

GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA TEKNOLOJİLERİ ve UYGULAMALARDA GELİŞMELER

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

İzmir

ali.gungor@ege.edu.tr

Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

İzmir

necdet.ozbalta1@gmail.com

ÖZET

Özellikle gıdaların saklanması için ilk uygulanan yöntemlerden olan kurutma prosesi için güneş enerjisinin kullanımı çok eski çağlara kadar dayanır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi güneş enerjili kurutma sistemlerinin çeşitliliklerinin artmasına, daha hijyenik kurutulmuş ürünü, daha ekonomik enerji kullanımlarıyla üretebileceğimiz güneş enerjili kurutma sistemlerinin ve hatta konvansiyonel sistemlerle birleştirilmiş hibrit toplayıcıların da geliştirilmesini sağlamıştır. Günümüzde enerji maliyetlerinin giderek artan seyri tarımsal alanda özellikle de kurutma proseslerinde güneş enerjisinin kullanımını yaygınlaştıracaktır. Ülkemizin potansiyel jeotermal kaynaklarının da kurutma teknolojisinde kullanımının yaygınlaşması ile birlikte hibrit çözümlerin önümüzdeki süreçte daha çok araştırılacağı ve uygulanacağını işaret etmektedir. Bu bildiriye ayrıca mevcut teknolojiler ve gelişmeler verilecek ve Ülkemiz için güneş enerjili kurutma sistemlerinin bugünü ve geleceği tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Kurutma, Güneş enerjili kurutucular.

ABSTRACT

In particular, the use of solar energy for the drying process, which is one of the first methods in food storage, dates back to ancient times. Today, the development of technology has led to an increase in the diversity of solar drying systems, the development of more hygienic dried products, solar drying systems that we can produce with more economical energy uses, and even hybrid collectors combined with conventional systems. Nowadays, the increasing course of energy costs will increase the use of solar energy in agriculture, especially in drying processes. With the widespread use of our country's potential geothermal resources in drying technology, it points out that hybrid solutions will be more researched and implemented in the coming period. In this paper, current technologies and developments will be given and the present and future of solar dryer systems for our country will be discussed.

Key Words: Solar energy, Drying, Solar Dryers.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bunun küçük bir kısmını bile dönüştürebilsek, en iyi enerji kaynağından biri toplum hizmetine sunulması olanaklı olacaktır. Ortalama olarak, parlak güneşli bir günde kullanılabilir güneş enerjisi yaklaşık 1 kW / m² mertebelerine ulaşabilmekte ve gün doğumundan batımına bu enerjiden yararlanılabilir. Günümüzde mevcut ve kullanılan güneş enerjisi teknolojileri olarak, binaların ısıtılması ve soğutulması, güneş enerjili su ısıtıcıları, güneş hava ısıtıcıları, güneş ocakları, güneş kurutma vb. sıralanabilir. Güneş enerjili hava ısıtma sistemleri esas olarak kurutma uygulamalarında yaygın kullanılmaktadır. Tasarımlar ve diğer detaylar birçok inceleme makalesinde ve kitapta mevcuttur. [1]

Güneş kurutucular, tarım ve gıda kurutmada, tarım kimyasalları kurutma gibi sanayilerde kullanılabilir. Piyasada veya araştırmalarda çalışılan çok çeşitli güneş kurutucuları mevcuttur. Bunların enerji tasarrufu açısından faydalı cihazlar olduğu araştırmalarda kanıtlanmıştır. Bu kurutucular sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çok zaman kazandırır, kurutma için daha az alan kaplar, genel amaçları ürünün kalitesini arttırmak, işlemi açık güneşte kurutmaya göre daha verimli kılmak ve çevreyi korumaktır. Kurutma işleminin tamamı için güneş enerjili kurutma kullanılabilir veya yapay kurutma sistemlerini desteklemek için de kullanılabilir. Böylece kurutma için gereken toplam yakıt enerjisi miktarı azaltılır.

Birçok ülkede, tarımda sebze, meyve, kahve ve diğer mahsulleri kurutarak korumak için güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmasının pratik, ekonomik ve çevresel açıdan sorumlu ve gerekli bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. Gıdaları ve diğer bitkileri kurutmak için güneş ısıtma sistemleri geliştirmekle, ürün kalitesinde, ürün israfında ve konvansiyonel yakıtlarda azalma meydana gelir, böylece yaşam kalitesi artar.

