

PV/T SİSTEMLERİN EKSERJİK VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER VE ŞOFBEN İLE HİBRİT SİSTEM DİZAYNI

Zeynep ÇELİK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sivrihisar Meslek Yüksekokulu

zcelik@ogu.edu.tr

Hamdi Selçuk ÇELİK

Türk Demirdöküm Fabrikaları A.Ş., Ar-Ge Mühendisi

hamdi.celik@vaillant-group.com

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, parametreleri literatür araştırması sonucunda belirlenen fotovoltaik bir sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmış olup sonrasında sistemin geliştirilmesi için fotovoltaik-termal sistem tasarlanarak aynı şartlar altında parametreleri hesaplandıktan sonra enerji ve ekserji açıdan verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Bu iki hesabın farkı üzerinden, PV/T sistemlerde önemli olan parametreler belirlenmiş ve tablo ile verilmiştir. Önemli olan parametreler dikkate alınarak sistem yorumlanmıştır. Termal soğutmalı sistemlerde enerji ve ekserji verimliliklerinin yaklaşık olarak %7 artış gösterdiği hesaplanmıştır. Fotovoltaik termal sistemler, ekserjik verimliliğin ve entropi dengesinin artırılması açısından uygun yapıdadır ve tasarlanan sistemlerde şofben cihazıyla hibrit elektronik kontrollü bir yapı oluşturulmuştur. Ekserjik verimliliğin artırılması için konutlarda diğer elektrikli sıcak su ihtiyacı olan ev gereçleriyle sistemin birleştirilip birleştirilemeyeceği tartışılmıştır. Bu bağlamda yapılan tasarım özetle şu şekildedir: Isınan su, konut şebekesinden gönderilen su ile boylerde karşılaşılarak termostatik bimetal kullanan termostatla şebeke suyu sıcaklığı maksimum 50 °C'ye çıkarılacaktır, sonrasında ihtiyaç halinde direkt olarak konutun duş veya mutfağına gönderilecektir. Eğer ısıtılması hedeflenen şebeke suyunun sıcaklığı 35 °C 'nin üzerine eşdeğer kullanım faktöründen dolayı yükseltilemezse, elektrik enerjisini güneş panelinden temin eden şofbenin devreye girmesi planlanmıştır. Bu nedenle panelden gelen sıcak su öncelikle şofben içinden geçirilmiştir. Soğutucu suyun, kullanım suyunu karşıladığı halde, yüksek sıcaklıklara ulaşması durumu da düşünülerek sisteme yassı borulu kondenser ve fan eklenmiştir; sirkülasyon pompasının, suyu kondenserdan geçirerek dolaştırması şeklinde tesisat dizaynı oluşturulmuştur. Kondenser ünitesi fanının da elektrik enerjisinin kurulan fotovoltaik pillerden karşılanacağı hesaplanmıştır. Termal soğutmanın uygulandığı sistemlerin, elektriksel verimliliğinin ve ömrünün soğutma performansına bağlı olarak uzadığı ve hibrit sistemler kurularak ekserjik verimliliği önemli derecede arttığı için amortisman süresinin daha düşük olacağı anlaşılmıştır.

107

Anahtar kelimeler: PV/T sistemler, ekserji analizi, güneş enerjisi.

ABSTRACT

In this study, energy and exergy analysis of a photovoltaic system determined as a result of the literature search, then the photovoltaic-thermal system was designed for the development of the system, and after the calculations were made under the same conditions, the efficiencies in terms of energy and exergy were compared. The parameters which are important in the PV / T systems are determined through the difference of these two accounts and these parameters are given in the table. The system is interpreted taking into consideration the important parameters. It has been estimated that the energy and exergy efficiencies of the thermally cooled systems have increased by approximately 7%. Photovoltaic thermal systems are suitable for increasing the exergetic efficiency and entropy balance and PV/T systems have a hybrid electronic control structure with the water heater in the designed system. It has been argued whether it would be appropriate to combine the system with household appliances that require other electrical hot water to increase the exergy efficiency. The design in this context is briefly as follows: The heated water will reach the maximum water temperature of 50 ° C with the thermostat control by meeting the water sent from the house network in the boiler. If hot water is needed, it will be sent directly to the shower or kitchen of the house. If the temperature of the targeted mains

water can not be raised above 35 ° C due to the equivalent utilization factor, it is planned that the water heater, which supplies electricity from the solar panel, will switch on. For this reason, the hot water coming from the panel is firstly passed through the water heater. In case the cooling water is enough for the domestic hot water needs, flat tube condenser and fan are added to the system to prevent the high temperatures from reaching the system. the design of the installation has been established so that the water will circulate through the condenser. The energy required for the condenser unit fan will be the energy from the photovoltaic batteries. It has been understood that systems with thermal cooling will have a lower depreciation time, as electrical efficiency and life span depend on the cooling performance, and when the hybrid systems are installed, they significantly increase the exergetic efficiency.

