



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK PANELLERDE FAZ
DEĞİŞTİREN MADDE KULLANIMININ
VERİM ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

İzzettin Enes ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İzzettin Enes ŞEN tarafından hazırlanan "Fotovoltaik Panellerde Faz Değiştiren Madde Kullanımının Verim Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması" adlı tez çalışması 15/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Aydın DİKİCİ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARAKAYA

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

İmza

[Signature]

[Signature]

[Signature]

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Salim TIGREK



*Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından BTÜ BAP 2019-YL-03 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İzzettin Enes ŞEN

Tarih:15.11.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KULLANIMININ VERİM ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

İzzettin Enes ŞEN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARAKAYA

2019, 35

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Aydın DİKİCİ
Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARAKAYA
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

Giderek artan nüfus ve buna bağlı olarak artış gösteren enerji talebini karşılamak için artık yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretimi devam etmektedir. Sadece enerji üretimi değil aynı zamanda enerjinin verimli kullanılması da son derece önemlidir. Son zamanlarda giderek kullanımı artan ve son derece önem arz eden fotovoltaik paneller güneşin yaydığı radyasyon enerjisinden dolayı yüzey kısmında ısınmaya sebep olmakta ve bu ısınma panelin verimliliğini düşürmektedir.

Yapılan çalışmada yere paralel olacak şekilde yerleştirilen iki adet güneş panelinden biri faz değiştiren malzeme ile doldurulmuştur. Kalsiyum klorür hekzahidrat adlı faz değiştiren malzeme kullanılarak fotovoltaik panel soğutulmuş ve ısınım, hava sıcaklığı, akım, gerilim, güç, yüzey sıcaklığı, verim grafikleri elde edilmiştir.

Eş zamanlı olarak yapılan ölçümler sonucu verimde % 2.95, akım ve gerilimde % 1.46 artış sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren madde, Fotovoltaik panel, Gizli ısı, Verim

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PHASE CHANGING SUBSTANCE USE IN PHOTOVOLTAIC PANELS ON EFFICIENCY

İzzettin Enes ŞEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

2019, 35

Jury

Asst. Prof. Dr. Aydın DİKİCİ

Asst. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

Asst. Prof. Dr. Ahmet GÜNDOĞDU

Energy production based on renewable energy sources continues to meet our growing population that depends on increasing demand for energy. Not only energy production is significant but also efficient using. Recently, photovoltaic panels, which are increasingly used and extremely important, cause heating on the surface due to the radiation energy emitted by the sun and this warming reduces the efficiency of the panel.

It is aimed to reduce this loss by using phase changing material with latent heat which is one of the thermal energy storage methods. One of the two solar panels placed parallel to the ground is filled with phase changing material. In this study, photovoltaic panel was cooled by using named calcium chloride hegzahydrate phase changing material and radiations, air temperature, current, voltage, power, surface temperature, efficiency graphs were obtained.

As a result of simultaneous measurements, the increase in efficiency 2.95 %, current and voltage 1.46 % was provided.

Keywords: Phase change material, Photovoltaic panel, Latent heat, Efficiency

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre boyunca deneyimlerini ile bana ışık tutan, her türlü karşılaştığım problemin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan, olumlu yönlendirmesi ve sakin yaklaşım tavrıyla yanımda olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARAKAYA' ya ayrıca Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU, Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY' a teşekkürü bir borç bilirim.

İzzettin Enes ŞEN
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 . Enerji Kaynakları	1
1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
1.1.2. Fotovoltaik Enerji	4
1.1.3. Fotovoltaik Sistemler	6
1.1.3.1. Monokristal Hücreler	7
1.1.3.2. Polikristal Hücreler	8
1.1.3.3. İnce Film	8
1.1.3.3.1. Amorf Silisyum.....	9
1.1.3.3.2. Kadmiyum Tellür.....	9
1.1.3.3.3. Bakır İndiyum Diselenoid.....	9
1.2. Enerji Depolama Yöntemleri	9
1.2.1. Termal Enerji Depolama.....	10
1.2.2. Duyulur Isı Depolama.....	10
1.2.3. Gizli Isı Depolama	10
1.3. Faz Değiştiren Maddeler.....	10
1.3.1. Parafinler.....	11
1.3.2. Yağ Asitleri.....	11
1.3.3. Tuz Hidratlar	11
1.3.4. Ötektik Karışımlar	11
1.4. Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanlar	12
1.4.1. Faz Değiştiren Maddelerin Sahip Olması Gereken Özellikler	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. DeneySEL Yöntem.....	20
3.2. Hesaplama Yöntemi.....	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	24
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	29
5.1 Sonuçlar	29
5.2 Öneriler	29

KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

I	: Panelin akımı (A)
L	: Erime ısısı (J)
m	: Madde miktarı (kg)
P	: Panelin gücü (W)
R	: Direnç (Ω)
Q	: Isı enerjisi (J)
V	: Panelin voltajı (V)
η	: Panelin verimi

Kısaltmalar

FDM	: Faz değıştiren madde
FV	: Fotovoltaik

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojik imkânlar ve artan nüfusunda beraberinde getirdiği enerji talebini karşılamak için geçmişte kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almayan kömür, petrol, doğalgaz gibi sınırlı, ekosisteme ciddi zararlı ve tükenebilen enerji kaynakları yerine sürdürülebilir, doğaya zararı fosil yakıtlara göre daha az olan ve en önemlisi sınırsız kaynağa sahip yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan güneş, rüzgâr jeotermal, nükleer enerji gibi kaynaklar kullanılmaya başlamıştır. Fosil yakıt kaynağı olmayan güneş enerjisi, bugün bakım ve onarım maliyeti en düşük, her an dünyada yaşamın olduğu her yerde ulaşabileceğiniz ve bu yenilenebilir enerji kaynaksız yaşamın olamayacağı eşsiz bir kaynaktır. Yavaş yavaş ülkemizde önemli bir yere sahip olmaya başlayan güneş enerjisi ciddi yatırımlar yapmadan gözlemleyebileceğiniz çok önemli bir enerji kaynağıdır. Kol saatleri, hesap makineleri, uydular, trafik lambaları, cep telefonu şarj cihazları, bahçe aydınlatmaları, sıcak su üretimi, tarımsal sulama ve en önemlisi kırsal kesimlerde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Ancak her güneş olan yere güneş paneli kurmak veya radyasyon değerine bakıp bir sonuca varmak mümkün değildir. Tam bu noktada enerjinin verimli kullanılması devreye girer. Bu çalışmada fotovoltaiik panellerin ısınmasından ötürü yaşanan sıcaklık artışını ısı depolama özelliğine sahip olan biyomedikal, inşaat ve tekstil gibi alanlarda kullanılan faz değıştiren madde ile ele alınıp verimlilik açısından değerlendirilecektir.

1.1. Enerji Kaynakları

Enerji deyince akla ilk gelen elektrik enerjisidir. Artan nüfus ve buna bağı enerji tüketiminin artması bu konuyu bayağı önemli kılmaktadır. Enerji kaynakları ise enerjiyi elde etmek için kullandığımız kaynaklardır. Bu kaynaklar kendi arasında yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynağı olmak üzere iki kısımda incelenirler. Yenilenebilir enerji kaynağı denince akla güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerji gelir. Diğer yandan kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer gibi kaynaklar ise yenilenemez enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Çevre kirleticili özellikleriyle bilinen yenilenemez enerji kaynakları artık yerini temiz çevreci olan yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır.

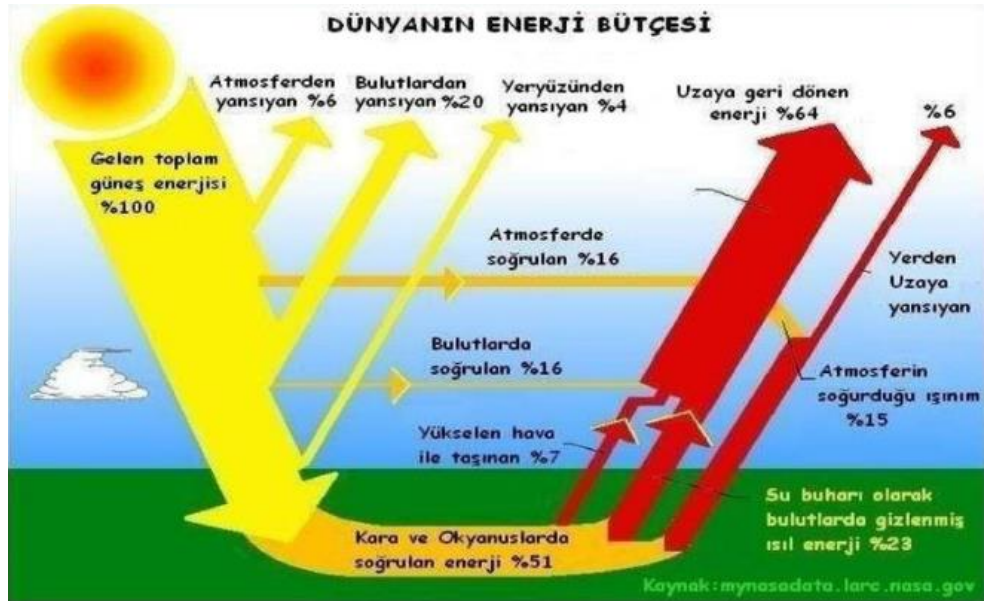
Türkiye jeotermal enerjide 1.144 GW, biyokütlede 0.695 GW, rüzgâr enerjisinde 6,671 GW, hidrolik enerjide 27,912 GW ve son olarak güneş enerjisinde ise 4,726 GW kurulu güce sahiptir (Anonim, 2018b).

1.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji üretimi için doğal süreçler içeren fosil yakıtlara göre çevreci temiz ve sürdürülebilir olan enerjiye yenilenebilir enerji adı verilir. Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidrolik ve biyokütle enerjisi bunlara örnektir. Rüzgâr enerjisi rüzgâr gücünü kullanarak gelen enerjiyi jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevirir. Güneş enerjisi güneşten gelen radyasyonu kullanarak elektrik enerjisi elde eder. Jeotermal enerji sıcak su kaynaklarının ısı enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretir. Biyokütle enerjisi ise orman, tarım, organik, hayvansal, şehirsal, atıklardan özel bir ortamda oksijensiz olarak çürütülmesiyle elde edilen enerjidir.

