

PAPER DETAILS

TITLE: PV/T SİSTEMİNDE CAM KAPAK ÖZELLİKLERİNİN ELEKTRİKSEL VE TERMAL VERİME ETKİLERİNİN ARASTIRILMASI

AUTHORS: Mustafa ATMACA,Emre AKISKALIOGLU

PAGES: 52-65

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1193726>

PV/T SİSTEMİNDE CAM KAPAK ÖZELLİKLERİNİN ELEKTRİKSEL VE TERMAL VERİME ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre Akıskalıoğlu¹, Mustafa Atmaca*²

¹ Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34398, İSTANBUL

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34730, İSTANBUL

Öz

Günümüzde enerji ihtiyacımız giderek artmaktadır ve enerji üretimi için birçok sistem geliştirilmiştir. Çevreyi korumak adına temiz ve yenilenebilir enerji giderek önem kazanmıştır. Bu sistemlerden en çok kullanılanı güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmemizi sağlayan fotovoltaiik (PV) sistemleridir. PV sistemleri zamanla gelişerek, elektrik üretiminin yanında sistemde oluşan termal enerjiyi bir ya da daha fazla akışkana aktararak aynı sistemden hem elektrik hem de termal kazanım elde etmeye yarayan, PV/T sistemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada hava ve su bazlı bir PV/T sisteminde güneş ışığını karşılayan ilk parçası olan cam kapak özelliklerinin elektrik üretimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deney düzeneği Konya şehrinde kurulmuş ve benzer açık hava koşullarında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: PV/T sistemleri, cam kapak özellikleri, elektrik üretimi, yenilenebilir enerji

A RESEARCH ON THE EFFECTS OF GLASS COVER PROPERTIES ON ELECTRICAL AND THERMAL EFFICIENCY IN PV/T SYSTEM

Extended Abstract

Our energy needs are increasing day by day and many systems have been developed for energy production. Clean and renewable energy has become increasingly important to protect the environment. The most used of these systems are photovoltaic (PV) systems that enable us to generate electrical energy from solar energy. PV systems have been developed over time, and besides electricity production, PV/T systems have been developed to transfer both the thermal energy generated in the system to one or more fluids and to obtain both electricity and thermal gain from the same system. In Turkey, we have a great potential of solar power. And our aim is using this clean energy and made it more efficient.

In this study, it has been researched how the glass cover properties, which are the first part of the PV/T system that meet the sunlight, affect electricity production and thermal gain. The experimental setup was established in Konya city in Turkey and comparisons were made under similar open air conditions. There were three types of glasses been examined. First glass has four mm of thickness and it is not coated. Second experiment glass was called low-e glass, it was also has four mm thickness and it has a low-e coating. Third glass was a air hollowed double glass which mean is two glasses combined with a twelve mm air hollow. These two glasses both have four mm thickness. We were expecting decrease in electrical gain but increase on thermal gain. The glasses were mounted and demounted on this order and several experiments were been made. For the study's results section, three days with the most similar weather conditions -in terms of wind, outdoor weather temperature- were selected and comparisons on electricity production and thermal gains made for each days. This system can be used in hotels, dormitories and such.

Keywords: PV/T systems, glass cover properties, electricity production, renewable energy

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Mustafa Atmaca, Marmara University, Faculty of Technology, Mechanical Engineering Department
34722, Istanbul-Turkey.

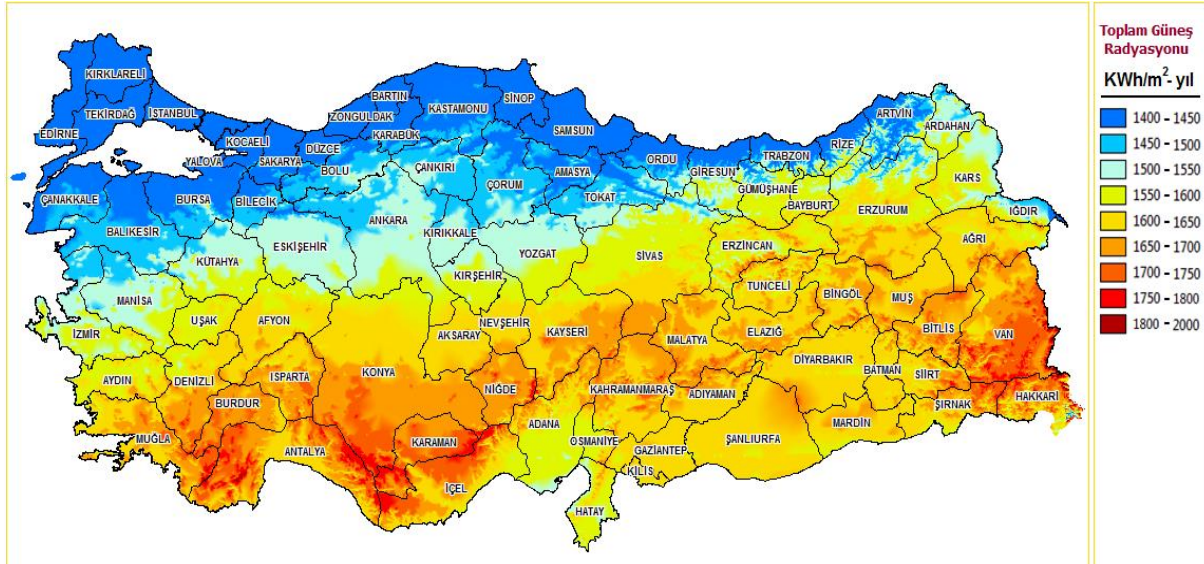
Geliş (Received) : 08.07.2020

Kabul (Accepted) : 02.10.2020

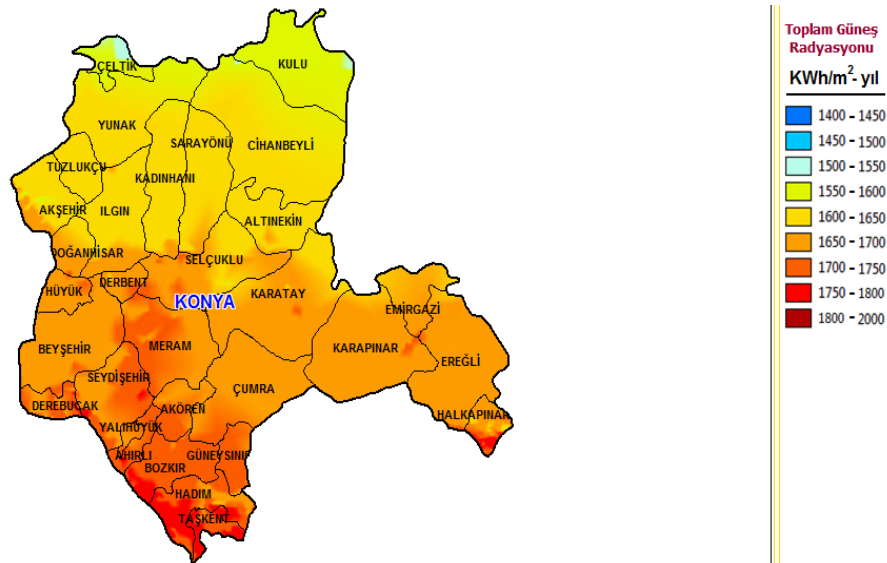
Basım (Published) : 31.12.2020

1. Giriş

Türkiye, jeopolitik konumu ve güneşlenme süresi bakımından güneş enerjisinden elektrik üretimine oldukça elverişli bir ülkedir. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) en güncel verileri incelendiğinde, Türkiye ve özellikle deneyin yapıldığı Konya ili, toplam güneş ışıınının ve güneşlenme süresinin yüksek olması nedeni ile PV/T sisteminde verilerin toplanması ve karşılaştırılması için en uygun illerden biridir (URL-1 2019).



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (URL-1 2019).



Şekil 2. Konya İli Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (URL-1 2019).

