığında diğerlerine göre daha büyük değerlere sahip olduğu görüldü. Bunun sebebi ise peltierin silikonlu olup bu peltierin arka yüzeyine 5 V'luk fanın takılmasıyla sıcaklık farkının artırılmasıdır. Artan sıcaklık değeri beraberinde anlık gerilim değerinin artmasını sağladı.

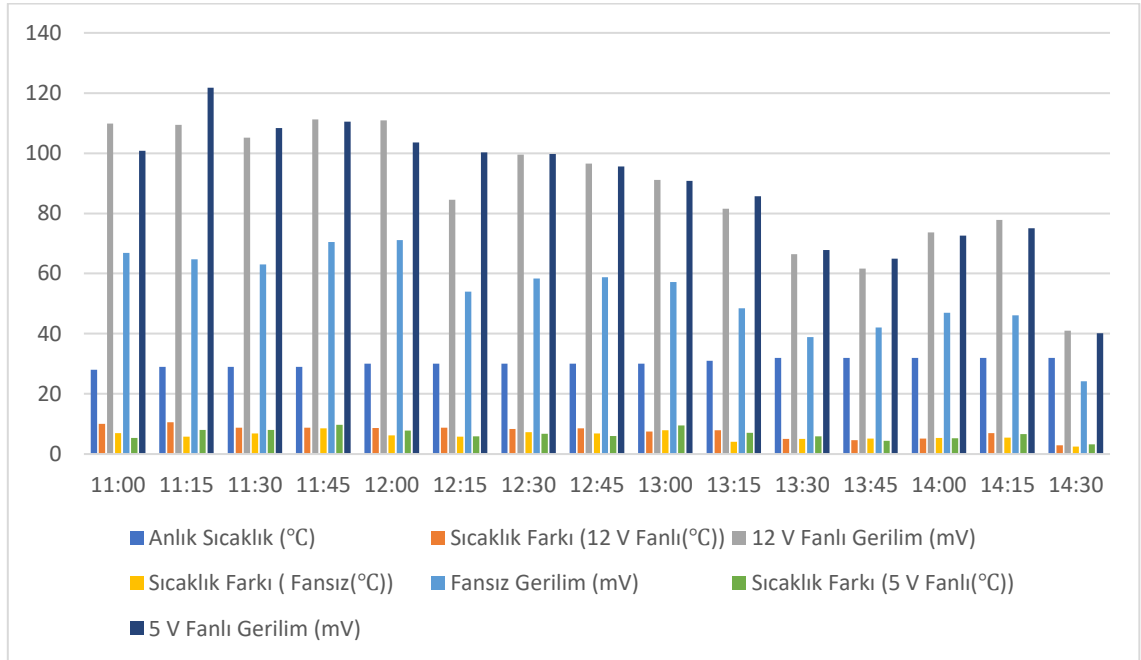
4.4. 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin, Fansız Silikonlu Peltierin ve 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Ölçüm Verileri



Şekil 4.15. Sıcaklığın 32 °C olduğu 22 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



Şekil 4.16, Sıcaklığın 33 °C olduğu 23 Eylül günü saat 10:56'da kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri



Şekil 4.17, Sıcaklığın 32 °C olduğu 24 Eylül günü saat 10:44'te kurulan güneş panelinin arkasındaki peltierlerin verileri

Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17’de kurulan sistemde 12 V’luk fanlı silikonlu peltierden ölçülen anlık ortalama gerilim değerleri 89,805 mV, 89,068 mV, 88,013 mV ve bu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 4,611 °C, 6,6443 °C, 7,506 °C iken 5 V’luk silikonlu peltierin anlık ortalama gerilim değerleri 96,07 mV, 93,1125 mV, 89,18 mV ve bu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 5,64 °C, 6,525 °C, 6,626 °C ve son olarak fansız silikonlu peltierin anlık ortalama gerilim değerleri ise 54,66 mV, 54,525 mV, 54,086 mV ve bu peltierin sıcaklık ölçümünden elde ettiğimiz sıcaklık farkının ortalamaları sırasıyla 5,6411 °C, 4,2875 °C, 5,98 °C’dir. Elde edilen veriler ışığında silikonlu fanlı olan peltierlerin ortalama anlık gerilim değerleri fansız peltierin ortalama anlık gerilim değerinden daha büyüktür ve diğer şekillerde belirtildiği gibi fansız silikonlu peltierin ortalama anlık gerilim değeri fanlı olandan düşüktür ve sebepler yukarıdaki şekillerde belirtildiği gibidir. Ayrıca şekil 15,16,17’de güneşin panelinin yönü değiştirildi ve bunun sonucu olarak da ortalama anlık gerilim değerinin her üç peltierde de arttığı gözlemlendi.

Şekil 15,16,17’de ölçüm saatini saat üçe kadar sürdürmemizin nedeni saat birden sonra düşen gerilim değerinin güneşin geliş açısıyla alakalı olup olmadığını anlamaktı. Bu yüzden saat 2’den sonra güneş panelinin yönünü değiştirip güneşin geldiği açıya doğru çevirip gerilim değeri ölçülmeye devam edildi ve bunun sonucunda azalan gerilim değerinin arttığı gözlemlendi.

4.5. Belirli Tarihlerde 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin ve 5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Arduino ile Ölçülen Ölçüm Verileri

Tablo 4.1. Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

12 V Fanlı Silikonlu Peltierin Gerilim (mV)			5 V Fanlı Silikonlu Peltierin Gerilim (mV)		
22 Eylül	23 Eylül	24 Eylül	15 Eylül	16 Eylül	17 Eylül
110,2	108,80	109,90	119,86	110,40	101,4
90,44	71,92	118,77	124,22	107,88	87,17

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

96,98	94,80	98,07	119,86	120,37	78,46
115,5	99,16	93,71	119,86	114,41	103,52
102,43	95,89	105,70	124,22	123,13	105,70
83,90	112,23	104,61	135,12	112,23	105,70
107,88	107,88	124,22	123,13	119,86	112,23
110,06	103,52	119,86	114,41	115,50	116,59
115,50	112,23	105,70	125,31	114,41	110,06
99,16	103,52	99,16	112,23	111,14	114,41
105,70	106,79	104,61	110,06	108,97	131,85
102,43	123,13	129,67	111,14	107,88	119,86
112,23	98,07	106,79	115,50	114,41	158,00
112,23	99,16	120,95	116,59	105,70	120,95
92,62	108,97	116,59	117,68	107,88	127,49
83,90	111,14	103,52	119,86	102,43	125,31
106,79	120,95	106,79	116,59	106,79	126,40
102,43	112,23	98,07	112,23	118,77	126,40
113,32	117,68	113,32	120,95	125,31	123,13
108,97	132,94	134,03	116,59	125,31	132,94
114,41	129,67	117,68	118,77	120,95	123,13
112,23	111,14	116,59	111,14	120,95	129,67
112,23	107,88	104,61	110,06	120,95	117,68
124,22	116,59	96,98	105,70	126,40	120,95
142,74	106,79	110,06	107,88	118,77	129,67
103,52	110,06	101,34	105,70	102,43	147,10
107,88	108,97	106,79	106,79	118,77	153,64
107,88	110,06	103,52	104,61	114,60	147,10
104,61	101,34	103,52	103,52	95,89	130,76
99,16	103,52	96,98	100,25	87,17	147,10

