

Hava Ön Isıtma ve Hava Hızının Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansına Etkisi

Nergiz ÜLKER^{1*}, Hüsamettin BULUT²

^{1,2} Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

*¹ nergizulker@harran.edu.tr, ² hbulut@harran.edu.tr

(Geliş/Received: 08/08/2024;

Kabul/Accepted: 24/10/2024)

Öz: Günümüzde artan enerji fiyatları ve fosil yakıtların olumsuz etkileri, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, kurutma ve mahal ısıtması gibi uygulamalarda kullanılan havalı güneş kollektöründe, hava ön ısıtmasının farklı kütleli hava debilerinde kollektör çıkış sıcaklığı ve ısı verimi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler üç farklı kütleli hava debisinde (0,063, 0,127 ve 0,254 kg/s) ve günlerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hava ön ısıtmasının kütleli hava debisine bağlı olarak havalı güneş kollektöründe sıcaklık farkını ve ısı verimi etkilediğini göstermiştir. Düşük kütleli hava debilerinde daha yüksek sıcaklık farkları elde edilirken, yüksek kütleli hava debilerinde ısı veriminin arttığı gözlemlenmiştir. En iyi ısı performans olarak 0,127 kg/s kütleli hava debisinde hava ön ısıtma ile dış hava sıcaklığına göre ortalama kollektör giriş sıcaklığı 5,1°C ve kollektör çıkış sıcaklığı 18,1°C artırılmış ve kollektör ısı verimi %84 olarak hesaplanmıştır. Hava ön ısıtma uygulandığında, kollektörün giriş ve çıkış sıcaklık farkının, hava ön ısıtma olmadığı durumlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak hava ön ısıtmanın kollektör ısı performansını artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ön ısıtma, hava hızı, güneş enerjisi, havalı güneş kollektörü, ısı verim.

The Effect of Air Preheating and Air Velocity on Thermal Performance of Solar Air Collector

Abstract: Today, increasing energy prices and the negative effects of fossil fuels reveal that solar energy, should be used efficiently in applications. In this study, the effect of air preheating on the collector outlet temperature and thermal efficiency at different mass air flow rates in an air solar collector was experimentally investigated. The experiments were carried out at three different mass air flow rates (0.063, 0.127 ve 0.254 kg/s) and days. The results show that air preheating affects the temperature difference and thermal efficiency of the air solar collector depending on the mass air flow rate. While higher temperature differences were obtained at lower mass air flow rate, it was observed that the thermal efficiency increased at higher mass air flow rates. As the best thermal performance, with air preheating at a mass air flow rate of 0.127 kg/s, the average collector inlet temperature was increased by 5.1°C and the collector outlet temperature was increased by 18.1°C compared to the outside air temperature and the collector thermal efficiency was calculated as 84%. When air preheating is applied, the inlet and outlet temperature difference of the collector is higher than without air preheating. As a result, it was determined that air preheating improves the thermal performance of the collector.

Key words: Preheating, air velocity, solar energy, air solar collector, thermal efficiency.

1. Giriş

Dünyadaki enerji kaynaklarının çoğunluğunu oluşturan ve hızla azalan fosil yakıtlara karşı en umut verici ve ivme kazanan seçenek, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [1]. Güneş enerjisi, küresel enerji ihtiyacını çevreyi olumsuz etkilemeden karşılama konusunda geniş bir potansiyele sahip en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinin ısı uygulamalarında en temel eleman güneş kollektörleri olup uygulama sıcaklıklarına göre dört kategoriye ayrılmaktadır: Düz plakalı kollektörler, vakumlu tüplü kollektörler, yoğunlaştırıcı kollektörler ve hibrit kollektörler [2]. Havalı veya sıvılı güneş kollektörleri, ısıtma uygulamalarında kullanılmak üzere güneş enerjisini ısı enerjisiye dönüştürmede kullanılan en etkin ve yaygın cihazlardır. Havalı güneş kollektörleri sıcak hava üreterek, ısı uygulamalarda fosil yakıt kullanımını azaltarak daha az CO₂ salınımı sağlamaktadır [3-5].

Havalı güneş kollektörlerinde yüzeye gelen güneş ışınımını ısı enerjisi formunda absorbe eden yutucu plaka ve enerjinin aktarıldığı proses havası önemli bileşenlerdir. Havalı güneş kollektörlerinde, havanın düşük termodinamik özelliklere sahip olması sebebiyle, sıvılı kollektörlere kıyasla ısı verim düşük olmaktadır. Farklı malzemeden yapılmış yutucu plaka kullanılması, yutucu plakaya kanatçıklar eklenmesi veya hava akışının türbülanslı hale getirilmesi düşük ısı verim probleminin çözümünde sıkça kullanılan yöntemlerdir [3]. Kanatçıklar

* Sorumlu yazar: nergizulker@harran.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-6079-4792, ²0000-0001-7123-1648

veya saptırma plakaları, havalı güneş kolektörlerinde yutucu plakadan proses havasına doğru olan ısı transferini artırmak amacıyla kullanılır [6]. Literatürde, düz plakalı havalı güneş kolektörleri üzerine yapılan birçok akademik çalışma, kolektör verimini artırmak amacıyla yutucu plaka yüzeylerinde değişiklikler yapma ile ilgilidir. Yutucu plaka ile hava akışı arasındaki ısı transferi, laminer alt tabakanın oluşması ile azalmaktadır. Kanatçıklı yapılar, laminer alt tabakayı bozarak termal direnci azaltır ve kanatçıklı yapılar türbülans etkisi yaratarak ısı transferini artırır [7]. Chabane ve ark. [8], düz plakalı havalı güneş kolektörüne 5 adet kanatçık ilave ederek kolektörün ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. İki farklı hava hızı için ısı veriminde ortalama %10'luk bir artış elde edilmiştir. Kumar ve Chald [9], balıksırtı şeklindeki oluklardan oluşan kanatçıklı yapıyı havalı güneş kolektörüne entegre ederek ısı verim yaklaşık %20 oranında artırılmıştır. Sureandhar ve ark. [7], değişken kavisli ve oluklu kanatçık düzeninin havalı güneş kolektörünün çıkış sıcaklığı ve ısı verimliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında ortalama 28°C sıcaklık farkı ortaya çıkmış ve yaklaşık %50 oranında ısı verim elde edilmiştir.

