

YENİ NESİL HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ
STATE-OF-THE-ART STUDİES OF SOLAR AIR COLLECTORS

Öğr. Gör. İbrahim SANCAR

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri
Bölümü, Adıyaman, isancar@adiyaman.edu.tr
(Sorumlu Yazar)

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmanbey
Kampüsü, Şanlıurfa, hbulut@harran.edu.tr

ÖZET

Küresel ısınma ve enerji ihtiyacı gibi temel sorunların çözümleri arasında güneş enerjisinin kullanımı şüphesiz önemlidir. Güneş ışıınının ısı enerjisine dönüşümü, sıvılı ve havalı güneş kollektörleri ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla güneş kollektörleri güneş enerjisi teknolojilerinde, binaların ısıtılması veya soğutulması, gıdaların kurutulması ve sıcak su üretimi gibi uygulamalarda kullanılan temel elemanlardır. Son zamanlarda yapılan akademik çalışmalar, genellikle güneş kollektörlerin yapıları, farklı bağlantı ve akış şekilleri ve faz değişim malzemeleri ile beraber kullanımı üzerine odaklanmıştır. Yapılan çalışmalarda güneş kollektörlerinin geometrisi, bağlantı şekli ve hava akış hızlarının ısı verimi doğrudan etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada, son zamanlarda öne çıkan havalı güneş kollektör çeşitleri, yapıları, farklı bağlantı ve akış şekilleri ve faz değişim materyalleri (PCM) ile beraber kullanımları üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Anahtar KELİMELEER: Havalı Güneş Kollektörü, PV/T, Isıl Verim, Isı Depolama, PCM

ABSTRACT

Among the solutions to problems such as global warming and increasing energy demand, the use of solar energy is undoubtedly important. The conversion of solar radiation to heat energy is provided by solar water collectors or solar air collectors. So, solar collectors are the basic elements used in solar energy technologies such as heating or cooling buildings, drying food and producing hot water. Recent academic studies have generally focused on the structure of solar collectors, their different connection and flow patterns, and their use with phase change materials. The studies have shown that the solar collectors' geometry, connection type and air flow rates directly affect the thermal efficiency. In this study, the recent studies on the types of solar collectors, their structures, different connection and flow patterns and their use with phase change materials (PCM) are summarized. It is seen that air solar collectors, which are not very common compared to liquid collectors, have high technological and usage potential and contribute to solar energy technologies.

KEYWORDS: Solar air collectors, PV/T, Thermal efficiency, Thermal Energy Storage, PCM

1. GİRİŞ

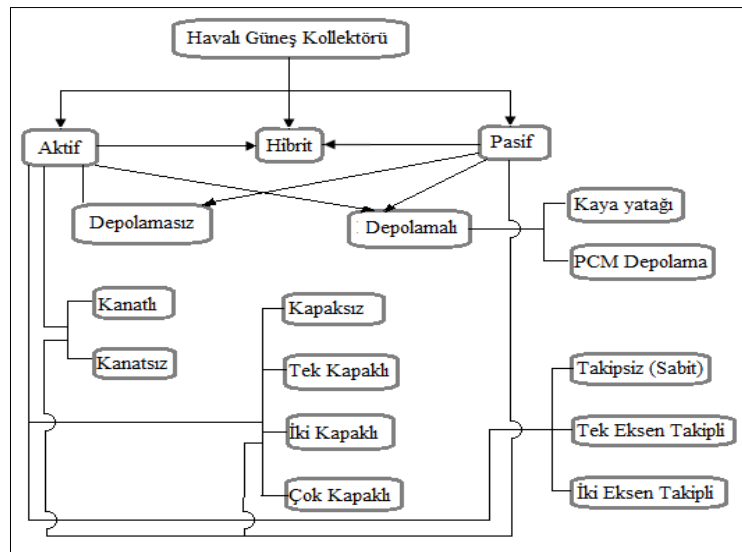
En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, geniş bir uygulama alanına sahiptir ve üzerine çok çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri, son yıllarda önemli ölçüde gelişme sergilemiştir. Enerji kaynakları ve enerji ihtiyaçları arasındaki giderek artan uçuruma işaret eden yeni projeler çevreci uygun enerji teknolojilerini teşvik etmektedir. Çünkü alternatif enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en önemli ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak geleneksel enerji kaynakları ve çevrenin korunmasına karşı sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Dolayısıyla güneş enerjisi tabanlı sistemler ekosistemdeki dengeyi koruyacak ölçüde enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayabilmektedir. Fakat güneş enerjisi teknolojilerinin

uygulanabilirliği, büyük ölçüde verimlilik, maliyet etkinliği, güvenilirlik ve erişilebilirlik gibi faktörlere bağlıdır [1,2].

Termal güneş kolektörleri, güneş ışınımını yutarak, kolektör içindeki su, hava ve soğutucu akışkana ileterek ısı enerjisiye dönüştüren güneş enerji sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Genel olarak binaların havasının ısıtılmasında ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılırlar [3]. Güneş kolektörleri üzerine yapılan çalışmalar; genellikle kolektörlerin yapıları, bağlantı şekilleri, kolektör içindeki akışkanın akış şekli, PV ve termal kolektörlerin kombinasyonu olan hibrit kolektörler ve buharlaşma gizli ısısından faydalanma amacıyla faz değişimli malzeme kullanılan güneş kolektörleri üzerine olmuştur.

Düz plakalı havalı güneş kolektörleri mahal ısıtmasında düşük derecedeki enerji uygulamalarında güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ve yaygın olarak kullanılan ısı değiştiricileridir. Havalı güneş kolektörleri düşük ve orta sıcaklık gerektiren uygulamalar olarak mahal ısıtma, tekstil, deniz ürünleri, güneş enerjili su arıtma, ürün kurutma gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır [4-6]. Havalı güneş kolektörleri donma ve sızıntı tehlikesinin olmamasından dolayı sulu kolektörlere göre birçok avantaja sahiptir. Havalı güneş kolektörlerini şekil ve deneysel bir yapıya uygun olarak sınıflandırmak kolay bir iş değildir.

Ekechukwu ve Norton [7], kurutma için çok çeşitli havalı güneş kolektörlerinin farklı tasarımları, imalatı ve çalışma prensipleri hakkında ayrıntılı bir inceleme yapmıştır. Havalı güneş kolektörleri aktif, pasif ve hibrit moda dayalı olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1'de havalı güneş kolektörleri izleme eksenlerine, enerji depolamalarına, genişletilmiş yüzeylerine ve örtü sayılarına göre ve sınıflandırılması gösterilmiştir [8].

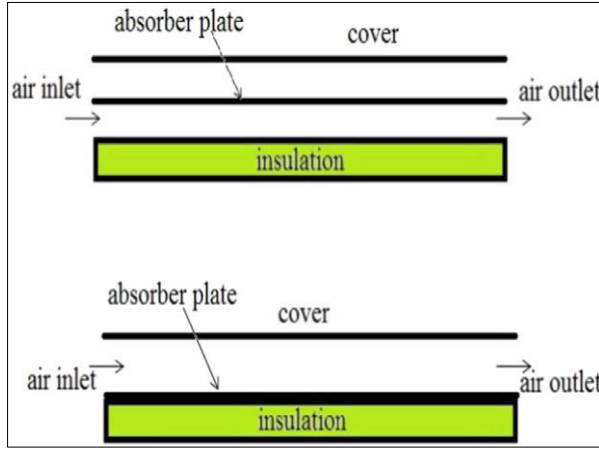


Şekil 1. Havalı güneş kolektörlerinin sınıflandırılması [8].

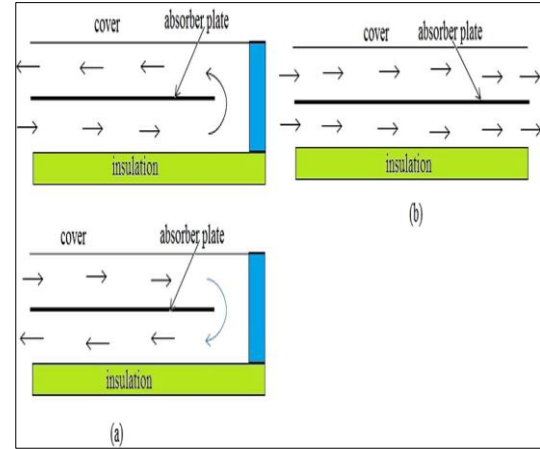
Aktif olmayan güneş enerjili hava ısıtma sistemlerinde, farklı yerlerde sıcak hava üretilmekte ve son kullanıma yönlendirilmektedir. Isı depolama malzemeleri, gece boyunca sıcak hava üretmek için aktif havalı güneş kolektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan pasif havalı güneş kolektörleri genellikle gündüz kullanılır. Zorlamalı hava akışının sonucu olarak aktif güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı daha kolaydır, ancak pasif sistemlere kıyasla üretimi daha pahalıdır.

Bir başka açıdan bakıldığında, havalı güneş kolektörleri, tek geçişli ve çift geçişli olarak hava geçişlerinin sayısına göre, ısı depolamalı veya depolamasız olarak sınıflandırılabilir [8–10].

Tek geçişli hava kollektöründe hava, Şekil 2' de gösterildiği gibi, emici plakanın üstünden ya da altından geçmektedir. Havanın emici plakanın hem üstünden hem altından ters veya paralel bir şekilde çift geçişi Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 2. Tek geçişli hava kollektörü şematik görünümü



Şekil 3. a- ters akış, b- paralel akış

Havalı güneş kollektörleri ağırlıklı olarak hava kanalı ve emme plakasından oluşur. Hem alt hem de yan duvarlardaki ısı kayıplarını azaltmak için, düşük ısıl iletkenliğe sahip ısı yalıtımı kullanılır. Isıtıcının üst tarafı yüksek geçirgenliğe ve düşük emiciliğe sahip bir cam kapak ile kaplanır. Tek veya çift cam kapak kullanılabilir. Birçok araştırmacı, havalı güneş kollektörlerin ana bileşenlerinde yapılabilecek değişikliklerin etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmıştır. Havalı güneş kollektörleri alanında birçok derleme yayın vardır. Bu çalışmanın amacı; havalı güneş kollektörleri alanında yapılan çalışmaları bir araya getirmek, uygun uygulama alanları sunmak, havalı güneş kollektörlerinin performansını artırmak için tasarım ve gelişimi konusunda uygun parametreleri sunmaktır.

2. KOLLEKTÖR VERİMİNİ ARTTIRMAK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Birçok çalışmada, havalı güneş kollektörlerinin performansının iyileştirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Kollektörlerin performansını arttırmak için kanatçık kullanımı ve ısı depolama malzemeleri kullanma gibi çeşitli yol ve yöntemler kullanılabileceği önerilmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün artırılması kollektör performansı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Havalı güneş kollektörlerin performansının iyileştirilmesi ile ilgili tek ya da çift hava geçişli, paralel ve ters akışlı kollektörler üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Havalı güneş kollektörlerin emici plakası üzerinde yapılan çeşitli konfigürasyonlar ve geometriler de kollektör verimini arttırdığı görülmüştür. Havalı güneş kollektörlerinin performansının iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar; yapısına göre (düz, kanatçıklı), yutucu plakaya göre (düz, V oluklu, Çapraz oluklu), kullanım alanına göre (ısıtma, kurutma, su arıtma), kollektör eklentisine göre (Duyulur ısı depolamalı, Gizli ısı depolamalı), hava akış şekline göre (paralel akış, ters akış, tek geçiş, çift geçiş, jet çarpalı akış) ve hibrit kollektörler (sulu-havalı-Bifacial PV/T) sınıflandırılabilir.

2.1. YAPISINA GÖRE DÜZ VE KANATÇIKLI KOLLEKTÖRLER

Kanatçık kullanmanın temel amacı, ısı transferinin alanını arttırmak ve böylece kollektör verimliliğini arttırmaktır. Bu nedenle birçok araştırmacı kanat yüksekliği, kanat sayısı ve kanat düzeninin kollektör performansı üzerine etkisini deneysel veya teorik olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalarda Boyuna ve enine kanatçıkların yanısıra şaşırtma plakaları da kullanılmıştır.