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

112,23	99,16	103,52	105,70	118,77	135,12
83,90	106,79	108,97	98,07	117,68	125,31
105,70	99,16	103,52	101,34	119,86	124,22
107,88	112,23	101,34	100,25	119,86	125,31
111,14	95,89	103,52	101,34	118,77	117,68
99,16	103,52	103,52	110,06	115,50	128,58
141,66	104,61	99,16	108,97	125,31	111,14
135,12	94,80	110,06	103,52	112,23	118,77
139,48	107,88	131,85	103,52	107,88	127,49
136,21	92,62	127,49	90,44	107,88	141,66
107,88	95,89	123,13	90,44	115,50	114,41
102,43	101,34	103,52	88,26	86,08	120,95
108,97	101,34	117,68	99,16	79,54	129,67
107,88	105,70	106,79	112,23	99,16	128,58
90,44	102,43	86,08	101,34	94,80	146,01
95,89	91,53	107,88	99,16	101,34	147,10
102,43	98,07	103,52	106,79	107,88	141,66
79,54	103,52	96,98	98,07	106,79	119,86
108,97	105,70	91,53	110,06	112,23	115,50
92,62	103,52	111,14	99,16	144,92	118,77
102,43	89,35	114,41	100,25	135,12	125,31
118,77	99,16	116,59	101,34	128,58	141,66
105,70	82,81	103,52	96,98	127,49	136,21
110,06	94,80	86,08	103,52	125,31	134,03
106,79	77,37	88,26	107,88	103,52	138,39
107,88	80,63	92,62	112,23	116,59	119,86
93,71	79,54	99,16	110,06	116,59	120,95

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

112,23	86,08	83,90	116,59	125,31	142,74
111,14	90,44	90,44	107,88	105,70	147,10
93,71	90,44	86,08	114,41	86,08	144,92
91,53	83,90	106,79	99,16	84,99	128,58
99,16	91,53	84,99	112,23	96,98	126,40
104,61	86,08	80,63	113,32	105,70	103,52
88,26	103,52	98,07	94,80	96,98	119,86
101,34	95,89	98,07	92,62	102,43	103,52
105,70	89,35	96,98	83,90	131,85	131,85
106,79	89,35	94,80	94,80	126,40	138,39
112,23	96,98	88,26	92,62	103,52	124,22
105,70	94,80	93,71	93,71	113,32	114,41
106,79	81,72	94,80	96,98	100,25	101,34
98,07	86,08	86,08	102,43	106,79	100,25
99,16	71,92	96,98	110,06	86,08	102,43
100,25	68,65	101,34	100,25	98,07	103,52
94,80	94,80	78,46	95,89	82,81	99,16
92,62	96,98	68,65	94,80	96,98	103,52
98,07	79,54	86,08	103,52	98,07	128,58
95,89	77,37	101,34	88,26	103,52	111,14
102,43	74,10	96,98	111,14	88,26	112,23
91,53	77,37	107,88	99,16	86,08	116,59
79,54	100,25	108,97	98,07	79,54	126,40
91,53	89,35	86,08	91,53	84,99	115,50
92,62	83,90	77,37	90,44	94,80	123,13
89,35	83,90	89,35	91,53	98,07	113,32
101,34	102,43	103,52	108,97	103,52	120,95

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

88,26	88,26	86,08	98,07	103,52	111,14
86,08	77,37	103,52	101,34	103,52	124,22
94,80	84,99	96,98	90,44	99,16	124,22
84,99	88,26	99,16	94,80	101,34	113,32
88,26	91,53	96,98	103,52	93,71	114,41
112,23	90,44	101,34	101,34	86,08	110,06
100,25	78,46	88,26	102,43	86,08	131,85
107,88	81,72	86,08	105,70	94,8	122,04
94,80	83,90	79,54	103,52	75,19	90,44
79,54	77,37	91,53	91,53	82,81	87,17
86,08	82,81	94,80	81,72	89,35	99,16
80,63	99,16	108,97	88,26	95,89	112,23
79,54	83,90	95,89	86,08	93,71	107,88
102,43	103,52	99,16	100,25	94,80	91,53
93,71	94,80	80,63	105,70	94,80	105,70
86,08	81,72	80,63	93,71	80,63	107,88
87,17	86,08	91,53	84,99	82,81	117,68
96,98	96,98	106,79	77,37	93,71	115,50
82,81	77,37	113,32	81,72	86,08	100,25
86,08	82,81	107,88	83,90	77,37	92,62
96,98	100,25	95,89	90,44	79,54	90,44
88,26	82,81	84,99	88,26	81,72	103,52
89,35	78,46	83,90	90,44	86,08	103,52
86,08	84,99	96,98	80,63	92,62	100,25
101,34	81,72	88,26	76,28	77,37	102,43
81,72	83,90	86,08	79,54	89,35	106,79
77,37	79,54	89,35	83,90	99,16	110,06

