

GIDA KURUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN HAVALI GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI

Abdullah YILDIZ

ÖZET

Kurutma için güneş enerjisinin kullanımı güneş enerjinin en eski uygulamalarından birisidir. Enerjinin bu şekli ücretsiz, yenilenebilir ve çok sıcak bölgelerde verimlidir. Güneş ışınımının kullanıldığı kurutma işlemi optimize etmek ve avantajını en yüksek yapabilmek amacı ile güneş enerjili kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, güneş enerjili tarımsal ve diğer ürünlerin kurutmasında kullanılan hava akışkanlı güneş kolektörleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Hava akışkanlı güneş kolektörleri

ABSTRACT

Usage of solar energy for drying is one of the oldest applications of solar energy. Solar energy is free, renewable and effective in the tropical climates. Solar energy drying systems are developed for optimizing the drying process and increasing the advantage. In this study, solar air collectors, which are used for drying agricultural and other products, are investigated.

Key Words: Drying, Solar air collectors

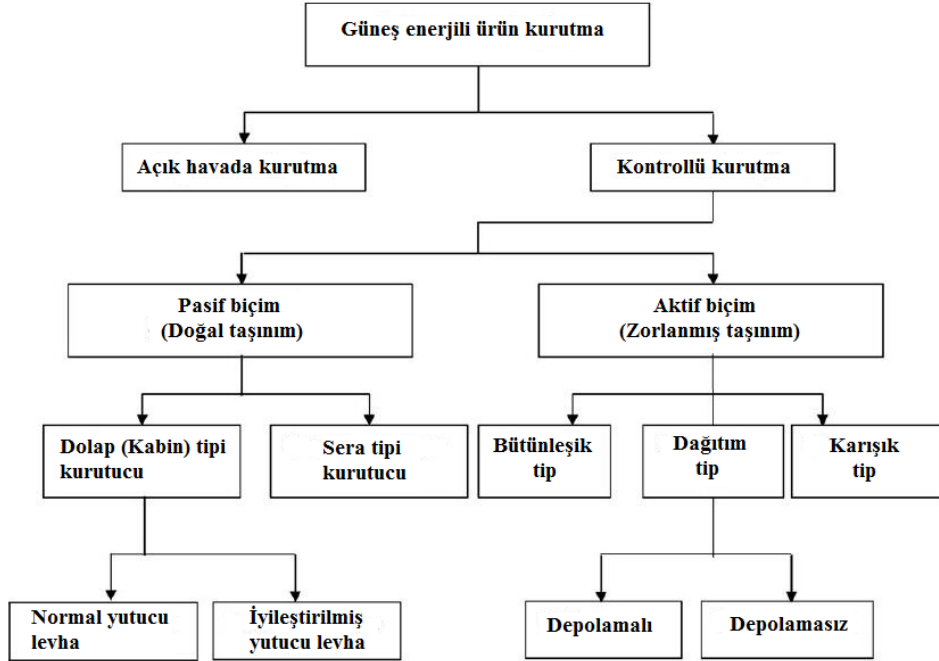
1. GİRİŞ

Kurutma, istenilen nem içeriğine ulaşmak için bir üründen nem alma işlemidir. Başka bir deyişle kurutma, meyve ve sebzelerin bünyesindeki % 80–95 oranındaki suyun % 10–20 oranına düşürülerek uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir. Ancak bu sırada tat, görünüş, renk, besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az değişmeli, ayrıca pişirilmek üzere su ilave edildiğinde taze iken içerdikleri miktara yakın suyu bünyelerine alabilmelidir.

Depolama ömrünü uzatmaktan başka kurutmanın ana amacı, ürün kalitesini de artırmak, işleme kolaylığı ve sağlıklı hale getirmektir [1]. Kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır. Örneğin, birçok ülkede kuru hazır çorbalar endüstri hâline gelmiş durumdadır. Kuru çorba üretiminin ham maddesi, kurutulmuş çeşitli sebzelerdir. Kurutma, ürünün bozulmaması için belirli bir nem seviyesinde olmalıdır ve ürün tanımlanan sürede depolanmalıdır [2].

Gıda ve tarımsal ürünleri muhafaza etmek için açık alanda güneş ışığı ile kurutma eskiçağlardan beri kullanılan bir tekniktir. Fakat bu süreç birçok dezavantaja sahiptir; yağmur, rüzgâr, nem ve tozdan kaynaklanan bozuk ürünler; kuş ve hayvanlardan kaynaklanan ürün kaybı; çürüme, böcek saldırıları ve küflenmeden kaynaklanan hasat ürünlerindeki kötüleşme. Bunun yanında, yoğun iş gücü, zaman alıcı ve kurutma işlemi için büyük alan gerektirmesi bu işlemin dezavantajlarıdır. Nispeten gelişmiş ülkelerde kullanılan yapay mekanik kurutmada enerji kullanımı fazla ve pahalı olduğundan dolayı ürün maliyeti artmaktadır. Temiz, sağlıklı ve ulusal ve uluslararası sağlık koşullarına uygun sıfır enerji

maliyetli alternatif bir işlem olan güneş enerjili kurutma teknolojileri önerilmektedir. Güneş enerjili kurutma; enerji ve zamandan tasarruf sağlar, daha az alan gerektirir, ürün kalitesini iyileştirir, daha verimli işlem yapılmasını sağlar ve çevreyi korur. Güneş enerjili kurutma tamamlamak için veya enerji gereksinimini azaltmak için yapay kurutma sistemine desteklemek için kullanılabilir. Güneş enerjili kurutucu teknolojisi sağlıklı, daha iyi kalitede ürünler elde etmek için ufak ölçüdeki gıda işlemlerinde de kullanılabilir. Şekil 1’de güneş enerjili ürün kurutmanın sınıflandırılması verilmiştir [2].