Mohammadi ve Sabzpooshani [11], tek geçişli kanatçıklı ve şaşırtmalı havalı güneş kollektörlerinin parametrik çalışmasına odaklı bir araştırma yaptılar. Bu çalışmada kütleli debi ve güneş radyasyon yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Basit hava kollektörleri ile karşılaştırıldığında; kanatçık ve saptırma plakalarının takılması sonucu çıkış sıcaklığı, faydalı enerji ve verim artmıştır. Hava debisinin artırılması çıkış sıcaklığını keskin bir şekilde azaltmıştır. Ayrıca, hava akış hızı 0.03 kg/s'nin üzerine çıktığında, kanatçıklar ve saptırma parametrelerinin artırılması, çıkış sıcaklığı üzerinde hafif bir etkiye sahiptir. Sonuçlar ayrıca, kanatçık ve şaşırtma plakalarının genişliğinin artırılması ve aralarındaki mesafenin azaltılmasının kollektör performansını artırdığını ancak ihtiyaç duyulan fan gücünü de artırdığını göstermiştir. Özellikle şaşırtma bölümü genişliği, daha büyük hava akış hızlarında çok önemli bir parametredir ve yüksek basınç düşüşü nedeniyle dikkatle seçilmelidir. Tüm hava akış hızı için en uygun kanat ve şaşırtma parametreleri belirlenememiştir ancak her bir akış hızı için değerlendirilebileceği görülmüştür.

2.2. YUTUCU PLAKAYA GÖRE KOLLEKTÖRLER

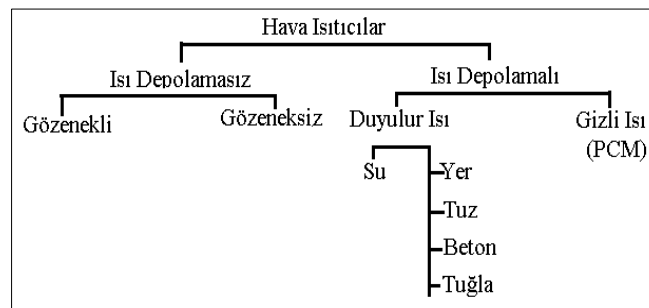
El-Sebaai ve ark. [12] hava debisinin basınç düşüşü üzerine etkisini deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlar, çift geçişli v-oluklu kollektörün, çift geçişli, düz plakalı ve kanatçıklı kollektörden % 9.3-11.9 oranında daha verimli olduğunu göstermiştir.

2.3. KULLANIM ALANLARINA GÖRE KOLLEKTÖRLER

Havalı güneş kollektörleri, mahal ısıtma, kurutma ve su arıtma prosesi gibi birçok uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır. Havalı güneş kollektörleri temelde yutucu plaka, cam kapak, ısı yalıtımı, basit bir hava kanalı ve fandan oluşmaktadır.

2.4. EKLENTİYE GÖRE KOLLEKTÖRLER

Havalı Güneş kollektörleri eklentiye göre ısı depolamalı ve ısı depolamasız olarak sınıflandırılabilir [9]. Isı Depolama malzemeleri duyulur ve gizli Isı depolama malzemeleri olarak da kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. Genellikle duyulur ısı malzemeleri olarak kollektör yutucu plakasından havaya ısı iletimini arttırmak için Yutucu plaka eklentileri, kaplamalar ve dolgu yatakları kullanılmıştır. Ayrıca suya ve ya belirli bir hacim içerisinde toprak, tuz, beton ve kaya gibi materyallere doğrudan ısı depolanabilir. Gizli Isı depolama malzemesi olarak da faz değişimli malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 4. Isı depolama malzemeli ve depolamasız havalı güneş kollektörlerinin sınıflandırılması.

2.4.1. DUYULUR ISI DEPOLAMALI MALZEMELERİN KULLANIMI

Yapay engeller, türbülanslı akış gerektiren ısı transfer yüzeyinde ısı transferinin artırılması için yaygın olarak kullanılmıştır. Bu nedenle ısı transferini artırmak ve kollektörlerin termohidrolik performansını artırmak için yapay engeller kullanılmaktadır. Zorlanmış taşınım ısı transferinde, bir fan enerjisi gerektirdiğinden, güç gereksinimini azaltmak için türbülansın ısı transfer yüzeyine yakın gerçekleşmesi tercih edilir. Bu, engel yüksekliğinin hava kanalı boyutlarına göre küçük tutulmasıyla elde edilebilir. İki boyutlu engeller veya enine, eğimli boşluklu veya sürekli V şekilli üç boyutlu elemanlar olabilir, Elemanlar ayrıca yay şeklinde tel

veya oyuk, çukur veya bileşik oluklu kaburga şeklinde de olabilir. Kare şekilli engeller daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Pürüzlülük performansını incelemek için yarı dairesel, dairesel ve yivli gibi farklı şekiller de kullanılabilir [13].

Gupta ve Kaushik [14], engelsiz kollektöre kıyasla emici yutucu plaka üzerinde serilmiş metal ağ ile entegre engellendirilmiş bir havalı güneş kollektörü üzerine bir çalışma gerçekleştirdiler. Çalışma, çeşitli Reynolds sayıları (Re) ve serilmiş metal ağ pürüzlülük parametrelerinde enerji artış oranı (EAR), etkin enerji artırımı (EEAR) ve ekserji artışı (EXAR) açısından kollektör performansını değerlendirmek için yapılmıştır. Arttırım oranları, kanaldaki metal ağ tipi pürüzlü geometrilerin kullanılması sonucunda geliştirilmiştir. EAR ve EEAR tabanlı kriterlere göre büyük bir Re değerine kadar engel geometrilerin kullanılması önerilmektedir. Sonuçlar, e/D ' nin artmasının düşük Re sayılarında EXAR'ın arttığını göstermiştir.

Peng ve ark. [15] yutucu plakaya entegre iğne kanatçıklı yeni bir havalı güneş kollektörünün ısı verimliliğini araştırmışlardır. Sonuçlar, hem iğne-kanatlı kollektörde hem de düz plakalı kollektörde $19 \text{ m}^3/\text{h}$ hava debisi altındaki değerlerde uygun ısı iletim katsayılarının elde edildiğini ve PZ3-11.25 tipi iğne kanatlı kollektörde ısı transfer katsayısının düz plakalıdan 3 kat daha fazla olabildiğini göstermiştir. Ayrıca, yirmi beş çeşit pin-fin kollektörün ortalama ısı verimi 0,5–0,74 aralığında olmuştur. Boyutsuz pin-fin aralığı ve boyutsuz pin-fin yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak maksimum termal verimi elde etmek için korelasyon denklemi kullanılmıştır. Ayrıca, ısı transfer katsayısını elde etmek için korelasyon denklemi kullanılmıştır.

2.4.2. GİZLİ ISI DEPOLAMA MALZEMELERİNİN KULLANIMI

Enerji depolanması, enerji sistemlerinde enerji dönüşümlerindeki rolüne ek olarak performansını da geliştirmektedir. Güneş enerjisi gibi bazı enerji kaynakları sürekli değildir. Güneş enerjisi gece ve gündüz arasında yüksek sıcaklık farkına sahiptir. Bu yüzden özellikle havalı güneş kollektörleri enerji depolama sistemleri ile entegreli kullanılmaktadır. Enerji depolama sistemleri ayrıca enerji depolanması için ihtiyaç duyulan alandan tasarruf sağlamaktadır.

En çok kullanılan ısı depolama malzemeleri PCM (faz değişimli malzemeler)' lerdir. PCM, sabit erime sıcaklığında enerji depolamak için eriyerek ısıyı depolayan ve erime sıcaklığının altında tekrar ısı yeniden elde edilen katı bir malzemedir. Bu nedenle PCM' ler, güneşli günlerde, bulutlanana kadar ya da gün batımına kadar ısı depolamak için kullanılır. En çok kullanılan PCM' ler sulandırılmış tuzlar (kalsiyum klorür sodyum sülfat gibi), parafinler ve yağ asitleridir.

2.5. HAVA AKIŞINA GÖRE KOLLEKTÖRLER

2.5.1. HAVA GEÇİŞ SAYISI VE GEÇİŞ ŞEKLİNİN ETKİSİ

El-Sebaai ve ark. [12] çift geçişli havalı güneş kollektörleri için bir deney seti imal etmişler ve delikli plakalı güneş kollektörleri ile V-oluklu güneş kollektörlerini karşılaştırmışlardır.

Mishra ve Shrivastava [16] çalışmalarında tek camlı üç yutucu plakalı, çift geçişli bir kollektör ile tek camlı iki yutucu plakalı ve tek geçişli bir kollektör tasarlayıp aynı atmosferik ortamda karşılaştırma yapmışlardır. Çift geçişli kollektörlerde ısı verimin daha yüksek olduğunu, her iki tip kollektörde de taşımından dolayı ısı kayıplarının olduğunu bunu önlemek için kollektörde vakum oluşturulması gerektiğini vurgulamışlardır. Tek camlı üç yutucu plakalı çift geçişli kollektör dört bölümden oluşmaktadır. Cam yüzey ile 1. yutucu plaka arasındaki birinci bölümde kayıpları azaltmak için vakum oluşturulmuştur. Birinci ve ikinci plaka arasındaki

ikinci bölüm ile ikinci ve üçüncü plaka arasındaki üçüncü bölümden hava geçirilmiştir. Dördüncü bölüm ise ısı depolama malzemesi için kullanılmıştır. Benzer şekilde tek geçişli kollektör ise üç bölümden oluşturulmuştur. Ancak hava akışı sadece ikinci bölümden sağlanmıştır.

2.5.2. JET ÇARPMALI AKIŞIN ETKİSİ

Havalı güneş kollektörlerinin termal verimi, havanın ısı kapasitesinin azlığı nedeni ile nedeni ile düşük çıkmaktadır. Termal verim gelen güneş ışıını, yutucu plakadan ısı kaybı, hava ile yutucu plaka arasında ısı iletim katsayısı gibi parametrelere bağlıdır. Kollektöre gelen güneş ışıının yoğunluğunun artması ve kollektörden ısı kayıplarının azaltılması ile havalı güneş kollektörlerinin termal verimi arttırılabilir. Isı iletim katsayısını arttırmak için hava akış kanalı geliştirilebilir.

2.6. HİBRİT KOLLEKTÖRLER

Son yıllarda, kullanılan akışkan türüne göre sulu veya havalı kollektörler ile fotovoltaiik kollektörlerin kombinasyonundan oluşan Hibrit kollektörler üzerine birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır.

Tablo 1' de hava geçiş şekli ve yapısına göre havalı güneş kollektörlerin verimini arttırmak için son zamanlarda yapısal teorik ve deneysel araştırmaların bir kısmı listelenmiştir. Tablo 2' de düz yutucu plakalı sulu/havalı PV/T kollektörlerin verimini arttırmak için son zamanlarda yapılan teorik ve deneysel araştırmaların bir kısmı listelenmiştir. Tablo.3' de son zamanlarda havalı güneş kollektörlerinin performansının iyileştirilmesi için uygulanan yapısal değişiklikler, kullanım alanları ve kollektör eklentilerine göre yapılan çalışmalara ait kesit ve şematik görünüm vermiştir.

Tablo 1. hava geçiş şekli ve yapısına göre havalı güneş kollektörlerin verimini arttırmak için yapılan teorik ve deneysel araştırmalar

Referans	Hava Akış Şekli	Cam Örtü Sayısı	Hava Kanalı Ve Yutucu Plaka Modifikasyonu	Akışkan	Sonuç
1. Kanatçıklı, Bölmeli ve V Şekilli Kanatçık Kullanılan Çalışmalar					
Chabane ve ark. [17]	tek geçiş	tek cam	Boyuna yarı silindirik kanatçıklı	hava	0.012 kg / sn debide kanatçıklı ve kanatçıksız kollektörde ısı verim maksimum sırayla %40.02 ve % 51.50 olmuştur. 0.016 kg/sn debide ise ısı verim sırayla %34.92 ve %43.94 olmuştur
El-Sebaai ve ark. [12]	çift geçiş	çift cam	Boyuna ve v oluklu	hava	Çift geçişli v-oluklu kollektörün, çift geçişli, düz plakalı ve kanatçıklı kollektörden % 9.3-11.9 oranında daha verimli olduğu görülmüştür.
Yeh [18]		çift cam	İç geri dönüşümlü kanatçıklar	hava	Yüksek giriş havası sıcaklığı ile daha düşük hava debisinde kollektör verimliliğinin arttığını göstermiştir. İç geri dönüşümlü performans, aynı büyüklükteki bir cihazda dış geri dönüşümlü çalıştırılmasından daha üstün olmuştur. Ancak çalışmada, kanat sayısı, kanat yüksekliği ve kanatçık düzeninin etkileri dikkate alınmamıştır.

