



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



PV/T tabanlı bir sistemde MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan performans analizi

Performance analysis of a PV/T based system by using MATLAB/Simulink

Yazar(lar) (Author(s)): İlayda KOÇ¹, Kıvanç BAŞARAN²

ORCID¹: 0000-0002-9575-4088

ORCID²: 0000-0001-9613-6620

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): KOÇ İ. ve BAŞARAN K. "PV/T tabanlı bir sistemde MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan performans analizi ", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 229-236, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417760

PV/T Tabanlı Bir Sistemde MATLAB/Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

İlayda KOÇ¹, Kıvanç BAŞARAN^{2*}

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği A.B.D., MANİSA

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, MANİSA

(Geliş/Received : 18.12.2017 ; Kabul/Accepted : 27.03.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, fotovoltaik/termal (PV/T) kolektörlerin elektriksel ve termal verim analizi yapılmıştır. Bu amaçla, sıcak su karşılama ve elektrik enerjisi üretimi için uygun olan Sıvı Tip Düz PV/T Kolektör sistemi tercih edilmiştir. Bu tip sistemlerin maksimum verimle çalışabilmesi için sızdırmazlık faktörü, ışıınım, giriş sıcaklığı, ortam sıcaklığı, emici plaka parametreleri (tüp aralığı, boru çapı, kanatçık kalınlığı vb.), emici plakadaki akışkanın termal iletkenliği gibi çeşitli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. PV/T kolektörlerin termal verimliliği, giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı (Ti-Ta) arasındaki sıcaklık farkının kolektör yüzeyine düşen global güneş radyasyonuna (G) oranından önemli ölçüde etkilenmektedir. (Ti-Ta)/G oranının artması termal verimin düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, termal verime etki eden diğer faktörler sızdırmazlık faktörü (s) ve farklı kanatçık oranı (d/w) değerleridir. d/w oranının artması kolektör alanının artması ve PV modül sıcaklığının düşmesine sebep olduğundan elektriksel verim artışı da sağlamaktadır. PV/T sistemlerdeki önemli sorun, tüm bu parametrelerin göz önünde bulundurularak optimum verim elde edilebilmesidir.

Bu çalışmada, PV/T kolektörün MATLAB/Simulink modeli, matematiksel eşitliklerinden faydalanılarak hazırlanmıştır. Bu model üzerinde, tasarım parametreleri ile bunların termal ve elektriksel verime etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma ile PV/T kolektörden elde edilen maksimum termal verim %64,5, elektriksel verim %13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik/Termal sistemler, PV/T performans analizi, güneş enerjisi.

Performance Analysis of a PV/T Based System by Using MATLAB/Simulink

ABSTRACT

In this study, electrical and thermal efficiency analyses of photovoltaic/thermal (PV/T) collectors were performed. For this purpose, a liquid type flat PV/T collector system which is suitable for hot water supply and electrical power production is used. Various parameters such as sealing factor, radiation, inlet temperature, ambient temperature, absorbent plate parameters (tube spacing, pipe diameter, flap thickness, etc.) and the thermal conductivity of the fluid in the absorbent plate must be taken into consideration for such systems to operate with maximum efficiency. The thermal efficiency of the PV/T collectors is significantly influenced by the ratio of the temperature difference between the inlet temperature and the ambient temperature (Ti-Ta) to the global solar radiation (G) falling on the collector surface. (Ti-Ta) / G ratio increase decreases the thermal efficiency. In addition, other factors affecting thermal efficiency are the sealing factor (s) and the different flap ratio (d/w) values. The increase of the d/w ratio also increases the collector area and decreases the PV module temperature, thus increasing the electrical efficiency. The major problem in PV/T systems is that optimum efficiency can be achieved by considering all these parameters.

In this study, a MATLAB/Simulink model of PV/T collector was prepared by using mathematical equations. With the help of this model, the design parameters and their effects to thermal and electrical efficiency were investigated. The maximum thermal efficiency, electrical efficiency and total efficiency of the PV/T collector were determined as 64.5%, 13.5% and 78%, respectively.

Keywords: Photovoltaic/Thermal systems, PV/T performance analysis, solar energy.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji tüketimi, sürekli artmaktadır ve bu artış gelecekte de devam edecektir. Bugün sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkânların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve

dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız. Tüketmek zorunda olduğumuz enerjinin bugün büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından, geri kalanı ise nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Tüm dünyada, fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına verdiği zararlar, önlem alınmazsa gelecekte bedelini insanların ödeyeceği büyük sorunlarla karşı karşıya kalınmasına sebep olacaktır.

Enerji üretiminde fosil kaynaklar büyük bir yere sahip olsalar da, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kivanc.basaran@cbu.edu.tr

yaygınlaşmaya başlaması ile bu kaynaklara duyulan ihtiyaçların gün geçtikçe azalması amaçlanmaktadır. Sanayinin gelişmesi ile giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak, kalkınma ve sanayileşme yolunda önceleri göz ardı edilen enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının artırılması gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır [1].