Şekil 1. Güneş enerjili ürün kurutma sınıflandırılması

Bu çalışmada, güneş enerjili tarımsal ve diğer ürünlerin kurutmasında yaygın olarak kullanılan hava akışkanlı güneş kolektörleri incelenmiştir.

2. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Türkiye’de güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı sıcak su ısıtma sistemleridir. Hava akışkanlı güneş kolektörleri sıvılı güneş kolektörleri ile karşılaştırıldığında teknolojileri ve uygulamaları yaygın şekilde geliştirilememiştir. Güneş enerjisi ile ısıtılan hava konvansiyonel bir kurutucuya sıcak hava sağlamak, kontrollü koşullar altında daha etkili bir şekilde kurutma, sera ve mahal ısıtma için kullanılabilir.

Sıvılı düzlemsel güneş kolektörleri ile havalı güneş kolektörleri arasındaki en önemli fark, yutucu levha ve ısıtılan akışkan arasındaki ısı transfer mekanizmasıdır. Sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinde yaygın olarak kullanılan kanatçık borulu tasarımlarda, yutucu levha tarafından yutulan ısı su borularına iletim ile transfer edildiği için yüksek ısı iletim katsayısına sahip bir levhanın kullanılması gerekmektedir. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde ise yutucu levha tarafından yutulan ısı, akışkana taşınım ile transfer edildiğinden dolayı levhanın iletim katsayısı önemli değildir. Sıvılı güneş kolektörlerinin aksine sistem basınçlı olmadığı için hafif çelik, alüminyum levhalar ve hatta bazen atık malzemeler havalı kolektör tasarımı için kullanılabilir. Yani, havalı kolektörler için yutucu yüzeyin metal olmasına gerek yoktur ve güneş ışınımını yutabilecek siyaha boyanmış herhangi bir yüzey, ısınıp havaya transfer edecektir. Dolayısıyla bir güneş enerjili hava ısıtıcı doğal olarak daha ucuzdur ve uzun ömürlüdür. Ayrıca, güneş enerjili hava ısıtıcılarda sızıntı, sıvılı düzlemsel güneş

kollektörlerinin aksine büyük bir problem değildir. Yutucu levhanın korozyona uğrama tehlikesi yoktur. Havalı güneş kollektörler daha az lehim ve sıhhi tesisat işçiliği gerektirir. Bunun yanında bakımı, işletmesi kısmen daha kolaydır ve donma tehlikesi yoktur. Hava akışkanlı kollektörlerin kısmen basitliği kendi sistemini kurmak isteyen insanların dikkatini çekebilir, fakat toplayıcı, depolama ve güneş enerjisinin tümünün kullanımı bu ısıtıcıların yapımını zorlaştırır. Bu nedenle bu kollektörler ısı transfer bilgisine sahip kişiler tarafından tasarlanmalıdır.

Hava akışkanlı güneş kollektörlerinde en önemli sorun, hatalı biçimde tasarlanmış bir kollektörde yutucu levhadan çalışma akışkanına olan zayıf ısı transferidir. Isı transfer katsayıları çeşitli şekillerde göz önüne alınarak iyileştirilebilir. Havanın düşük yoğunluğundan dolayı, aynı miktarda ısı toplamak için gerekli sıvı hacmi ile karşılaştırıldığında büyük hacimlerde hava kullanılması gerekmektedir. Diğer bir dezavantajı, havanın düşük ısı kapasiteye sahip olmasıdır.

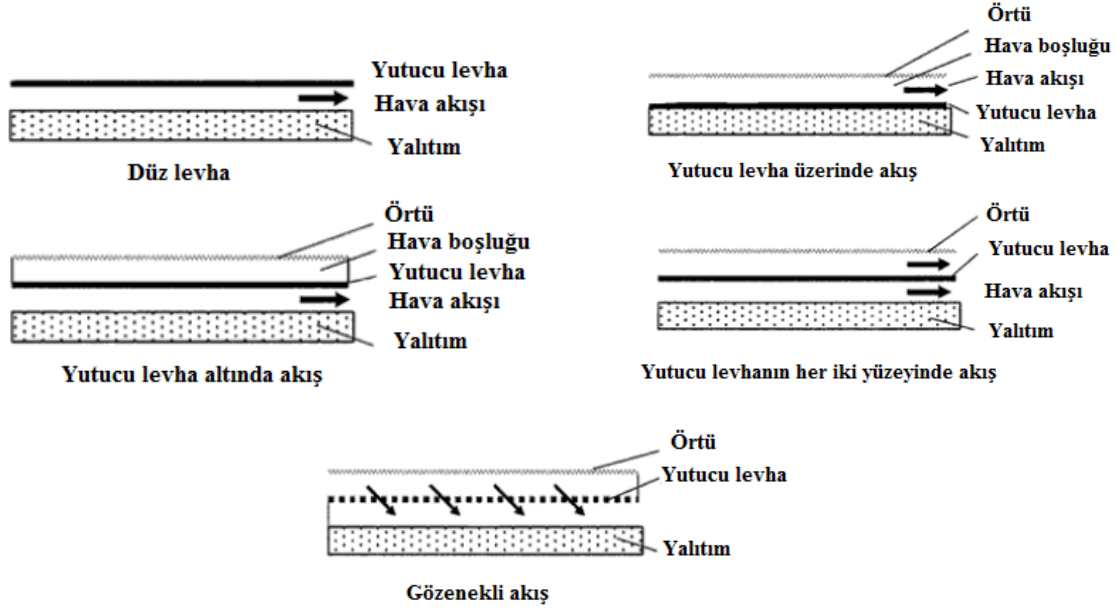
Hava akışkanlı güneş kollektörlerinde üst ısı kayıpları azaltmak için kollektör bir veya daha fazla geçirgen örtü ile kaplanır. Bu örtü, taşınım ile çevreye olan ısı kaybını azaltmasının yanında, kollektöre güneş ışınımının girişinin sağlanması ve yutucu yüzeyin yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korunması görevini de üstlenir.