Alta ve ark. [19]	tek geçiş	tek ve çift cam	kanatçıklı	hava	Kanatçıklı kollektörlerin ısı verimliliğinin, dönüşüm olmadığından kanatsız hava kollektöründen daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, daha şeffaf kapak ve kanatçık kullanıldığında sıcaklık farkı artmıştır. Artan hava debisi, kollektör veriminin artmasına ve hava sıcaklık farkının azalmasına yol açmıştır
Bayraka ve ark. [20]	tek geçiş	tek cam	bölmeli	hava	En yüksek havalı güneş kollektörün verimi ve hava sıcaklığı 6mm kanal derinliğinde ve 0,025kg/s debide gerçekleşirken en düşük performans 0.016 kg/s debide bölmesiz kollektörde gerçekleşmiştir.
Ho ve ark. [21]	çift geçiş	çift cam	Paslanmaz çelik kanatçıklı, dış geri dönüşüm	hava	Havalı güneş kollektörlerin performansları, tek geçişli, geri dönüşlü çift geçişli, geri dönüşlü kanatçıklı çift geçişli ve geri dönüşlü, kanatçıklı şaşırtmalı çift geçişli kolektörlerde karşılaştırılmıştır. Hem teorik hem de deneysel sonuçlar, geri dönüşlü, kanatçıklı şaşırtmalı çift geçişli şekilde tasarlanmış kollektör veriminin, farklı debilerde diğer tasarımlardan çok daha yüksek olduğunu göstermiştir.
Dhiman ve ark. [22]	çift geçiş	çift cam	Aluminyum hasırlı	hava	Ters akışlı havalı güneş kollektörün verimi paralel akışlıdan %11-17 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
Kumar ve Rosen [23]	çift geçiş	tek cam	kanatçıklı	hava	Genişletilmiş kanatçık alanı hücre sıcaklığını 82 ° C'den 66 ° C'ye düşürmüştür. Kanatların eklenmesi elektriksel ve ısı verimleri sırasıyla % 10,5 ve % 15,5'e yükselmiştir.
2. Engelli Plakalı Kollektörler Üzerine Çalışmalar					
Peng ve ark. [15]	tek geçiş	tek cam	metal kanatçıklı		Yirmi beş çeşit iğne kanatlı yutucu yüzeyli kollektörün ortalama verimi 0.5-0.74'e ulaşmıştır.
Jain ve ark. [24]	çift geçiş	-	pürüzlü yüzeyli		Re = 3000'de,% 80 kapsama sahip 4,8 mm atış kullanarak pürüzlülüğü olan plaka % 64,24 ısı verim verirken, pürüzsüz plaka % 43,04 vermiştir.
Akpınar ve Koçyiğit [25]	tek geçiş	tek cam	engelli		En yksek kollektör verimi ve sıcaklık artışı yaprak engelli kollektörde (Tip II) elde edilirken en düşük verimüz plakalı kollektörde (Tip IV) elde edilmiştir.
Yadav ve Bhagoria [26]	tek geçiş	tek cam	eşkenar üçgen kesitli kaburga pürüzlülüğü		0.042 göreceli pürüzlülük yüksekliği ve 7.14 göreceli pürüzlülük aralığı için, maksimum Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü artışı Re, 15.000 ve 3800'de gerçekleşmiştir.
Momin ve ark. [27]	tek geçiş		v-şekilli bakır pürüzlü		V-şekilli kanatların kanatların kullanımı, Nusselt sayısında düz

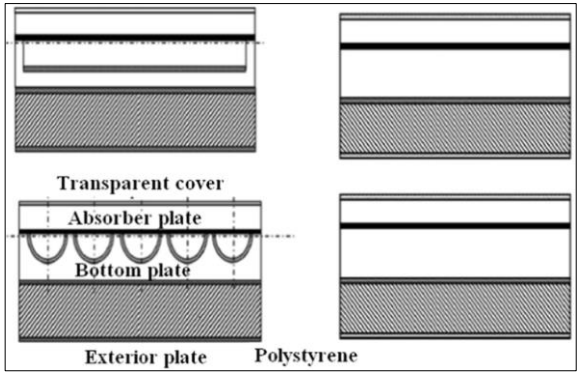
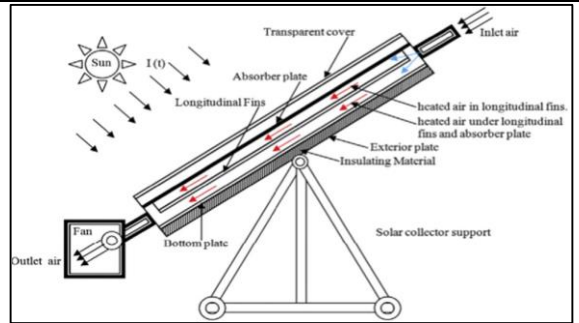
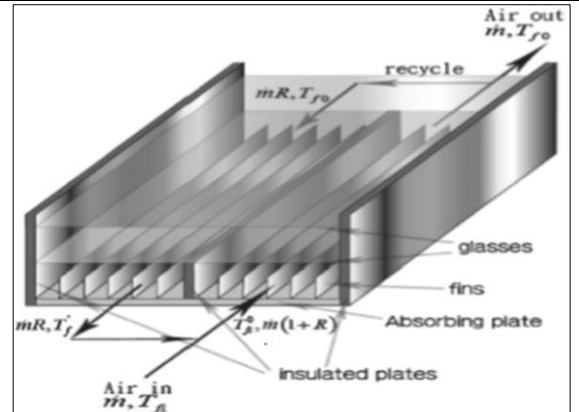
					plakanın üzerinde 1.14 ve 2.30 kat artış sağlamıştır.
Aharwal ve ark. [28]	tek geçiş		eğik pürüzlülük		Yapılan eğimli pürüzlülüğe düz kanala göre Nusselt sayısı, 1.48-2.59 kat artmıştır. Sürtünme faktörü, düz kanala göre 2.26-2.9 kat aralığında artmıştır.
Jaurker ve ark. [29]			yapay pürüzlü		60' lik göreceli pürüzlülük eğiminde maksimum ısı transferi gerçekleşmiştir.
Bopche ve Tandale [30]	tek geçiş		yapay pürüzlü		Re = 3800 için Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün maksimum değerleri pürüzsüz kanal için 2.82 ve 3.72 olmasına rağmen pürüzlü kanal için 2.388 ve 2.50 olmuştur.
El-Sebaai ve Al-Snani[31]	tek geçiş	tek cam	seçici kaplama yüzey		Seçici bir kaplama malzemesi olarak nikel-kalayın (Ni-Sn) kullanılması ile günlük ortalama 0.46 verimlilik ile en iyi performans, elde edilmiştir. Siyah boyalı yutucu plakaya kıyasla toplam enerji kaybı % 30 oranında azalmış olup, faydalı enerji ise % 30,95 oranında artmıştır.Yıllık ortalama verim, siyah boyalı yutucu plakalı kolektörden % 29,23 daha yüksek bulunmuştur.
3. Isı Depolama Malzemesi Kullanılan Çalışmalar					
Bouadila ve ark. [32]	tek geçiş	tek cam	Isı depolama malzemesi kapsülleri		Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını kullanarak, enerji ve ekserji verimliliklerini kapalı/açık ve açık çevrim modunda hesaplamışlardır. Deney sonuçları, kolektörün, şarj modu sırasında güneş ışınımının dalgalanmasına bakılmaksızın, gece 11 için deşarj işlemi boyunca 200 W/m ² ' lik faydalı bir ısıda kaldığını göstermiştir. Kolektörün net günlük enerji verimliliği açık çevrim modunda % 35, kapalı açık çevrimde % 32 ile % 45 arasında değişirken, günlük ekserji verimliliği %13 ile % 25 arasında değişmektedir.
Krishnananth ve Kalidasa [33]	çift geçiş	tek cam	parafin dolu alüminyum kapsül		1. Konfigürasyonda ısı depolamasız sistem kullanılmıştır. 2. Konfigürasyonda kapsül, yutucu plakanın üzerinde, 3. Konfigürasyonda yutucu plakanın altında ve 4. Konfigürasyonda ise arka plakanın üstüne yerleştirilmiştir. Sonuçlar, ısı depolama malzemesi kullanılarak sabah saatlerinde fazla enerjiyi depolayarak akşam boyunca serbest bıraktığından iyi performans sergilediğini göstermiştir. Kapsülün yutucu plakanın üzerine yerleştirildiği 2. Konfigürasyonda diğerlerine göre daha iyi performans elde edilmiştir.

Tablo 2. düz yutucu plakalı sulu/havalı PV/T kolektörlerin verimini arttırmak için yapılan teorik ve deneysel araştırmalar

Referans	Kolektör yapısı- hava geçiş şekli	Akışkan	Sonuç
Rakesh Kuma ve, Marc A. Rosen [23]	Kanatçıklı	hava	Hücre yüzey sıcaklığı 82 °C den 66 °C 'ye düşmüştür.
H.A. Zondag ve ark. [34]	Doğal akış	su + hava	Isıl verim 0.16 ve elektriksel verim %87 olarak hesaplanmıştır.
A. Shahsavar ve M. Ameri [35]	Doğal akış	hava	Cam kaplı PV panelde termal verimin arttığı, elektriksel verimin düştüğü gözlemlenmiştir.
Sanjay Agrawal ve G.N. Tiwari [36]	Zorlanmış/ Şaşırtmalı akış	hava	Yıllık toplam termal enerji ve ekserji kazancı sırasıyla 1252.0 kW s ve 289,5 kW s olarak hesaplanmıştır.
Sanjay Agrawal ve G.N. Tiwari [37]	Camlı / Camsız	hava	Camsız PV/T kolektörde termal enerji, ekserji kazancı ve ekserji verimliliği, camlı PV/T kolektörlere göre % 32, %55,9 ve % 53 oranında artmıştır.
Swapnil Dubey ve ark.[38]	Camlı / mat tabakalı	hava	PV panel alt kısmında geçirgen cam kullanılan hava soğutmalı panelde, alt yüzeyi mat olan panele kıyasla % 10.41 daha yüksek elektriksel verim elde edilmiş ve dışarı atılan hava sıcaklığı % 9.75 artmıştır.
Deepali Kamthania ve al. [39]	Çift geçişli	hava	Yarı saydam PV/T kolektörde oda sıcaklığının tipik kış günlerine kıyasla 5-6 OC arttığı gözlemlenmiştir. Yıllık ortalama termal verimin 1729.84 kWh olduğu hesaplanmıştır.
Anand S. Joshi ve Arvind Tiwari[40]	Tek Geçiş	hava	Termal enerjiden dolayı yaklaşık % 2–3'lük bir ekserji artışı olduğu, PV / T sisteminden % 12'lik elektriksel çıkışına ek olarak, yaklaşık %14–15'lik bir verimlilik artışı olmuştur.
Niccolo` Aste ve ark. [41]	Tek Geçiş	hava	Deneysel sonuçlara göre, termal verimliliğin gün içinde ortalama % 20 - % 40 arasında değiştiğini ve elde edilen ortalama elektrik verimliliğinin gün içinde % 9–10 civarında olduğu gözlemlenmiştir.
A.S. Joshi ve al. [42]	Zorlanmış	hava	Kolektör çıkış hava sıcaklığının, camdan termoplastik film yüzeydekine kıyasla camdan cama olan PV/T kolektörlerde 33-46 °C ve elektriksel verimliliğin % 9.5 ile % 11 arasında daha yüksek olduğu görülmüştür.
Swapnil Dubey ve ark. [43]	Doğal	hava	Yutucu plakanın hava kanalının altında olan kolektör tipinde elektriksel verim ve termal verimin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