KeyWords: PV/T systems, exergy analysis, solar energy.

1.GİRİŞ

Günümüzde güneş enerjisinden ısı enerjisi ve fotovoltaiik dönüşüm ilkesinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretmek yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaiik güneş panelleri, üzerine düşen güneş ışınımının sınırlı bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Üretildikleri malzemenin özelliklerine bağlı olarak, çok farklı dalga boylarında ışınım içeren güneş enerjisinin yalnızca spektral cevap aralıklarına karşılık gelen bölümünü elektriğe çevirirken, büyük bir oranı fotovoltaiik malzemede ısı yükü oluşturur. Oluşan bu aşırı ısı yükü, hem fotovoltaiik panellerin anlık verimini düşürmekte, hem de uzun vadede malzemenin yapısını bozmakta ve ömrünü kısaltmaktadır. Bu nedenle pek çok PV paneli, %10-15 arasında verime sahiptir. PV panelindeki her 1 °C' lik artış PV verimini % 0,4-0,5 arasında düşürmektedir. Fotovoltaiik panellerde güneş ışınımının oluşturduğu aşırı ısı yükünü uzaklaştırmak ve bu ısıyı değerlendirmek için fotovoltaiik termal (PV/T) sistemler tasarlanmıştır. PV/T sistemler ile hem oluşan aşırı ısı yükü fotovoltaiik malzemeden uzaklaştırılabilmekte, hem de bu enerjiden ısı olarak yararlanılabilmektedir. Böylece PV/T sistem sayesinde hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilebilmektedir (Kandilli vd., 2014). Tonui vd., (2007), çalışmalarında PV/T solar kolektörlerin soğutma sistemlerinde kullanılan su akışkanlı eşanjörlerin fin kalınlığını düşürüp, fin sayısını artırarak sistemin verimini artırmışlardır. Öztürk vd. (2011) yaptıkları çalışmada, PV ve PV/T sistemlerin termodinamik değerlendirmesini yaparak, sırasıyla enerji ve ekserji verimleri üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada PV/T kolektörün düşük sıcaklıklı termal enerjiyi yararlı enerji olarak kullandığı için çevresel etkisinin PV sistemlere göre daha az olduğunu ve sulu soğutma sistemlerinin evlere sıcak su sağlama açısından daha verimli olduğunu belirtmişlerdir ancak burada bakım maliyeti daha fazladır. Teo vd., (2012), yaptıkları çalışmada PV panele hava soğutmalı bir sistem tasarlayarak PV/T dönüşümünü sağlamışlardır. Bu deneysel analiz sonucunda soğutma sistemi bulunmayan panelin verimi %8-9 aralığında ölçülürken, sisteme soğutma eklendiğinde sistem veriminin %12-14 arasında olduğunu bulmuşlardır. Saloux vd.,(2013), PV ve PV/T panelini enerji ve ekserji açısından termodinamik analiz yaparak karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda PV/T panelin tersinir özelliğinin ve ekserjik veriminin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Kabul ve Duran (2014), güneş enerjisinden elektrik üretimi esnasında panel sıcaklığının artması sonucu azalan verimi, paneli su ile soğutarak artırmışlardır. Panelin ısısını alarak sıcaklığı artan su bir depoda toplanmıştır. Bu sayede soğutmasız panele göre, elektrik üretiminde %35'lik güç artışı ve %7'lik verim artışı sağlanmıştır. Reddy vd. (2015), PV/T sistemlerde soğutma yöntemlerinden bahsetmişlerdir. Bunlar hava ve su soğutmalı 2'ye ayrılmaktadır. Ayrıca su soğutmalı kendi içinde doğal ve zorlanmış taşınım ve daldırma teknikli olarak 2'ye ayrılmıştır. Jakhar vd, (2017), PV ve PV/T sistemleri analitik ve teorik olarak kıyaslamışlar ve PV/T sistemin elektrikselle veriminin %1.4 arttığını, ekserjik verimliliğinin ise %8.5'ten 8.75'e yükseldiği sonucuna varmışlardır. Jakhar ve Soni, (2017), yaptıkları deneysel çalışmalarında PV sisteminin maksimum sıcaklığının 73°C'ye yükseldiğini, tasarladıkları sulu soğutma eşanjörünün sisteme 0.033kg/s debiyle uygulanmasıyla, maksimum sıcaklığın 43-49°C

aralığında olduğu ve elektriksel verimliliğin yaklaşık %8,5 artış gösterdiğini, termal verimliliğin %44-55 arasında olduğunu kanıtlamışlardır.

2. FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Bu bölümde PV sistemlerin, Termodinamiğin 1. ve 2. Yasasına göre enerji ve ekserji analizleri verilmiştir.

