

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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞAL ZEOLİT PLAKASI İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ FOTOVOLTAİK
TERMAL SİSTEMİN (PVT) DENEYSEL OLARAK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert ÜZEL

**OCAK 2020
UŞAK**

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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞAL ZEOLİT PLAKASI İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ FOTOVOLTAİK
TERMAL SİSTEMİN (PVT) DENEYSEL OLARAK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert ÜZEL

UŞAK 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mert ÜZEL



DOĞAL ZEOLİT PLAKASI İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEMİN (PVT) DENEYSEL OLARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mert ÜZEL

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

Lisansüstü Eğitim Bilimleri

Ocak 2021

ÖZET

Güneş enerjisi, en yaygın kullanılan yenilenebilir enerjilerden biridir. Günümüzde PV hücreler üzerine düşen güneş ışınımı spektrumları, ışınımların sadece bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilir. Elektriğe dönüştürülemeyen kısım, panel üzerinde ısı yükü açığa çıkarır. Oluşan bu ısı yükünü sistemden uzaklaştırmak için PVT sistemler geliştirilmiştir. PVT sistemler, tek panelde hem elektrik hem de termal enerji üretmektedir. Ancak gün içerisinde meydana gelen gölgelenme, güneş ışınımı, çevre sıcaklıkları istenilenin dışında bir sonuç ortaya koyduğu için kararlı olmayan bir ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Kararlı ve stabil termal enerji elde için faz değiştiren malzemeler, PVT sistemler kullanılmaya gelmiştir. Ancak bu malzemelerin; maliyetlerinin fazla olması, sağlığa zararlı olması ve kullanıldığı bölgelerin erime sıcaklıklarının farklılık göstermesi dezavantaj olarak gösterilebilir. Bu çalışmada, literatürde ilk kez olmak üzere, reçine oranı belirlenerek 3 farklı tanecik boyutuna sahip doğal zeolitlerden plakalar üretilmiştir. Bu plakalar; Zeolit1 (Z1), Zeolit2 (Z2), Zeolit3 (Z3) ısı iletkenlik değerleri 0.514 W/mK, 0.549 W/mK ve 0.549W/mK olarak hesaplanmıştır. Doğal zeolitli plakalar ile bütünleştirilmiş PVT sistemin toplam verimi %38 olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 10321906

Anahtar kelimeler : Fotovoltaik Termal Sistemler, Doğal Zeolit, Termal Enerji Depolama, Faz değiştiren malzemeler

Sayfa Adeti : 80

Tez yöneticisi : Doç. Dr. Canan KANDİLLİ

**INVESTIGATION OF THE EXPERIMENTAL PERFORMANCE OF A
PHOTOVOLTAIC THERMAL SYSTEM (PVT) INTEGRATED WITH A NATURAL
ZEOLITE PLATE**

(M.Sc. Thesis)

Mert ÜZEL

**UNIVERSITY OF UŞAK
SCIENCE INSTITUTE**

January 2020

ABSTRACT

Solar power is one of the most common used renewable energies. Today, PV cells can convert only some of the sun radiation spectrums that fall upon it. Therefore, the remaining radiation spectrums that cannot be converted into electric energy reveals heat load. Therefore, PVT systems are developed to remove the composed heat load from the system. PVT systems produces not only electricity but also thermal energy in one panel. However, an unstable caloric energy occurs because of the bathos, sun radiation and environmental temperatures going on during the day exhibit an unintended consequence. PVT systems and phase changing materials have been used to achieve a determined and a stabile thermal energy. Nevertheless, high cost, being unhealthy to the environment and the melting temperature that differs from place to place can be shown as a disadvantage to those materials. For the first time in literature, with this study, plates are been produced from the natural zeolites which have three different granule sizes by identifying the optimum ratio of resin. Thermal conductivity values of the plates are respectively calculated as 0.514, 0.549 ve 0.549W/mK for Zeolite1 (Z1), Zeolite2 (Z2) and Zeolite3 (Z3). The total efficiency of the PVT system integrated with natural zeolite plates was calculated as 38%.

Science Code : 10321906

Keywords : Photovoltaic Thermal Systems, Natural Zeolite, Thermal Energy Storage, Phase-changing materials

Number of page: 80

Supervisor : Doç. Dr. Canan KANDİLLİ

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendilerine ne zaman danıősam değerli vakitlerini ayırarak büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan, samimiyetini ve güler yüzünü benden hiçbir zaman esirgemeyen, çok kıymetli ve saygıdeğer danıőman hocam; Doç. Dr. Canan KANDİLLİ'ye teőekkürü borç bilir, őükranlarımı sunarım.

Aynı zamanda engin tecrübeleriyle gelecekteki hayatıma yön veren, bana fikirleriyle daima yol gösteren, kıymetli Araç. Gör.Dr. Halil Murat ENGİNSOY' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmalarımın her noktasında bana yardımcı olan ve destekleriyle daima yanımda hissettiğim aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez alıőması, 5180034 Nolu TÜBİTAK projesi kapsamında yürütölmüőtür.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ BİLDİRİMİ.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEMLER.....	2
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
4. TEZİN AMACI, ÖNEMİ VE KAPSAMI	19
4.1 Amaç	19
4.2 Önem.....	20
4.3 Kapsam	21
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
5.1 Zeolit ve Bağlayıcı Malzemelerin İncelenmesi	23
5.2 PV Panel Üretim Aşamaları	25
5.3 Bakır Serpantin Üretimi	29
5.4 Plakaların Üretimi	31
5.5 Plakaların Isıl İletim (k) Değerlerinin İncelenmesi	32
6. DENEY TASARIMI	35
7. KURAMSAL ANALİZ.....	43
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
8.1 Malzemelerin Termofiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi	47
8.2 Bağlayıcı Malzeme	54
8.3 Plaka seçimi.....	56

8.4	PV Panel	56
8.5	PVT SİSTEM	58
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
10.	KAYNAKLAR	61
	ÖZGEÇMİŞ.....	65



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 3. 1 Literatür taraması özet çizelgesi.....	12
Çizelge 6. 1 Cihaz tablosu	40
Çizelge 8.1. 1 Karışım ve plaka ısı iletkenlik değerleri (W/mK).....	47
Çizelge 8.1. 2 Malzemelerin yoğunluk değerleri	47
Çizelge 8.1. 3 30°C sıcaklıktaki özısı değerleri için malzeme özellikleri	50
Çizelge 8.1. 4 50°C sıcaklıktaki özısı değerleri için malzeme özellikleri	51
Çizelge 8.1. 5 80°C sıcaklıktaki özısı değerleri için malzeme özellikleri	51
Çizelge 8.1. 6 100°C sıcaklıktaki özısı değerleri için malzeme özellikleri	51
Çizelge 8.2. 1 Farklı reçine oranlarında Z1 toz hali ısı iletkenlik değerleri.....	55
Çizelge 8.2. 2 Farklı reçine oranlarında Z1 plakalarının ısı iletkenlik değerleri.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil2. 1 PVT sistemlerinin genel sınıflandırması	4
Şekil2. 2 PVT sistemlerinin başlıca kullanım alanları	4
Şekil5. 1 Malzeme ve yöntem	34
Şekil6. 1 Tasarım özeti	42
Şekil 7. 1 PVT sisteminin deney şeması	44
Şekil 8.1. 1 Z1 için özısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	48
Şekil 8.1. 2 Z2 için özısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	49
Şekil 8.1. 3 Z3 için özısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	49
Şekil 8.1. 4 Fenolik Reçine için özısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	50
Şekil 8.1. 5 Farklı tanecik büyüklüğündeki zeolitlerin ısı yayınımlarının sıcaklığa bağlı değişimi	53
Şekil 8.1. 6 Bağlayıcı ısı yayınımlarının sıcaklığa bağlı değişimi	54
Şekil 8.4. TSE Enerji Teknoloji Laboratuvarı mono ve polikristal PV panel test sonuçları	57
Şekil 8.5. 1 GAPYENEV doğal zeolitli PVT sistem termal test sonucu	58
Şekil 8.5. 2 Doğal zeolitli PVT sistem elektriksel verimleri	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 5.1. 1 Yoğunluk ölçümü	23
Resim 5.1. 2 Saf malzemelerin ısı iletkenlik ölçümleri.....	24
Resim 5.1. 3 Karışım malzemelerinin ısı iletkenlik ölçümleri.....	24
Resim 5.2. 1 Güneş hücrelerinin panel yapımı için hazırlanması	25
Resim 5.2. 2 Güneş hücrelerinin panel yapımı için seri ve paralel bağlanması	26
Resim 5.2. 3 Güneş hücrelerinin birleştirilmesi	26
Resim 5.2. 4 Güneş hücrelerinin laminasyonu ile PV panel üretilmesi	27
Resim 5.2. 5 Çalışma kapsamında Enerji Laboratuvarında üretilen PV paneller	28
Resim 5.3. 1 PVT bakır serpantinleri üretim aşamaları	29
Resim 5.4. 1 Zeolit Plakası üretme ilk denemeleri.....	31
Resim 5.4. 2 Plakanın kalıp içerisinde hazırlanması	31
Resim 5.5. 1 Plakaların ısı iletim değerlerinin incelenmesi	32
Resim 6. 1 PV Modülün arkasına bakır levhanın birleştirilmesinin görünümü	35
Resim 6. 2 Doğal Zeolitli Plakaların PVT sistem ile bütünleştirilmesi	37
Resim 6. 3 PVT elektriksel performans ölçüm testi.....	38
Resim 6. 4 Güneşi izleyen performans test standı.....	39
Resim 6. 5 Performans test kontrol üniteleri	40

TABLO LİSTESİ

Tablo 8.1. 2 Doğal zeolitin özısı değerleri	52
Tablo 8.1. 3 Reçinenin ve PVA'nın özısı değerleri.....	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
PVT	Fotovoltaik Termal
FDM	Faz Değiştiren Malzeme
PV	Fotovoltaik
NPV	Net Bugünkü Değer
SCPP	Güneş Baca Santrali
CRF	Sermaye İyileştirme Faktörü
SPECO	Özel Ekserji Maliyeti
Z1	ZEOLİT-1
Z2	ZEOLİT-2
Z3	ZEOLİT-3
RT	Rubitherm
EVA	Etil Vinil Asetat
GAPYENEV	Güney Anadolu Projesi Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi

Simgeler	Açıklama
I	Güneş Işınımı (W/m^2)
\dot{W}_{PV}	Üretilen Elektriksel Güç
$\dot{Q}_{kayıp}$	Yer Yüzündeki Işınım ve Taşınım Kayıpları
$\dot{Q}_{PV,kayıp}$	PV Tabakalarındaki İletim Kayıpları
$\dot{Q}_{absorber}$	Absorber'a gelen güç
$\eta_{PV,modül}$	PV modülün elektriksel dönüşüm verimi
$\dot{Q}_{taşınım}$	Taşınım ile oluşan ısı kayıpları
$\dot{Q}_{ışınım}$	Işınım ile oluşan ısı kayıpları
h_w	Rüzgârla taşınım ısı transfer katsayısı

A	PV modülün yüzey alanı
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_a	Dış sıcaklık
ρ	Yoğunluk
m	Kütle
v	Hacim
ε	Emissive



1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte ham madde tüketiminin arttığı, petrol, kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen konvansiyonel enerji kaynaklarının giderek tükendiği ve özellikle sera gazlarının etkisiyle çevre ve insan sağlığının tehdit altında olmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaktadır. Güneş, en önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, yaymış olduğu ışınım ile enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneş enerjisi; farklı uygulama alanı bulabilen, ilk kurulum maliyetinden sonra herhangi bir yakıt gideri gerektirmeyen, bunun yanında bakım - işletme maliyetinin düşük olması, sürdürülebilir olması, çevreye zarar vermemesi ve en önemli özelliklerinden biride ülkemizin bulunduğu konum itibariyle güneşlenme süresinin uzun olması gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Ancak güneş enerjisinin gün içerisinde kesikli bir yapıya sahip olması, düzenli ve stabil bir enerjiye sahip olmaması sabit bir güç elde edilmesi konusunda sıkıntılar doğurmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinden gün geçtikçe yaygınlaşan PV sistemler, üzerine düşen güneş ışınımının yalnızca çok küçük bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Üretilen güneş hücrelerinin iç yapısına bağlı olarak güneşten gelen farklı dalga boylarındaki (yaklaşık 200-2500 nm aralığında) ışınımın belirli bir spektral cevap aralığına karşılık gelen kısmı, elektrik enerjisine dönüşürken geri kalan büyük bir kısmı ise sistem üzerinde ısı yükü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu oluşan aşırı ısı yükü PV panel üzerinde hem anlık verimi düşürmekte hem de uzun vadede malzemenin iç yapısını bozabilmektedir. PV panellerde oluşan bu aşırı ısı yükünden yararlanabilmek ve oluşan bu ısıyı sistemden çekebilmek için PVT sistemler tasarlanmış ve test edilmiştir.

Ancak konvansiyonel PVT sistemlerde belirli zaman aralıklarında sistem üzerinde meydana gelen gölgelenme, güneş ışınımları ve çevre sıcaklıkları gibi istenilenin dışında; sürekli değişim gösteren, kararlı olmayan bir ısıl enerji ortaya çıkmaktadır. PVT sistemlerde faz değiştiren malzemeler ve ısı depolama malzemeleri kullanılarak daha kararlı bir termal enerji elde edilmesi ve toplam enerji veriminin artırılması mümkündür. Ancak bu malzemelerin maliyetli olması, sağlığa zararlı olması ve kullanılan bölgeye göre erime sıcaklıklarının farklılık göstermesi gibi durumlar dezavantaj olarak gösterilebilir.

2. FOTOVOLTAİK TERMAL SİSTEMLER

Fotovoltaik (photovoltaic) ismi Yunancada ışık anlamına gelen "photos" ve elektriğin öncülerinden olan Alessandro Volta'nın "voltaic" kelimelerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkmıştır.

PV enerjiyi ilk kez 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel platin tabakalar üzerine yaptığı bilimsel çalışmaları sırasında keşfetti. 1873'te Willoughby Smith, selenyumun içindeki foto iletkenliği keşfederek ilk basit PV düzeneğini oluşturdu. 1877 yılında ise William G. Adams ve Richard E. Day tarafından silisyum kristalleri bulundu. 1883'te Charles Fritts, selenyum kullanarak ilk fonksiyonel %1 verimli PV hücreyi geliştirdi. 1905'te ise Albert Einstein tarafından PV'nin etkisi etti ve Albert Einstein bu sayede 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü kazandı. 1950 yılında Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından silikon hücrelerinin verimi %4 olarak bulundu. 1954'te Bell Laboratuvarlarında %6 verimli silisyum PV hücreler üzerine çalışmalar yapıldı. Hoffman tarafından 1957'de %8, 1958'de %9 daha sonra 1960 yılında %14 verimli silisyum PV hücreler geliştirdi. İlk teknik uygulama "Vanguard 1" uydusu ile beraber 1954 yılında uydu teknolojisinde yer almıştır. 1960-1970 yıllarında havacılık sektörü PV hücrelerinin gelişiminde öncü olmuştur.

PV sistem, diğ er adıyla güneş PV güç sistemi, kullanılabilir güneş enerjisi tedarik etme amacıyla PV'ler kanalı için tasarlanmıştır. Bu birçok bileş enlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur.

Güneş hücreleri, güneş ış ığı nı soğ urup elektriğ e çevirme görevindedir. Güneş çeviricisi, elektriksel akımı doğ ru akımdan alternatif akıma doğ ru değ işt irmektedir. Bunun gibi birleşt irme, kablolama ve diğ er elektriksel aletlerin kurulumu ile ç alı ş an bir sistem oluşt urmaktadır. Ayrıca bu sistem, güneş takip sistemi ile kendisinin genel performansını arttırmaktadır ve entegre edilmiş batarya ç özmn de içinde barındırmaktadır. Kesin olarak güneş enerjisi sağ layan tertibat, sade güneş panel topluluğ unu kapsamaktadır. PV sistemin görünür bölgesi ve diğ er donanım ın tamamını iç ermemesi, genellikle sistemin dengesi olarak ö zetlenmektedir (BOS). Buna ek olarak PV sistemler, ış ığı direkt olarak elektrik enerjisine çevirmektedir ve konsantre güneş gücü veya güneş ıs ısı gibi ısı tma ve soğ utmada kullanılan diğ er teknolojilerle karı ş tırılmamalıdır. PV sistemlerin menzili küçük olarak adlandırılan, ç atı ş eklinde monte edilmiş veya bina entegresi sistemlerinin birkaç kilowatlardan geniş olarak adlandırılan, kullanım kolaylığ ı sağ layan gç istasyonlarına yüzlerce megawat olarak iletmektedir. PV'lerin büyük oranda büyümesinden dolayı PV sistemler için gereken fiyatlar, hızlı bir ş ekilde son zamanlarda dş müştür.

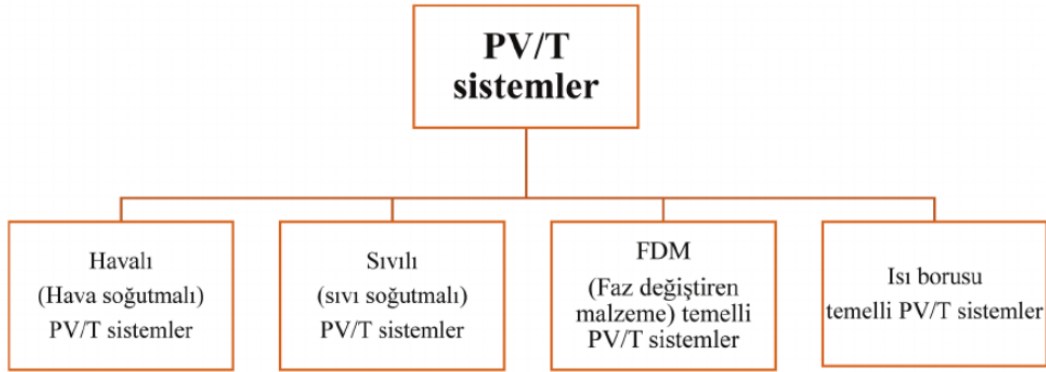
PV hücreler, ç ok geniş dalga boyuna sahip güneş ış ınımı spektrumlarının (200-2500 mm) yalnızca belli miktarda foton enerjisi aldıklarında elektrik üretebilir ve bu nedenle elektromanyetik spektrumdaki elektromanyetik radyasyon ş eklinde güneş ten alınan güneş ış ınımının yalnızca belli bir bölümünü elektrik enerjisine dönüştürür. Kalan enerjinin büyük bir kısmı ise PV sistemlerde, ıs ı enerjisine dönüş ererek güneş pilinin ıs ınmasına neden olur. Bu ıs ı nedeni ile yükselen sıcaklık, PV malzemenin elektriksel dönüşüm verimini azaltmaktadır. Verimi düşüren bu ıs ı yükünün hem PV güneş hücresinden uzaklaşt ırılması hem de termal enerji olarak kullanılabilmesi için PVT sistemler gelişt irilmiştir.

