

# FOTOVOLTAİK DESTEKLİ İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN DENEYSEL VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI İLE İNCELENMESİ

Hüseyin Günhan ÖZCAN\*<sup>1</sup>, Hüseyin GÜNERHAN<sup>2</sup>, Nurdan YILDIRIM<sup>3</sup>, Arif  
HEPBAŞLI<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup>Arş. Gör., Yaşar Üni. Müh. Fak. Ener. Sis. Müh. Böl., 35100 İzmir  
Misafir Araştırmacı, Porto Uni. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., 4200-465 Porto

e-posta: [huseyin.ozcan@yasar.edu.tr](mailto:huseyin.ozcan@yasar.edu.tr);

<sup>2</sup>Prof. Dr., Ege Üni. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., 35040 İzmir

e-posta: [huseyingunerhan@gmail.com](mailto:huseyingunerhan@gmail.com)

<sup>3</sup>Doç. Dr., Yaşar Üni. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., 35100 İzmir

e-posta: [nurdan.yildirim@yasar.edu.tr](mailto:nurdan.yildirim@yasar.edu.tr)

<sup>4</sup>Prof. Dr., Yaşar Üni. Müh. Fak. Ener. Sis. Müh. Böl., 35100 İzmir

e-posta: [arif.hepbasli@yasar.edu.tr](mailto:arif.hepbasli@yasar.edu.tr)

# FOTOVOLTAİK DESTEKLİ İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN DENEYSEL VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI İLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada fotovoltaik (FV) destekli bir iklimlendirme sisteminin enerji etkileşimi deneysel ve simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Sistem, Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü binasının çatısına kurulmuş olup, Ağustos 2015'den beri başarılı olarak işletilmektedir. Toplam 10 adet FV panelin yer aldığı sistemde yer verilen split klimanın ısıtma ve soğutma kapasite değerleri, sırasıyla, 2,84 kW ve 2,52 kW olarak bilinmektedir. Üretim ve tüketim değerlerini belirlemek için TRNSYS 18 simülasyon yazılım paketi kullanılmış ve doğrulama amaçları için bazı simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Ağustos 2019 gerçek işletme verisine dayalı olarak, FV paneller ile iklimlendirme cihazının ihtiyacı olanın fazlasının üretildiği sonucuna varılmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmaların birbiriyle de iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaikler, İklimlendirme Cihazı, TRNSYS, Yenilenebilir Enerji

## ABSTRACT

An energy interactions of a photovoltaic (PV)-assisted air conditioning system was investigated based on experimental and simulated studies. The system was mounted on the roof at the Department of Mechanical Engineering, Ege University and has been successfully operated since July 2015. The heating and cooling capacities of the split type air conditioner unit were 2.84 kW and 2.52 kW, respectively while there was a total of 10 PV panels utilized in the system. The simulation software package TRNSYS 18 was used to determine energy production and consumption values. Some experimental studies were also carried out for the validation purposes. Based on the actual operational data of August 2019, it was concluded that the PV panels exceedingly generated the energy need of the air conditioner. The simulation and experimental studies were also found to be in a good agreement with each other.

**Keywords:** Photovoltaics, Air Conditioner, TRNSYS, Renewable Energy

## 1. GİRİŞ

Enerji ve iklim değişikliği küresel problemlerin en önemlileri arasındadır. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerji talebi sürekli artmaktadır. Toplam küresel emisyonların %40 kadarı ve küresel enerji tüketiminin %36 kadarı binalar ve bina yapı sektöründen kaynaklanmaktadır [1]. Uluslararası Enerji Ajansı'na (International Energy Agency, IEA) göre, küresel ısınmanın 2°C değerinin altında olmasını sağlamak için 2050 yılına kadar inşaat sektöründe karbondioksit emisyonlarının %77 oranında azaltılması gerekmektedir. Günümüzde, binalardaki küresel enerji tüketiminin yaklaşık %60 kadarı mahal ısıtma, soğutma ve evsel sıcak su ısıtma sistemlerinden kaynaklanmaktadır [2]. Başka bir IEA raporunda, Orta Doğu'da konut klimalarının sayısının 2050 yılında 47 milyon üniteden 210 milyon adede çıkacağını, bu nedenle özellikle aşırı sıcak günlerde, alan soğutma sistemlerinin konutların pik enerji talebinin %70 kadarlık kısmına neden olabileceğini belirtiyor [3]. Yani, mahal soğutması büyük önem taşımaktadır ve enerji tüketimini ve küresel emisyonları