2.1 PV Sistemlerin Enerji Analizi

PV sistemin enerji dengesi Denklem 2.1'deki gibidir.

$$En_{PV} = En_{PV,elektrik} + En_{PV,termal} \quad (2.1)$$

$En_{PV,elektrik}$ ile PV sisteminin elektrik üretimi, $En_{PV,termal}$ ile ise sistemin ısı kayıpları temsil edilmiştir.

$$En_{PV,elektrik} = V_{oc} I_{sc} \quad (2.2)$$

V_{oc} açık devre voltajını, I_{sc} kısa devre akımını göstermektedir.

$$En_{PV,termal} = h_{ca} A_c (T_c - T_a) \quad (2.3)$$

PV sisteminin çevreye olan ısı kayıpları Denklem 2.3'de verilmiştir.

Kararlı halde güneş hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$4T_c^5 - 3T_a T_c^4 - T_a T_s^4 = 0 \quad (2.4)$$

PV hücreden çevreye olan ısı kaybı rüzgar hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$h_{ca} = 2,8 + (3,0 v_r) \text{ için } 0 \leq v_r \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (2.5)$$

Bu denklemdeki v_r , panel üzerinde ölçülen rüzgar hızıdır. PV sistemin toplam enerji dengesi aşağıdaki gibi verilir.

$$En_{PV} = V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a) \quad (2.6)$$

Genel olarak mühendislikteki verimlilik ifadesi çıktının girdiye oranıdır. PV sistemin enerji verimliliği de, çıktı enerjisinin yani elektrik ve termal enerjinin toplamının, PV yüzey üzerine ulaşan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\eta_{PV} = \frac{En_{PV}}{I_s x A_c} = \frac{V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a)}{I_s x A_c} \quad (2.7)$$

Normalde PV panellerden sadece elektrik üretme açısından faydalandığından, verimlilik için sadece elektrik enerjisine dönüşen kısım alınır. $E_{PV,E}$ sistem tarafından bir gün boyunca üretilen enerjinin Wh cinsinden değeridir. PV sistemin günlük elektrik verimi aşağıda verilmiştir.

$$\eta_{PV,D} = \frac{E_{PV,E}}{E_s} \quad (2.8)$$

2.2 PV Sistemlerin Ekserji Analizi

PV sistem tarafından üretilen elektrik ekserjisi, mevcut enerjinin olabildiğince tamamını faydalı olarak kullanmayı hedefler. Ekserji dengesi Denklem 9'daki gibidir.

$$Ex_{PV} = Ex_{PV,elektrik} - Ex_{PV,termal} - Ex_{PV-d,elektrik} \quad (2.9)$$

Burada $Ex_{PV,elektrik}$ =PV sisteminin elektrik ekserjisini, $Ex_{PV-d,elektrik}$ ve $Ex_{PV,termal}$ sırasıyla iç ve dış ekserji kayıplarını temsil etmektedirler. İçsel kayıplar elektrik enerjisindeki mükemmel yalıtım olmamasından ötürü yıkımdan, dışsal kayıplar ise dış ortamdaki ısı kaybından oluşmaktadır. PV sistemin elektrik ekserjisi, enerjiye benzer şekildedir. Sistemin Elektrik ve termal ekserji kayıpları Denklem 2.11 ve 2.12 'deki gibidir.

$$En_{PV,elektrik} = V_{oc} I_{sc} \quad (2.10)$$

$$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc} I_{sc} - V_m I_m \quad (2.11)$$

$$Ex_{PV,termal} = \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \times (h_{ca} A_c (T_c - T_a)) \quad (2.12)$$

PV sistemlerin ekserji verimi, PV sistemin ekserji değerinin PV sistem yüzeyine gelen güneş radyasyonunun ekserji değerine oranı ile hesaplanmaktadır.

110

$$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş} \times A_c} = \frac{V_m I_m - \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \times (h_{ca} A_c (T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \times I_s\right] \times A_c} \quad (2.13)$$

Denklem 2.13'deki $Ex_{güneş}$ kolektöre gelen güneş ışınımının ekserjisidir. En sade haliyle bu değer, Denklem 2.14' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Ex_{güneş} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \times I_s \quad (2.14)$$

$$\frac{T_s}{T_s^*} = 0,9562 + 0,2777 \ln\left(\frac{1}{f}\right) + 0,0511f \quad (2.15)$$

Burada T_s güneş ışınım sıcaklığı (5777 K) ve f difüz radyasyon yansıtma katsayısı alınarak T_s^* değeri hesaplanabilmektedir.

3. FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) SİSTEMLERİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Fotovoltaik sistemlerde güneşten elde edilen enerjinin yaklaşık %10-20'si elektrik enerjisine dönüştürülmekte diğer kalan enerji ise termal enerji olarak atmosfere atılmaktadır. PV sistemlerde değerlendirilemeyen ısı enerjisinin kullanılmasıyla, PV/T sistem oluşturulur. PV sistemlerden en önemli farklılığı soğutma yapılarak elektrik üretimi verimliliğinin artırılması ve su ile panelin

soğutulması sonucunda transfer edilen ısının bir ısıl cihaza girdi olarak veya doğrudan kullanılmasıdır.