Bir PVT kolektör; sadece elektrik enerjisi üretilen bir modül olarak değ il, aynı zamanda ıs ıl emici bir sistem olarak da iş lev görür. Bu sistemlerle ıs ı ve elektriksel gç aynı anda üretilir. Elektrik ve ıs ı birbirini tamamlayan, sürekli ihtiyaç duyulan enerji türleri olduğ undan bu iki enerji türünü bir arada elde etmek oldukç a mantıklıdır.

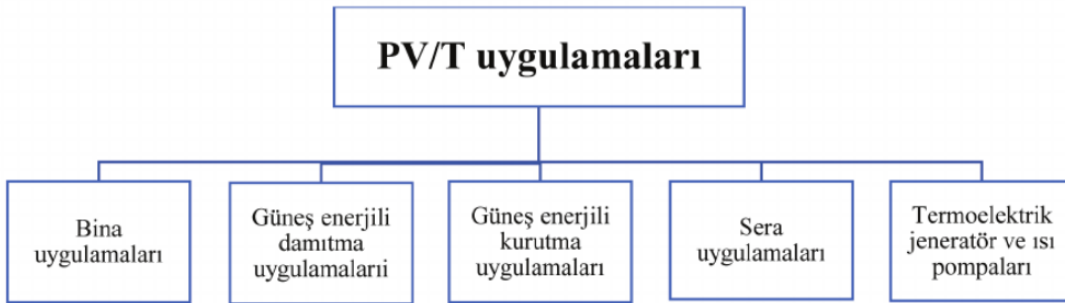
PVT sistem uygulamalarında elektrik üretimi ana önceliktir, bu nedenle PV hücrenin elektrik verimliliğini yeterli seviyede tutmak için PV modüllerini düşük sıcaklıkta çalıştırmak gerekir. Bu gereklilik PVT sisteminin çalışma alanını sınırlar. Bu nedenle elde edilen ısı; binalarda hacim ısıtma, su ısıtma ve ön ısıtma gibi uygulamalarda değerlendirilebilir [1].

Geçmişten günümüze PVT sistemler üzerine birçok araştırma ve inceleme yürütülmüş, PVT sisteminin verimini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Güneşten gelen enerjiyi daha iyi kullanabilmek için faz değiştiren malzemeler (FDM) ve nano-akışkanlar kullanılmıştır [2].

Genel PVT sistemler; sıvılı kolektör, havalı kolektör, ısı borulu kolektör ve FDM kolektör olmak üzere 4 ana kategoriye ayrılır. Şekil 2.1’de PVT sistemlerinin genel sınıflandırması ve şekil 2.2’de sistemin kullanıldığı önemli uygulamalar verilmiştir.



Şekil2. 1 PVT sistemlerinin genel sınıflandırması



Şekil2. 2 PVT sistemlerinin başlıca kullanım alanları

PVT sistemlerin uygulamadaki avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Modül sıcaklığı azaltarak artan elektrik eldesi ve aşırı ısınmadan dolayı meydana gelebilecek hataları önlemek.
- Aynı anda hem elektrik enerjisi hem de ısı enerjisi ile birlikte verim artışı.
- Tek sistem üzerinden hem elektrik hem ısı enerjisi eldesi ve Fotovoltaik sistemin daha stabil çalışması sağlanır.
- Fiyat olarak normal Fotovoltaik sistemler, daha pahalıdır ancak kısa süre içerisinde kendini amorti edebilir.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda özellikle FDM'li PVT'ler üzerine oldukça yoğun bir araştırma veri tabanı mevcuttur. Ancak doğal zeolitler ile ilgili bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Tezin başlama gerekçelerine bir temel oluşturması açısından, son yılları kapsayan FDM'li PVT'ler üzerine güncel literatür bilgisi öncelikli olarak aşağıda sunulmaktadır:

Bunlardan Agrawal ve Tiwari (2012) teorik ve deneysel çalışmalarında, hibrit fotovoltaik termal (PVT) modül hava toplayıcısını enerji tasarrufu açısından PV modülle karşılaştırmışlardır. Hibrit PVT modülün daha büyük bir potansiyele ulaştığını vurgulamışlardır. Yıllık toplam termal enerji ve ekserji kazancını sırasıyla 1252.0 kWh ve 289.5 kWh olarak elde etmişlerdir. Sonuç olarak çalışmalarında hibrit PVT modül hava toplayıcı tarafından PV modüle kıyasla yıllık net 234.7 kWh elektrik enerjisi tasarrufu sağlamışlardır [3].

S. Tiwari ve G.N Tiwari (2016) yaptıkları çalışmada, hibrit fotovoltaik-termal (PVT) sera tipi güneş enerjili kurutucu için termal modelleme yaparak ürün ve sera sıcaklığını, çıkış hava sıcaklığını ve hücre sıcaklıklarını farklı iklim koşullarında farklı parametrelerde değerlendirerek hesaplamışlardır. Ayrıca, yıllık bazda faydalı termal enerji, faydalı elektrik enerjisi, faydalı eşdeğer termal enerji, termal ekserji ve genel termal

verimleri hesaplamışlardır. Sistemin geri ödeme süresini, toplam termal enerji ve toplam ekserji bazında değerlendirildiğinde sırasıyla 1.23 ve 10 yıl olarak bulmuşlardır [4].

Browne ve ark. (2016) İrlanda meteorolojik koşulları için FDM'li PVT sistemleri deneysel olarak incelemişlerdir. FDM kullanımının, PV sıcaklığını ve dış ortam sıcaklığını yaklaşık 5 C aşağıya çektiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, FDM olarak bir yağ asidi olan palmitik asit kullanmışlardır. Palmitik asidin termofiziksel özellikleri olarak; erime sıcaklığı 17,72-22,76 °C; katılma sıcaklığı 12,33-15,55 °C; 191,24 kJ/kg; ısı iletkenliği 0,143 W/mK olarak vermişlerdir. Sistem verimi %20-25 arasında olduğu ifade edilmiş, çalışmada ısı iletkenliğinin artırılması gerektiğine vurgu yapmışlardır [5].

M. A. Kibria ve ark. (2016) RT20, RT25 ve RT 28 (Rubitherm) erime sıcaklıkları sırasıyla 21°C, 25°C ve 28°C, gizli ısıları sırası ile 140 kJ/kg, 148 kJ/kg, 245kJ/kg olarak verilen FDM'lerin bina cephesinde PV sistemleri ile birlikte kullanımını nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, FDM'lerin PV sıcaklığını %5 e kadar azaltma potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir [6].

Yine Sabiron ve ark. (2016), farklı iklim koşullarında bina cephelerinde kullanılan FDM-PV sistemleri ele almış ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. FDM'lerin erime sıcaklıkları farklı iklim koşullarında çalışma parametrelerinin değişimi gibi önemli bir probleme neden olmaktadır [7].

Sharma ve ark. (2016) çalışmalarında bina ile bütünleştirilmiş PV sistemlerinde düşük oranda yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi kullanmışlar, buna bağlı olarak RT42 parafin bazlı FDM ile çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda elektriksel verimde %7,7'lik bir artış kaydetmişlerdir. Modül sıcaklığında ortalama 3,8 C'lik bir düşüş olduğunu sunmuşlardır [8].

Zhenjun Ma ve ark. (2016) çalışmalarında bakır nano parçacıklarla zenginleştirilmiş RT 24 parafin FDM'yi bina performansının iyileştirilmesi için ele almışlar, kış aylarında FDM de şarj ve deşarj edilen termal enerjinin sırası ile %8,3- %25,1 olduğunu ortaya koymuşlar, FDM'nin önündeki en önemli bariyerin düşük ısı iletkenlik olduğunu vurgulamışlardır [9].

Kapsalis ve Karamanis (2016) derleme çalışmalarında, güneş termal depolama ve ısı pompası uygulamalarında FDM'leri değerlendirmişlerdir [10].

Farid Bahiraei ve ark. (2017) çalışmalarında FDM'lerle ilgili son yıllarda hızla artan bir araştırma süreci olduğunu ancak temel problemin düşük ısı iletkenlik olduğunu vurgulayarak, karbon bazlı nanoparçacıklarla FDM'lerin ısı iletkenliklerinin artırılması yönelik çalışmalarda bulunmuşlar ve 3 farklı nano malzeme kullanmışlardır. %7,5-%10 oranında eklenen grafit ile ısı iletkenlikte %620-1100 oranında bir artış kaydetmişler, FDM'ler için nanokompozitlerin önemli bir potansiyel taşıdığını ifade etmişlerdir [11].

Passandideh-Fard ve ark. (2017) çalışmalarında ZnO/su nanoakışkanını kullanarak deneysel çalışmalarda bulunmuşlar, ısı veriminde ortalama %5'lik bir iyileşme sağladıklarını belirtmişlerdir [12].

Fang ve ark. (2017) çalışmalarında FDM'li bir PVT'den elde edilebilecek güç çıktısının maksimize edilebilmesi için bir enerji analiz çalışması gerçekleştirmişler, FDM türü üzerinde durmamışlardır [13].

Sharma ve ark. (2017) nano materyallerle zenginleştirilmiş FDM'lerin bina cephelerinde kullanımı ile ilgili deneysel çalışmalarında, %18,5'lik bir yüzey sıcaklık düşüşü olduğunu kaydetmişlerdir [14].

Zigeng Lio ve ark. (2017) nümerik ve deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında yine FDM olarak parafin kullanmışlar, ısı güçte %7,28'lik bir artış kaydetmişlerdir [15].

Radziemska ve Kucharek (2017) çalışmalarında 42- 44 parafin iç ortam deneysel incelemesi gerçekleştirmişlerdir [16].

Tyagi ve ark. (2018) derleme çalışmalarında PVT sistemlerde farklı akışkanlar ve uygulamalar kullanarak mevcut olan son trend ve faydalı teknolojiler hakkında değerlendirmede bulunmuşlardır. Bununla birlikte, PVT sistemlerin ekonomik değerlendirilmesinde, geri ödeme süresi, net bugünkü değer (NPV), eksergo-ekonomik ve çevresel etkileri içeren ekonomik değerlendirme yöntemlerini dikkate almışlardır. Uygulamalarda özellikle emisyon sorunlarını azaltmak için PVT sistemlerin potansiyel rolünü vurgulamışlardır [17].

Ahmadi ve ark. (2018) çalışmalarında, istenilen düzeyde elektrik ve soğutmayı üretmek için güneş enerjisi ve jeotermal sistemi içeren bir yenilenebilir enerji kaynağı önermişlerdir. Ortaya koymak istedikleri bu sistemin yoğunlaştırılmış bir PVT, çift etkili bir LiBr-H₂O soğutucu ve jeotermal bölümden oluştuğunu ifade etmişlerdir. Sistemin verimliliğini üst düzeyde sağlamak için de, ekserji, enerji ve eksergoekonomik analizleri incelemişlerdir. Sonuç olarak soğutma sisteminde ekserji yıkım maliyetinin bileşen maliyeti üzerinde yüksek oranda etkili olduğunu aynı zamanda jeotermal sistemin ve PVT kullanımının geri dönüşüm için önemli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır [18].

Sardarabadi ve ark. (2018) yaptıkları deneysel çalışmalarında, konvansiyonel fotovoltaiik sistem, faz değişim malzemesi ile bütünleştirilmiş fotovoltaiik sistem ve faz değişim malzemesi ile bütünleşmiş PVT sistemlerini, farklı akışkanlar kullanarak incelemişlerdir. Bununla birlikte PVT sistemlerde etilen glikol ve faz değiştirici malzeme kullanarak enerji, ekserji verimlerini ve entropi üretimini incelemişlerdir. Sonuç olarak PV/PCM sisteminin PV sistemine kıyasla elektrik enerjisinin %4,22 arttığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca PVT/PCM sisteminde, suya etilen glikol ilavesinin, termal enerji verimini azaltırken, ekserji verimini arttırdığını belirlemişlerdir [19].

Zhue ve ark. (2018), PCM'lerle entegre edilmiş yeni bir havalandırılmalı Trombe duvarının termal performansını değerlendirmişlerdir. İç hava sıcaklığı 22 ° C ve 24 ° C'de tutularak önerilen sistemde yıllık soğutma enerjisi tüketiminin %20,8 ve %18,6 azaldığını tespit etmişlerdir [20].

Fudholi ve ark. (2019) çalışmalarında, V-oluklu bir PVT hava toplayıcısını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. PV ve hava çıkış sıcaklıklarını tahmin etmek için PVT hava toplayıcısının sabit durumlu enerji analizlerini sunmuşlardır. Teorik ve deneysel çalışmalarında PVT hava toplayıcısının V-oluklu PVT ekserji verimlerini sırasıyla % 13,36 ve% 12,89 bulmuşlardır [21].

Habibollahzade (2019) yaptığı çalışmada, enerji üretimini ve ekserji verimliliğini arttırmak için fotovoltaiik termal (PVT), güneş baca santrallerini (SCPP) ve SCPP/PVT ile özdeşleştirilmiş sistemlerin etkilerini incelemek için parametrik çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışmaların sonucunda, SCPP/PVT sisteminin düşük PVT sıcaklığında daha verimli olduğunu göstermiş. SCPP/PVT'nin ekserji verimliliği ve maliyet oranı sırasıyla

%3,304 ve 241,6 \$/h olarak elde etmiştir. Dolayısıyla önerilen sistemin enerji üretimi ve ekserji verimliliğini önemli ölçüde arttıracığına vurgu yapmıştır [22].

Hossain ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmada, farklı tasarımlar kullanarak geliştirdikleri PCM, farklı debilerde PVT sistem üzerinde kullanarak sistemin enerji, ekserji ve ekonomik performanslarını incelemişlerdir. Bu incelemelerinde sistem etrafında sızdırma olmayacak ve uzun sürede termal enerji depolayacak şekilde lorik asiti akış kanalının etrafına yerleştirmişlerdir. Bunun sonucunda PV ve PVT-PDM sisteminin ekserji verimini sırasıyla %7,09 ve %12,19 olarak bulmuşlardır [23].

Passandideh-Fard ve ark. (2019) çalışmalarında, saf su ve SiO₂ / su nano sıvı ve PDM kullanımının PVT sisteminin verimliliğine etkilerini araştırmışlardır. PDM / PVT sistemi için ortalama PV hücre sıcaklığının geleneksel PVT sistemine kıyasla 16 °C azaldığı sonucuna varmışlardır [24].

Chen ve ark. (2019) çalışmalarında, geleneksel bir havalandırma sistemine karşı termal enerji depolama sisteminin soğutma enerjisi ve net elektrik tasarrufu üzerindeki her tasarım parametresinin ayrı etkisini belirlemek için ayrıntılı bir parametrik analizini sunmuşlardır [25].

Fang ve ark. (2019) yaptıkları derleme çalışmalarında, farklı tasarımlar ile farklı akışkanları kullanarak PVT sistemlerin farklı çevresel koşullardaki şartlarını değerlendirmişlerdir. Daha özgün PVT sistemlerin geliştirilebilmesi için, yeni tasarımlar, yeni malzemeler ve modellemeler yapılarak enerji depolama sistemleri ile bütünleştirilmeleri gerektiğini vurgulamışlardır [26].

Sardarabadi ve ark. (2020), şeffaf cam kapaklı ve şeffaf cam kapaksız nanosıvı bazlı PVT' lerin performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. GNP nano akışkan ve camlı PVT ile maksimum toplam enerji verimliliği artışının maksimum % 22,5 olduğu sonucunu ifade etmişlerdir [27].

Shiravi ve ark. (2020) yapmış oldukları çalışmada, PV modüllerinin maksimum çalışma sıcaklığında (85 ° C) kanatlı ve kanatsız PV / PDM sistemlerinin termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Ekserji verimliliğinde % 4,2 artış ve entropi üretiminde % 5 azalma gözlemlemişlerdir [28].

Ma ve ark. (2020), enerji ve ekserji analizine dayalı olarak faz değişim malzemesi ile entegre bir fotovoltaik termal sistemin günlük ve aylık performansını incelemişlerdir [29].

Ahmed ve ark. (2020) alışmalarında, PDM termal iletkenliğini artırmak ve CPV'nin sıcaklık artışını azaltmak için Konsantre PV (CPV) -Nanopartikül-PDM sistemini incelemişlerdir. PDM'lerin termal iletkenliğini artırmak için Al₂O₃, CuO ve SiO₂ nanopartiküllerini kullanmışlardır [30].

Kasaeian ve ark. (2020) alışmalarında, Co₃O₄ / su nano sıvının eşzamanlı kullanımının etkinliğini araştırmış ve bir soğutma yöntemi olarak faz değişim malzemesini (Parafin / Alümina tozu) incelemişlerdir [31].

Kasaeian ve ark. (2020) başka bir çalışmada, gözenekli bir ortamda faz değişim materyalleri ile entegre edilmiş bir PVT sistemin termal performansını araştırmışlardır. Gözenekli bir ortam olarak bir metal köpük kullanarak beş farklı PCM'nin organik ve inorganik olarak performanslarını incelemişlerdir [32].

Afrans ve ark. (2020) alışmalarında, korozyon, hasara neden olma, ısı depolama ömür, stabilitesini, sızıntı, maliyeti gibi PCMS durumlarını analiz etmişlerdir. Çoğu PCM ve nano-PCM'nin erime noktaları bilinmesine rağmen, sıvıların ve katıların termal iletkenliklerinin, yoğunluklarının, özgül ısı kapasitelerinin ve hacim genişlemelerinin çalışmalar arasında tam olarak tutarlı olmadığını vurguladılar. PCM'lerin, yüksek faz değişim entalpisi nedeniyle son yıllarda PVT' ler için en çok düşünülen malzemelerden biri olmalarına rağmen, düşük ısı iletkenliklerin de en önemli dezavantajlardan biri olduğunu vurgulamışlardır [33].

Sun ve ark. (2020) yapmış oldukları deneysel çalışmada, anahtar tasarım parametrelerinin dolgulu yatak ısı depolama cihazının ısı performansını üzerindeki etkisini sayısal hesaplama ile araştırmışlardır. Sonuçlar, giriş sıcaklığı 333 K'den 363 K'ye çıktığında, ekserji tahribatının üç kat arttığını, etkili ısı depolama sresinin% 67 azaldığını, etkin ısı depolamanın% 38 arttığını ve ekserji verimliliğinin% 11 azaldığını ifade etmişlerdir [34].

Sundukları kapsamlı literatür analizinde şimdiye kadar yapılan çalışmalarda kullanılan FDM'leri ve özellikleri, işletim parametrelerini aktarmışlardır. Gizli ısıları 150-270 kJ/kg arasında değişen birçok farklı kimyasal FDM'nin özellikleri sunulmuştur.

Açık literatürde görüldüğü üzere, gerek bina enerji ihtiyacını karşılamak amaçlı olarak çatı uygulaması, gerekse cephe kaplama için FDM'li PV ve PVT sistemlerle ilgili birçok çalışma bulunmakla birlikte, zeolitlerin kullanıldığı hiçbir sistem bulunmamaktadır. Ülkemizde bol ve ucuz temin edilebilen doğal zeolitlerin bu alanda kullanılmasına yönelik araştırmalar ivedi olarak gerçekleştirilmeli ve hayata geçirilmelidir.