Havalı güneş kolektörlerinin performansını artırmak için kullanılan yöntemlerden biri de absorber kanalındaki akış yolunun değiştirilmesidir. Bu yöntemle, akışkanın temas alanı artırılır ve böylece yutucu plaka ile temas eden hava arasındaki ısı transferi de artırılmış olur. Tek geçişli kolektörlerde, hava enerjisinin bir kısmını üst yüzeylerde kaybederek kolektörün ısı verimini düşürmektedir. Bu sorun, çift geçişli akış kanalının tasarımıyla çözülmüştür. Çift geçişli akış ile, plakanın üzerindeki hava yutucu plakanın ısı kaybını önleyerek ısı verimi artırmaktadır. Tyagi ve ark. [10], çift geçişli havalı güneş kolektöründe 0,014-0,042 kg/s arasında değişen kütleli debiler için akış modelini deneysel olarak incelemiştir. Çift geçişli kolektör kullanımı ile %33,2 oranında ısı verim elde edilmiştir. Ayrıca, hava hızının artırılmasıyla termal verimliliğin daha da artırılabilmesi belirtilmiştir. Ferouali ve arkadaşları [11], düz plakalı, kanatçıklı ve V oluklu yutucu plakaya sahip tek geçişli ve ters akışlı çift geçişli havalı güneş kolektörlerinin termal performansını sayısal modelleme ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Ters akışlı çift geçişli kolektörde, V oluklu yutucu plaka ile düz plaka kullanılarak termal verimlilik sırasıyla %8,66 ve %1,27 oranında artırılmıştır. Kanatçık sayısının artırılmasıyla kolektör çıkış sıcaklığının yükseltilebileceği vurgulanmıştır. Koyuncu [12], mahsul kurutma uygulamaları için altı farklı tasarıma sahip havalı güneş kolektörlerinin ısı performansını incelemiştir. Araştırmada, tek plastik camlı ve düz plakalı kolektörün, çift plastik camlı kolektöre göre %9 oranında daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, kolektör üretiminde yüksek verim elde edebilmesi için kolektörün tek kapaklı ve önden geçişli tipte olması gerektiği belirtilmiştir.

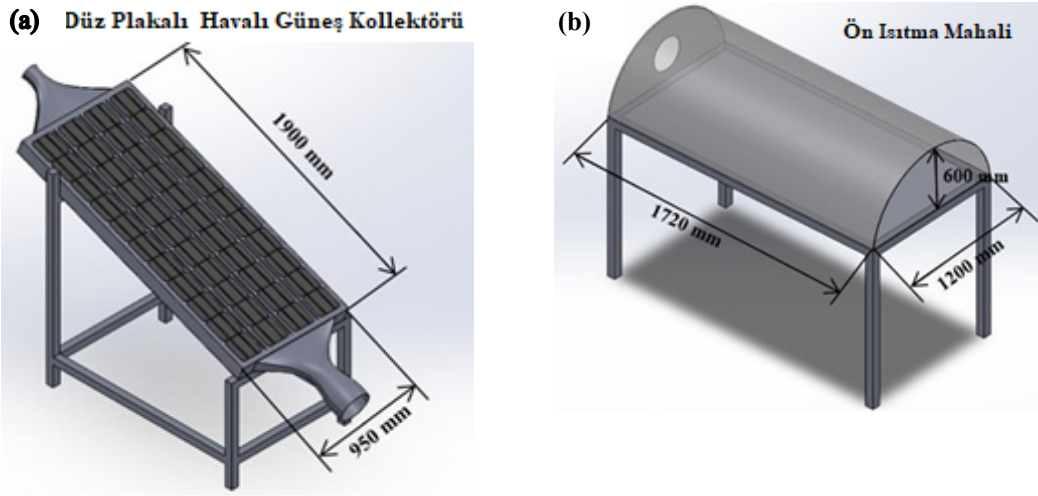
Düz plakalı havalı güneş kolektörleri, tarım ürünlerini kurutmak için uygun çalışma sıcaklığı olan 40 °C ile 70 °C aralığında sıcak hava üretebilmektedir. Düz plakalı kolektörlerin daha karmaşık yapıda olan yoğunlaştırıcı kolektörlere göre tekno-ekonomik açıdan daha uygun olması nedeniyle mahal ısıtma ve tarımsal mahsul kurutma gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, günde ortalama 6-7 saat mevcut olduğundan, kolektörlerin güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmesi için termal açıdan verimli olması gerekmektedir. Bu nedenle, kolektör tasarımlarının ve sistem uygulamalarının termal performansına yönelik olarak optimize edilerek artan enerji ihtiyacını karşılaması gerekmektedir [4, 12]. Doğan [13], kurutma uygulamalarında kullanılmak üzere yeni bir kolektör tasarlamıştır. Ön hava kurutmalı olarak tasarlanan kolektörde hava, kolektör girişinde evaporatörden geçirilerek nemli alınmıştır. Böylece nem oranı düşük ve sıcaklığı yüksek olan havanın kurutulacak olan ürünün nemini absorbe ederek daha kısa sürede kuruttuğu tespit edilmiştir. Çerçi ve Daş [14], yaptıkları çalışmada hava hızının ve ön ısıtmanın havalı güneş kolektörünün ısı performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Ön ısıtmanın kolektör verimini artırdığı, ancak artan hava hızının verimde düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda, hava ön ısıtmalı güneş kolektörlerinin enerji verimliliğini artırabileceğini göstermiştir. Alıç ve arkadaşları [15], gıda kurtumada kullanılan havalı güneş kolektörlerinin termal ve akış özelliklerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile sayısal olarak incelemiştir. Analizler üç farklı hava debisi için yapılmıştır. Böylece farklı kütleli debi ve yutucu plaka boyutlarının kolektör verimi üzerinde yarattığı etki ortaya konmuştur. Alıç ve Daş [16], hava ısıtmalı güneş kolektörlü bir gıda kurutma sistemi tasarlayarak sistemde kurutulan elma ürünü için yaş/kuru nem içerikleri ve kuruma sürelerini incelemiştir. Çalışma sonunda, ürünün 420 dakikada kuruduğu belirlenmiş ve deneysel sonuçlar sayısal analiz sonuçları ile kıyaslanarak doğrulanmıştır.

Bu deneysel çalışmada, literatürde belirtilen ısı performans artırma yöntemlerine alternatif olarak, daha basit ve ekonomik bir çözüm sunan bir sistem tasarlanmıştır. Sistemde doğal sera etkisinden yararlanılarak oluşturulan bir ön ısıtma mahallinin, kolektör çıkış havası sıcaklığına ve verimine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, sistem 10:30-17:00 saatleri arasında çalıştırılarak sıcaklık ve ışınım değerleri ölçülüp dataloggerda kaydedilmiştir. Böylece kolektörün, düşük sıcaklık uygulamaları için yeterli hava çıkış sıcaklığı sağlayarak enerji verimliliğini artırma potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu sistemin karmaşık ve maliyetli yöntemlerin aksine, özellikle kurutma uygulamaları için uygun bir çözüm olacağı düşünülmektedir.