Hava siyah bir yutucu yüzey ile temas halinde dolaştırılır. Pratik ve teknik nedenlerden dolayı, ısı gerekli olmadığı zaman enerji çakıl taşı yatağında depolanabilir ve akşamları kullanılmak üzere sıcak çakıl taşı boyunca soğuk hava dolaşımı ile hava ısıtılabilir.

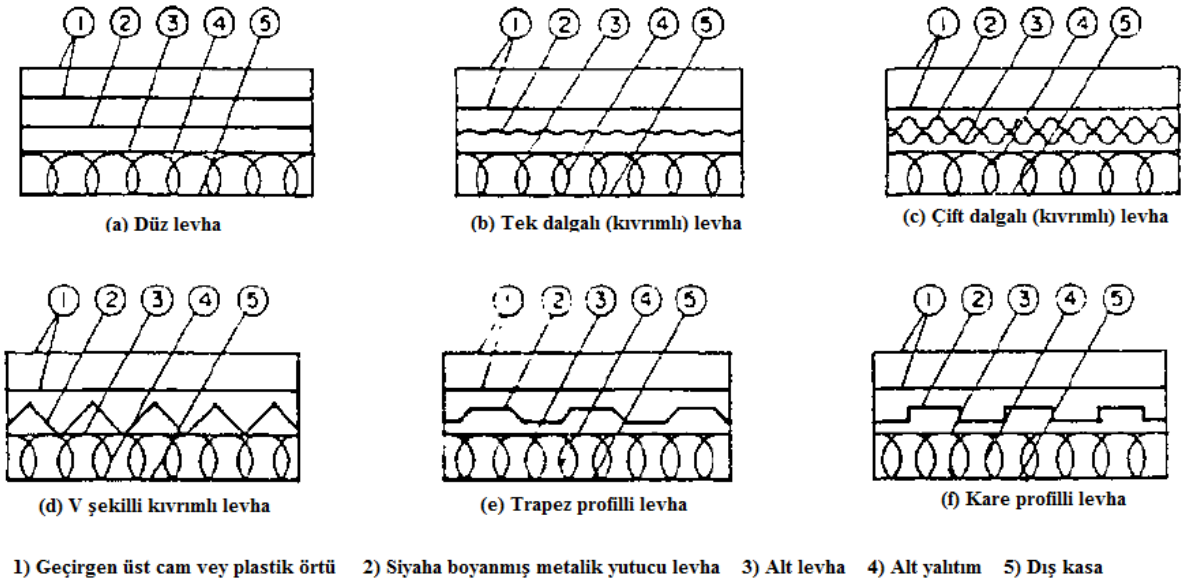
Güneş kollektörleri güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına ısı olarak aktaran ısı enerji sistemleridir. Genel olarak bir kollektör; cam veya plastikten yapılan üst örtü, metal veya plastik yutucu levha, arka ve yan yalıtım ile bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Kollektörler, kurulacak yerin enlemine bağlı olarak en yüksek güneş ışınımı alacak şekilde yerleştirilmelidir. Güneş enerjisi sistemleri doğal dolaşım ve bir fanla havanın sağlandığı zorlanmış dolaşım sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Güneş kollektörlerindeki en önemli amaç, güneş enerjisinin mümkün olduğunca en büyük değerde toplanması ve en az kayıpla kullanım noktasına aktarılmasıdır. Bu amaçla, çevre ortama olan ısı kayıplarının azaltılması, yutucu levha şeklinin iyi seçilmesi ve ısının etkili bir şekilde kollektör içinde ki havaya aktarılması gerekmektedir. Şekil 2’de hava akışkanlı güneş kollektörlerinde yaygın olarak kullanılan akış tipleri verilmiştir.

Güneş kollektörlerinin en önemli kısmı yutucu yüzey oluşturmaktır. Isı transfer yüzey alanını artırmak için farklı tipte yutucu yüzeyler kullanılmaktadır. Şekil 3’de yutucu levhanın her iki yüzeyinde akış olan kollektörler için yutucu levha görüntüleri gösterilmiştir.

Kollektörün verimi; yutucu yüzey kaplamasına, şekline ve yutucu yüzey için seçilen malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yutucu yüzey kaplamalarının en önemli görevi ise güneş ışınımını mümkün olduğu kadar tutması ve ısıya dönüştürmesidir. Yutucu yüzey kaplaması olarak siyah mat boya (seçici olmayan) ve seçici (selektif) yüzey kaplamaları kullanılır. Siyah mat boyanın güneş ışınımını yutma miktarı 0,90-0,98 gibi yüksek değerlere sahip iken ışınım yayma miktarı da yüksektir (0,5-0,92). Oysa kollektörlerdeki asıl amaç, kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakınının yutulması, buna karşılık uzun dalga boylu ışınım yayıcılığının en aza indirilmesidir. Bu durumda, kollektörlerde seçici yüzey kaplamaların kullanılması gerekmektedir. Seçici yüzeyler, sıcaklık yükselmesinde daha az ışınım yayarlar ve dolayısıyla kollektör ısı verimi yükselir. Seçici yüzey kaplamaları, 0,3-2,5 μm spektrum aralığında 0,90’ın üzerinde yutuculuk ve 2,5-50 μm kızılötesi bölgede 0,10 civarında yayıcılık özelliği göstermektedir [3].