PV/T sistemlerin potansiyel kullanım alanı oldukça fazla olmasına rağmen günümüzde istenilen seviyede kullanılmamaktadırlar. Ancak literatürde PV/T sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar, kullanım alanının geliştirilebileceğini göstermektedir.2010 yılında Lizbon'da yapılan bir çalışmada, MATLAB programını kullanarak hibrit fotovoltaiik termal güneş sistemlerinin simülasyon çalışması yapılmış termal ve elektriksel verimlerini incelemiştir. Çalışma sonunda %52 elektriksel, %15 termal verim olmak üzere %67 genel verim elde edilmiştir [2]. 2016 yılında Avustralya'da yapılan çalışmada, tipik bir konut binası için PV/T hava kolektör sisteminin tam optimizasyon ve performans analizi yapılmıştır. PV gücü, birim kolektör alan için $8W/m^2$ sabit güç ile çalıştırılan bir fanda ortalama hava akış kütlesi $0,04 kg/s.m^2$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca yaklaşık olarak aynı akış kütlesi için termal enerji çıkışındaki güç $22 W/m^2$, maksimum efektif termal enerji çıkışındaki güç $45W/m^2$ ve fan güç tüketimi $12W/m^2$ olarak hesaplanmıştır [3]. 2016 yılında Tunus'da yapılan araştırmada PV/T tabanlı ters osmos (RO) tuzdan arındırma sisteminin bulanık mantık denetleyici kullanarak performans gelişimi incelenmiştir. Bu çalışmada sistem simülasyonu LABVIEW programı kullanılarak yapılmıştır. Saat 00:00 ile 10:00 arasında sistemin, güneş ışınım miktarı ve ortam sıcaklık dağılımı simule edilmiştir. En yüksek güneş ışınım miktarı saat 04:45'de $740 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. Ortam sıcaklık dağılımının en yüksek değeri ise aynı saatte $33^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür [4]. 2016 yılında M.A. Jones ve arkadaşları Amerika'da yaptıkları çalışmada, enerji depolama sistemi olmaksızın, tarımsal kullanım amacıyla PV sistemle çalışan su pompalama ve arıtma sisteminin ekonomik analizini incelemiştir. Sistemde 15 ile 250 kW arasında değişen PV dizi boyutları ile RO sistem ve orta ölçekli bir pompa üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin MATLAB programında simule edilmiştir. Modellemede Ürdün'ün güneş ışınım değerleri baz alınmış, 4 farklı invertör kullanarak inceleme yapılmıştır [5]. 2016 yılında Fransa'da, Ouargla şehrinin iklim şartlarında, bir evin temiz su eldesi ve sıfır enerji tüketimini sağlamak amacıyla teorik bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre kurulacak sistem Mayıs - Ekim ayları aralığında bir evin sıcak su ihtiyacının tamamını, Ocak - Nisan ayları boyunca sırasıyla %54 ve %93 arasında sıcak su ihtiyacını karşılayacağı hesaplanmıştır [6]. 2014 yılında Tunus'da, PV/T temelli tuzlu su arıtma sistemi dizaynının kavram ve değerlendirmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmalarında, ısıtım tuzlu su üzerinde etkisi ve yüzey performansı incelemiştir. Ayrıca besleme suyu sıcaklığının enerji tüketimi üzerinde olan etkisi de

incelenmiştir. Sıcaklık arttıkça sistem için gereken toplam enerji miktarı azalmaktadır. $45^{\circ}C$ 'de gerekli olan enerji $2000Wh$ 'dir [7]. 2013 yılında Delhi'de yapılan çalışmada fotovoltaiik tabanlı dalgıç su pompasının performans analizini incelenmiştir. 28 Kasım 2012 de yaptıkları ölçümde en yüksek güneş radyasyon değeri $691 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. Elde ettikleri verim ise %7'dir [8]. 2016 yılında Çin'de, PV/T sistem tabanlı mikro kapsüllü faz değiştirici malzemenin (MPCM) enerji performansını deneysel olarak çalışma yapılmıştır. $900W/m^2$ güneş ışınımında $150 (Q_c/W)$ elektrik çıkışı elde edilmiştir [9]. 2011 yılında yapılan bir çalışmada PV/T su sistemleri üzerine verim analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada termal verimi %64, elektriksel verim %12 olarak bulunmuştur [10]. 2015 yılında Fas'ta yapılan bir çalışmada fotovoltaiik modüllerin MATLAB simülasyonu üzerinde, ışınım ve sıcaklığın düzensiz dağılımı altındaki modül ve dizileri incelemiştir. Modelde, güneş simulatörü vasıtasıyla ölçülen değerler, deneysel olarak kontrol edilmiştir. $25^{\circ}C$ sıcaklıkta, $800 W/m^2$, $900 W/m^2$, $1000 W/m^2$, $1100 W/m^2$ ışınım seviyelerinde ölçümler yapılmıştır. Elde edilen en yüksek güç, $1100 W/m^2$ ışınımında $250W$ olarak ölçülmüştür [11]. 2006 yılında İzmir'de yapılan bir çalışmada yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/termal toplayıcı (PV/T) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu incelenmiştir. Kolektör giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları ile güneş pili hücre sıcaklıklarının saatlik ortalamaları incelenmiştir. Deney 09.07.2004 tarihinde yapılmış olup elde edilen en yüksek çıkış suyu sıcaklığı saat 16:00'da $43,24^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür [12]. 2014 yılında yapılan bir araştırmada, fotovoltaiik / termal güneş kolektörünün tasarımı ve duyarlılık analizi üzerine çalışmıştır. Sistemin duyarlılık analizi MATLAB Simulink kullanılarak yapılmıştır. Kanatçık oranına göre termal verimlilik değişimi incelenmiştir. En yüksek termal verim, 0,009 kanatçık oranında %45 olarak hesaplanmıştır [13]. 2016 yılında Çin'de yapılan bir çalışmada, fitilsiz ısı borusu ve tel örgülü ısı borusu ile PV/T sistemlerin eğim açısının termal performans üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Paneller 10° , 20° ve 40° olmak üzere üç farklı eğim açısında ayarlanmıştır. Bu açılarda ölçülen değerler sırası ile $0.014 K/W$, $0.012 K/W$, $0.011 K/W$ 'dir [14].