Literatür araştırmasında, fotovoltaik paneller ve PV/T sistemler üzerinden çok fazla çalışma bulunmaktadır. Bu alandaki genel ilerleme Xondag (2008), Hasan ve Sumathy (2010), Chaar vd. (2011) ve Tiyagi vd. (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Gürtürk vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik modüllerde kullanılan camlarda sıcaklık değişimlerinin etkileri araştırılmıştır. Hutchins vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, low-e ve güneş kontrol camlarının açıdan bağımsız optik özelliklerini simülasyonlar ve ölçümler ile gözlemlenmiştir. Kabul ve Duran (2014), güneş enerjisinden elektrik üretimi sırasında panel sıcaklığının artması sonucu azalan verimi, paneli su ile soğutarak artırmayı hedeflemişlerdir. Bu hedef ile, fotovoltaik panelin arka yüzüne borular yerleştirip, yerleştirilen borular içerisinden su geçirerek paneli soğutmuşlardır. Paneldeki ısıyı

olarak sıcaklığı artan suyu ise, bir su deposu içerisinde dolaştırmışlardır ve depodaki suya aktarmışlardır. Böylece hem sistemin verimini artırmışlar hem de sıcak su temin etmeyi başarmışlardır. Deneyleri sonucunda ise elektrik üretiminde yaklaşık %35'lik güç ve %7'lik verim artışı elde etmişlerdir.

Bu çalışmada ise, 3 adet farklı cam türü seçilip bu camların PV/T sisteminde elektrik üretimi karşılaştırılmıştır. Seçilen camlardan birincisi, renksiz 4 mm düz camdır. İkinci cam, renksiz low-e kaplamalı ve 4 mm kalınlığındadır. Son cam ise 4+12+4 mm kalınlığında kesilmiş, sıradan çift camdır. Bu camların gün ışığı ve güneş enerjisi geçirgenlik değerleri aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır. Sistemde bu üç camın seçilmesinin nedeni, elektrik aslında termal verimi artırmak amaçlanmıştır. Elektriksel verimin azalacağı tahmin edilmektedir ancak ne kadar bir azalma gerçekleşeceği araştırılacaktır.

Tablo 1. Cam değerleri karşılaştırılması (URL- 2019).

	Cam Kalınlığı (mm)	U Değeri (W/m ² K)*	Gün Işığı Geçirgenliği (%)*	Güneş Enerjisi Geçirgenliği (%)*
Renksiz Düzcam	4	5,7	89	82
Low-e Kaplamalı	4	NPD**	88	60
Çift Cam	4+12+4	2,9	80	68

* U Değeri (Isı Geçirgenlik Katsayısı): Camlarda ısı yalıtımının ölçütüdür. Daha düşük U değeri, daha iyi bir ısı yalıtımı, daha az ısınma masrafı ve daha çok kış rahatlığı demektir.

Isı geçirgenlik katsayısı olan U değeri EN 673 standardına uygun olarak WIS 3.01 programıyla hesaplanmıştır. U değeri hesabında kullanılan emissivite değerleri, laboratuvar ortamında EN 673 ve EN 12898 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Bir malzemenin enerji yayma kabiliyetine yayım kabiliyeti (emisivite) denir. Koyu malzemelerde bu değer yüksektir. Bu değeri düşürmek cam yalıtım özelliğini artırmak anlamına gelmektedir. Gün Işığı Geçirgenlik: Cama gelen ışığın camdan geçen yüzdesidir.

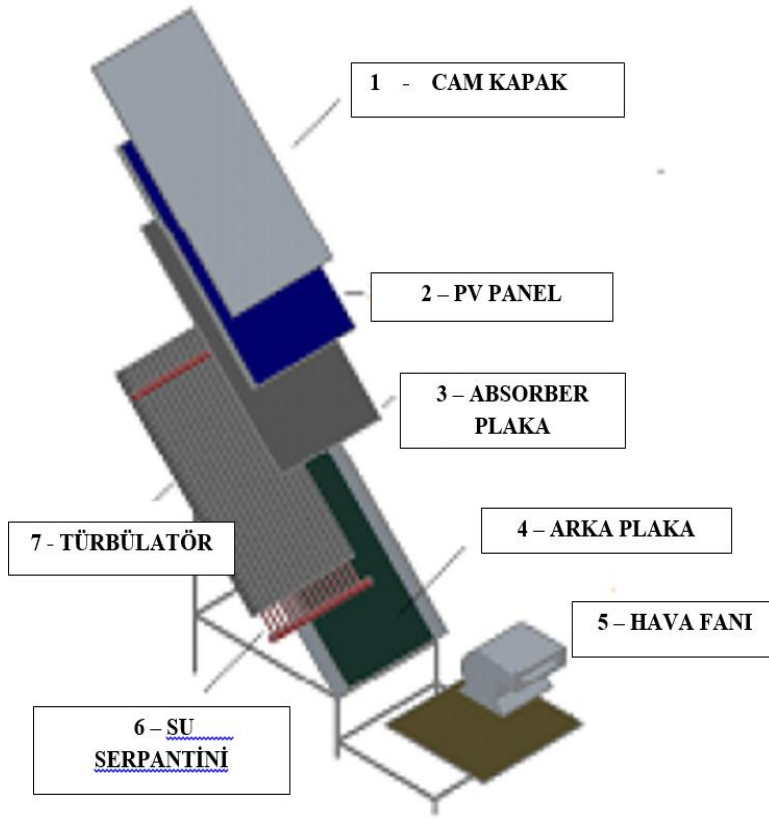
Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik: Cam üzerine gelen toplam güneş enerjisinin içeriye giren yüzdesidir. Daha düşük güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri, daha iyi güneş kontrolü demektir. “Gün Işığı” ve “Güneş Enerjisi” değerleri, EN 410 standardında uygun olarak laboratuvar ortamında ölçülmüş spektral veriler kullanılarak, “TNO Science and Industry” - WIS 3.01 paket programında hesaplanmıştır.

**NPD: Performans belirlenmemiştir anlamına gelmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Deney düzeneği şekil 3’te gösterilmiş olup, sistemi içeren parçalar aşağıda incelenmiştir:

- 1) Cam Kapak: 4 mm düz cam, 4 mm low-e kaplamalı cam ve 4+12+4 mm çift cam
- 2) PV Panel: TPSM6U Monokristal 200 W, V_{oc} :45.4 V, I_{sc} :5.77 A.
- 3) Absorber Plaka: Kalınlık 0.400 mm, malzeme: Alüminyum, (200W/mK), siyaha boyanmış.
- 4) Arka Plaka: Çelik, 2 mm kalınlığında
- 5) Hava fanı: Elektronik haberleşme sistemi ile birlikte.
- 6) Su Serpantini: Kolektör dış çap: 32 mm, boru dış çap: 10 mm, malzeme: bakır (394 W/mK).
- 7)Türbülator: bal peteği, kalınlık 1.5 mm, uzunluk 1580 mm, malzeme: alüminyum (200W/mK).
- 8) Pompa
- 9) Boyler: Isı değişimi için, 100L kapasiteli.
- 10) Yalıtım: 50 mm mineral, ısı iletkenliği λ : 0.035 W/mK (Atmaca ve Pektemir, 2018)



Şekil 3. Sistemin Genel Görünümü (Atmaca ve Pektemir, 2020).

Verilerin alınması için sistemde Pt-100 sıcaklık sensörü, hava hızının ölçülebilmesi için hava hız sensörü, güneş ışınımının ölçülebilmesi için dış ortama elle montajını yaptığımız piranometre, dış ortam hava koşullarının karşılaştırılabilmesi için nem ve sıcaklık sensörleri, rüzgar hızını ölçebilmek için anemometre, akım ve gerilim değerlerini ölçebilmek için ise akım ve gerilim sensörleri kullanılmıştır. Alınan veriler İztekno firması tarafından özel olarak hazırlanmış bir yazılım ile bilgisayara aktarılmıştır ve incelenmiştir (Atmaca ve Pektemir, 2020).

Anasayfa	Cihaz & Parametre Ayarları	Alarm Ayarları	Gözlem & Raporlama Merkezi	Oto Bilgilendirme Sistemi	Sayfa Ayarları	Program Ayarları
--------------------------	--	--------------------------------	--	---	--------------------------------	----------------------------------

Gözlem Sayfası	
Sayfa İsmi	
MODUL-1 GÖVDE SICAKLIĞI	—
MODUL-2 GÖVDE SICAKLIĞI	—
SICAKLIK-3	—
SICAKLIK-4	—
MODUL-3 GÖVDE SICAKLIĞI	—
SICAKLIK-6	—
SICAKLIK-7	—
HAVA GİRİŞ SICAKLIĞI	—
SICAKLIK-9	—
SICAKLIK-10	—
SICAKLIK-11	—
SICAKLIK-12	—
TÜM DATALAR PT100 SICAKLIKLAR IŞIK ŞİDDETİ HAVA HIZI GÜÇ DEĞERLERİ SICAKLIK&NEM	

Alarm Logları
Gönderim Statüsü

Şekil 4. Verilerin Aktarıldığı Programın Ara Yüzü.