Şekil 2. Hava Akışkanlı Güneş Kollektörlerinde Akış Tipleri



1) Geçirgen üst cam vey plastik örtü 2) Siyaha boyanmış metalik yutucu levha 3) Alt levha 4) Alt yalıtım 5) Dış kasa

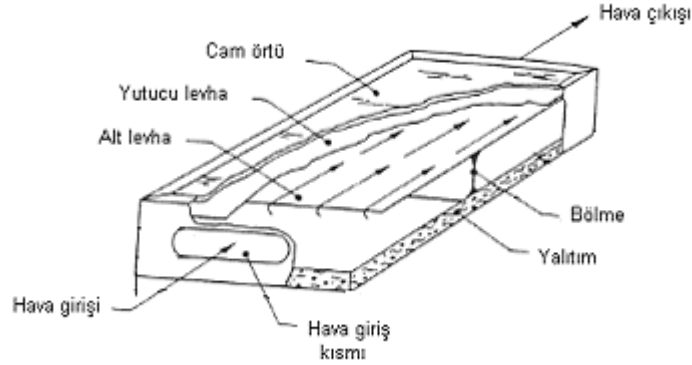
Şekil 3. Yutucu levha görüntüleri

2.1. Hava Akışkanlı Güneş Kollektörü Tipleri

Hava akışkanlı güneş kolektörleri farklı şekillerde tasarlanabilir. Cam altına yutucu yüzeyler; üst üste, mesafeli, şeffaf veya siyah cam levhalar, pürüzsüz tek metal levhalar, akış boyunca yığılmış perdeler veya ağlar, kıvrımlı, kanatçıklı metal levhalar ve daha farklı şekillerde yerleştirilebilir. Bazı kolektörlerde, levha altındaki hava akışı aşağı yönde olan ısı kayıplarını azaltır. Bir veya iki katmanlı cam örtü veya geçirgen plastik yukarı doğru olan taşınım ve ışınım kayıplarına direnç sağlar. Yutucu yüzey şekline göre havalı güneş kolektörlerinin bazıları aşağıdaki bölümde incelenmiştir.

2.1.1. Konvansiyonel Düzlemsel Levha Yutuculu Kollektörler

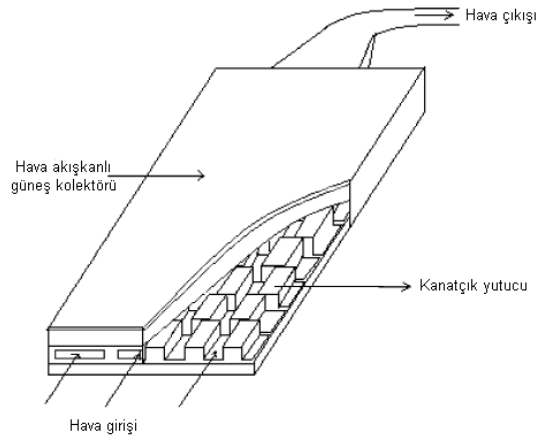
Bu kollektörler, en yaygın kullanılan ve en basit kollektör tipidir (Şekil 4). Bu kollektörlerin çoğunda, güneş ışınımını yutmak ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmek için siyaha boyanmış hafif bir yutucu levha kullanılır. Bu kollektörler, bir veya iki cam örtüden meydana gelip alt tarafı yalıtılmıştır. Ayrıca, ekonomik olması istenirse örtü olarak plastik filmlerde kullanılabilir. Hava akış yolu, yutucu levhanın altında, üstünde veya her iki tarafında olabilir.



Şekil 4. Basit düzlemsel levha yutuculu kollektör [4]

2.1.2. Kanatçık Levha Yutuculu Kollektörler

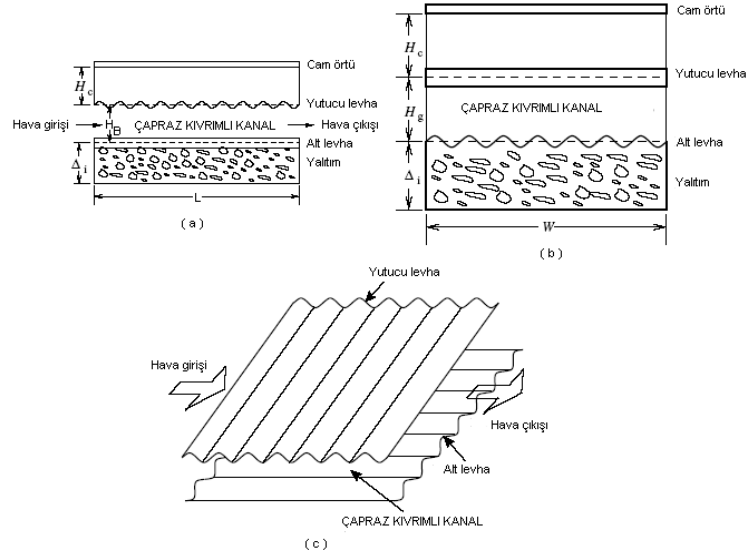
Kanatçık levha yutuculu kollektörler, konvansiyonel kollektörlerinin ısı veriminin iyileştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır (Şekil 5). Düzlemsel levha üzerinde kanatçıkların kullanılmasıyla, ısı transfer yüzey alanı ve dolayısıyla ısı transfer katsayısı ve ısı verim artırılabilir. Kanatçıklar genellikle hava akış yönünde yerleştirilir. Doğru şekilde tasarlanmış bir kanatçıklı yutucu levhalı kollektör ile ısı transfer alanının ve ısı veriminin arttığı, toplam basınç değerinin uygun sınırlar içinde kaldığı gözlemlenmiştir [4].