Çizelge 3. 1 Literatür taraması özet çizelgesi

Yazar ve Yıl	Ekserji analizi	Ekonomik analiz	Yapılan çalışmalar ve Sonuçları
Agrawal ve Tiwari (2012) [3]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Hibrit Fotovoltaik-termal (PVT) modül hava toplayıcısını enerji tasarrufu açısından PV modülle karşılaştırmış ve hibrit PVT modülün daha büyük bir potansiyele ulaştığını vurgulamışlardır. Yıllık toplam termal enerji ve ekserji kazancını sırasıyla 1252.0 kWh ve 289.5 kWh olarak belirtmişlerdir. Hibrit PVT modül hava toplayıcı tarafından PV modüle kıyasla yıllık net 234.7 kWh elektrik enerjisi tasarrufu sağlamışlardır.
S. Tiwari ve G.N Tiwari (2016) [4]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Hibrit fotovoltaik-termal (PVT) sera tipi güneş enerjili kurutucu için termal modelleme yaparak ürün ve sera sıcaklığını, çıkış hava sıcaklığını ve hücre sıcaklıklarını farklı iklim koşullarında farklı parametrelerde değerlendirerek hesaplamışlardır. Ayrıca, yıllık bazda faydalı termal enerji, faydalı elektrik enerjisi, faydalı eşdeğer termal enerji, termal ekserji ve genel termal verimleri hesaplanmıştır. Sistemin geri ödeme süresi, toplam termal enerji ve toplam ekserji bazında yapıldığında sırasıyla 1.23 ve 10 yıl olarak belirtmişlerdir.
Browne ve ark. (2016) [5]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> FDM kullanımının, PV sıcaklığını ve dış ortam sıcaklığının yaklaşık 5⁰C aşağıya çektiğini ifade etmişlerdir. FDM olarak bir yağ asidi olan palmitik asit kullanmışlardır. Palmitik asidin termofiziksel özellikleri olarak; erime sıcaklığı 17,72-22,76 C; katılaşma sıcaklığı 12,33-15,55 C; 191,24 kJ/kg; ısıl iletkenliği 0,143 W/mK olarak verilmiştir.**Sistem veriminin %20-25 arasında olduğu ifade edilmiş, çalışmada ısıl iletkenliğin artırılması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

M. A. Kibria ve ark. (2016) [6]			<ul style="list-style-type: none"> • RT20, RT25 ve RT28 (Rubitherm) erime sıcaklıkları sırasıyla 21, 25 ve 28 derece, gizli ısıları sırası ile 140, 148, 245 kJ/kg olarak verilen FDM'lerin bina cephesinde PV sistemleri ile birlikte kullanımını nümerik olarak incelemiştir. • Sonucunda FDM'lerin PV sıcaklığını %5 e kadar azaltma potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir.
Sabiron ve ark. (2016) [7]			<ul style="list-style-type: none"> • Bina cephelerinde kullanılan FDM-PV sistemleri ele almışlar ve farklı iklim koşullarını konu edinmişlerdir. • FDM'lerin erime sıcaklıkları farklı iklim koşullarında çalışma parametrelerinin değişimi vurgulamışlardır.
Sharma ve ark. (2016) [8]			<ul style="list-style-type: none"> • Bina ile bütünleştirilmiş PV sistemlerinde düşük oranda yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi kullanmışlar, buna bağlı olarak RT42 parafin bazlı FDM ile çalışmışlardır. • Bu çalışmada elektriksel verimde %7,7 bir artış kaydetmişlerdir. • Modül sıcaklığında ortalama 3,8 °C lik bir düşüş olduğunu sunmuşlardır.
Zhenjun Ma ve ark. (2016) [9]			<ul style="list-style-type: none"> • Bakır nano parçacıklarla zenginleştirilmiş RT 24 parafin FDM'yi bina performansının iyileştirilmesi için ele almışlardır. • Kış aylarında FDM'de şarj ve deşarj edilen termal enerjinin sırası ile %8,3-%25,1 olduğunu ortaya koymuşlardır. • FDM'nin önündeki en önemli bariyerin düşük ısı iletkenlik olduğunu vurgulamışlardır.
Kapsalis ve Karamanis (2016) [10]			<ul style="list-style-type: none"> • Güneş termal depolama ve ısı pompası uygulamalarında FDM'leri değerlendirmişlerdir.
Farid Bahiraei ve ark. (2017)			<ul style="list-style-type: none"> • FDM lerde temel problemin düşük ısı iletkenlik olduğunu vurgulayarak, karbon bazlı nano parçacıklarla FDM'lerin ısı iletkenliklerinin artırılması yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır.

[11]			<ul style="list-style-type: none"> • 3 farklı nano malzeme kullanmışlardır. • %7,5-%10 oranında eklenen grafit ile ısı iletkenlikte %620-1100 oranında bir artış kaydetmişler, FDM ler için nano kompozitlerin önemli bir potansiyel taşıdığını ifade etmişlerdir.
Passandideh-Fard ve ark. (2017) [12]			<ul style="list-style-type: none"> • ZnO/su nano-akışkanını kullanarak deneysel çalışmalarda bulunmuşlardır. • Isıl verimde ortalama %5lik bir iyileşme sağladıklarını belirtmişlerdir.
Fang ve ark. (2017) [13]			<ul style="list-style-type: none"> • FDM’li bir PVT’den elde edilebilecek güç çıktısının maksimize edilebilmesi için bir enerji analiz çalışması gerçekleştirmişler.
Sharma ve ark. (2017) [14]			<ul style="list-style-type: none"> • Nano materyallerle zenginleştirilmiş FDM’lerin bina cephelerinde kullanımı ile ilgili deneysel çalışmalarında, %18,5’lik bir yüzey sıcaklık düşüşü olduğunu kaydetmişlerdir.
Zigeng Lio ve ark. (2017) [15]			<ul style="list-style-type: none"> • Nümerik ve deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında FDM olarak parafin kullanmışlardır ve ısı gücünde %7,28’lik bir artış kaydetmişlerdir.
Radziemska ve Kucharek (2017) [16]			<ul style="list-style-type: none"> • Çalışmalarında 42- 44 parafin iç ortam deneysel incelemesi gerçekleştirmişlerdir.
Tyagi ve ark. (2018) [17]		✓	<ul style="list-style-type: none"> • PVT sistemlerde farklı akışkanlar ve uygulamalar kullanarak değerlendirmede bulunmuşlardır. • PVT sistemlerin ekonomik değerlendirme yöntemlerini dikkate almışlardır. Uygulamalarda emisyon problemini azaltmak için PVT sistemlerin potansiyel etkisini incelemişlerdir.

Ahmadi ve ark. (2018) [18]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Sistemde yoğunlaştırılmış bir PVT nin çift etkili bir LiBr-H₂O soğutucu ve jeotermal bölümden oluştuğunu ifade etmişlerdir. Sistemin verimliliğini üst düzeyde sağlamak için, ekserji, enerji ve eksergoekonomik analizleri incelemişlerdir. Soğutma sisteminde ekserji yıkım maliyetinin bileşen maliyet üzerinde yüksek oranda etkili olduğunu aynı zamanda jeotermal sistemin ve PVT kullanımının geri dönüşüm için önemli bir faktör olduğu ifade etmişlerdir.
Sardarabadi ve ark. (2018) [19]	✓		<ul style="list-style-type: none"> Konvansiyonel fotovoltaik (PV) sistem, faz değişim malzemesi ile bütünleştirilmiş fotovoltaik (PV/PCM) sistem ve faz değişim malzemesi ile bütünleşmiş fotovoltaik termal (PVT/PCM) sistemleri, farklı akışkanlar kullanarak incelemişlerdir. Fotovoltaik termal (PVT) sistemlerde etilen glikol ve faz değiştirici malzeme kullanarak enerji, ekserji verimlerini ve entropiyi incelemişlerdir. PV/PCM sisteminin PV sistemine kıyasla elektrik enerjisinin %4,22 arttığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca PVT/PCM sisteminde, suya etilen glikol ilavesinin, termal enerji verimini azaltırken, ekserji verimini arttırdığını belirlemişlerdir.
Zhue ve ark. (2018) [20]			<ul style="list-style-type: none"> PCM'lerle entegre edilmiş yeni bir havalandırılmalı Trombe duvarının termal performansını değerlendirmişlerdir. İç hava sıcaklığı 22 ° C ve 24 ° C'de tutarak önerilen sistemde yıllık soğutma enerjisi tüketiminin % 20,8 ve % 18,6 azaldığı tespit etmişlerdir.
Fudholi ve ark. (2019) [21]	✓		<ul style="list-style-type: none"> Fotovoltaik (PV) ve PVT hava toplayıcısının hava çıkış sıcaklıklarını tahmin etmek için sabit durumlu enerji analizlerini sunmuşlardır. PVT hava toplayıcısının V-oluklu PVT ekserji verimlerini sırasıyla % 13,36 ve % 12,89 bulmuşlardır.

Habibollahzade (2019) [22]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Enerji üretimini ve ekserji verimliliğini arttırmak için fotovoltaik termal (PVT), güneş baca santrallerini (SCPP) ve SCPP/PVT ile özdeşleştirilmiş sistemlerin etkilerini incelemek için parametrik çalışmalar yapmıştır. SCPP/PVT sisteminin düşük PVT sıcaklığında daha verimli olduğunu göstermiştir. SCPP/PVT'nin ekserji verimliliği ve maliyet oranı sırasıyla %3,304 ve 241,6 \$/h elde etmişlerdir. Dolayısıyla önerilen sistemin enerji üretimi ve ekserji verimliliğini önemli ölçüde arttırılacağı vurgulamışlardır.
Hossain ve ark. (2019) [23]	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Farklı tasarımlar kullanarak geliştirdikleri faz değişim malzemesini (PCM), farklı debilerde fotovoltaik termal (PVT) sistem üzerinde kullanarak sistemin enerji, ekserji ve ekonomik performanslarını incelemişlerdir. Sistemin içine uzun sürede termal enerji depolayacak şekilde lorik asiti akış kanalının etrafına yerleştirmişlerdir. PV ve PVT-PCM sisteminin ekserji verimini sırasıyla %7,09 ve %12,19 olarak bulmuşlardır.
Passandideh-Fard ve ark. (2019) [24]			<ul style="list-style-type: none"> Saf su ve SiO₂ nano sıvı ve PCM kullanımının PVT sisteminin verimliliğine etkilerini incelemişlerdir. PCM / PVT sistemi için, ortalama PV hücre sıcaklığının geleneksel PVT sistemine kıyasla 16 °C azaldığı sonucuna varmışlardır.
Chen ve ark. (2019) [25]			<ul style="list-style-type: none"> Konvansiyonel bir havalandırma sistemine karşı termal enerji depolama sisteminin soğutma enerjisi miktarı ve net elektrik tasarrufu üzerindeki her tasarım parametresinin ayrı etkisini belirlemek için ayrıntılı bir parametrik analiz sunmuşlardır.
Fang ve ark. (2019) [26]			<ul style="list-style-type: none"> Farklı tasarımda farklı akışkanlar kullanarak PVT sistemlerin farklı çevresel koşullardaki etkisini değerlendirmişlerdir.

			<ul style="list-style-type: none"> Özgün PVT sistemlerin geliştirilebilmesi için, yeni tasarımlar, yeni malzemeler, daha yüksek kesinlikte modellemeler ve enerji depolama sistemleri ile bütünleştirilmeleri gerektiği vurgulamışlardır.
Sardarabadi ve ark. (2020) [27]			<ul style="list-style-type: none"> Şeffaf cam kapaklı ve şeffaf cam kapaksız nano-sıvı bazlı PVT lerin performanslarını deneysel olarak değerlendirmişlerdir. GNP nano akışkan ve camlı PVT ile maksimum toplam enerji verimliliği artışının % 22,5 olduğu ifade etmişlerdir.
Shiravi ve ark. (2020) [28]	✓		<ul style="list-style-type: none"> PV modüllerinin maksimum çalışma sıcaklığında (85 ° C) kanatlı ve kanatsız PV / PCM sistemlerinin termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Ekserji verimliliğinde % 4,2 artış ve entropi üretiminde % 5 azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.
Ma ve ark. (2020) [29]	✓		<ul style="list-style-type: none"> Enerji ve ekserji analizine dayalı olarak faz değişim malzemesi ile entegre bir fotovoltaik termal sistemin günlük ve aylık performansını araştırmışlardır.
Ahmed vde ark. (2020) [30]			<ul style="list-style-type: none"> PCM termal iletkenliğini artırmak ve CPV'nin sıcaklık artışını azaltmak için Konsantre PV (CPV) -Nanopartikül-PCM sistemini incelemişlerdir. PCM'lerin termal iletkenliğini artırmak için Al₂O₃, CuO ve SiO₂ nanopartiküllerini kullanmışlardır.
Kasaeian ve ark. (2020) [31]			<ul style="list-style-type: none"> Co₃O₄ / su nano sıvının eşzamanlı kullanımının etkinliğini araştırmış ve bir soğutma yöntemi olarak faz değişim malzemesini (parafin mum / Alümina tozu) incelemiştir.
Kasaeian ve ark. (2020) [32]			<ul style="list-style-type: none"> Gözenekli bir ortamda faz değişim materyalleri ile entegre edilmiş bir fotovoltaik / termal sistemin termal performansını araştırma yapmışlardır. Gözenekli bir ortam olarak bir metal köpük kullanmış ve beş farklı PCM'nin organik ve inorganik olarak performansını incelemişlerdir.

Afrans ve ark. (2020) [33]			<ul style="list-style-type: none">• Korozyon, hasara neden olma, ısı depolama ömür, stabilitesini, sızıntı, maliyeti gibi PCMS durumlarını analiz etmişlerdir.• PCM'ler, yüksek faz değişim entalpisi nedeniyle son yıllarda PVT' ler için en çok düşünülen malzemelerden biri olmasına rağmen, düşük ısıl iletkenliklerinin en önemli dezavantajlardan biri olduğunu vurgulamışlardır.
Sun ve ark. (2020) [34]	✓		<ul style="list-style-type: none">• Giriş sıcaklığı 333 K'den 363 K'ye çıktığında; ekserji tahribatının üç kat arttığını, etkili ısı depolama süresinin % 67 azaldığını, etkin ısı depolamanın % 38 arttığını ve ekserji verimliliğinin % 11 azaldığını ifade etmişlerdir.

4. TEZİN AMACI, ÖNEMİ VE KAPSAMI

4.1 Amaç

Ülkemizin enerji tüketimi ve bu enerji ihtiyacının her geçen yıl artması gerçeği dikkate alındığında, enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi anlaşılmakta, sağlanan farklı teşvikler ile yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretimi içerisindeki payı artırılmaya çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi sistemleri, hem ülkemizde hem de dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisinden, hem elektrik enerjisini hem de ısı enerji olarak, birkaç W'lık güçten MW'lara kadar çok geniş bir üretim skalasında, farklı sistem ve ihtiyaçlara yönelik olarak yararlanmak mümkündür.

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan güneş enerjisi sistemlerinden biri olan PV güneş panelleri, üzerlerine düşen güneş ışınımının sınırlı bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Üretildikleri malzemenin özelliklerine bağlı olarak, farklı dalga boylarındaki (yaklaşık 200-2500 nm aralığında) ışınımlardan oluşan güneş ışınımının, yalnızca belli bir spektral cevap aralığına karşılık gelen bölümünü elektriğe çevirirken; geri kalan güneş ışınımının büyük bir bölümü elektrik enerjisine çevrilemez ve PV malzemede ısı yükü oluşturur. Örneğin monokristal Si güneş pilleri 400-800 nm aralığındaki ışınımları elektrik enerjisine çevirir. Geri kalan dalga boyundaki ışınımlar, malzeme ile etkileştiğinde ısıya dönüşür. Oluşan bu aşırı ısı yükü, güneş pilinin elektriksel direncini artırır. Bu durum hem fotovoltaik panellerin anlık verimini düşürmekte, hem de uzun vadede malzemenin yapısını bozabilmektedir. PV panellerde elektriğe dönüştürülemeyen güneş ışınımının oluşturduğu bu aşırı ısı yükünü uzaklaştırmak ve ısı enerji olarak değerlendirmek amacı ile PVT sistemler tasarlanmıştır. Böylece tek bir modülden hem elektrik enerjisi hem ısı enerjisi elde eden bir enerji sistemi ortaya çıkmaktadır. PVT sistemlerde biriken ısı yükünden yararlanmak ve PV'den uzaklaştırabilmek amacı ile çok farklı sistemler tasarlanabilmektedir. Havalı ya da sıvılı akışkanlarla biriken bu ısı yükünün uzaklaştırılabildiği sistemler mevcuttur.

PVT sistemler 1970'li yıllardan bu yana bilinen, test edilen ve farklı soğutucu akışkanlarla çalıştırılabilen bir sistemdir.

Ancak konvansiyonel PVT sistemlerde elde edilen ısı enerjisi; gün içerisinde, panel üzerine düşen güneş ışınımı ile orantılı olarak değişmekte, düzensiz ve kesikli bir yapı ortaya koymaktadır. Hem gün içerisinde sabit ve kararlı bir ısı enerjisi elde etmek, hem de güneş battıktan sonraki saatlerde de ısı enerjisi elde etmeye devam edebilmek için PVT'nin ısı depolama sistemleri ile bütünleştirilmesi gerekmektedir. Böylece depolanan ısı enerjisi, güneş enerjisinin yeterli olmadığı zamanlarda veya güneş battıktan sonra termal enerji sağlamaya devam edecektir. Bundan dolayı;

Tez çalışmasının temel amacı olarak, PVT sistemlerin elektriksel ve termal verimini sabit ve kararlı bir ısı enerjisi elde ederek artırabilmek için doğal zeolit plakalar ile PVT sistemleri bütünleştirerek oluşan ısı yükünü etkin bir ısı transferi ile çekmek ve termal enerji olarak depolamaktır. Doğal zeolitli PVT sistemin prototipini oluşturup deneysel performansını araştırmaktır. Böylelikle tek bir panelden hem elektrik hem de termal enerji elde edilmesini sağlayan bir sistem tasarımı üretmektir.

4.2 Önem

Tezin önemi, konvansiyonel PVT sistemlerde temel problem olan sabit ve kararlı bir termal enerji elde edilememesini, faz değiştiren malzemeler yerine ülkemizde bol miktarda bulunan ve uygun maliyette olan, birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılan zeolitlerin kullanımı ile çözümesidir. Doğal zeolitli malzemelerin ısı depolama olarak PVT sistemlerle bütünleştirilmiş hali hem ülkemizde hem de dünyada ticari olarak henüz üretilmiş değildir. Ancak, daha önce bu konuda yapılmış çalışmalar ile, doğal zeolitli PVT'nin çok daha üstün avantajları olduğu ortaya konmuştur [34]. Bu tezde, literatürde ilk kez; doğal zeolitli plakalarla bütünleştirilmiş PVT sistemler gerçek meteorolojik koşullarda test edilecek ve performansı değerlendirilecek olup, hızla gelişen güneş enerjisi teknolojilerinde ülkemizin bu alanda öne çıkmasını sağlayacak bir ürün geliştirilecektir.