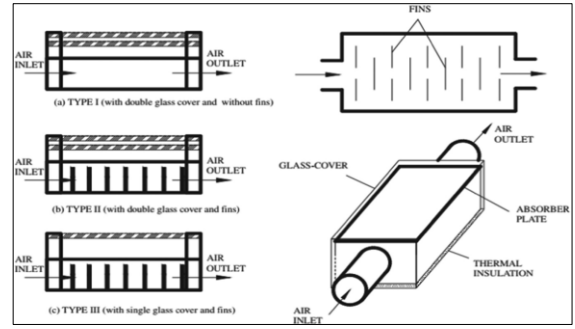
Tingting Yang ve Andreas K. Athienitis [44]	Zorlanmış	hava	Çift hava girişli PV/T kolektörde termal verimliliğin % 5 arttığı ve PV sıcaklığının 1.5 °C düştüğü görülmüştür. Ayrıca, eklenmiş dikey camlı güneş hava kolektörü, termal verimliliği % 8 oranında artırmıştır.
Basant Agrawal ve G.N. Tiwari [45]	Seri /Paralel	hava	6 seri, 6 paralel, 2 seride 3 paralel ve 3 seride 2 paralel bağlantı yapılan PV/T kolektörde, sabit debide seri bağlantının, sabit hava hızında ise paralel bağlantının daha yüksek performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Tablo 3. havalı güneş kolektörlerinin performansının iyileştirilmesi için yapılan çalışmalara ait kesit ve şematik görünüşler

Boyuna Kanatçık Kullanılan Çalışmalar	
Foued ve ark. [17]. hava debisinin kolektör boyunca ısı transferi ve çıkış sıcaklığı ile termal verim üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada kanat sayısı, yükseklik ve kanatçık düzenlemesinin etkisi olmadığı görülmüştür.	 Kanatçıklı ve kanatçıksız kolektör kesit görünümü
	 Kullanılan deney setinin şematik görünüşü
Yeh [18], kanatçıklı güneş kolektöründe yukarı doğru geri dönüşümlü çift geçişli akışın kolektör verimi üzerine teorik olarak etkisini araştırmıştır. Sonuçlar, özellikle yüksek giriş havası sıcaklığı ile daha düşük hava debisinde kolektör verimliliğinin arttığını göstermiştir. Dahası, iç geri dönüşümlü performans, aynı büyüklükteki bir cihazda dış geri dönüşümlü çalıştırılmasından daha üstün olmuştur. Çalışmada, kanat sayısı, kanat yüksekliği ve kanatçık düzeninin etkileri dikkate alınmamıştır.	 Kanatçıklı yukarı doğru iç-geri dönüşümlü düz-plakalı havalı güneş kolektörünün şematik görünüşü.

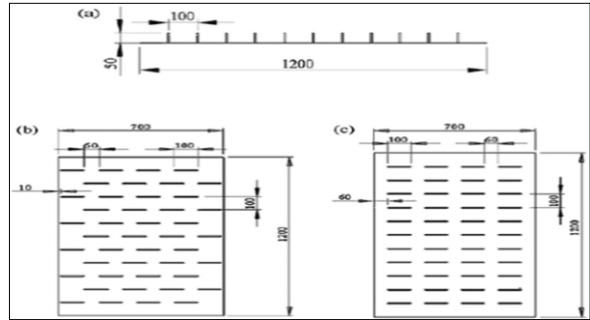
Enine Kanatçık Ve Şaşırtma Plakaları Kullanılan Çalışmalar

Alta ve ark. [19], üç farklı havalı güneş kolektörü tipi kanatçıklı ve kanatçıksız kolektörlerini karşılaştırmışlardır. Kanatçıklı kolektörlerin ısı verimliliğinin, dönüşüm olmadığından kanatsız hava kolektöründen daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Daha şeffaf kapak ve kanatçık kullanıldığında sıcaklık farkı artmıştır. Ayrıca, artan hava debisi, kolektör veriminin artmasına ve sabit eğimde havanın sıcaklık farkının azalmasına yol açmıştır.



Kolektörlerin şematik görünümü

Bayraka ve ark. [20] kapalı hücre alüminyum köpüklerden yapılmış plakalı kolektörleri teorik ve deneysel olarak performansını araştırmışlardır. Deneysel Ölçümler, iki farklı hava debisinde (0.016 kg/s ve 0.025 kg/s) gerçekleştirilmiştir. En yüksek kolektör verimliliği ve havanın sıcaklık artışı, 6 mm derinliğindeki havalı güneş kolektörlerinde ve 0.025 kg/s hava debisi ile sağlanırken, en düşük değer, şaşırtmasız kolektörlerde ve 0.016 kg/s hava debisinde gerçekleşmiştir. Çalışmada, şaşırtma boyutları ve sayısının etkisi dikkate alınmamıştır.

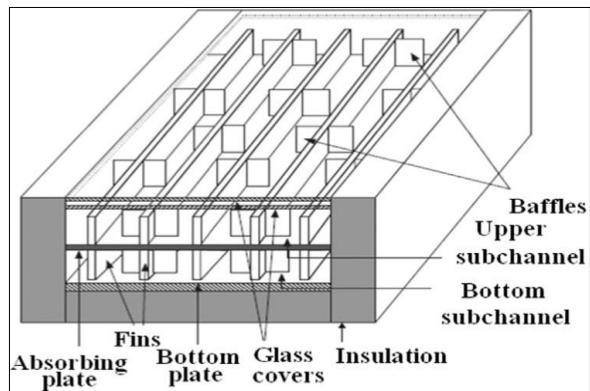


Alüminyum plakalarının (a) yandan görünüşü, (b) şaşırtmalı dizilimin üstten görünüşü ve (c) şaşırtmasız dizilimin üstten görünüşü.



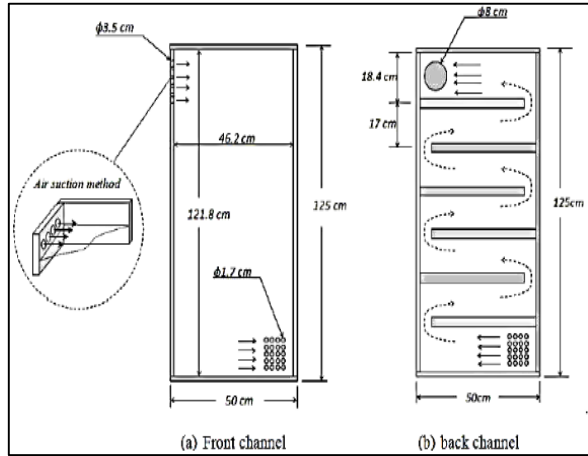
deneysel seti

Ho ve ark. [21] ve şaşırtma plakalı, çift geçişli ve dönüşümlü havalı güneş kolektörünün performansını teorik ve deneysel olarak çalışmışlardır. Deney sonuçları teorik tahminlerden %1.5 ile 23 arasında sapmıştır. Havalı güneş kolektörlerinin performansları, tek geçişli, geri dönüşümlü çift geçişli, geri dönüşümlü kanatçıklı çift geçişli ve geri dönüşümlü, kanatçıklı şaşırtmalı çift geçişli kolektörlerde karşılaştırılmıştır. Hem teorik hem de deneysel sonuçlar, geri dönüşümlü, kanatçıklı şaşırtmalı çift geçişli şekilde tasarlanmış kolektör veriminin, farklı debilerde diğer tasarımlardan çok daha yüksek olduğunu göstermiştir.



Geri dönüşümlü, kanatçıklı, şaşırtmalı çift geçişli havalı güneş kolektörü

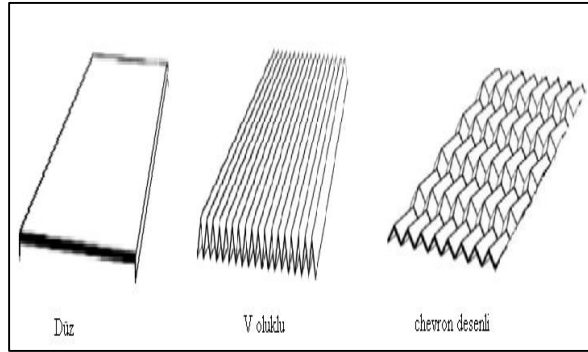
Al-Neama M. ve Farkas I. [46], yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu için bakır malzemeden seçtikleri yutucu plakanın ön yüzünde, üst yan taraftan hava çapı 3.5 cm olan emme delikleri, ön kanalın alt kısmından arka kanala çapı 1.7 cm olan geçiş delikleri bulunan, yutucu plakanın arka kanalında da akışın zorlandığı yatay çift yönlü engellerin olduğu çift geçişli havalı güneş kollektörü tasarladılar. Yaptıkları çalışmada çift geçişli kanalların kollektör verimini önemli derecede arttırdığını ve çift kaplı camın kollektör verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışmada kollektör giriş ve çıkışında, yutucu plaka yüzeyi ve çevresinde birkaç noktada sıcaklıkları, güneş ışınımını, kollektör içinde hava akış hızını, ve rüzgar hızını ölçerek kollektör ısı verimliliğini hesaplamışlardır.



deney seti şematik görünümü

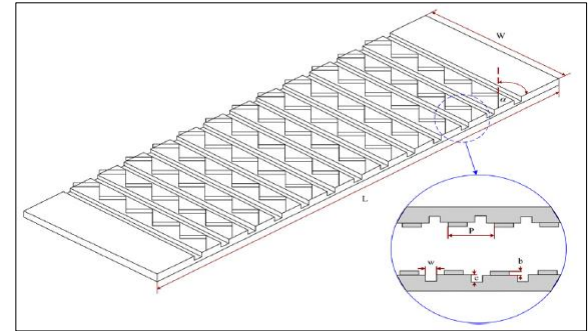
Yutucu Plaka Üzerine Yapılan Çalışmalar

El-Sawi ve ark. [47], yaptıkları çalışmada düz plakalı ve şivron (chevron) desenli plakalı iki kollektörün performans analizini araştırmışlardır. Teorik olarak düz plakalı, V oluklu ve şivron desenli emiciler arasında karşılaştırma yapılabileceğini sunmuşlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada şivron (chevron) desenli yutucu plakalı kollektörün düz plakalı kollektörlere göre %20' ye varan oranlarda ısı verimliliği arttırdığını, belirli aralıklardaki hava hızlarında hava çıkış sıcaklığının 10°C ' ye kadar arttığını bulmuşlardır.



Düz, V oluklu, Şivron desenli yutucu plaka

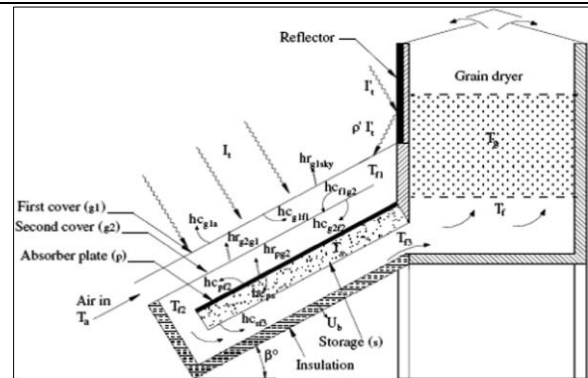
Skullong ve ark. [48], çalışmalarında, kombine dalgali oluklu ve enine oluklu türbülantörler ile donatılmış bir hava kanalında türbülantlı akış sağlayarak havalı güneş kollektörünün ısı transfer özelliğini araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonunda, kombine dalgali oluklu ve enine oluklu kanalın, düz oluklu kanala kıyasla daha yüksek ısı transfer oranı ve sürtünme faktörü sağladığını ortaya koymuşlardır.