azaltmak için öncelikle odaklanması gereken sistemlerin başında soğutma sistemleri gelmelidir. Özellikle çevresel etkileri göz önünde bulundurarak, mahal soğutması için yenilenebilir enerji kaynaklarına başvurmamız gerekir. Güneş enerjisi, mahal soğutması için kullanılacak yenilenebilir enerji alternatiflerinden biridir. Güneş enerjisi oldukça yüksek enerji miktarına sahiptir ve dünyaya sadece %0,025 kadarı ulaşmaktadır. Bu hayli düşük miktar bile %10 verimlilikle elektrik üretiminde kullanılsa, yıllık dünya enerji tüketimini neredeyse karşılayabilir duruma gelecektir [4].

Enerji üretimi tarafında ise güneş enerjisinin de içinde bulunduğu yenilenebilir enerji son yıllarda elektrik üretimi alanında verimlilik (teknolojik gelişme), maliyet (fosil yakıtlar) ve çevre (küresel ısınma, Paris Anlaşması, düşük karbon) konularını barındıran popüler bir konu haline gelmiştir. Son yıllarda yatırımların en büyük oranlarda gerçekleştiği FV elektrik üretiminin değerlendirilmesi; meteorolojik koşullar, coğrafi konum, sistem seçimi ve kurulum faktörleri nedeniyle standart test koşullarından farklılık göstermektedir [5].

FV panellerin ömrü yaklaşık 25-30 yıl olduğundan, elektrik üretiminin belirlenmesinin yanı sıra, yaşam döngüsü analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çerçevede, Rajput ve ark. 30 yıl boyunca 3,2 kW kapasiteli FV panellerin saha performansına dayalı analizleri gerçekleştirmiştir. Çalışmada, enerji geri ödeme süresi 3,6 yıl olarak belirlenmiştir. Elektriğin birim maliyeti %5 faiz oranı altında 0,13 Avro/kWh olarak hesaplanmıştır [6]. Ellabban ve Alassi ise, Avustralya için hem üretim hem de tüketim yönleriyle ilgili konut şebekesine bağlı FV sistemleri için entegre bir ekonomik model önermiştir. Elektrik perakende tarifelerinin, güneş ışınlarının ve başlangıç maliyetinin analiz üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve geri ödeme süresinin 7,6 ile 10,7 yıl arasında değiştiğini bulmuşlardır [7].

Bu çalışmada ise FV destekli bir iklimlendirme sistemi deneysel olarak araştırılmış ve deney sonuçları TRNSYS 18 simülasyon çalışmaları yardımıyla elde edilen bulgular ile karşılaştırılmıştır.

## 2. SİSTEM TANITIMI

Bu çalışmada incelenen şebeke bağlantılı, çatı tipi fotovoltaik (FV) destekli klima sistemi Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde (38,45° E; 27,22° B) kurulmuş olup Temmuz 2015 den bu yana aktif bir şekilde çalışmaktadır. Şekil 1 ile gösterildiği gibi FV paneller ile klimaya ait dış ünite bina çatısında, çevirci ile klimaya ait iç ünite ise fakültenin üçüncü katında yer alan proje odasında yer almaktadır.



Şekil 1. FV destekli klima sistemi

Yukarıda şekilde verilen sistemin enerji üretimi tarafında yer verilen FV panel grubu 9 adet çoklu kristalin [8] ve bir adet tekli kristalin [9] panelin birbirine seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Her bir panel 255 Wp gücünde olup, 37° eğim açısı ve 30° yüzey azimut açısı ile yerleştirilmiştir. Sistem tasarımı kapsamında 10 adet FV panelin kullanılmasındaki

ana sebep 3 kW nominal güce sahip çeviricinin [10] maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamaktır. Aşağıda Tablo 1 ile FV panellere, Tablo 2 ile ise çeviriciye ait ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

**Tablo 1. FV panellere ait teknik özellikler [8,9]**

Özellik	Birim	Çoklu kristalin	Tekli kristalin
Panel sayısı	-	9	1
$P_{max,STC}; P_{max,NOCT}$	W	255/186	255/188
$V_{mpp,STC}; V_{mpp,NOCT}$	V	30/27,4	30,7/28,1
$I_{mpp,STC}; I_{mpp,NOCT}$	A	8,49/6,79	8,3/6,68
$V_{oc,STC}; V_{oc,NOCT}$	V	37,7/34,8	38/35
$I_{sc,STC}; I_{sc,NOCT}$	A	9,01/7,28	8,82/7,12
$\eta_{STC}$	%	15,6	15,7
$\gamma_{Pmax}, \beta_{Voc}, \alpha_{Isc}$	%/°C	-0,42/-0,32/0,05	-0,42/-0,30/0,03