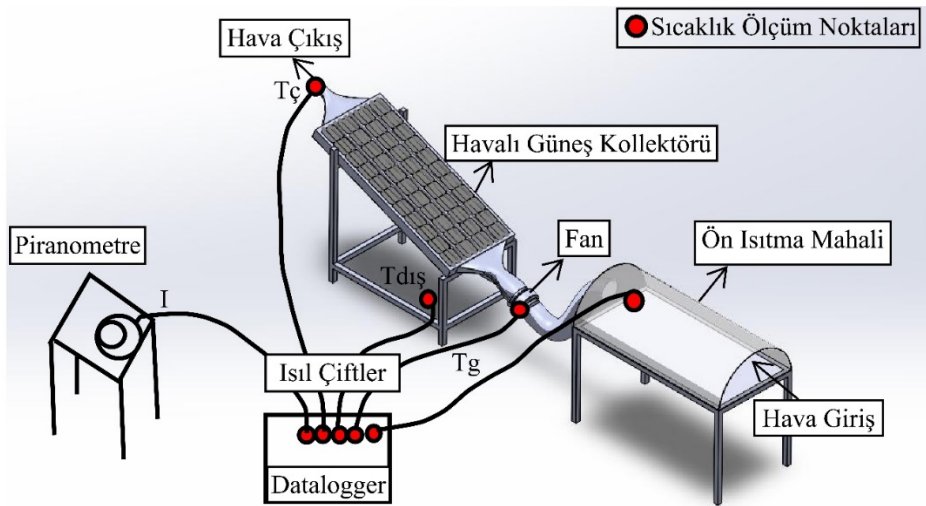
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deney seti

Deney seti, Şanlıurfa Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nün açık alan güneş enerjisi laboratuvarında (Enlem: $37^{\circ}10,087'$, Boylam: $38^{\circ}59,749'$, Rakım: 511 m) kurulmuştur. Deneysel sistem, ön ısıtma mahali, düz plakalı havalı güneş kolektörü ve bir fan dan oluşmaktadır. Kolektörde, gelen ışınımı absorbe etmek amacıyla mat siyah boyalı galvanizli sac kullanılmıştır. Metal galvanizli sacın üzerine, üst ısı kayıplarını azaltmak için 5 mm kalınlığında cam yerleştirilmiştir. Çevreye ısı kayıplarını azaltmak amacıyla kasanın alt ve yan bölgeleri, cam yünü ile yalıtılmıştır. Ön ısıtma mahali, kolektör girişine esnek bir hava kanalı aracılığıyla bağlanmıştır. Havalı güneş kolektörü, açık alanda ve bulunulan yerin enlem derecesindeki (37°) bir eğimle Güney yönüne bakacak şekilde bir platform üzerine yerleştirilmiştir. Düz plakalı havalı güneş kolektörünün ve ön ısıtma mahalinin boyutları Şekil 1'de verilmiştir. Deneysel sistem ve ölçüm noktaları şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



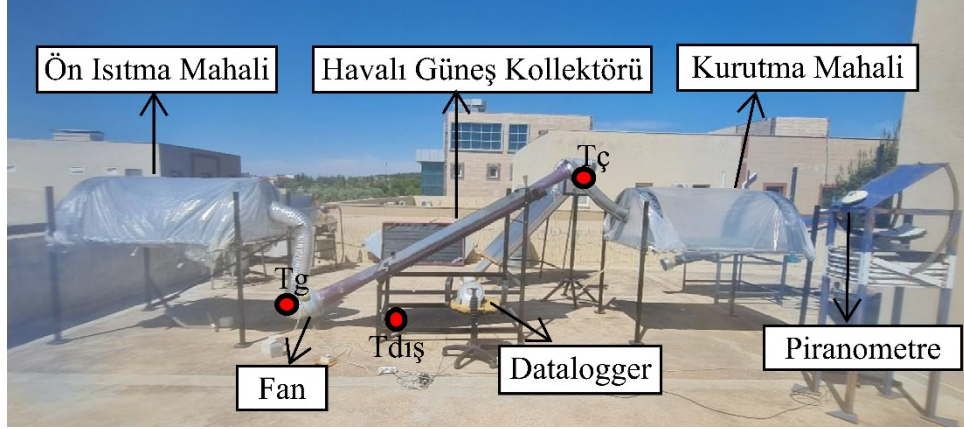
Şekil 1. Sistemin şematik resmi ve boyutları: a) düz plakalı havalı güneş kolektörü, b) ön ısıtma mahali.



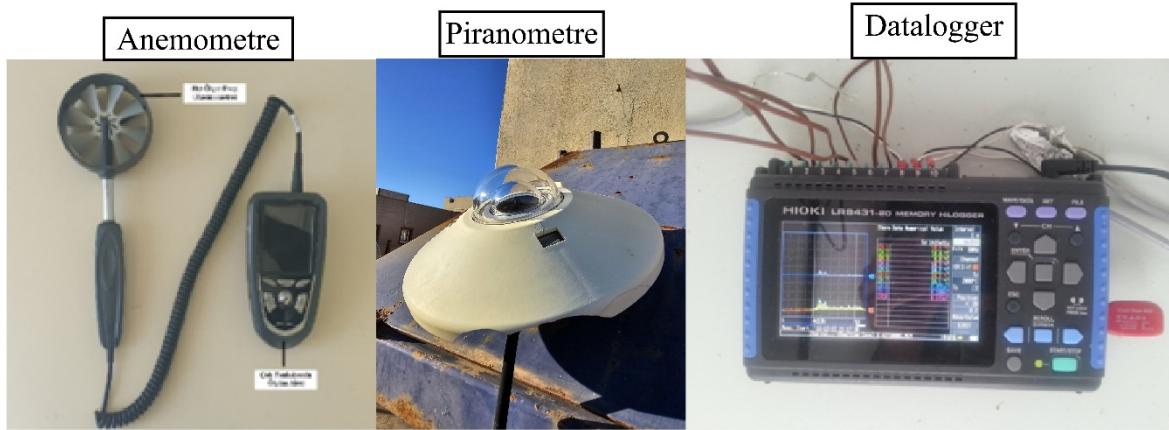
Şekil 2. Ön ısıtmalı havalı güneş kolektörünün şematik resmi ve ölçüm noktaları.

Kolektörün giriş ve çıkış sıcaklıkları ile dış hava sıcaklığı, ölçüm noktalarına yerleştirilen T tipi ısı çiftleri kullanılarak ölçülmüştür. Sistemdeki hava debisi, fan üzerindeki bir fan hız anahtarı kullanılarak değiştirilmiştir.

Hava hızı, KIMO markasına ait AMI-300 model 0,25-35 m/s hız ölçüm aralığına sahip pervane tipi bir anemometre ile kollektör çıkışında ölçülmüştür. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı ise KIPP&ZONEN markasına ait CM11 model bir piranometre ile ölçülmüştür. Tüm sıcaklık ve güneş ışınımı verileri HIOKI markasına ait LR8431-20 model, 10 kanallı dataloggerda kaydedilmiştir. Periyodik veri ölçümü, okuması ve kaydetme özelliği bulunan bu cihaz ile deneysel veriler kaydedilmiştir. Şekil 3'te deney seti, Şekil 4'te ölçüm cihazları gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney seti.



Şekil 4. Ölçüm cihazları.