Şekil 5. Kanatçık yutuculu hava ısıtıcı

2.1.3. Kıvrımlı Levha Yutuculu Kollektörler

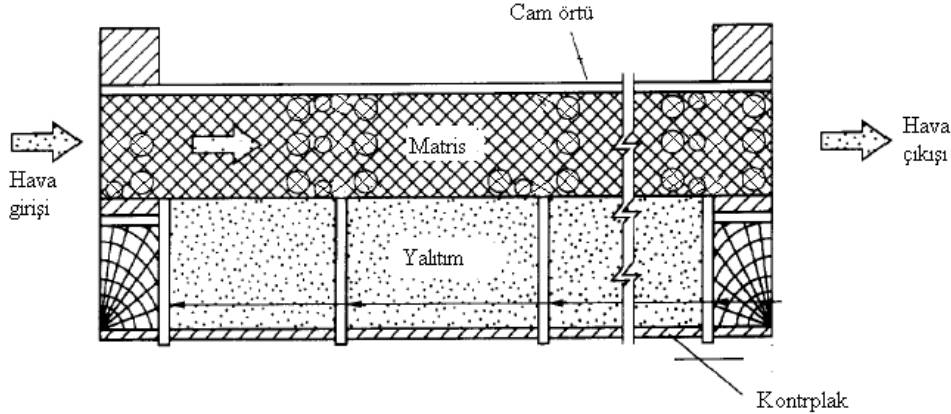
Kollektör ısı verimi artırmak amacıyla tasarlanan diğer bir kollektör tipi de kıvrımlı yutucu levhaya sahip hava akışkanlı güneş kollektörleridir. Burada yutucu levha, yuvarlak kıvrımlar veya V kıvrımlar şeklindedir (Şekil 6). Bu kıvrımlar ısı transfer alanını artırırken akış yönüne bağlı olarak türbülansla bir artış sağlar ve uygun eğimde yerleştirilirse yüzey direk seçici olarak yapılabilir [5].



Şekil 6. Kıvrımlı levha yutucu (a) Akış yönüne dik kesit görünüşü (b) Akış boyunca kesit görünüşü (c) Kıvrımlı yutucu ve alt levhanın şematik görünüşü

2.1.4. Matris Yutucu Levhalı Kollektörler

Bu tasarımda yutucu matris, cam ve yutucu siyah levha arasında olan hava akış yolunun içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 7).

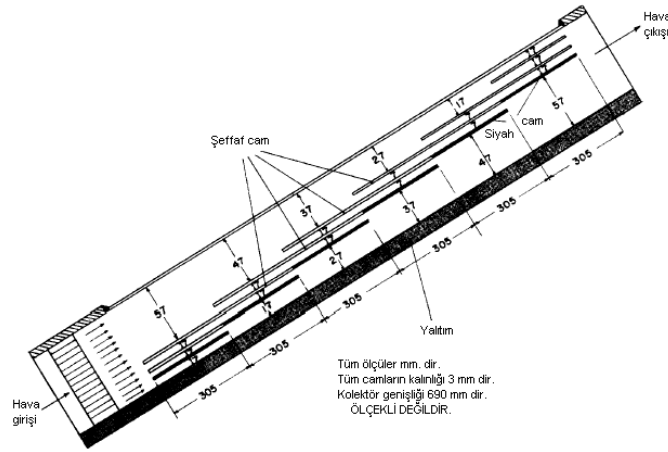


Şekil 7. Matris yutucu levhalı hava akışkanlı kollektör [6]

Matris malzemesi, pamuk gazlı bez veya diğer gevşek paketlenmiş gözenekli malzemelerden yapılabilir. Bu kollektörlerde yüksek ısı transfer hacim oranı için yüksek ısı transfer katsayısı ve tasarıma bağlı olarak düşük sürtünme kayıpları oluşmaktadır. Daha yüksek ısı transfer oranları çalışma sıcaklığında azalmaya neden olmaktadır. Bu kollektörlerde düşük sıcaklık farklarından dolayı daha az ısı kayıpları meydana gelir ve daha yüksek verim elde edilir. Ayrıca, matris malzemesi daha ucuz ve tasarımı kısmen daha basittir.

2.1.5. Üst üste Yerleştirilmiş Geçirgen Levhalı Kollektörler

İlk kez Lof tarafından geliştirilen üst üste cam levhalı hava ısıtıcı, düşük sıcaklık kullanımları için yüksek verimlilik ve düşük basınç düşümü gibi avantajlara sahiptir [4]. Kollektörlerin bu tipi özellikle siyaha boyanmış, çakışmayacak şekilde yerleştirilmiş geçirgen levhalardan oluşur (Şekil 8). Hava geçiş yolları üst üste yerleştirilmiş levhalar arasındadır.



Şekil 8. Üst üste yerleştirilmiş geçirgen levhalar [7]

Yukarıda tanımlanan havalı güneş kolektörleri iki kategoride sınıflandırılır. Birinci tip, genel olarak gözeneksiz yutucular olarak bilinir ve hava yutucu levhanın üstünden, altından veya hem altından hem üstünden akabilir. İkinci tipi ise gözenek yataklı yutucular olarak bilinir ve yutucu levha dar veya geniş levha, geçirgen petek ve üst üste yerleştirilmiş levha şeklinde olabilir.

3. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN TESTİ

Enerji üretiminde kullanılan fosil kökenli yakıtların maliyetindeki ve talebindeki artışlar, aynı zamanda çevreye verdiği etkiler nedeniyle insanlar alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi her zaman insanlığın dikkatini çekmesine rağmen, son zamanlarda var olan ilgi daha da artmıştır. Gelişen kalite kavramı nedeniyle kolektör imalatçıları daha verimli kolektör imalatına yönelmek zorunda kalmıştır. Kalite kavramı kapsamında ISO 9806 ve CEN TC132 standartları getirilmiştir.

Güneş kolektörlerinden sağlanabilecek enerji, kolektörlerin verim özelliklerinin bir sonucudur. Verim özellikleri güneş ışınımı miktarı, dış ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve kolektör tasarım parametrelerinin (yutucu yüzey ve cam özellikleri, yalıtım cinsi ve kalınlığı v.b) fonksiyonu olarak verilmektedir [8].