Bu çalışmada, sıvı tip düz PV/T kolektörlerin Manisa ilinin iklim şartları göz önünde bulundurularak termal ve elektriksel verim analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, PV/T kolektörlerin Manisa ilinde kullanılması durumunda elde edilebilecek termal ve elektriksel verimlerinin belirlenmesi ve kurulacak sistemlerin doğru boyutlandırılmasına katkıda bulunmaktır. Gerekli analizler için PV/T kolektörlerin matematiksel eşitlikleri kullanılarak MATLAB/Simulink programında gerekli modeller hazırlanmıştır. Oluşturulan model üzerinde (Ti-Ta)/G, sızdırmazlık faktörü ve ısı iletim katsayısının değişimine bağlı olarak PV/T kolektörün termal ve elektriksel verim değişimi analiz edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, PV/T kolektörün maksimum termal verimi %64,5, elektriksel verimi

%13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon modeli ve kullanılan parametreler Manisa ili için yapılan ilk çalışma olması sebebiyle literatürdeki boşluğu dolduracak özelliktedir. Simülasyon çalışmasında kullanılan PV/T kolektörün teknik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan PV/T Kolektörün Teknik Özellikleri (Technical Specifications of PV/T Collector)

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Ortam Sıcaklığı	T _a	293	K
Yüzeydeki Işıma	ε _p	0,95	
Kapaktaki Işıma	ε _c	0,88	
Boru Sayısı	n	66	
Sistem Akış Hızı	m	2	lps
Kolektör Alanı	A		m ²
Rüzgar Hızı	v		m ² /s
PV trans/abs	Tα _{PV}	0,74 veya 0,78	
Termal trans/abs	τα _T	0,925	
Emici Kalınlığı	t	0,5	mm
PV Kalınlığı	L _{PV}	0,4	mm
PV iletkenliği	K _{PV}	130	W/mK
Boru Hidrolik Çapları	dh	9,7	mm
Boru Aralığı	w	0,1	mm
Boru genişliğinin aralığa oranı	d/w	1,5	
Hücreden emiciye Isı transfer katsayısı	h _{pva}	45	W/m ² K

2. PV/T SİSTEMLER (PV/T SYSTEMS)

Endüstride güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin kullanımı her ne kadar sınırlı olsa da, özellikle fotovoltaik sistemler için, standart PV modüllerinin yerine PV/T kolektörler kullanılması güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin endüstride kullanımını yaygınlaştırabilir. 1970’lerin sonlarında, hem PV hem de termal kolektörlerin tek bir cihazda birleştirilerek kullanılması ile ilgili bir dizi çalışma yapıldı. Bu yeni güneş sistemleri, hem elektrik elde etmede hem de su veya hava ısıtma da kullanıldığı için endüstriyel uygulamalara etkili bir şekilde katkı sağlamaktadır.

2.1 PV/T Sistemin Temel Yapısı (Basic Structure of PV/T System)

Fotovoltaik termal kolektör (PV/T), tipik bir PV panel ve panelin altına yerleştirilen, evlerde ön ısıtma sağlamak için su veya havayı ısıtmada kullanılan termal kolektörden oluşur. PV/T kolektörler, güneş enerjisinin büyük bir kısmının toplayıcı yüzeyine odaklanması ile faydalı termal ve elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak sağlar. Sıradan PV panellerde hücre sıcaklığı arttıkça verim azalmaktadır. Ancak PV/T sistemlerde

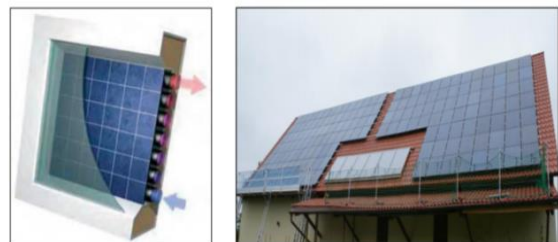
sıcaklık artışı olduğunda, termal kolektörden geçen su veya hava fazla ısıyı PV hücreden uzaklaştırarak daha verimli çalışmasını sağlar. Ayrıca, PV ve termal kolektör bir arada olduğu için, kullanılan sınırlı çatı alanından daha fazla verim elde etmemizi sağlarlar. Birçok farklı PV/T teknolojileri bulunmaktadır. Her teknolojinin farklı hedef uygulamaları, kurulum maliyetleri ve performans özellikleri vardır [15].

2.2 PV/T Sistem Çeşitleri (PV/T System Types)

2.2.1 Sıvı tip düz PV/T kolektörler (Liquid type flat-PV/T collectors)

Bu tip PV/T sistemlerde, su veya kullanılan akışkan toplayıcı plaka içerisinde dolaştırılarak ısıyı toplar. Sıcak su talebi olması durumunda bu tip bir sistemin kullanılması avantajdır. Düz yapıya sahip bina çatıları, sistemin kurulumu için uygundur. Ayrıca elde edilen sıcak su, harici bir depoda saklanabilir. Ancak bu sistemlerin aşırı koşullarda sızıntı ve donma gibi dezavantajı oluşmaktadır.

Sıvı tip düz PV/T kolektörlerin sırlı ve sırsız olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Sırlanmış yüzeye sahip kolektörler, daha az ısı kaybı ve yüksek termal performans sağlar. Ancak yüksek sıcaklık fotovoltaik hücreyi olumsuz etkilediği için, hücrenin elektriksel performansını bir dereceye kadar düşürmüştür. Sırsız sıvı tip düz PV/T sistemlerde ısı kayıpları fazla olduğu için çalışma sıcaklıkları daha düşüktür. Böylece, daha yüksek elektriksel performans ve daha düşük termal performans elde edilmiş olur. Kurulan sistemden yüksek termal performans elde edilmek isteniyorsa sırlı, yüksek elektriksel performans elde edilmek isteniyorsa sırsız sıvı tip düz PV/T kolektör kullanımı uygun olacaktır. Şekil 1 ve Şekil 2’de sırlı ve sırsız sıvı tip düz PV/T kolektör gösterilmiştir.