**Tablo 2. Çeviriciye ait teknik özellikler [10]**

Özellik	Birim	Hibrit FV
$V_{FV,max}$	V	500
$V_{FV,mpp}$	V	250-450
$\eta_{DC-AC}$	%	92
$P_{max,AC}$	kW	3

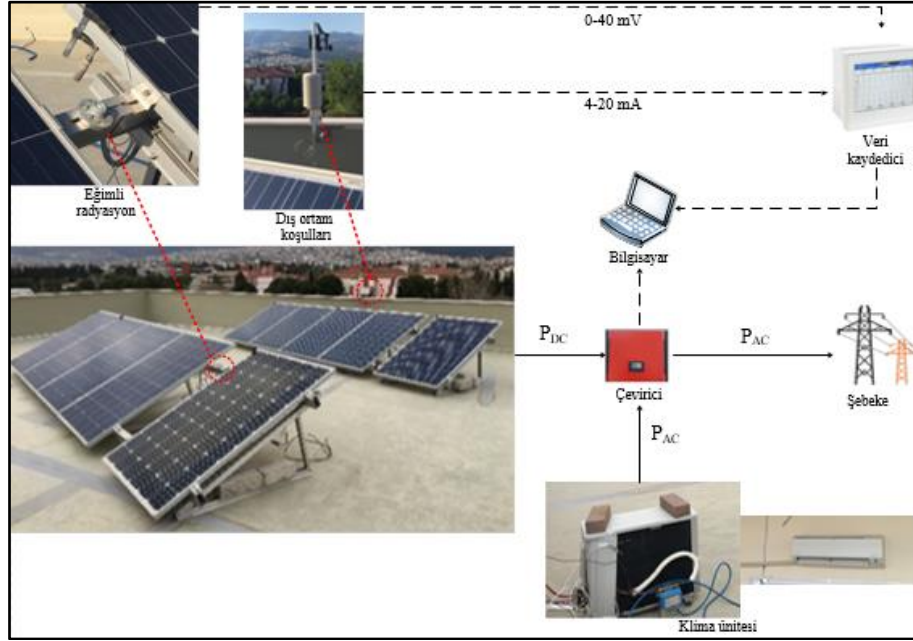
Şekil 1 ile verilen sistemin enerji tüketimi tarafında yer alan split tip klimaya ait ısıtma ve soğutma modundaki nominal kapasite ve yıllık enerji tüketimi değerleri ise sırasıyla 2,84 kW, 2,52 kW ve 740 kWh, 167 kWh olarak belirlenmiştir [11].

### 3. MATERYAL VE METOT

Bölüm 2 ile enerji üretimi ve tüketiminde yer alan bileşenlere ait ayrıntılı bilgilerin verilmiş olduğu şebeke bağlantılı çatı tipi fotovoltaik destekli klima sistemine ait enerji analizleri gerçek zamanlı deneysel çalışmalar ve TRNSYS 18 simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır [12]. Aşağıda her iki metoda ve bu metotların uygulanması kapsamında kullanılan materyallere ait ayrıntılar yer almaktadır.

#### 3.1. Deneysel çalışmalar

Şebeke bağlantılı çatı tipi fotovoltaik destekli klima sistemine ait enerji üretimi ve tüketimi değerleri ile bu değerlerin ortaya çıkmasında etkili olan eğimli radyasyon ( $SI_T$ ), hava sıcaklığı ( $T_a$ ) ve bağıl nemi ( $RH_a$ ) ile rüzgar hızı ve yönünden meydana gelen dış hava koşulları 12 Ağustos 2019 saat 00:00 ile 18 Ağustos 2019 saat 23:59 tarihleri arasında bir dakika aralıklı veri grubunu temel alarak ölçülmüş, depolanmış ve analiz edilmiştir. Bu esnada kullanılan materyaller ise aşağıda Şekil 2 ile verilmiştir.