Kuru üzüm, kuru erik, patates, sarımsak vs. gibi korunmadan önce kurutulması gereken birçok bozulabilir meyve ve sebze vardır. Bu kolayca güneş enerjisi ile yapılabilir. Tahıllar ve bakliyat, depolama sırasındaki kayıpları en aza indirmek ve ayrıca satışa uygun olmalarını sağlamak için % 15'ten az nem içeriğine kurutulmalıdır. Ürünün kuruması hasattan önce başlar ve hasattan sonra ve harmandan önce sık sık devam eder.

Tablo 1.'de güneş enerjisi ile kurutulmaları gerçekleştirilen bazı zirai ürünlerin başlangıç ve kurutma sonu nemlilikleri, kurutma sıcaklıkları, kurutmada uzaklaştırılan su miktarı (kg/t) ve kurutma için gerekli enerjiler (kJ/t×10⁶) verilmiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULARINDA VERİM TANIMLAMALARI

Kurutma sistemlerinin performansı, toplayıcı ısı verimi, nem alma verimi, sistem kurutma verimliliği, buharlaşma kapasitesi, özgül nem alma hızı (SMER) olarak verilir [4, 5, 6, 7].

Toplayıcı ısı verimi (η_t), çalışma akışkanından (kurutma havasından) alınan yararlı ısının, toplayıcı yüzeyine gelen güneş ışınımına oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_u}{A_c I_t}$$

Burada, Q_u yararlı ısı, A_c toplayıcı alanı, I_t toplayıcı yüzeyine gelen güneş ışınımıdır. Yararlı ısı, çalışma akışkanının kütle debisi (\dot{m}), özgül ısısı (c_p), toplayıcıya giriş-çıkış sıcaklıkları (T_g ve $T_ç$) yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_ç - T_g)$$

Tablo 1. Bazı ürünlerin kurutma koşulları (Forkas 2003)

Ürün adı	Nemlilik (yaş esas)		Maksimum kurutma sıcaklığı (°C)	Buharlaştırılan su (kg/t)	Enerji gereksinimi (kJ/tx10 ⁶)
	Başlangıç %	Son %			
Elma	80	24	70	736,8	1,502
Kayısı	85	18	65	817,1	1,666
Muz	80	15	70	823,5	1,679
Lahana	80	4	55	791,7	1,614
Havuç	70	5	75	684,2	1,365
Manyok (Cassava)	62	17		542,2	1,105
Karnabahar	80	6	65	787,2	1,605
Kırmızı biber	80	5	65	789,5	1,610
Kakao çekirdeği	50	7		462,4	0,943
Kahve çekirdeği	55	12		488,6	0,996
Kahve	50	11		438,6	0,695
Kozalaklı ağaç	30-40	10-15	50	222,2-294,1	0,453-0,600
Mısır	24	14	50	116,3	0,237
İncir	80	24		736,8	1,502
Balık	75	15	30	705,9	1,439
Yeşil yapraklı ağaçlar	25-35	17-20	50	96,4-187,5	0,197-0,382
Sarmısak	80	4	55	791,7	1,674
Üzüm	80	15-20	70	750,0-623,5	1,529-1,679
Yeşil fasulye	70	5	75	664,2	1,395
Yeşil bezelye	80	5	65	789,5	1,610
Yer fıstığı	40	9	50	340,6	0,694
Guava (Hintarmudu)	80	7	65	784,9	1,600
Soğan	80	4	55	791,7	1,614
Şeftali	85	18	65	817,1	1,666
Ananas	80	10	65	777,8	1,586
Patates	75	13	75	712,6	1,453
Erik	85	15	55	823,5	1,769
Çeltik	24	11	50	146,1	0,298
Ispanak	80	10		777,8	1,566
Tatlı patates	75	7	75	731,2	1,491
Buğday	20	16	45	47,6	0,097

Nem alma verimi (η_n), kurutma havasının nem alma performansını gösteren önemli bir parametredir. Kurutma havası tarafından alınan nemin, kurutma havasınca alınabilecek en çok nemliliğe oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_n = \frac{x_o - x_i}{x_{ia} - x_i}$$

Burada, x_o kurutucudan çıkan havanın özgül nem, x_i kurutucuya giren havanın özgül nemi, x_{ia} ise kurutucuya giren havanın adyabatik doyma özgül nemidir.