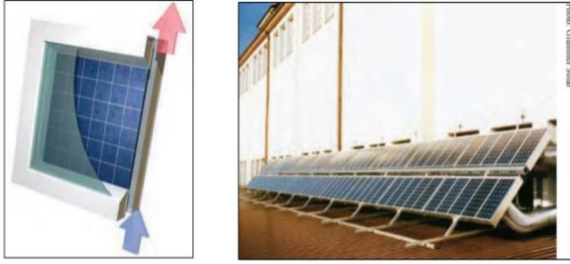


Şekil 1. Sırlı Camlı Sıvı PV/T (Glazed liquid type PV/T collector) **Şekil 2.** Sırsız Camlı Sıvı PV/T (Unglazed liquid type PV/T Collectors) [16]

2.2.2 Hava tipi düz - PV/T kolektörler (Air type flat - PV/T collectors)

Hava tipi düz PV/T kolektörlerde, toplayıcıda sıvı akışkan yerine hava dolaştırılarak havanın ısıtılması sağlanır. Bu tip kolektörler ısıtılmış havaya ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmalıdır. Sıvı tip kolektörlere göre maliyetleri daha düşüktür ve bir sızıntı durumunda, donma, kaynama veya sistemin zarar görmesi gibi bir risk olmadığından daha avantajlıdır. Ancak, hava tipi PV/T kolektörlerinin, sıvı tipe kıyasla daha düşük termal

performansa sahip olması gibi bazı büyük dezavantajları vardır. Sirkülasyon akışkanı düşük ısı kapasitesine sahip olduğundan, daha düşük ısı transferine sahiptir. Ayrıca düşük yoğunluğu nedeniyle transfer hacmi, sıvı tipli olanlara göre çok daha yüksek olmak zorundadır. Dolayısıyla, düşük hacimli uygulamalar için uygun değildir ve kuruluma estetik açıdan hoş olmayan daha büyük hacimli borulara ihtiyaç duyulur. Son olarak, bir sızıntı durumunda sıvı tip PV/T sistemlere göre daha yüksek ısı kaybı gözlemlenmektedir. Bu dezavantajlara rağmen hava tipi PV/T kolektörleri düşük maliyetlerinden dolayı, ısıtılmış havaya ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılabilir. Şekil 3'de hava tipi düz PV/T kolektör uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3. Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV/T Uygulaması (Ventilated PV/T with heat recovery application) [16]

Isı geri kazanımlı havalandırmalı PV sistemleri, temel olarak havanın doğal taşınımı ile havalandırılmış bir PV sisteminden, ısı geri kazanımı yoluyla PV kolektörün ısınımasını kullanan duvarın bir bölümüne veya çatıya entegre edilmiştir. Bu sistemin avantajı yaz aylarında binayı koruyarak, soğutma yükünü azaltmasıdır. Ayrıca kaplama malzemesinin yerini aldıkları için ekonomik bir fizibilite çalışması için uygundur.

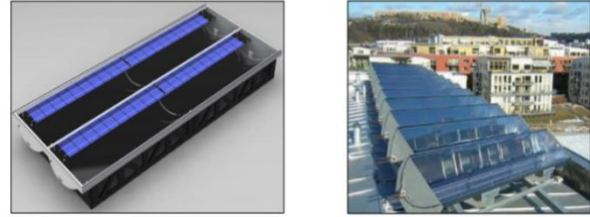
Entegre edilmiş PV kolektörlerini kurmanın dezavantajı ise her bir bina için ayrı ayrı tasarımlarının gerekmesidir. Ayrıca yüksek hacim nedeni ile büyük borulara ihtiyaç duymaları, her uygulama için uygun olmadıklarını göstermektedir. Son olarak, kolektördeki hava dolaşımı, doğa şartlarına maruz kaldığı için yüksek ısı kaybı nedeni ile entegre PV kolektör uygulamalarında düşük sıcaklıklar elde edilir. Şekil 4'de Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV kolektörün iki uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 4. Isı Geri Kazanımlı Havalandırmalı PV Kolektörün Uygulaması (Ventilated PV with heat recovery application)[16]

2.2.3 Konsantre PV/T kolektörleri (Concentrated PV/T collectors)

Konsantre PV/T kolektörlerinde güneş ışınları toplanarak PV/T modülünün bulunduğu merkezi bir noktaya yansıtılır. Bu sistemin avantajı kullanılan reflektör malzemesinin maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca düz PV/T'lere kıyasla daha az PV malzemesine ihtiyaç duyar. Pahalı PV modüller, maliyeti düşük olan reflektörler ile değiştirilerek daha ucuza mal edilebilir. Konsantre PV/T kolektörlerinin dezavantajı ise yüksek sıcaklıklara çıktığından dolayı, sabit bir soğutmaya ihtiyaç duymalarıdır. Eğer termal yük (soğutma) arızalanırsa sistem sorunlu hale gelebilir. Bu sistemlerin daha iyi performans elde etmeleri için sürekli izlenmeleri gerekmektedir. Düz plakalı PV/T kolektörlerine göre yapıya entegrasyonu zordur. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan malzeme bozulması diğer tüm PV/T kolektörlerine göre daha fazla gözlenmektedir. Son olarak, bu kolektörlerin performansı kum ve toza karşı hassasiyet göstermektedir [16]. Şekil 5'de konsantre PV/T kolektörünün yapısı ve bir bina üzerindeki uygulama görüntüsü verilmiştir.

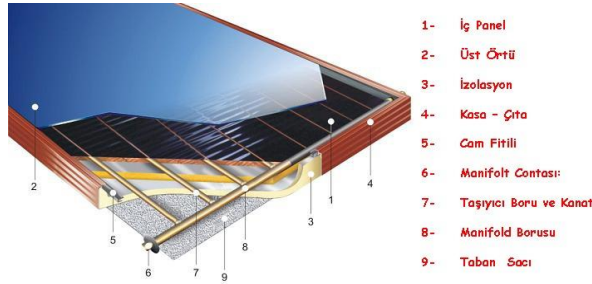


Şekil 5. Konsantre PV/T Kolektörü ve Uygulaması (Concentrating PV/T collector and application) [16]

PV/T sistemde ısıtılan suyu depolayabilmek için depolama tankı gerekmektedir. Genellikle, kolektör alanının metre karesi başına, hacmi 4,5 ile 9 litre arasında değişen depolama tankı kullanılması gerekir. Depolama tankında kullanılan yük eşanjörüne göre depolanan su, içilebilir veya içilemez özellikte olabilir. Küçük sistemlerde genellikle, cam kaplamalı çelik tanklar kullanılmaktadır. Büyük sistemlerde ise, polimerden yapılmış ya da polimer astarları kullanan basınçsız depolama tankları yaygındır. Bu sistemler, küçük basınçlı tanklara kıyasla birim hacim başına depolama maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır [16].