Deney düzeneğinin elektriksel devresinde 1000 W tam sinüs inverter, 12/24 V 20 A şarj kontrol cihazı, 6 adet 12 V, 102 Ah akü bulunmaktadır. Sistemde üretilen elektrik, bağlı cihaz ve panolarda kullanılabilir hale getirilmiştir. Sistem şebekeye bağlı olmadığı için enerjinin yetersiz kaldığı zamanlarda da akülerden enerji ihtiyacı giderilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Deneyler benzer hava koşullarında; dış ortam sıcaklık değerleri birbirine yakın, rüzgarlı günlerde, açık hava koşullarında yapılmıştır. Bu çalışma için her cam türü içi en uygun bir gün seçilmiş ve karşılaştırmalar ona göre yapılmıştır. Verilere ışıınım ve hava hız değeri de eklenerek sistemin termal verimleri aşağıdaki üç denkleme göre hesaplanıp karşılaştırmaya eklenmiştir:

$$Q = I_t \cdot A_p \quad (\text{Denklem 1})$$

Q = Güneşten kazanılan enerji

I_t = Tabloya göre hesaplanan ortalama ışıınım değeri A_p = PV panelinin yüzey alanı: 1,2766 m²

$$P_{th-a} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p(hava)} \cdot (T_o - T_i) \quad (\text{Denklem 2})$$

P_{th-a} = Sistemin hava devresi gücü

$\dot{m}_{air} = V_{air} \cdot A_h$

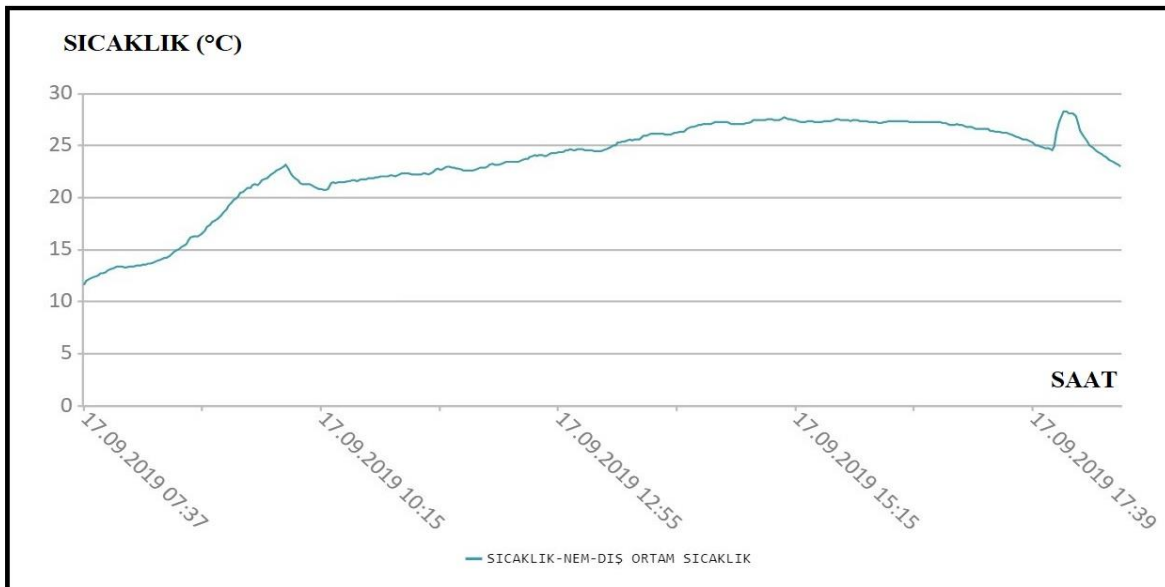
A_h = Hava kanalının kesit alanı = 0.6 . 0.35 = 0.21 m²

$$\eta (\%) = (\text{Denklem 2/Denklem 1}) \cdot 100 \quad (\text{Denklem 3})$$

η = Sistem Verimi

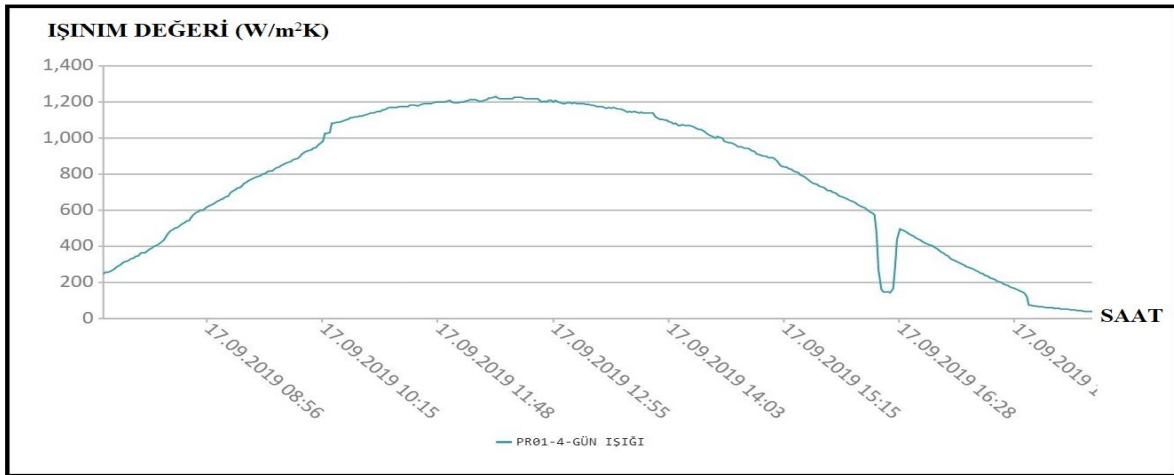
3.1 Düz Cam (4 mm) ile Yapılan Deney – 17.09.2019

Dış Ortam Sıcaklık Değeri: 17 eylül tarihinde tüm gün ölçüm yapılmıştır ve saate göre değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Minimum sıcaklık saat 07.35'te 13°C, maksimum sıcaklık değeri saat 17.08'de 27°C olarak ölçülmüştür.



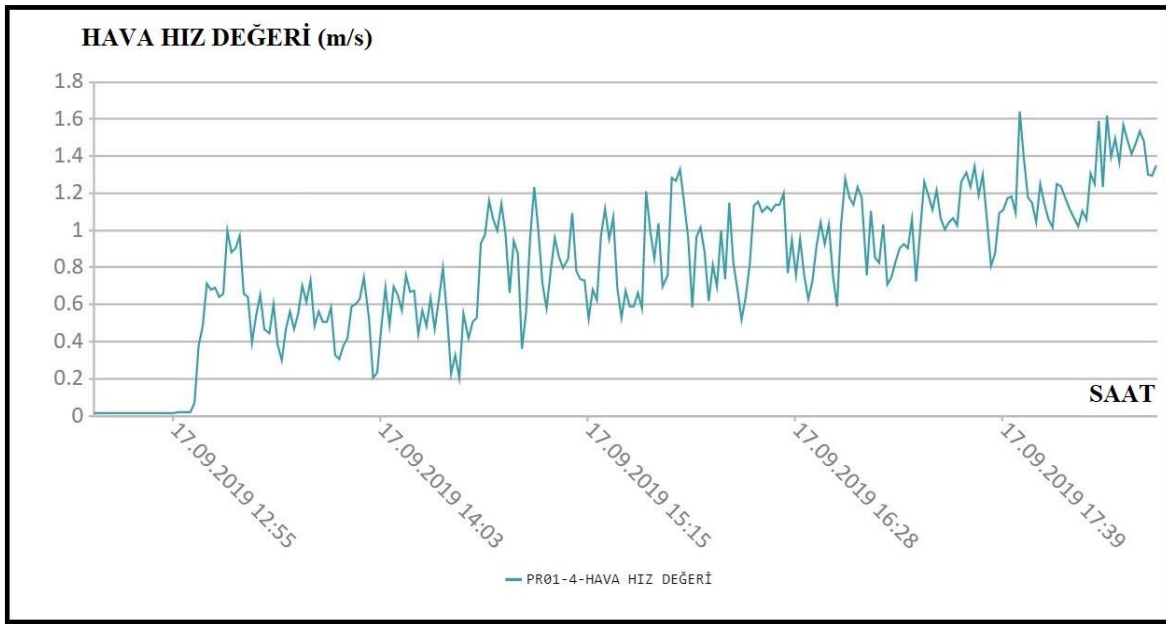
Şekil 5. 17.09.2019 Tarihinde Dış Ortam Sıcaklık-Saat Değişimi.