Düz plakalı havalı güneş kollektörünün ısıl verimi, kollektörde kullanılan havaya aktarılan faydalı ısıl enerjinin, aynı zaman diliminde kollektör yüzeyine güneş ışınımı ile gelen ortalama ısıl enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Kollektörlerin ısıl verimi Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_c - T_g)}{IA_k} \quad (1)$$

Burada, \dot{m} (kg/s) kollektörden geçen havanın kütleli debisini, C_p (J/kg°C) havanın özgül ısısını, T_c (°C) havanın kollektörden çıkış sıcaklığını, T_g (°C) havanın kollektöre giriş sıcaklığını, I kollektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımını (W/m²) ve A_k (m²) ise kollektör yüzey alanını ifade etmektedir. Kütleli debi, Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m} = \rho VA_c \quad (2)$$

Burada ρ (kg/m^3) havanın yoğunluğunu, V (m/s) havanın çıkış hızını, A_c (m^2) ise havanın kollektörden çıkış kesit alanını ifade etmektedir.

2.2. Hata analizi

Deneylerdeki belirsizlikler, doğrudan ölçümlerden kaynaklananlar ve dolaylı türetilenler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Doğrudan ölçümler, kütleli debi, sıcaklık, basınç ve güneş ışınımının ölçümünde yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır. Dolaylı belirsizlik ise enerji ve ekserji verimliliklerindeki sapmaları içermektedir. Belirsizlik analizi kavramı Kline ve McClintock (1953) tarafından tanıtılmıştır [17]. Bu çalışmadaki belirsizlik analizi, Holman denklemi (Denklem 3) kullanılarak hesaplanmıştır [18].

$$U_F = \left[\left(\frac{\partial F}{\partial z_1} u_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z_2} u_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial z_n} u_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Deneylerden elde edilen veriler uygun araçlarla ölçülüp kaydedilmiş ve bu verilerin belirsizlikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneysel ölçümler için hata analizi.

Hata Oranı	Belirsizlik Oranı, %
Isıl Çiftler: $\pm 0,25$ °C	Kollektör Giriş Sıcaklığı = $\pm 0,5$
	Kollektör Çıkış Sıcaklığı = $\pm 0,5$
Anemometre: $\pm 0,03$ m/s	Hava Hızı = ± 1
	Kütleli Debi = $\pm 1,5$
Piranometre: ± 10 W/m ²	Güneş Işınımı = $\pm 0,5$
	Kollektör Isıl Verimi = $\pm 2,1$

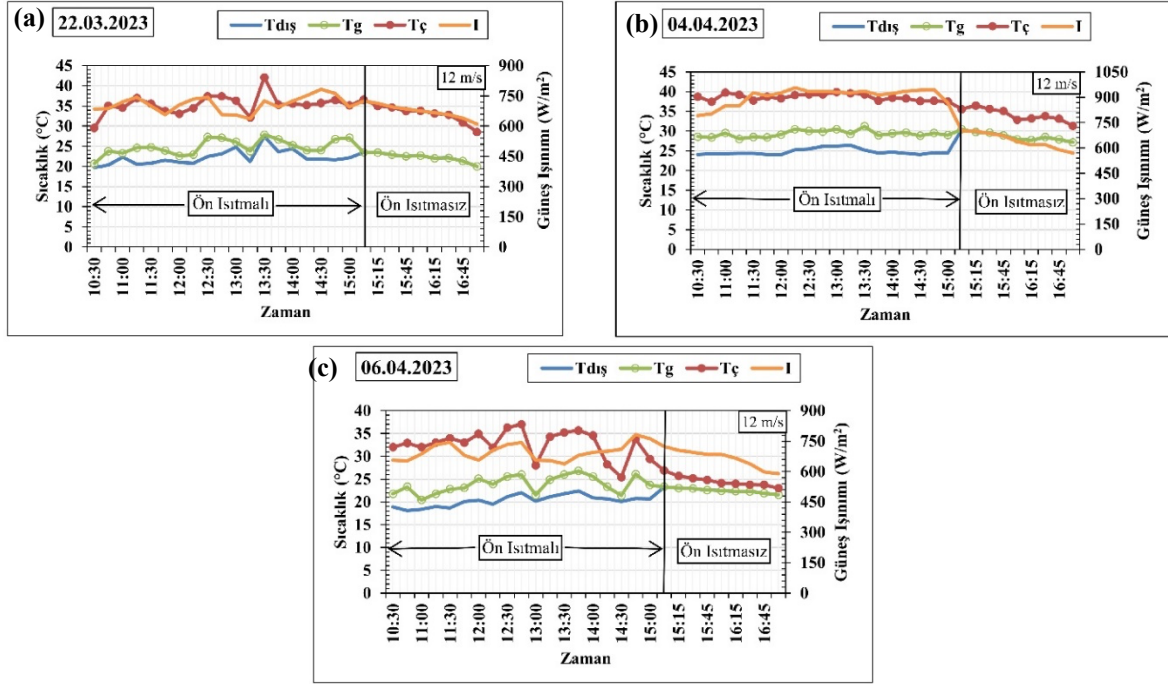
3. Bulgular ve Tartışma

Ön ısıtmanın havalı güneş kollektöründe etkisini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla Şanlıurfa’da yaz aylarına göre dış hava sıcaklıklarının çok yüksek olmadığı ve güneşlenme süresinin daha az olduğu ve Mart ve Nisan aylarında ölçümler alınmıştır. Deneyler, 12 m/s ($\dot{m}=0,254$ kg/s), 6 m/s ($\dot{m}=0,127$ kg/s) ve 3 m/s ($\dot{m}=0,063$ kg/s) olmak üzere üç farklı hava hızında (debisinde) ve her bir kütleli hava debisi için üç ayrı günde gerçekleştirilmiştir. Hava ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız deneyler aynı gün içinde ve aynı kollektör üzerinde yapılmıştır. Ön ısıtmalı deneylerde fan, saat 10:30-15:00 arasında kollektöre ön ısıtma mahalinden havayı vermiştir. Saat 15:00-17:00 arası ise aynı kollektöre doğrudan dış hava verilerek ön ısıtmasız deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. 0,254 kg/s, 0,127 kg/s ve 0,063 kg/s kütleli hava debileri için ölçülen günlük ortalama ışınım değerleri sırasıyla 717 W/m², 876,5 W/m² ve 918,3 W/m² ölçülmüştür. Her üç kütleli hava debisi için, beklendiği gibi öğle vaktinde güneş ışınımının artmasıyla kollektör çıkış sıcaklığı en yüksek değerine ulaşmıştır. Öğleden sonra ise güneş ışınımının azalmasıyla birlikte sıcaklıklar da düşmüştür.

0,254 kg/s kütleli hava debisi için dış hava sıcaklığı, havanın kollektöre giriş ve kollektörden çıkış sıcaklığı ile ışınım değerlerinin gün içinde değişimi Şekil 5’te gösterilmiştir. Şekil 5’ten güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinin her gün farklı olduğu görülmektedir. Şekil 5 (a)’da verilen 22.03.2023 tarihli ölçüm grafiğine göre, düşük ışınım şiddeti nedeniyle dış hava sıcaklığının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Deney süreci boyunca en yüksek dış hava sıcaklığı 27,5°C olarak ölçülmüştür. Ön ısıtma sonucunda, kollektör giriş havasının dış hava sıcaklığına göre ortalama 2,8°C daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düşük ışınım değerleri ve dış hava sıcaklığının düşük olması nedeniyle daha fazla bir sıcaklık farkı elde edilememiştir. Ancak, yine de dış havadan daha yüksek sıcaklıktaki havanın, kollektöre girişi sağlanmıştır. Ortalama dış hava sıcaklığının 21,7°C olduğu sırada, kollektörün ortalama çıkış sıcaklığı 34°C olarak ölçülmüştür. Bu durumda, dış hava sıcaklığına göre ortalama 12,3°C sıcaklık farkı elde edilmiştir.