2.3 Sistem Seçimi (System Selection)

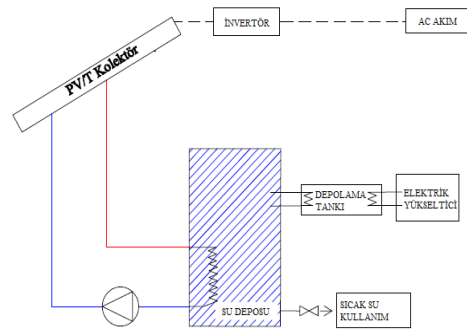
Bu çalışmada, sıvı tip düz PV/T kolektörler seçilerek simülasyon verileri elde edilmiştir. Bu tip kolektörler sıcak su ve elektrik ihtiyacını bir arada karşıladıkları için oldukça kullanışlıdır. Sistemin ısı kayıplarının düşük olması istenildiği için sırlı cam seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Böylece %60 oranında termal verim, %13,5 oranında ise elektriksel verim elde edilmiştir. Sıvı tip düz PV/T kolektörün yapısı ve elemanları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. PV/T Panel Yapısı (PV/T panel construction)[17]

2.4 Sistemin Blok Şeması (System Block Diagram)

PV/T kolektörler, hem elektrik enerjisi üretecek (PV) kısım, hem de suyun ısınmasını sağlayacak (Termal) kısım olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. PV/T kolektör kullanılarak oluşturulan bir sistemin blok şeması Şekil 7'de gösterilmiştir. Güneş ışınımı PV/T kolektör üzerine düştüğünde PV panel tarafından doğru (DC) akım üretilir. DC akım invertör vasıtasıyla alternatif (AC) akıma çevrilir ve yüklerle aktarılır. Şekil 7'de kesik çizgiyle gösterilen kısım elektrik akımının geçiş yolunu göstermektedir. Ayrıca, güneş ışığının kolektör üzerine düşmesi ile termal kısımdaki borular içerisinde bulunan su ısınmaktadır. Şekil 7'de sıcak suyun taşındığı boru kırmızı çizgi ile soğuk suyun taşındığı boru ise mavi çizgi ile gösterilmiştir. Kolektörde ısınan su, su deposuna aktarılır. Buradan daha düşük sıcaklıktaki su kütlesi kolektöre doğru hareket etmektedir. Dolayısıyla depo içerisindeki su ısınmaktadır.



Şekil 7. Sistemin blok şeması (Block Diagram of System)

3. SİSTEMİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ (MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM)

PV/T sistemin termal ve elektriksel verimini analiz etmek amacıyla kolektöre eklenmiş düz plaka termal toplayıcıyla, tek boyutlu kararlı hal modeli geliştirilmiştir. Bu analizde Hottel-Whillier denklemleri kullanılmıştır [13].

Isı kazancı (Q):

$$Q = AF_R[(T \infty)_{PV} * GU_{loss}(T_i - T_a)] \quad (1)$$

Bu denklemde ısı kazancı (Q); düzenleme faktörü (FR), kolektör alanı (A), güneş radyasyonu (G), fotovoltaik

hücrelerde geçirgenlik-soğurma faktörü $((T_a)_{PV})$, ısı kaybı katsayısı (U_{loss}) , giriş sıcaklığı (T_i) , ortam sıcaklığının (T_a) bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

Kolektör ısı değiştirici düzeltme faktörü (F_R) ;

$$F_R = \frac{mC_p}{AU_{loss}} [1 - \exp(-\frac{AU_{loss}F'}{mC_p})] \quad (2)$$

Kolektör ısı değiştirici düzeltme faktörü (F_R) ; kolektördeki kütle akışı hızı (\dot{m}) ve kolektör soğutucu maddesinin özgül ısıya (C_p) bağlı olarak hesaplanır.

Kanatçık verimlilik faktörü (F):

$$F = \frac{\tanh(M\frac{w-d}{2})}{M\frac{w-d}{2}} \quad (3)$$

Denklem (3)'de, bitişik borular arasındaki etki hesaba katılarak PV/T imalatı sırasında oluşturulan dikdörtgen kesitli tüplerin içerisinde bulunan boruların, boru aralıkları (w) ve boru genişliği (d) dikkate alınarak kanatçık verimlilik faktörü (F) hesaplanmıştır. Tüplerdeki akışla ilgili tüm hesaplamalarda, boru hidrolik çapı (d_h) dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

PV hücre ve emicinin termal iletkenlik katsayısı (M);

$$M = \sqrt{\frac{U_{loss}}{k_{abs}l_{abs} + k_{pvl}l_{pv}}} \quad (4)$$

Bu denklemde M, emici ve PV hücrenin ısıl iletkenliğini ifade eden bir katsayıdır.

Kolektör verim faktörü denklem 5'de verilmiş olan formülle hesaplanır.

$$F' = \left[\frac{1}{U_{loss}(d+(w-d)F)} \right] + \frac{1}{wh_{pVA}} + \frac{1}{\pi dh_{fluid}} \quad (5)$$

Burada Dittus-Boelter denkleminde göre h_{pVA} , PV hücre ile emici plaka arasındaki bağ direncinin ısı transfer katsayısı olup, h_{fluid} belirlenen soğutma kanalı içindeki zorlanmış ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Sistemdeki toplam performans kayıpları denklem 6 kullanılarak hesaplanabilir. Genel kayıp katsayısı (U_{loss}) ;

$$U_{loss} = U_t + U_b + U_e \quad (6)$$

Üst kayıp katsayısı (U_t) denklem 7 kullanılarak hesaplanır.

$$U_t = \left\{ \frac{N_g}{\frac{c}{T_{pm}(\frac{T_{pm}-T_a}{N_g+f})e}} + \frac{\sigma(T_{pm}+T_a)(T_{pm}^2+T_a^2)}{(\varepsilon_p+0,0059N_g h_w)^{-1} + \frac{2N_g+f^{-1}+0,33C_p}{\varepsilon_g} N_g} \right\} \quad (7)$$