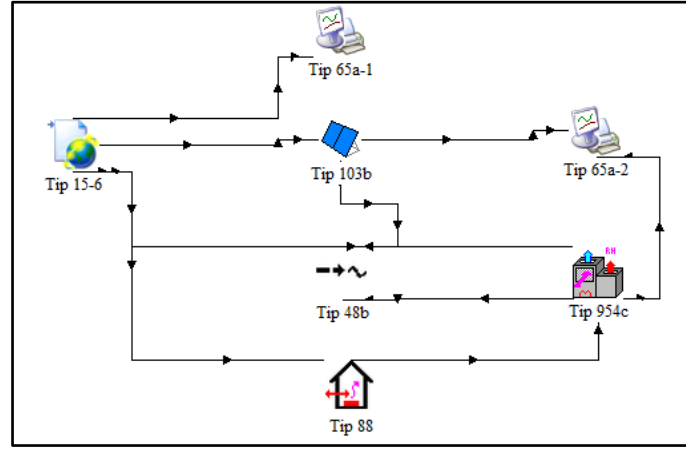


Şekil 2. Deneysel çalışma prosesi

Yukarıda verilen şekilden görüleceği üzere dış hava koşullarının ölçülmesi sırasında deneysel çalışma prosesinde kullanılan cihazlarda yer alan vericiler gerilim ve akım cinsinden sinyaller üreterek veri kaydediciye göndermektedir. Ardından veri kaydedici de depolanan bu veri grubu veri kaydediciye ait yazılım programının kullanılmasıyla istenilen periyot ve aralıkta analiz edilebilmektedir. FV panel grubu tarafından üretilen ve klima tarafından tüketilen anlık güç değerlerinin analizi ise doğrudan veri kaydedici olarak görev yapan çevirici ve çevirici tarafından sunulan yazılım programı ile gerçekleştirilmektedir.

### 3.2 TRNSYS 18 simülasyon çalışmaları

Mühendislikte yer alan birçok sektörde kullanıcı dostu ara yüze sahip, zaman açısından avantaj sağlayan ve görsel çıktı sunma kabiliyeti yüksek olan simülasyon programları özellikle son yıllarda mühendisler, akademisyenler, tasarımcılar, yatırımcılar, vb. tarafından sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında varlığını kırk yılı aşkın süredir kabul ettiren ve hali hazırda birçok bileşen modeli sunan TRNSYS yazılım programı, çatı tipi fotovoltaik destekli klima sistemine ait modelleme ve zamana bağlı simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi kapsamında kullanılmıştır. Program aracılığıyla gerçekleştirilen çalışmalar sırasında simülasyon stüdyosunda aşağıda Şekil 3 ile gösterildiği gibi sırasıyla iklim veri işleme (tip 15-6), FV dizisi (tip 103b), çevirici (tip 48b), normalize edilmiş kapasiteye sahip hava kaynaklı ısı pompası (tip 954c) ve iç yükleri içeren yığılmış kapasitans bina modeli (tip 88) kullanılmıştır. Şekilde yer alan tip 65a ile gösterilen bileşen ise çevrimiçi çizici olup, simülasyonların gerçekleştirilmesi sırasında eş zamanlı olarak grafik oluşturabilmekte ve aynı zamanda ilgili veri grubunu kullanıcı tanımlı bir sonuç dosyasına kayıt edebilmektedir. İlgili bileşenden iki adet kullanılmasının sebebi ise dış ortam koşulları ile ve sistemin enerji üretimi ve tüketimi değerlerini ayrı ayrı incelemektir.



Şekil 3. Sisteme ait TRNSYS modeli

Yukarıda sisteme ait TRNSYS modelinin çalıştırılması kapsamında ise uygulanan temel adımlar şu şekildedir;