Özgül nemin ölçümünün kolay olmaması nedeniyle, ürün kütlesindeki değişim, kurutma havası debisi kullanılarak nem alma verimi tanımlanır.

$$\eta_n = \frac{M_0 - M_t}{V \rho t (x_{ia} - x_i)}$$

Burada, M_0 , $t=0$ anında kurutulan ürünün kütlesi, M_t , $t=t$ anında kurutulan ürünün kütlesi, V , kurutma havasının hacimsel debisi, ρ , kurutma havasının yoğunluğu, t , kurutma süresidir.

Sistem kurutma verimliliği (η_s), nemin buharlaşması için gerekli enerjinin, kurutucuya verilen enerjiye oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_s = \frac{\dot{m}_{bn} h_{fg}}{I_t A_c}$$

Burada, \dot{m}_{bn} buharlaştırılan nemin kütlesi, h_{fg} kurutucu sıcaklığında suyun buharlaşma gizli ısı, I_t toplayıcı yüzeyi ve/veya direkt güneş enerjili kurutucuda kurutucu yüzeyleri üzerine gelen güneş ışınımı, A_c toplayıcı yüzeyi ve/veya direkt güneş enerjili kurutucuda kurutucu yüzeyidir.

Zorlanmış taşınımli güneş enerjili kurutucuda, sistem kurutma verimliliğinin hesaplanmasında fan tarafından tüketilen enerji de (P_f) dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla sistem kurutma verimliliği aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$\eta_s = \frac{\dot{m}_{bn} h_{fg}}{I_t A_c + P_f}$$

İkinci bir ek enerji (LPG, biyokütle v.b.) kaynağının kullanıldığı hibrit kurutucularda ise sistem kurutma verimliliği, yakıt alt ısıl değeri (LHV), tüketilen yakıt kütlesi (\dot{m}_y) dikkate alınarak hesaplanır:

$$\eta_s = \frac{\dot{m}_{bn} h_{fg}}{(I_t A_s + P_f) + (\dot{m}_y LHV)}$$

Güneş enerjili kurutucunun performansına çevre havasının sıcaklığı ve nemliliğinin etkisi, buharlaştırma kapasitesi (evaporative capacity) ile incelenir.

$$E = \frac{\dot{m}_{ha}}{1 + x_a} (x_2 - x_1)$$

Burada, E buharlaşma kapasitesi, \dot{m}_{ha} nemli kurutma havasının kütle debisi, x_1 toplayıcı çıkışında havanın özgül nemi, x_2 kurutucu çıkışında havanın mutlak nemi, x_a çevre havasının mutlak nemidir.

Özgül nem alma hızı (SMER=Specific Moisture Extraction Rate), birim enerji tüketimi başına buharlaştırılan suyun kütlesi olarak tanımlanır.

$$\text{Özgül nem alma hızı} = \text{SMER} = \frac{\text{Buharlaştırılan suyun kütlesi}}{\text{Kurutucuya toplam enerji girişi}}$$

Toplayıcı ve kurutma kabini içinde hava sıcaklığındaki artış, hava debisi, rüzgar hızı, toplayıcı/kurutucu tasarımı gibi kurutucu sistem verimini etkileyen başlıca faktörler; sistemdeki toplam ısı kayıplarla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilidir.

3. GÜNEŞLİ KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI

Kurutma cihazları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. En kullanışlı iki sınıflandırma (1) ısının ıslak katılara aktarılma yöntemine veya (2) ıslak malzemenin kullanım özelliklerine ve fiziksel özelliklerine dayanmaktadır. İlk sınıflandırma yöntemi, kurutucu tasarımında ve işleminde farklılıklar olduğunu gösterirken, ikinci yöntem verilen kurutma probleminde ön değerlendirme için bir grup kurutucu seçiminde en faydalı olanıdır.

Kurutma cihazlarının ısı transferine dayanan bir sınıflandırma şeması Şekil 1'de gösterilmiştir [1, 2 ,3]. Bu şema, kurutucuları doğrudan veya dolaylı olarak sürekli veya kesikli yüklemeli olarak işletilen alt sınıflara ayırır.

Güneş enerjisi kurutucuları genel olarak doğrudan (direkt), dolaylı (endirekt) ve hibrit (Direkt ve endirekt) güneş kurutucuları olarak sınıflandırılabilir. Bu kurutucuların çalışma prensibi esas olarak güneş enerjisini toplama yöntemine ve bunun kurutma için faydalı ısı enerjisiye dönüştürülmesine bağlıdır, Şekil 1., ve Şekil 2..