Burada; N_g cam kapak sayısı, ε_p yüzey yayılımı, ε_g cam yayılımı, T_{pm} ortalama yüzey sıcaklığı, h_w rüzgar ısı transfer katsayısı (W/m^2C) , v rüzgar hızı (m/sn) , β eğim açısı, p kolektör çevresi ve L emici kalınlığıdır.

$$c = 520(1 - 0,000051\beta^2) \quad (8)$$

$$e = 0,43(1 - \frac{100}{T_{pm}}) \quad (9)$$

$$f = 0(1 + 0,089)^{h_w} - 0,1166h_w\varepsilon_p(1 + 0,07866N) \quad (10)$$

Rüzgar ısı transfer kat sayısı (h_w);

$$h_w = 5,7 + 3,8v \quad (11)$$

Alt kayıp katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_b = \frac{K_b}{L_b} \quad (12)$$

Kenar kayıp katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad (13)$$

Ortalama Sıcaklık Farkı (T_{pm}):

$$T_{pm} = T_i + \frac{Q_u}{FRUL} (1 - F_R) \quad (14)$$

PV sistemin elektriksel verimliliği ortalama sıcaklık arasındaki fark ve bağ hücresi çalışma sıcaklığına (NOCT) göre hesaplanır. Bir PV/T sistemin elektriksel verim hesabı, denklem 15’de ifade edilmiştir;

$$\eta_e = 0,15(1 - 0,005(T_{pm} - NOCT)) \quad (15)$$

Bir PV/T kolektörün termal verimliliği, giriş sıcaklığı (T_i), ortam sıcaklığı (T_a), kolektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (G), sızdırmazlık faktörü (s), PV ve termal hücrenin emici ürün iletkenliği ile doğrudan bağlantılıdır [13].

$$\eta_{thermal} = F_R(S * \tau\alpha_{PV}) + (1 - S * \tau\alpha_T) - \frac{F_R U_{loss} (T_i - T_a)}{G} \quad (16)$$

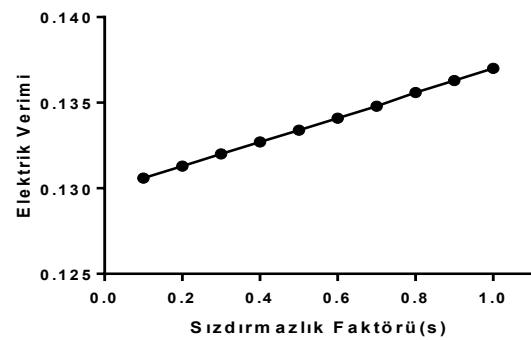
3.1 PV/T Sistem Simulink Modeli (Simulink Model of PV/T System)

PV/T kolektörün performansına, kütle akış hızı, emici plaka parametreleri (tüp aralığı, boru çapı, kanatçık kalınlığı gibi), emici plakadaki akışkanın termal iletkenliği ve düzenlenmiş tasarım tipi gibi etki eden birkaç faktör vardır. Şekil 8’de gösterilen sistemin MATLAB SIMULINK modeli, bu parametrelerden bazılarının, sistemin termal verimini nasıl etkilediğini belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Kolektör girişi ile

çevre arasındaki ($T_i - T_a$) sıcaklık farkının kolektör yüzeyinde (G) meydana gelen global güneş radyasyonuna oranı, termal verimliliğin bağımlı olduğu PV/T parametresidir. Bu parametre, PV/T performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Hazırlanan Simulink modeli, PV/T kolektörün değişik parametreler altında elektriksel ve termal verimlerin tespit edilmesini sağlamaktadır.

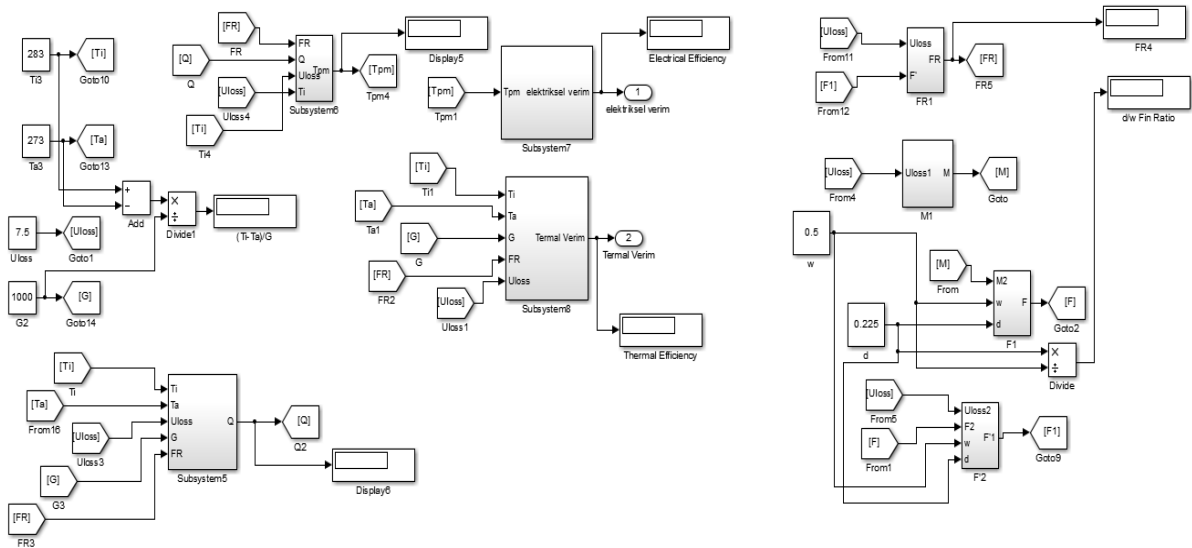
3.2 Simülasyon Sonuçları (Simulation Results)

Çeşitli parametrelerin etkisi altında PV/T kolektörün performansı incelenmiştir. Bu parametreler; kütle akış hızı, tüp boşluğu, boru çapı, kanat kalınlığı, sızdırmazlık faktörü, PV hücrenin geçirgenlik-soğurma faktörü ve emici yüzeyin iletkenliğidir. Şekil 9’da sızdırmazlık faktörünün elektrik verimine etkisi gösterilmiştir