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

84,99	77,37	71,92	81,72	77,37	101,34
87,17	75,19	77,37	89,35	75,19	137,3
86,08	80,63	73,01	83,90	79,54	103,52
92,62	77,37	67,56	89,35	79,54	135,12
86,08	101,34	90,44	86,08	80,63	134,03
90,44	83,90	99,16	84,99	80,63	116,59
90,44	83,90	100,25	83,90	100,25	93,71
88,26	84,99	80,63	84,99	80,63	108,97
93,71	96,98	86,08	84,99	95,89	95,89
84,99	77,37	77,37	79,54	91,53	84,99
86,08	82,81	90,44	86,08	58,84	86,08
86,08	79,54	81,72	92,62	70,83	96,98
79,54	75,19	67,56	95,89	73,01	111,14
79,54	66,47	81,72	91,53	75,19	118,77
73,01	64,29	93,71	84,99	71,92	107,88
77,37	40,32	77,37	86,08	78,46	108,97
86,08	35,96	73,01	91,53	83,90	92,62
79,54	41,41	77,37	83,90	68,65	99,16
86,08	54,48	62,11	77,37	63,20	90,44
77,37	51,21	73,01	81,72	75,19	101,34
78,46	57,75	73,01	82,81	69,74	96,98
77,37	58,84	86,08	84,99	59,93	96,98
77,37	63,20	86,08	76,28	59,93	96,98
80,63	63,20	71,92	70,83	76,28	93,71
94,80	62,11	78,46	71,92	79,54	90,44
86,08	64,29	74,10	79,54	79,54	93,71
77,37	67,56	84,99	64,29	76,28	101,34
73,01	82,81	80,63	65,38	75,19	83,90

Tablo 4.1. (Devamı) Belirtilen günlerde kurulan güneş panelinin arkasındaki 5V fanlı silikonlu peltierin ve 12 V fanlı silikonlu peltierin verilerinin arduino ile ölçülmesi

93,71	83,90	73,01	66,47	65,38	118,77
68,65	74,10	75,19	68,65	68,65	93,71
77,37	64,29	76,28	73,01	64,29	83,90
73,01	58,84	71,92	63,20	73,01	93,71
81,72	62,11	67,56	66,47	64,29	101,34
93,71	55,57	74,10	66,47	50,12	100,25
86,08	62,11	68,65	66,47	53,39	93,71
89,35	63,20	77,37	67,56	67,56	84,99
83,90	58,84	68,65	67,56	51,21	80,63
79,54	49,03	67,56	73,01	68,65	93,71
75,19	50,12	59,93	77,37	67,56	77,37

Ölçüm yapılırken çok fazla değer akışı olduğundan değerlerin tümü kaydedilemedi ve arduino ile multimetre yapıldı. Arduino ile yapılan multimetre aracılığıyla daha fazla değer ölçüldü. Tablo 4.1’de 12 V fanlı ve 5 V fanlı olan peltierlerin tabloda belirtilen günlerdeki ölçülüp kaydedilen değerleri yer almaktadır. Ayrıca multimetreden kaydedilen anlık gerilim değeri ile ölçüm için kullandığımız multimetre arasında farklar vardır. Bunun sebebi ise verinin çok hızlı akması ve arduino ile yapılan multimetrede gürültüyü önleyecek bir malzemenin bulunmamasıdır.