Güneş enerjili kurutma sistemleri, öncelikle ısıtma modlarına ve güneş enerjisinin kullanım şekline göre sınıflandırılır (Belessiotis et al., 2011). Geniş anlamda, bunlar iki ana gruba ayrılabilir, yani:

- Pasif güneş enerjisi kurutma sistemleri (geleneksel olarak adlandırılan doğal sirkülasyonlu güneşli kurutma sistemleri) ve
- Aktif güneş enerjisi kurutma sistemleri (çoğu türü hibrit güneş kurutucuları olarak adlandırılır).

Aktif veya pasif güneş enerjili kurutma sistemlerinin üç ayrı alt sınıfı tanımlanabilir:

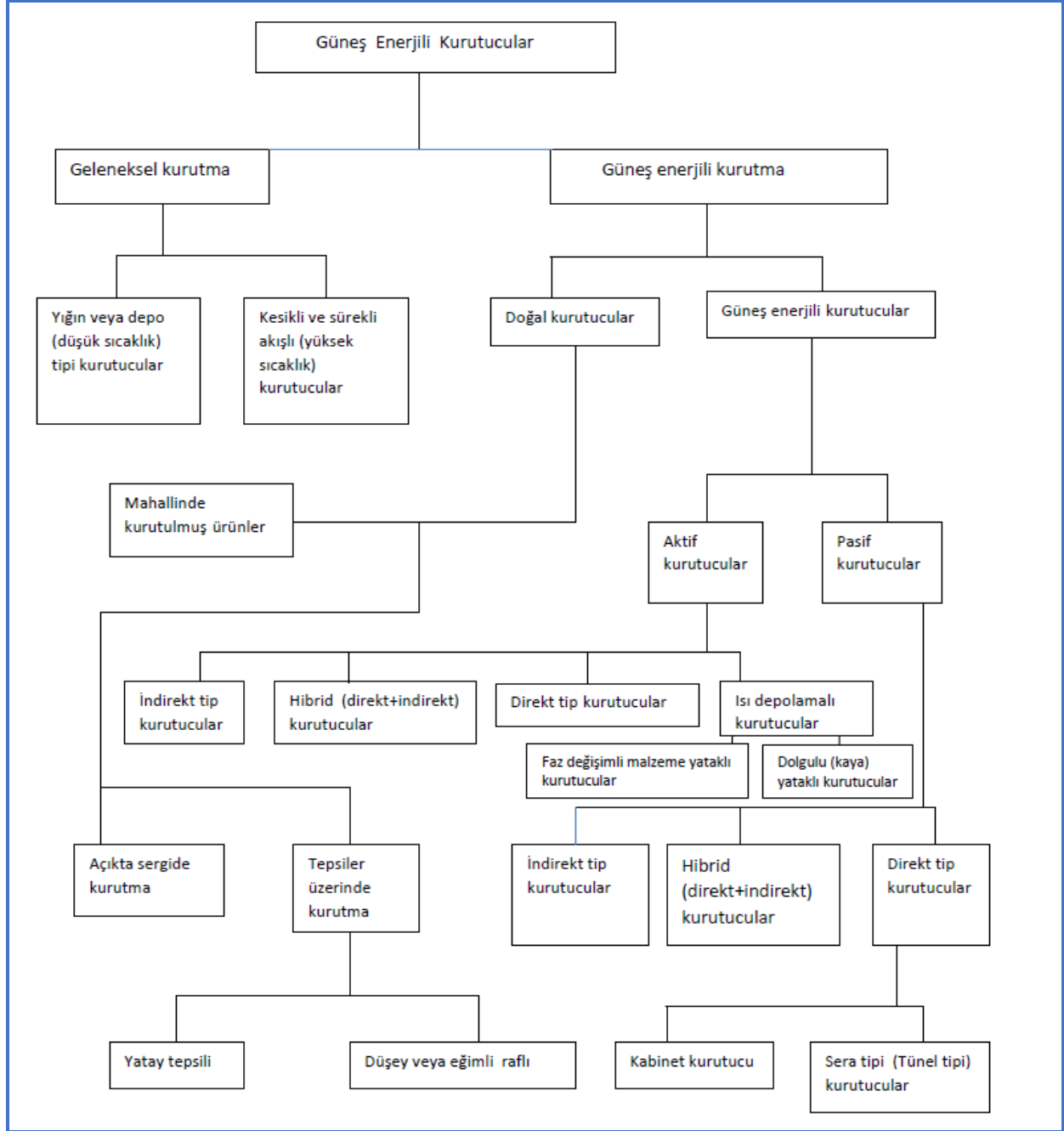
- Doğrudan (direkt) tip güneş enerjili kurutucular,
- Dolaylı (endirekt) tip güneş enerjili kurutucular,
- Hibrit (doğrudan ve dolaylı) güneş enerjili kurutucular.