4.3 Kapsam

Gün içerisinde belirli zaman aralıklarında meydana gelen gölgelenme, güneş ışınımları ve çevre sıcaklıkları istenilenin dışında sürekli değişim gösteren, kararlı olmayan bir ısı enerjisi ortaya çıkarmaktadır. PVT'nin istenilen ısı enerjisinin daha kararlı bir yapıda olması için FDM kullanarak daha kararlı bir termal enerji elde edilebilmesi ve toplam enerji veriminin artırılması üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Ancak FDM'ler ile bütünleştirilmiş PVT sistemlerin seri üretimleri ve pratikte kullanımları noktasında oldukça ciddi sıkıntılar söz konusudur.

Tez çalışması kapsamında, PVT sistemlerde bu gibi dezavantajları ortadan kaldırmak ve sistemi daha verimli hale getirebilmek için ülkemizde bol miktarda bulunan ve maliyeti düşük bir malzeme olan, insan sağlığı açısından daha elverişli olan ve aynı zamanda uygulanabilirliği daha kolay olmasından dolayı doğal zeolitlerden yola çıkılarak fotovoltaik termal sistemlerle bütünleştirilmiş plakalar üreterek sistemin tasarımı ve deneysel analizi yapılacaktır. Çalışmada,

- a. 3 farklı tanecik boylarına sahip doğal Zeolit için ısı iletkenlik, yoğunluk değerlerinin incelenmesi ve en uygun Zeolit boyutunun belirlenmesi,
- b. Zeolit plakaların üretilmesi ve ısı özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi,
- c. Güneş hücrelerinin laminasyonunun yapılması,
- d. Doğal zeolitli PVT nin sistemin üretilmesi,
- e. Doğal zeolitli PVT sistemin elektriksel ve termal veriminin standartlara uygun bir gerçek meteorolojik koşullarda test edilmesi hedeflenmektedir.

Bu kapsamda ilk olarak, doğal zeolitlerin PVT sistemlerde kullanımı için en uygun boyut ortaya konacaktır. Zeolitler gözenekli yapıları sayesinde enerjiyi üstün şekilde depolayabilme özelliğine sahiptir. Bu bağlamda, PVT sistemde kullanılan zeolit boyutu, enerji depolama performansını etkileyecektir.

Çalışmada ikinci aşama olarak geliştirilecek doğal zeolitli PVT sistemin, hem PV hücrede oluşacak ısı yükünü etkin bir şekilde çalışma akışkanına (tezde çalışma akışkanı olarak kullanım suyu seçilmiştir) iletmesi, hem de üretilecek olan zeolit plakasındaki zeolitin doğal gözenekli yapısı sayesinde güneş batımından sonra da ısıdan yararlandırabilmek için depolaması hedeflenmektedir. Bu nedenle, test edilen malzemelerin hem ısı iletkenlikleri, hem de ısı kapasiteleri değerlendirilecektir. İletim ve depolama birbirine zıt olan iki mekanizma olmakla birlikte, sistem bu parametreler doğrultusunda optimize edilecektir.

PVT de kullanılacak zeolitin, zeolit plakası haline getirilmesi üçüncü aşamadır. Kolay uygulanabilecek büyüklüklerde ve farklı kalınlıklarda zeolit plakaları elde edilecektir.

Dördüncü aşama, PV panelin üretilmesidir. Ticari olarak bulunan PV'lerde üstten aşağıya doğru Cam, EVA, PV hücre, EVA, Tedlar, Kasa olmak üzere farklı tabakalar bulunmaktadır. Ancak özellikle Tedlar tabakası güneş hücrelerinde oluşan ısı yükünün hızla aktarılması için yüksek ısı direnç göstermektedir. PVT tabakalarının özgün bir tasarımla, ısı iletimini en hızlı sağlayacak şekilde üretilebilmesi için çalışmada PV panel hazır edinilmeyecek laminasyon yolu ile üretilecek; böylece zeolit tabakasına ve suya maksimum ısı transferi sağlayacak tasarım gerçekleştirilecektir.

Son aşama, elde edilen zeolit plakalı PVT sistemin üretilmesi ve test edilmesidir. Zeolit plakasının PVT tabakaları arasındaki yeri ve konumu en uygun ısı transferi açısından değerlendirilecek, gerçek meteorolojik koşullar altında standartlara uygun olarak test edilecektir

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1 Zeolit ve Bağlayıcı Malzemelerin İncelenmesi

Üç farklı tanecik boyutundaki Zeolit malzeme ve reçinenin Uşak Üniversitesi Enerji Laboratuvarında ısı iletkenlik cihazı ile ısı iletkenlikleri ve yoğunluk parametreleri ortaya konmuştur.

Şekil 5.1.1’ de Zeolit-1, Zeolit-2, Zeolit-3 ve reçine ayrı ayrı Kern marka 0.01g hassas terazi ile kütleleri ve dereceli silindir ile hacimleri ölçümlenmiş, yoğunlukları hesaplanmıştır.



Resim 5.1. 1 Yoğunluk ölçümü

Resim 5.1.2 'de Zeolit-1, Zeolit-2, Zeolit-3, ve reçine Termtest TLS-100 (Standartlar: ASTM D5334-14 ve IEEE 442-1981) ısı iletkenlik cihazı ile ölçümlerine ilişkin fotoğraflar yer almaktadır. Portatif ısı iletkenlik cihazı oldukça pratik ölçümler yapmaya olanak sağlamıştır.



Resim 5.1. 2 Saf malzemelerin ısı iletkenlik ölçümleri

Resim 4.1.3'te farklı tanecik boyutuna sahip olan üç zeolitın belirli oranlarda reçine katkılanarak oluşturulan karışımın ısı iletkenlik değerleri ölçümlenmiştir.



Resim 5.1. 3 Karışım malzemelerinin ısı iletkenlik ölçümleri

5.2 PV Panel Üretim Aşamaları

Resim 5.2.1’de Resim 5.2.2’ de üretim aşamaları gösterilen ve Uşak Üniversitesi Enerji Laboratuvarında üretilen PV paneller görülmektedir. Laboratuvarında polikristal ve monokristal olmak üzere iki tür kristalin PV paneli üretilmektedir. Tedarik edici firmanın (ACS Enerji) verdiği datasheet bilgilerine göre, polikristal güneş hücrelerinin elektriksel dönüşüm verimi %17, monokristal güneş hücrelerinin elektriksel dönüşüm verimi ise %18 olarak verilmektedir. PV paneller onar adet hücre seri olmak üzere, altışarlı sıradan 60 adet güneş hücresi ile üretilmiştir. Bir ön çalışma olarak üretilen panellerin açık devre gerilimleri (V_{oc}) yaklaşık 36,5 V olarak ölçülmüştür. Bir adet monokristal ve bir adet polikristal PV panel, TSE Enerji Teknolojileri Laboratuvarında test edilmiştir.

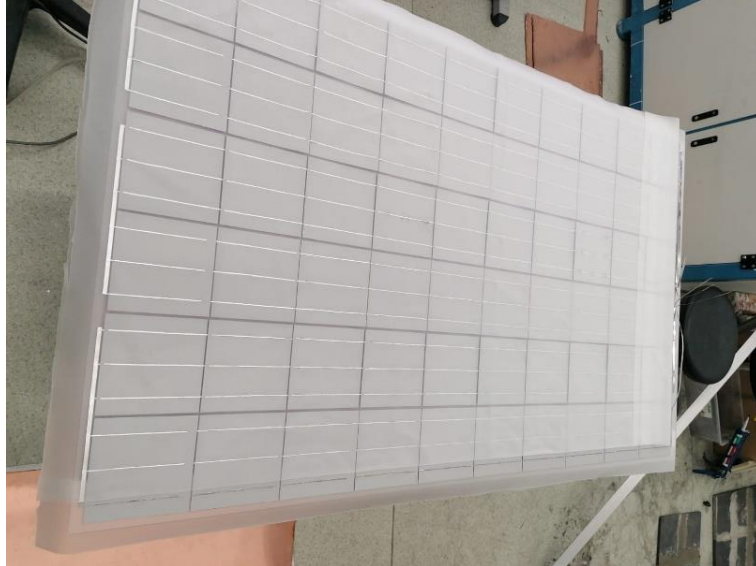


Resim 5.2. 1 Güneş hücrelerinin panel yapımı için hazırlanması



Resim 5.2. 2 Güneş hücrelerinin panel yapımı için seri ve paralel bağlanması

Resim 5.2.3'te enerji laboratuvarında fotovoltaik panelin sırasıyla cam-eva-hücre-eva-tedlar olacak şekilde katmanları oluşturulmuştur. Birleştirilmesine ilişkin resimler yer almaktadır.



Resim 5.2. 3 Güneş hücrelerinin birleştirilmesi

Resim 5.2.4 'te rezistanslar ile ısıtılan yağ devir daim edilerek 125°C dereceye kadar ısıtıldıktan sonra laminasyon cihazının içerisinde birleştirilmiş olan panel katmanları ile elektriksel bağlantıları kontrol edildikten sonra bırakılmıştır. Yüksek basınç ve sıcaklık altında evanın erimesiyle panel içerisinde hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde lamine edilen panel 12 dakikada üretilmiştir. Resim 5.2.5'te üretilmiş fotovoltaik panelin elektrik bağlantıları yapılarak açık devre gerilimleri (V_{oc}) ölçülmüştür.



Resim 5.2. 4 Güneş hücrelerinin laminasyonu ile PV panel üretilmesi



Resim 5.2. 5 Çalışma kapsamında Enerji laboratuvarında üretilen PV paneller

5.3 Bakır Serpantin Üretimi

Resim 5.3.1’de çalışma kapsamında kullanılan PVT bakır serpantinlerinin üretim aşamaları görülmektedir. Bakır levha, elektrik enerjisine dönüştürülemeyen ve PV hücreler üzerinde ısı yüküne dönüşen enerjiyi bakır borulardan geçen çalışma akışkanına aktarmakta, böylece PV panelin soğumasını sağlamaktadır. Çalışmada 0.5 mm’lik 1570x920 mm² boyutlarındaki bakır levha ve 8’lik olarak bakır su boruları kullanılmıştır. 2 mm kalınlıkta bir bakır plaka kullanılmak istenmiş ancak 1.6 m² PV panelin arkasına uygun 2 mm’lik bakır levhanın ağırlığı yaklaşık 20 kg olup bu ağırlık PVT sistemin toplam ağırlığını ve toplam maliyeti ciddi bir şekilde etkileyeceği için 0.5 mm’lik bir bakır levha kullanılmıştır. Bakır borular, maksimum temas alanı elde edilebilmesi için kıvrılmış, serpantin formu verilmiştir. Serpantin bakır borular, bakır-gümüş kaynağı ile bakır levhaya kaynatılmıştır. Giriş ve çıkış kısımlarına yine güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde standart olan ¾ lük vanalar kullanılmıştır. GAPYENEV’de yapılan termal testler için üretilen polikristal PV panellerin her birinin arkasına aynı özelliklerde serpantin bakır boru sistemi yerleştirilmiştir.



Resim 5.3. 1 PVT bakır serpantinleri üretim aşamaları

Özetle

1. Bakır serpantin tasarımları yapılmıştır.
2. Bakır serpantin üretimleri tamamlanmıştır.

PV panel, plakalar ve bakır serpantin bileşenleri birbirine entegre edilip PVT sisteme son şekli verilmiş, ara çıktı elde edilmiştir.



5.4 Plakaların Üretimi

Resim 5.4.1’de Zeolit plakası üretimi ilk denemelerine ilişkin çalışmaların fotoğrafları yer almaktadır. Kalıplar Uşak Hit Enerji tarafından temin edilmiştir. Farklı reçetelerde hazırlanan karışımlar, kalıp içerisine numunenin kolay çıkması için kalıp sökücü sıkıldıktan sonra kalıbın içerisi doldurularak preslerde basılmış, ardından 120 °C de fırınlanmıştır. Zeolit plakası üretme denemeleri başarılı sonuç vermiştir.



Resim 5.4. 1 Zeolit plakası üretimi ilk denemeleri

Resim 5.4.2’de PVT sistemde kullanılabilecek büyüklüklerde ve farklı kalınlıklarda kalıplar üretilmiştir (a) ve farklı oranlarda oluşturulan karışımlar prese yerleştirilerek **40 bar 75 dk 125°C sıcaklık** altında zeolit plakaları elde edilmiştir (b).



Resim 5.4. 2 Plakanın kalıp içerisinde hazırlanması

5.5 Plakaların Isıl İletim (k) Değerlerinin İncelenmesi

Resim5.5.1‘de üretilmiş olan farklı reçetelerdeki plakalara ısı iletkenlik cihazında bulunan ölçüm propunun çapına göre dikey matkap ile 4‘lük beton ucuyla delik açılmıştır. Bu işlemden sonra tek tek plakaların prop ucuna termal macun sürülerek hava ile teması kesildikten sonra ısı iletkenlikleri üçer kez ölçümlenerek k_{ort} hesaplanmıştır ve en uygun plaka bulunmuştur.



Resim 5.5. 1 Plakaların ısı iletim değerlerinin incelenmesi

Tez çalışmasında uygulanacak malzeme ve yöntemler kısaca listelenecek olursa:

1. Tezde öncelikle zeolitli PVT sistem için en uygun malzeme boyutu araştırılacaktır. Farklı boyutlardaki doğal zeolitlerin termofiziksel analizleri gerçekleştirilecektir.
2. İkinci olarak en uygun zeolit boyutu seçildikten sonra zeolit plakası yapımı için bağlayıcı malzeme (örneğin reçine) seçilecek, yine termofiziksel özellikleri değerlendirilecektir.
3. Zeolit boyutu ve bağlayıcı malzeme belirlendikten sonra zeolit plakası üretimine geçilecektir. Farklı kalınlıklarda zeolit plakası üretilecektir.
4. Güneş hücreleri lamine edilecektir. Isı transferinin en etkili şekilde gerçekleştirilebilecek şekilde farklı konfigürasyonlarda zeolitli PVT sistem üretilecektir.
5. Yeni üretilen bu sistem, gerçek meteorolojik koşullarda test edilip değerlendirilecektir.

Z1, Z2, Z3,
reçinenin
K değerlerinin
incelenmesi

K DEĞERİ ANALİZİ



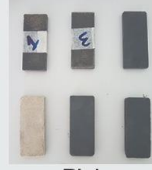
Z1

Z2

Reçine

Farklı reçete
karışımlarında
numune üretimi

ÜRETİM



Plaka

Press

Reçine

Zeolit

125 C
75 dakika 4 barda
plakaların
oluşturulması

ANA PLAKA ÜRETİMİ



Numune
oluşumu

Kalıp
oluşturma

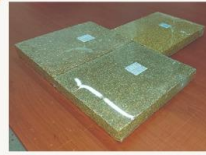
Press
makinesi

Kalıptan
çıkarma

Ana ürün
oluşumu

Ana plakanın
k değerlerinin
ölçümleri
ve optimum
plakanın
belirlenmesi

SONUÇ DEĞER



Ana ürün
oluşumu

Z2 plakanın
k değeri ölçümü

Z1 plakanın
k değeri ölçümü

Dikey matkap
delme işlemi

Şekil5. 1 Malzeme ve Yöntem

6. DENEY TASARIMI

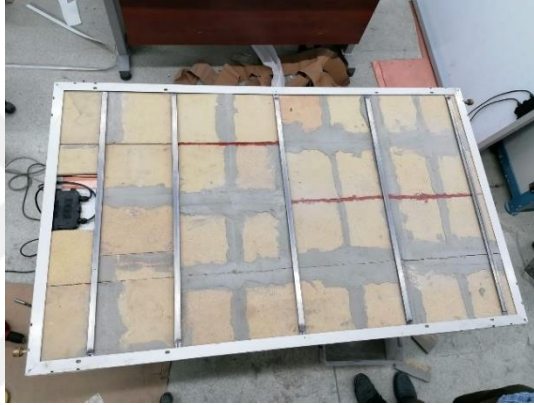
Bu bölümde sistem bileşenleri, deney tasarımı, kullanılan cihazlar ve ölçümlenen parametreler hakkında bilgi verilmektedir. Resim 6.1'de PV modülün arka yüzeyindeki akışkan borulara ısının daha iyi transfer edilmesi için ince bir bakır plaka yerleştirilmiştir. Akışkanın içinden geçtiği borular ise yine yüksek ısı iletimi nedeni ile bakırdan seçilmiş, bakır levha ile gümüş kaynağı birleştirilmiştir.



Resim 6. 1 PV modülün arkasına bakır levhanın birleştirilmesinin görünümü

Daha sonra Resim 6.2a'da Gördes yöresine ait üretilen 1 cm kalınlığında ki %5 reçine katkılı 32 adet doğal zeolitli plaka kalekim ile birleştirilerek 1.6 m² lik PVT sistemde bakır serpantin arkasına tamamını kaplayacak şekilde yerleştirilerek PVT sistemle bütünleştirilmiş hali gösterilmektedir. Resim 6.2a'daki PVT sistemde panel içerisinde, Z1 plakaları görülmektedir. Daha önceki kısımda belirlendiği üzere, Z1 plakaların yoğunluğu yaklaşık 1.5 g/cm³ idi. Buradan kullanılan zeolit plakasının PVT sisteme eklenmesiyle gözlenen kütle artışı 24 kg'dır. PVT sistem eğimli bir şekilde çatıda konumlandırıldığında sistemin mekanik yükünün sağlanabilmesi için, zeolit plakaları belli aralıklar ile yerleştirilen metal profiller ile desteklenmiştir. Burada, PV'nin yaklaşık 20 kg bakır serpantin sistemin 6 kg olduğunu not ederek toplamda yaklaşık bir panelin kütlesinin 50 kg'ı bulduğunun altının çizilmesi gereklidir. Resim 6.2b.'de doğal zeolitli plakaların yerleştirilmesinden sonra yalıtkan malzeme olan cam yünü'nün

yerleştirilmesi ve Resim 6.2c’de en son plastik bir plaka ile kapatılarak nihai şeklinin verilmesi görülmektedir. Burada belirtilmesi gereken bir nokta olarak PV çerçeve kalınlığı dikkat çekici bir parametredir. PV panel piyasasında 35 mm ve 40 mm’lik çerçeveler kullanılmakta olup bu çerçeve kalınlıkları standarttır. Çalışmada piyasada bulunabilen 40 mm’lik çerçeveler kullanılmıştır. Ancak doğal zeolit plakalı PVT sistemler için bir miktar daha kalın (43-45 mm) çerçeveler gerekmektedir. Bu sebeple 40 mm’lik çerçeveler ile sistem bileşenleri iyice sıkıştırılarak PVT sistem üretimi tamamlanmıştır.