4.6. 12 V Fanlı Silikonlu Peltierin ve Fansız Silikonlu Peltierin Gerilim ve Akım Değerlerinin Ölçüm Verileri ve Güç Hesabı

Tablo 4.2. Sıcaklığın 23 °C olduğu 6 Ekim günü saat 10:45'te kurulan güneş panelinin verileri

Saat	Anlık Sıcaklık	Fansız			
	°C	Ön	Arka	mV	mA
11:00	17	37,2	45,1	70,4	7,8
11:15	18	38,2	51,5	84,1	8,5
11:30	19	41,9	51,5	74,2	8,0
11:45	20	48,6	56,9	51,2	5,6
12:00	21	49,6	58,3	61,4	6,1
12:15	20	46,2	55,4	47,5	5,1
12:30	22	56,2	60,4	45,2	4,9

Tablo 4.2’de belirtilen günde silikonlu fansız peltierin sıcaklık, gerilim ve akım değeri ölçüldü. Elde edilen veriler ışığında 16 cm² alana sahip silikonlu fansız peltierin üretebileceği güç miktarı, ölçüldüğü aydaki toplam enerji miktarı ve elde edilecek enerjinin fiyatı hesaplandı.

Silikonlu fansız peltierin ekim ayı için güç ve enerji hesabı:

$$P = I \times U \quad (4.1)$$

$$I = 6,571428 \text{ mA}$$

$$U = 62 \text{ mV}$$

$$P = (6,571428 \times 10^{-3}) \times (62 \times 10^{-3}) \times 10^{-3} = 407,42857 \times 10^{-9} \text{ kWh}$$

Ekim ayı güneşlenme süresi 6,87 saattir.

$$\text{Bir günlük elde edilen enerji} = 6,87 \times 407,42857 \times 10^{-9} = 2,779 \times 10^{-6} \text{ kWh}$$

Tek terimli tek zamanlı mesken (AG) için elde edilen enerjinin günlük fiyatı:

$$2,779 \times 10^{-6} \times 0,0539 = 0,14978 \times 10^{-6} \text{ USD}$$

Tek terimli tek zamanlı ticarethane (AG) için elde edilen enerjinin fiyatı:

$$2,779 \times 10^{-6} \times 0,12145 = 0,3375 \times 10^{-6} \text{ USD}$$

Yukarıdaki hesaplama da görüldüğü üzere elde edilen güç ve bu güce bağlı olarak elde edilen enerjinin fiyatı çok düşük olduğu için amortisman süresi çok uzundur.

Tablo 4.3. Sıcaklığın 22 °C olduğu 5 Ekim günü saat 10:45 de kurulan güneş panelinin verileri

Saat	Anlık Sıcaklık	12 V fanlı			
	°C	Ön	Arka	mV	mA
11:00	18	46,2	31,4	131,6	14,8
11:15	19	51,2	38,4	133,6	15,3
11:30	19	51,9	39,2	134,8	15,0
11:45	19	52,2	41,4	132,8	14,9
12:00	20	56,2	44,2	125,5	13,5
12:15	21	52,1	39,0	120,1	13,2
12:30	21	51,9	40,3	110,2	12,6

Tablo 4.3'te belirtilen günde silikonlu 12 V fanlı peltierin sıcaklık, gerilim ve akım değeri ölçüldü. Elde edilen veriler ışığında 16 cm² alana sahip silikonlu 12 V fanlı peltierin üretebileceği güç miktarı, ölçüldüğü aydaki toplam enerji miktarı ve elde edilecek enerjinin fiyatı hesaplandı.

Silikonlu 12 V fanlı peltierin ekim ayı için güç ve enerji hesabı:

$$P = I \times U \quad (4.2)$$

$$I = 14,18 \text{ mA}$$

$$U = 126,94 \text{ mV}$$

$$P = (14,18 \times 10^{-3}) \times (126,94 \times 10^{-3}) \times 10^{-3} = 1,8007 \times 10^{-6} \text{ kWh}$$

Ekim ayı güneşlenme süresi 6,87 saattir.

$$\text{Bir günlük elde edilen enerji} = 6,87 \times 1,8007 \times 10^{-6} = 12,371 \times 10^{-6} \text{ kWh}$$