Pazardaki rekabet dolayısıyla gittikçe artan kolektör çeşitlerinin iklim ve çalışma koşulları altında test edilmesi ve verimlerinin tespit edilmesi sonucu modeller arasında karşılaştırma yapılabilir. Verimlilik deneylerinin şu avantajları vardır:

- Bilinen meteorolojik koşullarda güneş toplama sisteminin ısı verimini tahmin etmek için kullanılan bilgiler sağlanabilir
- Güneş kolektörlerinin tasarımları geliştirilebilir
- Ticari nedenlerden dolayı karşılaştırma için güneş kolektörlerinin verimi değerlendirilebilir
- Verim standartları oluşturulabilir

3.1. Kolektör Verim Testleri

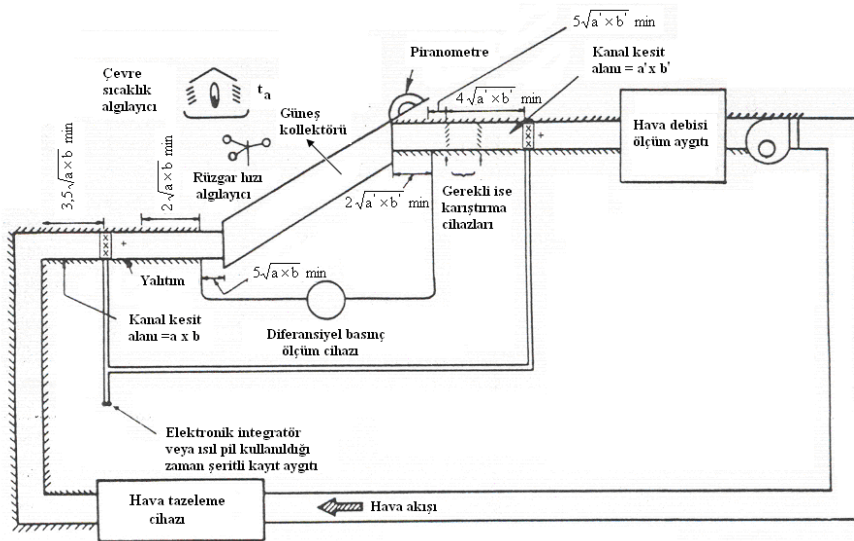
Kolektör verimleri, laboratuvar ve gerçek dış çevre koşulları olmak üzere iki koşul altında gerçekleştirilebilir. Açık atmosfer şartlarında, belirli güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve çevre sıcaklığı belirli dönemlerde olduğundan bu şartlarda deney yapmak biraz zordur. İç ortam testlerinde, güneş ışınımı, rüzgâr hızı, gökyüzü sıcaklığı ve çevre sıcaklığı kontrollü koşullar altında yapıldığından dolayı kısmen basittir.

Farklı ülkelerde güneş kolektörlerinin verim deneylerini kapsayan farklı standartlar bulunmaktadır. Bu amaçla geliştirilen bazı standartlar aşağıda verilmiştir.

- ISO 9060:1990 “Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”
- ISO 9806-1:1994 “Test methods for solar collectors – Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop”
- ISO 9806-2: 1995 “Test methods for solar collectors – Part 2: Qualification test procedures”
- ISO 9806-3: 1995 “Test methods for solar collectors - Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop”
- ISO 9846: 1993 “Solar energy - Calibration of a pyranometer using a pyrliometer”
- ISO 9847:1992 “Solar energy - Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer”
- ISO/TR 9901:1990 “Solar energy - Field pyranometers - Recommended practice for use”
- EN ISO 9488:2000 “Solar Energy - Vocabulary (ISO 9488:1999)”
- ANSI/ASHRAE 96-1980 (RA 1989) “Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Unglazed Flat-Plate Liquid-Type Solar Collectors”
- ANSI/ASHRAE 93-2003 “Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors”
- DIN EN 12975-1 (2001-03) “Thermal Solar Systems and Components-Solar collectors-Part1: General requirements”
- DIN EN 12975-2 (2001) “Thermal Solar Systems and Components-Solar collectors-Part2: Test Methods”
- TS 3680-1:2003 “Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi Kolektörleri-Bölüm 1: Genel Kurallar”
- TS 3680-2:2003 “Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi Kolektörleri-Bölüm 2: Deney Metotları”

Türkiye’de TS 3680-1 ve TS 3680-2 standartları sıvı akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı veriminin saptanmasında kullanılmaktadır. Bu standartlar AB standardı olan DIN EN 12975-1 ve DIN EN 12975-2 standartlarının içeriğini kapsamaktadır. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı verim deneylerini kapsayan bir standart henüz ülkemizde mevcut değildir.

Şekil 9’da ASHRAE 93-77 standardına göre hava akışkanlı güneş kolektörlerinin verimlilik deneylerinde kullanılan test düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 9. Isı transfer akışkanı olarak hava kullanıldığında bir güneş kolektörü için test düzeneği (ASHRAE Standard 93-77)

3.2. Güneş Kollektörlerinin Isıl Verimlerinin Değerlendirilmesi

Kollektör verimi; başlıca kollektöre giren ve çıkan akışkan sıcaklıklarına, kollektör üzerine gelen güneş ışınımı şiddetine, çevre ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi parametrelere bağlı olarak gün içinde değişiklik gösterdiklerinden dolayı kollektör verimleri “kollektör verim eğrisi” ile akışkan giriş, çıkış ve ortalama sıcaklık değerlerinin fonksiyonu olarak grafiksel biçimde gösterilmelidir.

Kararlı hal koşulları altında çalışan bir güneş kollektörünün anlık enerji verimi, kollektörden alınan yararlı ısının kollektör tarafından alınan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanır.