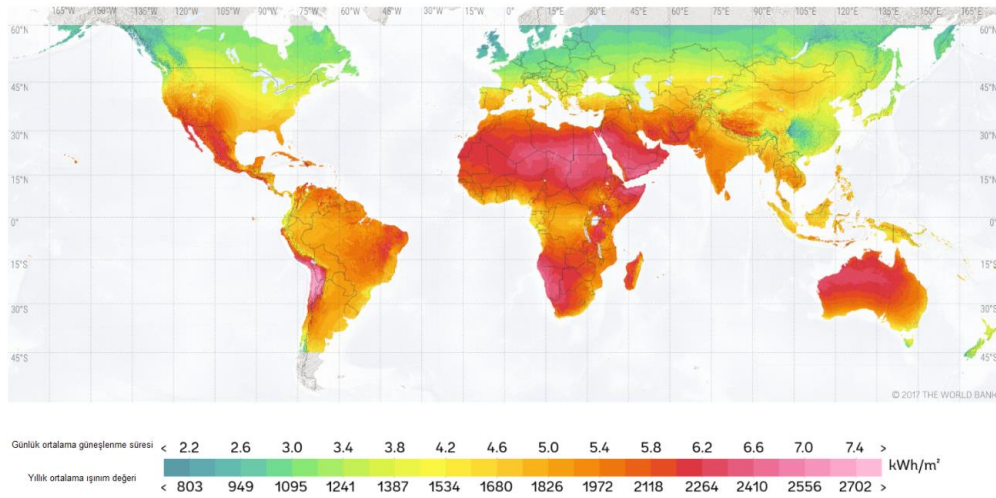
1.1.1.1. Güneş Enerjisi

Güneşin oluşumu gaz ve toz bulutlarının büyük patlama sonrasında çökmesiyle meydana gelmiştir. Bu oluşan gaz bulutu yoğunlaşmanın artmasıyla kazandığı momentumla dönmeye başlayıp belirli bir müddet sonrada ışımaya başlamıştır. (Şen, 2002). Güneş, dünyanın 110 katı büyüklüğünde 1.4 milyon km çapa ve aynı zamanda yüksek sıcaklık ve basınca sahip bir yıldızdır (Büktaş, 1979). Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi 178 trilyon kW gibi yüksek bir güce sahiptir (Ültanır, 1996). Güneş enerjisi sadece dünyaya değil etrafımızda bulunan tüm gezegenlere elektromanyetik ışıınım (radyasyon) yayar. Metrekare başına yaydığı bu elektromanyetik dalgaya güneş sabiti denir ve metrekareye 1367 kW güç verir (Şen, 2002).



Şekil 1.1. Dünyanın Enerji Bütçesi (Anonim, 2018a)

Şekil 1.1.' de görüldüğü gibi dünya yüzeyine gelen güneş enerjisinin yarısından fazlası kara ve okyanuslarda soğurul buna karşın geriye kalan kısmı ise yansır veya soğurulur.

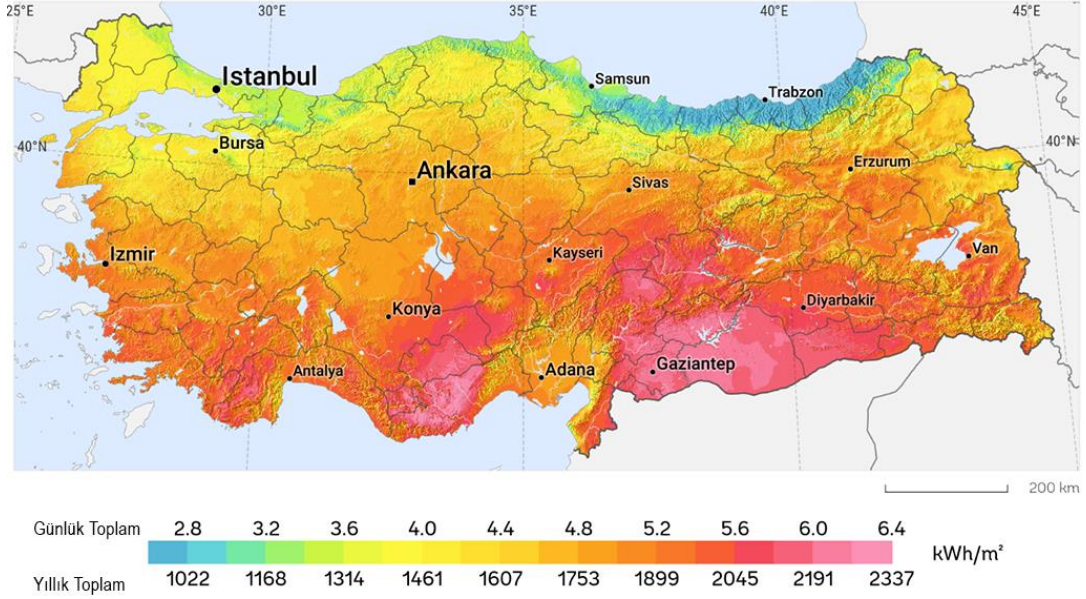


Şekil 1.2. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (Anonim, 2018a)

Şekil 1.2.' de dünya üzerinde yıllık ortalama güneşlenme süreleri ve ısıtım değerleri renklerle ifade edilmiştir. Yoğun ısıtım ve güneşlenme süresine maruz kalan yerler giderek daha koyu bir renk alırken yetersiz radyasyon değeri ve güneş sabiti az olan bölgeler ise açık renkle belirtilmiştir.

Bu grafiğe bakarak ülkemizin aslında dünya ortalamasına yakın olduğu ve güneş enerjisinin ülkemiz için çok önemli olduğu görülmektedir (Anonim, 2018a).

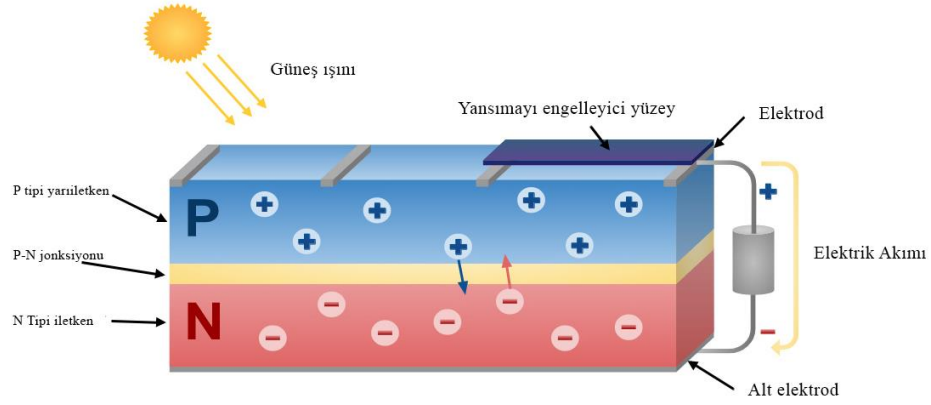
Şekil 1.3.' de yer alan resim ile Almanya verileri kıyaslanacak olursa ortalama metrekaresine düşen güç değeri Almanya'da 950 W iken Türkiye'de 1680 W olarak görülmektedir. % 76 daha verimli bir güneş ışınlamına sahip olan ülkemiz için bu konunun çok büyük önem arz etmektedir (Anonim, 2018c,d).



Şekil 1.3. Türkiye Işınlam Haritası (Anonim, 2018c,d)

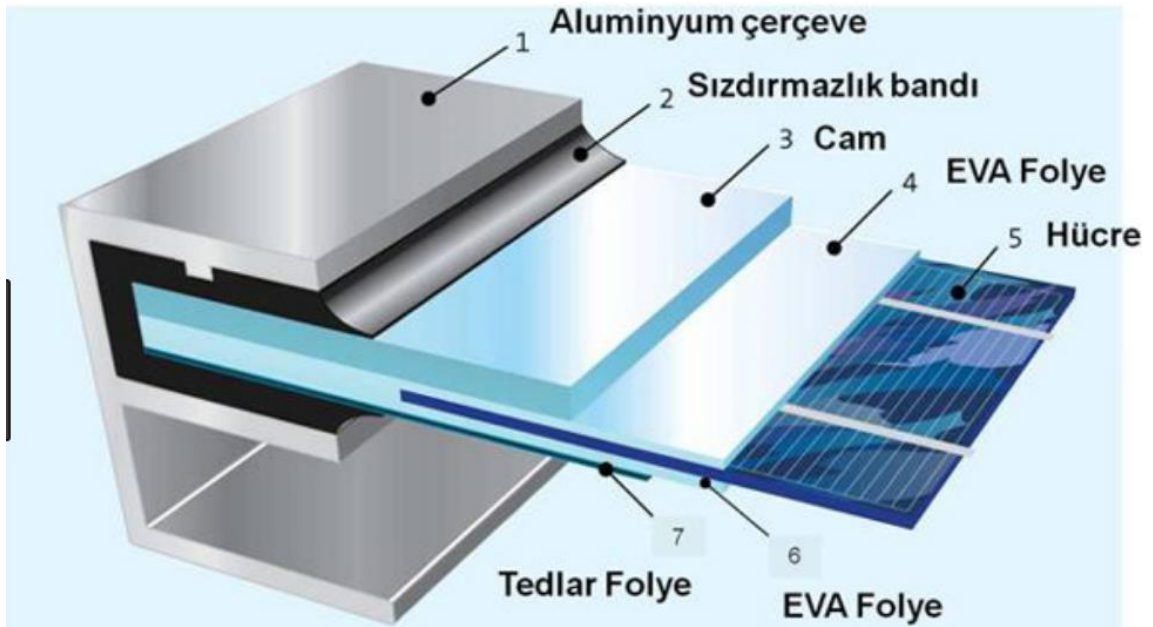
1.1.2. Fotovoltaik Enerji

"Foto" ve "voltaik" şeklinde ikiye ayrıldığında ışık ve elektrik akımını ifade eden iki ayrı kelimenin birleşimiyle oluşmuştur. Fotovoltaik enerji güneşe maruz kaldığında malzemenin içerisinde elektron hareketi ile direkt akım (DC) ürettiğimiz önemli bir malzemedir. Bu malzemeler yapımında yoğunluklu olarak silisyum kullanılır. Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretiminin olduğu malzemenin kalınlığı çok incedir. Temiz, sessiz ve bakım onarım maliyeti gerektirmeyen uzun yıllar kullanılabilen ve her yerde rahatlıkla ulaşılabilen bir enerji kaynağı olduğundan tercih sebebidir.



Şekil 1.4. Güneş Panelinin Çalışma Prensibi (Anonim, 2019a)

Şekil 1.4. incelendiğinde güneşten gelen foton ışınları fotovoltaiik panelin yüzeyine çarparak fotoelektrik etki dediğimiz olay ile elektron kopmasına sebep olur. Yapısında katkılanmış malzeme ile elde edilen n tipi ve p tipi yarı iletkenler arasında bulunan p-n jonksiyonunda bir elektron akışı meydana gelir. Sonuç olarak DC elektrik enerjisi elde edilir.

