

EDİRNE-TÜRKİYE İKLİM KOŞULLARINDA FOTOVOLTAİK VE FOTOVOLTAİK/TERMAL SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ

Hacer AKHAN^{1*}, Semiha ÖZTUNA¹, Doğan ERYENER¹, Berrin YILMAZ¹, Mustafa Kemalettin BÜYÜKAKIN¹, Kadir AYDIN¹

¹Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ahmet Karadeniz Yerleşkesi, Edirne 22030, Türkiye

Makale Künye Bilgisi: Akhan, H., Öztuna, S., Eryener, D., Yılmaz, B., Büyükakın, M.K., Aydın, K. (2023) Edirne-Türkiye İklim Koşullarında PV ve PV/T Sistemlerinin Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 57-70.

Öne Çıkanlar

- Fotovoltaik ve Fotovoltaik/Termal sistemlerinin performans analizi
- Fotovoltaik/Termal sisteminin elektrik üretimi Fotovoltaik sistemine göre daha fazladır.
- Edirne-Türkiye iklim koşulları için Fotovoltaik ve Fotovoltaik/Termal sistemleri deneysel olarak incelenmiştir.

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihiçesi: Geliş: 27 Kasım 2023 Kabul: 14 Aralık 2023	Fotovoltaik (PV) panellerin ideal çalışma sıcaklığı 25°C 'dir. Fotovoltaik paneldeki her 1°C sıcaklık artışı, elektrik üretimini %0,45 oranında azaltır. Bu durumda PV panellerdeki ısı enerjisini faydalı enerjiye dönüştürmek ve PV paneli soğutulmuş verim artışı sağlamak için Fotovoltaik/Termal (PV/T) sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada PV ve PV/T sistemlerinin performansı Edirne-Türkiye iklim koşullarında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Şebekeden bağımsız PV ve PV/T sistemleri kurulumu yapılarak sistemler deneysel olarak incelenmiştir. PV/T sisteminde PV panel güneş enerjili hava ısıtma kolektörüne entegre olarak kurulmuştur. Sistemlerden ölçülen veriler ile enerji üretimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, incelenen zaman diliminde PV/T sisteminin elektrik üretiminin normal PV sistemine göre %55 daha fazla olduğunu göstermiştir. Güneş enerjili hava ısıtıcısı, ısıtma sezonu boyunca 1091 kWh termal enerji üretmiştir.
Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi; PV; PV/T; Off-grid.	

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTOVOLTAIC/THERMAL SYSTEMS IN EDİRNE-TURKEY CLIMATIC CONDITIONS

Article Info	Abstract
Article History: Received: November 27, 2023 Accepted: December 14, 2023	The ideal operating temperature of photovoltaic (PV) panels is 25°C. Every 1°C temperature increase in the photovoltaic panel reduces electricity production by 0.45%. In this case, PV/T systems have been developed to convert the heat energy in PV panels into useful energy and increase efficiency by cooling the PV panel. In this study, the performance of PV and PV/T systems was analysed comparatively under Edirne-Turkey climatic conditions. Off-grid PV and PV/T systems were installed, and the systems were examined experimentally. In the PV/T system, the PV panel is integrated into the solar air heating collector. The data measured from the systems and energy production were examined comparatively. The results showed that the electricity production of the PV/T system was 55% higher than that of the regular PV system during the studied period. The solar air heater produced 1091 kWh of thermal energy during the heating season.
Keywords: Solar energy; PV; PV/T; Off-grid.	

1. Giriş

Tüm Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de elektrik tüketimi her geçen gün artmaktadır. Başta nüfus artışı olmak üzere, elektrikli aletlerin ve teknoloji ürünlerinin giderek daha yaygın kullanılması, sanayinin büyümesi, hızlı tren, metro gibi elektrikli motora sahip ulaşım araçlarının yaygınlaşması, yüksek hava sıcaklıkları olan günlerde klima kullanımının her geçen yıl daha çok ev ve iş yerinde serinleme yöntemi olarak kullanılması ile tarımsal sulama için daha çok elektrik tüketimi gibi birçok etken nedeniyle elektrik tüketimi hemen her yıl artmaktadır. Meskenlerdeki elektrik tüketiminin %20'den fazla paya sahip olduğu ülkemizde, elektrik üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak mikro ölçekte yapılabilmesi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hedeflerinden birisi olmuştur. Bu aşamada binalarda, güneş enerjisi ile elektrik üretiminde kullanılan PV sistemleri önem kazanmaktadır. Bunun yanında eş zamanlı olarak hem elektrik hem de ısı üretimi sağlayan PV/T sistemleri de ön plana çıkmaktadır. Sıcaklık artışı PV panel verimini azaltan bir faktördür. PV paneldeki her 1°C sıcaklık artışı elektrik üretimini %0,45 düşürmektedir. Bu durum karşısında PV panelde elde edilen bu ısıdan faydalanmak ve fotovoltaik paneli soğutmak amacı ile PV/T sistemler önem kazanmaktadır. PV/T sistemlerinde bir yandan PV panelin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan ısı enerjisi elde edilmektedir.

Literatürde PV ve PV/T sistemleri üzerine yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Raghuraman, performanslarını analiz etmek için düz plakalı güneş kolektörlerinin ve PV/T kolektörlerinin tek boyutlu modelini oluşturdu. Raghuraman, toplayıcıların performansını artırma yöntemlerini inceledi (Pattabiraman, 1981). Bhattarai, Ruobing ve Jie farklı karakteristiklerin PV/T toplayıcıları üzerindeki etkisini araştırdı (Bhattarai, 2013, Ruobing vd., 2015, Jie vd. 2006). Çiftçi vd. yaptıkları çalışmada dikey hibrit PV/T

güneş enerjili kurutucuyu deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir (Çiftçi vd., 2021). Yazılım olarak Fluent kullanılmıştır ve dikey PV/T içerisindeki ısı transferi incelenmiştir. PV/T kolektörler ayrıca kanatlı ve kanatsız olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki kanatlı PV/T kolektörlerin termal verimi kanatsız kolektörlere göre daha yüksek çıkmıştır. Balakumar vd. (2022) gerçekleştirdikleri çalışmada, mikro ölçekli akıllı hibrit sistemlerinde kullanılmak üzere, PV enerjisi üreten tüketen sistemler için yaklaşım önerilmiştir (Balakumar vd., 2022). Bu yaklaşımın, PV kullanımını geliştirdiği ve PV üreten tüketicinin kar sağlamasına yardım ettiği belirtilmiştir. Fotovoltaik/termal sistemin dört konfigürasyonunun performansı, enerji dengesi kavramına dayalı olarak Hegazy tarafından teorik olarak incelenmiştir (Hegazy, 2000). Tiwari ve arkadaşları, New Delhi'nin iklim koşulları altında doğal ve mekanik olarak havalandırılan PV/T sistemin üzerine çalışma sunmuştur (Tiwari, 2006). Tiwari ve Sodha, bölgedeki (New Delhi) kaplamasız ve camlı hibrit PV/T hava kolektörlerinin genel performansını değerlendirmek için sayısal bir simülasyon gerçekleştirdi (Tiwari ve Sodha, 2006). Morteza pour ve ark. PV/T sisteminin iki konfigürasyonunun performans değerlendirmesini analitik ve deneysel olarak incelemiştir (Morteza pour vd., 2012). Bir PV/T tasarımı, en aza indirilmesi gereken Yaşam Döngüsü Giderleri gibi bazı önemli ekonomik endeksler açısından dikkatle incelenmelidir (Morteza pour vd., 2011). Araştırmacılar, mekan ısıtma (Sukamongkol vd., 2010, Rajoria, 2016) ve kurutma işlemleri (Fterich vd., 2018, Tiwari vd., 2017) dahil olmak üzere farklı kullanım uygulamalarına sahip PV/T sistemleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Cezayir'in iklim koşulları altında Slimani ve ark. PV/T ve PV sistemlerini karşılaştırdı (Slimani vd., 2017).