(a)



(b)

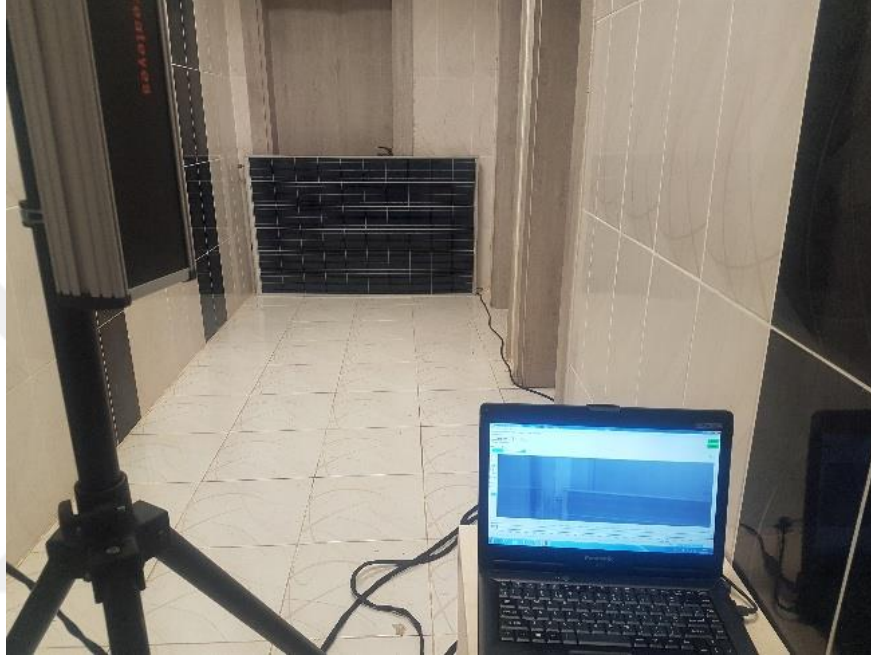


(c)

Resim 6. 2 Doğal zeolitli plakaların PVT sistem ile bütünleştirilmesi

Test ve Deneilerin Yapılması

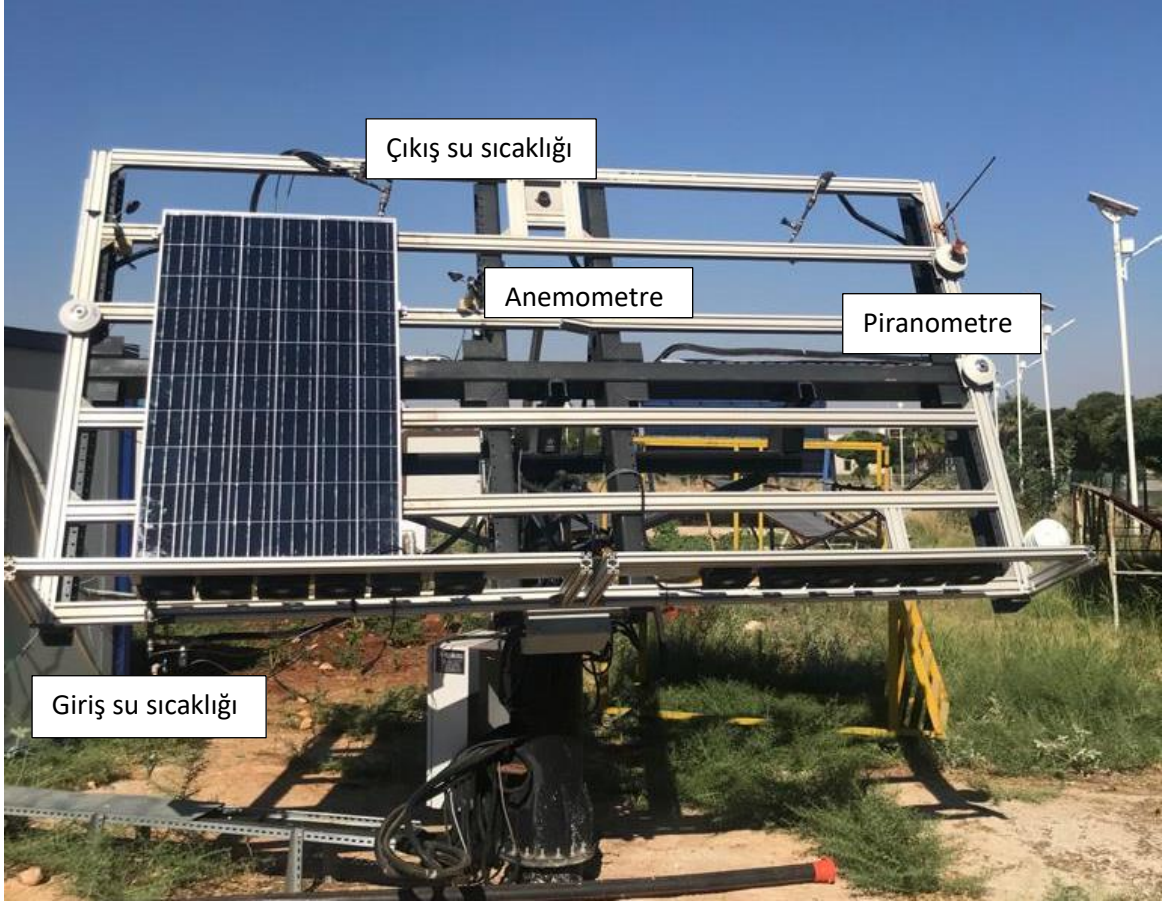
Resim 6.3'te GAPYENEV'de gerçekleştirilen PVT elektriksel performans ölçüm testine ilişkin görseller yer almaktadır. GAPYENEV'de termal performans testlerinin yanı sıra, elektriksel ölçüm testleri de gerçekleştirilmiştir.



Resim 6. 3 PVT elektriksel performans ölçüm testi

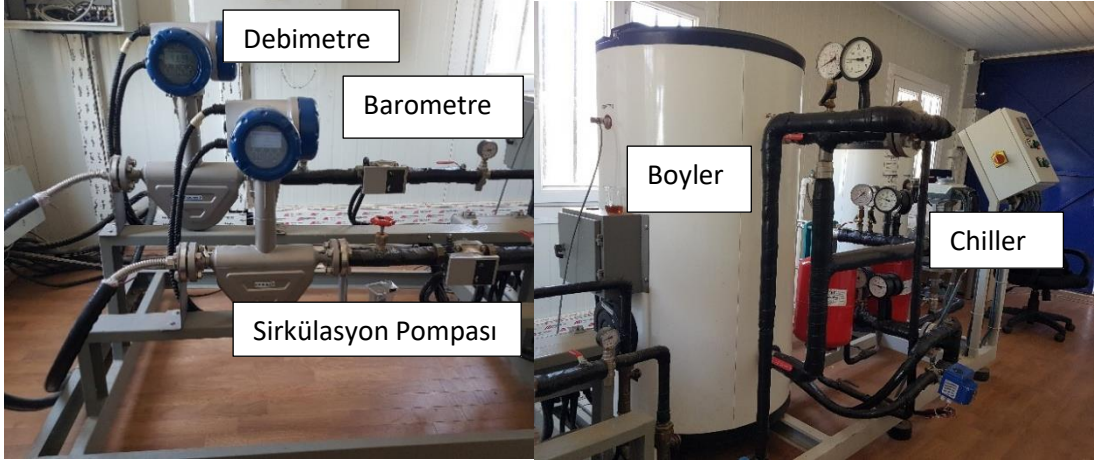
Resim 6.4'te Harran Üniversitesi GAPYENEV'de bulunan güneş enerjili termal sistemler test standında gerçekleştirilen test ve ölçümlere ilişkin görsel yer almaktadır. Testler 18-24 Temmuz 2020 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Standartlara göre termal testler dış hava sıcaklığının $\pm 3^{\circ}\text{C}$ değerlerinde gerçekleştirilmektedir. Temmuz ayı Urfa ili meteorolojik koşulları dikkate alındığında PVT sisteme giriş suyu sıcaklıkları standart testlerde çok yüksek olarak başlatılmıştır. Bununla birlikte sabahın erken saatlerinde boyler içindeki kapalı sistem suyu chiller soğutma kulesi ile soğutulmuş düşük sıcaklıklarda da GAPYENEV'de ek deneyler yapılarak termal testler ve beraberinde elektriksel testlerde gerçekleştirilmiştir. Testlerde üretilen 1 adet polikristal PV panel kullanılmıştır. Polikristal seçilmesinin nedeni ise, bu tür hücrelerin verimlerinin düşük

olması diğer bir deyişle daha fazla termal yk meydana getirmeleridir. Monokristallere göre, termal performans karşılaştirması için daha uygun olduğu düşünülmüştür.



Resim 6. 4 Güneşi izleyen performans test standı

Resim 6.5 'te PVT deney sistemi ve ölçüm cihazları sunulmaktadır. PVT sistem su giriş ve ıkışları kapalı sistem olacak şekilde boylere bağlanmıştır. Giriş suyu sıcaklığını aynı tutabilmek için soğutucu chiller sistem kullanılmıştır. lm cihazları data logger cihazına bağlanmıştır ve 2 dk'lık süre aralığında alınmıştır. Akışkan hızı sirkülasyon pompası ile sağlanmış ve debimetre (1.95 kg/h sabit debide testler gerçekleşmiştir) ile değerleri ölçümlenmiştir. PVT arka yüzey sıcaklıkları, su giriş-çıkış sıcaklıkları, debi, PVT yüzey güneş işinimi, dış sıcaklık, rüzgâr hızı ölçümleri meteoroloji istasyonu ile her bir sistem için kaydedilmiştir.

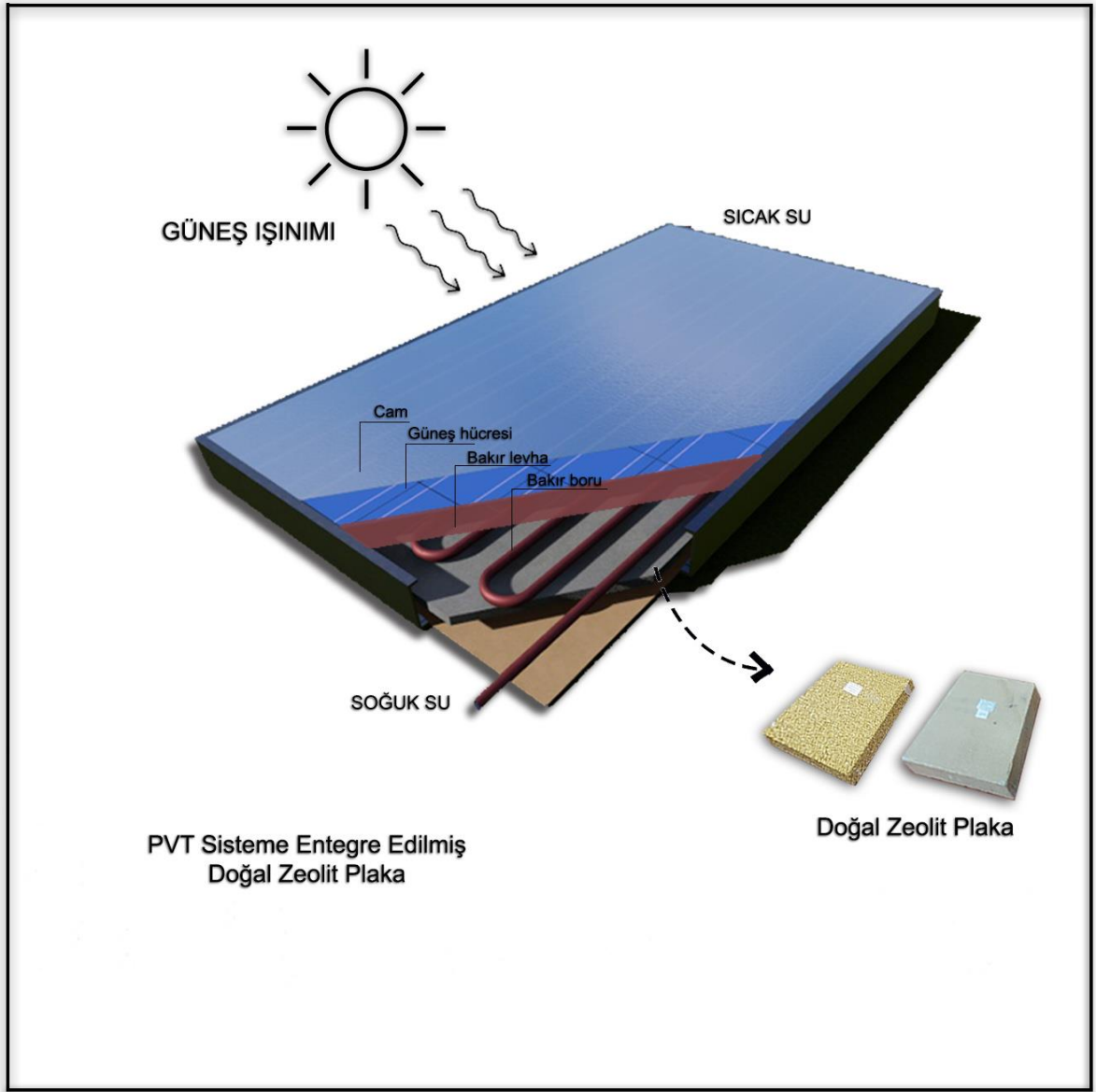


Resim 6. 5 Performans test kontrol üniteleri

Çizelge 6. 1 Cihaz tablosu

Cihaz Adı	Özellikleri
Meteoroloji istasyonu	<p>Veri toplama ünitesi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Her bir 20+2 sensör için elektronik ölçüm kartı • Soğurucu yüzey için sıcaklık ölçüm sensörü (A sınıfı, 0 - 300 °C aralığında) <ul style="list-style-type: none"> • Çift korumalı ve aktif havalandırmalı açık ortam hava ölçüm sensörü • Piranometre, ISO 9060'a göre sınıf 1 • Anemometre, ölçüm aralığı (0.5 - 50 m/s) • Hava soğutmalı elektrikli kabin • Sensörlerin montajı için raf • Kolektörlerin montajı için eğik, 5 adet kolektör kapasiteli test sehpası
Debimetre	Dijital göstergeli, ± 0.2% (0.5 - 10 m/s)

Termal kamera (Fluke Ti27)	Isıl görüntü alabilmektedir. -20°C ile +600°C arasında ölçüm yapabilmektedir.
Isıl çift (Ordal KR6R6 K Tipi)	0-650°C arasında sıcaklık ölçebilmektedir.
Isıl iletkenlik cihazı (TERMTEST TLS-100)	Malzemeler: Toprak, kaya, beton ve polimerler Termal iletkenlik: 0,1 ila 5 W/m.K Termal direnç: 0,2 ila 10 m.K/W Ölçüm zamanı: 3 dk(100mm)/ 5 dk. (50 mm) Sıcaklık aralığı: -40 ile 100°C Standartlar: ASTM D5334-14 ve IEEE 442-1981
Hassas terazi (Kern)	Kapasitesi: 2000g Hassasiyet: 0.01g İzin verilen ortam sıcaklığı: 10°C...30°C dir.



Şekil6. 1 Tasarım özeti

7. KURAMSAL ANALİZ

Çalışmada ele alınan doğal Zeolitli PVT sistem, Harran Üniversitesi GAPYENEV test alanında kurulmuş olup gerekli ölçümler gerçek meteorolojik koşullar altında deneysel testleri yapılarak değerlendirilmiştir. PVT sistemde elektriğe dönüştürülemeyen güneş ışınımı, oluşturduğu aşırı ısı yükünü çalışma sıvısı tarafından uzaklaştırır ve doğal zeolitli plakada hissedilir ısı olarak depolanır. Çalışmanın bu bölümünde; sisteme etki eden parametrelerin ölçülmesi, doğal zeolitli PVT sistemlerin termodinamik analizinin gerçekleştirilmesi, bunun yanı sıra ısı transferi mekanizmasının ortaya konması için dikkate alınan kabuller ve formüller yer almaktadır.

Termodinamik analiz sırasında aşağıda listelenen kabuller dikkate alınmıştır:

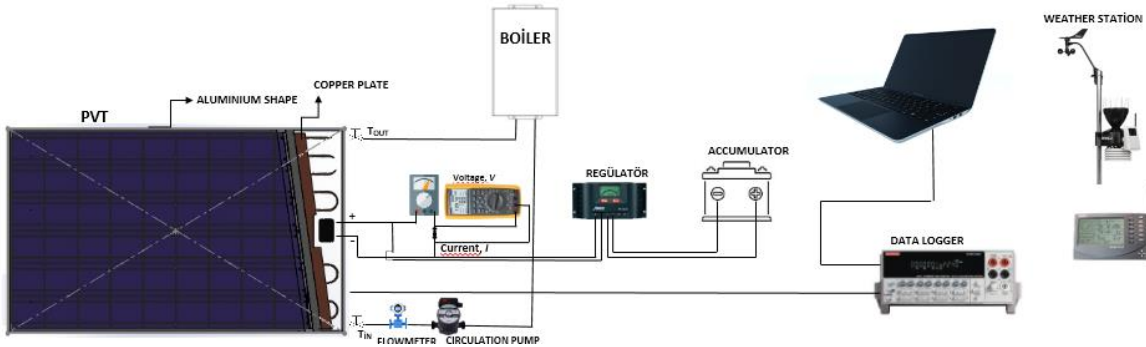
1. Hava kanalına giriş sıcaklığı T_a , dış ortam sıcaklığına eşit kabul edilmektedir.
2. Sistem sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmektedir.
3. Akışkan kanalının iç yüzeyi düzgündür, pürüzsüzdür.
4. Akışkan kanalının termal direnci ve dış ışıma kayıpları ihmal edilmiştir.
5. Atmosfer basıncı $P_0 = 1$ atm olarak kabul edilmektedir.
6. PVT'nin yan ve alt yüzeylerindeki ısı kayıpları yalıtım tabakası nedeni ile ihmal edilmiştir.

Çalışmada ölçülen parametreler şunlardır:

1. PVT yüzeyine gelen güneş ışınımı (W/m^2)
2. Yatay yüzey güneş ışınımı (W/m^2)
3. Rüzgâr hızı (m/s)
4. Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)

5. PVT yüzey ve sistemlerin farklı katmanlarındaki sıcaklıklar ($^{\circ}\text{C}$)
6. Suyun-çalışma akışkanının debisi (kg/s)
7. Suyun-çalışma akışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)
8. PV elektriksel ölçümleri, Akım (A) ve Gerilim (V).

PVT sistemin konstrüksiyonu sırasında 1 adet polikristal silisyum olan 275 W PV modül kullanılmıştır. Bu çalışmada solar regülatör, akü, elektriksel ölçüm cihazları, güneş ışınımı ölçer, meteoroloji istasyonu (güneş ışınımı, rüzgar hızı, dış sıcaklık ölçümü vb. ölçümleri saatlik olarak kaydeden) ve veri kaydedici (data logger) gibi birçok ölçüm cihazı ile birlikte farklı sistemler bu çalışmada kullanılmış ve ölçümler yapılmıştır.



Şekil 7. 1 PVT sisteminin deney şeması

Şekil 7.1’de numaralandırılan ölçümler aşağıda listelenmiştir:

1. Yatay güneş ışınımı, dış sıcaklık, rüzgâr hızı (meteoroloji istasyonundan).
2. PV modül üzerine düşen güneş ışınımı.
3. PVT farklı katmanlarının sıcaklık ölçümleri.
4. Çalışma akışkanının debisi.
5. Çalışma akışkanının PVT sisteme giriş sıcaklığı.
6. Akışkanının PVT sistemden çıkış sıcaklığı.

7. Elektriksel ölçümler (akım ve gerilim).

Ölçümlenen bu parametrelerin enerji analizi yapılmıştır. Enerji verimleri hesaplanmıştır. Enerji veriminin meteorolojik koşullara bağlı olarak değişimi incelenmiş, bunun yanında elde edilen verilerin istatistiksel analizine de yer verilmiştir.