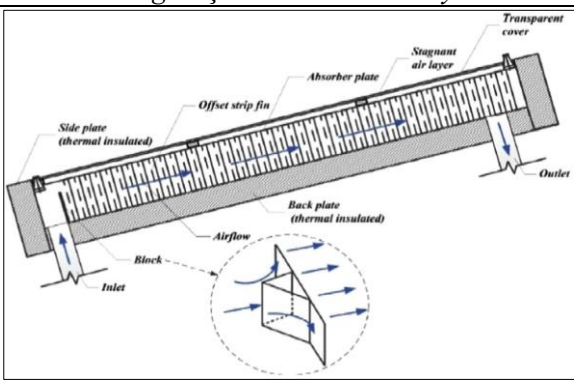
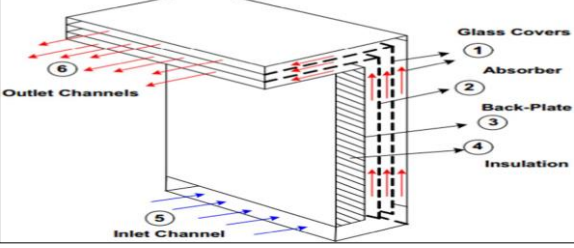
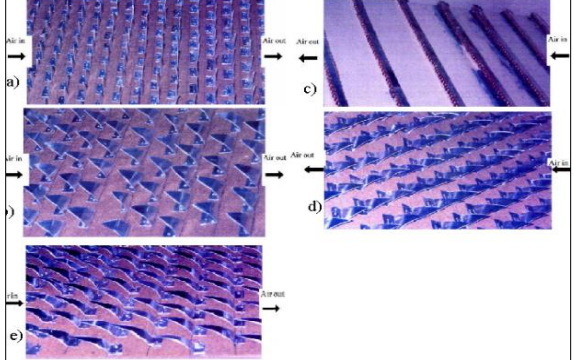
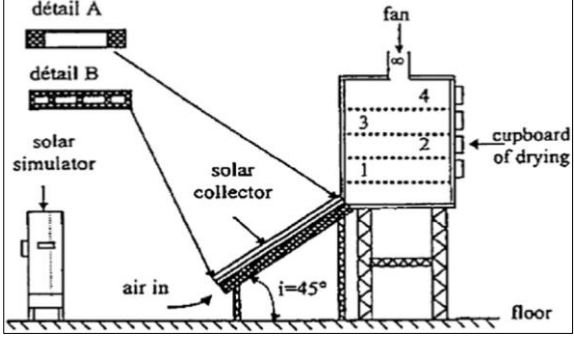


hava kanalının kesit görüntüsü

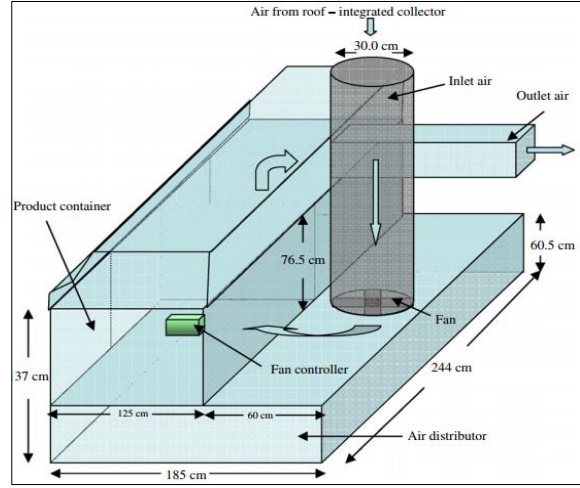
Uygulama Yerine Göre Kullanılan Kollektörler

Dilip ve Rajeev [24], ısı depolama malzemesi ve bitki kurutma amaçlı derin yataklı kurutucuya sahip çok geçişli eğimli bir havalı güneş kollektörü için bir model üzerine çalışmalar yapmışlardır. Şekil 25'de gösterildiği gibi deney düzeneği, çift cam kapak, yutucu plaka ve kurutucunun duvarında bir reflektörden oluşmaktadır. Önce kapak ve yutucu plaka arasında hava akışıyla ısınan hava, daha sonra kurutma işlemi için güneş olmayan saatlerde kullanım için ısı depolama malzemesi üzerine aşağı doğru üflenmiştir.



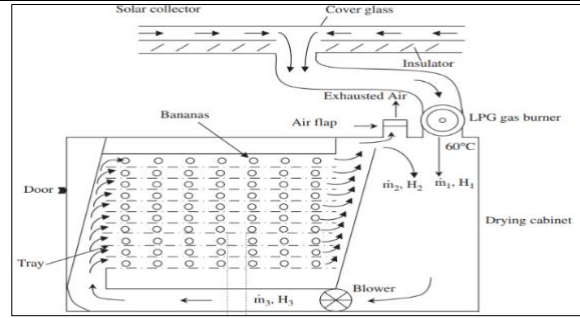
Yang ve ark. [49], mahal ısıtma senaryosu altında, yutucu plaka üzerinde hava akışı yön değiştiricili dikdörtgensel kanatçık olan bir kolektörün için bir sayısal optimizasyonunu araştırmışlardır. Aynı zamanda, ASHRAE standardı 93- 2003'e dayanan kapsamlı bir kolektörün ısı performansına, kolektör verimlilik denkleminde, akış yön değiştirici konum açısına ve sentetik direnç katsayısı dikkat çekmek için sürekli ışık altında bir deney serisi yürütmüşlerdir. Deneyel verilerden, düşük hava debisinde ($100 \text{ m}^3/\text{h}$), $600 \text{ W} / \text{m}^2$ güneş ışınlı, iç sıcaklık 14°C, dış sıcaklık -5°C ve yön değiştirici açısı $0-30^\circ \text{C}$ arasında bile ani ısı veriminin $\% 40'$ ın üzerinde olabileceği görülmüştür	<i>Kurutma uygulamalarında kullanılan çok geçişli havalı güneş kolektörü ve deney seti</i>  <i>Şerit kanatçıklı havalı güneş kolektörü.</i>
Hatami [50], mahal ısıtmasında dikey düz plakalı havalı güneş kolektöründe doğal taşınım ile ısı transferini deneysel olarak araştırmıştır. Kolektör $2,5 \text{ m}$ yüksekliğinde, 1 m genişliğinde ve $0,35 \text{ m}$ derinliğinde, tek ve iki cam kapaklıydı. Çalışma, ikisi tek camlı ve dördü çift camlı olmak üzere toplam altı hava akışı durumunda yapılmıştır. Kolektör kanalları ve çevresinde doğal taşınımlı ısı transfer katsayısını değerlendirmek için yeni ilişkiler önerilmiştir.	 <i>Mahal ısıtmasında kullanılan kolektör şematik görünümü</i>
Abene [51], üzüm kurutma uygulaması için engellere sahip düz plakalı güneş kolektörünü incelemiştir. Bu kolektörün performansı engelsiz bir diğeriyle karşılaştırılmıştır. Engeller, oval (OT), yukarı doğru kıvrımlı (OIF1), boş tüp (WT), uzunlamasına delta (WDL1) ve boyuna oval (WOL1) şeklinde farklı uzuvlardan oluşmuştur. Uygulamada engel olmayan düz bir kolektör ve WDL1 tipi engelli kolektörün bir tarafı kullanılarak soğan kurutmada test edilmiştir.	 <i>kolektörde kullanılan engel çeşitleri a)(OT), b) (OIF1), c)(WT), d) (WDL1) ve e) (WOL1)</i>  <i>deney seti</i>

Janjai ve ark. [52] rosella çiçeği ve biber kurutmak için çatıya entegre edilmiş güneş kurutucusunun kullanımını incelemiştir. Bu çalışmada kurutucunun hem kurutma süresi, hem de ürün kalitesi açısından geleneksel güneş kurutucularından daha iyi olduğu bulunmuştur. Kurutucunun geri ödeme süresi yaklaşık beş yıl hesaplanmıştır. Bu kurutucu ihtiyaç duyulan havayı sağlamak için kullanılan fanı döndüren bir motor ve çatı ile bütünleşik bir havalı güneş kollektöründen oluşur. Pim, T tipi kollektör boyunca hava kanalının ortasına bağlıdır. Çatıya entegre edilmiş güneş kurutucusu biri güneye bakan ve diğeri kuzeye bakan toplam 108 m² alana sahip iki kollektör dizisinden oluşmaktadır. Çatıya entegre edilmiş havalı güneş kollektörü esas olarak, bir polikarbonat levha ile kaplanmış yutucu olarak görev yapan siyah boyalı bir çatıdır. Bina, ürünleri hazırlamak ve depolamak için iki odadan oluşan için bir alana bölünmüştür.



Kurutma kutusu.

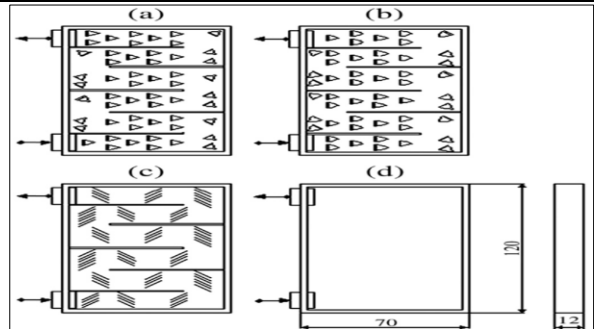
Smitabhindu ve ark. [53], muz kurutmak için zorlanmış taşınım temelli, bir güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin en uygun tasarımı için matematiksel modeli incelemiştir. Havalı güneş kollektörleri kurutma yapısının çatı üstüne yerleştirilmiştir. Kollektörün ortasında cam kapak ile çatının yalıtılmış zemini arasındaki boşluktan kurutma kabinine hava akışı sağlanmıştır. Yardımcı ısı kaynağı olarak LPG gaz brülörü kullanılmıştır. Kurutma kabini binanın içine yerleştirilmiştir.



Güneş enerjisi destekli kurutma sistemi.

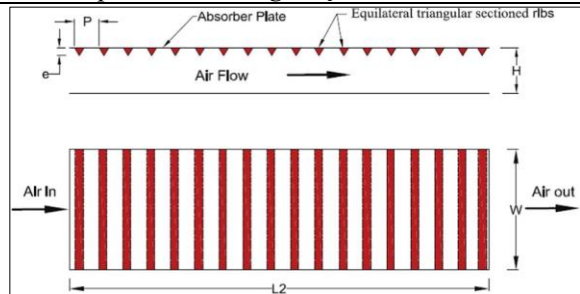
Duyulur Isıyı Artırmak İçin Kollektör Eklentilerine Göre Yapılan Çalışmalar

Akpınar ve Koçyiğit [25] dört tip emici plaka kullanarak havalı güneş kollektörlerin performansını üçgen, yaprak şekilli, dikdörtgen engeller ve düz plaka şeklinde incelemişlerdir.



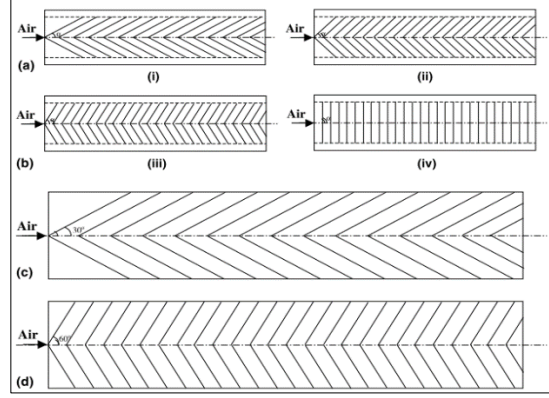
üçgen, yaprak şekilli, dikdörtgen engelli ve düz plakalı havalı güneş kollektörleri

Yadav ve Bhagoria [26] yutucu plaka üzerinde eşkenar üçgen kesitli bir havalı güneş kollektörünün iki boyutlu bir SFD modelini sunmuşlardır. Bu çalışma üç parametrenin (p/e , e/D ve Reynolds sayısı (Re)), kollektörün termo hidrolik performansı üzerine etkisi ile ilgilidir. Sonuçlar, tüm durumlarda Re artışıyla ortalama Nusselt sayısının artma eğilimine sahip olduğunu, ancak ortalama sürtünme faktörünün azaldığını göstermiştir.



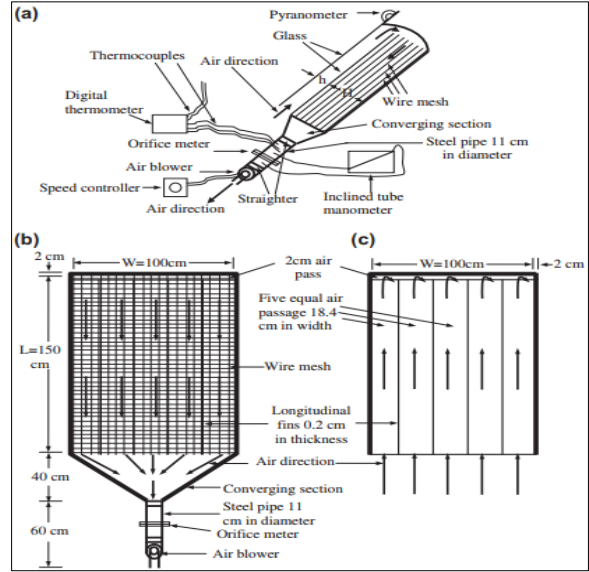
Pürüzlendirilmiş bir emici plakanın şematik görünümü.