Kollektörden alınan yararlı ısı akışkan giriş sıcaklığına göre aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$Q_u = A_{col} F_R (S - U_L (T_{fi} - T_a)) \quad (6.1)$$

Isı transfer akışkanının giriş sıcaklığının kullanılması durumunda kollektör birinci yasa verim ifadesi aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

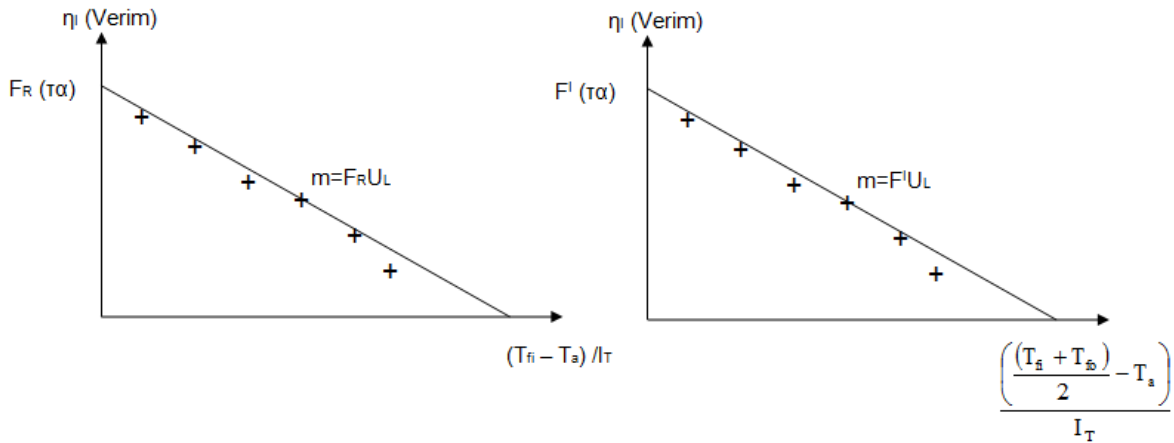
$$\eta_I = \frac{Q_u}{A_{col} I} = \frac{A_{col} F_R (S - U_L (T_{fi} - T_a))}{A_{col} I} \quad (6.2)$$

$$\eta_I = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I} \quad (3)$$

Isı transfer akışkanının ortalama sıcaklığının kullanılması durumunda kollektör birinci yasa verim ifadesi denklem 6.4 ile tanımlanır.

$$\eta_I = F^I (\tau\alpha) - F^I U_L \left(\frac{T_{fm} - T_a}{I} \right) \quad (4)$$

Şekil 10'da güneş kollektörünün çalışma sıcaklığına bağlı olarak birinci yasa veriminin doğrusal değerlendirilmesi gösterilmektedir.



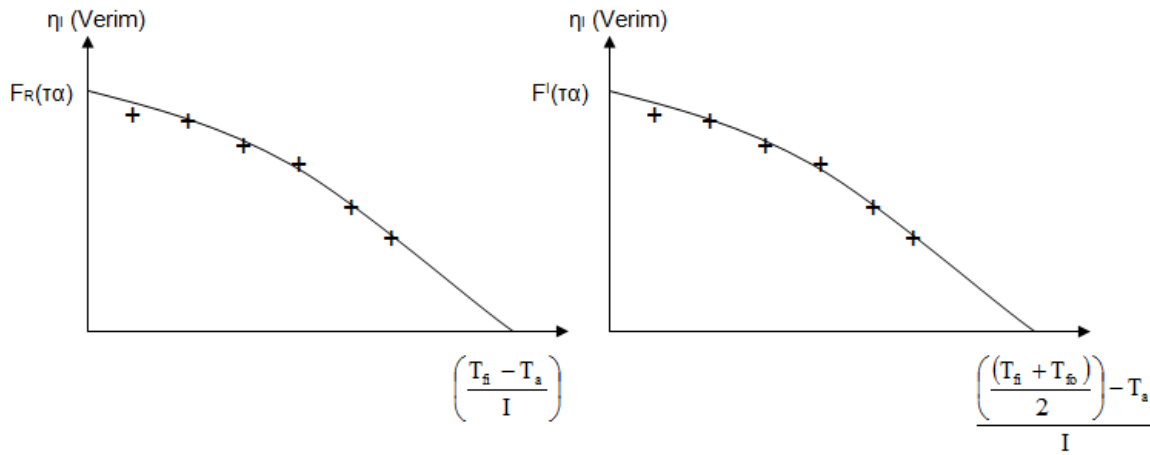
Şekil 10. Kollektörlerin doğrusal birinci yasa verimleri

Doğrusal yaklaşım kullanılarak toplayıcı ısı verim eğrilerinin oluşturulmasında toplam ısı kayıp katsayısının sabit olduğu kabul edilmektedir. Yutucu yüzey, çevre ve gökyüzü sıcaklıkları ile rüzgâr hızı, toplayıcı eğimi ve yutucu yüzeyin özelliklerine bağlı olarak ısı kayıp katsayısı da değişim göstermektedir. Bu değişim dikkate alınarak toplayıcı verim denklemleri akışkan giriş sıcaklığı ve ortalama akışkan sıcaklığı temel alınarak ikinci dereceden denklem ile ifade edilebilmektedir [9].

$$\eta_I = F_R(\tau\alpha) - \alpha_1 \left(\frac{T_{fi} - T_a}{I} \right) - \alpha_2 \left(\frac{(T_{fi} - T_a)}{I} \right)^2 \quad (5)$$

$$\eta_I = F^I(\tau\alpha) - \alpha_1 \frac{\left(\frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} - T_a \right)}{I} - \alpha_2 I_T \left(\frac{\left(\frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} - T_a \right)}{I} \right)^2 \quad (6)$$

Burada α_1 birinci dereceden ısı kayıp katsayısı, α_2 ikinci dereceden ısı kayıp katsayısıdır. Isıl verimin ikinci dereceden denklemle ifade edilebilmesi için α_2 değeri negatif olmamalıdır. Ayrıca ışınım değeri minimum 800 W/m^2 olmalıdır. Yeni yaklaşım ile halen kullanılmakta olan değerlendirme yöntemi karşılaştırılırsa, özellikle denge sıcaklığı ile optik verimlilik değerlerinin doğrusallaştırılmış ısı verim eğrisinden elde edilebilecek sonuçlara göre farklı olabilmektedir. Şekil 11'de güneş kollektörünün çalışma sıcaklığına bağlı olarak birinci yasa veriminin ikinci dereceden değerlendirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 11. Kollektörlerin ikinci dereceden birinci yasa verimleri