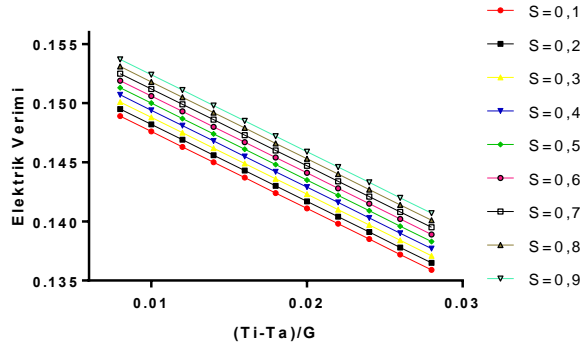
Şekil 9. Elektrik Veriminin Sızdırmazlık Faktörüne Göre Değişimi (Change of electricity efficiency according to sealing factor)

Sızdırmazlık faktörünün artması, daha fazla kolektör alanının PV hücreler tarafından kaplandığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla soğurucu blok alanının artması PV hücrelerdeki ısı artışını azaltıcı yönde etki oluşturmaktadır. PV hücre sıcaklığının düşmesi de PV panel tarafından üretilecek elektrik enerjisinin artışına



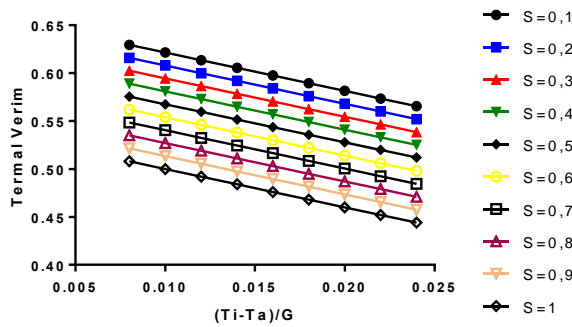
Şekil 8. MATLAB/Simulink Model (MATLAB/Simulink Model)

sebeptir. Sızdırmazlık faktörü arttığında elektrik veriminin arttığı Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Elektriksel Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Electricity efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

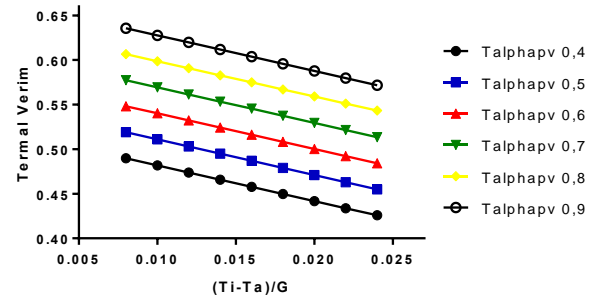
$(T_i-T_a)/G$ ifadesinin farklı değerlerinde sızdırmazlık faktörünün elektriksel verime etkisi Şekil 10’da gösterilmiştir. $(T_i-T_a)/G$ değerinin artışı PV/T kolektörün matematiksel eşitliklerinde de gösterildiği gibi elektriksel verimi düşürmektedir. Sızdırmazlık faktörünün artışı ise Şekil 9’da da gösterildiği gibi elektriksel verimi arttırmaktadır. Buna göre elektriksel verim en yüksek değerini, $(T_i-T_a)/G$ değerinin 0,008 ve sızdırmazlık faktörünün 0,9 olduğu durumda almaktadır. Elektriksel verimdeki değişim, sızdırmazlık faktörüne ve $(T_i-T_a)/G$ değerine bağlı olarak 0,157 ile 0,136 değerleri arasında yaklaşık % 15,44 oranında değişim göstermektedir. Sabit bir $(T_i-T_a)/G$ değerinde sadece sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak elektriksel verim değişimi ise yaklaşık %6’dır.



Şekil 11. Termal Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Thermal efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

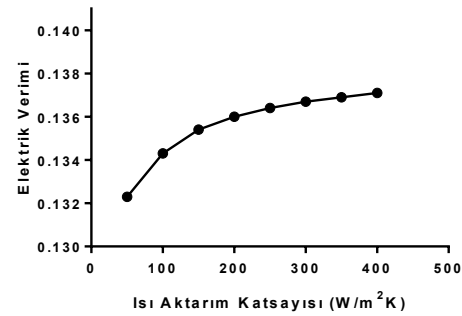
Sızdırmazlık faktörünün artması, PV hücreler tarafından kaplanan alanın artışına sebep olmaktadır. Bu artış aynı ısıtım değeri altında daha fazla alanın ısıtılması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak termal verimde düşüş meydana gelecektir. Termal verimin, $(T_i-T_a)/G$ ifadesinin farklı değerlerinde sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak değişimi Şekil 11’de gösterilmiştir. $(T_i-T_a)/G$ eşitliğinin 0,008 değeri için sızdırmazlık faktörünün 1 olması durumu ile 0,1 olması durumu arasındaki verim farkı yaklaşık %23,5’dir.

Dolayısıyla sızdırmazlık faktörünün değişimi elektriksel verimden ziyade termal verim üzerinde daha çok etkilidir.



Şekil 12. Termal Verimin $(T_i-T_a)/G$ ile Değişimi (Thermal efficiency versus $(T_i-T_a)/G$)

PV/T kolektör performansını etkileyen önemli faktörlerden biri geçirgenlik-soğurma ($T_{\alpha,pv}$) özelliğidir. Bu değer, PV/T kolektörlerin üretim aşamasında kullanılan malzemelere bağlıdır. Şekil 12’de giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığı farkının ısıtım değerine oranının $(T_i-T_a)/G$, termal verime etkisi farklı geçirgenlik-soğurma katsayıları göz önünde bulundurularak gösterilmiştir. Buna göre, geçirgenlik-soğurma katsayısının artması termal verimi arttırmaktadır. Bu durum PV hücresinin soğurma özellikleri ile ilgilidir. Tipik bir PV hücresinin absorbe edeceği ışığın dalga boyu termal kolektörün absorbe edeceği ışığın dalga boyundan daha küçüktür. Dolayısıyla büyük dalga boyulu ışıklar PV hücresinden yansıtılarak termal kolektör tarafından absorbe edilir. Bu nedenle geçirgenlik-soğurma katsayısının artması termal verimi arttırmaktadır.