Şekil 5 (b)’de verilen 04.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde, güneş ışınım değerinin ilk ölçüme göre daha yüksek olması nedeniyle daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Dış hava sıcaklığı ortalama 24,7°C iken, ön ısıtma sonucunda ortaya çıkan sıcaklık farkı ortalama 4,7°C olarak ölçülmüştür. Kollektörün ortalama çıkış sıcaklığı ise 38,4°C olarak kaydedilmiştir. Bu durumda, ön ısıtmanın etkisiyle dış hava sıcaklığına göre ortalama 13,7°C sıcaklık farkı oluşmuştur.

Son olarak, Şekil 5 (c)'de verilen 06.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde düşük güneş ışınımı nedeniyle hava sıcaklığı düşük seviyelerde bulunmaktadır. Ortalama dış hava sıcaklığı 20°C iken, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 31,1°C olarak ölçülmüştür. Böylece, ortalama 11,1°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Ön ısıtma sonucunda dış hava sıcaklığına göre yaklaşık 3,1°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Ön ısıtmasız sistemde, kollektör çıkış sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasında ortalama 6,2°C sıcaklık farkı oluşmuştur. Sonuç olarak, ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız çalıştırılan kollektörün çıkış sıcaklıkları arasında ortalama 5°C sıcaklık farkı belirlenmiştir. 0,254 kg/s kütleli hava debisi için üç farklı güne ait ölçümlerin ortalama değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan elde edilen verilere göre, ön ısıtma durumunda ortalama ısı verim %65, ön ısıtmasız durumda ise %51 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. 12 m/s hava hızı ($\dot{m} = 0,254 \text{ kg/s}$) için havalı güneş kollektöründe sıcaklık değişimi: a)22.03.2023 tarihli ölçüm, b) 04.04.2023 tarihli ölçüm, c) 06.04.2023 tarihli ölçüm.

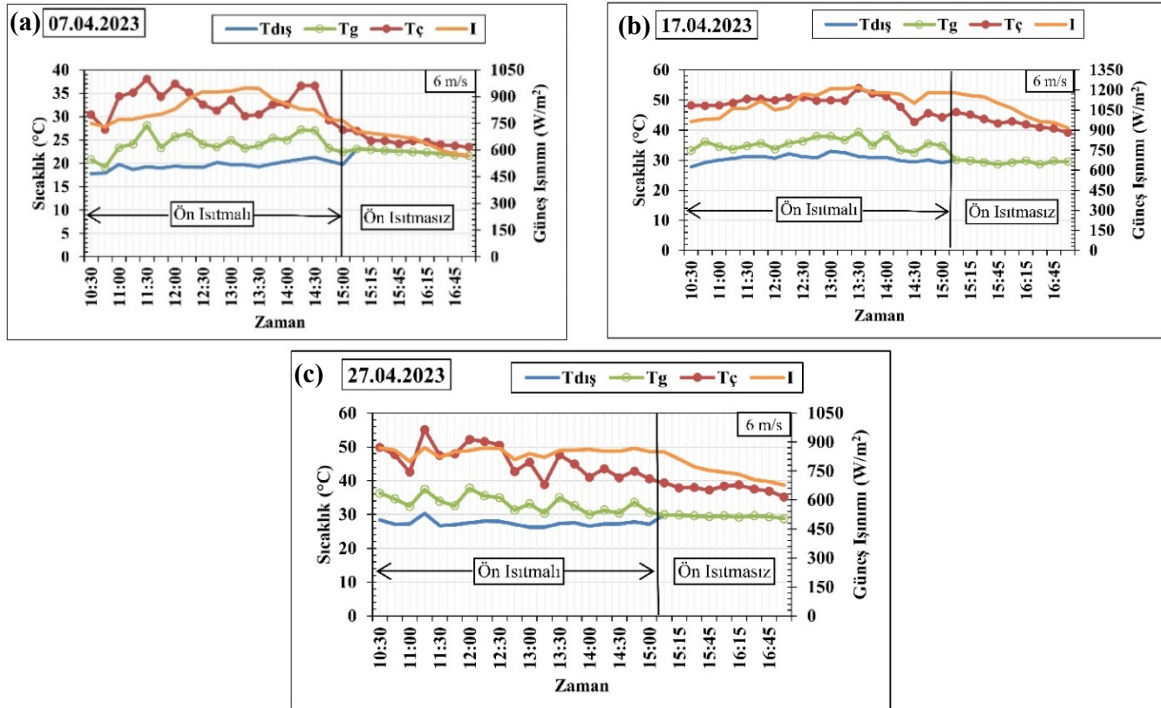
Tablo 2. 12 m/s ($\dot{m} = 0,254 \text{ kg/s}$) hava hızında havalı güneş kollektöründe elde edilen ölçümlerin ortalaması.

Ön Isıtmalı, V=12 m/s ($\dot{m} = 0,254 \text{ kg/s}$)						
Tarih	Saat	Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Kollektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kollektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]
22.03.2023	10:30-15:00	21,7	24,5	34	700	57
04.04.2023	10:30-15:00	24,7	29,4	38,4	900	75
06.04.2023	10:30-15:00	20	23,1	31,1	720	64
	Ortalama	22,1	25,7	34,5	773	65
Ön Isıtmasız, V=12 m/s ($\dot{m} = 0,254 \text{ kg/s}$)						
Tarih	Saat	Dış Hava ve Kollektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kollektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]	
22.03.2023	15:00-17:00	22,2	33,2	674	43	
04.04.2023	15:00-17:00	28,6	34,1	643	61	
06.04.2023	15:00-17:00	22,4	24,5	665	50	
	Ortalama	24,4	30,6	661	51	

Şekil 6'da 0,127 kg/s kütleli hava debisine ait sıcaklık ve güneş ışınımı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 6 (a)'da verilen 07.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde, ortalama 19,5°C dış hava sıcaklığına karşılık, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 33,6°C olmuştur. Böylece, ortalama 14,1°C sıcaklık farkı ortaya çıkmıştır. Ön ısıtma sonucunda ise dış hava sıcaklığına göre ortalama 5°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Ön ısıtmasız durumda kollektör giriş ve çıkış sıcaklık farkı 2,3°C'dir. Bu sıcaklık farkının az olması çevredeki ani rüzgâr değişimleri ve bulutlanmanın ışınım koşullarını etkilemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kollektör verimi de azalmıştır.