İşınım Değeri: Piranometreden okunan değerler Şekil 6'ya göre ortalama 1086 W/m² olarak hesaplanmıştır.



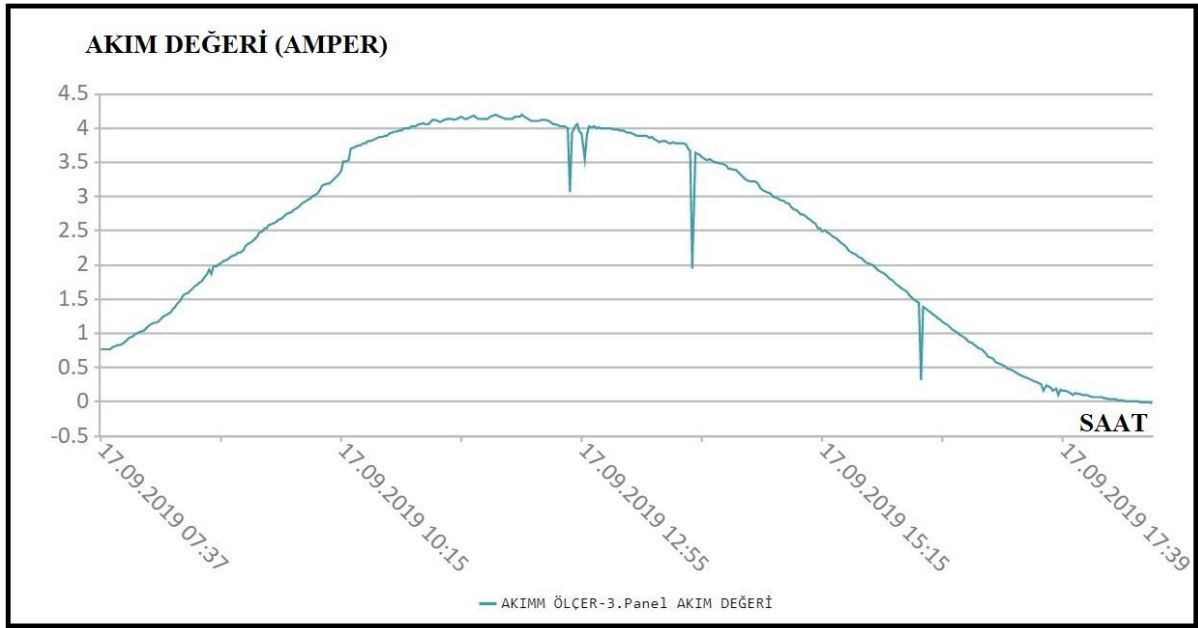
Şekil 6. 17.09.2019 Işınım-Saat Ölçüm Değerleri (W/m^2).

Hava Hız Değeri: Sistem fanı saat 13.00'da açılmıştır. Şekil 7'deki dalgalanmalardan anlaşılacağı üzere Konya'da rüzgarlı bir gün yaşanmıştır. Dış ortam rüzgar hızı değeri 15 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Sistemdeki ortalama hava hızı aşağıda gösterilmiş olup, Excel programı kullanılarak 0,86 m/s olarak hesaplanmıştır.



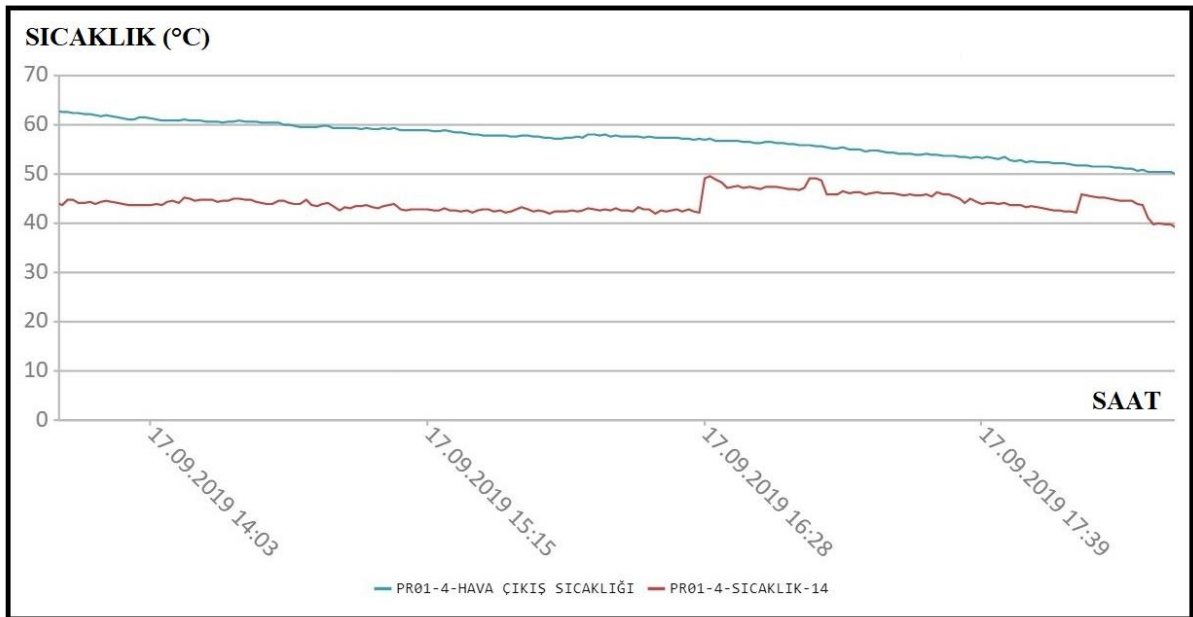
Şekil 7. 17.09.2019 Tarihinde Sistemde Dolaşan Hava Hızının Değişimi (m/s).

Panel Akım Değeri: Panel akımı ölçümünün saate göre değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Okunan minimum amper değeri saat 17.49'da 0,12, maksimum amper değeri ise saat 12.07'de 4,2 amper olarak hesaplanmıştır. Sonuç bölümünde karşılaştırmalar yapılacaktır.



Şekil 8. Akım-saat değerleri (Amper).

Hava Giriş – Çıkış Sıcaklık Değerleri: 17 eylül gününde hava giriş-çıkış sıcaklıkları Şekil 9’da gösterilmiştir. Sıcaklık farkı 4,7°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değerleri (°C).

17.09.2019 gününde sistemin hava devresi verimi aşağıda hesaplanmıştır:

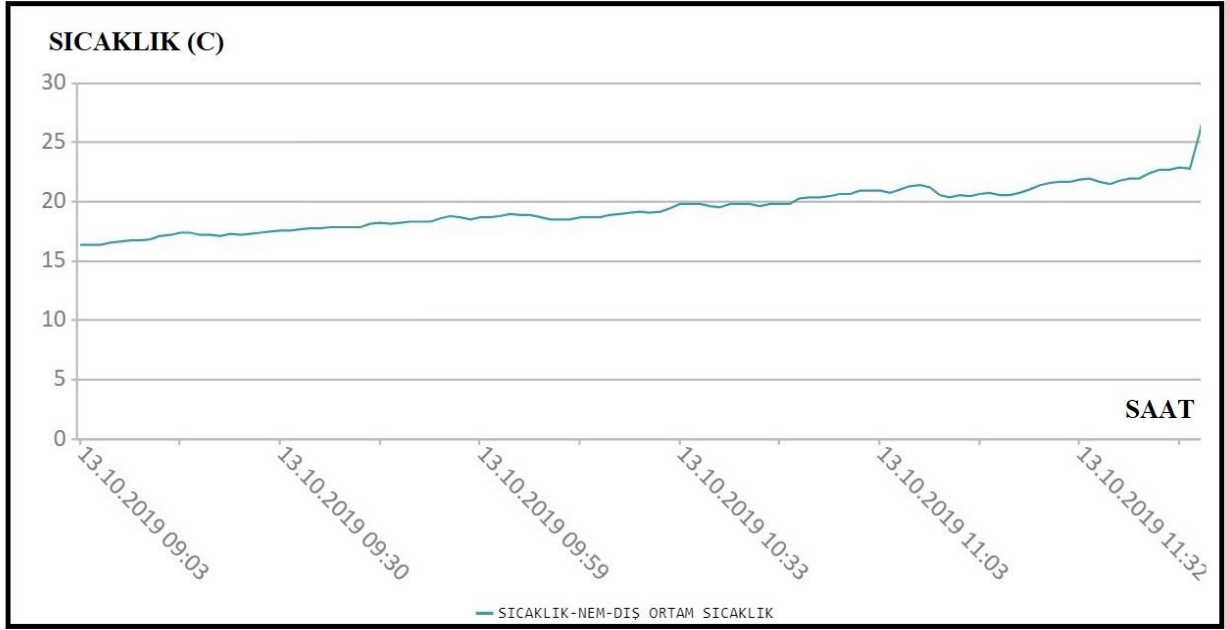
Denklem 1’e göre: $Q=1086.1,27=1379,22 \text{ W}$

Denklem 2’ye göre: $P_{th-a}=0.21.0,86.0,24.4,18.1000.4,7=851,53 \text{ W}$

Denklem 3’e göre: $\eta= \%61,7$ olarak hesaplanmıştır.

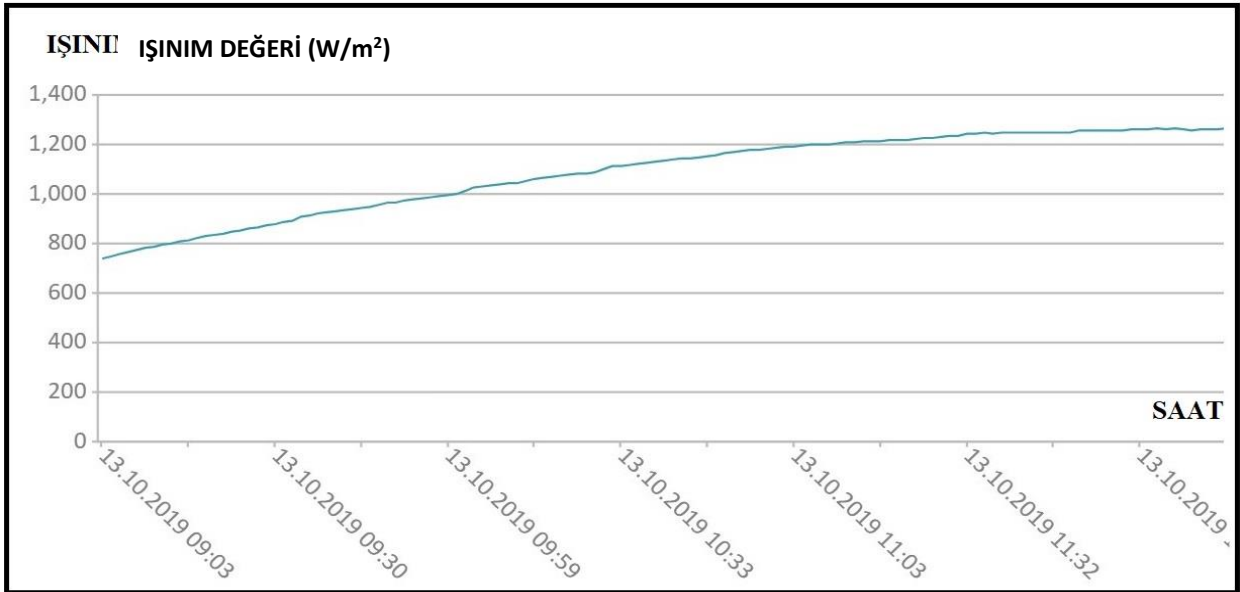
3.2 Low-e Kaplamalı Cam (4 mm) ile Yapılan Deney – 13.10.2019

Dış Ortam Sıcaklık Değeri: Dış ortam sıcaklığı 09.00’da 16,4°C ve 11.48’de ise 25,8°C olarak ölçülmüş olup, Şekil 10’da gösterilmiştir. Ortalama 19,7°C olarak hesaplanmıştır.



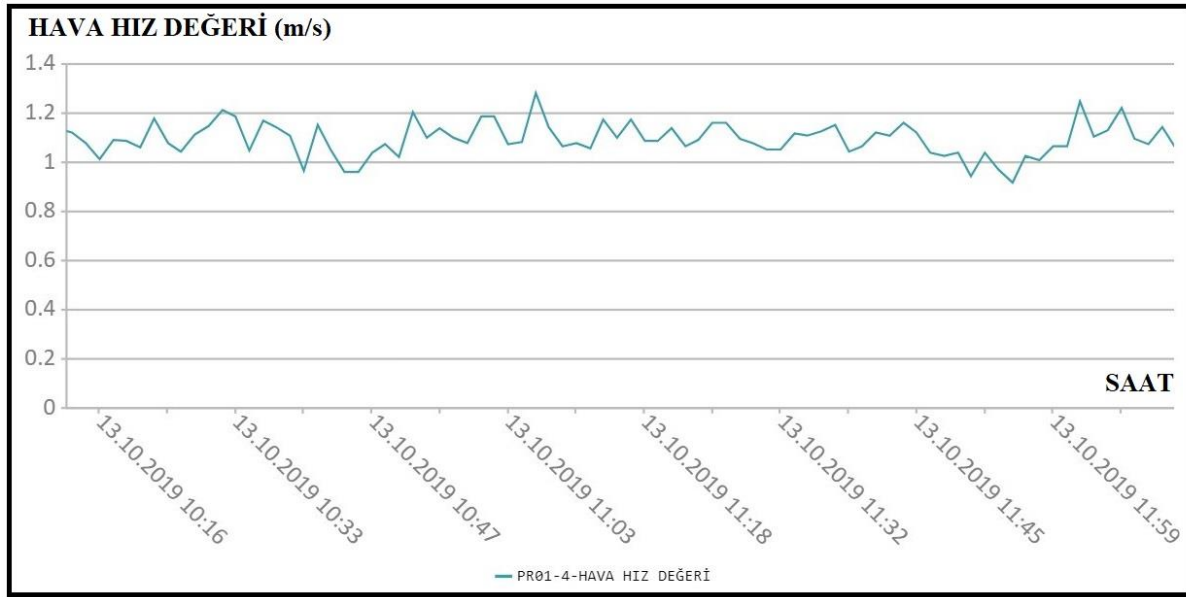
Şekil 10. 13.10.2019 Tarihinde Dış Ortam Sıcaklık-Saat Değişimi.

Işınım Değeri: Piranometreden okunan değerler Şekil 11’de gösterilmiştir. Ortalama 1117 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.



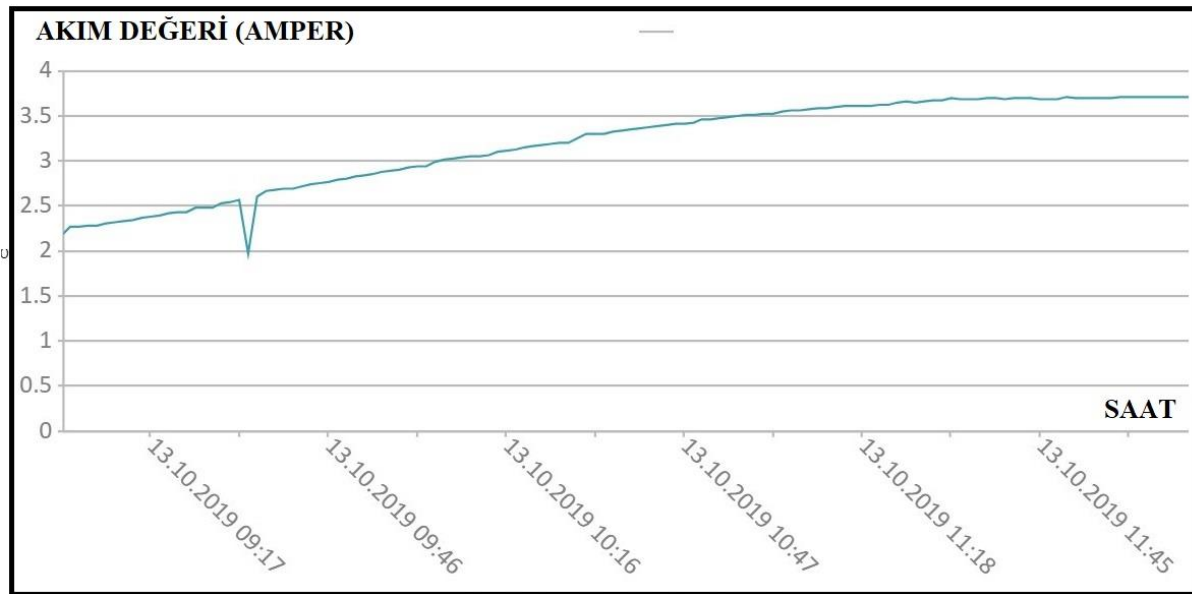
Şekil 11. 13.10.2019 Tarihinde Işınım-Saat Ölçüm Değerleri (W/m²).