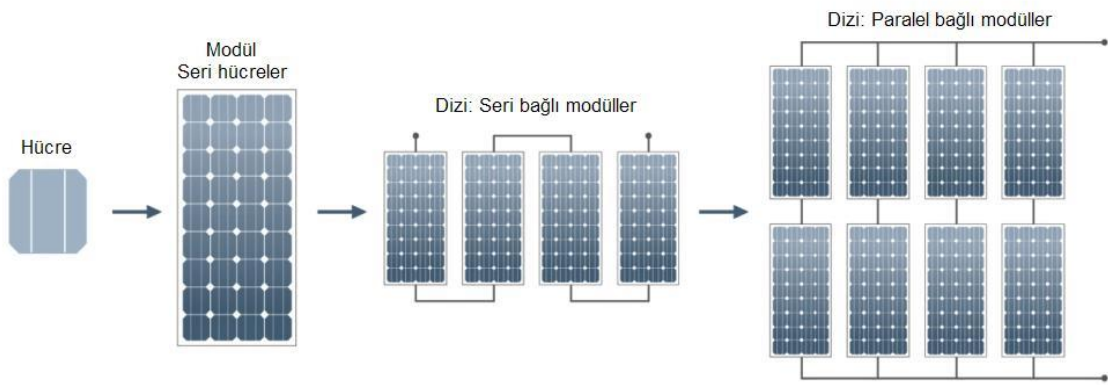


Şekil 1.5. Güneş Panelinin İç Yapısı (Anonim, 2019b)

Şekilde 1.5.' de bir FV panelin iç yapısı verilmiştir. 1 numaralı yerde panelin dış alüminyum çerçevesi, 2 numaralı bölgede sızdırmazlık bandı, 3 numaralı bölgede cam, 4 numaralı bölgede EVA folye, 5 numara bölgede hücre, 6 numaralı bölgede tekrar EVA folye ve son olarak 7 numaralı bölgede Tedlar Folye görülmektedir.

1.1.3. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler genellikle dikdörtgen biçiminde koyu mavi renkte olup ince ve kırılgan yapıda oluşan birden fazla hücrenin birleşmesiyle meydana gelen yapıdır.



Şekil 1.6. Hücre Modül İlişkisi (Anonim, 2019c)

Şekil 1.6.' da görünen birden fazla hücrenin birleşmesiyle oluşan sisteme modül denilir. Modüller ihtiyaca göre seri veya paralel bağlanıp uygulanacak sisteme kullanıma uygun hale getirilir. Elde edilen sistemi şebekeye bağlanıp elektrik faturasına katkıda bulunabilir veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilir. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan hücreler monokristal, polikristal ve ince film olmak üzere 3 ayrı başlık altında incelenebilir.

1.1.3.1. Monokristal Hücreler



Şekil 1.7. Monokristal Hücre (Anonim, 2019d)

Güneş paneli yapımında sıkça kullanılan hücreler monokristallerdir. Fiyatları yüksek olduğundan ötürü güneş paneli üretiminde fiyatı daha uygun olan polikristal hücreler tercih edilmektedir. Üretimlerinde önemli rol alan yarı iletken olan silisyum malzemesidir. Bu malzemenin üretimi oldukça zor ve maliyetlidir. Bu kadar maliyetli bir ürünün bu denli kullanılmasındaki temel sebepleri ise optik, elektriksel ve yapısal özelliklerini zamanla koruyabilmelerinden kaynaklanmaktadır (Wiley, 2003). Oksijenden sonra dünya en çok bulunan element silisyumdur. En yaygın olarak görülen kum ve kuartz biçimleridir ama saflık yapısı çok az olduğu için kum yerine kuartz maddesi tercih edilir. Kumun % 90'lık bir kısmı silisyumdan oluşan kuartz bir takım işlemlere tabi tutularak % 99 saflıkta silika meydana gelir ve bu süreçten sonra silisyum elde edilir. Elde edilen silisyum saflaştırılarak yarı iletken özelliğine sahip çok kristalli silisyum elde edilir. Buradan sonra tekrar saflaştırma işlemi gerçekleştirilir ve malzeme eritilir ve büyütülür. Çekirdekler silisyum banyosuna geçirilir ve tek kristalli tabaka meydana gelir (Boz, 2011).

1.1.3.2. Polikristal Hücreler



Şekil 3. Polikristal Hücre (Anonim 9, 2019)

Polikristal hücreler monokristal hücrelere göre üretimi daha az maliyetlidir ve kolaydır. Bu sebeplerden ötürü iç ve dış piyasada bulunması oldukça kolay ve tercih sebebidir. Üretim aşamasında monokristal hücre ile birçok aşaması aynı olmaktadır. Farklı olarak yarı iletken bir malzeme olan silisyum eritildikten sonra özel olarak hazırlanmış kalıpların içerisinde boşaltılarak ısı kaybetmesi sağlanır ve yeterli soğukluğa ulaştığı zaman resimde görüldüğü gibi kesilip kare haline getirilir. Maliyeti ve verimliliği düşük bir hücredir ve yaklaşık olarak % 14 ile % 16 arasında bir verim değerine sahiptir (Boz, 2011).

1.1.3.3. İnce Film

İnce film hücreleri üretiminde güneşten gelen foton enerjisini hapsedme özelliği yüksek olan malzemeler daha ince olacak biçimde kullanılır. Örnek verilecek olursa, amorf silisyum malzemelerin kristal yapıda olan silisyuma oranla emilim katsayısı daha fazladır. Amorf ile yapılmış hücrelerde malzeme kullanımı azdır (Erkul, 2010).

Verim değerleri % 7 ile % 14 arası değişkenlik gösteren ince film hücrelerin düşük maliyetle üretilmesine rağmen düşük verimlilik değerinden ötürü pazarda pek yaygınlaşamamıştır. Ek olarak uzayda kullanımı mevcuttur çünkü verimlilik değerleri atmosfer dışında ortalama % 170 artmaktadır (Boz, 2011).

1.1.3.3.1. Amorf Silisyum

Verimlilik değerleri % 6 ile % 9 arasında değişen güneş hücreleri olan amorf silisyum ince film hücrelerde hidrojen içeren amorf silisyum ve polikristal silisyum olarak kullanılır. Üretimi kompleks bir sistem gerektirmediği gibi birleştirmesi de kolaydır. Üretimi düşük sıcaklık değerlerinde gerçekleşebilmektedir (Boz, 2011).

1.1.3.3.2. Kadmiyum Tellür

Kadmiyum tellür hücrelerde tek başlarına verimlilik değerleri % 15 civarında iken modül haline geldiklerinde bu verim % 9 civarına düşmektedir. Güneşi iyi absorbe etme kapasitesine sahip olan bu hücre tipinde her ne kadar günümüzde kullanımı pek olmasa da gelecekte kullanımının söz konusu olabileceği öngörülmektedir (Küpeli, 2005).

1.1.3.3.3. Bakır İndiyum Diselenoid

Monokristal ve polikristal hücrelerine göre verimlilikleri düşük ve % 8 ile % 12 arasında değişmektedir (Wiley ,2003). Bakır, indiyum ve selenyumdan yapılmış olan üçlü bir yarı iletken birleşimidir. Kadmiyum tellüre rakip olabilecek seviyededir (Boz, 2011).

1.2. Enerji Depolama Yöntemleri

Enerjinin en büyük problemlerinden biri depolanmasıdır. Bir enerji üretildiği zaman ya bir tüketim için veya sonrasında tüketilmek için kullanılır. Sonrasında bu enerjiyi gerektiğinde kullanabilmek için belirli yöntemler kullanılarak depolanmasına enerji depolama denir. Depolama sistemlerinde göz önünde bulundurulması gereken konular şunlardır; İçinde barındırdığı enerjiyi depolama kapasitesinin yüksek olması, enerjiyi kullanıp tekrar doldurduğunda yüksek verime sahip olması, kendi kendine boşalmanın ve kayıpların düşük miktarda olması, kısa sürede bozulmaması, birim fiyatının yüksek olmaması ve son olarak birim hacime veya kilograma düşen enerji miktarının fazla olması beklenilir. Enerji depolama yöntemleri sıralanacak olursa ısı (termal), mekanik, elektriksel ve kimyasal metotlarla enerji depolanabilmektedir (İbrahim, 2008).

1.2.1. Termal Enerji Depolama

Elementleri veya bileşikleri oluşturan ve onların özgül niteliklerini taşıyan en küçük birim olan molekül veya kimyasal olarak bir elementin bütün özelliklerini taşıyan en küçük parçası olan atomun kinetik ve potansiyel enerjisinin toplamıdır. Moleküler veyahut atomik bazda titreşim sonucunda oluşan bu enerjinin aktarımı birbirinden farklı sıcaklıklar ile ısı akışını meydana getirir (Dikici, 2004).

1.2.2. Duyulur Isı Depolama

Genellikle ısı enerjisi üzerine sık kullanılan depolama sistemleri olarak bilinen yöntem duyulur ısıdır. Kullanılan malzemenin çevre veya benzeri ortamdan aldığı veya verdiği ısı ile sıcaklık değişimin sonrasında meydana gelen katı veya sıvı materyallerin ısının kullanılmasına şeklinde açıklanabilir. Maddenin birim sıcaklık kapasitesine bağlı olarak alması gereken ısı miktarının düşük olmaması, yapısal özelliklerini uzun yıllar muhafaza edebilmesi, paslanmaya karşı dayanıklı olması ve maliyetli olmaması olması beklenmektedir (Başal, 2007).

1.2.3. Gizli Isı Depolama

Faz değişimi süresince maddenin dışarıya verdiği veya dışarıdan aldığı ısıya gizli ısı adı verilir. Gizli ısı depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı gibi maddelerin hal değişimini kullanarak meydana gelebilir (Ozonur, 2004). Sıvı-katı dönüşümü en çok tercih edilenler arasındadır. Gizli ısı, uzun süreli depolamalarda, düşük enerji yoğunluğu veya düşük enerji ihtiyacı gereksinimlerinde, yüksek depolama hacmi olan yerde, değişken veya yüksek bir sıcaklık değeri arasında kullanılmaz (Abhat, 1983).

1.3. Faz Değiştiren Maddeler

Faz değiştiren madde hal değişimi esnasında gizli ısıyı kullanarak enerjiyi depo etme özelliğine sahip olan maddedir (Nomura, 2017). Faz değiştiren madde diğer bir tanımda ise malzemenin faz değişikliğine uğradığında ısıyı serbest bıraktığı veya emdiği süreçtir. Avantajı ise yüksek enerji depolayabilmesi, faz değişimi esnasında çok küçük sıcaklık farklılığı olması ve son olarak küçük hacim ve ağırlıkta bulunabilmesidir (Şahan, 2011).