Bu çalışmada; şebekeden bağımsız PV ve PV/T sistemlerinin kıyaslamalı analizi yapılmıştır. Her iki sistem Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Test sahasında

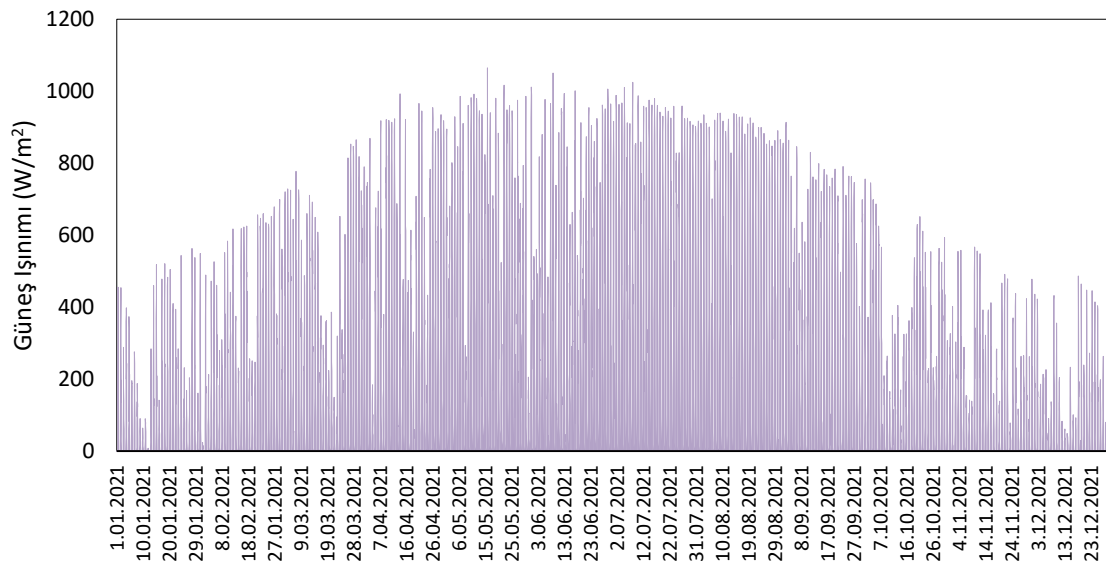
kurulmuştur. Çalışmada, termal panel olarak delikli emici panele sahip havalı güneş kolektörü kullanılmıştır. Uzun dönem ölçümler yardımı ile hem elektrik hem de termal enerji üretimleri değerlendirilmiştir. Edirne iklim koşullarında hangi sistemin performansının daha yüksek olacağı belirlenip, iki yıllık deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen verilerle yapılan analizler ile kanıtlanmıştır. Yapılan çalışma, Edirne ve benzer iklim koşullarında konumlanan binaların elektrik ve ısı enerjisini üretecek sistem uygulamaları için bir kılavuz olacaktır. Ayrıca hava sızdırmalı kolektör uygulamalarının önemli bir kısmının duvarda olması nedeniyle, bugüne kadar çatı tipi bir hava sızdırmalı PV/T uygulaması ne yazık ki test edilmemiştir. Oysa bu konu çatı uygulamaları ve berberine hibrit uygulamalar bakımında önemlidir. Dolayısıyla bu projede ile hava sızdırmalı PV/T çalışmalarına da ayrı bir katkı sağlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

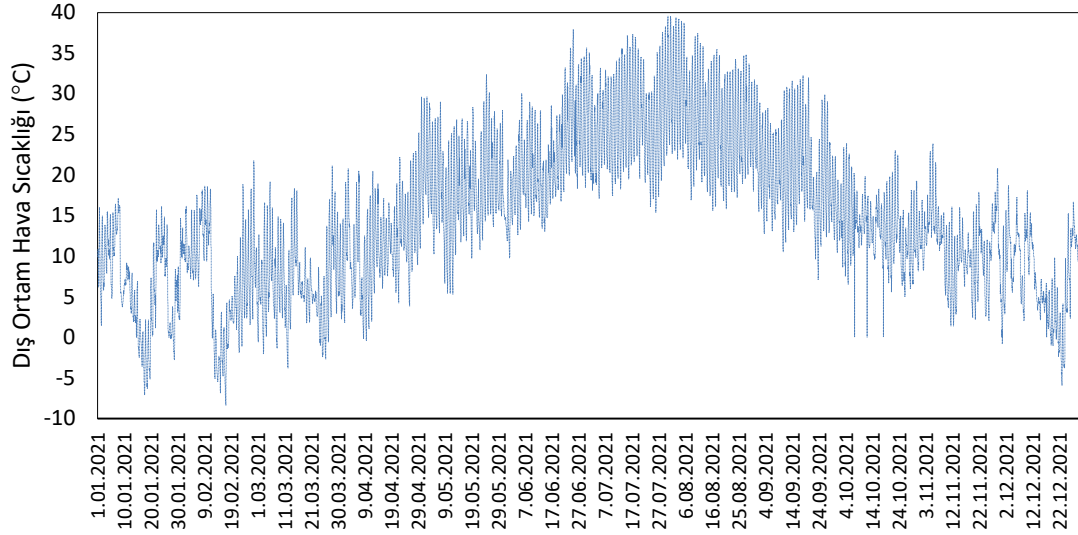
2.1. Kurulum yapılan bölgenin özellikleri

Sistem kurulumu yapılacak bölgenin ve sahanın güneş enerjisi potansiyeli açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Kurulumun yapıldığı Edirne ilinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri test sahasında meteoroloji istasyonu ile güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, dış ortam nem değeri verileri ölçülmüştür. Şekil 1'de Edirne 2021 yılı ortalama güneş ışınımı, Şekil 2'de Edirne 2021 yılı ortalama hava sıcaklığı diyagramları yer almaktadır.

Edirne 1400 ile 1450 kWh-m²/yıl ortalama radyasyon değerleri ile güneş enerji sistemi kurulmasına da imkân vermektedir (Trakya Kalkınma Ajansı, 2012). Yaz döneminde 30°C'nin altına düşmeyen sıcaklıklarla, haziran ayında m² 'ye düşen en yüksek radyasyon değerlerine ulaşırken, temmuz ayında ise en uzun güneşlenme süresi görülmektedir.



Şekil 1. Edirne 2021 yılı ortalama güneş ışınımı



Şekil 2. Edirne 2021 yılı ortalama hava sıcaklığı

Yapılan ölçümlerde görüldüğü üzere, güneş ışınım değerleri fevkalade iyidir. Güneş ışınımı ise anlık olarak 1200 Watt/m² değerine kadar çıkmakta ve PV sistemleri için iyi bir potansiyel söz konusudur. Bununla birlikte hava sıcaklığının da yaz aylarında 40°C 'ye kadar ulaştığı dolayısıyla yüksek ışınlımla birlikte bu durumun PV ısınmasında ve elektrik üretim verimliliğinin azalmasında önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir. Bu bakımdan PV/T sistemleri ideal olmamakla birlikte verimlilik artırıcı bir fonksiyona sahip olmaktadır.

2.2. Sistem özellikleri

2.2.1 Teori

PV panellerin çıkış gücü hava koşullarından, güneş ışınlımlından ve panel sıcaklığından oldukça etkilenir. Çalışma gerilimi V_{PV} (V) ve akımı I_{PV} (A), PV modül üzerine düşen güneş ışınlımına, ortam sıcaklığına ve PV modülün malzeme özelliklerine bağlı olarak PV panelin güç çıkışını belirler. PV panelin çıkış gücü P (W), Eşitlik 1 ile ifade edilir. N_{PV} (adet), PV panel sayısıdır.