3.1 PV/T Sistemlerin Enerji Analizi

PV/T kolektörlerin enerji dengesi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$Q_{u,PV-T} = Q_T - Q_L \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de verilen ifadelerin bileşenleri yerlerine yazıldığında;

$$Q_{u,PV-T} = A_c F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)] \quad (3.2)$$

F_R ısı kazanç faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Denklem 3.3). Burada U_L toplam kolektör ısı kayıp katsayısı (W/m^2K), T_i çalışan akışkanın kolektöre giriş sıcaklığıdır.

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (3.3)$$

F' kolektör verimi olup aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D h_f} \right]} \quad (3.4)$$

Burada, denklemde geçen W , çalışan akışkanın geçtiği borular arası mesafe (m), D boru iç çapı (m), F standart kanat verimi, C_b sınırlama ve iletkenliği, h_f boru içindeki ısı transfer katsayısını temsil etmektedir.

111

PV/T kolektörün enerji verimliliği aşağıdaki gibi verilir.

$$\eta_{PV-T} = \frac{\dot{Q}_{u,PV-T}}{I_s \times A_c} = \frac{F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)]}{I_s} \quad (3.5)$$

PV/T kolektörlerin ısı performansını, su giriş ve ortam sıcaklığına, kolektöre gelen güneş ışınlarının yoğunluğuna ve yansıtıcıya bağlı olmaktadır. Günlük toplam verimliliği ise Denklem 3.6’ deki gibidir. Buradaki $\eta_{güç}$ değeri, sistemin elektrik verimidir ve 0,38 olarak alınır.

$$\eta_{PV-T,D} = \frac{\eta_E}{\eta_{güç}} + \eta_{I,PV-T} \quad (3.6)$$

3.2 PV/T Sistemlerin Ekserji Analizi

PV sistemlerin enerjisinin %70 civarı termal enerji olarak atmosfere atılmaktadır. Çevreye atılan bu enerji kullanılarak PV/T sistemler oluşturulmuştur. Dolayısıyla PV/T kolektörlerin ekserji dengesi aşağıdaki gibi verilir.

PV sistemine benzer olarak PV/T sisteminin elektrik ekserjisi ile termal ekserjisi Denklem 3.7’deki gibi verilir. Burada PV sistemde kayıp olduğu için çıkarılan termal enerji, bu sistemde kazanç olduğundan eklenmiştir.

$$Ex_{PV-T} = Ex_{PV-T,elektrik} + Ex_{PV-T,termal} - Ex_{PV-T,d-ekonomik} \quad (3.7)$$

$$Ex_{PV-T,termal} = \left(1 - \frac{T_i}{T_a}\right) Q_{u,PV-T} \quad (3.8)$$

PV/T kolektörün genel ekserji dengesi ifadesi şu şekildedir:

$$Ex_{PV-T} = V_m I_m + \left(1 - \frac{T_i}{T_a}\right) Q_{u,PV-T} \quad (3.9)$$

PV/T kolektörler hem elektrik enerjisini hem de termal enerjiyi işe çevirdiği için ekserji verimliliği denklem 3.10 'daki gibidir.

$$\psi_{PV-T} = \frac{Ex_{PV-T}}{Ex_{güneş}} = \frac{V_m I_m + \left(1 - \frac{T_a}{T_i}\right) Q_{u,PV-T}}{\left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) A_c I_s} \quad (3.10)$$

Mevcut bir PV sistemin PV/T'ye dönüştürülmesi ve bunun sonucunda kazanılacak ekserjik verim artışı ile birlikte termal yapıya ilave olarak sistemin ekserjik verimliliğinin yükseltilmesi için sistemi soğutarak ısının suyun enerjisinin değerlendirilmesi geniş kapsamda yapılacaktır.

112

4. PV SİSTEMİN TASARLANAN PV/T SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE OLUŞAN EKSERJİK KAZANCIN ANALİZ EDİLMESİ

PV sisteme termal kolektör eklenerek verimliliğin artacağı şüphesizdir. Fakat farkın analitik yöntemlerle analiz edilmesi amacıyla öncelikle parametreleri seçilen bir PV sistemin enerji ve ekserjik verimliliği hesaplandıktan sonra sistem PV/T olarak tasarlanmıştır. PV/T sistemin enerji ve ekserjik verimliliği de hesaplandıktan sonra sistemin entropi dengesini koruyacak parametreler belirlenerek farklılıklar özetlenecektir.