1.3.1. Parafinler

Faz değiştiren maddelerin organik kısmına giren parafinler işlenmemiş petrolden türetilmişlerdir. Yapıları genellikle mumsudur. Zehirleyici veya paslanabilir bir malzeme değildir. Genellikle fiyatları uygundur. Depolanmaları kolaydır ve ısı iletkenlik değeri, malzemenin kimyasal yapısından dolayı düşüktür. Kararlı yapıya sahip olan parafinler ısı depolama yöntemlerinden biri olarak tercih edilirler (şahan, 2011).

1.3.2. Yağ Asitleri

Kimyasal yapıları $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ şeklinde gösterilen yağ asitleri organik faz değiştiren madde sınıfına girmektedir. Yüksek olmayan sıcaklıklarda gizli ısı depolama yöntemlerinden biri olarak kullanılması uygundur. Organik ve inorganik faz değiştiren maddelere alternatif olarak kullanılabilirler (Suppes, 2003).

1.3.3. Tuz Hidratlar

Faz değiştiren maddelerde inorganik kısmında yer alan tuz hidratları ısı ınerji depolayabilme kapasiteleri yüksek olduğundan faz değiştiren maddeler için önemli bir yere sahiptir. 0 ile 150°C sıcaklık aralığında kullanılan bu maddeler erime veya donma durumunda hacim değişimleri düşüktür. Isı iletkenlikleri organik faz değiştiren maddelere göre daha yüksektir (Mazman, 2006).

1.3.4. Ötektik Karışımlar

Organik ve inorganik maddeler kullanılarak ötektik karışım içeren maddeler elde edilebilir, elde edilen bu maddeler saf maddelerde olduğu gibi belirli bir erime ve donma sıcaklığına sahiptirler. Birden fazla faz değiştiren madde karıştırılarak ötektik bileşenler elde edilebilir. Katkısız bir faz değiştiren maddenin ötektik bileşeninde ısı özellikleri saf bir faz değiştiren maddeye oldukça benzerlik göstermektedir. Termal enerji depolama yöntemlerinde kullanılan ötektik karışımlar bu benzerlikten ötürü enerji depolamaya uygundur (Mazman, 2006).

1.4. Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanlar

Günümüze kadar yapılan çalışmalar gösteriyor ki termal enerji depolamada kullanılmak üzere yeni maddelerin araştırılmasına ve geliştirilmesine yönelik çeşitli atılımlar bulunmaktadır. Faz değiştiren maddeler kullanılarak yapılacak olan uygulamaya yönelik çalışmalarda malzemelerin kullanım alanlarının genişletilmesi için yürütülen çalışmalar mevcuttur. Aşağıda Faz değiştiren maddelerin ana kullanım alanları belirtilmiştir.

- Soğutma
- Isıtma
- Tıbbi uygulamalar
- Binalarda pasif ısı depolama
- Sıcaklığın sabit tutulması gereken ortamlarda
- Termal güneş enerjisinin depolanmasında
- Elektrikli aletlerin termal korunmasında
- Uzay mekiği termal uygulamalarında (Zalba, 2003).

1.4.1. Faz Değiştiren Maddelerin Sahip Olması Gereken Özellikler

Faz değiştiren madde için önem arz eden iki husustan biri maddenin sıcaklığı sabitken aldığı ısı miktarının yüksek olması, diğeryse faz değiştireceği sıcaklığın seçilmiş olan ortama göre uygun olmasıdır (Mehling, 2008). Bunların dışında malzemenin sahip olması gereken diğer özellikleri aşağıdaki üç kısımdan oluşan bilgilerin ışığı altında yer almaktadır.

Termo-fiziksel özellikler;

- Seçilen malzemenin uygun sıcaklıkta faz değişimine sahip olması
- Malzemenin yoğunluğuna oranla yüksek gizli ısı kapasitesine sahip olması
- Görünün ısı katsayısının yüksek olması
- Termal iletkenlik katsayısının yüksek olması

- Hal değişimi esnasında hacimdeki değişim ve buhar baskısının düşük olması
- Katı sıvı dnüşümleri arasındaki sıcaklık farkının düşük olması (Tyagi, 2007; Sharma, 2009).

Kimyasal Özellikler;

- Hem eriyip hem donabilme özelliği
- Yaşam dngüsü olarak adlandırılan uzun süreli kullanıma sahip olması ve bu süreçte kimyasal bileşeninde bozulma olmaması
- Malzemenin çevreye duyarlı olması (Tyagi, 2007).

Ekonomik Özellikler;

- Bütçe dostu olması
- Geri dönüşümünün kolay olması
- Malzemenin temin edilebilirliğinin kolay olması (Kennisarın, 2007).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fotovoltaik panelde verim artırma konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda araştırmacılar panel yüzeyinin soğutulması (akışkan veya FDM kullanarak pasif yöntemlerle vb.) malzeme kalitesinin iyileştirilmesi, gölgelenmenin etkisi, panel yüzey kirliliğinin etkisi vb. konulara odaklanmışlardır.

Yılmaz (2005), faz değiştiren maddeleri dolgu malzemesi olarak kullanıp kuyular için termal enerji depolama sistemleri için termal enerji depolama olanaklarını araştırmıştır. Dolgu maddelerinin farklı türlerini deneylerinde kuyu modeli üzerinde test etmiştir. Deneyinde U borusu kullanılarak ısı taşıyan akışkanı değişik hızlarda dolaştırmıştır. U-borusu içindeki giriş (T giriş) ve çıkış sıcaklığını (T çıkış) sistemde sürekli durumda ölçmüştür. Bazalt dolgu maddelerinin ısıl direncini ve ısıl iletkenliğini sıcaklık ölçüm değerleri belirlemiştir. Kuyunun ısıl direncini 0.012-0.576 (K/W) arasında ve sistemin ısıl iletkenliğini 0.2-8.22 (W/mK) arasında bulmuştur.

Süpüren (2007), yaptığı çalışmada faz değiştiren maddeleri tekstil ürünlerine entegre ederek akıllı tekstil ürünlerinin üretimini gerçekleştirmiştir.

Konuklu (2008), yaptığı çalışmayı Adana ilinde bir test odasının ısıtma soğutmasını azaltmak amacıyla mikro kapsüllü faz değiştiren madde kullanarak yazın soğutma yüküne % 5-10 kışın % 10-20 katkı sağlamıştır.

Yılmaz vd. (2010), ötektik karışımlar elde etmek için farklı ağırlıktaki alkan karışımları hazırlamış ve elde edilen karışımların faz değiştiren maddeye uygun olup olmadığını termofiziksel özelliklerini inceleyerek elde etmiştir.

Yılmazoğlu (2010), depolama yöntemlerini katı, sıvı, mevsimsel, kimyasal ve faz değiştiren maddelerde olmak üzere incelemiştir. Bunları inceleyip seçim kriterlerini, yaşanabilecek verim artışlarını belirlemiş ve büyük çapta kullanıldığında verimlilik sağlayabileceğini belirtmiştir.

Önder (2011), yaptığı çalışmada polietilenlerin katı-sıvı faz değişim yoluyla ısı enerji depolama özelliklerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla politetrahidrofur ve polietilen glikol polimerlerini hazır almış, poli (1,3,5-trioksan), ve poli(1,3-dioksan) polimerlerini ise laboratuvar ortamında 3 farklı 23 molekül ağırlığında halka açılma polimerizasyonu yöntemiyle sentezlemiştir.

Sonuç olarak 4 farklı tip polieter polimerinin farklı moleköl ağırlıklarındaki türlerini ısı enerjisi depolama özellikleri için test etmiştir.

Zhou vd. (2012), yaptığı çalışmada binalarda depolanan gizli enerji ile ilgili önceki çalışmaları derlemiştir. Yaptığı bu çalışma ile empenye yöntemlerine faz değıştiren maddeleri kapsayan çeşitli uygulamalara ve ısı performans analizlerine sayısal simülasyon kullanarak değinmiştir.

Marques ve diğerlerinin (2014) yapmış olduğı bilimsel çalışmada, buzdolaplarının içinde bulunan kompresörlerin hacminin artmasına bağılı olarak meydana gelen verim artışının oluşturmuş olduğı negatif etkiyi ortadan kaldırmak amacıyla 5 mm kalınlığa sahip bir levha şeklide faz değıştiren madde kullanarak güç kaynağı olmadan 3 ile 5 saat arasında daimi bir süreç sağlanmıştır.

Ceylan vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada fotovoltaiik sistemde soğutmanın nasıl bir etki oluşturabileceğı deneysel olarak incelenmiştir. Spiral bir ısı değıştiriciyi fotovoltaiik panelin arkasına yerleştirerek soğutma yaptıklarında verimi % 13, yapmadıklarında ise % 10 olarak bulmuşlardır. Ek olarak güneş ışıını arttıkça modöl sisteminde sıcaklık değışlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

D'Avignon ve Kummert (2016), dinamik bir test tezgâhında, çeşitli çalışma koşullarında faz değıştiren madde depolama tankının performansını değışlendirmek için deneysel bir çalışma yürütmüştür. İncelenen yatay depolama tankı arasında ısı transfer sıvısı dolaşabilen levha benzeri FDM kapsülleri yığınları bulunur. Aynı test koşullarında (farklı derecelere kadar aşırı 25 soğutma ve farklı faz değıştirme sıcaklığı) altında FDM' lerin davranışında önemli derecede farklılıklar gözlemlemişlerdir.

Kabeel vd. (2016), yaptığı çalışmada faz değıştiren madde olan parafin mumunu Mısır' ın Tanta ilinde yapmıştır. Hava ısıtıcıları deneysel olarak düz ve V oluklu plaka kullanarak incelemiştir. Faz değıştiren maddeli veya maddesiz güneş hava ısıtıcılarının termal performansını etkileyen parametreleri incelemiştir. FDM kullanılan V oluklu güneş ısıtıcısının günlük verimliliğinin, FDM kullanılmayan güneş ısıtıcısına göre % 12 daha yüksek olduğı ve düz plaka kullanıldığında günlük verimliliğinin % 15 daha yüksek olduğı sonucuna varmışlardır.