$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \times N_{PV} \quad (1)$$

T_c (°C) ortalama panel sıcaklığının fonksiyonu olarak ifade edilen PV panel verimliliği (η_{PV}) Eşitlik 2 ile ifade edilir.

$$\eta_{PV} = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (2)$$

Denklemden yer alan η_r , T_r (°C) referans sıcaklığındaki (=25°C) verimdir. β_p , sıcaklık katsayısıdır. T_c (°C) ortalama panel sıcaklığı, ortalama aylık ortam sıcaklığı T_a (°C) ile ilişkilidir (Retscreen, 2005) ve Eşitlik 3 ile ifade edilir.

$$T_c - T_a = (219 + 832 \bar{K}_t) \frac{NOCT-20}{800} \quad (3)$$

Denklemden $NOCT$ (°C) nominal çalışma PV panel sıcaklığı, \bar{K}_t ortalama aylık hava açıklık indeksidir. η_r , $NOCT$ ve β_p , PV panelin türüne bağlıdır. Poli-kristal PV malzeme için $\eta_r = 11$, $NOCT=45^\circ\text{C}$ ve $\beta_p=0,4$ %/°C 'dir (Retscreen, 2005).

Havalı kolektörden birim alan başına termal ısı çıkışı oranı Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{q} = \dot{m} C_p (T_c - T_g) / A_{PV/T} \quad (4)$$

Denklemden \dot{m} havanın kütleli debisi, C_p (J/kg°C) havanın özgül ısınma ısısı, T_c (°C) hava çıkış sıcaklığı, T_g (°C) hava giriş sıcaklığı ve $A_{PV/T}$ (m²) kolektör alanıdır.

PV/T sistem termal verimi Eşitlik 5 ile, elektriksel verimi Eşitlik 6 ile ifade edilir. G_{SR} (W/m^2) güneş ışınımıdır.

$$\eta_{th} = [\dot{m} C_p (T_c - T_g)] / (A_{PV/T} G_{SR}) \quad (5)$$

$$\eta_e = (V I) / (A_{PV/T} G_{SR}) \quad (6)$$

PV/T modüllerinin toplam verimliliği, elektriksel ve termal verimlerin toplamı Eşitlik 7 ile hesaplanır (Dag ve Koçar, 2020)

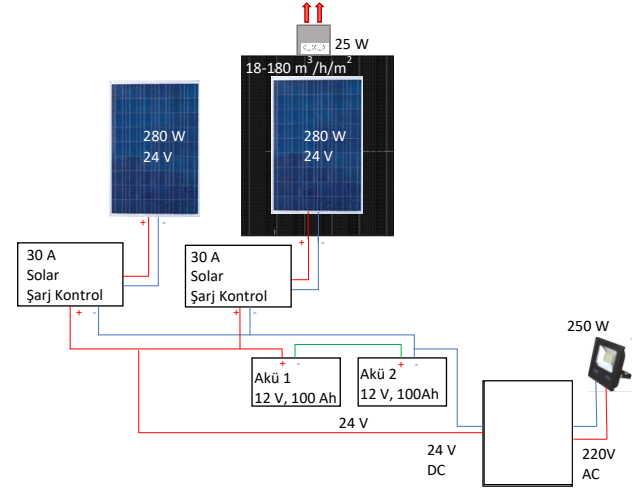
$$\eta_{total} = \eta_{th} + \eta_e \quad (7)$$

2.2.1 Deney tesisatı

Uygulaması yapılan olan PV sistemi iki farklı konfigürasyona sahiptir. Birinci konfigürasyonda PV tek başına referans güneş paneli olarak yer alırken ikinci konfigürasyonda ise PV paneli bir delikli emici panele sahip havalı güneş kolektörüne entegre olarak test edilmektedir. İncelenen PV ve PV/T sistemleri fotoğrafları Şekil 3'te, tesisat şemaları Şekil 4'te yer almaktadır. Tablo 1'de PV ve PV/T enerji sistemleri elemanları ve özellikleri görülmektedir. Fotovoltaik/termal sisteminin diğer bir önemli bileşeni delikli emici panele sahip havalı güneş toplayıcısıdır. Normalde binaların dış cephelerine monte edilen, metal malzemeden üretilmiş bir cephe kaplama sistemidir. Sistemin en önemli elemanı güneş enerjisini emen delikli paneldir. Emici panel, güneş ışınımı etkisiyle ısınmakta ve üzerindeki çok sayıda özel tasarımlı milimetrik delikleri sayesinde, dış havayı ısıtarak iç ortama göndermektedir. Dolayısıyla bu yapısı nedeniyle kolektör PV/T uygulamaları için ideal sistemlerden birisi olarak kullanılmaktadır. Delikli emici paneli sistem binaların dış cephe ve çatılarına uygulanan hava ısıtmada kullanılan sistemdir ve çatı uygulamaları, konutlarda iç ortam havası ısıtma, endüstriyel tesislerde hacim ısıtma ve sıcak proses havası üretimi için kullanılmaktadır.



Şekil 3. PV ve PV/T sistemleri



Şekil 4. PV ve PV/T sistem şemaları

Tablo 1. PV ve PV/T enerji sistemleri elemanları

Sistem Elemanı	Özellik
Fotovoltaik sistem	
Polikristal güneş paneli (PV)	280 W, 24 V
Şarj Kontrol Cihazı	30 A
Fotovoltaik Termal (PV/T) Sistem	
Polikristal fotovoltaik panel	280 W, 24 V
Hava sızdırmalı güneş kolektörü	5 m ²
Fan	
Şarj kontrol cihazı	30 A
Fan hız kontrol cihazı	
Akü	100 ah, 12 V
İnverter	1200 W, 24 V
AC led projektörler (Direnç, yük)	50 – 100 -100 W (kombinasyonları)
Veri kaydediciler	

Fotovoltaik (PV) ve fotovoltaik/termal (PV/T) sistemler tam güneşe bakacak şekilde 10° eğim açısı ile konumlandırılmıştır. Türkiye için yapılan çalışmalarda %25 e kadar çatı eğimi görülmektedir. Literatürde çatı ile ilgili yapılan çalışmalarda çatı eğimleri 10° ve 40°

arasında değişmektedir. Sistemde Türkiye'deki çatı eğimi simüle edilmiştir (Guirguisa vd. 2007, Alptekin vd. 2014). Tablo 2'de PV panellerin, Tablo 3'te havalı güneş kolektörünün teknik özellikleri yer almaktadır. Her iki sistemde de aynı özellikte PV panel kullanılmıştır. Veri kaydedicinin ve PV/T sistemde kullanılan fanın tükettiği enerji şebekeden sağlanmıştır.