Şekil 6 (b)'de 17.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde, ortalama dış hava sıcaklığı 30,6°C iken, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 50,1°C olarak ölçülmüştür. Bu durumda, 19,5°C sıcaklık farkının yanı sıra en yüksek çıkış sıcaklığı da elde edilmiştir. Ön ısıtma sonucunda, kollektör giriş havasının dış hava sıcaklığına göre ortalama 4,7°C daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6 (c)'de 27.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde ise ortalama dış hava sıcaklığı 27,4°C iken, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 48,5°C olarak ölçülerek 21,1°C sıcaklık farkı oluşmuştur. Bu durum, elde edilen en yüksek sıcaklık farkıdır. Ön ısıtma sonucunda dış havaya göre yaklaşık 6°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Ön ısıtmasız sistemde, kollektör çıkış sıcaklığında dış hava sıcaklığına göre ortalama 7,8°C sıcaklık farkı ortaya çıkmıştır. Böylece, 0,127 kg/s kütleli hava debisi için ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız sistemin kollektör çıkış sıcaklıkları arasında ortalama 10,4°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Üç farklı güne ait 0,127 kg/s kütleli hava debisi için ölçüm sonuçlarının ortalamaları Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan elde edilen verilere bakıldığında ortalama ısı verimini ön ısıtmalı durumda %20 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 6 m/s ($\dot{m} = 0,127$ kg/s) hava hızında havalı güneş kollektöründeki sıcaklık değişimi: a) 07.04.2023 tarihli ölçüm, b) 17.04.2023 tarihli ölçüm, c) 27.04.2023 tarihli ölçüm.

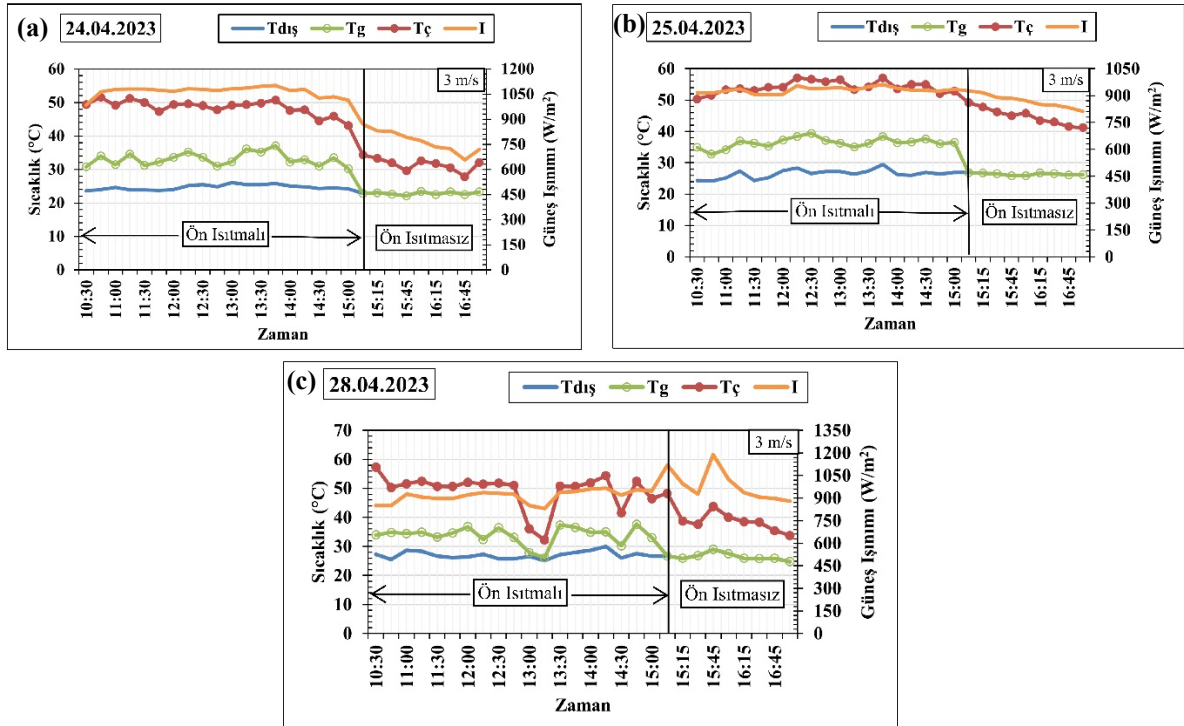
Şekil 7'de, 0,063 kg/s kütleli hava debisi için parametrelerin zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil 7 (a)'da verilen 24.04.2023 tarihli ölçüm grafiğinde, ortalama dış hava sıcaklığı 25,1°C iken, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 52,4°C olarak ölçülmüştür. Ön ısıtma sonucunda dış hava sıcaklığına göre ortalama 9°C sıcaklık farkı elde edilmiştir.

Şekil 7 (b)'de verilen 25.04.2023 tarihli ölçüm grafiğine bakıldığında, ortalama dış hava sıcaklığı 24,6°C iken, ortalama kollektör çıkış sıcaklığı 46,4°C olarak ölçülmüştür. Ön ısıtma sonucunda kollektör giriş havasının sıcaklığında dış hava sıcaklığına göre ortalama 7,6°C sıcaklık farkı elde edilmiştir.

Tablo 3. 6 m/s ($\dot{m} = 0,127$ kg/s) hava hızında havalı güneş kolektöründe elde edilen ölçümlerin ortalaması.

Ön Isıtmalı, V=6 m/s ($\dot{m} = 0,127$ kg/s)						
Tarih	Saat	Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Kolektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kolektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]
07.04.2023	10:30-15:00	20	24,4	33,6	835	77
17.04.2023	10:30-15:00	30,6	35,4	50,1	1115	84
27.04.2023	10:30-15:00	27,4	33,4	48,5	860	90
	Ortalama	26,0	31,1	44,1	937	84
Ön Isıtmasız, V=6 m/s ($\dot{m} = 0,127$ kg/s)						
Tarih	Saat	Dış Hava ve Kolektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kolektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]	
07.04.2023	15:00-17:00	22,3	24,6	645	27	
17.04.2023	15:00-17:00	29,4	42,4	1054	79	
27.04.2023	15:00-17:00	29,4	37,7	748	72	
	Ortalama	27,0	34,9	816	64	

Son olarak, Şekil 7 (c)'de verilen 28.04.2023 tarihinde yapılan ölçüm grafiğinde, ortalama dış hava sıcaklığı 27,4°C olarak belirlenmişken, ortalama kolektör çıkış sıcaklığı 51,2°C olarak ölçülmüştür. Ön ısıtma sonucunda dış havaya göre yaklaşık 6°C sıcaklık farkı elde edilmiştir. Ön ısıtmasız sistemde, kolektör çıkış sıcaklığında dış hava sıcaklığına göre ortalama 13,3°C sıcaklık farkı olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, ön ısıtmalı sistemin çıkış sıcaklığında, ön ısıtmasız sistemin çıkış sıcaklığına göre ortalama 11°C daha yüksek sıcaklık elde edilmiştir. 0,063 kg/s kütleli hava debisi için üç farklı güne ait ölçümlerin ortalaması Tablo 4'te verilmiştir. En yüksek kolektör çıkış sıcaklıkları, 0,063 kg/s kütleli hava debisinde ön ısıtmalı sistemde sağlanmıştır. Ayrıca kolektör ısıl veriminde ön ısıtmasız sisteme göre % 21 daha yüksek bir ısıl verim elde edilmiştir.