PV'nin yüzeyine gelen güneş ışınımı $I (W/m^2)$, özellikle PV üst yüzeyinde ve PV tabakalarında kayıplara uğrayacaktır ve güneş ışınımının spektral cevap aralığı uygun dalga boylu ışınimleri PV tarafından elektrik enerjisine dönüştürülecektir. PVT sistemin sürekli açık sistem kabulü ile enerjinin korunumuna göre aşağıdaki denklik yazılabilmektedir:

$$\dot{I} = \dot{W}_{PV} + \dot{Q}_{kayıp} + \dot{Q}_{PV,kayıp} + \dot{Q}_{absorber} \quad (1)$$

Burada;

\dot{W}_{PV} = Üretilen elektriksel güç, $\dot{Q}_{kayıp}$ = Yüzeydeki ısıtım ve taşınım kayıpları,
 $\dot{Q}_{PV,kayıp}$ = PV tabakalarındaki iletim kayıpları, $\dot{Q}_{absorber}$ = Absorber 'a gelen güç

$$\dot{W}_{PV} = \eta_{PV,modül} \times \dot{I} \quad (2)$$

Burada ; $\eta_{PV,modül}$ = PV modülün elektriksel dönüşüm verimi, \dot{I} = Güneş ışınımı

$$\dot{Q}_{kayıp} = \dot{Q}_{taşınım} + \dot{Q}_{ışınım} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = h_w A (T_s - T_a) + \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_a^4) \quad (4)$$

Burada;

$\dot{Q}_{taşınım}$ = Taşınım ile oluşan ısı kayıpları, $\dot{Q}_{ışınım}$ = Işınlım ile oluşan ısı kayıpları, h_w = Rüzgarla taşınım ısı transfer katsayısı, A = PV modülün yüzey alanı, T_s = Yüzey sıcaklığı, T_a = Dış sıcaklık, ε = Emissive

$$h_w = (8,38 \times v_{\text{rüzgar}}) + 1,76 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{\text{yararlı,ısı}} = \dot{m}C_p(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (6)$$

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{Q}_{\text{yararlı,ısı}}}{I \times A} \quad (7)$$

$$\eta_{\text{PV}} = \frac{W_{\text{PV}}}{I \times A} \quad (8)$$

Burada;

- $\eta_{\text{ısı}}$ = Isıdan kazanılan verim
- η_{PV} = PV modülden kazanılan verim
- A= PV modülün yüzey alanı
- I = Güneş ışınımı

ρ = yoğunluk (kg/m^3) , m= kütle (kg) , v=hacim

$$\rho = m/v \quad (9)$$

α = Isıl yayılım (m^2/s) , k= ısı iletim katsayısı, C_p =özısı

$$\alpha = k/\rho C_p \quad (10)$$

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışmada ele alınan doğal Zeolit malzemesinin öz ısı, ısı iletkenlik, yoğunluk ve ısı yayılım özellikleri değerlendirilmiştir; malzemenin PVT sistem ile bütünleştirildiğinde, meteorolojik koşullar altında sisteme giren/çıkan su sıcaklıkları, panel yüzeyinde meydana gelen ısı yükü, elektriksel performansı, ortalama enerji verimleri için hesaplamalar yapılmıştır. Deneyler, Harran Üniversitesi GAPYENEV test sahasında 18-24 Temmuz 2020 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere Urfa, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan (37.08 °N enlem, 38.46 °E boylam) 518 m rakımı olan ve karasal iklime sahip bir ildir.

8.1 Malzemelerin Termofiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Çizelge 8.1.1. ve 8.1.2. de her bir malzeme için ortalama ısı iletkenlik ve yoğunluk ölçümleri oda sıcaklığında test edilmiştir. Bu ortalama ısı iletkenlikleri Z1, Z2, Z3 ve toz reçine için sırası ile 0,1503/ 0,134/ 0,099 ve 0,048 olarak ortaya konmuştur.

Çizelge 8.1. 1 Karışım ve plaka ısı iletkenlik değerleri (W/mK)

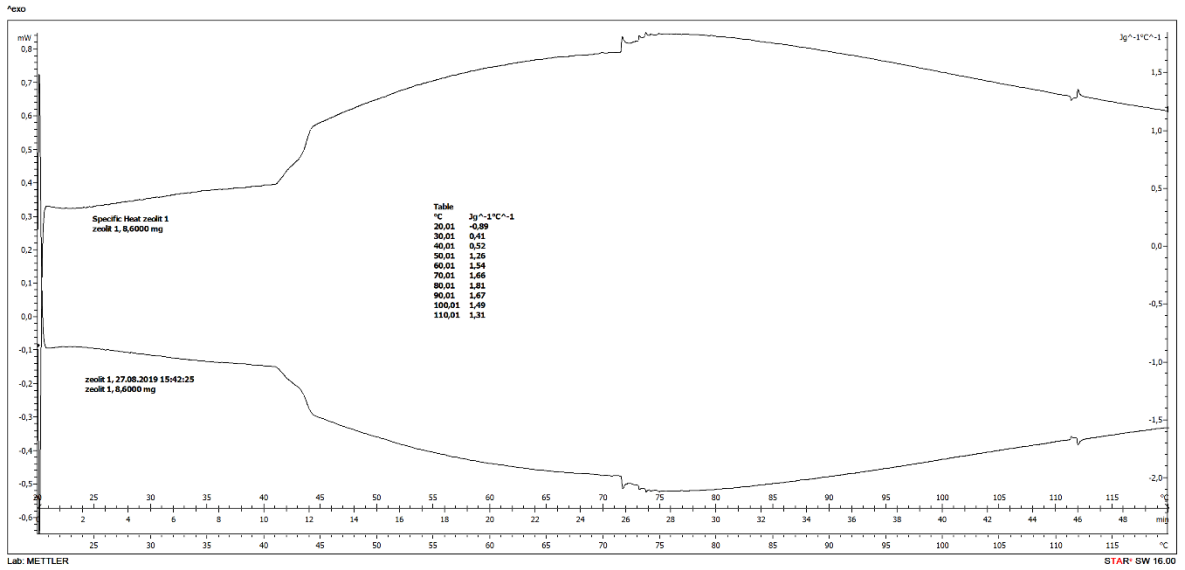
Numune	Karışım k değeri	Plaka k değeri
Z1	0.150	0.514
Z2	0.134	0.549

Çizelge 8.1. 2 Malzemelerin yoğunluk değerleri

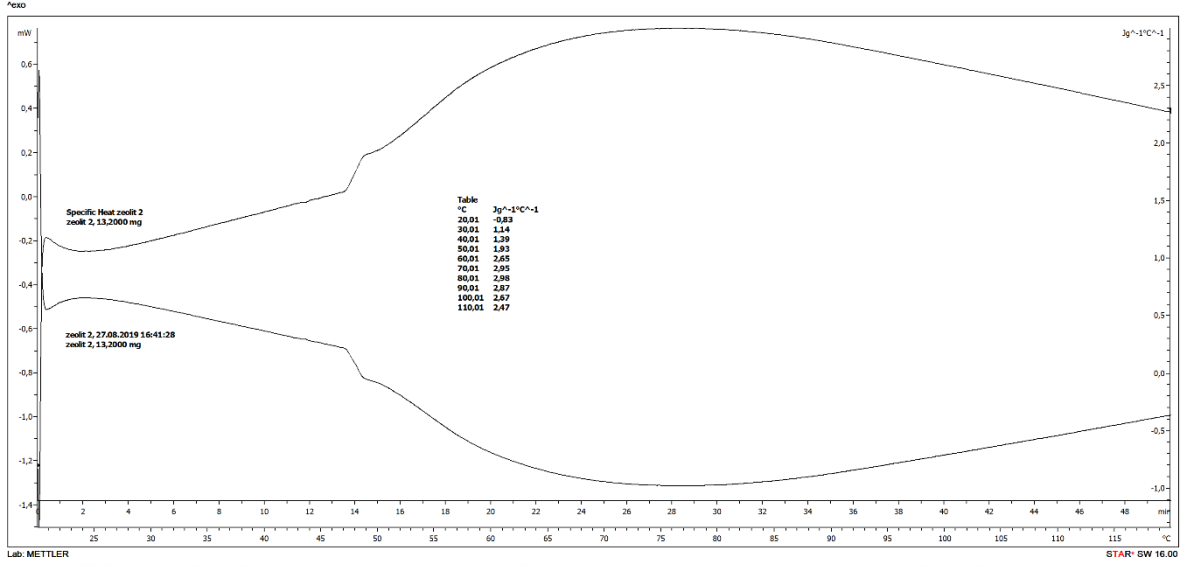
Numune	k değerleri (W/mK)	Kütle(kg)	Hacim(ml)	Yoğunluk (gr/cm ³)
Zeolit 1 (Z1)	0,150	40	21	1,905
Zeolit 2 (Z2)	0,134	40	27	1,48
Zeolit 3 (Z3)	0,099	40	24	1,667
Toz reçine	0,048	40	80	0,5

Özısı Ölçümleri

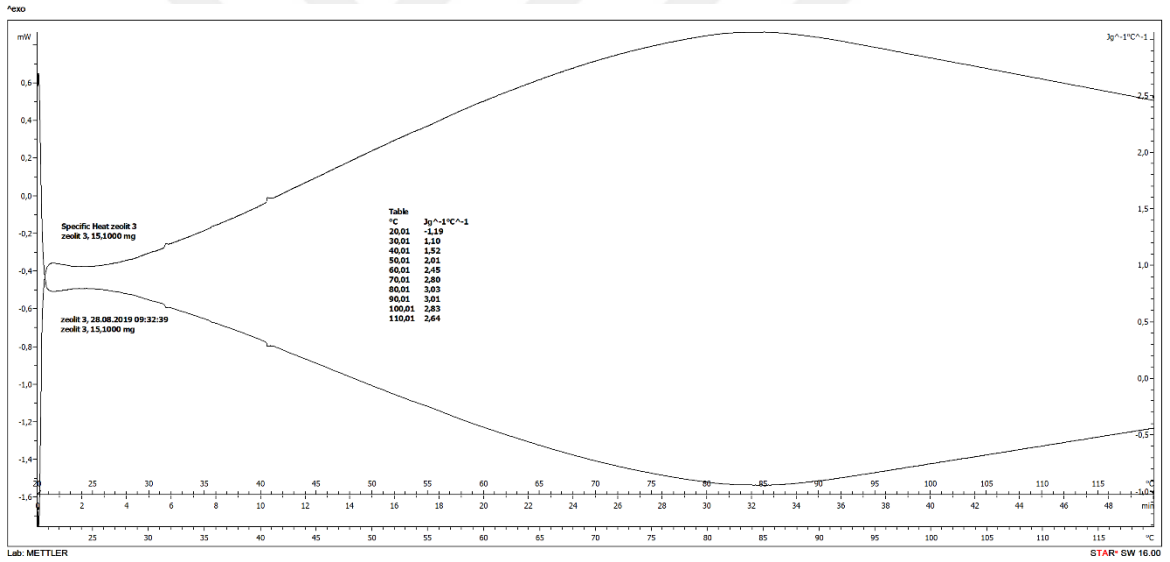
Çalışmada ele alınan malzemelerin öz ısı ölçümleri Çukurova Üniversitesi Merkezî Araştırma Laboratuvarı'nda DSC cihazında gerçekleştirilmiştir. PVT'nin çalışmasının sıcaklık aralığı dikkate alındığında, ölçümler 120°C ile sınırlandırılmıştır. Aşağıda Zeolit1 (Z1), Zeolit2 (Z2), Zeolit3 (Z3) ve Fenolik Reçine malzemelerinin öz ısı ölçüm grafikleri (Şekil 4.20-4.26) yer almaktadır.



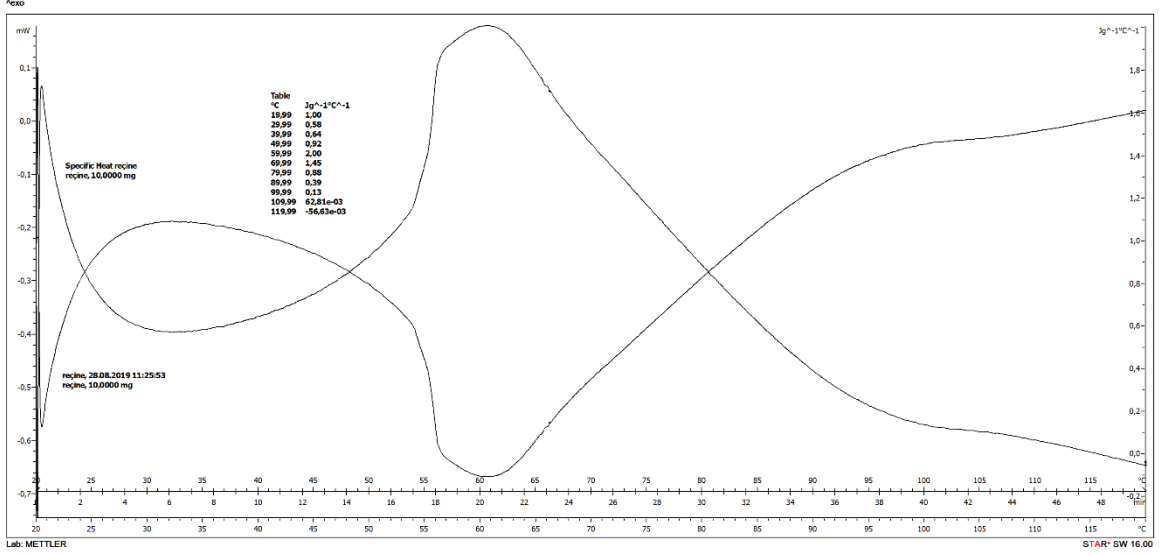
Şekil 8.1. 1 Z1 için öz ısının sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 8.1. 2 Z2 için öz ısının sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 8.1. 3 Z3 için öz ısının sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 8.1. 4 Fenolik Reçine için öz ısının sıcaklığa bağlı değişimi

Aşağıdaki çizelgelerde her bir malzeme için 30°C, 50°C, 80°C ve 100°C deki öz ısı, ısı iletkenlik, yoğunluk ve ısı yayılım özellikleri değerlendirilmiştir. PVT sistemde Zeolit plakasının ısıyı iletmesi ve termodinamik çalışma akışkanına aktarması için ısı yayılım parametresi dikkate alınmıştır. Isıl yayılım, bir malzemenin ısı iletiminin ısı kapasitesine oranıdır. Isıl kapasite ise bir malzemenin yoğunluk ve öz ısısının çarpımıdır. Yapılan ölçümlerde, elde edilen ısı iletkenlik ve ısı yayılım verileri açısından Z1'in verilerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.1. 3 30°C sıcaklıktaki öz ısı değerleri için malzeme özellikleri

Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özısı (J/kg°C)	Isıl Yayılım (m ² /s)	Isıl Kapasite (J/m ³ °C)
Zeolit 1	0,150	1905	410	0,000000192	781050
Zeolit 2	0,134	1480	1140	0,000000079	1687200
Zeolit 3	0,099	1667	1100	0,000000054	1833700
Fenolik Reçine	0,048	1820	580	0,000000045	1055600

Çizelge 8.1. 4 50°C sıcaklıktaki öz ısı değerleri için malzeme özellikleri

Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özısı (J/kg°C)	Isıl Yayınım (m ² /s)	Isıl Kapasite (J/m ³ °C)
Zeolit 1	0,150	1905	1260	0,000000063	2400300
Zeolit 2	0,134	1480	1930	0,000000047	2856400
Zeolit 3	0,099	1667	2010	0,000000030	3350670
Fenolik Reçine	0,048	1820	920	0,000000029	1674400

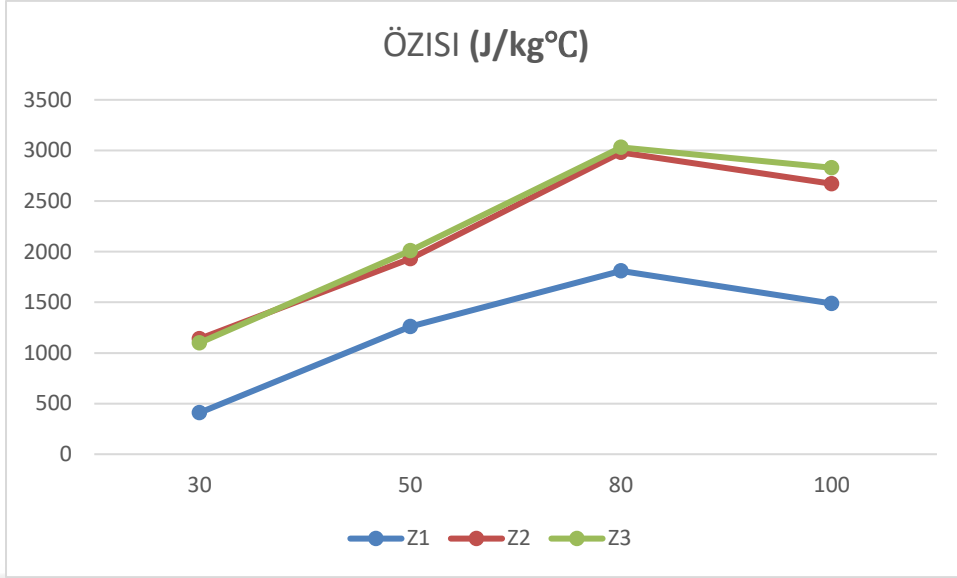
Çizelge 8.1. 5 80°C sıcaklıktaki öz ısı değerleri için malzeme özellikleri

Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özısı (J/kg°C)	Isıl Yayınım (m ² /s)	Isıl Kapasite (J/m ³ °C)
Zeolit 1	0,150	1905	1810	0,000000044	3448050
Zeolit 2	0,134	1480	2980	0,000000030	4410400
Zeolit 3	0,099	1667	3030	0,000000020	5051010
Fenolik Reçine	0,048	1820	880	0,000000030	1601600