Momin ve ark. [27] e/D ve atak açısının etkisini incelemek için V şekilli bir engel üzerinde bir araştırma yaptılar. Bu çalışma, sabit $p/e = 10$, sabit $e/D = 0,034$ ve 2500–18000 Reynolds sayısı için yapılmıştır. Sonuçlar, sürtünme katsayısının artış oranının Reynolds sayısına bağlı olarak Nusselt sayısındaki artış oranından daha yüksek olduğunu göstermiştir. V-şekilli engellerin kullanımı eğimli yüzey ve düz plaka üzerinde Nusselt sayısında, 1.14 ile 2.30 kat arasında bir artış sağlamıştır.



Çeşitli engel elemanı ve yönü

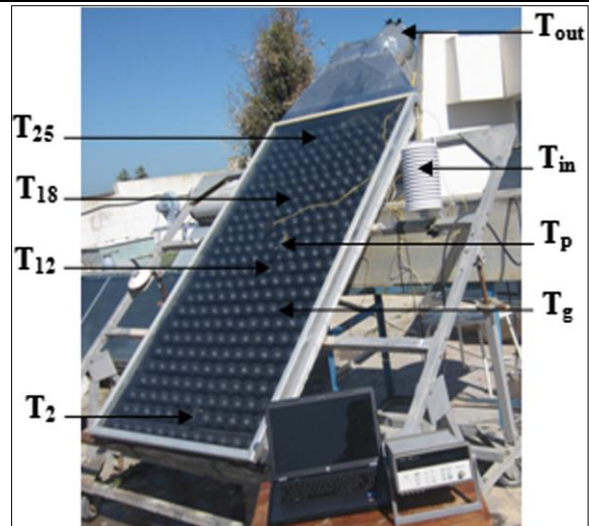
Omojaro ve Aldabbagh [54], yutucu plaka yerine çelik tel örgü kullanılan çift ve tek geçişli kanatçıklı havalı güneş kolektörünün termal performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Aynı debi için, çift geçişli kolektörün veriminin tek geçişli kolektörden % 7–19,4 oranında daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çift ve tek geçişli havalı güneş kolektörler için elde edilen maksimum verim sırasıyla % 63.74 ve % 59.62 olmuştur. Ayrıca, çift geçişli havalı güneş kolektörün ilk geçiş kanalının yüksekliğinin artırılmasıyla verimin azaldığı görülmüştür. Ek olarak, emici plaka yerine çelik tel örgü kullanılması kolektör verimliliğinde çok daha fazla artış göstermiştir.



Tek ve çift geçişli kolektörün, (a) deney setinin şematik görünümü, (b) alt geçiş kanalı (c) üst geçiş kanalı.

Gizli Isıyı Artırmak İçin Kolektör Eklentilerine Göre Yapılan Çalışmalar

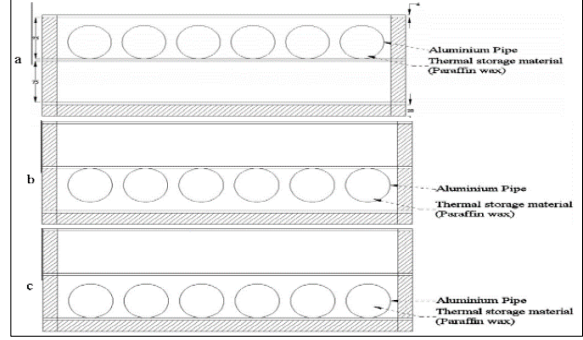
Bouadila ve ark. [32] gizli enerji depolama havalı güneş kolektörünün performansını incelemek için deney seti inşa etmiştir. Termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasasını kullanarak Enerji ve ekserji verimliliklerini Kapalı/Açık ve Açık çevrim modunda hesaplamışlardır. Deney sonuçları, kolektörün, şarj modu sırasında güneş ışımasının dalgalanmasına bakılmaksızın, gece 11 için deşarj işlemi boyunca $200 \text{ W} / \text{m}^2$ 'lik faydalı bir ısıda kaldığını göstermiştir. Kolektörün net günlük enerji verimliliği açık çevrim modunda % 35, kapalı açık çevrimde % 32 ile % 45 arasında değişirken, günlük ekserji verimliliği %13 ile % 25 arasında değişmektedir. Kullanılan kolektör siyah bir kaplamaya sahip küresel kapsüllerden oluşan bir paketlenmiş yatak emiciden oluşmuştur.



Gizli enerji depolama malzemeli havalı güneş kolektörü.

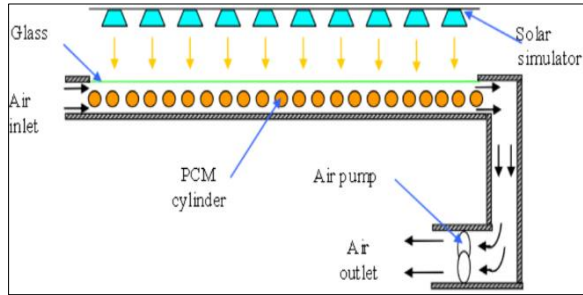
Krishnananth ve Kalidasa [33] ısı depolamalı çift geçişli havalı güneş kolektörü üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada ısı depolama için her biri 4 cm çapında ve 60 cm

uzunluğunda alüminyum kapsüller içinde parafin kullanılmıştır. 1. Konfigürasyonda ısı depolamasız sistem kullanılmıştır. 2. Konfigürasyonda kapsül, yutucu plakanın üzerinde, 3. Konfigürasyonda yutucu plakanın altında ve 4. Konfigürasyonda ise arka plakanın üstüne yerleştirilmiştir. Sonuçlar, ısı depolama malzemesi kullanılarak sabah saatlerinde fazla enerjiyi depolayarak akşam boyunca serbest bıraktığından iyi performans sergilediğini göstermiştir. Kapsülün yutucu plakanın üzerine yerleştirildiği 2. Konfigürasyonda diğerlerine göre daha iyi performans elde edilmiştir.



Kapsülün a) yutucu plakası üzerinde b) altında ve c) arka plaka üzerinde konfigürasyonu.

Alkilani ve ark. [55] çeşitli ısı depolama sistemlerini ve dolgu yatakların kullanımını incelemişlerdir. Deşarj işlemi sonrası çıkış havası sıcaklığını tahmin etmek için PCM'li havalı güneş kolektörü üzerinde çalışmışlardır. Çalışma, 0.05–0.19 kg/s aralığında 8 farklı debide yapılmıştır. Sistemde tek bir cam kapak ve herbiri absorber gibi davranan silindirlere bölünmüştür. Silindirler boyunca rejim şartlarında hava akışı olmaktadır. PCM %0.5' i alüminyum tozu olan parafinli balmumundan oluşturulmuştur. Her bir debide önemli bir faktör olan donma zamanı incelenmiştir. Donma süresinin hava akış hızıyla ters orantılı olduğu görülmüş ve en uzun donma süresi (yaklaşık 8 saat) 0.05 kg/s'lik bir debide gerçekleşmiştir.



PCM silindirli bir havalı güneş kolektörü simülasyonu

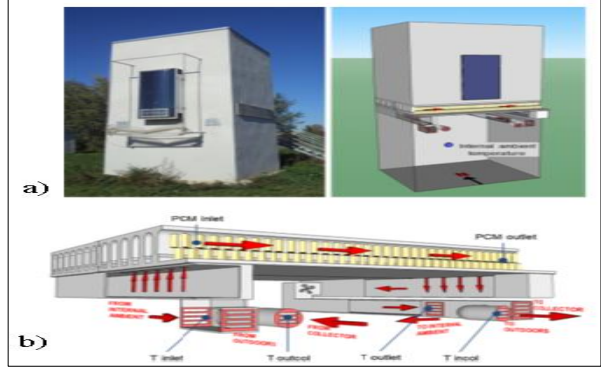
El-Khadraoui ve ark.[56] yaptıkları deneysel çalışmada Faz Değişimli Malzeme (PCM) kullanan dolaylı tip konveksiyonlu bir güneş kurutucu tasarlamışlar. Kurutma sistemi kurutma maddesinin doğrudan ısıtılması için bir havalı güneş kolektörü ile bir güneş enerjisi akümülatöründen (PCM oyuklu güneş hava toplama cihazı) ve bir kurutma odasından oluşmaktadır. Şarj etme ve boşaltma işlemlerini değerlendirmek için, deneyleri gündüz ve gece gerçekleştirmişlerdir. Güneş enerjisi akümülatörünün günlük enerji verimliliği % 33.9' a ulaşırken, günlük ekserji veriminin % 8.5'e ulaştığını, güneş enerjisi akümülatörünü kullandıktan sonra kurutma bölgesinin sıcaklığının tüm gece 4 ° C ila 16 ° C arasında ortam sıcaklığından daha yüksek olduğunu ve kurutma odasındaki bağıl nemin, ortam bağıl neminden % 17- 34.5 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.



1)Güneş Enerji Akümülatörü 2) havalı güneş kolektörü 3) kurutma odası

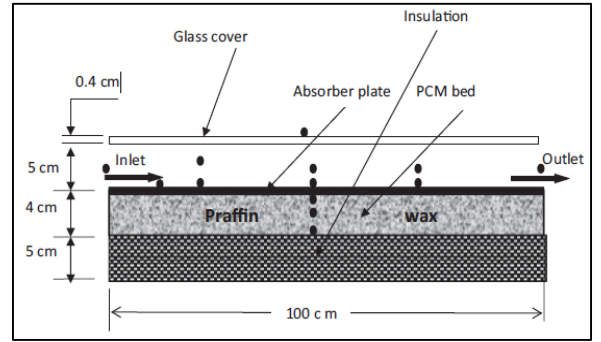
Navarro ve ark [57] yaptıkları çalışmada biri katlar arası klasik döşeme olan diğerinde de döşeme olukları arasında PCM kullanılan iki hücreli bir yapı inşa etmişlerdir. Bu teknolojinin (güneş enerjisi ve PCM) bina tasarımına entegrasyonunda amaç, enerji tüketiminin

azaltılmasıdır. Döşeme, depolama birimi ve ısıtma kaynağı olarak kullanılan, makro kapsüllü PCM ile dolu 14 kanallı, prefabrike bir beton elemandan oluşturulmuştur. Deneyisel çalışma sonunda geleneksel bir ısıtma sistemine kıyasla, enerji tüketimini azaltma konusunda döşeme olukları arasında PCM kullanılan beton levhanın yüksek potansiyeli olduğuna vurgu yapmışlardır.



PCM kullanılan iki hücreli bir yapı

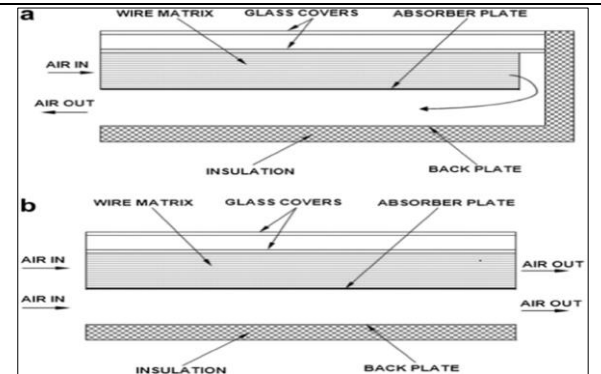
Kabeel ve ark. [58] PCM'li düz ve v oluklu plakalı havalı güneş kolektörlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan deneyisel çalışmada, v oluklu plakalı PCM' li havalı güneş kolektörlerinin çıkış sıcaklığının $1.5-7.2^{\circ}C$ arasında daha yüksek olduğunu, gün batımından 2,5 saat sonra v oluklu PCM' li havalı güneş kolektörlerinin çıkış sıcaklığının düz oluklu havalı güneş kolektörlerinin çıkış sıcaklığına kıyasla $1- 5.5^{\circ}C$ daha yüksek olduğunu, PCM' li havalı güneş kolektörlerinin veriminin PCM siz olanlara göre en az %12 yüksek olduğunu bulmuşlardır.