4.1 Örnek Fotovoltaik Sistemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Seçilen fotovoltaik sistem için sektörde çoğunlukla kullanılan parametreler tercih edilmiştir. Çizelge 4.1'de seçilen PV sistem özellikleri verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı tanımlanırken Eskişehir'in sıcaklık özellikleri kullanılmıştır. [4]

Çizelge 4.1 Seçilen PV sistem özellikleri

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| Boyutlar (cm) | 67*55*3,5 |
| Panel Yüze Alanı (m ²) | 0,37 |
| Panel Boyutları (cm) | 250*160*3,5 |
| Maksimum güç voltajı (V) | 18 |
| Maksimum akım gücü (A) | 2,78 |
| Açık devre voltajı (V _{oc}) | 21 |
| Kısa devre akımı (I _{sc}) | 3,06 |
| Maksimum sistem voltajı (V) | 1000 |
| Hücre sıcaklığı (T _c K) | 353 |
| Ortam sıcaklığı (T _a K) | 300 |
| Rüzgar hızı v(m/s) | 3,5 |

113

4.1.1 Fotovoltaik Sistemin Enerji Analizin Yapılması

Belirlenen parametreler sonucunda fotovoltaik sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Çizelge 4.2’de hesaplamalar sonucunda PV sistemin enerji analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2 Fotovoltaik sistemin Enerji analizi sonuçları

| Fotovoltaik Sistem Enerji Analizi | | |
|--|----------------------|-------|
| $En_{PV, elektrik} = V_{oc} I_{sc}$ | (Wh) | 64,3 |
| $En_{PV, termal} = h_{ca} A_c (T_c - T_a)$ | (Wh) | 259,8 |
| $h_{ca} = 2,8 + (3,0xv_r)$ | (W/m ² K) | 13,3 |
| $En_{PV} = En_{PV, elektrik} + En_{PV, termal}$ | (Wh) | 324,0 |
| $\eta_{PV} = \frac{En_{PV}}{I_s x A_c} = \frac{V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a)}{I_s x A_c}$ | | 0,88 |

Fotovoltaik sistem üzerinde yapılan enerji analizi sonucunda güneşten alınan enerjinin yaklaşık %75’inin termal enerjiye dönüştüğü yani ısı enerjisi olarak kullanılmadığı anlaşılmıştır. Bu denli ısı enerjisinin fotovoltaik pil üzerinde elektrik üretim verimliliğini ve PV sistemin teorik ömrünü olumsuz etkileyeceği literatürde yapılan birçok çalışmada ispatlanmıştır.

Üretilen toplam elektrik enerjisi ve ısıya dönüşen enerji toplamının güneşten alınan toplam ısı ışınım enerjisine oranı fotovoltaik sistemin teorik verimi %88 olarak hesaplanmıştır. Fakat bu durum termal ısı enerjisinin de çıktı olarak düşünüldüğü durumdur, eğer ısı enerjisi olarak atmosfere karışan bu enerji fotovoltaik sistem verimine dahil edilmezse sistemin verimi yaklaşık olarak %21 olarak hesaplanmıştır. Fakat bu durum ekserji analizinde daha detaylı olarak analiz edilmiş olacaktır.

4.1.2 Fotovoltaik Sistemin Ekserji Analizin Yapılması

Sistemin ekserji analizi yapıldığında tersinir işe dönüşme kabiliyeti yani yararlı iş analizi yapılmış olacaktır. Yani analize termodinamiğin ikinci kanunu da dahil edilerek en gerçekçi sonuçlar alınmış olacaktır.

Çizelge 4.3’de yapılan ekserji analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3 Fotovoltaik sistemin Ekserji analizi

| Fotovoltaik Sistemin Ekserji Analizi | |
|--|-----------|
| $Ex_{PV,elektrik} = V_{oc}I_{sc}$ | (Wh) 64,3 |
| $Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_m I_m$ | 14,22 |
| $Ex_{PV,termal} = \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \times (h_{ca} A_c (T_c - T_a))$ | 39,0 |
| $Ex_{güneş} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \times I_s$ | 948,1 |
| $\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş} \times A_c} = \frac{V_m I_m - \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \times (h_{ca} A_c (T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \times I_s\right] \times A_c}$ | 0,11 |

114

Çizelge 4.3’de fotovoltaik sistemin ekserji analiz sonuçları incelendiğinde ekserjik verimin %11 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuç sektörde çoğunlukla kullanılan fotovoltaik sistemin ekserjik verimliliğine yakındır.