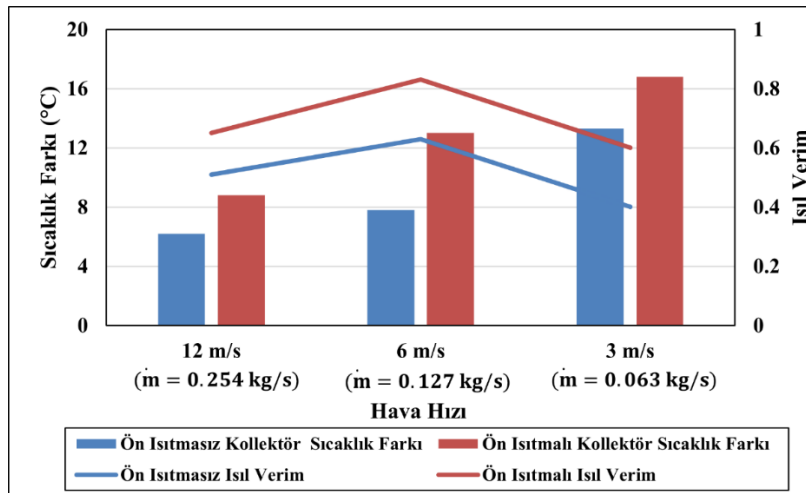
**Şekil 7.** 3 m/s ($\dot{m} = 0,063$ kg/s) hava hızında havalı güneş kolektöründeki sıcaklık değişimi: a) 24.04.2023 tarihli ölçüm, b) 25.04.2023 tarihli ölçüm, c) 28.04.2023 tarihli ölçüm.

Tablo 4. 3 m/s ($\dot{m} = 0,063$ kg/s) hava hızında havalı güneş kolektöründe elde edilen ölçümlerin ortalaması.

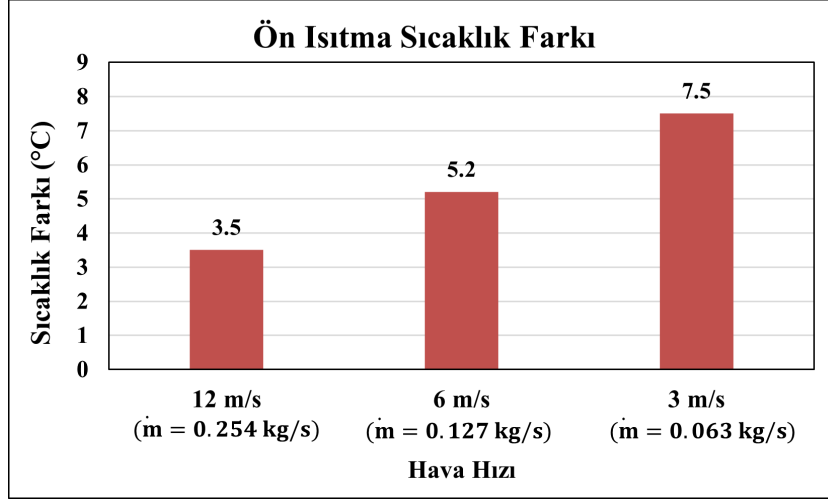
Ön Isıtmalı, V=3 m/s ($\dot{m} = 0,063$ kg/s)						
Tarih	Saat	Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Kollektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kollektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]
24.04.2023	10:30-15:00	25,1	34,1	52,4	1051	73
25.04.2023	10:30-15:00	24,6	32,2	46,4	907	56
28.04.2023	10:30-15:00	27,4	33,2	51,2	927	51
	Ortalama	25,7	33,2	50,0	962	60
Ön Isıtmasız, V=3 m/s ($\dot{m} = 0,063$ kg/s)						
Tarih	Saat	Dış Hava ve Kollektör Giriş Sıcaklığı [°C]	Kollektör Çıkış Sıcaklığı [°C]	Güneş Işınımı [W/m ²]	Isıl Verim [%]	
24.04.2023	15:00-17:00	22,8	31,5	769	40	
25.04.2023	15:00-17:00	26,3	44,7	870	37	
28.04.2023	15:00-17:00	26,4	39,4	985	41	
	Ortalama	25,2	38,5	874,7	39	

Farklı kütleli hava debileri için kolektörün ısı verimi ile kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki ortalama sıcaklık farkının değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Havanın kolektörden çıkış sıcaklığı, her kütleli hava debisi için yapılan üç günlük ölçümde öğle vakti en yüksek değerine ulaşmıştır. En yüksek sıcaklık farkı ise 0,063 kg/s, 0,127 kg/s ve 0,254 kg/s hava debisi için sırasıyla, 32,4 °C, 17,5°C ve 12,7 °C olarak belirlenmiştir. Havanın akış hızının artmasıyla birlikte sıcaklık farkının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, kolektör içindeki havanın sıcak yüzeylerle nispeten daha uzun süre temas etmesiyle açıklanabilmektedir [19, 20]. Ancak, havanın kolektör çıkış sıcaklığında meydana gelen bu azalmanın niceliksel etkisi, akış hızının bir sonucu olduğundan dolayı kolektör verimi ile orantılı olmayabilir [21].

Kütleli hava debisinin artmasıyla birlikte, ortalama kolektör veriminin de artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 0,254 kg/s, 0,127 kg/s ve 0,063 kg/s hava debisi için maksimum kolektör verimleri, ön ısıtmanın olduğu durumlarda sırasıyla %65, %84 ve %60 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü üzere, en düşük kolektör verimi en düşük kütleli hava debisinde elde edilmiştir. Bunun nedeni, kütleli hava debisinin düşük olduğu durumlarda yutucu plakanın ve kolektörden geçen hava sıcaklığının artmasıdır. Yüksek plaka sıcaklıkları nedeniyle çevreye ısı kayıpları arttığından dolayı ısı verim daha düşük çıkmaktadır. Kütleli hava debisinin yüksek olduğu durumlarda ise yutucu plakada toplanan ısı hızla havaya geçmektedir. Bu nedenle kolektörden geçen havanın sıcaklığı daha düşük olmaktadır. Böylece kolektörden çevreye ısı kaybı azalmakta ve ısı verim değeri de artmaktadır. Dolayısıyla kolektör verimini hava debisi, sıcaklık farkı ve gelen güneş ışınımı etkilediğinden optimum kütleli hava debisini seçmek ve yüksek sıcaklık farklarını elde etmek önemlidir.

**Şekil 8.** Farklı kütleli hava debisine ait ortalama sıcaklık farkı ve ısı veriminin ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız durumlar için değişimi.