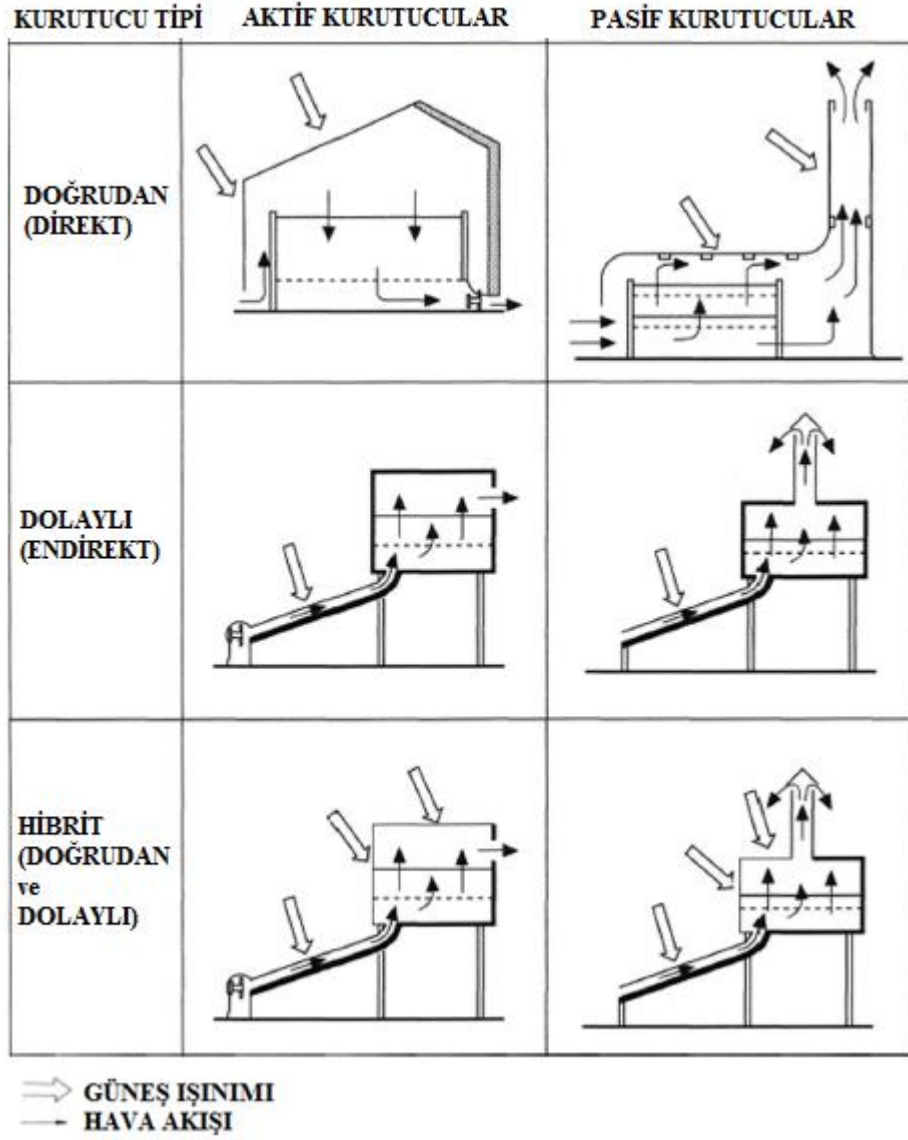
Çeşitli güneş enerjisi kurutucu sınıflarının tipik tasarımlarının temel özellikleri, kullanılan enerji kaynaklarına dayanarak güneş kurutucular için üç ana grubu gösteren Şekil 2.'de gösterilmektedir (Leon ve diğerleri, 2002). Güneş enerjisi kurutucularının tasarımı, kullanılacak olan enerji kaynaklarının yanı sıra kurutulacak malzemenin miktarına, karakteristik davranışına göre ayarlanmıştır ve buna göre, çeşitli güneş enerjisi kurutucuları geliştirilmiştir ve bugüne kadar değişik tipleri de yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1 Açıkta güneş enerjili kurutma