Tablo 2. PV panel teknik özellikleri

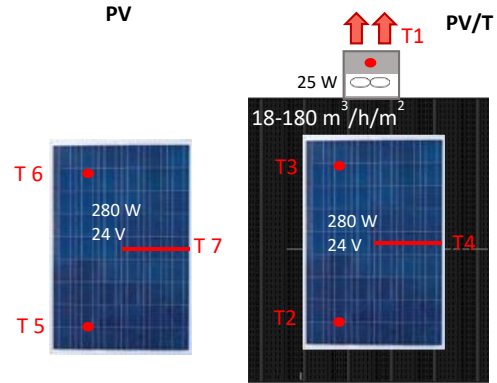
Özellik	Değer
Hücre Tipi	Polikristal
Hücre dizilişi	60 (60x1)
Boyutlar	1640x990x35 mm
Ağırlık	19 kg
Ön kaplama	3,2 mm temperli cam
Çerçeve malzemesi	Alaşımlı alüminyum
J-box	IP67
Kablo	4 mm ² (IEC)/12AWG(UL), 900 mm
Nominal Max. Güç	280 W
Optimum Çalışma Gerilimi	31,2 V
Optimum Çalışma Akımı	8,97 A
Açık Çevrim Gerilimi (Voc)	37,8 V
Kısa Çevrim Akımı (Isc)	9,50 A
Modül verimi	%19
Çalışma Sıcaklığı	-40°C~+85°C
Güç Toleransı	0 ~ 5 W

Tablo 3. Havalı güneş kolektörünün teknik özellikleri

Özellik	Değer
Kolektör emiciliği	0,92
Kolektör alanı	5 m ²
Kolektör oryantasyonu	0° azimut
Hava debisi max (1m ² 'deki)	180 m ³ /h /m ²

Meteoroloji istasyonu verileri, güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, dış ortam nem değeri verileri ölçümleri, PV sistem ve PV/T sistem enerji üretim değerleri eş zamanlı olarak ölçülüp, kayıt

edilmiştir. Sistemlere monte edilen sıcaklık sensörleri veri kaydedici cihazlara bağlanarak ölçülen değerler kaydedilerek depolanmıştır. 7 adet sıcaklık sensörlerinin sistemlere montajı yapılmıştır. Sıcaklık sensörleri veri kaydedici cihazlara bağlanarak ölçülen değerler kaydedilerek depolanmıştır. Şekil 5'te sıcaklık ölçüm noktaları görülmektedir. Tablo 4'te sıcaklık ölçüm noktaları açıklanmıştır. Ölçümlerde -100 °C ile 100 °C arasında, ± 0,5 hassasiyetle ölçüm yapan özel yapım J tipi termokupllar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm veriler dakikada bir yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Dakikalık veriler saatlik, günlük, aylık ve yıllık verilerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Tablo 5'te deneysel kurulumda kullanılan veri kaydedicilerin teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 5. Sıcaklık ölçüm noktaları

Tablo 4. Sıcaklık ölçüm noktaları

Ölçüm noktası	Açıklama
T1	PV/T, kolektör hava çıkış sıcaklığı
T2	PV/T, PV alt arka yüzey sıcaklığı
T3	PV/T, PV üst arka yüzey sıcaklığı
T4	PV/T, PV alt hava sıcaklığı
T5	PV, PV alt arka yüzey sıcaklığı
T6	PV, PV üst arka yüzey sıcaklığı
T7	PV, PV alt hava sıcaklığı

Tablo 5. Kullanılan sensörlerin ve veri kaydedicinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Graphtech GL240	
Kanal sayısı	10
Ölçüm	Voltaj, Sıcaklık, Nem
Maksimum örnekleme	10 ms/1 kanal
Ölçüm aralığı	

Gerilim	20, 50, 100, 200, 500 mV, 1, 2, 5, 10, 20, 50 V, and 1-5 V /F.S.
Sıcaklık	Termokupl: K, J, E, T, R, S, B, N, W (WRe5-26)
Nem	0...100%
Ölçüm doğruluğu	
Gerilim	0.1 % of F.S.
Sıcaklık	± 1.7 °C (J tipi) -100 °C < T ≤ 100 °C için
Solar DL Veri kaydedici	
Akü girişi	9-65V DC – 150A
Panel girişi	0-150V DC – 60A
Örnekleme süresi	50 ms
Kayıt sıklığı	1 s
Doğruluk	%98
Ölçüm	Akım, Gerilim, Sıcaklık

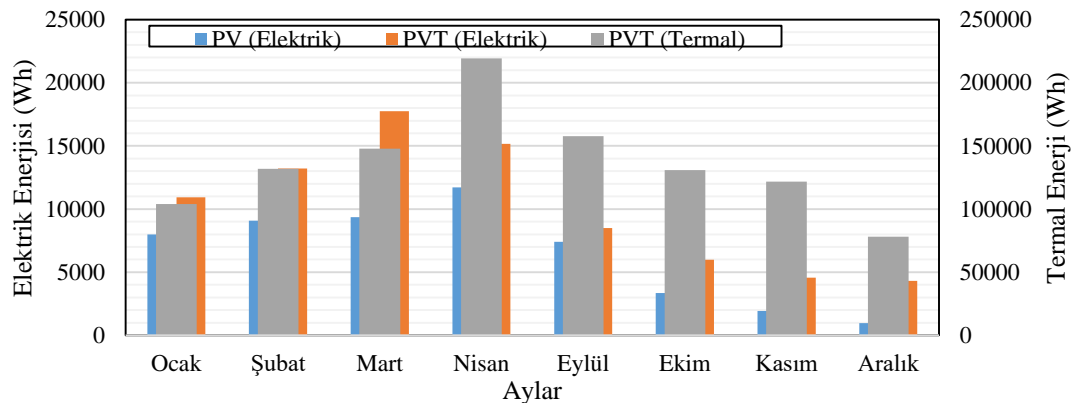
3.2. Bulgular ve tartışma

Fotovoltaik sistem ve Fotovoltaik / Termal sistem enerji üretim değerleri eş zamanlı olarak ölçülüp, kaydedildi. Sistemler eş zamanlı olarak devrede olduğu eşit iklim ve işletme koşullarında ölçülen verilerden faydalanılarak, PV ve PV/T sistemler için enerji üretimi, güç profilleri ve sistem performansları belirlendi ve performansları kıyaslandı. Tablo 6'da 2021 yılı yaz dönemi dışındaki aylar için PV ve PV/T sistemlerinin elektrik ve PV/T sisteminin termal enerji üretimleri yer almaktadır. Aralık ayı için enerji üretim değerlerinin diğer aylara kıyasla düşük olmasının sebebi, sistem arızalarından dolayı bazı günlerde ölçüm

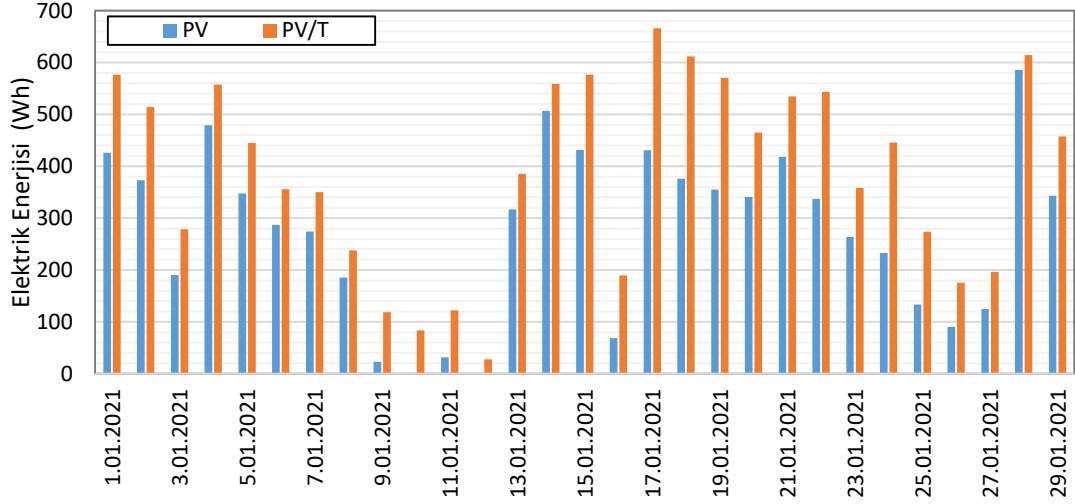
yapılamamasıdır. PV ve PV/T 2021 yılı için Şekil 7'de şubat ayı, Şekil 8'de kasım ayı ve Şekil 9 ve Şekil 10'da 4 Kasım 2021 tarihindeki PV ve PV/T sistemlerinin akım, gerilim ve üretilen güç değerleri görülmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12'de 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T ve PV sistemlerindeki panel sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı yer almaktadır. Şekil 13'te 4 Kasım 2021 tarihinde ölçülen değerlere göre iki PV panel arasında maksimum 10°C sıcaklık farkı olduğu görülmektedir. Diyagramdan görüldüğü gibi gün içerisinde sıcaklık farkı değişmektedir. Şekil 14'te Kasım 2021 ayı ölçümleri dikkate alındı ise iki panel arasındaki sıcaklık farkının 14,5°C'ye ulaştığı görülmektedir.