4. SONUÇLAR

Hava akışkanlı güneş kollektörlerinin sayısal ve deneysel termodinamik analizleri ile ilgili literatürde bir çok çalışma vardır. Bu çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan kollektörlerin ısı verimleri ile ilgili çalışmalar değerlendirilmiştir. ,

Tablo 1'de yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmaların sonucu

Araştırmacılar	Kollektör tipi	Yutucu levha tipi	Kütleli debi	Enerji Verimi
Omojaro ve Aldabbagh [10]	Tek geçişli Çift geçişli	Kanatçıklı ve çelik tel ağı	0,038 kg/s	0,5962 0,6374
Koyuncu [11]	Tek geçişli	Siyaha boyanmış duralit levha (yutucu levha üstü akış) Siyaha boyanmış alüminyum levha (yutucu levha üstü akış) Siyaha boyanmış zigzag levha (yutucu levha üstü akış) Siyaha boyanmış düzlemsel levha (yutucu levha altı akış) Siyaha boyanmış zigzag levha (yutucu levha altı akış) Siyaha boyanmış düzlemsel levha (iki örtülü ve yutucu levha altı akış)	65 kg/(hm ²)	0,4211 0,4588 0,4423 0,3976 0,3905 0,3694
Akpınar ve Koçyiğit [12]	Tek geçişli	Üçgen biçimde setli Yaprak biçiminde setli Dikdörtgen biçiminde setli Setsiz düzlemsel	0,0074 kg/s 0,0052 kg/s 0,0074 kg/s 0,0052 kg/s 0,0074 kg/s 0,0052 kg/s 0,0074 kg/s 0,0052 kg/s	0,37-0,67 0,26-0,49 0,35-0,82 0,33-0,58 0,34-0,45 0,27-0,38 0,26-0,35 0,20-0,31
El-khawajah vd. [13]	Karşıt akış geçişli	Gözenekli Kanatçıklı	0,042 kg/s	0,689-0,795

Tablo 1'den görüldüğü gibi, hava akışkanlığı güneş kolektörlerinde ısı enerji verim değerleri 0,20 ile 0,82 arasında kolektör tipi ve yutucu levha şekline bağlı olarak değişmektedir.

Kollektör verimini etkileyen bir çok parametre vardır; giren hava sıcaklığı, güneş ışınımı şiddeti, çevre sıcaklığı, kolektör eğimi, kütleli debi, yutucu levha geometrisi ve kolektör akış tipi vb.

Ülkemiz alternatif enerji kaynakları açısından zengin bir konumdadır. Türkiye'nin coğrafi konumu ve yapısı dikkate alındığında güneş enerjisi doğal kaynaklar arasından kendini ön plana çıkarmaktadır. Dolayısıyla, sera ısıtma, ürün kurutma ve mahal ısıtma amaçlı hava akışkanlığı güneş kolektörlerinin yaygınlaştırılması çevre ve ekonomik açıdan önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MUJUMDAR, A.S.. "Handbook of Industrial drying", Taylor and Francis group, U.K. 2007.
- [2] ATUL SHARMA, C.R., Chen, N.V. L.. "Solar-energy drying systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13 (2009) 1185–1210.
- [3] TIRIS, M., TIRIS, Ç., ERDALLI, Y.. "Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri", Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü. 1997.
- [4] GARG, H.P.. "Treatise on solar energy, Fundamentals of solar energy, Volume 1", John Wiley&Sons Ltd. 1982.
- [5] GAO, W., LIN, W., LIU, T., XIA, C., "Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat-plate solar air heaters", Applied Energy. 84 (2007) 425–441.
- [6] AHMAD, A., SAINI, J.S., VARMA, H.K.. "Effect of geometrical and thermophysical characteristics of bed materials on the enhancement of thermal performance of packed bed solar air heaters", Energy Conversion and Management. 12 (1995) 1185-1195.

- [7] SELÇUK, K.. “Thermal and economic analysis of the overlapped-glass plate solar-air heater”, Solar Energy. 13 (1971) 165-191.
- [8] AKDEMİR, Ö.. “Düzlemsel güneş kolektörlerinin teorik ve deneysel olarak tersinmezlik ile optimizasyonu”, Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [9] ÖZBALTA, N., GÜNGÖR, A.. “Düzlemsel güneş enerjisi toplayıcılarında verim eşitliklerinin değerlendirilmesi Yeni Yaklaşım”, 1. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli. 2003
- [10] OMOJARO A.P., ALDABBAGH, L.B.Y.. “Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber”, Applied Energy. 87 (2010) 3759–3765.
- [11] Koyuncu, T.. “Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications”, Renewable Energy. 31 (2006) 1073–1088
- [12] AKPINAR, E. K., KOÇYİĞİT, F.. “Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates”, Applied Energy 87 (2010) 3438–3450.
- [13] EL-KHAWAJAH, M.F., ALDABBAGH, L.B.Y., EGELIOĞLU, F.. “The effect of using transverse fins on a double pass flow solar air heater using wire mesh as an absorber”, Solar Energy 85 (2011) 1479–1487

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah YILDIZ

1978 yılı Uşak doğumludur. 2000 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2003 yılında Yüksek Mühendis ve Ege Üniversitesinden 2009 yılında Doktor unvanını almıştır. 2001-2003 Yılları arasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü’nde Araştırma Görevlisi, 2003-2009 yıllarında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde 35. madde kapsamında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2010 yılından beri Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı’nda Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Güneş Enerjisi, Isıl Sistemlerin Termodinamik Analizi konularında çalışmaktadır,