Bir fotovoltaik sistemin enerji ve ekserji analizi yapıldığında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Fotovoltaik sistemlerde güneşten gelen ısı enerjisinin yaklaşık sadece %20-25’i faydalı işe dönüştürülebilmekte ve bu sayede elektrik üretilebilmektedir. Güneş enerjisinin büyük çoğunluğu ısı enerjisine dönüşerek atmosfere yayılarak kaybolmaktadır.
- Fotovoltaik panellerde oluşan yüksek yoğunluklu ısı enerjisinin yarı iletkenlerde elektron transferi ile elektrik üretimi sağlayan panellerin verimliliğine ve ömrüne olumsuz etkisi olduğu literatürde birçok kaynakta vurgulanmaktadır.
- Enerjinin büyük çoğunluğunun ısı enerjisi olarak faydalı işe dönüştürülememesinden dolayı fotovoltaik piller yerine termal nitelikli olan yapıların kullanılmasının daha verimli olacağı düşünülmektedir.
- Bu nedenle aynı şartlarda hesaplamaları yapılan fotovoltaik sistemin termal özellikli sisteme dönüştürülmesiyle enerji ve ekserji verimliliğindeki değişiklikler yorumlanacaktır.

4.2 Örnek Fotovoltaik Termal Sistemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Seçilen fotovoltaik-termal sistem için parametreler eş elemanlar için birebir fotovoltaik sistemle aynıdır. Bu doğrultuda termal özellikli sistemin tasarımı Autocad programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre çizilen sistem üzerinden entropik farklılığın azaltılması yani ekserjik verimliliğin artırılması için hangi parametrelerin önem teşkil ettiği yorumlanmıştır. Çizelge 4.4’de seçilen parametreler ve hesaplanan değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 Fotovoltaik Termal sistemin parametrik ve hesaplanan değerleri

| | | |
|------------------------|----------|--|
| V_{oc} (Volt) | 21 | Açık devre voltajı |
| I_{sc} (Amper) | 3,06 | Kısa devre akımı |
| T_a (K) | 300 | Dış ortam sıcaklığı |
| T_c (K) | 353 | Hücre sıcaklığı |
| h_{ca} (W/m^2K) | 13,3 | PV hücreden çevreye olan konvektif ve ışımsal ısı kaybıdır |
| V_r (m/sn) | 3,5 | Rüzgar hızı |
| f | 0,000013 | Difüzyon yansıtma katsayısı |
| T_s (K) | 5777 | Güneş radyasyon sıcaklığı |
| F_R | 0,85 | Isı kazanç faktörü |
| τ_v | 0,82 | Etkin geçirgenlik soğurma katsayısı |
| U_L (W/m^2K) | 93 | Toplam kolektör ısı kayıp katsayısı |
| T_i (K) | 288 | Çalışma sıvısının kolektöre giriş sıcaklığı |
| F' | 0,92 | Kolektör verim faktörü |
| W (m) | 0,3 | Isı taşıyıcı akışkanın geçtiği boruların arasındaki boşluk |
| D (m) | 0,13 | Borunun iç çapı |
| F | 0,9 | Standart kanat verimi |
| C_b | 0,84 | Sınır ve iletkenliği |
| h_f (W/m^2K)- Al | 200 | Boruların iç ısı transfer katsayısı |
| Pompa gücü (W) | 65 | Tesisatta suyu dolaştıran pompa |
| Su debi(lt/dak) | 0,33 | Paneli soğutan su debisi |
| Fan gücü (W) | 140 | Isınan suyu soğutan kondenser fanı |

Çizelge 4.3’te hesaplanan parametrik değerler bu çalışma kapsamında fotovoltaik sistemin parametreleriyle tasarlanan fotovoltaik termal üniteye ait sonuçlardır.

4.2.1 PV/T Sistemin Enerji Analizinin Yapılması

Tasarlanan fotovoltaik termal sistemin enerji dengesi oluşturulup Çizelge 4.5’de hesaplanan veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 Fotovoltaik termal sistemin enerji dengesi

| Fotovoltaik Termal Sistemin Enerji Dengesi | |
|--|--------|
| $Q_{u,PV-T} = A_c F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)]$ | 350,27 |
| $\eta_{PV-T} = \frac{Q_{u,PV-T}}{I_s \times A_c} = \frac{F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)]}{I_s}$ | 0,95 |

Enerji analizi sonucunda sisteme termal döngünün ve soğutmanın eklenmesinin verimi %7 arttırdığı anlaşılmıştır. Enerjinin yararlı işe dönüşebilirliği hususu özellikle ekserji analizinden anlaşılacaktır.

4.2.2 PV/T Sistemin Ekserji Analizinin Yapılması

Tasarlanan fotovoltaik termal sistemin ekserji dengesi oluşturulup Çizelge 4.6’de hesaplanan veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 Fotovoltaik termal sistemin ekserji dengesi