- i. Öncelikle sistem bileşenlerine karşılık gelen tipler seçilir ve her bir tipe ait proforma açılarak parametre kısmına modellenen bileşene ait teknik bilgiler girilir. Örneğin, tip 103b için  $I_{sc,STC}$ ,  $V_{oc,STC}$ ,  $T_{ref}$ ,  $SI_{ref}$ ,  $V_{mpp,STC}$ ,  $I_{mpp,STC}$ ,  $\beta_{Voc}$ ,  $\alpha_{Isc}$ , NOCT, toplam hücre sayısı, panel alanı ve seri/paralel bağlı panel adetleri veri grubunun tümü tanımlanmalıdır.
- ii. Ardından sistem bileşenlerine ait proformadan giriş ve çıkış parametreleri kontrol edilerek sistem bileşenleri arasındaki bağlantılar gerçekleştirilir. Örneğin, tip 88 çıkış parametreleri olan iç ortam sıcaklık ve bağıl nemi, tip 954c giriş parametreleri olan dönüş hava sıcaklığı ve bağıl nemine bağlanmalıdır.
- iii. Bunun sonrasında ise bileşenlere ait proformadan dış kaynak dosyası kullanıp/kullanmadığı kontrol edilerek tip 15-6 bileşeninde olduğu gibi İzmir için meteorolojik veri dosyası "C:\TRNSYS18\Weather\US-TMY2\TR-Izmir-Cigli-Airp-172180.tm2" seçilir.
- iv. Tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesinin ardından ayarlar kısmından simülasyona ait başlangıç ve bitiş tarihleri ile zaman adımı girilmelidir. Örneğin, bu çalışma kapsamında 12 Ağustos 2019 saat 00:00 ile 18 Ağustos 2019 saat 23:59 tarihleri için 1 saatlik zaman adımı seçilmiştir.
- v. Son olarak simülasyon çalıştırılır ve tip 65a kullanımı sayesinde eş zamanlı olarak istenilen grafikler ve veri grubu dosyaları elde edilir.

Son olarak gerek deneysel çalışmalar gerekse TRNSYS programı ile gerçekleştirilen simülasyonlar kapsamında elde edilen güç veri grubunun enerji veri grubuna dönüştürülmesi ve PR (performans katsayısı) ile CR (karşılama oranı) performans parametrelerinin belirlenmesi sırasında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir [13].

$$E_{AC,FV} = \tau \cdot \sum P_{AC,FV}, E_{DC,FV} = \tau \cdot \sum P_{DC,FV}, E_{AC,FV} = 0,92 E_{DC,FV} \quad (1)$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_{ref}} \cdot 100, Y_f = \frac{E_{AC,FV}}{P_{STC}}, Y_{ref} = \frac{\tau \cdot \sum SI_T}{SI_{STC}} \quad (2)$$

$$CR = E_{DC,FV} / E_{AC,SK} \quad (3)$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tüm yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerin değerlendirilmesinde olduğu gibi şebeke bağlantılı çatı tipi fotovoltaik destekli klima sistemine ait bulguların elde edilmesi kapsamında öncelikli olarak iklim koşulları incelenmiştir. Tablo 3 ile görüleceği üzere, ilgili değerler bir hafta boyunca her iki metod vasıtasıyla günlük ve haftalık ortalama olarak elde edilmiştir.

**Tablo 3. Sahaya ait iklim koşulları**

Gün/İklim koşulu	SI <sub>T</sub> (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>a</sub> (°C)	RH <sub>a</sub> (%)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar yönü (°N)
12.08.2019 (1. Gün)	576,1/516,0	30,9/27,8	37,9/49,9	3,4/6,8	130/213
13.08.2019 (2. Gün)	568,6/519,0	30,0/26,1	37,7/51,9	2,4/3,2	182/200
14.08.2019 (3. Gün)	538,9/512,0	28,9/27,5	47,3/50,6	2,8/4,7	156/237
15.08.2019 (4. Gün)	518,7/527,8	28,8/26,8	55,7/50,9	1,5/4,5	247/225
16.08.2019 (5. Gün)	529,5/526,8	28,7/26,5	56,9/52,4	2,3/3,8	183/275
17.08.2019 (6. Gün)	550,5/524,1	27,2/28,7	48,7/51,5	4,3/3,3	132/226
18.08.2019 (7. Gün)	572,2/531,2	25,5/30,0	37,9/51,4	6,6/1,2	081/198
12.-18.08.2019 (1 hafta)	550,6/522,3	28,6/27,6	46,0/51,2	3,3/3,9	159/224

\*\*Tabloda yer alan ifadeler sırasıyla deneysel ve simülasyon çalışma sonuçlarına karşılık gelmektedir.

\*SI<sub>T</sub> dışındaki tüm değerler tüm gün boyunca, SI<sub>T</sub> ise güneşlemenin gerçekleştiği zaman aralığı için verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde haftalık ortalama değerler cinsinden en yakın sonuçların T<sub>a</sub> (%96,4), SI<sub>T</sub> (% 94,5) ve RH<sub>a</sub> (% 89,89) koşulları kapsamında meydana geldiği görülür. Rüzgar hızı (% 84,3) ve yönü (70,8) kapsamında ise her iki metod nispeten daha uzak bulgular elde etmiştir. Günlük bazda her iki metod ile elde edilen bulgulara göz atıldığında ise enerji üretimi, enerji tüketimi ve sistem performansında belirleyici olan iki koşuldan SI<sub>T</sub> için en yakın 5. gün (% 99,5), en uzak 1. gün (% 88,4) ve T<sub>a</sub> için ise en yakın 3. gün (% 94,8), en uzak 2. gün (% 84,7) belirlenmiştir.