Çizelge 8.1. 6 100°C sıcaklıktaki öz ısı değerleri için malzeme özellikleri

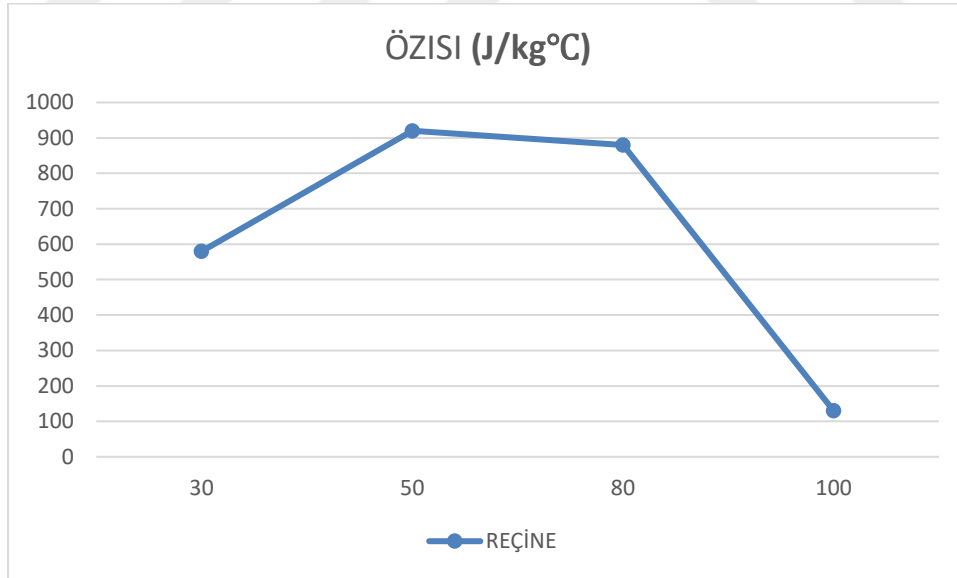
Malzeme	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özısı (J/kg°C)	Isıl Yayınım (m ² /s)	Isıl Kapasite (J/m ³ °C)
Zeolit 1	0,150	1905	1490	0,000000053	2838450
Zeolit 2	0,134	1480	2670	0,000000034	3951600
Zeolit 3	0,099	1667	2830	0,000000021	4717610
Fenolik Reçine	0,048	1820	130	0,000000203	236600

Z1, Z2 ve Z3 için 30, 50, 80 ve 100 °C sıcaklıklarda öz ısı değişimi görülmektedir. Öz ısı değeri tüm zeolit türlerinde, 80 °C'ye kadar sıcaklıkla artma eğilimi gösterirken, bu sıcaklıktan sonra azalışa geçmektedir. Z2 ve Z3'ün Z1'e göre tüm sıcaklıklarda öz ısısının diğer zeolitlere göre daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



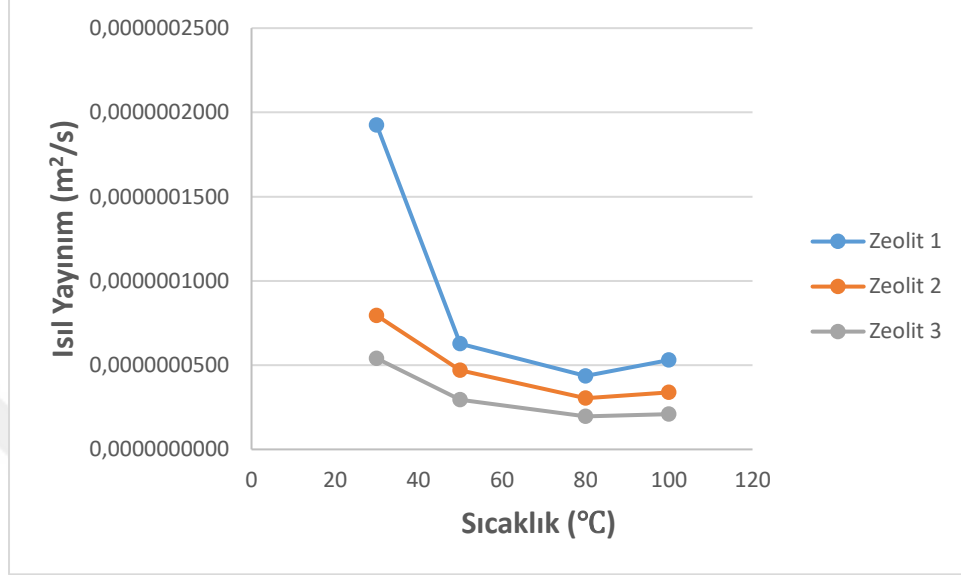
Tablo 8.1. 1 Doğal zeolit özısı değerleri

Tablo 8.1.2 de bağlayıcı malzeme olarak düşünülen Fenolik reçinenin sıcaklığa bağlı olarak değişen öz ısı değerleri verilmektedir.



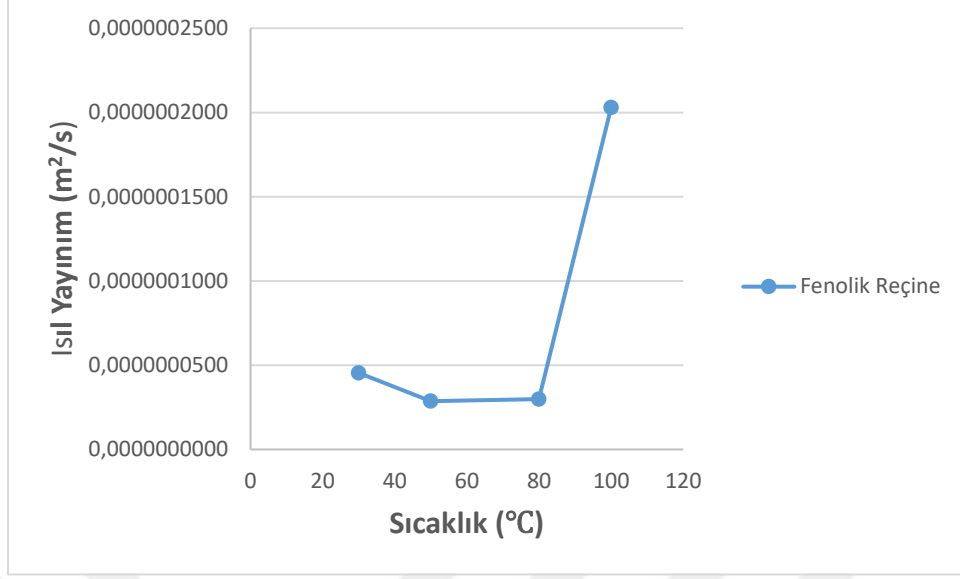
Tablo 8.1. 2 Reçine öz ısı değerleri

Aşağıda, yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, malzemelerin farklı sıcaklıklarda ısı yayınımları değerlendirilmektedir:



Şekil 8.1. 5 Farklı tanecik büyüklüğündeki Zeolitlerin ısı yayınımlarının sıcaklığa bağlı değişimi

Şekil 8.1.6'de Z1, Z2 ve Z3 için 30, 50, 80 ve 100 °C sıcaklıklarda ısı yayınımları değişimleri görülmektedir. Isıl yayınımları değeri tüm zeolit türlerinde, 80 °C'ye kadar sıcaklıkla azalma eğilimi gösterirken, bu sıcaklıktan sonra artışa geçmektedir. PV panellerde oluşan sıcaklıklar 120 °C değerlerini bulabilmektedir. Ancak genellikle ülkemiz koşullarında 60-80 °C civarında seyretmektedir. 30°C den sonra hızlı bir düşüş gösterse de Z1 ısı yayınımları tüm sıcaklık değerlerinde en yüksek değere sahiptir. Bu nedenle, plaka üretiminde öncelikle Z1 dikkate alınacaktır. Ancak ısı yayınımları yüksek olmakla birlikte, Z1'in ısı kapasitesi diğerlerine göre düşüktür.



Şekil 8.1. 6 Bağlayıcı ısı yayınımlarının sıcaklığa bağlı değişimi

Şekil 8.1.2’de bağlayıcı malzeme olarak düşünülen fenolik reçinenin sıcaklığa bağlı olarak ısı yayınımları değerleri verilmektedir. Zeolit paneli üretiminde, karışım preslendikten sonra yaklaşık 120 °C’de fırınlanmıştır. Bu aşamada ısıtılan plakada reçine ve suyun belirli oranlarda uçması beklenmektedir. Üretilecek plakanın mekanik mukavemeti de bağlayıcı seçiminde ayrıca önemli bir ölçüttür. Ayrıca Zeolit plakası üretildiğinde, yüksek sıcaklıkta sinterleme vb. uygulamalardan geçtiğinde kütle kaybı dikkate alınmalıdır. Bunun yanında farklı bağlayıcı malzemeler ile denemeler yapılmış ve belirtilen hususlar dikkate alınarak en uygun bağlayıcı seçimi gerçekleştirilmiştir.

8.2 Bağlayıcı Malzeme

Her bir malzemenin termofiziksel analizlerinin ardından, bağlayıcı malzeme için çalışmalar yapılmıştır. Farklı plakaların ısı iletkenliklerinin karşılaştırılabilmesi için sabit bir bağlayıcı oranı seçilmesi gerekmektedir. Testlerde fenolik toz reçine denenmiş ve karışımda bunun eşit bir şekilde tüm noktaya yayıldığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmalar fenolik toz reçine ile devam ettirilmiştir. Ayrıca fenolik toz reçinenin ısı

yayınım değeri, yüksek sıcaklıklarda hızla artış göstermektedir. Bu özellik, PVT sistemlerde sıcaklık artışında ısı kontrolü ve plakalar yolu ile ısı transferinin iyileştirilmesi hedefi dikkate alındığında, sistem için istenen olumlu bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çizelge 7.2.1 de Z1, Z2 ve Z3 zeolit tipi için farklı reçine oranlarındaki karışımların ısı iletkenlik değeri; Çizelge 7.2.2’de üretilen zeolit plakalarının ısı iletkenlik değeri sunulmaktadır.

Çizelge 8.2. 1 Farklı reçine oranlarında Z1 toz hali ısı iletkenlik değeri

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune	
%90 Z1, %10 R		%93 Z1, %7 R		%95 Z1, %5 R		%98 Z1, %2 R	
Ölçüm-1	0.219	0.193	0.165	0,135			
Ölçüm-2	0.211	0.191	0.174	0,131			
Ölçüm-3	0.217	0.191	0.171	0,139			
kort (W/mK)	0.216	0.192	0.170	0.135			

Çizelge 8.2.2’de 40 bar 75 dk 125°C sıcaklık altında oluşturulan 2000g karışım numunelerinin k(W/mK) değeri verilmektedir. Buna göre, reçine oranı arttıkça ısı iletkenlik değeri yükselmekle birlikte, literatür çalışmalarında parafinin göstermiş olduğu ısı iletkenlik değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. PVT için üretilmesi istenen plakalarda zeolit oranı ne kadar fazla ise ısı depolama o kadar fazla olacağından ve maliyeti en aza indirmek için, plakaları sağlıklı bir şekilde üretecek minimum reçine miktarı dikkate alındığında %5 reçine oranının plakaların sağlam ve düzgün üretimini sağlayacak en uygun oran olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 8.2. 2 Farklı reçine oranlarında Z1 plakalarının ısı iletkenlik değeri

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune	
%90 Z1, %10 R		%93 Z1, %7 R		%95 Z1, %5 R		%98 Z1, %2 R	
Ölçüm-1	0.656	0.598	0.512	0.413			
Ölçüm-2	0.658	0.605	0.538	0.442			
Ölçüm-3	0.653	0.603	0.492	0.424			
kort (W/mK)	0.656	0.602	0.514	0.426			

8.3 Plaka seçimi

Öncelikle, üretilen plakaların kalınlığı 1 cm olacak şekilde bir kalıp üretimi yapılmıştır. Plakaların boyutları 250x200 mm'dir. Z1 plakaları için ortalama yoğunluk 1.50 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Plakaların farklı kalınlıklarda üretimi için ikinci bir kalıp hazırlanmış, bu kalıp ile 2.4 cm kalınlığında plakalar üretilmiştir. Plaka kalınlığı arttıkça, PVT'ye getireceği yük ciddi oranda artmaktadır. 1 cm'lik Z1 plakası yaklaşık 0.75 kg'dır. 1.6 m²lik bir PV sistemde 32 adet kullanılmıştır ve 1 cm'lik zeolit plakası yaklaşık 24 kg'lık ek yük getirmiştir. Bu durum özellikle çatı uygulamalarında statik yük dayanımını olumsuz etkileyeceği için, plakalı PVT testlerinde plaka kalınlıklarının 1 cm olarak sınırlandırılmasına karar verilmiştir.

8.4 PV Panel

Çalışmada, TSE Enerji Teknolojileri Laboratuvarında test edilmek üzere, Uşak Üniversitesi'nde bir monokristal bir de polikristal PV güneş paneli üretilmiştir. PV paneller üretilirken, güneş hücreleri arasındaki bağlantıların manuel lehim işlemi ile yapıldığı ve panelde kullanılmayacak hücreler için mikro çatlak belirleyicisinin olmamasına rağmen, elle üretilen PV panellerimizin oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. PV üretim fabrikaları artık son derece yüksek otomasyona sahiptir ve buralarda el değmeden robot kollar ile lehim işlemleri standart biçimde yapılmaktadır. Ayrıca, panellerde kullanılacak güneş hücreleri, mikro çatlak belirleme için elektroluminesans işlemlerinden geçirilmekte, çatlak bulunan hücreler, panellerde kullanılmamaktadır. Çalışmada bu olanaklar bulunmamasına rağmen verimli PV panelleri üretilmiş, TSE tarafından sertifikalandırılmıştır.

Şekil 8.4'de görüldüğü üzere PV paneller, TSE tarafından "TS EN 61215: Kristalin Silikon Karasal Fotovoltaik (PV) Modüller" standardı doğrultusunda test edilmiştir. Test sonuçlarına göre monokristal PV panelden 238.36 W, polikristal PV panelden 227.61 W'lık güç elde edilmiş, monokristal için %14.9; polikristal için %14.2 elektriksel dönüşüm verimi (alınan gücün verilen güce oranı, 1.6 m² panel için) elde edilmiştir. Bu verim değerleri, 1000 W/m² ışınım ve 25°C ortam sıcaklığı koşullarında,

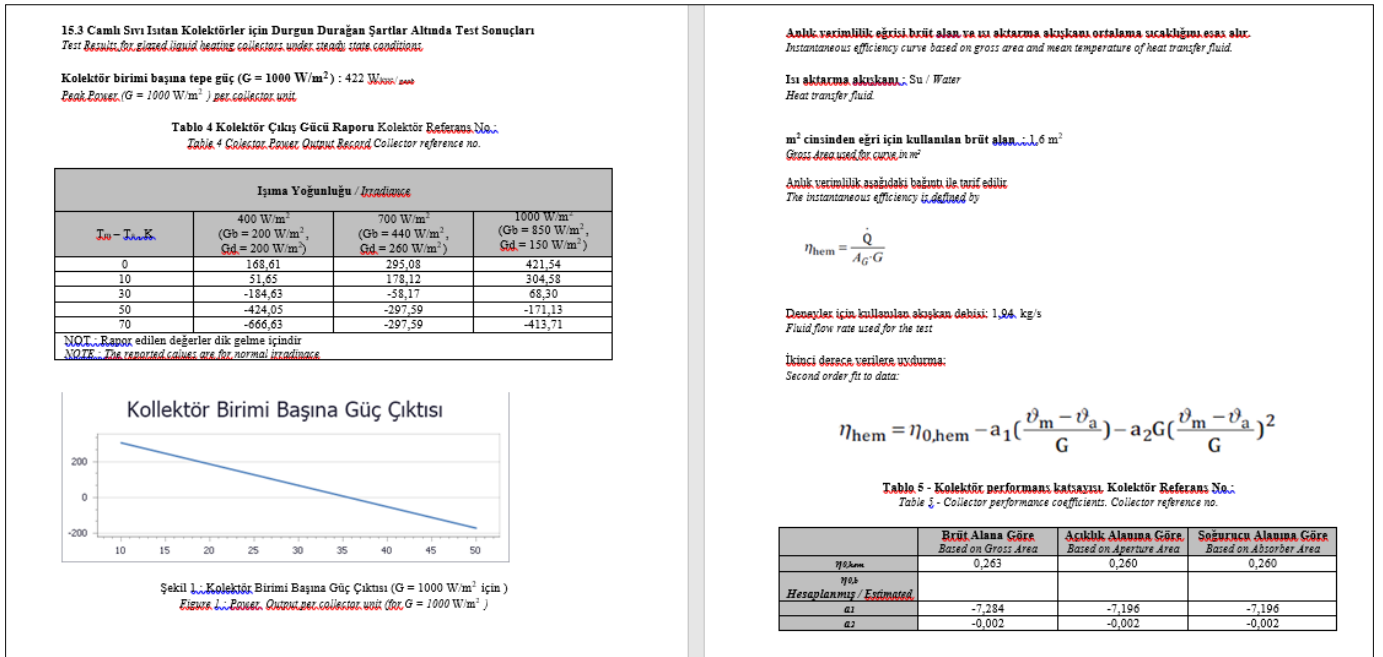
anlık olarak güneş simülatörü ile elde edilen standart modül verimleridir. Tedarikçinin değerlerine göre, monokristal hücrelerin verimi %18, polikristal hücrelerin verimi %17 olarak verilmektedir. Ancak bu değerler tek bir hücrenin verimi olup üretilen PV'lerin güç ve verim değerleri piyasa koşulları ile uyumludur. TSE Enerji Teknoloji Laboratuvarı'nda monokristal PV panel ve polikristal PV panel test sonuçları bulunmaktadır. 19.06.2020 tarihinde yapılan test sonuçlarına göre; Uşak Üniversitesi Enerji Laboratuvarı'nda üretilen PV paneller, piyasadaki emsalleri ile benzer özellikler göstermektedir [35].

Şekil 8.4. TSE Enerji Teknoloji Laboratuvarı mono ve polikristal PV panel test sonuçları

TSE		DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI ENERJİ TEKNOLOJİLERİ LABORATUVARI ÖSTİM TEKNİK ŞEFLİĞİ HEADSHIP OF TSE TEST and CALIBRATION CENTER ENERGY TECHNOLOGIES LABORATORY(OSTİM)		AB-0001-T 534251 06-20		
Numuneler						
Numune #	Numune (Seri No)					
1	3 Busbar bulunan modül					
2	5 Busbar bulunan modül					
TABLO : En Yüksek Güç Tayini (TABLE): (Maximum power determination)						
Test Tarihi (Test Date) [MM/DD/YYYY] .. :	19.06.2020				---	
Ön Şartlandırma (Preconditioning) ... :	-				---	
Modül Sıcaklığı (Module temperature) [°C] .. :	25°C				---	
İşinim Miktarı (Irradiance) [W/m ²]..... :	1000 W/m ²				---	
Numune (Sample) #	Isc [A]	Voc [V]	Imp [A]	Vmp [V]	Pmp [W]	FF [%]
1	8.81	37.60	7.99	29.79	238.36	71.89
2	8.82	37.35	8.06	28.24	227.61	69.09
Belirsizlikler Isc : ±%3.7 , Voc : ±%1.1 , Pmax:±%3.6						

8.5 PVT SİSTEM

Şekil 8.5.1.'de GAPYENEV'de sağlanan standartlar doğrultusunda, 42 °C kolektör giriş sıcaklığında gerçekleştirilen termal test sonuçları yer almaktadır. Belirlenen koşullarda, doğal zeolit plakaları ile oluşturulmuş PVT sistem için termal verim %26 olarak belirlenmiştir.