Şekil 2. ve Şekil 3, yalnızca güneş enerjisini kullanarak açıkta güneşte kurutmanın çalışma prensibini göstermektedir. Kurutulacak ürünler genellikle günün büyük bir bölümünde kısa dalga boylu güneş enerjisi aldıkları toprak, tekstil sergiler, çimento zeminine yayılır ve doğal

Şekil 1. Kurutucuların sınıflandırılması ve kurutma modları [1, 2, 3].





Şekil.2 Tipik güneş enerjisi kurutucu tasarımları [1].

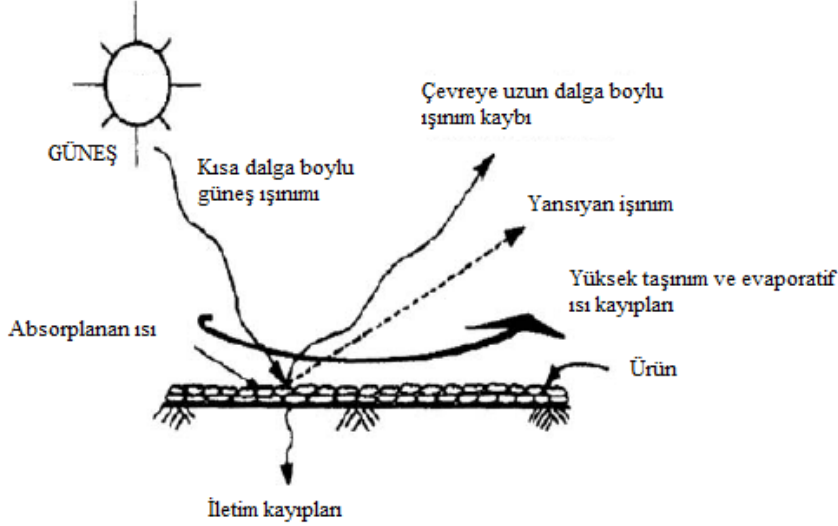
hava akımına maruz bırakılır. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı geri yansıtılır ve geri kalanı, mahsullerin rengine bağlı olarak yüzey tarafından emilir. Emilen radyasyon, termal enerjiye dönüştürülür ve malzemenin sıcaklığı artmaya başlar. Bununla birlikte, mahsulün yüzeyinden çevre havasına nemli hava yoluyla geçen uzun dalga boyu radyasyon kaybı ve mahsulün yüzeyinde nemli hava yoluyla esen rüzgâr nedeniyle konvektif ısı kaybı gibi kayıplar vardır.

Süreç diğer kaynaklardan bağımsızdır, güneş enerjisinden başka enerji kullanılmaz ve dolayısıyla en ucuz yöntem ancak bir takım sınırlamaları vardır, genel olarak, açıkta güneşte kurutma yöntemleri istenen kalite standartlarını karşılamaz ve bazen bu ürünler uluslararası pazarda satılamayabilir.

Açıkta güneşte kurutmada yer alan yetersizliklerin farkındalığı ile, mahsul kurutması için daha bilimsel bir güneş enerjisi kullanımı yöntemi, güneş kurutması olarak adlandırılmıştır. Bununla birlikte, mahsulün yüzeyinden çevre havasına nemli hava yoluyla geçen uzun dalga boyu radyasyon kaybı ve mahsulün yüzeyinde nemli hava yoluyla esen rüzgâr nedeniyle

konvektif ısı kaybı gibi kayıplar vardır. Süreç diğer kaynaklardan bağımsızdır, güneş ışığından başka enerji ve dolayısıyla en ucuz yöntem ancak bir takım sınırlamaları vardır.