Konuklu ve arkadaşları (2016), diyatomit hammaddesini kullanarak diyatomit faz değiştiren madde kompozitleri üretmiştir. Hazırlanan kompozitleri diferansiyel taramaları kalorimetre cihazı kullanarak analizleri sonucunda sentezlenen kompozitlerin erime ve donma sıcaklığını $41,97^{\circ}\text{C}$ ve $45,77^{\circ}\text{C}$, gizli ısı depo etme kapasitesinin $+45^{\circ}\text{C}$ ve -44 J/g olduğunu ve termal enerji depolama uygulamalarında kullanılabileceğini sonucuna ulaşmışlardır.

Stropnik ve Stritih (2016) yapmış oldukları çalışmada faz değiştiren malzeme kullanarak fotovoltaiik panellerin elektrik veriminin nasıl artacağı üzerine araştırma yapmışlardır. Yapılan deney sonucunda Ljubljana şehrinde faz değiştiren malzeme ile kullanılan bir fotovoltaiik panelin bir yıllık üretiminin % 7.3 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Kant vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada faz değişim malzemeleri ile birlikte kullanılan fotovoltaiik panellerin yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahip olmasından ötürü panel yüzey sıcaklığının azabileceğini öngörmüşlerdir. Kullanmış oldukları akışkanlar dinamiği programı ile yaptıkları ısı transferi modellemeleri sonucunda yüksek rüzgâr hızı ve eğim açısının panelin sıcaklığının azalmasında önemli rol oynadığını bulmuşlardır.

Sarhaddi vd. (2017), yapılan çalışmada güneşli ve yarı güneşli günlerde faz değiştiren maddelerin depolamalı ve faz değiştiren madde olmadan depolanması weir tipi kaskat bağlı 2 adet güneş enerjisi sisteminin performansını incelemiş ve enerji, ekserji analizi yapmıştır. Yarı güneşli bir gün için faz değiştiren maddeli güneş enerjisinin enerji verimini % 74.35 ekserji verimini % 8.59 bulmuştur. Absorbe edici plakada ise en yüksek tersinmezlik olduğu kanaatine varmıştır.

Guarino vd. (2017), yapılan çalışmada soğuk iklim şartlarında bir binanın güney cephesine faz değiştiren madde gömüp deneysel çalışmalar yapıp bunları simülasyonla desteklemeleri sonucunda enerji performansının uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Peng vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada fotovoltaiik panellerin yüzey sıcaklığının verim ile ilişkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda suyu soğutarak fotovoltaiik panellerin verimlerinin % 47' ye varan düzeylere çıkabileceğini ve geri ödeme süresinin % 20 azaldığını bulmuşlardır.

Andre vd. (2018), fotovoltaik sulu soğutma sisteminin ısı transferi üzerinde olumlu etkisinin olabileceğini öngörmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışmada su ile soğutulmuş panellerin verimliliklerinin % 12 civarında arttığını gözlemlemişlerdir.

Chen vd (2019), yapmış olduğu çalışmada havalandırma sistemlerinin termal enerji depolamada faz değiştiren madde ile kullanımını incelenmiştir. Çalışmada Beijing bölgesinde bir ofis odası araştırma için seçilmiştir. Odanın termal modeli ısı transfer modeli performans eğrisi çıkarılmıştır. Gece faz değiştiren madde kullanarak soğutma sağladıklarında elektrik enerjisinden sağladıkları fayda % 16.9 ile % 50.8 arasında olmuştur.

Fayaz vd. (2019), fotovoltaik termal sistemlerde ısı transferi ve performansı artırmak için yapmış oldukları çalışmada üç boyutlu COMSOL yazılımıyla numerik analiz yapıp deneysel olarak kıyaslamışlardır. Farklı debilere sahip 27° sıcaklıkta girişi olan faz değiştiren madde ile soğutma sağlayıp, maksimum % 12.4 numerik ve % 12.28 deneysel olmak üzere elektrik verimliliği elde etmişlerdir. Benzer şekilde fotovoltaik panelin faz değiştiren maddeyle yapıldığı durumlarda sırasıyla deneysel ve numerik durumlarda % 12.75 ile % 12.59 elektriksel verimine ulaşmışlardır.

Hossain vd (2019), yapmış olduğu çalışmada fotovoltaik termal sistemlerde faz değiştiren maddenin enerji ve ekserji analizini yapılmıştır. Faz değiştiren madde olarak lorik asidi alüminyum folyo paketlerin içerisinde akış kanalının içerisine koyup dakikada 0.5 ile 4 litre arasında farklı debilerde çalıştırıp kollektörler için maksimum termal verim % 87.72 olarak bulunmuştur. Dakikada 2 litre debi kullandıklarında ise maksimum elektrik verimi % 9.88 ile % 11.08 arasında bulunmuştur. Maksimum ekserji verimi ise % 7.09 ile % 12.19 arasında bulunmuştur.

Bizim çalışmamızda da fotovoltaik panel yüzey sıcaklığının artmasından dolayı oluşan verim kaybının azaltılması için faz değiştiren madde kullanarak panelin yüzey sıcaklığı optimum sıcaklığa düşürülmeye çalışılmış panelde verim iyileştirilmesi sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deney seti Batman Üniversitesi merkez kampüs terasında Ağustos ayı boyunca gerçekleştirilmiştir. Işınım değerleri $11-919 \text{ W/m}^2$ aralıklarda değişmiştir. Deney yapımında bir adet multimetre, 2 adet güneş paneli, 9 kg faz değiştiren madde, iki adet kayıt cihazı, 8 adet K tipi termokupl, 1 adet laptop 6 adet direnç kullanılmıştır. Sistemin kayıt esnasında çekilmiş görseli Şekil 3.1.' de görülmektedir. Kayıt cihazı ve bilgisayar aşırı ısınmaya maruz kalmaması sebebiyle örtülmüştür. Deneylerin yapılmasında 22.10 V değerinde açık devre gerilimi ve 7.30 A kısa devre akımına sahip 114 cm uzunluğu 67 cm genişliği olan iki adet eş 125 W gücünde güneş paneli kullanılmıştır. Güneş panelleri içerisine yurtdışından ithal edilmiş olan 30°C erime sıcaklığı, 140 kJ/kg erime ısısı ve 1.71 g/ml yoğunluğa sahip kalsiyum klorür hekzahidrat kullanılmıştır (Anonim, 2019f).



Şekil 3.1. Deney seti



Şekil 3.2. Sıcaklık kayıt cihazı

Ölçümlerin yapılması için Elimko 680 adlı sıcaklık kayıt cihazı kullanılmıştır. Bu kayıt cihazı, 96x192 mm boyutlarında, çalışma sıcaklığı -10 ile +55 arasında, 4 W güç tüketen, IEC/TR 60668 standardına uygundur. Endüstriyel ve universal girişli bir kayıt cihazı olan Elimko 680 kullanıcısı tarafından kolaylıkla kodlanabilir. Kayıt cihazı, (Data logger) 32 adet farklı noktadan aldığı verileri gösterge kısmında gösterir ve çalışma prensibi olarak bu ölçümleri iki tane referans noktasına gönderip birbiriyle karşılaştırdıktan sonra alarm durumlarını belirler. Bu durum ortak alarm veya bağımsız alarm rölelerine yönlendirilir.



Şekil 3.3. Voltaj kayıt cihazı

Voltaj kayıt cihazı olarak GRAPHTEC midi LOGGER GL240 serisi kullanılmıştır. Dört ayrı çıkış ve girişle güçlendirilmiş 10 adet analog kanala sahip bir cihazdır. Ayrık girişli sinyalleri, mantıksal veya anlık bir grup olarak yapılandırılabilir.

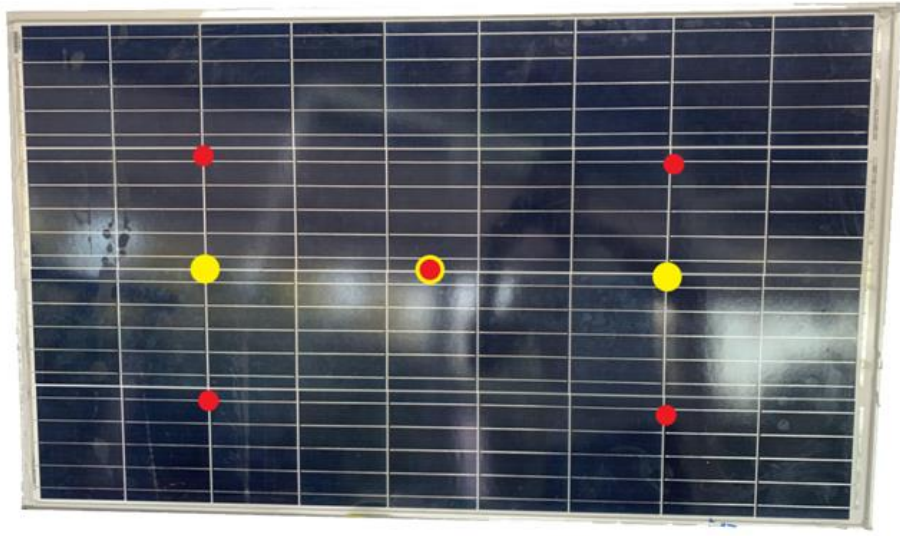
Anlık bir veri için programlandığında her bir dört kanalın frekansı ölçülebilmek veya sayabilmek için kullanılır. Dört ayrı çıkış, çeşitli kolayca tanımlanabilen analog ve darbe / ayırık giriş kanalı koşulları tarafından tetiklenebilen alarmlardır. Kayıt cihazı analog giriş kanallarının her biri, 12 aralıkta 20 mV ile 100 V tam skala arasındaki bir doğrudan bağlı voltajı ölçmek veya sıcaklığın ölçülmesi için herhangi bir türden doğrudan bağlı bir termokupl için yapılandırılabilir. $\pm 0.1\%$ hata payı ile 20 mV tan 100 V kadar görülebilen tüm voltaj değerlerini kayıt edebilir.

3.1. Deneysel Yöntem



Şekil 3.4. Faz değiştiren malzeme

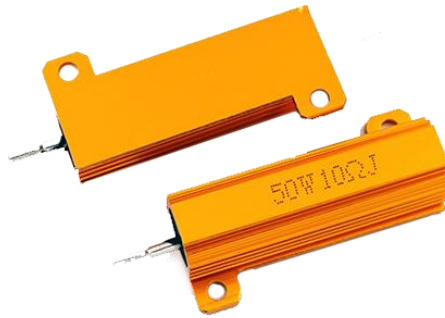
Ürün Şekil 3.4.' de görüldüğü gibi faz değiştirmeden önce buz kıvamında faz değiştirdikten sonra ise tamamen sıvı hale gelmektedir. Kullanılan faz değiştiren malzeme güneş panelinin arka kısmına gömülmesi gerektiğinden kablo kısımlarının sağ tarafta kalan kısmını sağ, sol tarafta kalan kısmını sol taraftan olmak üzere jet taşı yardımıyla bir kanal açarak dışarı çıkartılmıştır. Malzemenin elektrik sisteminin bulunduğu kutuyu sıvı temasından korumak için silikon ile kaplanmıştır. Bu aşamalar sonunda malzemenin dışarıya taşma, fazla sıvı yüküne dayanamama ve son olarak köşedeki alüminyum panellerin malzemeyi sızdırma sonucu deney düzeneği için ek olarak altına ham maddesi sac olan bir kasa yapılmıştır.