Hava Hız Değeri: Dış ortam rüzgarı sistemde dolaşan hava hızını da artırmıştır. Dış ortam rüzgar hızı 15 dakikalık periyotlar ile ölçülmüştür. Bunun etkisi ile birlikte sistemde dolaşan hava hızı $1,13 \text{ m/s}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 12’de değerlerin değişimi gösterilmektedir.



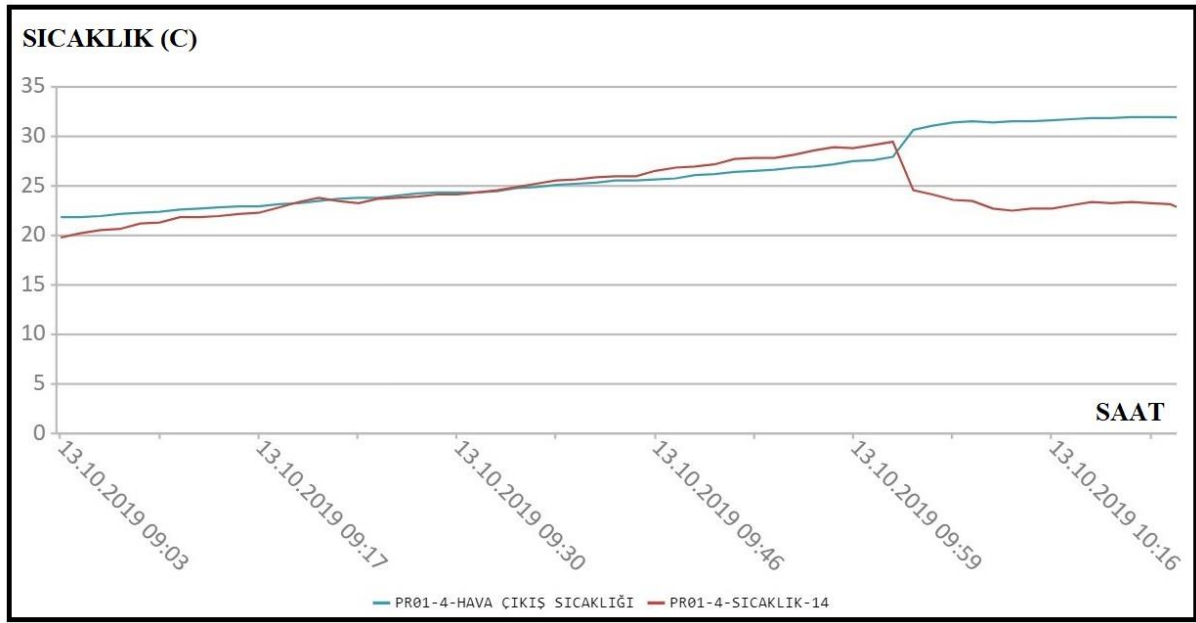
Şekil 12. 13.10.2019 Tarihinde Sistemde Dolaşan Hava Hızının Değişimi (m/s).

Panel Akım Değeri: Sistem saat 09.00'da 2,18 amper elektrik üretimine başlamıştır. Bu değer saat 12.03'te 3,74 amper değerine ulaşmıştır. Panelde üretilen amper değerlerinin değişimi Şekil 13'de gösterilmiştir.



Şekil 13. Akım-Saat Değerleri (Amper).

Hava Giriş-Çıkış Sıcaklık Değerleri: Fan saat 10.00'da çalıştırılmıştır. Fan açıldıktan sonra oluşan hava giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkı 4,7°C olarak hesaplanmış olup Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değerleri (°C).

13 ekim tarihinde sistemin verimi aşağıda hesaplanmıştır:

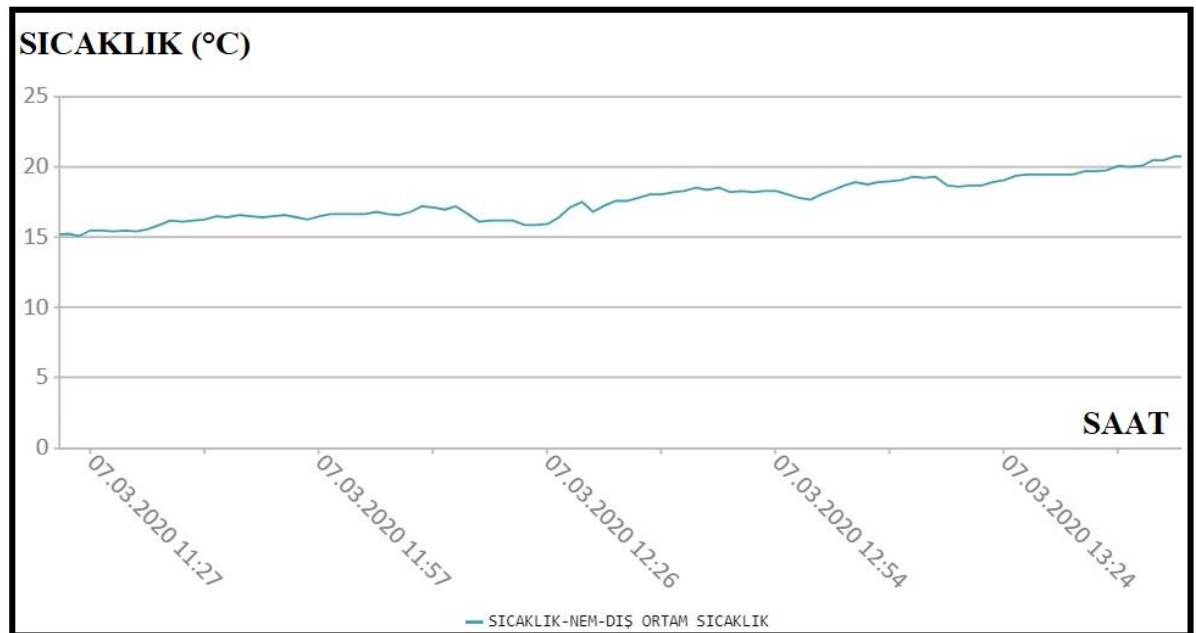
Denklem 1'e göre: $Q=1117 \times 1,27= 1418,6 \text{ W}$

Denklem 2'ye göre: $P_{th-a}=0,21 \times 1,13 \times 0,24 \times 4,18 \times 1000 \times 4,7=932,4 \text{ W}$