İklim koşullarının incelenmesinin ardından ise yine her iki metod kullanılarak elde edilen FV panellere ait enerji üretimi ile klimaya ait enerji tüketimi bulguları sisteme ait performans parametrelerini de kapsayacak şekilde Tablo 4 ile sunulmuştur.

**Tablo 4. Sistemin enerji analizi bulguları**

Gün/Enerji	E <sub>FV,DC</sub> (kWh)	E <sub>SK</sub> (kWh)	PR (%)	CR (%)
12.08.2019 (1. Gün)	14,2/17,0	10,9/12,4	63,5/91,4	130,2/137,0
13.08.2019 (2. Gün)	14,0/17,2	10,5/12,2	63,4/92,0	133,3/140,9
14.08.2019 (3. Gün)	13,2/16,9	10,4/12,3	63,1/92,0	126,9/137,3
15.08.2019 (4. Gün)	13,0/17,5	17,8/12,2	64,5/92,0	073,0/143,4
16.08.2019 (5. Gün)	12,7/17,4	19,7/12,2	61,7/91,6	064,4/142,6
17.08.2019 (6. Gün)	13,9/17,2	10,2/12,4	65,0/91,0	136,2/138,7
18.08.2019 (7. Gün)	14,8/17,3	09,1/12,5	66,6/90,3	162,6/138,4
12.08.2019-18.08.2019 (1 hafta)	13,6/17,2	12,6/12,3	63,6/91,3	118,1/139,8

\* Tabloda yer alan ifadeler sırasıyla deneysel ve simülasyon çalışma sonuçlarına karşılık gelmektedir.

\* Enerji tüketimi tüm gün boyunca, enerji üretimi ve verim ise güneşlemenin gerçekleştiği zaman aralığında verilmiştir.

Tablo 4 detaylı bir şekilde ele alındığında tüm hafta için klimaya ait enerji tüketimi bulgularının her iki metod kapsamında neredeyse benzer olduğu görülür ve aradaki fark sadece %2,7 kadardır. Enerji tüketimi kısmıyla ilgili bir diğer bulgu ise deneysel çalışmalar ile simülasyon çalışmalarını kıyaslama açısından oldukça önemlidir. Tabloda yer alan bulgular kapsamında TRNSYS programı ile yapılan simülasyon çalışmalarda klimaya ait enerji tüketim değeri bir hafta boyunca neredeyse durağandır (12,3 ± 0,2). Buna karşın her ne kadar haftalık toplamda deneysel çalışmalar ile TRNSYS simülasyon sonuçları örtüşmüş olsa da günlük irdelemede enerji tüketim değerleri arasındaki farkın 1,5 katı fazlasına çıkabildiği görülmektedir. Bunun başlıca sebebi ise proje odasının hafta içi kullanıma açık olması dolayısıyla meydana gelen olumsuz kullanıcı davranışlarıdır (kapının açık kalması,

pencerenin havalandırma amacıyla kullanılması, vb.). FV panellere dayalı enerji üretimi kısmında ise her iki metot da temelde Tablo 3 ile verilen  $SI_T$  değişimine bağlı olarak kararlı sonuçlar sunmaktadır ve TRNSYS simülasyon bulguları kısmen daha yüksek değerlere sahiptir. Bunun sebebi ise PR ( $SI_T$  değerinin FV paneller üzerine düşmesinden FV panellerden klimayı beslemeye kadar olan her adımı dikkate alan performans göstergesidir) değerlerinden de görüleceği üzere deneysel çalışmalar esnasında daha yüksek miktarlarda kayıpların oluşmasıdır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile birlikte toplam 10 adet FV panel grubunun ve nominal ısıtma ve soğutma kapasitesinin sırasıyla 2,84 kW, 2,52 kW olduğu split tip klimanın kullanıldığı bir klima sisteminin enerji analizi gerçekleştirilmiş olup bulunan başlıca sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- i. Güncel veri grubunun kullanıldığı Ağustos ayında bir haftalık periyotta gerçekleşen çalışmalar sonucunda FV paneller tarafından üretilen enerji ile klimanın tükettiği enerjinin fazlasıyla karşılandığı belirlenmiştir. Bu karşılama oranı (CR), deneysel çalışmalar ve TRNSYS simülasyonu ile sırasıyla % 118,1 ve % 139,8 olarak elde edilmiştir.
- ii. Ele alınan sistemin enerji üretimi ve tüketimi tarafında etkili olan  $SI_T$  ve  $T_a$  değerleri TRNSYS simülasyonu ile deneysel çalışmalara oldukça yakın sonuçlar vermiştir.  $T_a$  için bu benzerlik % 96,4 iken  $SI_T$  için % 94,5 oranına sahiptir.
- iii. TRNSYS simülasyon modeli sisteme ait enerji tüketimini modelleme konusunda enerji üretimine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.
- iv. Enerji üretiminde meydana gelen gerçek koşullardaki sistem kayıplarının TRNSYS programı ile tam anlamıyla modellenemediği görülmüştür.