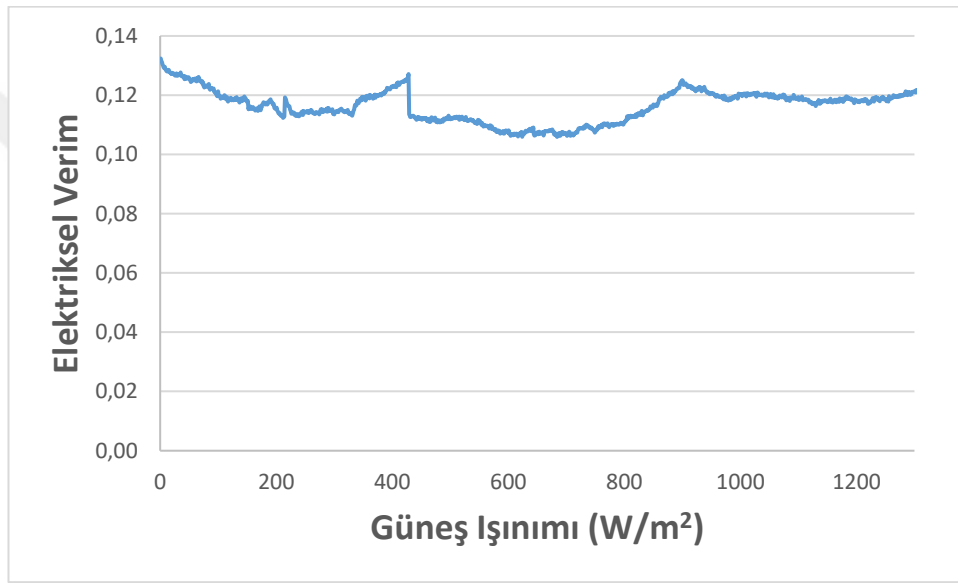
Şekil 8.5. 1 GAPYENEV doğal zeolitli PVT sistem termal test sonucu

GAPYENEV'de gerçekleştirilen analizlerde standartlara göre, PVT sisteme giriş suyu sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre $\pm 3^\circ\text{C}$ olması gerekmektedir. Deneylerin gerçekleştirildiği dönemin Temmuz ayına denk gelmesi nedeni ile giriş suyu sıcaklık değerleri oldukça yüksektir. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde, güneş ışıını ve giriş suyu sıcaklığı arttıkça, verim azalır. Örneğin ısı yalıtım standardında verildiği üzere, Uşak 3. derece gün bölgesindedir, aylık ortalama sıcaklıklar Ocak ve Temmuz aylarında sırası ile 1.3°C ve 21°C olarak verilmektedir [TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları]. Sonuç olarak deneylerin yapıldığı koşullar en uç koşullar olup bu koşullarda elde edilebilecek en düşük termal verim söz konusudur.

GAPYENEV Araştırma Merkezi'nde Gerçekleştirilen Ek Denejlere İlişkin Sonuqlar

Standart deneylerden sonra GAPYENEV' de ek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Daha önce belirtildiği üzere, PV ve güneş enerjili termal su ısıtma sistemlerine yönelik ayrı ayrı test standartları bulunmasına rağmen, yeni bir sistem olması nedeni ile PVT sistemlere ilişkin bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle GAPYENEV'de standartlara yönelik elektriksel ve termal analizler ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 8.5. 2 Doğal zeolitli PVT sistemin elektriksel verimleri

Şekil 8.5.2'te GAPYENEV'de gerçekleştirilen doğal zeolitli PVT sistem deneylerinden edinilen veriler doğrultusunda hesaplanan elektriksel verimlerin ışınlama bağlı değişim grafiği yer almaktadır. Bu analizde, doğal zeolitli (Z1) PVT sistem elektriksel deneyleri için 1309 data kullanılmıştır. Sistem için elektriksel verim 0.11 ila 0.13 arasında değişirken ortalama değer 0.1164 olarak hesaplanmıştır. Düşük ışınlım değerlerinde, zeolit plakalı PVT'nin daha iyi bir verimde seyrettiği görülmüştür.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın bu bölümünde plakalardan elde edilen sonuçlar ve PVT sistem ile bütünleştirildiğinde meteorolojik koşullar altında elde edilen deneysel test sonuçları listelenmiştir. Daha sonra sistemin daha verimli çalışması ve geliştirilmesi için öneriler sunulmuştur.

- Z1, Z2, Z3 ve Reçinenin saf hallerinden elde edilen ısı iletkenlik değerleri ve ısı yayınımları sırasıyla 0.153, 0.134, 0.099, 0.048 W/mK ve 1905, 1480, 1667, 1820 kg/m³ olarak hesaplanmıştır.
- Z1, Z2, Z3 ve Reçinenin plaka hallerinden elde edilen ısı iletkenlik değerleri sırasıyla 0.514, 0.549 ve 0.549W/mK olarak hesaplanmıştır.
- Üretilen monokristal PV ve polikristal PV değerleri TSE tarafından standartlar doğrultusunda test edilerek sırasıyla 238.36 W, 227.61 W lık güç elde edilmiş olup, monokristal için %14.9; polikristal için %14.2 elektriksel dönüşüm verimi ortaya konmuştur.
- Doğal zeolitli plakalar ile bütünleştirilen PVT sistemin ortalama elektriksel verimi meteorolojik koşullar altında %11.64 olarak hesaplanmıştır.
- Doğal zeolitli plakalar ile bütünleştirilmiş PVT sistemin toplam verimi %38 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara ek olarak, üretim aşamasında ve deneyler sırasında karşılaşılan bazı önemli gözlemler ve öneriler şu şekilde sıralanabilir:

1. Zeolit plakalarının ısı depolama özelliği farklı alanlarda kullanılmak üzere test edilebilir.
2. Malzemenin TGA'sına bakılarak daha detaylı ürün analizi yapılabilir.
3. Doğal zeolitlere yeni malzemeler ekleyerek ve karıştırarak genel sistem verimliliğini artırmak için ısı transfer mekanizması ayrıntılı olarak incelenebilir.

10. KAYNAKLAR

1. İ. Ceylan ve A. E. Gürel, Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı, 2. Baskı, Bursa: Dora Yayıncılık, 2018.
2. D. Das, P. Kalita and O. Roy, "Flat plate hybrid photovoltaic- thermal (PV/T) system: A review on design and development," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 84, pp. 111-130, 2018.
3. Sumit Tiwari, G.N. Tiwari, 2016, ‘’ Fotovoltaik-termal (PVT) karma modlu sera güneş kurutucusunun egzersiz ekonomik analizi ‘’. Energy, 114, 155-164
4. Ahmad Fudholi, Muhammad Zohri, Nurul Shahirah Binti Rukman, Nurul Syakirah Nazri, Muslizainun Mustapha, Chan Hoy Yen, Masita Mohammad, Kamaruzzaman Sopian, 2019, ‘’ Fotovoltaik termal (PVT) hava toplayıcısının ekserji ve sürdürülebilirlik endeksi: Teorik ve deneysel bir çalışma ‘’. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 44–51
5. 21 Maria C. Browne, Declan Quigley, Hanna R. Hard, Sarah Gilligan, Nadja C. C. Ribeiro, Nicholas Almeida and Sarah J. McCormack, Assessing the thermal performance of phase change material in a photovoltaic/thermal system, Energy Procedia 91 (2016) 113 – 121
6. M.A. Kibria, R. Saidur, F.A. Al-Sulaiman, Md Maniruzzaman A. Aziz, Development of a thermal model for a hybrid photovoltaic module and phase change materials storage integrated in buildings, Solar Energy, Volume 124, February 2016, Pages 114-123
7. Patricia Royo, Víctor J. Ferreira, Ana M. López-Sabirón, Germán Ferreira, Hybrid diagnosis to characterise the energy and environmental enhancement of photovoltaic, Energy, Volume 101, 15 April 2016, Pages 174-189
8. Isha Sharma, Jin Dong, Andreas A. Malikopoulos, Michael Street, Jim Ostrowski, Teja Kuruganti, Roderick Jackson, A modeling framework for optimal energy management of a residential building, Energy and Buildings, Volume 130, 15 October 2016, Pages 55-63
9. Zhenjun Ma, Wenye Lin, M. Imroz Sohel, Nano-enhanced phase change materials for improved building performance, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 58, May 2016, Pages 1256-1268

10. Solar thermal energy storage and heat pumps with phase change materials, V. Kapsalis, D. Karamanis, Applied Thermal Engineering, Volume 99, 25 April 2016, Pages 1212-1224
11. Farid Bahiraei, Amir Fartaja, Gholam-Abbas Nazri, Experimental and numerical investigation on the performance of carbonbased nanoenhanced phase change materials for thermal management applications, Energy Conversion and Management, 153, 2017, 115-128
12. Mohammad Sardarabadi, Mohammad Passandideh-Fard, Mohammad-Javad Maghrebi, Mohsen Ghazikhani, Experimental study of using both ZnO/ water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems, Solar Energy Materials & Solar Cells, 161, 2017, 62-69
13. Di Su, Yuting Jia, Yaxue Lin, Guiyin Fang, Maximizing the energy output of a photovoltaic–thermal solar collector incorporating phase change materials, Energy and Buildings, Volume 153, 15 October 2017, Pages 382-391
14. S. Sharma, L. Micheli, W. Chang, A.A. Tahir, K.S. Reddy, T.K. Mallick, Nano-enhanced Phase Change Material for thermal management of BICPV, Applied Energy, Volume 208, 15 December 2017, Pages 719-733
15. Zigeng Luo, Zhaowen Huang, Ning Xie, Xuenong Gao, Tao Xu, Yutang Fang, Zhengguo Zhang, Numerical and experimental study on temperature control of solar panels with form-stable paraffin/expanded graphite composite PCM, Energy Conversion and Management, 149, 2017, 416-423
16. Ewa Klugmann-Radziemska, Patrycja Wcisło-Kucharek, Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials, Solar Energy, Volume 150, 1 July 2017, Pages 538-545
17. Aditya Chauhan, V.V. Tyagi, Sanjeev Anand, 2018, “Güneş enerjisi PV / termal sistemlerinde termal yönetim için olası uygulamalar ile fütüristik yaklaşımı”. Energy Conversion and Management, 163, 314–354
18. Amirmohammad Behzadi, Ehsan Gholamian, Pouria Ahmadi, Ali Habibollahzade, Mehdi Ashjaee, 2018, “ Güneş ve jeotermal tabanlı bir entegre enerji sisteminin enerji, ekserji ve efor ekonomisi (3E) analizleri ve çok amaçlı optimizasyonu “. Applied Thermal Engineering, 143, 1011–1022

19. Arash Kazemian, Mohammad Hosseinzadeh, Mohammad Sardarabadi, Mohammad Passandideh-Fard, 2018, ‘‘ Fotovoltaik termal sistemlerde (PVT) soğutucu olarak hem etilen glikol hem de faz değiştirici malzemenin enerji, ekserji ve entropi üretimi bakış açılarından kullanılması üzerine deneysel çalışma ‘’. *Energy*, 162, 210-223
20. Liu X, Zhou Y, Zhang G (2018). Numerical study on cooling performance of a ventilated Trombe wall with phase change materials, *Building Simulation*;11: 677–694.
21. Ahmad Fudholi, Muhammad Zohri, Nurul Shahirah Binti Rukman, Nurul Syakirah Nazri, Muslizainun Mustapha, Chan Hoy Yen, Masita Mohammad, Kamaruzzaman Sopian, 2019, ‘‘ Fotovoltaik termal (PVT) hava toplayıcısının ekserji ve sürdürülebilirlik endeksi: Teorik ve deneysel bir çalışma ‘’. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 44–51
22. Ali Habibollahzade, 2019, ‘‘ Fotovoltaik / termal panellerin güneş baca çatısı olarak kullanılması: 3E analizleri ve çok amaçlı optimizasyon ‘’. *Energy*, 166, 118-130
23. M.S. Hossain, A.K. Pandey, Jeyraj Selvaraj, Nasrudin Abd Rahim, M.M. Islam, V.V. Tyagi, 2019, ‘‘ İki yan serpantin akış esaslı fotovoltaik-termal-faz değişim malzemeleri (PVT-PCM) sistemi: Enerji, ekserji ve ekonomik analiz ‘’. *Renewable Energy*, 136, 1320-1336
24. AL-Musawi AIA, Taheri A, Amin Farzanehni, Sardarabadi M, Passandideh-Fard M (2019). Numerical study of the effects of nanofluids and phase-change materials in photovoltaic thermal (PVT) systems. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*; 137:623–636.
25. Chen X, Zhang Q, Zhai ZJ, Ma X (2019). Optimization and sensitivity analysis of design parameters for a ventilation system using phase change materials, *Building Simulation*;12: 961–971.
26. Yuting Jia, Guruprasad Alva, Guiyin Fang, 2019, ‘‘ Fotovoltaik termal sistemlerin geliştirilmesi ve uygulamaları: Bir derleme’’. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 249–265
27. Taheri A, Kazemi M, Amini M, Sardarabadi M, Kianifar A (2020). The performance assessment of nanofluid - based PVTs with and without transparent glass cover: outdoor experimental study with thermodynamics analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*; <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09311-9>.

28. Firoozzadeh M, Shiravi AH, Shafiee M (2020). Thermodynamics assessment on cooling photovoltaic modules by phase change materials (PCMs) in critical operating temperature. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*; <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09565-3>.
29. Kazemian A, Salari A, Ma T (2020). A year-round study of a photovoltaic thermal system integrated with phase change material in Shanghai using transient model, *Energy Conversion and Management*; 210:112657.
30. Zarma I, Ahmed M, Ookawara S (2020). Enhancing the performance of concentrator photovoltaic systems using Nanoparticle-phase change material heat sinks, *Energy Conversion and Management*; 179: 229-242.
31. Rajae F, Rad MAV, Kasaeian A, Mahian O, Yan WM(2020). Experimental analysis of a photovoltaic/thermoelectric generator using cobalt oxide nanofluid and phase change material heat sink, *Energy Conversion and Management*;212: 112780.
32. Mousavi S, Kasaeian A, Shafii MB, Jahangir MH (2018). Numerical investigation of the effects of a copper foam filled with phase change materials in a water-cooled photovoltaic/thermal system, *Energy Conversion and Management*;163:187-195.
33. Rostami S, Afrand M, Shahsavari A, Sheikholeslami M, Kalbasi R, Aghakhani S, Shadloo MS, Oztop HF (2020) A review of melting and freezing processes of PCM/nano-PCM and their application in energy storage, *Energy*;211: 118698.
34. Gao, L., Gegentana, Bai, J., Sun B, Che D, Li S (2020). Parametric analysis of a packed bed thermal storage device with phase change material capsules in a solar heating system application. *Building Simulation*. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0686-2>.
35. https://tr.sunwaypv.com/monocrystalline-solar-panels-60-cells-series_p16.html

ÖZGEÇMİŞ

Mert Üzel

Makine Mühendisi , UÜ Yüksek Lisans

Askerlik: Tecilli
Ehliyet: B tipi (2015)
Doğum Tarihi: 30.08.1995
Y. Diller: İngilizce (C2 seviye)



Atatürk Mah. 8930/1 Sok. No:6
C-7 D:15 Evka-5 Çiğli/İZMİR

uzel_mert13@hotmail.com

0544 522 5119

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans:

Uşak Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, "Doğal Zeolit Plakası ile Bütünleştirilmiş Fotovoltaik Termal Sistemin (PVT) Deneysel Olarak Performansının Değerlendirilmesi", 2020, TÜBİTAK 1505 SANAYİ İŞBİRLİĞİ PROJESİ

Lisans:

Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, "Yüksek Performanslı Hassas Vakumlu CNC Kesici Tasarımı ve Prototip İmalatı", 2017, TÜBİTAK 2209-B Sanayi Odaklı Bitirme Tezi Projesi.

PROJELER

[1] Proje Bursiyeri, TÜBİTAK 1505 Programı, Proje No:5180034, "Projede Doğal Zeolit İle Bütünleştirilmiş Özgün Fotovoltaik Termal Sistem (PVT) Tasarımı, Üretimi ve Optimizasyonu" ÜNİVERSİTE SANAYİ İŞBİRLİĞİ DESTEK PROGRAMI KURULUŞ FİRMA: HIT ENERJİ SAN.VE TİC. LTD. ŞTİ. (2019-2020)

[2] Proje Yürütücüsü, TÜBİTAK 2209-B Sanayi Odaklı Bitirme Tezi Projesi, "Yüksek Performanslı Hassas Vakumlu CNC Kesici Tasarımı ve Prototip İmalatı" (2016-2017)

[3] Proje Bursiyeri, TÜBİTAK 1002 Programı, Proje No: 214M615 "Fotovoltaik Termal Sistemlerin (PVT) Isıl amaçlı Kullanılabilecek Malzemelerin İncelenmesi ve Sistem Performansına Etkilerinin Değerlendirilmesi" (2015-2016)

PROFESYONEL TECRÜBELER

[1] İzmir TÜPRAŞ Rafinerisi Şantiye Şefi (24.01.2018/26.02.2019)

[2] İklimlendirme ve Mekanik Havalandırma Sistemleri (01.07.2016/01.09.2016)

[3] Havatek Makine San. Ve Tic. A.Ş. Fabrika Stajı (21.08.2015/27.09.2015)

SERTİFİKA/KATILIM BELGELERİ

[1] Şantiye Kontrol Şefliği 2017

[2] Endüstriyel Doğalgaz ve İç Tesisat Doğalgaz 2017

[3] TÜBİTAK Bilim ve Toplum Daire Başkanlığı (BITO) Alternatif Enerjili Araç Yarışları Eğitim Programı (24-27 Şubat 2017)

[4] Otomotiv AR-GE Projesi Pazarı ve Komponent Tasarımı Yarışması (4-5 Mayıs 2017)

[5] TÜBİTAK ve KOSGEB Girişimcilik Sertifikası 2016

ARAŞTIRMA ALANLARI

- Güneş panel verimliliğinin artırılması
- Güneş panellerinin ısı tasarımları
- Deneysel verimlilik analizleri ve ölçümler
- Bilgisayar Destekli Mühendislik Uygulamaları

KİŞİSEL YETENEKLER

SOLIDWORKS

AUTOCAD

MICROSOFT OFFICE YAZILIMLARI

SKETCH UP

LUMION

YAYINLAR

[1] Canan Kandilli* (Ph.D), Mert Uzel, 20 Aug 2020, Evaluation Of Annual Performance Of A Photovoltaic Thermal System Integrated With Natural Zeolites, Research on Engineering Structures & Materials, <http://dx.doi.org/10.17515/resm2020.200en0618>.

[2] Mert Uzel*, Canan Kandilli, Mayıs 2019, Faz Değiştiren Malzemeler ve Doğal Zeolitlerle Bütünleştirilmiş Fotovoltaik Termal Sistemlerin Eksergoekonomik Analizi Bildiri Sunumu, 22nd Congress on Thermal Science and Technology, 47, Kocaeli Üniversitesi 11-14 Eylül 2019.

HOBİLER



Panel Otomobiller



Fotografçılık



Yenilenebilir Enerji kaynakları



Doğa/Ekoloji



İklimlendirme sistemleri



Seyahat Etmek

REFERANSLAR

[1] Doç. Dr. Canan KANDİLLİ (Uşak Üniversitesi)
canan.kandilli@usak.edu.tr

[2] Dr. Faruk BALLIPINAR (Uşak Üniversitesi)
faruk.ballipinar@usak.edu.tr

[3] Dr. Halil Murat ENGİNSOY (Uşak Üniversitesi & Supme-
ca/PARİS) murat.engisoy@usak.edu.tr

[4] ISG Uzmanı Serkan ÇALGAY (TÜPRAŞ EÇK.)
serkancalgay@tupras.com.tr