Denklem 3'e göre: $\eta = \%65,72$

3.3.2 Veriler (07.03.2020)

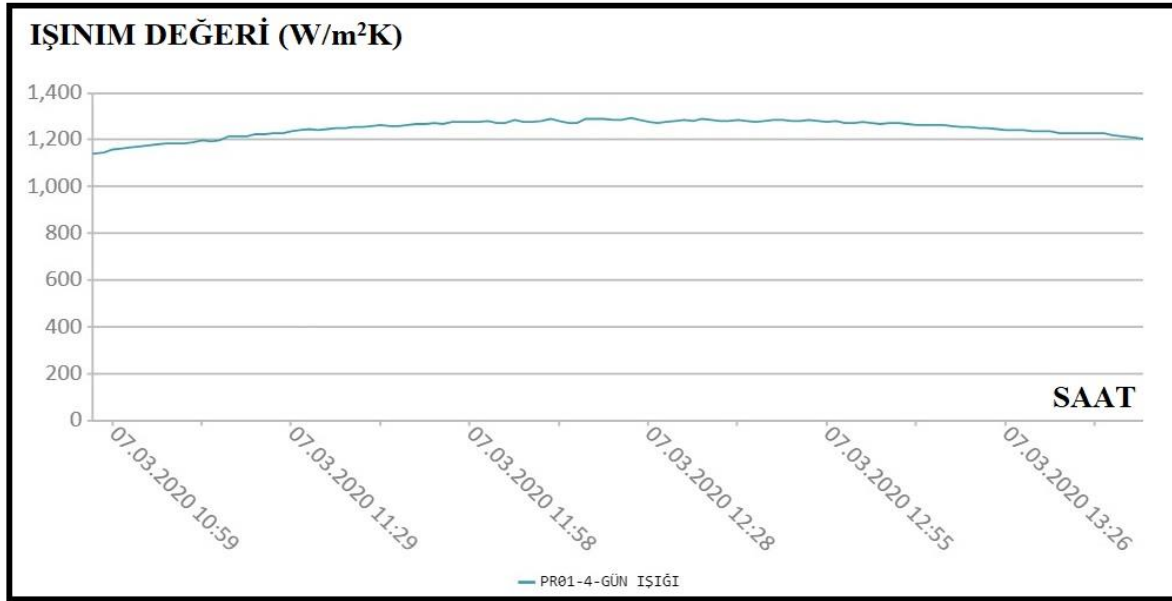
Dış Ortam Sıcaklık Değeri: Dış ortam sıcaklığı ortalama 17,2°C olarak ölçülmüş ve sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Dış Ortam Sıcaklık Değeri (°C).

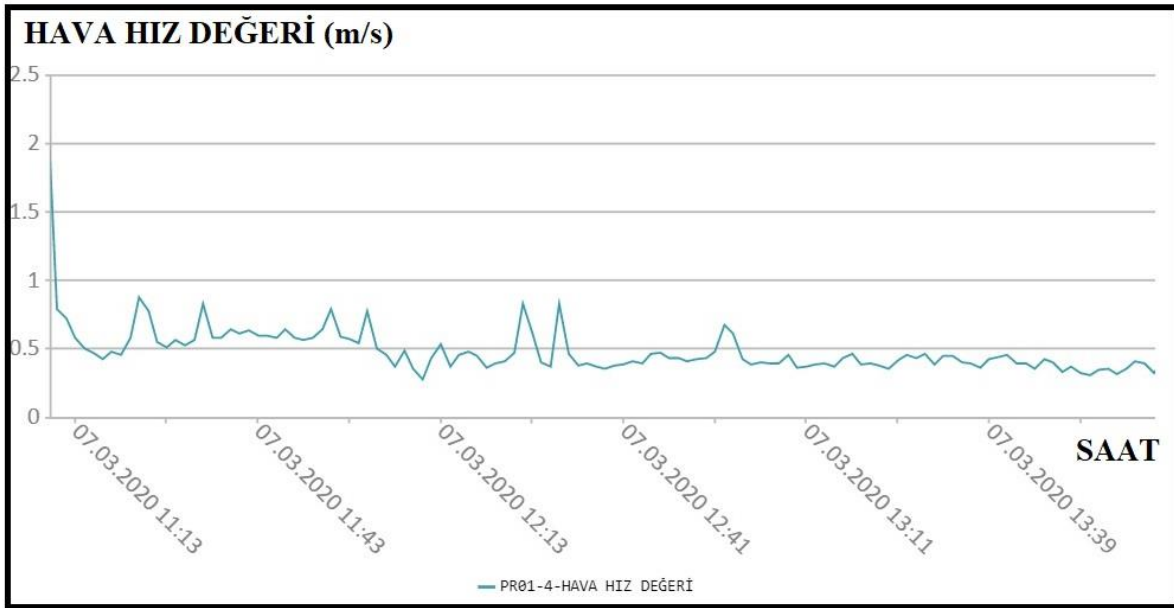
Işınım değeri: Ortalama ısıtım değeri 1257 W/m² olarak hesaplanmıştır. Değerlerin değişimi Şekil 16'da

gösterilmiştir.



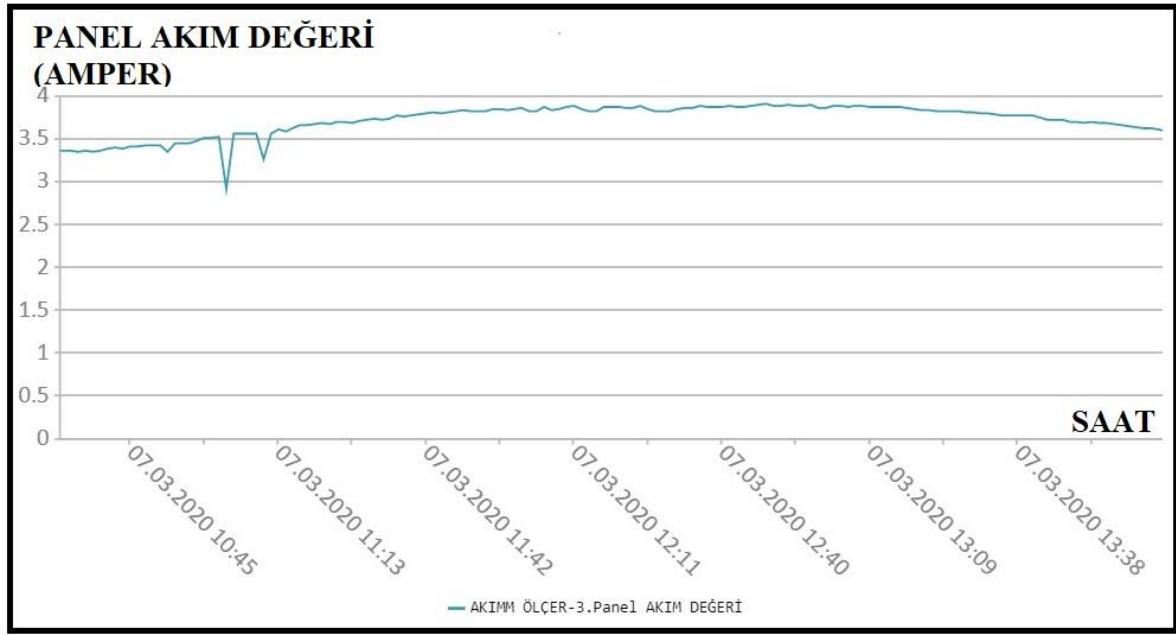
Şekil 16. Işınım Değeri (W/m²).

Hava Hız Değeri: Sistem fanı 15 watt gücünde çalıştırılmıştır. Sistemde dolaşan ortalama hava hızı 0,54 m/s olarak hesaplanmış olup, değerlerin değişimi Şekil 17’de verilmiştir.