PCM' li havalı güneş kolektörü şematik görünümü

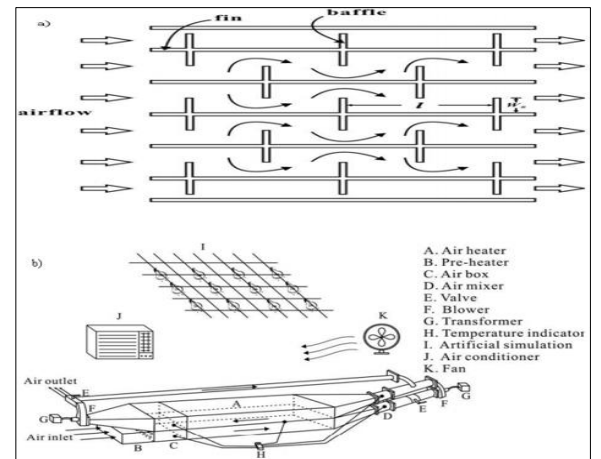
Hava Geçiş Sayısı Ve Geçiş Şekline Göre Yapılan Çalışmalar

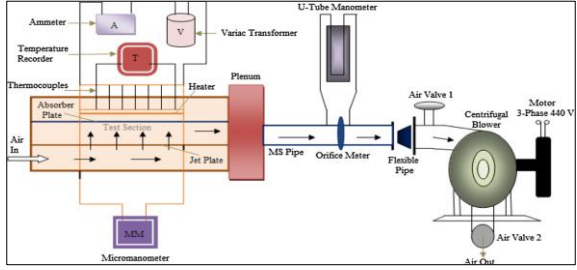
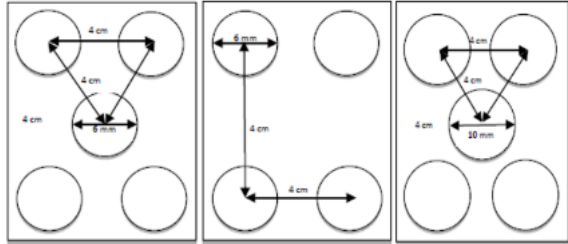
Dhiman ve ark. [22]



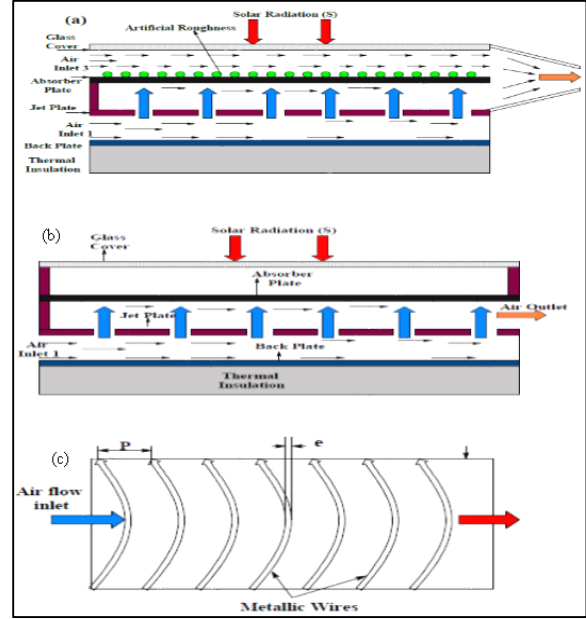
Çift akışlı havalı güneş kolektörü a-)ters akış, b-)paralel akış düzeni.

Kumar ve Rosen [23], kanatlı ve kanatsız PV/T havalı güneş kolektöründe kullanılan kanatçıkları incelemişlerdir. Cam yüzeyden emici plaka üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı PV hücreleri tarafından elektriğe dönüşmüş ve geriye kalan kısım ısıya dönüşmüştür. Havalı güneş kolektörün alt kanalında akan hava direkt olarak arka yüzeye maruz bırakılmış ve bu şekilde kanatçıklı PV/T kolektörün performansa etkisi araştırılmıştır.



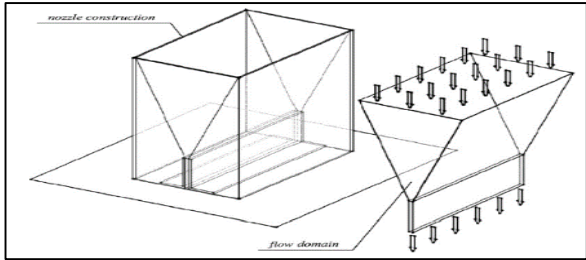
	Deney seti a) hava kanalı kesiti b) kollektör kesit görünüşü.
Chauchan ve Thakur [59], yaptığı çalışmada kollektör yutucu yüzey alt kısmına yatay olarak döşedikleri delikli plakanın alt kısmından vakum etkisi ile havayı emiş yaparak delikli plakadan geçirerek üstteki 1000 W/m^2 üniform ısı akısı ile absorber plakaya çarptırarak, yutucu plakanın sürtünme faktörü ile ısı transferini incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada delikli plakadaki delik çaplarını, deliklerin plaka üzerindeki konumlarını ve açıklık aralıklarını incelemişlerdir. Deneyleri 3800-16000 Reynold Sayısı aralığında Türbülanslı akışta yapmışlardır. Elde ettikleri verileri paralel akışlı havalı güneş kollektörleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda sürtünme faktörünün ısı iletimini 2.67- 3.5 kat arasında etilediğini görmüşlerdir. Ayrıca deneysel veriler ile ilişkili olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü arasındaki korelasyonları geliştirmişlerdir.	 Jet çarpmalı havalı güneş kollektörü şematik görünümü
Audwinto ve ark. [60] jet çarpmalı havalı Güneş kollektörü kullanarak, yüksek iletimli ısı transferi, düşük basınç kaybı, düşük fan gücü ve düşük maliyet amaçlamışlardır. Kollektör yutucu yüzey alt kısmına yatay olarak döşedikleri kare ve üçgen şekilde sıralanmış 6mm çapındaki ve üçgen şekilde sıralanmış 10mm çapındaki delikli plakalardan jet akışla geçirdikleri havayı alt kısmından vakum etkisi ile havayı emiş yaparak delikli plakalardan geçirerek yutucu plakaya çarptırılması neticesinde yutucu plakanın havaya ısı transferini incelemişlerdir. Hava giriş kanalını delikli plakanın alt kısmından, çıkış kanalını plakanın üst kısmında imal etmişlerdir. Sonuçta artan hava hızlarında sıcaklığın düştüğünü, 6 mm çapındaki delikli plakada 10 mm çapındaki delikli plakaya göre daha yüksek hava sıcaklığına erişildiğini ancak delik sıralama geometrisinin ısı verime çok etkili olmadığını bulmuşlardır.	 farklı tasarımlı jet impect plakalar
Matheswaran ve ark. [61] yaptıkları deneysel çalışmalarında tek geçişli tek kanallı ve çift kanallı jet plakalı havalı güneş kollektörü imal etmişlerdir. Yutucu plakanın alt kısmında jet püskürtmeli plakanın alt kısmından hava emilerek jet deliklerden geçirilerek yutucu plakaya çarptırılarak, öte yandan yutucu yüzey üzerindeki pürüzlü yüzeyden hava geçirilerek, yutucu yüzey üstünden ve altından geçirilen hava birleştirilerek farklı hava debilerinde sistemin ısı performans analizini yapmışlardır. Sonuçta tek geçişli tek kanallı havalı güneş kollektörlerine göre etkin verimliliğin %21.2 ve ekserji verimliliğinin %22.4 arttığını gözlemlemişlerdir. İstenilen sıcaklığa erişmek için optimum jet plaka	

değerlerini tanımlamak için tasarım grafikleri hazırlamışlardır. Farklı hava akış hızları ve jet plakadaki delik çaplarının ısı verime etkisini sunmuşlardır. Ayrıca Reynolds sayısı ve jet plakanın ekserji verimliliğini tahmin etmek için Analitik sonuçlar kullanılarak korelasyonlar geliştirmişlerdir.



tek geçişli tek kanallı ve çift kanallı jet plakalı havalı güneş kolektörü kesit görünümü

Mirosław Zukowski [62], sınırlı hava giren bir jet hava yuvasının termal performansını belirlemek için yaptığı deneysel çalışmada çarpma etkisi için bir adet nozul kullanmıştır. Deneysel çalışma sonunda nozulun meme genişliği, plaka aralığının ve Reynold sayısının Nusselt sayısı üzerine etkisini araştırmıştır. Darbe jetleri kullanan havalı güneş kolektörünün veriminin yüksek olduğunu ve en iyi modelini geliştirmeye yardımcı olabileceğini sunmuştur.



Hava çarpıtma nozulu

3. SONUÇLAR

Yapılan derlemeye göre şu sonuca varılmaktadır.

1. Isı transferi alanını artırmak için kolektörlerde kanatçık kullanılmaktadır. Dolayısıyla kolektör performansı artmaktadır. Çift geçişli havalı güneş kolektörlerinde verimlilik yaklaşık % 65- 70' e kadar çıkmaktadır.
2. Hava debisinin azaltılması, havalı güneş kolektörlerinde verimliliğin düşmesine, debinin aşırı artması da sızıntıya bağlı olarak kolektör verimliliğinin düşmesine yol açmaktadır.
3. Şaşırtma plakalarının kullanılması ve havanın geri dönüşümü kolektör verimliliğini arttırmaktadır. Ancak plakaların yüksekliği ve genişliğini dikkatlice seçilmelidir.
4. En verimli kolektörler V-oluklu havalı güneş kolektörleri olduğu ve en düşük verimli kolektörlerin düz plakalı kolektörlerin olduğu görülmektedir. Sonuçlar, düz plaka kolektörlere kıyasla, v-oluklu kolektörlerde verimin çift geçişlide % 5-11 ve ve tek geçişlide % 10-15 daha fazla olduğunu göstermiştir.
5. Tüm hava debilerinde uygun kanatçık ve şaşırtma parametreleri seçilememiştir. Ancak her bir debi için belirlenebilmektedir.

6. Güneş ışınlamı arttıkça daha yüksek çıkış sıcaklığı ve faydalı enerji elde edilmekte ancak, ancak kollektör verimi azalmaktadır.
7. Yapay pürüzlülük, havalı güneş kollektörlerinin ısı transferini artırmaktadır. Yapay pürüzlülük kullanılarak, Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı pürüzsüz kanala kıyasla sırayla 3-4 kat artış göstermiştir. ve maksimum verim %64-65 'e ulaşabilmiştir.
8. Havalı güneş kollektörlerinin performansı üzerinde iyi bir etkiye sahip olan farklı tipte ısı depolama malzemeleri ve paketleme yatakları kullanılmıştır. Faz değişim materyali (PCM'ler), güneşli dönemlerde şarj işleminde ısı depolamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.
9. Ni-Sn gibi seçici kaplamalı emicilerin kullanılması havalı güneş kollektörlerinin verimliliğini arttırmaktadır. Siyah boyalı emicilerle karşılaştırıldığında ortalama günlük verimliliği yaklaşık %30 artırmaktadır.
10. Havalı güneş kollektörleri kurutma uygulamaları, hacim ısıtma ve su arıtma sistemlerinde büyük bir oranda kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar için havalı güneş kollektörlerin kullanılması, kurulum ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır.
11. Jet impect etki ile hava sürtünme katsayısı arttırılarak termal verim arttırılmıştır.
12. Bifacial PV modüllerde çift taraflı enerji verimliliği 0.5 yansıma oranında önemli ölçüde arttırılmıştır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada tartışılan literatür taramasına dayanarak, havalı güneş kollektörlerinin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

1. Havalı güneş kollektörlerinde güneş takip sistemleri kullanılarak verimlilik arttırılabilir.
2. PV/T hava kollektörlerinde Jet İmpekt etki oluşturularak daha yüksek elektriksel verim ve daha fazla termal verim elde edilebilir.
3. Bifacial PV/ T kollektörlerde verimliliği arttırmak için reflektörlü havalı güneş kollektörleri araştırılabilir ve sabit kollektörlere kıyasla reflektörler kollektör verimliliğini artırabilir.
4. Üretim maliyetlerini düşürmek için daha ucuz üretim metodlarını seçmek amacıyla yeni malzemeler ve geometrilerde çalışma yapılabilir, buna ek olarak basit konfigürasyonlar elde etmeye çalışılabilir.
5. Çift akışlı havalı güneş kollektörlerinin hava kanalının yapay olarak pürüzlendirilmesi alanında daha fazla araştırma yapılabilir.
6. Tek camlı çift geçişli havalı güneş kollektörleri, mahal ısıtma, bitki kurutma gibi uygulamalarda daha fazla faydalar üzerinde çalışılabilir.
7. Havalı güneş kollektörlerinde, farklı ısı depolama malzemeleri araştırılabilir.