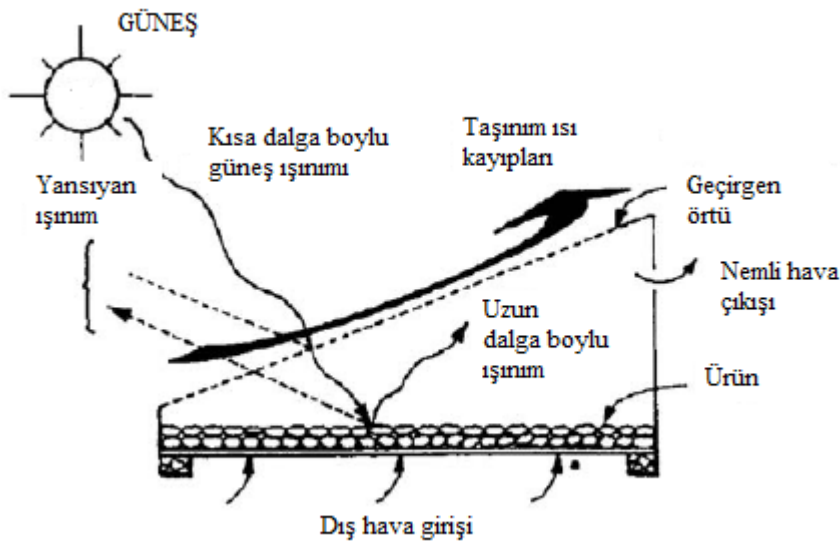
Açıkta güneş enerjili kurutmada yer alan yetersizliklerin farkındalığı ile, ürün kurutulması için daha bilimsel bir güneş enerjisi kullanımı yöntemi, “güneşli kurutucu” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. Açıkta güneş enerjili kurutucu çalışma prensibi [3].

3.2. Doğrudan (direkt) güneşli kurutma

Doğrudan güneş enerjili ürün kurutmanın çalışma prensibi, güneş enerjili kabin tipi (kabinet) kurutucu olarak da bilinir ve Şekil 2. ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Burada nem, kabine aşağıdan giren hava ile alınır, Şekil 4'de gösterildiği gibi, ve üst çıkıştan kaçan hava ile nem atılır.



Şekil 4. Direkt güneş enerjili örnek bir kabinet tipi güneşli kurutucu [3].

Kabinet tip kurutucuda, cam örtüye çarpan toplam güneş ışınımının bir kısmı atmosfere geri yansıtılır ve bir kısmı cam tarafından absorplanır ve geri kalan büyük bir oranı ise kabinin içine geçirilir.

İletilen radyasyonun bir kısmı daha sonra ürün yüzeyinden geri yansıtılır ve geri kalanı ürün yüzeyi tarafından absorplanır (soğurulur), bu da sıcaklığının artmasına neden olur ve böylece cam örtü nedeniyle atmosfere kaçmasına izin verilmeyen uzun dalga boyu radyasyon tekrar hacim içerisine yayılır.

Bu etkilerin sonucunda, kabin içindeki ürünün üstündeki sıcaklık daha yüksek olur. Kabinet kurutucusundaki cam örtü (ya da geçirgen örtü), böylece ürün ve kabinet sıcaklığının arttırılmasında önemli bir rol oynadığı gibi, ortama doğrudan taşınım kayıplarını azaltmada da hizmet eder.

Güneşli kurutmanın açık güneşli kurutmaya göre avantajları şunlardır:

a) Aynı yükleme kapasitesi için endirekt (dolaylı) tipten daha basit ve ucuzdur.

b) Yağmur, çiy, toz vb.' dış etkilerden koruma sağlama,

Bir kabinet tipi kurutucunun aşağıdaki sınırlamaları vardır:

a) Ürünün zarar görmesine neden olacak yerel olarak aşırı ısınmaya neden olma.

b) Düşük buharlaşma hızları, nispeten yavaş toplam kurutma oranlarına (hızlarına) neden olur

c) Küçük kapasitelidir, küçük ölçekli uygulamalarla sınırlı kalır.

d) Güneş ışığına doğrudan maruz kalması nedeniyle üründe renk bozulması.

e) Cam örtülerin iç yüzeylerindeki nem yoğuşması geçirgenliğini azaltır.

f) Ürün sıcaklığındaki yetersiz artış, nemin giderilmesini etkiler.

g) Absorber (soğurucu) üzerinde ve kabin kurutucusunun içinde seçici kaplamaların sınırlı kullanımı.

3.3. Dolaylı (endirekt) güneşli kurutma

Bunlar, ısı transferi ve buharın giderilmesi açısından doğrudan (direkt) kurutuculardan farklıdır. Şekil 2. ve Şekil 5. dolaylı güneşli kurutmanın çalışma prensibini açıklar. Bu dolaylı güneş kurutucularda, ürünler opak bir kurutma kabininin içindeki ayrı tepsilerde veya raflarda bulunur.