Tablo 6. PV ve PV/T sistemlerinin enerji üretimleri

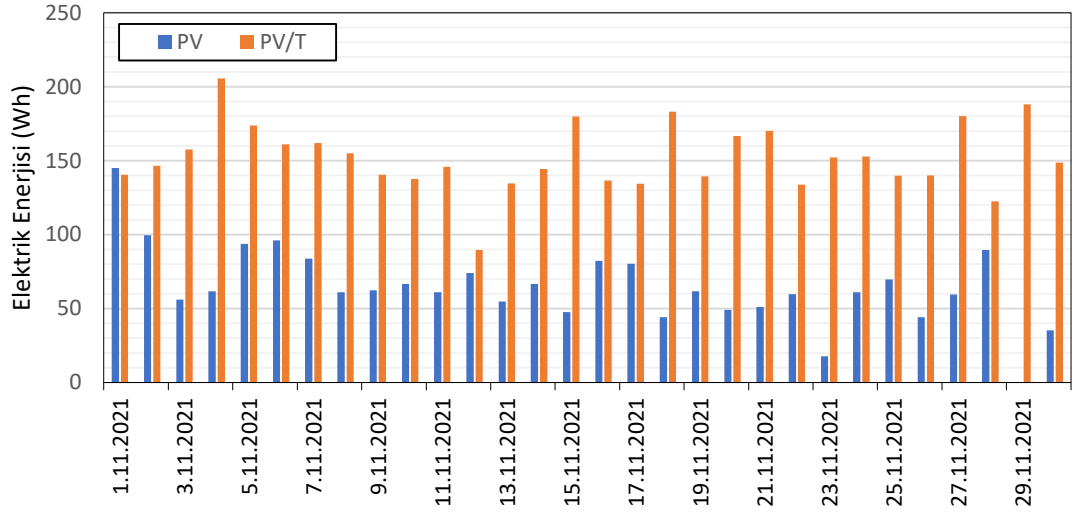
Aylar (2021)	Elektrik Üretimi (Wh)		Termal Enerji Üretimi (Wh)
	PV	PV/T	PV/T
Ocak	7976	10929	104030
Şubat	9084	13207	131926
Mart	9349	17760	147832
Nisan	11702	15171	219423
Eylül	7406	8493	157650
Ekim	3338	5983	130929
Kasım	1935	4562	121650
Aralık	955	4317	78081
Toplam	51745	80422	1091521



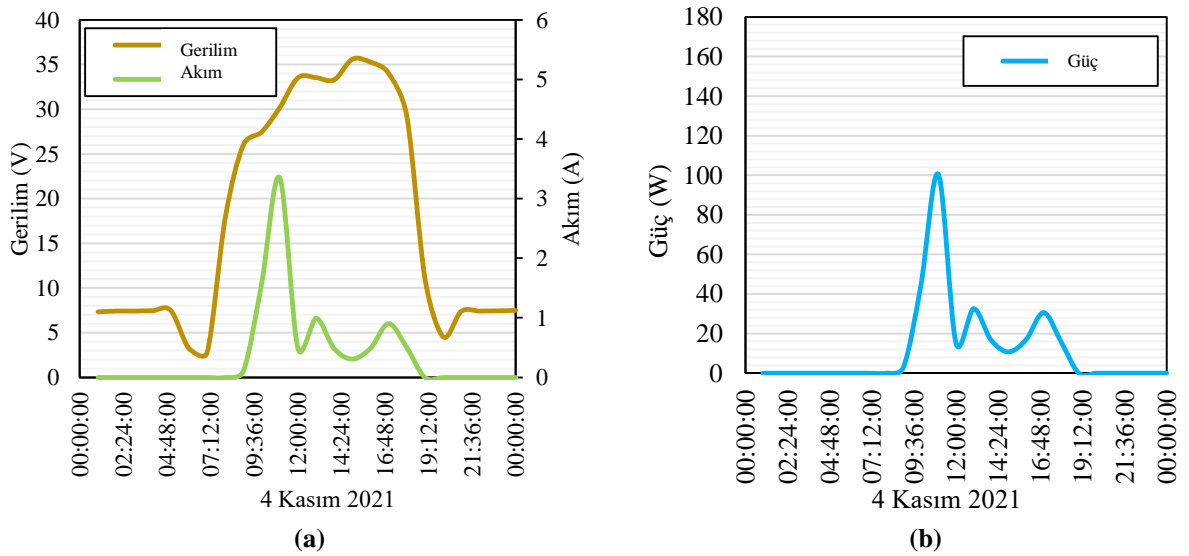
Şekil 6. 2021 yılı yaz dönemi dışındaki aylar için PV ve PV/T sistemlerinin elektrik ve PV/T sisteminin termal enerji üretimleri



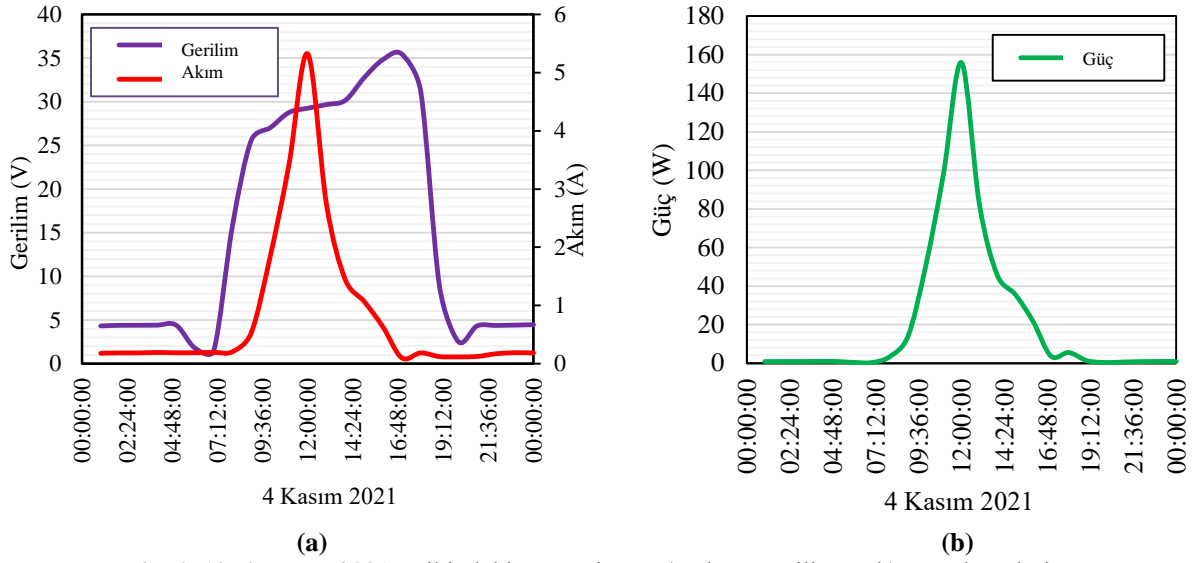
Şekil 7. PV ve PV/T 2021 yılı ocak ayı günlük bazda enerji üretimleri