Şekil 3.5. Güneş paneli üzerindeki kayıt yerleri

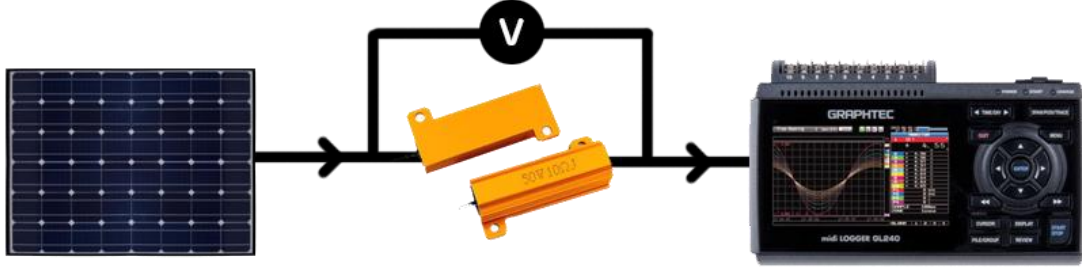
Şekil 3.5.' de görüldüğü üzere kırmızı renkle gösterilen 5 farklı noktadan FV panelin ortalama yüzey sıcaklık değerleri alınmıştır. Sarı renk ile belirtilen 3 noktada termokupllar zemin ile FDM arasında 0.5 cm kalacak şekilde yerleştirilmiş ve ortalama sıcaklık değeri alınmıştır. Termokupl malzemenin içine yerleştirildikten sonra tekrar açılması zor olacağı için bir parça üzerine kanal açılarak yapıştırılmış ve daha sağlam bir yapı oluşturulmuştur. Ölçüm yapılacak olan FV panelde mevcut olan kabloların yapılmış olan saç tabakadan geçmesi için matkap yardımıyla delikler, tabakanın merkezinden simetrik olacak şekilde açılmıştır. Faz değiştiren malzemenin sıcaklıklarının ölçülmesi için gene matkap yardımıyla tabaka yüzeyinde 3 adet delik açılmıştır. Ölçümlerin negatif çıkmaması için eksi olan kısım işaretlenmiştir. Malzemenin zemin ile olan teması FV panellerin altına toplamda 8 adet 3 cm yüksekliğinde dikdörtgen şeklinde takoz konularak engellenmiştir.

Güneş panelinin maksimum güç noktasını belirlemek için 0 ile 100 Ω arası wathlı dirençler kullanılarak maksimum güç noktası tespit edilmiştir. Ulaşılan 3.3 k Ω direnç değeri 125 W gücündeki güneş panelini maksimum yükte çalıştırabilecek değerdedir.



Şekil 3.6. Wathlı Direnç

Şekil 3.6.' da görülen direnç 50 W 10 Ω değerindedir. Yapılmış olan deney setinde panel başına 3 adet paralel bağlı direnç kullanılmıştır. Böylelikle eşdeğer devrede 3.3 Ω elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Devre şeması

Şekil 3.7.' de görüldüğü gibi voltaj değeri dirençler üstünden voltaj kayıt cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Akım değeri ise ölçülen voltaj değerinin direnç değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

3.2. Hesaplama Yöntemi

Panel verimliliği ve çıkış gücü, panel üzerinde kullanılacak olan direncin değerinin belirlenmesi için gerekli olan formüller aşağıda belirtilmiştir.

P: Panelin gücü birimi Watt (W)

V: Panelin voltaj birimi Volt (V)

I: Panelin akımı birimi Amper (A)

η : Panelin verimi

Q = Isı enerjisi birimi (kJ)

L = Erime ısısı (kJ/kg)

R = Direnç (Ω)

m = Madde miktarı (kg)

$$\eta = (P_{\text{çıkış}}/P_{\text{giriş}}) \times 100 \quad (3.1)$$

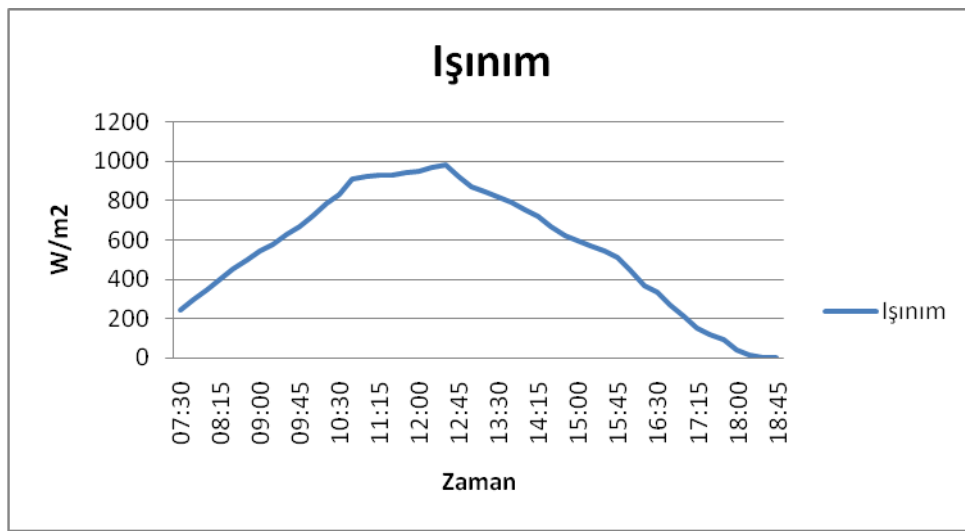
$$Q = mL \tag{3.2}$$

$$V = IR \tag{3.3}$$

$$P = IV \tag{3.4}$$

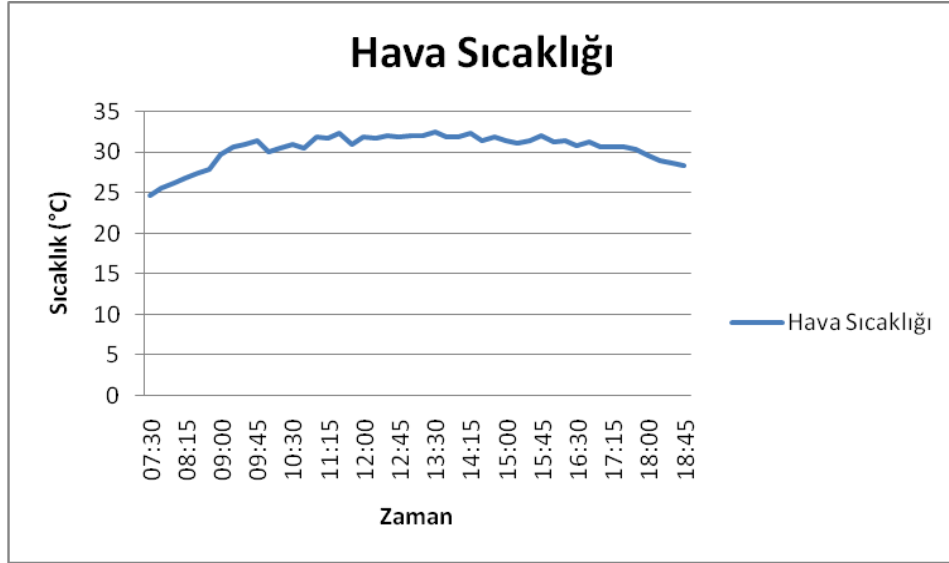
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deney sonuçları ve yapmış olduğumuz hesaplamalar sonucunda ışıınım, hava sıcaklığı, akım, gerilim, güç, yüzey sıcaklığı, verim grafikleri elde edilmiştir. Fotovoltaik panellerde bilindiği üzere hava sıcaklığı, radyasyon ve elektrik üretimi için önemli bir rol oynar. Sıcaklık arttıkça ısınan FV panelde verim düşüşü görülmektedir. Yüzeye dik gelen ışıınım arttıkça FV panelden elde edeceğimiz elektrik enerjisi de artacaktır.



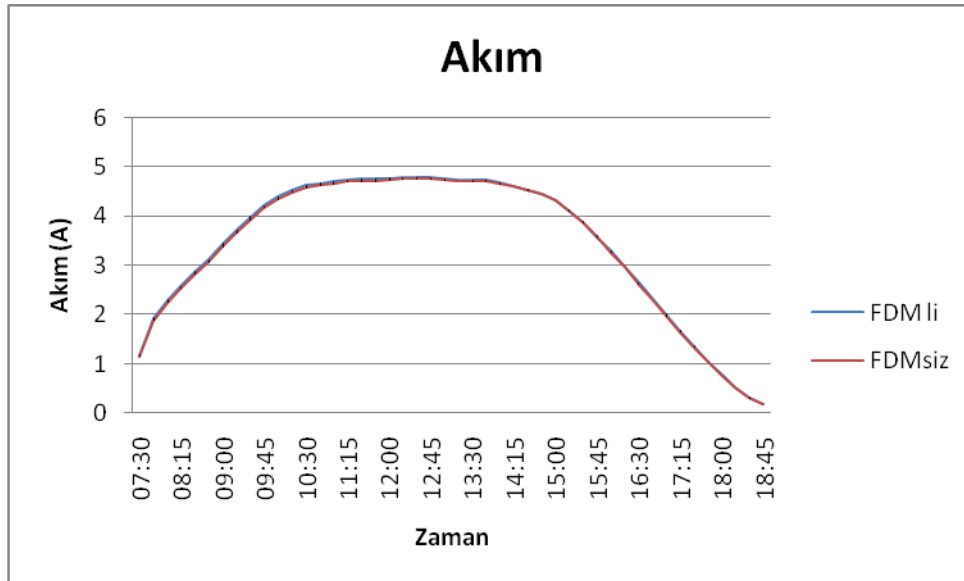
Şekil 4.1. Anlık Işınım-zaman değişimi

Şekil 4.1.' de ışıınım değerlerinin zamana bağlı olarak grafiği görülmektedir. En yüksek radyasyon değeri saat 12:30 da 981 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Güç, voltaj ve akım grafiğinde de olduğu gibi saat 12:30 esnasında en yüksek değerler ölçülmüştür ve bu grafik diğer grafikleri destekleyici niteliktedir.