Tek terimli tek zamanlı mesken (AG) için elde edilen enerjinin günlük fiyatı:

$$12,371 \times 10^{-6} \times 0,0539 = 0,66679 \times 10^{-6} \text{ USD}$$

Tek terimli tek zamanlı ticarethane (AG) için elde edilen enerjinin fiyatı:

$$12,371 \times 10^{-6} \times 0,12145 = 1,502457 \times 10^{-6} \text{ USD}$$

Yukarıdaki hesaplama görüldüğü üzere elde edilen güç ve bu güce bağlı olarak elde edilen enerjinin fiyatı çok düşük olduğu için amortisman süresi uzun olmasına rağmen fansız olan peltiere göre daha kısadır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada güneş paneli, peltier, termometre ve multimetre kullanılmış olup güneş panelinin arkasına yerleştirilen peltierin her iki yüzeyindeki sıcaklık termometreyle ve peltierde meydana gelen gerilim değeri de multimetre yardımıyla ölçüldü.

Dört aşamayla peltierde oluşan anlık gerilim değeri ölçüldü. Birinci ve ikinci aşama göz önüne alındığında her aşamada da silikon ile sabitlenmiş peltierin ortalama anlık gerilimi silikonsuz peltierin ortalama anlık geriliminden daha büyüktür. Üçüncü aşamadaki ortalama anlık gerilim değeri de önceki her iki aşamadaki ölçülen tüm ortalama anlık gerilim değerlerinden büyüktür. Dördüncü aşamada ise fanlı silikonlu sistemlerin ortalama anlık gerilim değerleri silikonlu fansız sistemden büyüktür. Son aşamadaki 12 V'luk silikonlu fanlı sistem ve fansız silikonlu sistemin fiyat ve maliyet analizi sonucunda sistemlerin amortisman süreleri kıyaslandığında fanlı sisteminki daha düşük bulundu. Ancak her iki amortisman süresinin de çok uzun olduğu tespit edildiğinden bu sistemin bizim için bir avantajı yoktur. Sistemi bu şekilde ele almak yerine termoelektrik modülün peltier etkisinden yararlanıp güneş panelinin verimliliğın artırılması denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Karamanav M. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi); 2007.
- [2] Başay V, Eken R, Yılmaz G. Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanması Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 2019; 24 (2), 1–12.
- [3] Özbaktaş S. Termoelektrik Jeneratörlerin Termal ve Elektriksel Performansının Deneysel ve Nümerik İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi); 2021.
- [4] Gou X, Xiao H, Yang, S. Modeling, Experimental Study and Optimization On Low-Temperature Waste Heat Thermoelectric Generator System. Applied Energy. 2010; 87(10), 3131-3136.
- [5] Van Sark WGJHM. Feasibility of Photovoltaic–Thermoelectric Hybrid Modules. Applied Energy. 2011; 88(8), 2785-2790.
- [6] Nia MH, Nejad AA, Goudarzi AM, Valizadeh M, Samadian P. Cogeneration Solar System Using Thermoelectric Module and Fresnel Lens. Energy Conversion and Management. 2014; 84, 305-310.
- [7] Almeida CHA, Souto CDR, Veronese JP, De Oliveira Custódio JC. Characterization of Thermoelectric Cell for Electric Power Generation. In 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings. 2015 May (pp. 1358-1362). IEEE.
- [8] Makki A, Omer S, Su Y, Sabir H. Numerical Investigation of Heat Pipe-Based Photovoltaic–Thermoelectric Generator (HP-PV/TEG) Hybrid System. Energy Conversion and Management. 2016; 112, 274-287.
- [9] Viña RR, Alagao FB. Field Test of Thermoelectric Generator Using Parabolic Trough Solar Concentrator for Power Generation. In AIP Conference Proceedings 2018 March (Vol. 1941, No. 1). AIP Publishing.
- [10] Kayabaşı R, Kaya M. Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Üretimi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2019; (16), 310-324.
- [11] Taşdelen K, Yağmur Y. Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretiminin Deneysel İncelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research. 2019; 3(2), 152-160.