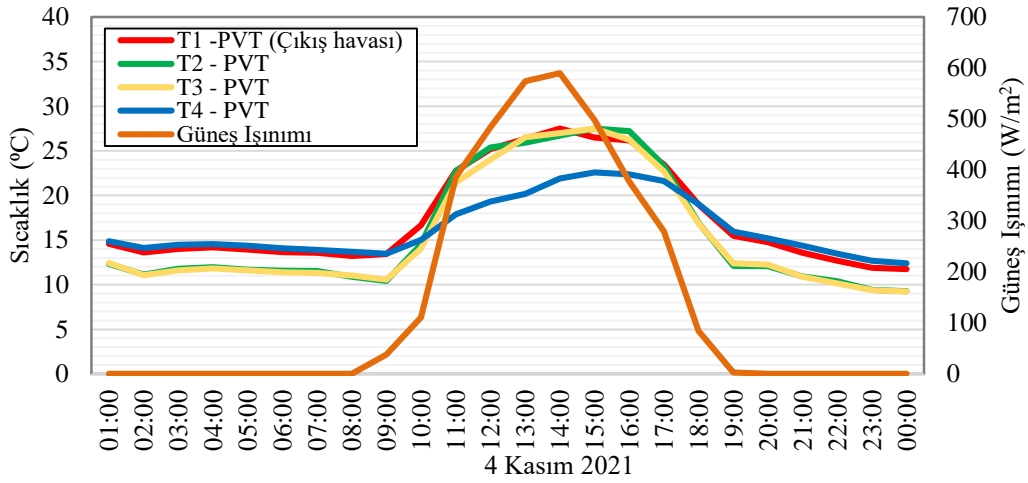
Şekil 8. PV ve PV/T 2021 yılı kasım ayı günlük bazda enerji üretimleri



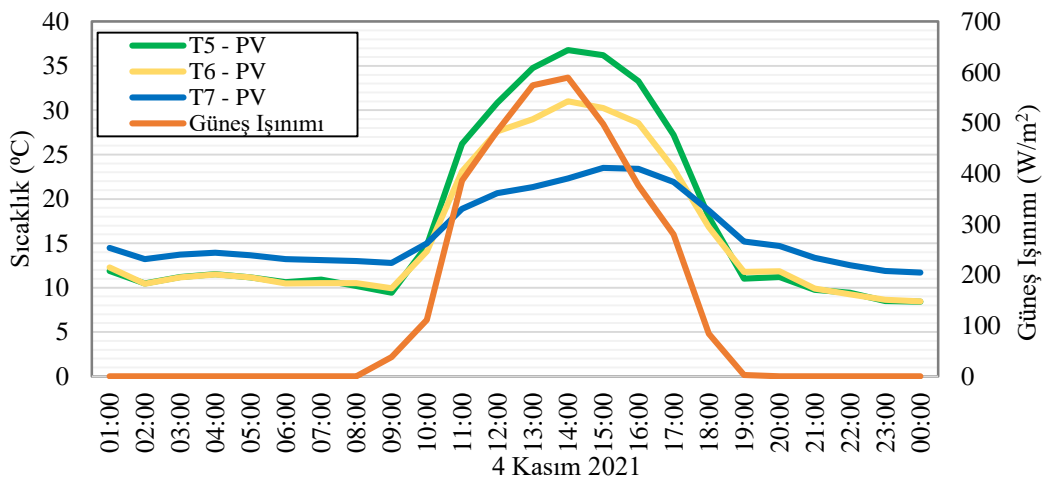
Şekil 9. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV sistem a) Akım, gerilim ve b) Güç değerleri



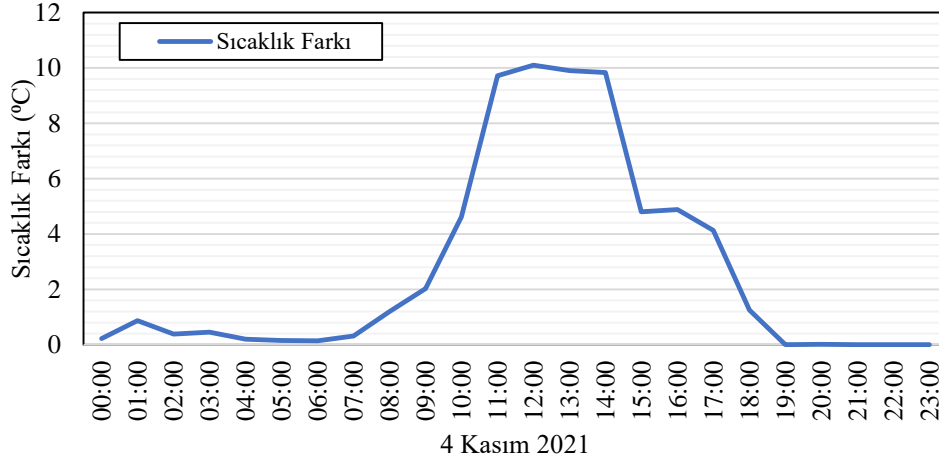
Şekil 10. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem a) Akım, gerilim ve b) Güç değerleri



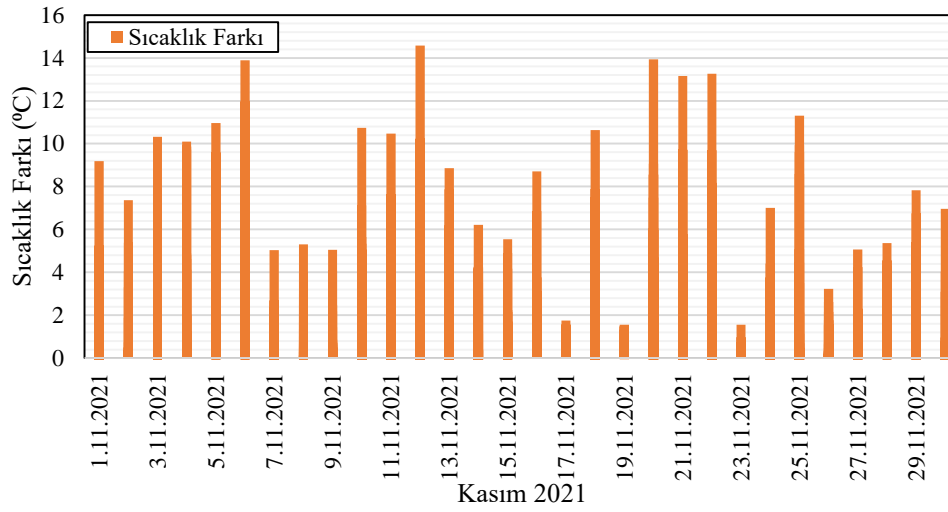
Şekil 11. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı



Şekil 12. 4 Kasım 2021 tarihindeki PV/T sistem sıcaklık değerleri ve güneş ışınımı



Şekil 13. 4 Kasım 2021 tarihinde gün boyunca PV ve PV/T sistem panel sıcaklıkları farkı