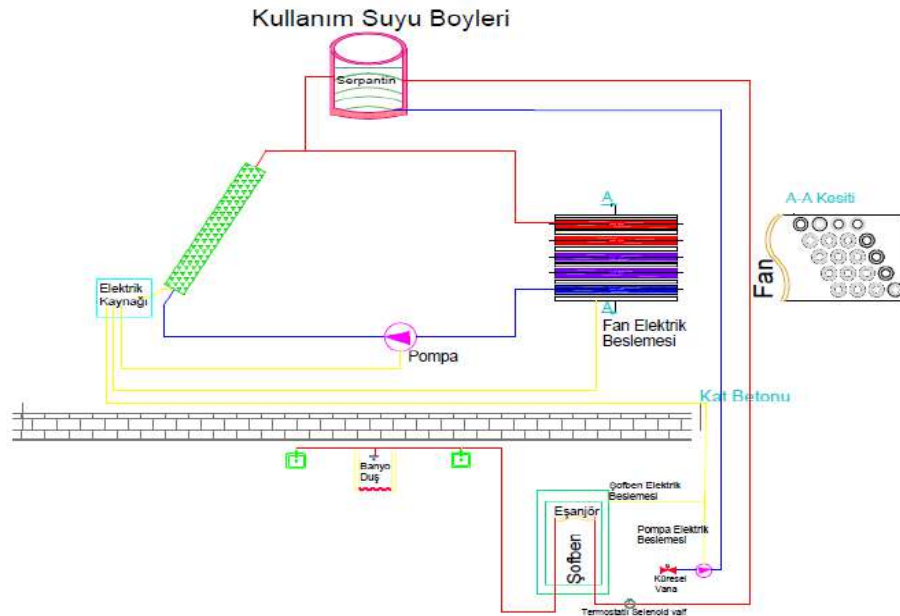
| Fotovoltaik Termal Sistemin Ekserji Dengesi | |
|---|--------|
| $Ex_{PV-T,termal} = \left(1 - \frac{T_i}{T_a}\right) Q_{u,PV-T}$ | 14,01 |
| $Ex_{PV-T} = V_m I_m + \left(1 - \frac{T_i}{T_a}\right) Q_{u,PV-T}$ | 64,05 |
| $\psi_{PV-T} = \frac{Ex_{PV-T}}{Ex_{güneş}} = \frac{V_m I_m + \left(1 - \frac{T_a}{T_i}\right) Q_{u,PV-T}}{\left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) A_c I_s}$ | 0,1833 |

Çizelge 4.6’da ekserjik verimliliğin %18,3 olarak hesaplandığı verilmiştir. Bu durum mevcut fotovoltaik sisteme göre ekserjik verimliliğin yani tersinir işin yararlı işe dönüşebilme kabiliyetinin %7,3 daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durumun soğutma suyuna aktarılan termal enerjinin kullanım suyuna serpantinli bir boyler yardımıyla aktarılması sayesinde olduğu anlaşılmıştır.

4.3 PV/T Sistem için Şofben ile Hibrit Sistem Dizaynı

- Şekil 4.1’de tasarlanan fotovoltaik termal sistem verilmiştir. Bu sistemde güneş ışınım enerjisiyle ısınan fotovoltaik panellerin soğutulmasıyla ısınan suyun serpantinli bir boylere gönderilmesi ve bir evin kullanım suyunu ısıtma sistemi simüle edilmiştir.

- Isınan su konut şebekesinden gönderilen su ile boylerde karşılaşarak termostatik bimetal kullanan termostatla şebeke suyu sıcaklığı maksimum 50 °C'ye çıkarılacaktır, sonrasında ihtiyaç halinde direkt olarak konutun duş veya mutfağına gönderilecektir.
- Eğer ısıtılması hedeflenen şebeke suyunun sıcaklığı 35 °C'nin üzerine eşdeğer kullanım faktöründen dolayı yükseltilemezse elektrik enerjisini güneş panelinden temin eden şofbenin devreye girmesi planlanmıştır. Bu nedenle panelden gelen sıcak su öncelikle şofben içinden geçirilmiştir.



117

Şekil 4.1 Tasarlanan Fotovoltaik-Termal sistemin genel kullanım görünümü

Termal soğutucu eşanjörün tasarımı yapılırken geniş çaplı literatür araştırması yapılmış olup helisel borulu alüminyum kaplamalı malzemeden üretilmiş borular ısı performansını artırılması için seçilmiştir. [4]

Soğutucu suyun kullanım suyu karşılandığı halde yüksek sıcaklıklara ulaşması durumu da düşünülerek sisteme yassı borulu kondenser ve fan eklenmiştir, sirkülasyon pompasının suyu kondenserden geçirerek dolaştırması şeklinde tesisat dizaynı oluşturulmuştur. Kondenser ünitesi fanının da elektrik enerjisinin kurulan fotovoltaik pillerden karşılanacağı hesaplanmıştır.

4.4 Tasarlanan-Fotovoltaik Termal Sistemin Ekserjik Verimliliğinin Arttırılması İçin Değişirilebilen Parametreler

Fotovoltaik-termal sistemin ekserjik verimliliğinin mevcut sistemden daha fazla olması beklenen bir sonuçtur. Fakat sistemin tasarlanması ve parametrelere göre analitik analizlerinin yapılması sonucunda ekserjik verimliliğinin arttırılması için yapılabilecek değişiklikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Panellerin soğutulmasında kullanılan eşanjörler içinde boru yapısı, konstrüksiyonu ve malzemesinin ısı transfer performansına doğrudan etkisi olacağı için soğutma performansının arttırılması ve ekserjik verimliliğinin arttırılması açısından büyük önem teşkil ettiği anlaşılmaktadır.