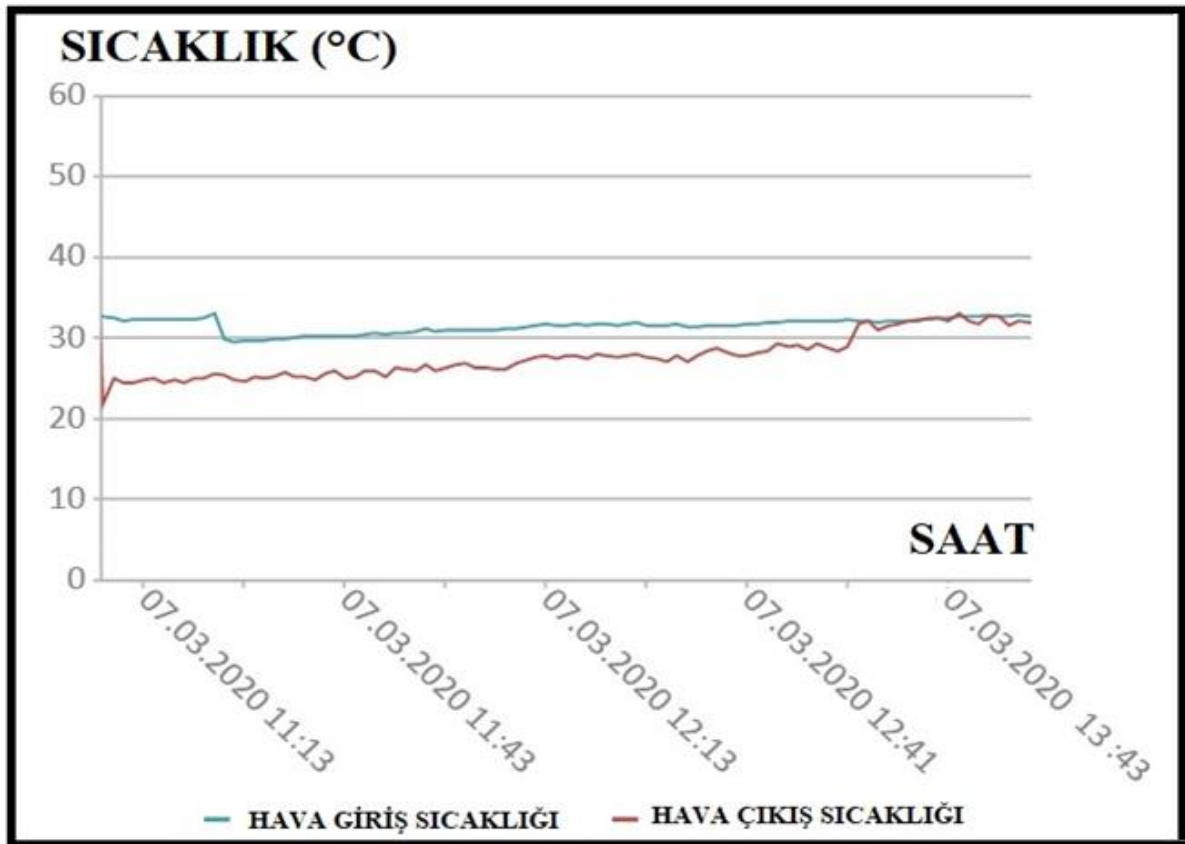
Şekil 17. Hava Hız Değeri (m/s).

Panel Akım Değeri: Panelde oluşan maksimum akım değeri 12.57’de 3,9 amper olarak ölçülmüştür. Panel akım değerlerinin süreye bağlı değişimi Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Panel Akım Değeri (Amper)

Hava Giriş-Çıkış Sıcaklık Değerleri: Hava giriş-çıkış sıcaklık farkı 7,6°C olarak hesaplanmış olup, Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değerleri (°C).

Denklem 1'e göre: $Q = 1257 \cdot 1,27 = 1596,39 \text{ W}$

Denklem 2'ye göre: $P_{th-a} = 0,54 \cdot 0,21 \cdot 0,24 \cdot 4,18 \cdot 1000 \cdot 7,6 = 864,6$

Denklem 3'e göre: $\eta = \%54,16$ olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Sistemin elektriksel verimi karşılaştırıldığında, üç cam ile yapılan ölçümlerde aynı ışınlam değerlerindeki akım değerleri baz alınıp karşılaştırma yapılmıştır. Bu değerler 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200 W/m² olarak seçilmiştir. Tablolardan yararlanarak, ortalama dış ortam koşulları da dikkate alındığında, 4 mm düz cam için 17.09.2019 tarihi seçilmiştir. Bu tarihte dış ortam sıcaklığı 23,4°C'dir, tüm gün ölçüm yapılmıştır ve Konya'da bulutsuz ve rüzgarlı bir gün yaşanmıştır. 4 mm low-e cam için 13.10.2019 tarihi seçilmiş olup, bu tarihte ortalama dış ortam sıcaklığı 19,7°C'dir. Bulutsuz ve rüzgarlı bir gün yaşanmıştır. 4+12+4 mm çift cam içinse 07.03.2020 tarihi seçilmiştir. Bu tarihte ortalama dış ortam sıcaklık değeri 17,2°C'dir. Bulutsuz ve rüzgarlı bir gün yaşanmıştır. Tablo 2'de akım üretimi karşılaştırması yapılmıştır. Buna göre, 4 mm düz cam ile karşılaştırıldığında low-e camda akım üretiminde %13,84 azalma ve çift camda %16,43 azalma görülmüştür.

Tablo 2. Akım Üretimi % Değişimi.

	17.09.2019	13.10.2019	07.03.2020	%Değişim (Low-e)	%Değişim (Çift Cam)
700 W/m ²	2,31 A	Veri yok	1,87 A	Veri yok	-19,05
800 W/m ²	2,69 A	2,35 A	2,26 A	-12,63	-15,98
900 W/m ²	3,11 A	2,67 A	2,62 A	-14,14	-15,75
1000 W/m ²	3,52 A	2,94 A	3,05 A	-16,47	-13,35
1100 W/m ²	3,79 A	3,25 A	3,37 A	-14,24	-11,08
1200 W/m ²	4,16 A	3,59 A	3,7 A	-13,70	-11,05
Ort. Akım	2,61 A	3,21 A	2,86 A	14,23 Azalma	14,38 Azalma

Beklenildiği gibi cam türü değişimi, sistemdeki elektrik üretimini azaltmıştır. Her cam için seçilen günlerin dışında birden fazla deney yapılmıştır. Bu deneylerin sonucu olarak, termal ve elektriksel üretimin karşılaştırıldığı veriler tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ortalama Sistem Verimi Değişimi.

	Ortalama Akım Değişimi (%)	Termal Kazanım (%)	Total (%)
4 mm düz cam	Referans	Referans	Referans
4 mm low-e cam	14,23 Azalma	20,35 Artış	6,12 Kazanım
4+12+4 mm çift cam	14,38 Azalma	18,6 Artış	4,22 Kazanım

Deneyler sonucunda, hava ve su soğutmalı PV/T sisteminde, sistemin güneş ışığını karşılayan ilk kısmı olan cam kapak özellikleri incelenmiştir. İncelenen camlar arasında low-e cam kullanılarak termal verim %20,35 artırılmıştır. Elektrik üretimi %14,23 azalmasına rağmen termal verimin artışı toplam verimi %6,12 artırarak kullanılması uygun görülmüştür ve önerilmektedir.

Kaynaklar

1. **Atmaca M. & Pektemir İ.Z. (2018).** Investigation of possibilities obtain heating, hot water and electricity from same solar panel by means of a new design called “Solenam” (Solar energy absorber machine), 3th *International Multidisciplinary Congress*, Kiev 5-6 October 2018.
2. **Atmaca M. & Pektemir İ.Z. (2020).** PV Panelinin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol.31, pp.280-285.
3. **Atmaca M. & Pektemir İ.Z. (2020).** PV Panelinin Altına Serbest Olarak Yerleştirilen Siyah Emici Plakanın Termal Kapasitesinin Belirlenmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, vol.31, pp.280-285.
4. **Chaar L.E., Lamont L.A. & Zein L. (2011).** Review of photovoltaic technology, *Renew. Sustainable Energy Rev.* 15 2165–2175.
5. **Gürtürk M., Benli H. & Koçdemir Ertürk N. (2011).** Determination of the effects of temperature changes on solar glass used in photovoltaic modules, *Elsevier, Renewable Energy* 145, 711-724.
6. **G. Hutchins M., Olive F. & Anderson C. (2000).** Angular-Dependent Optical Properties of Low-e and solar Control Windows – *Simulations versus Measurements*, *Solar Energy* Vol. 69, Nos. 1-6, pp. 15-26.
7. **Hasan M.A. & Sumathy K. (2010).** Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: a review, *Renew. Sustainable Energy Rev.* 14, 1845–1859.
8. **Kabul A. & Duran F. (2014).** Isparta İlinde Fotovoltaik/ Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi, *SDU International Technologic Science*, 6,1,31-33.
9. **URL-1 (2019).** - <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
10. **URL-2 (2019).** Trakya Cam Sanayii A.Ş. Şişecam Genel Merkezi, Isıcam Sistemleri Broşürü, 18 Mayıs 2017, www.isicam.com.tr
11. **Tyagi V., Kaushik S. & Tyagi S. (2012).** Advancement in Solar Photovoltaic/ Thermal (PV/T) Hybrid Collector Technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16,3, 1383-1398.
12. **Xondag H.A. (2008).** Flat-plate PV-thermal collectors and systems: a review, *Renew. Sustainable Energy Rev.* 12, 891–959.