Şekil 9’da, ön ısıtma sonucunda dış havaya göre meydana gelen sıcaklık farkları gösterilmiştir. En yüksek sıcaklık farkı, en düşük kütleli hava debisi olan 0,063 kg/s’de kaydedilmiştir. Ölçüm alınan günlerde, daha yüksek ışınım değerleri olduğundan dolayı doğal sera etkisi daha fazla görülmüş ve bu da ortaya çıkan sıcaklık farkını artırmıştır. Genel olarak, tüm kütleli hava debilerinde dış hava sıcaklığına göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiş ve böylece kollektöre daha yüksek sıcaklıkta hava girişi sağlanmıştır.



Şekil 9. Ön ısıtma sıcaklık farklarının hava hızına göre değişimi.

4. Sonuç

Şanlıurfa iklim koşullarında kurutma uygulamaları için tasarlanan havalı güneş kollektör sisteminde, ön ısıtma mahalinin kollektör çıkış sıcaklığı ve ısıl verim üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bahar aylarında ani sıcaklık değişimlerini minimize ederek kurutma mahalindeki sıcaklığın düşmesini önlemek amacıyla doğal sera etkisinden faydalanılan bir ön ısıtma mahalisi sisteme entegre edilmiştir. Ön ısıtmanın hava hızına göre değişen etkilerini inceleyebilmek için 12 m/s ($\dot{m}=0,254$ kg/s), 6 m/s ($\dot{m}=0,127$ kg/s) ve 3 m/s ($\dot{m}=0,063$ kg/s) olmak üzere üç farklı hava hızında (debisinde) deneyler gerçekleştirilmiştir.

Havanın kollektörden ortalama çıkış sıcaklığı 0,063 kg/s için 50°C, 0,127 kg/s için 44,1°C ve 0,254 kg/s için 34,5°C tespit edilmiştir. Düşük kütleli hava debisinde kollektörden çıkan hava daha yüksek sıcaklığa sahiptir. Bu durum, kollektörün yüksek sıcaklık istenen uygulamalarda düşük kütleli hava debilerinde çalıştırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Kütleli hava debisinin artması, havaya kazandırılan faydalı ısıl enerjiyi ve kollektör verimini artırmıştır. Kollektörde elde edilen en yüksek ısıl verim 0,127 kg/s kütleli hava debisinde %84 olarak belirlenmiştir. Ön ısıtma ile 0,063 kg/s kütleli hava debisinde dış hava sıcaklığından ortalama 7,5°C daha sıcak bir kollektöre giriş sıcaklığı oluşturulmuştur. Böylece kollektöre giriş sıcaklığı artırılmış ve daha yüksek kollektör çıkış sıcaklığı elde edilmiştir.

Kollektör verimi ve çıkış sıcaklığı göz önüne alındığında optimum kütleli hava debisi 0,127 kg/s olarak belirlenmiştir. Çalışma ile bölge ekonomisine önemli katkı yapan gıdaların daha kısa sürede ve temiz enerji kullanılarak kurutulması için ön ısıtmalı havalı güneş kollektörü ile verimli bir kurutma sisteminin kurulabileceği ortaya konmuştur.

Gelecek çalışmalarda, iki adet düz plakalı güneş kollektörü üzerinde ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız deneyler eş zamanlı olarak ve farklı mevsim koşullarında gerçekleştirilebilir. Bu sayede, sistemlerin mevsimsel performans farkları daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilebilir. Ayrıca, ön ısıtmalı havalı güneş kollektörlerinin tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki etkisi araştırılabilir. Termal performansı artırmak amacıyla, düz plakalı güneş kollektörlerine faz değiştiren malzemeler gibi enerji depolama malzemeleri entegre edilerek elde edilecek sonuçlar incelenebilir.

Kaynaklar

- [1] Konuklu Y, Ersoy O, Paksoy HÖ, Evcimen S, Çelik S, Toraman ÖY. Termal enerji depolama materyali olarak diyatomit/faz değıştiren madde kompozitlerinin üretilmesi. NÖHÜ Müh Bilim Derg, 2017; 6(1): 238-243.
- [2] Chopra K, Tyagi V, Pandey A, Sari A. Global advancement on experimental and thermal analysis of evacuated tube collector with and without heat pipe systems and possible applications. Appl Energy, 2018; 228: pp. 351-389.
- [3] Ghritlahre HK., Verma M., Parihar JS, Mondloe DS, Agrawal S. A detailed review of various types of solar air heaters performance. Sol Energy, 2022; 237: 173-195.
- [4] Pathak SK, Tyagi V, Chopra K, Kalidasan B, Pandey AK, Goel V, Saxena A, Ma Z. Energy, exergy, economic and environmental analyses of solar air heating systems with and without thermal energy storage for sustainable development: A systematic review. J Energy Storage, 2023; 59: 106521.
- [5] Oğuz M, Akkurt Ş. Kayseri ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli. NÖHÜ Müh Bilim Derg, 2017; 6(2): 362-374.
- [6] Sharma SL, Debbarna A. A review on thermal performance and heat transfer augmentation in solar air heater. Int J Sustainable Energy, 2022; 41(11): 1973-2019.
- [7] Sureandhar G, Srinivasan G, Muthukumar P, Senthilmurugan S. Investigation of thermal performance in a solar air heater having variable arc ribbed fin configuration. Sustainable Energy Technol Assess, 2022; 52: 102069.
- [8] Chabane F, Moumami N, Benramache S. Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. J Adv Res, 2014; 5(2): 183-192
- [9] Kumar R, Chand P. Performance enhancement of solar air heater using herringbone corrugated fins. Energy, 2017; 127: 271-279.
- [10] Tyagi R, Ranjan R, Kishore K. Performance studies on flat plate solar air heater subjected to various flow patterns. Appl Sol Energy, 2014; 50: 98-102.
- [11] El Ferouali H, Zoukit A, Salhi I, El Kilali T, Doubabi S, Abdenouri N. Thermal efficiency and exergy enhancement of solar air heaters, comparative study and experimental investigation. J Renewable Sustainable Energy, 2018; 10(4).
- [12] Koyuncu T. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. Renewable Energy, 2006; 31(7): 1073-1088.
- [13] Doğan, H. Kurutmada kullanılan hava ısıtma kollektörlerinin deneysel karşılaştırılması. Teknoloji, 2001;4.
- [14] Çerçi, KN, Daş M. Modeling of heat transfer coefficient in solar greenhouse type drying systems. Sustainability, 2019; 11(18): 5127.
- [15] Alıç, E., Daş, M, Kavak Akpınar, E. Numerical investigation of thermal efficiency of solar air heater at different flow rates. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 2023; 38(1): 617-628.
- [16] Alıç, E, Daş M. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde ürün nem oranının hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019; 22: 78-87.
- [17] Kline SJ. Describing uncertainties in single-sample experiments. Mech Eng, 1983; 75: 3-8.
- [18] Holman JP. Experimental methods for engineers eighth edition, 2021.
- [19] Li S, Wang H, Meng X, Wei X. Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes. Appl Therm Eng, 2017; 114: 639-644.
- [20] Kurtbas I, Durmuş A. Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater. Renewable Energy, 2004; 29(9): 1489-1501.
- [21] Debnath S, Das B, Randive P, Pandey K. Performance analysis of solar air collector in the climatic condition of North Eastern India. Energy, 2018; 165: 281-298.