- Sistemde su sirkülasyonunu sağlayan tüm pompalar yüksek verimli ve yüksek devirli santrifüj tipli olarak seçilmesi elektrik sevkiyatını düşüreceği için sistemin ekserjik verimliliğini doğrudan arttıracaktır.
- Serpantinli boyler sisteminin yalıtımlı olması ısıtılan suyun dış ortama enerjisinin transfer edilmesini önleyecek ve ekserjik verimliliğin artırılması için katkı sağlayacaktır.
- Tüm sistem su tesisatının ısı kaybı olmaması açısından yalıtılması da ekserjik verimliliğe etki edecektir.
- Isıtılan suyun konutta kullanılırken bir şofbenle hibrit olarak kullanılması ve şofbenin elektrik enerjisinin fotovoltaik panellerden karşılanması ve sistemin termostatlı selenoid valf le yönetilmesi ekserjik verimliliği arttırmaktadır. Fakat ısınan suyun kullanım sıklığı düştüğünde bu enerji değerlendirilmemiş olacaktır.
- Isıtılan suyun duş ve muslukta kullanılması dışında çamaşır ve bulaşık makinesi tesisatlarına da bağlanması ve bu sayede cihazların suyun hedeflenen değerlere ısıtılması için ekstra elektrik enerjisi harcamaması sistemin ekserjik verimliliğini doğrudan etkileyecektir. Ayrıca her iki makinenin de elektrik enerjisi fotovoltaik panelden sağlanacağı için sistem tümleşik olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR

Parametreleri belirlenen fotovoltaik bir sisteme termal soğutma sistemi de eklenerek enerjik ve ekserjik verimliliklerindeki farklılıklar yorumlanmıştır.

Fotovoltaik sistemlerde güneşten elde edilen enerjinin yaklaşık %10-15'i elektrik enerjisine dönüştürülmekte diğer kalan enerji ise termal enerji olarak atmosfere atılmaktadır. Fakat teorik verim hesaplamasında termal enerji de sistemlerin çıktığı enerjiye dahil edildiği için enerjik verimlilik %88 olarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan fotovoltaik termal sistemde ise enerjik verimlilik %95 olarak hesaplanmıştır. Bu değer %7 daha fazla olmasına panellerin soğutulmuş elektrik enerji üretim verimliliklerinin artırılması doğrudan etki etmektedir. Bu farkın gerçekte termal enerjinin kullanılmamasından dolayı çok daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin ekserjik verimliliği ise % 11 iken fotovoltaik termal sistemde bu değer %18,3 olarak hesaplanmıştır. Fakat ekserjik verimliliğin artırılabilmesi için termal soğutmalı sistemlerde geliştirilecek birçok parametre olduğu anlaşılırken, fotovoltaik sistemlerde elektron transferiyle elektrik üreten yarı iletkenli panellerin dışında değişiklik imkanı bulunmamaktadır.

Sonuç olarak fotovoltaik termal sistemlerin fotovoltaik sistemlere göre kullanım ve işletme konusunda daha yüksek verimli olduğu, hibrit olarak diğer elektrikli sıcak su ihtiyacı olan cihazlarla birleştirilerek verimliliğin artırılacağı kullanım ömrü daha uzun olurken kullanım ömrünün daha uzun olacağı anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

Jakhar, S., Soni, M.S., “Experimental and theoretical analysis of glazed tube-and-sheet photovoltaic/thermal system with earth water heat exchanger cooling ”, Energy Conversion and Management 153, 576–588, 2017

Kabul A., Duran F., “Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (Pv/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi ”, 6, 1, 31-43, 2014.

Kandilli, C., Külahlı, G., Savcı, G., “ Fotovoltaik Termal (Pvt) Sistem 2d Termodinamik Modellemesi Ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması ”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi –İzmir, 2013

Öztürk, M., Özek, N., Batur, H, Koç, M., “Fotovoltaik (PV) sistemlerin ve fotovoltaik-termal (PV-T) kolektörlerin termodinamik değerlendirmesi ”, Mühendis ve Makina, 52, 619, 50-62, 2011.

Salouxa,E., Teyssedoua, A., Sorin, M., “Analysis of photovoltaic (PV) and photovoltaic/thermal (PV/T) systems using the exergy method ”, Energy and Buildings 67, 275–285, 2013.

Teo,H.G., Lee, P.S., Hawlader, M.N.A., “An active cooling system for photovoltaic modules”, Applied Energy 90, 309–315, 1325-1335, 2012.

Tonui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y., “Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements”, Solar Energy, 81, 498–511, 2007.