## BİLGİ NOTU

Bu bildiri TÜBİTAK 3001 “Başlangıç Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı” kapsamında yürütülen 215M016 numaralı proje çalışmalarının bir ürünüdür. Ayrıca, TÜBİTAK 2214-A “Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı” 2. Dönem desteğiyle gerçekleştirilen çalışmaların bir kısmının çıktısıdır. Bu kapsamda TÜBİTAK’a teşekkürlerimizi sunarız.

## SEMBOLLER

a	dış ortam havası
CR	karşılama oranı, %
E	enerji, kWh
I	akım, A
P	güç, W
PR	performans katsayısı, %
RH	bağıl nemi %
SI	solar radyasyon, $W/m^2$
T	sıcaklık, °C
V	gerilim, V
$\alpha$	akım-sıcaklık katsayısı, $\%/^{\circ}C$
$\beta$	gerilim-sıcaklık katsayısı, $\%/^{\circ}C$
$\gamma$	güç-sıcaklık katsayısı, $\%/^{\circ}C$
$\eta$	verim, %
$\tau$	zaman sabiti, dk ve sa

*Alt indisler*



f	final
max	maksimum
mpp	maksimum güç noktası
NOCT	nominal hücre çalışma sıcaklığı
oc	açık devre
ref	referans
sc	kısa devre
SK	split klima
STC	standart test koşulları
T	eğimli

## KISALTMALAR

AC	alternatif akım
DC	doğru akım
FV	fotovoltaik
SK	split klima

## KAYNAKLAR

[1] IEA Official Web Site : Energy Efficiency: Buildings, The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis, <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>. (Erişim tarihi: 2019).

[2] IEA Report: The Future of Cooling, Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning, <https://www.oecd.org/about/publishing/TheFutureofCooling2018Corrigendumpages.pdf>. (Erişim tarihi: 2019).

[3] IEA Report: Transition to Sustainable Buildings - Strategies and Opportunities to 2050, [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013\\_free.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013_free.pdf). (Erişim tarihi: 2019).

[4] Gorjian, S., Zadeh, B.N., Eltrop, L., Shamsihiri, R.R., & Amanlou, Y. (2019). Solar photovoltaic power generation in Iran: development, policies, and barriers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 106, 110-123. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.025>

[5] Ellabban, O., & Alassi, A. (2019). Integrated Economic Adoption Model for residential grid-connected photovoltaic systems: an Australian case study. Energy Reports, 5, 310-326. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.004>

[6] Njoku, H.O. (2016). Upper-limit solar photovoltaic power generation: estimates for 2-axis tracking collectors in Nigeria. Energy 95, 504-516. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.078>

[7] Rajput, P., Singh, Y.K., Tiwari, G.N., Sastry, O.S., Dubey, S., & Pandey, K. (2018). Life cycle assessment of the 3.2 kW cadmium telluride (CdTe) photovoltaic system in composite climate of India. Solar Energy, 159, 415-422. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.087>

[8] Çoklu kristalin panele (YL255P-29L) ait teknik özellikler. <http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/>

products/downloads/DS\_YGE60CELL%20SERIES%20-29b\_35mm\_EU\_EN\_20170720\_V04.pdf (Erişim tarihi: 3.10.2019).

[9] Tekli kristalin panele (CSUN 255-60M) ait teknik özellikler. [https://www.zonnepanelen.net/nl/pdf/panels/CSUN270-60M\\_QSAR\\_ENG.pdf](https://www.zonnepanelen.net/nl/pdf/panels/CSUN270-60M_QSAR_ENG.pdf) (Erişim tarihi: 3.10.2019).