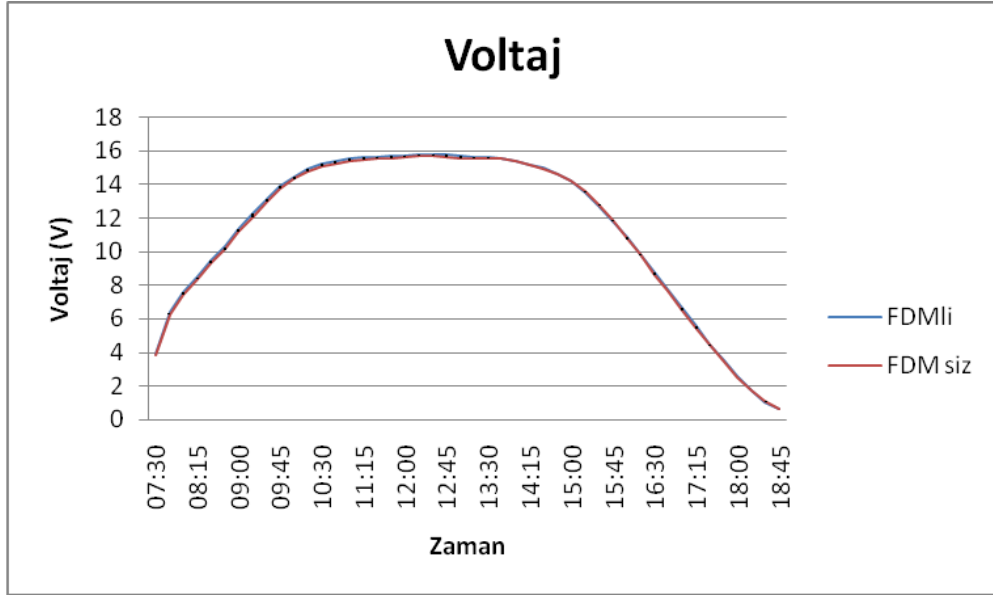
Şekil 4.2. Hava sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.2. 'de maksimum hava sıcaklığı saat 13:30' da 32.47 °C derece iken minimum hava sıcaklığı ise saat 7:30' da 24.62 °C olarak ölçülmüştür.



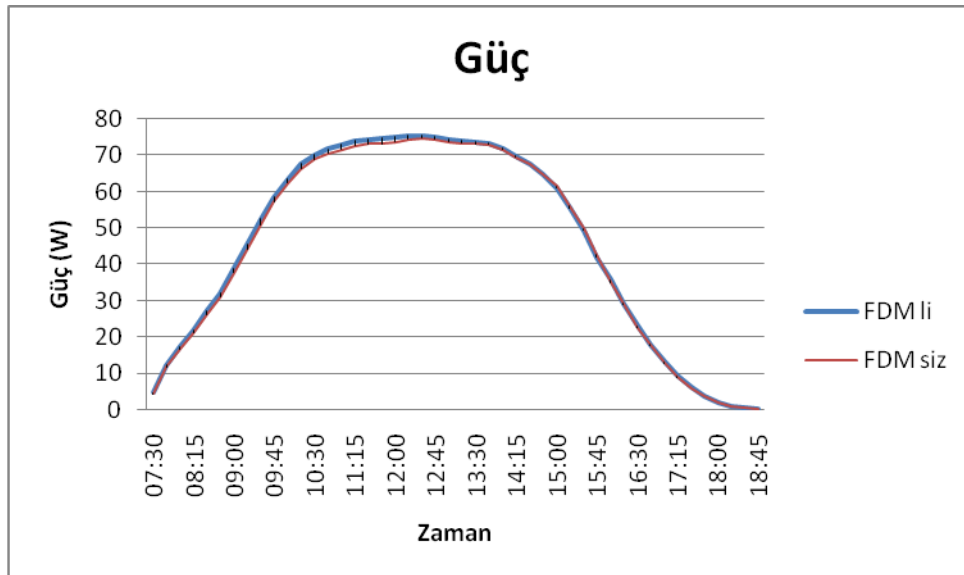
Şekil 4.3. Akım-zaman değişimi

Şekil 4.3.' de görüldüğü üzere güneşin yükselmesi ile birlikte güneş ışınlarının panel yüzeyine daha dik düşmesi sonucu panelin üretim kabiliyeti artmakta ve daha yüksek akımlar verebilmektedir. Faz değiştiren madde kullanılarak elde edilmiş maksimum akım değeri saat 12:30 da 4.78 A okunmuş buna karşın faz değiştiren madde kullanılmadan aynı saatte 4.75 A okunmuştur.



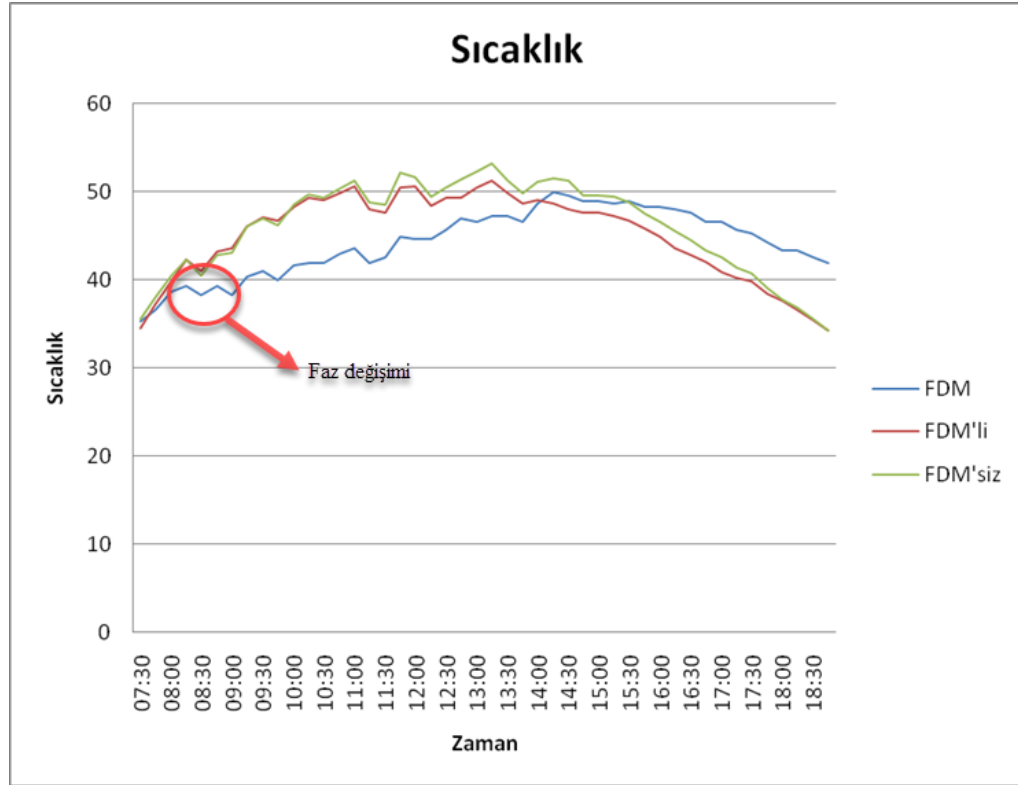
Şekil 4.4. Voltaj – zaman değişimi

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere güneş ışınlarının FV panel yüzeyine dik düşmesi sonucu voltaj değerinde artış görülmüştür. Faz değiştiren madde kullanılarak elde edilmiş maksimum voltaj değeri saat 12:30 da 15.78 V okunmuş buna karşın faz değiştiren madde kullanılmadan aynı saatte 15.7 V okunmuştur.



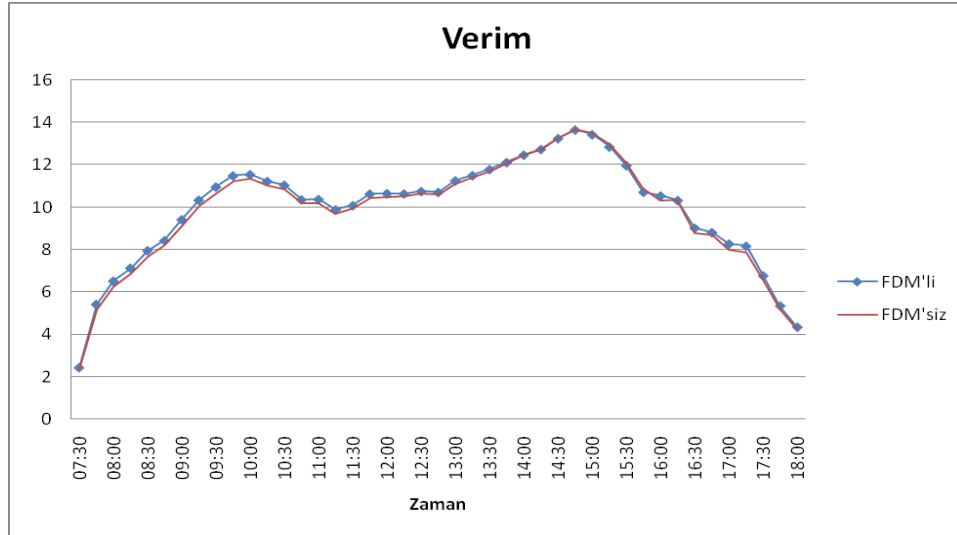
Şekil 4.5. Güç-zaman değişimi

Akım ve gerilim grafiklerinin çarpımı olan güç grafiği FV panelin yüzeyine gelen güneş ışınlamı arttıkça artmaktadır. Şekil 4.5.' de görüldüğü üzere öğlen vaktine doğru güç maksimum değerine ulaşmış ve tekrar azalmaya başlamıştır. Faz değiştiren madde kullanılarak elde edilmiş maksimum güç değeri saat 12:30 da 75.45 W okunmuş buna karşın faz değiştiren madde kullanılmadan aynı saatte 74.69 W okunmuştur.



Şekil 4.6. FV panel yüzeyleri ve FDM' nin sıcaklıklarının zamanla değişimi

Şekil 4.6.' da görülen grafikte zamana bağlı sıcaklık grafiği görülmektedir. Kırmızı ve yeşil çizgi FV panelin yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Saat 13:15' de FDM' li FV panel yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri 51.2°C buna karşın FDM' siz olan FV panelde ise 53.26°C maksimum değerler görülmüştür. Faz değiştiren malzemenin sıcaklığı saat 14:15' de maksimum olarak 50°C olarak ölçülmüştür. Deneyde kullanılan 9 kg faz değiştiren malzememiz yapılan hesaplamalar sonucunda 8:00 ile 9:00 arasında 1 saat süre zarfında faz değiştirmiştir.