Şekil 13. Elektriksel Verimin Isı Aktarım Katsayısı ile Değişimi (Variation of electrical efficiency with heat transfer coefficient)

PV hücresinden emici yüzeye ısı aktarım katsayısındaki değişimin elektriksel verim üzerindeki etkisi Şekil 13’de gösterilmiştir. Isı aktarım katsayısının elektriksel verim üzerindeki etkisini incelemek için geçirgenlik-soğurma ($T_{\alpha,pv}$) değeri 0,74’de ve sızdırmazlık faktörü 0,4’de sabit tutulmuştur. Böylelikle sadece ısı aktarım katsayısının verim üzerindeki etkisi görülmüştür. Şekil 13’de görüldüğü gibi ısı aktarım katsayısının değişimine

bağlı olarak elektriksel verim çok az değişim göstermektedir. Bu nedenle ısı aktarım katsayısının elektriksel verim üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, Manisa İlinin iklim koşulları dikkate alınarak sıvı tip düz PV/T kolektörün elektriksel ve termal verimleri sızdırmazlık faktörü, geçirgenlik-soğurma faktörü, emici yüzeyin iletkenliği, ortam sıcaklığı, ışınım değeri gibi parametreler değiştirilmek suretiyle analiz edilmiştir. Analiz çalışması için MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Elektriksel verim için en önemli etken sızdırmazlık faktörü olup bu değer artması ile elektriksel verimin artacağı gözlenmiştir. Termal verimi etkileyen en önemli faktörlerden biri ise geçirgenlik-soğurma özelliğidir. Geçirgenlik-soğurma katsayısının artması ile termal verimin arttığı gözlemlenmiştir. Elektriksel verimdeki değişim, sızdırmazlık faktörüne ve $(T_i - T_a)/G$ değerine bağlı olarak 0,157 ile 0,136 değerleri arasında yaklaşık % 15,44 oranında değişim göstermektedir. Sabit bir $(T_i - T_a)/G$ değerinde sadece sızdırmazlık faktörüne bağlı olarak elektriksel verim değişimi ise yaklaşık %6' dır. Termal verimin $(T_i - T_a)/G$ eşitliğinin 0,008 değeri için sızdırmazlık faktörünün 1 olması durumu ile 0,1 olması arasındaki verim farkı yaklaşık %23,5'dir. Dolayısıyla sızdırmazlık faktörünün değişimi elektriksel verimden ziyade termal verim üzerinde daha çok etkili olmaktadır. Bu çalışmada özellikleri verilen PV/T kolektörlerin Manisa İlinde kurulması durumunda elde edilebilecek termal verim %64,5, elektriksel verim %13,5 ve toplam verim %78 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verim değerlerinin literatürdeki çalışmalarda elde edilen değerlerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [2,10].

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf (Kasım 2016)
- [2] Silva R.M., Fernandes J.L.M., "Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab", *Solar Energy*, 84:1985-1996, (2010)
- [3] Farshchimonfared M., Bilbao J.I., Sprou A.B., "Full optimisation and sensitivity analysis of a photovoltaic-thermal (PV/T) air system linked to a typical residential building", *Solar Energy*, 136: 15-22, (2016)
- [4] Ammous M., Charfi S., Harb A., Chaabene M., "Improvement of PV/T Based Reverse Osmosis Desalination Plant Performances Using Fuzzy Logic Controller", *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*, 5: 11-27, (2016)
- [5] Jones M.A., Odeh I., Haddad M., Mohammad A.H., Quinn J.C., "Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture", *Desalination*, 387: 35-45, (2016)
- [6] Sotehi O., Chaker A., Maalouf C., "Hybrid PV/T water solar collector for net zero energy building and fresh water production. A theoretical approach", *Solar Energy*, 385:1-11, (2016)
- [7] Ammous M., Chaabene M., "Design of a PV/T based desalination plant: Concept and Assessment", *The fifth International Renewable Energy Congress IREC*, Tunisia, pp.1-6, (2014).
- [8] Lal S., Kumar P., Rajora R., "Performance analysis of photovoltaic based submersible water pump", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5: 552-560, (2013)
- [9] Qiu Z., Ma X., Zhao X., Li P., Ali S., "Experimental investigation of the energy performance of a novel Micro-encapsulated Phase Change Material (MPCM) slurry based PV/T system", *Applied Energy*, 165: 260-271, (2016)
- [10] Michael J.J., Iniyar S., Ranko G., "Flat plate solar photovoltaic-thermal collector (PV/T) systems: A reference guide", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 62-88, (2015)
- [11] Celsa G., Tina G.M., "MATLAB/Simulink Model of Photovoltaic Modules/Strings under Uneven Distribution of Irradiance and Temperature", *6th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Tunisia, (2015)
- [12] Engin D., "Yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/ termal toplayıcı (pv/t) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu", *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [13] Farghally H.M., Ahmed N.M., El-madany N.M., Atia D.M., Fahmy F.H., "Design and Sensitivity Analysis of Photovoltaic/Thermal Solar Collector", *International Energy Journal*, 15: 21-32, (2015)
- [14] Hu M., Zheng R., Pei G., Wang Y., Li J., Ji J., "Experimental study of the effect of inclination angle on the thermal performance of heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) systems with wickless heat pipe and wire-meshed heat pipe", *Applied Thermal Engineering*, 106: 651-660, (2016)
- [15] Dean J., McNutt P., Lisell L., Burch J., Jones D., Heinicke D., "Photovoltaic-Thermal New Technology Demonstration", *National Renewable Energy Laboratory*, (2015)
- [16] Kaya M., "Thermal and Electrical Performance Evaluation of PV/T Collectors in UAE", *Yüksek Lisans*, School of Industrial Engineering and Management, (2013).
- [17] <http://www.enerjibodrum.com/?product=1701844&pt=BODRUM%20C4%B0STEK%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0S%C4%B0> (Ocak 2018)