[10] Çeviriciye (Trigen 3K) ait teknik özellikler. <http://pemenerji.com.tr/wpcontent/uploads/abax-hybride.pdf> (Erişim tarihi: 3.10.2019).

[11] Klimaya ait teknik özellikler. [http://czm.com.tr/daikin/index.php?route=product/product&product\\_id=59](http://czm.com.tr/daikin/index.php?route=product/product&product_id=59) (Erişim tarihi: 3.10.2019)

[12] TRNSYS 18, 2019. Zamana bağlı değişen sistem davranışını simüle eden son derece esnek grafik tabanlı bir yazılım programı. <http://www.trnsys.com/> (Erişim tarihi: 3.10.2019)

[13] Ozcan, H. G., Gunerhan, H., Yildirim, N., & Hepbasli, A. (2019). A comprehensive evaluation of PV electricity production methods and life cycle energy-cost assessment of a particular system. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117883>

## ÖZGEÇMİŞ

**Hüseyin Günhan ÖZCAN** 1985 yılında Bodrum'da doğmuştur. Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden 2009 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl bahar döneminde Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik yüksek lisans programına başlamış ve 2013 güz döneminde ilgili programdan mezun olmuştur. Takip eden bahar döneminde ise Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik doktora programına başlamış ve halen ilgili programda tez aşamasında öğrenimine devam etmektedir. Ayrıca, 2012 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme fakültesini bitirmiştir. Akademik kariyerinin yanısıra 2,5 yıl Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştığı bir sanayi tecrübesi bulunmaktadır. 2013 yılından beri Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev almaktadır ve şu an itibarıyla TÜBİTAK 2214-A “Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı” 2. Dönem desteği kapsamında araştırmalarına Porto Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde devam etmektedir.

**Nurdan YILDIRIM** 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden Yüksek Mühendis, 2010 yılında da Doktor ünvanını aldı. 2000-2010 yılları arasında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Şubat 2010-Mart 2013 tarihleri arasında İzmirde özel bir firmada enerji bölümünde Proje Müdürü olarak çalıştı. 2014 yılında Yaşar Üniversitesi’nde Yardımcı Doçent olarak göreve başlayan Dr. Yıldırım, halen Yaşar Üniversitesi’nde Makina Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2002 yılında İzlanda Hükümeti ve Birleşmiş Milletler bursu ile İzlanda’daki 6 aylık Birleşmiş Milletler Üniversitesi Jeotermal Eğitim Programına katıldı. Daha sonra 2004-2005 yılları arasında da NATO bursu ile Belçika’daki dünyaca ünlü Von Karman Institute’teki 9 aylık akışkan dinamiği konusundaki Diploma Kursu’na katıldı. Başta Enerji Yöneticisi sertifikası olmak üzere Doğalgaz İç Tesisat, Mekanik Tesisat, Soğutma Tesisatı, Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Uzman Mühendis Yetki Belgelerine sahiptir. Başta jeotermal enerji olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları ve

uygulamaları, iklimlendirme sistemleri ile enerji verimliliği alanlarında çalışmalarını yürütmektedir.

**Arif HEPBAŞLI** 1958 yılı İzmir doğumludur. 10 yılı değişik sanayi şirketlerinde ve geri kalanı 1996 yılından beri, farklı üniversitelerde Öğretim Üyesi olarak (sanayi öncesi yaklaşık 5 yılı Araş. Gör. olarak) çalışarak geçmekte olup, 37 yıldan beri enerjiyle ilgili konularda uğraşmaktadır. Sanayi (S), Profesyonel Kuruluşlar (P) ve Üniversite (Ü)'nin, yani SPÜ (bugünlerde Araştırma, İnovasyon ve Ticaretleştirme; RIC)'nin dengeli olarak birlikte sağlanmasını amaçlamaktadır. 660 adetten (300'den fazlası SCI kapsamında makale) fazla bilimsel yayının yazarı/ortak yazarıdır. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşı, prestijli 7 derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve 1 uluslararası derginin Yardımcı Editörü olup, enerjiyle ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Dr. Hepbaşı, 16 Şubat 2017 tarihinden beri Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Enerji Çalışma Grubu'nda yer alırken, 29 Haziran 2019 tarihli 55. Genel Kurul Toplantısı'nda TÜBA-Asli Üyesi olarak seçilmiştir.

**Hüseyin GÜNERHAN** 1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim dalında profesör doktor olarak çalışmaya devam etmekte ve Termodinamik Anabilim Dalı Başkanlığı görevini sürdürmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.