Şekil 4.7. FV panellerin verim-zaman değişimi

Güneşin yükselmesi ve buna bağlı olarak artan radyasyon ve yüzeye dik gelen güneş ışınları vb. faktörler fotovoltaik panelin verimini artırmaktadır. Şekil 4.7.' de görüldüğü gibi 9:00 ile 9:30 arası FDM etkisini açık bir şekilde göstermiştir. Maksimum verim değeri 14:45' de % 13.65 olarak görülmüştür. 14:45' de verimin maksimum çıkmasının sebebi radyasyonun 2 saat 15 dakika içindeki yüzdelik değişimine karşın güç değerinin yüzdelik değişiminin fazla olmasından kaynaklıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Artan enerji ihtiyacını karşılamak için artık günümüzde fosil yakıtların kullanılması yetersiz kalmaktadır. Buna bir çözüm olarak çevre dostu olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan enerji üretimi hızla artmaktadır. Artan nüfus ve buna bağlı olarak büyüyen enerji ihtiyacını karşılamak için artık sadece enerjiyi üretmekle yetinmeyip aynı enerji kaynağından daha fazla verim alabilir miyiz diye sorular sorulmaya başlandı. Yapılan bu çalışmada temiz yenilenebilir çevreye duyarlı olan güneş enerjisi kullanarak fotovoltaik panellerin elektrik üretiminde daha verimli olabilmesi için faz değıştiren madde kullanarak panel yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklığı azaltıp verim artışı sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu çalışmada kalsiyum klorür hekzahidrat adlı faz değıştiren malzeme kullanılarak FV panel soğutulmuş ve ışı nım, hava sıcaklığı, akım, gerilim, güç, yüzey sıcaklığı, verim grafikleri elde edilmiştir. FDM' nin kullanılması ile FV paneldeki verim artışı % 2.95 olarak ölçülmüştür. Akım ve gerilim için maksimum artış % 1.46 elde edilmiştir. Elde edilen sonuç FV panellerin verim artışı için küçük çaplı düşünöldüğünde düşük fakat büyük çaplı yatırımlarda önemli bir rol oynayacaktır.

5.2. Öneriler

Faz değıştiren maddelerin fotovoltaik panellerinde kullanılması sıcaklıktan ötürü oluşan verim kaybını önleyip daha yüksek güç elde etmeye olanak sağlamaktadır. Fotovoltaik panellerde verim artışı ve maliyetlerin düşmesi FV panele kullanımını artıracaktır. FDM li sistemlerde uygun FDM seçimi, maliyet, kolay bulunabilmesi, sızdırmazlık konuları önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Abhat, A., 1983. Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Materials. *Solar Energy*, 30, 313-332.
- Andrea, F., Fernandes, JFP., Branco, PJC, “Demonstration Project of a cooling system for existing PV power plants in Portugal”, *Applied Energy*, 211:1297- 1307 2018.
- Anonim, 2018a <http://globalsolaratlas.info/?c=43.580391,547.734375,2>
- Anonim, 2018b <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>
- Anonim, 2018c <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/germany>
- Anonim, 2018d <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey>
- Anonim, 2019a <https://dipnots.com/2019/03/24/gunes-paneli-nasil-calisir-gunes-pili-nedir/>
- Anonim, 2019b <http://www.giantnew.com/en/product/Aluminum-frame-for-double-glass-Modules.html>
- Anonim, 2019c <http://vtog.jewellinks.fr/typical-solar-panel-wiring-diagram.html>
- Anonim, 2019d <http://sundisksolar.buy.ecer.com.ru/pz58b4bed-90w-solar-panel-monocrystalline-silicon.html>
- Anonim, 2019e <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/photovoltaic-types.html>
- Anonim, 2019f <https://www.semanticscholar.org/paper/Thermal-cycle-testing-of-calcium-chloride-as-a-PCM-Tyagi-Buddhi/>
- Büktaş, B., “Güneş Enerjisi İnsanlığın Hizmetinde”, Bilim ve Teknik, Sayı: 142, S:20- 23,Eylül 1979.
- Boz O .2011. Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

- Başal, B., 2007. Eş Eksenli Uç Borulu Isı Eşanjörlerinde Faz Değiştiren Madde Kullanarak Isıl Enerji Depolanmasının İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Trabzon.
- Chen, X., Zhang, Q., Zhai, Z. J., Ma, X. 2019. Potential of ventilation systems with thermal energy storage using PCMs applied to air conditioned buildings. *Renewable Energy*, 138: 39–53.
- Ceylan, İ., Gürel, A.E., Demircan, H., Aksu, B., “Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector”, *Energy and Buildings*, 72: 96-101 2014
- D'Avignon K.,Kummert M., 2016. Experimental Assessment of a Phase Change Material Storage Tank. *Applied Thermal Engineering*, 28p, Canada.
- Dikici, D.,2004. Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED), Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erkul A 2010. Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fayaz H. , Rahim N.A., Hasanuzzaman M., Nasrin R., Rivai A., 2019. “Numerical and experimental investigation of the effect of operating conditions on performance of PVT and PVT-PCM,” *Renew. Energy*, vol. 143, syf. 827–841, Kas. 2019.
- Guarino F.,Athienitis A., Cellura M., Bastien D., 2017. PCM Thermal Storage Design in Buildings: Experimental Studies and Applications to Solaria in Cold Climates. *Applied Energy*, 185, 95-106.
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Islam, M. M., Tyagi, V. V. 2019. Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system: Energy, exergy and economic analysis. *Renewable Energy*, 136:, 1320–1336.

- Ibrahim, H., Ilincă, A. and Perron, J., 2008, "Energy storage systems Characteristics and Comparisons", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5):1221–1250.
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Biwale, P.H., "Heat transfer studies of photovoltaic panel coupled with phase change material", *Solar Energy*, 140: 151-161 2016.
- Kabeel A.E., Khalil A., Shalaby S.M., Zayed M.E., 2016. Experimental Investigation of Thermal Performance of Flat and V-Corrugated Plate Solar Air Heaters with and without PCM as Thermal Energy Storage. *Energy Conversion and Management*, 113, 264-272.
- Kenisarin, M., and Mahkamov, K., 2007. Solar energy storage using phase change materials, *Renew. Sus. Energy Rev.*, 11, 1913-1965.
- Küpeli A. Ö., 2005. Güneş pilleri ve verimleri. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Konuklu, Y., 2008. Mikro kapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 172s, Adana.
- Konuklu, Y. & Ersoy, O. & Ömür P., Halime & E. ,Ç. Toraman, O., 2017. TERMAL Enerji Depolama Materyali Olarak Diyatomit/Faz Değiştiren Madde Kompozitlerinin Üretilmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 6. 238-243.
- Mazman M., 2006. Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 200s, Adana.
- Marques, A.C., Davies, G.F., Maidment, G.G., Evans, J.A., Wood, I.D., 2014. Novel design and performance enhancement of domestic refrigerators with thermal storage. *Applied Thermal Engineering* 63 511-519.
- Mehling, H., Cabeza L. F., 2008. Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications, Springer, Berlin, Germany.

- Nomura T, Sheng N, Zhu C, Saito G, Hanzaki D, Hiraki T, et al, 2017. Micro encapsulated phase change materials with high heat capacity and high cyclic durability for high temperature thermal energy storage and transportation. *Appl. Energy*; 188:9–18.
- Özonur, Y., 2004. Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikro kapsüllenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 148s, Adana.
- Önder, M.Ü., 2011. Polieterlerin Katı-Sıvı Faz Değişim Yoluyla Isıl Enerji Depolama Malzemesi Olarak Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu. Gaziomanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Tokat.
- Peng, Z., Herfatmanesh, M.R., Liu, Y., “Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation”, *Energy Conversion and Management*, 150: 949-955 2017
- Sarhaddia F.,Tabrizi F.F., Zoori H.A., Hossein S.A., Mousavi S., 2017. *Energy Conversion and Management*, 133, 97-109.
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., and Buddhi, D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,13, 318-345.
- Süpüren, G., 2007. Faz Değiştiren Maddelerle Kombine Edilen Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s,İzmir.
- Suppes G.J.,Goff M.J., Lopes S., 2003. Latent Heat Characteristic of Fatty Acid Derivatives Pursuant Phase Change Material Applications. *Chemical Engineering Science*,58,1751-1763.
- Şahan N., 2011. FazDeğiştirenMaddelerin Nano Malzemelerle Kullanımının Araştırılması. Cukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitusu, Yuksek Lisans Tezi, 66s, Adana.
- ŞEN Zekâî, “Temiz Enerji ve Kaynakları”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002

- Tyagi, V. V., Buddhi, D., 2007. PCM Thermal Storage in Buildings: A State of Art, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 11, 1146 - 1166.
- Ültanır, M.Ö., “21. Yüzyılın Esiginde Güneş Enerjisi”, *Bilim ve Teknik*, Sayı: 340, S:50-55, Mart 1996.
- Wiley J&Sons, Chichester, England, (2003). A. Luque and S. Hegedus, editors. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.
- Xu H, 2017 Romagnoli A, Sze JY, Py X. Application of material assessment methodology in latent heat thermal energy storage for waste heat recovery. *Appl Energy* 187:281–90.
- Yılmazoğlu, M.Z., 2010. Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Journal of Polytechnic*, 13(1), 33-42.
- Yılmaz, M.Ö., 2005. Yeraltı Termal Enerji Depolamada Kullanılan Farklı Dolgu Maddelerinin Termal Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, Adana.
- Yılmaz, S., Gök, Ö., Beyhan, B., Şahan, N., Paksoy, H.Ö., 2010. Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolama Sistemleri için İkili Alkan Karışımları. Dokuzuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-9), 22-25 Haziran, Ankara.
- Zalba, B., Marin, J., Cabeza, L., and Mehling, H., 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, 251-283.
- Zhou D., Zhao C.Y., Tian Y., 2012. Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials (PCMs) in Building Applications. *Applied Energy*, 92, 593–605.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İzzettin Enes ŞEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : 04/11/1991
Telefon : 5364719166
Faks :
e-mail : ienessen@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Basut Koleji, Merkez, Batman	2009
Üniversite	: Bahçeşehir Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce, Arapça (başlangıç)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Şen,İ.E., Yıldırım, N., ve Tacer, E., "Güneş Enerji Santrallerinin Teknolojik ve Sosyal Etkileri", ELECO 2014 Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyum ve Fuarı Kasım 27-29, 2014.

Gündoğdu A., Şen İE., Karakaya H., Fidan Ş., Analysis and Evaluation of the photovoltaic solar energy potential in Batman province. International Engineering Conference (IEC'2017), October, 2017 Antalya.