- [12] Özbaş E. Experimental Investigation of Passive Water Cooling in Solar Heating Thermoelectric Generator. *Politeknik Dergisi*. 2020; 23(4), 1231-1236.
- [13] Khanalizadeh A, Astarai FR, Heyhat MM, Rad MAV. Experimental Investigation of A PV/T System Containing A TEG Section Between Water-Based Heat Exchanger and Air-Based Heat Sink. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2023; 42, 101909.
- [14] İlkılıç Z. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Gelişimi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*. 2016; 6(2/2), 1-13.
- [15] Özdemir A, Pamuk N. Kısmi Gölgeleme Şartları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2021; (31(Ek sayı/ 1)), 157-164.
- [16] Altın M. Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı. 2004 Ekim 11-12 (ss. 438-444).
- [17] Sayın S, Koç İ. Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimler. *Selçuk Ünivertisi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2011; 26 (3), 1–18.
- [18] Çağırtekin Ö. Fotovoltaik Panellerde Isınma Kaynaklı Kayıpları Azaltmak için Panel Yüzeylerinin Farklı Tasarımlarla Soğutulması ve Sonuçların Analizi (Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi); 2022.
- [19] Koca, TF. Silisyum Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerine Etkin Eden Çevresel Etkilerin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi); 2019.
- [20] ÖZTÜRK KA., Kemal H. Tam Hücreli Fotovoltaik Modüllerin Matematiksel Modellenmesi, 2019.
- [21] Küçükilhan G. Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Şebekeye Etkilerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi); (2017).
- [22] Demirtürk T. Elektronik Ders Notları 2. [Çevrimiçi]. Available at: <http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>.
- [23] Perdahlıyan E. Endüstriyel Bir Tesis Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu için Tasarım ve Hesaplamaları; Edirne Örneği (Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi); (2021).
- [24] Akar A. Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu ve Performansının Analizi (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi); (2016).

- [25] Anonim, Yarıiletkenler ve P-N Eklemleri. [Çevrimiçi]. Available at: <https://docplayer.biz.tr/52032260-Yariiletkenler-ve-p-n-eklemleri.html>
- [26] Yiğit E. Fotokromik Organik Ligandlar Kullanılarak Elde Edilen Fotodiyotların Fabrikasyonu ve Elektriksel Karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi); 2022.
- [27] Neamen DA. Semiconductor Physics and Device. 4nd ed. McGraw Hill Education; 1992.
- [28] Kocagöz Demir B. Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi: Bayburt Güneş Enerji Santrali Örneği (Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi); 2022.
- [29] Turak Tacer B. Giyilebilir Fotovoltaik Tekstil Geliştirilmesi ve Elektro Optik Analizi (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler); 2022.
- [30] Erişgin D. Otomatik Güneş Paneli Temizleme Yöntemlerinin Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi); 2022.
- [31] Akman Ö. Fotovoltaik Panellerde Sıcaklığın Elektriksel Verime Etkileri ve Termal Güç Eldesi (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi); 2019.
- [32] Çalapkulu S. Güneş Fotovoltaik Teknolojisi. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.sektorundergisi.com/gunes-fotovoltaik-teknolojisi/>.
- [33] Gür, S. Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörü Kaynaklı Termoelektrik Jeneratörlerden Elde Edilecek Elektrik Enerjisinin Deneysel Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi); 2009.
- [34] Boz, OH. Günümüz Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri (Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi); 2011.
- [35] Çengel YA, Boles MA. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı. 7. basım Palme Yayıncılık; 1996.
- [36] Doğan G. Termoelektrik Etki Nedir? Isıdan Elektrik Enerjisi Elde Etmek. [Çevrimiçi]. Available at: <https://teknoloji.org/termoelektrik-etki-nedir-isidan-elektrik-enerjisi-elde-etmek/>.
- [37] Doğdu MF. Termoelektrik Soğutucuların Performansına Doğrudan Temaslı Isı Değiştiricilerin Etkilerinin Deneysel İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi); 2013.
- [38] Şahin T. Termoelektrik Soğutucuların Modellenmesi ve Karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi); 2012.
- [39] Özçavdar A. Güneş Enerjisi İle Çalışan Termoelektrik Jeneratör Tasarımı ve Performansının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi); 2021.