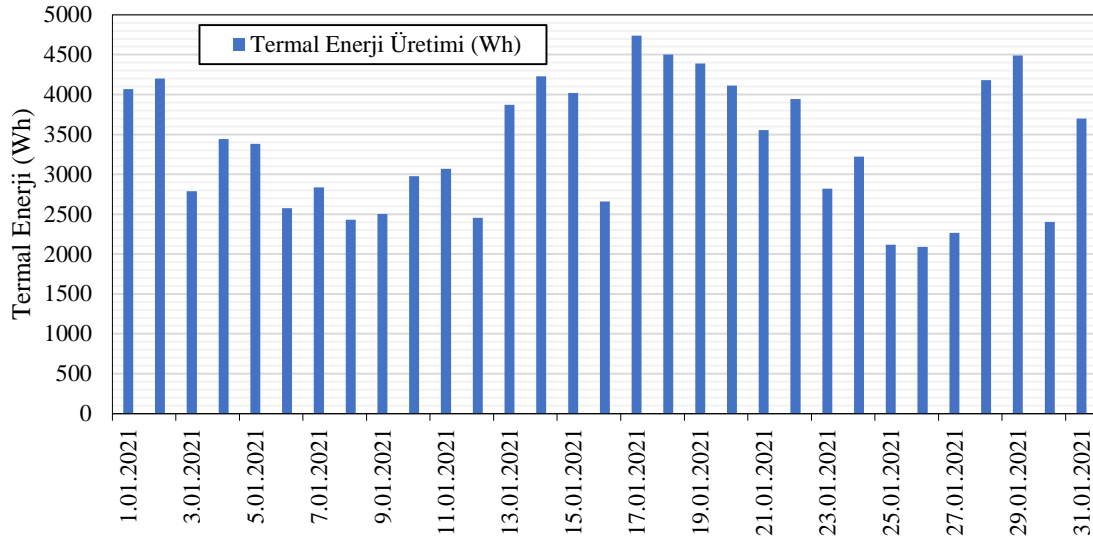


Şekil 14. Kasım 2021 ayı boyunca PV ve PV/T sistem panel sıcaklıkları farkı

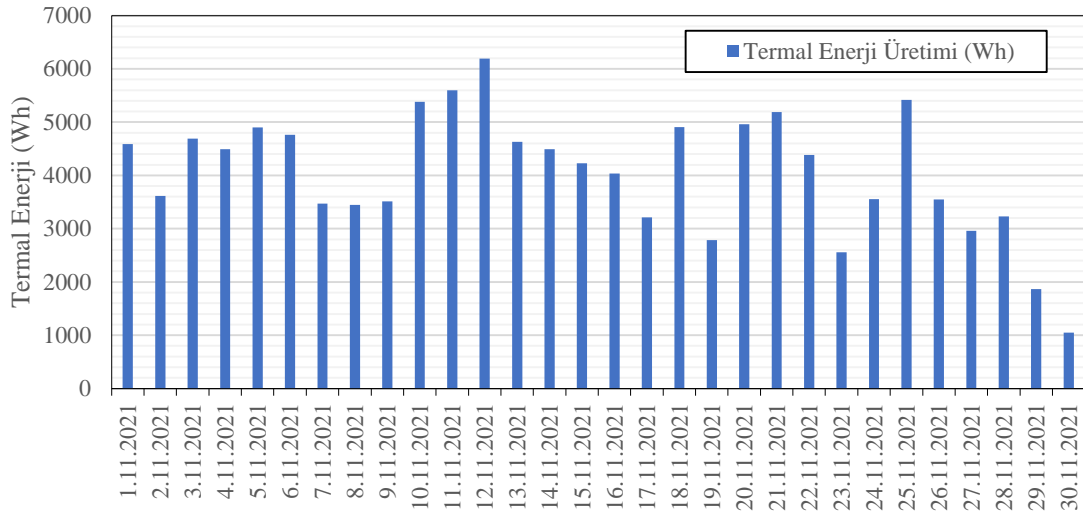
Hibrit sistemin elektrik üretim performansları incelendiğinde, beklenildiği üzere PV/T sistemi PV sistemine göre yıllık bazda %55 oranında daha fazla elektrik üretimi yaptığı görülmektedir. Bu değer literatürde elde edilen değerlerle uyum içerisindedir. Soğutma etkisi iki yönde gerçekleşmektedir, soğutma yapılan panelin ürettiği güç belirgin olarak artarken, her saat diliminde gerçekleşen enerji üretimi de artmaktadır.

Sistemin termal performansı Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Yaz dönemi dışında PV/T sistem termal

kolektörünün ürettiği ısı enerjisi 1.091.521 Wh değerindedir. Bu çalışmada çatı tipi uygulaması yapıldığı için eğim 10 derecedir ve kış aylarında yüksek miktarda ısı toplanmasına engel teşkil etmektedir. Eğim açısının 60-90 derece arasında olması halinde, örneğin bir duvar uygulaması, bu durumda kolektörün sağlayacağı termal enerji 2-3 misli artacaktır (Eryener ve Akhan, 2015). Bununla birlikte elde edilen sonuç iyi olarak kabul edilebilecek seviyededir.



Şekil 15. 2021 yılı ocak ayı günlük bazda termal enerji üretimleri

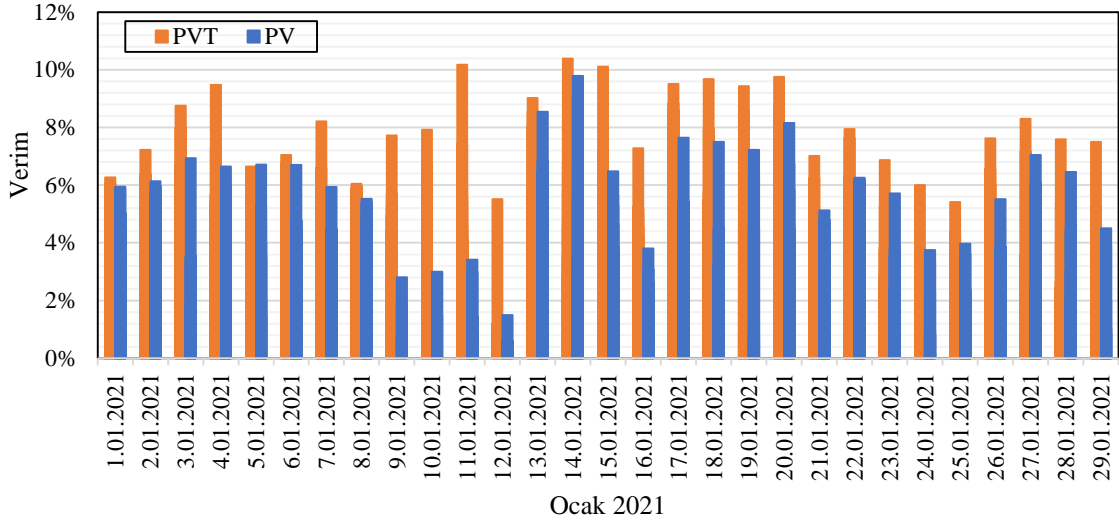


Şekil 16. 2021 yılı kasım ayı günlük bazda termal enerji üretimleri

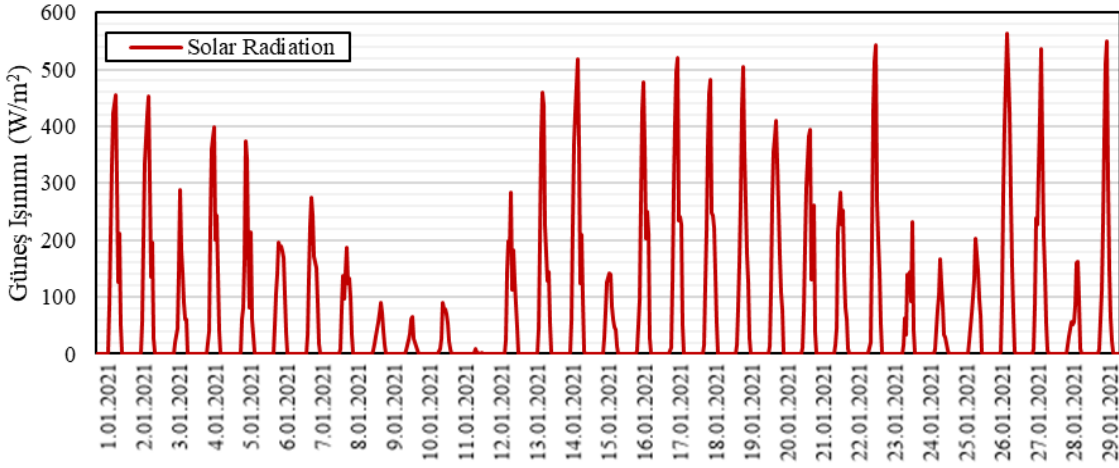
Soğutmada çok önemli bir husus, kullanılan fan debisinin etkisidir. Normal olarak debi arttıkça soğutma etkinliği artmaktadır, ancak deneyler sırasında bu etki incelenmemiştir, sabit bir debi üzerinden sistem çalıştırılmıştır çünkü sistemde çok sayıda parametre vardır ve bunların etkin incelenmesi için bazı temel fonksiyonlar sabit tutulmuştur. İlerleyen zamanlarda

farklı debiler için soğutma etkinliğinin değişimi incelenecektir.