8. Siyah nano akışkanlı kaplamaların yutucu plaka malzemelerinin termal etkinlik üzerindeki etkisi, farklı nanomateriyaller için incelenebilir. Yapay pürüzlülük geometrileri nispeten sınırlıdır ve gelecekteki araştırmalarda daha fazla ilgi çekebilir.
9. Isı depolama malzemeli ve ısı depolama malzemesi kullanılmayan kurutma sistemlerinin kısa ve uzun dönem performanslarını tahmin etmek için bilgisayar simülasyon modeli geliştirilebilir ve tarımsal ürünlerin güneşte kurutulmasının faydaları araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Shan Feng, et al. Performance evaluations and applications of photovoltaic–thermal collectors and systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;33:467–83
- [2] Kumar Rakesh, Rosen, Marc A. A critical review of photovoltaic–thermal solar collectors for air heating. *Appl Energy* 2011;88:3603–14.
- [3] Kumar Anil, Baredar Prashant, Qureshi Uzma. Historical and recent development of photovoltaic thermal (PVT) technologies. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;42:1428–36
- [4] Close DJ. Solar air heaters for low and moderate temperature applications. *Sol. Energy* 1963;7(3):117–24.
- [5] Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications. *Prog Energy Combust Sci* 2004;30: 231–95.
- [6] Alkilani MM, Sopian K, Sohif M, Alghol M. Output air temperature prediction in a solar air heater integrated with phase change material. *Eur J Sci Res* 2009;27: 3334–41.
- [7] Ekechukwu OV, Norton B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Convers Manag* 1999;40(6):615–55.
- [8] Tyagia VV, Panwarb NL, Rahima NA, Kotharic Richa. Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16: 2289–303.
- [9] Alkilani Mahmud M, Sopian K, Alghoul MA, Sohif M, Ruslan MH. Review of solar air collectors with thermal storage units. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15: 1476–90.
- [10] Chamolia Sunil, Ranchan Chauhana, Thakura NS, Sainib JS. A review of the performance of double pass solar air heater. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16: 481–92.
- [11] Mohammadi K, Sabzpooshani M. Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate. *Energy* 2013;57: 741–50.
- [12] El-Sebaai AA, Aboul-Enein S, Ramadan MRI, Shalaby SM, Moharram BM. Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater. *Appl Energy* 2011;88: 1727–39.
- [13] Sanjay Kumar Thakur, Thakur NS, Kumar Anoop, Mittal Vijay. Use of artificial roughness to enhance heat transfer in solar air heaters – a review. *J Energy South Afr* 2010: 21.
- [14] Gupta MK, Kaushik SC. Performance evaluation of solar air heater having expanded metal mesh as artificial roughness on absorber plate. *Int J Therm Sci* 2009;48: 1007–16.
- [15] Peng Donggen, Zhang Xiaosong, Dong Hua, Lv Kun. Performance study of a novel solar air collector. *Appl Therm Eng* 2010;30: 2594–601.

- [16] Mishra S. P. and Shrivastava V. , Experimental Investigation of One Glass Cover and Three Absorber Plates Two-Pass Solar Air Collector with Thermal Storage, Indian Journal of Science and Technology, Vol 10(19) DOI: 10. 17485/ijst/2017/v10i19/112984, May 2017
- [17] Chabane Foued, Moummi Noureddine, Benramache Said. Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. J. Adv Res 2014;5: 183–92.
- [18] Yeh Ho-Ming. Upward-type flat-plate solar air heaters attached with fins and operated by an internal recycling for improved performance. J Taiwan Inst Chem Eng 2012;43: 235–40.
- [19] Deniz Alta, Emin Bilgili, Ertekin, Yaldiz Osman. Experimental investigation of three different solar air heaters: energy and exergy analyses. Appl Energy 2010;87: 2953–73.
- [20] Bayraka Fatih, Oztopb Hakan F, Hepbaslic Arif. Energy and exergy analyses of porous baffles inserted solar air heaters for building applications. Energy Build 2013;57: 338–45.
- [21] Ho Chii-Dong, Chang Hsuan, Wang Rei-Chi, Lin Chun-Sheng. Performance improvement of a double-pass solar air heater with fins and baffles under recycling operation. Appl Energy 2012;100:155–63.
- [22] Dhiman Prashant, Thakur NS, Chauhan SR. Thermal and thermo-hydraulic performance of counter and parallel flow packed bed solar air heaters. Renew Energy 2012;46: 259–68.
- [23] Kumar Rakesh, Marc, Rosen A. Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins. Appl Therm Eng 2011;31: 1402–1410.
- [24] Jain Dilip, Jain Rajeev Kumar. Performance evaluation of an inclined multi-pass solar air heater with in-built thermal storage on deep-bed drying application. J Food Eng 2004;65: 497–509.
- [25] E. K. Akpınar, F. Koçyiğit. Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates. Int Commun Heat Mass Transf 2010; 37: 416–21
- [26] Singh Yadav Anil, Bhagoria JL. A CFD based thermo-hydraulic performance analysis of an artificially roughened solar air heater having equilateral triangular sectioned rib roughness on the absorber plate. Int J Heat Mass Transf 2014;70: 1016–39.
- [27] Momin A-ME, Saini JS, Solanki SC. Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate. Int J Heat Mass Transf 2002;45: 3383–96.
- [28] Aharwal KR, Gandhi BK, Saini JS. Experimental investigation on heat transfer enhancement due to a gap in an inclined continuous rib arrangement in a rectangular duct of solar air heater. Renew Energy 2008;33: 585–96.
- [29] Jaurker AR, Saini JS, Gandhi BK. Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness. Sol Energy 2006;80: 895–907.
- [30] Bopche SB, Tandale MS. Experimental investigation on heat transfer and friction characteristics of a turbulator roughened solar air heater duct. Int J Heat Mass Transf 2009;52: 2834–48.
- [31] El-Sebaai AA, Al-Snani H. Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters. Energy 2010;35: 1820–8.
- [32] Bouadila Salwa, Kooli Sami, Lazaar Mariem, Skouri Safa, Farhat Abdelhamid. Performance of a new solar air heater with packed-bed latent storage energy for nocturnal use. Appl Energy 2013;110:267–75.

- [33] Krishnananth SS, Kalidasa Murugavel K. Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage.
- [34] H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven. The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Solar Energy* 74 (2003) 253–269
- [35] A. Shahsavari, M. Ameri. Experimental investigation and modeling of a direct-coupled PV/T air collector. *Solar Energy* 84 (2010) 1938–1958
- [36] Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari. Exergoeconomic analysis of glazed hybrid photovoltaic thermal module air collector. *Solar Energy* 86 (2012) 2826–2838
- [37] Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari. Overall energy, exergy and carbon credit analysis by different type of hybrid photovoltaic thermal air collectors. *Energy Conversion and Management* 65 (2013) 628–636
- [38] Swapnil Dubey, G.S. Sandhu, G.N. Tiwari. Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector. *Applied Energy* 86 (2009) 697–705
- [39] Deepali Kamthania, Sujata Nayak, G.N. Tiwari. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating. *Energy and Buildings* 43 (2011) 2274–2281
- [40] Anand S. Joshi, Arvind Tiwari. Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector. *Renewable Energy* 32 (2007) 2223–2241
- [41] Niccolo Aste, Giancarlo Chiesa, Francesco Verri. Design, development and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) air collector. *Renewable Energy* 33 (2008) 914–927
- [42] A.S. Joshi, A. Tiwari, G.N. Tiwari, I. Dincer,*, B.V. Reddy. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) system. *International Journal of Thermal Sciences* 48 (2009) 154–164
- [43] Swapnil Dubey, S.C. Solanki, Arvind Tiwari. Energy and exergy analysis of PV/T air collectors connected in series. *Energy and Buildings* 41 (2009) 863–870
- [44] Tingting Yang, Andreas K. Athienitis. A study of design options for a building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) system with glazed air collector and multiple inlets. *Solar Energy* 104 (2014) 82–92
- [45] Basant Agrawal, G.N. Tiwari. Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Applied Energy* 87 (2010) 417–426.
- [46] Al-Neama M., Farkas I. Thermal Analysis Of Single And Double-Pass Solar Air Collectors, Book Of Abstracts, 16th International Workshop for Young Scientists, (22), 2017, Lublin, Poland
- [47] El-Sawi A.M. , Wafi A.S. , Younan M.Y. , Elsayed E.A., Basily B.B., Application of Folded Sheet Metal in Flat Bed Solar Air Collectors, *Applied Thermal Engineering*, 30 (2010) 23-871, 2009
- [48] Skullong S. , Kwankaomeng S. , Thianpong C. and Promvong P. , 2013. Thermal performance of turbulent flow in a solar air heater channel with rib-groove turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 50 (2014) 34–43
- [49] Yang Ming, Yang Xudong, Li Xing, Wang Zhifeng, Wang Pengsu. Design and optimization of a solar air heater with offset strip fin absorber plate. *Appl Energy* 2014;113:1349–62.
- [50] Hatami N, Bahadorinejad M. Experimental determination of natural convection heat transfer coefficient in a vertical flat-plate solar air heater. *Sol Energy* 2008.

- [51] Abene A, Dubois V, Le Ray M, Ouagued A. Study of a solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape. *J Food Eng* 2004;65: 15–22.
- [52] Janjai S, Srisittipokakuna N, Bala BK. Experimental and modelling performances of a roof-integrated solar drying system for drying herbs and spices. *Energy* 2008;33: 91–103
- [53] Smitabhindu R, Janjai S, Chankong V. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renew Energy* 2008;33: 1523–31
- [54] Omojaro AP, Aldabbagh LBY. Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber. *Appl Energy* 2010;87: 3759–65.
- [55] Alkilani Mahmud M, Sopian K, Alghoul MA, Sohif M, Ruslan MH. Review of solar air collectors with thermal storage units. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15: 1476–90.
- [56] Aymen El Khadraoui, Salwa Bouadila, Sami Kooli, Abdelhamid Farhat, Amenallah Guizani. Thermal behavior of indirect solar dryer: Nocturnal usage of solar aircollector with PCM. *Journal of Cleaner Production* 148 (2017) 37-48
- [57] Navarro L, Gracia A., Castell A. and Cabeza L. F., 2016. Experimental study of an active slab with PCM coupled to a solar aircollector for heating purposes, *Energy and Buildings* 128 (2016) 12–21
- [58] Kabeel A.E., Khalil A., Shalaby S.M. and Zayed M.E., 2015. Experimental Investigation of thermal performance of flat and v-corrugated plate solar air heaters with and without PCM as thermal energy storage, *Energy Conversion and Management* 113 (2016) 264–272
- [59] Ranchan Chauchan, N.S. Thakur. Heat transfer and friction factor correlations for impinging jet solar air heater. *Experimental Thermal and Fluid Science* 44 (2013) 760–767
- [60] V. A. Audwinto, S. Ethesari N. , K. Sopian, Mohd. Y. Bin HJ. Othman, Mohd. H. Bin H. Ruslan, C. H. Yen, Thermal Analysis of Jet Impingement Solar Air Collector, *Computer Applications in Environmental Sciences and Renewable Energy. International Conference on Sustainable Energy Technologies.* (2015) 331-335
- [61] Matheswaran M.M. , Arjunan T.V., Somasundaram D., Analytical Investigation of Solar Air Heater with Jet Impingement using Energy and Exergy Analysis, *Solar Energy Manuscript Draft*, SE-D-17-02206.
- [62] Mirosław Zukowski. Heat transfer performance of a confined single slot jet of air impinging on a flat surface *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57 (2013) 484–490