- [40] Bozkurt M. Güneş Enerjili Termoelektrik Jeneratörde Isı Borulu Pasif Soğutucu Kullanımının Performans Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi); 2023.
- [41] Mahmat AM. Yoğunlaştırılmış Güneş Işınlarnı Toplayan Termoelektrik Dönüşümlü Enerji Üreten Sistemin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi); 2022.
- [42] Kaya S, Gelen A, Bıçak A. Yeni Elektrik Enerjisi Üretim Yöntemlerine Genel Bir Bakış, Int. Acad. Res. Congr. 2018 October 30- November 03 (ss. 256–263, 20).
- [43] Yılmaz C. Güneş Enerjili Isı Borusu Kullanılarak Termoelektrik Modüller ile Elektrik Üretimi Deneysel İnceleme (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi); 2019.
- [44] Keskin H. Gövde Borulu Bir Isı Değıştiricisinde Newtonyen Olmayan Nanoakışkan Kullanımının Termoelektrik Güç Üretimine Etkisinin Sayısal Analizi (Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi); 2022.
- [45] Duran K. Dizel Motorlarda Egzozdan Atılan Isıdan Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Üretiminin Deneysel Ve Nümerik Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi); 2020.
- [46] Anonim, Electronic Properties of Materials. [Çevrimiçi]. Available at: <http://electrons.wikidot.com/thermoelectricity>.

EKLER

Arduino ile yapılan multimetrenin yazılımı aşağıdaki gibidir:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
File myFile;
int pinCS = 10; // Pin 10 Arduino Uno
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int analogInput = 0;
boolean c = false;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 9999.9; //10K ohm direnç
float R2 = 133.8;
int value = 0;
int data=1;
void setup()
{
    analogReference(INTERNAL);
    delayMicroseconds(10);
    pinMode(analogInput, INPUT);
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("DC VOLTMETRE");

    Serial.begin(115200);
```

```

pinMode(pinCS, OUTPUT);
// SD Card Başlatma
if (SD.begin())
{
    Serial.println("SD OKUMAYA HAZIR");
} else
{
    Serial.println("SD CARD KURULUMU HATALI");
    return;
}
}
void loop()
{
    vout = ((float)analogRead(analogInput) / 1023)*1100;
    vin = vout/(R1/(R1+R2));
    if(vout>934)
    {
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(" OVER RANGE ");
        c=false;
    }
    else
    {
        while(c==false)
        {
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print(" ");
            c=true;
        }
    }

    Serial.println(vin, DEC);

```



```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("VOLTAJ: ");
lcd.print(vin,DEC);
lcd.print(" V");
delay(200);
//delayMicroseconds(100);
// dosya oluşturma yada açma
myFile = SD.open("veriler.txt", FILE_WRITE);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" VERI DOSYASI ");
lcd.clear();
// dosya açıldıysa yazma
if (myFile) {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("V");
  delay(100);
  lcd.print(vin);
  lcd.setCursor(0, 1);
  Serial.println("VERILER YAZILIYOR");
  lcd.print("VERILERYAZILIYOR");
  // dosyaya yazma
  lcd.clear();
  myFile.println(vin);
  myFile.close(); // dosyayı kapat
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("V");
  delay(100);
  lcd.print(vin);
  lcd.setCursor(0, 1);

  Serial.println("YAZILDI");

```

```
    lcd.print(data);  
    lcd.print(". YAZILDI");  
    data++;  
else {  
    Serial.println("DOSYA ACILAMADI");  
    lcd.print("DOSYAACILAMADI");  
}  
delay(60000);  
lcd.clear();  
}  
}
```