Şekil 17 a ve b'de 2021 Ocak ayı için PV ve PV/T sistemlerinin verimleri ve güneş ışıınıma değerleri yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 17. 2021 Ocak ayı için a) PV ve PVT sistemlerinin verimleri, b) Güneş ışınımı

5. Sonuç

Çalışma kapsamında yapılan analizlerde Edirne ilinde küçük ölçekli üretim uygulamalarında elektrik üretimi PV/T için 80.422 kWh, PV için 51.745 kWh olarak belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak PV/T sistem ile 1.091.521 kWh termal enerji üretimi sağlanmıştır. Analiz sonuçlarına dayanarak Edirne ve benzer iklim koşullarında konumlanan binaların elektrik ihtiyacını karşılamak için PV/T sistemlerin daha uygun olduğu görülmektedir. 2021 yılı PV/T sistemi elektrik üretimi %55 oranında daha fazla gerçekleşmiştir. İşletme koşulları, yani tüketim noktasındaki süreklilik burada da belirleyici bir rol oynamaktadır. PV/T sisteminde yer alan güneşle hava ısıtma sistemi normalde ayrı bir sistemdir ve pahalıdır. PV/T sistemi normal PV

sistemine göre daha fazla elektrik üretir ancak sadece elektrik üretimi için PV soğutmasının yapılması toplam sistem maliyetinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Dolayısıyla aynı bina da ısı ihtiyacının olması durumunda PV/T sistemi anlamlı hale gelmektedir. PV/T sistemi verimli çalışmaktadır. Ancak sistemin uygulanması ısı ihtiyacı olması halinde daha maliyet etkin olacaktır. Özellikle günümüzde mekanlarda temiz hava kullanımının önemi tam olarak anlaşılmıştır. Burada kullanılan termal kolektör sıcak hava üretme özelliğine sahiptir, dolayısıyla hem mekanik havalandırma hem de ısıtma olarak sistemin kullanıldığı yerde çifte fayda sağlayabilir, bu açıdan yapılabilirliği yüksek olan bir sistemdir. Ancak termal ihtiyacın olmadığı durumda, soğutma sayesinde

elektrik üretiminde sağlanan ilave verimlilik artışı ile sağlanan faydanın ekonomik geri dönüşü, maliyetler nedeniyle uzun olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP) tarafından finanse edilmiştir (Proje No: 2020/31).

Kaynaklar

AEO. Annual Energy Outlook 2018 with projections to 2050. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2018.pdf>.

Alptekin, G.A., Bostancıoğlu E., Kasapoğlu E. (2014). İklim bölgelerine bağlı olarak çatı eğimlerinin değerlendirilmesi. 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Avezov, R.R., Akhatov, J.S., Avezova, N.R. (2011). A review on photovoltaic-thermal (PV-T) air and water collectors. *Appl Sol Energy*, 47,169–83.

Balakumar, P., Vinopraba, T., Sankar, S., Santhoshkumar, S. ve Chandrasekaran K. (2022). Smart Hybrid Microgrid for Effective Distributed Renewable Energy Sharing of PV Prosumers. *Journal of Energy Storage*, 49(104033), 1-21.

Bhattarai, S., et al. (2013). Comparative study of photovoltaic and thermal solar systems with different storage capacities: performance evaluation and economic analysis. *Energy*, 61, 272-82.

Clean Energy Project Analysis Third Edition, Minister of Natural Resources Canada 2001 - 2005

Çiftçi, E., Khanlari, A., Sözen, A., Aytaç, İ. ve Tuncer, A., (2021). *Renewable Energy*, 180, 410-423.

Dag HI, Kocar G.(2020). Experimental investigation on performance parameters affecting the efficiency

of water type PV/thermal collectors with modified absorber configurations. *J Polytech.*, 0900, 915–31. <https://doi.org/10.2339/politeknik.724033>.

Eryener, D., Akhan, H. (2015). The performance of first transpired solar collector installation in Turkey. 4th International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC) 2015. 91, 442-449.

Fterich, M., Chouikhi, H., Bentaher, H., Maalej, A. (2018). Experimental parametric study of a mixed-mode forced convection solar dryer equipped with a PV/T air collector. *Sol Energy*, 171, 751–60.

Guirguisa, N.M., Abd El-Aziz, A.A., Nassief, M.M. (2007). Study of wind effects on different buildings of pitched roofs. *Desalination*, 209(1–3), 190-198

Hegazy, A.A. (2000). Comparative study of the performances of four photovoltaic/ thermal solar air collectors. *Energy Convers Manage.*, 41(8),861–81.

Jie, J., et al. (2006). Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system. *Energy Build.*, 38(12),1380-7.

Mortezapour, H., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S. (2012). Performance analysis of a two-way hybrid photovoltaic/thermal solar collector. *J Agric Sci Technol*, 14, 767–80.

Pattabiraman, R. (1981). Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/thermal, flat-plate collector performance. *J Sol Energy Eng.*, 103(4), 291-8.

Rajoria, C.S., Agrawal, S., Chandra, S., Tiwari, G.N., Chauhan, D.S. (2016). A Novel investigation of building integrated photovoltaic thermal (BiPV/T) system: a comparative study. *Sol Energy*, 131, 107–18.

- Ruobing, L., et al. (2015). Performance evaluation of new type hybrid photovoltaic/ thermal solar collector by experimental study. *Appl Therm Eng.*, 75, 487-92.
- Slimani, M.E.A., Amirat, M., Kurucz, I., Bahria, S., Hamidat, A., Chaouch, W.B. (2017). A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions. *Energy Convers Manag.*, 133, 458–76.
- Sukamongkol, Y. (2010). Chungpaibulpatana S, Limmeechokchai B, Sripadungtham P. Condenser heat recovery with a PV/T air heating collector to regenerate desiccant for reducing energy use of an air conditioning room. *Energy Build*, 42, 315–25.
- Thrace Development Agency, (2012). TR21 Thrace Region Energy Report. 466 https://www.trakyaka.org.tr/upload/Node/33092/xfiles/enerji_raporu.pdf.
- Tiwari, A., Sodha, M.S., Chandra, A., et al. (2006). Performance evaluation of photovoltaic/ thermal solar air collector for composite climate of India. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 90(2), 175–89.
- Tiwari, A., Sodha, M.S. (2007). Parametric study of various configurations of hybrid PV/ thermal air collector: experimental validation of theoretical model. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 91, 17–28.
- Tiwari, S., Tiwari, G.N. (2017). Energy and exergy analysis of a mixed-mode greenhouse type solar dryer, integrated with partially covered N-PV/T air collector. *Energy*, 128, 183–95.