Güneş kolektörü olarak adlandırılan ünite, hava akışkanlı bir toplayıcı tipi olup, giren havanın kurutma kabinine ısıtılarak gönderilmesi için kullanılır.

Isıtılan havanın, kurutulacak nemli ürünün içinden / üzerinden akmasına izin verilir.

Sıcak hava ve nemli ürün arasında konvektif (taşınımla) ısı transferi ile nem buharlaşması oluşur.

Kurutma, yaş ürün yüzeyinin çevresindeki hava ile kurutma havası arasındaki nem konsantrasyonundaki farklılık nedeniyle gerçekleşir.

Dolaylı güneşli kurutmanın avantajları:

a) Kurutma üzerinde daha iyi kontrol sağlar ve elde edilen ürün daha iyi kalitededir.

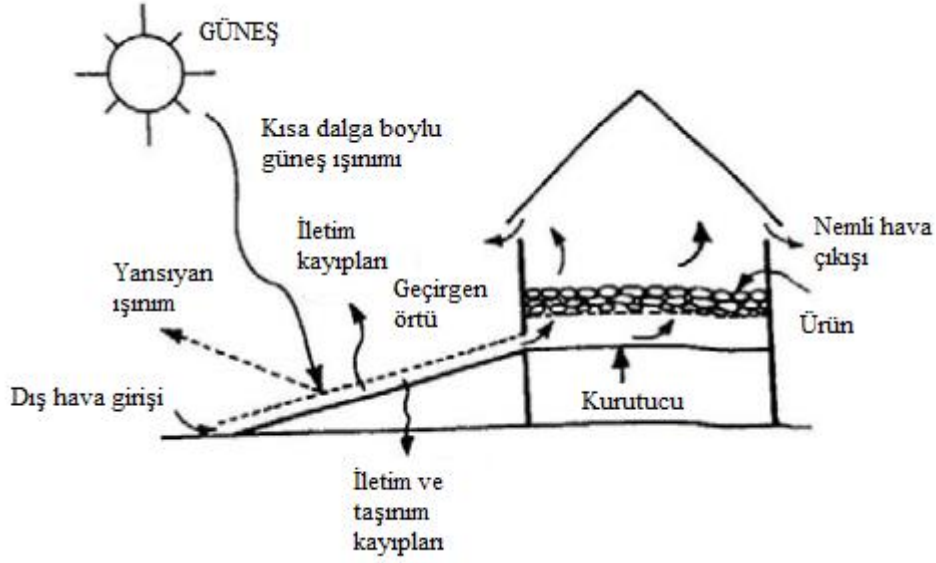
b) Bitkiler korunduğundan ve doğrudan radyasyona opak olduğundan karamelizasyon ve lokalize ısı hasarı meydana gelmez.

c) Derin tabaka kuruması için önerilen daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabilir.

d) Işığa duyarlı ürünler için şiddetle tavsiye edilir.

e) Doğrudan güneş kurutmasından daha fazla verime yönelik doğal eğilime sahip olmak.

Bununla birlikte, ekipmana daha fazla sermaye yatırımı gerektiren ve doğrudan kurutma ünitelerinden daha büyük bakım maliyetleri gerektiren nispeten ayrıntılı yapılardır.



Şekil 5. Dolaylı güneş kurutma sisteminin çalışma prensibi [3]

3.4 Hibrit güneşli kurutma

Hibrit güneşli kurutucular, doğrudan ve dolaylı tip güneş enerjisi kurutucularının özelliklerini bir araya getirir.

Burada, kurutulacak ürün üzerindeki doğrudan güneş ışınımının birleşik etkisi ve bir güneş enerjisi kollektörü ısıtıcısında önceden ısıtılmış hava, kurutma işlemi için gerekli olan ısıyı üretir. Şekil 6.'da Ege Üniversitesinde yapılan bir çalışmada denenen bir hibrit kurutucuyu göstermektedir.



Şekil 6. Ege Üniversitesi'nde Prof.Dr.Gazanfer HARZADIN'ın firmasının katkılarıyla, kayısı kurutulmasında denenen hibrit tip, pasif bir kurutucu.

4. AKTİF VE PASİF GÜNEŞLİ KURUTUCU TÜRLERİ

Kurutma modu temelinde; doğrudan veya dolaylı ve hibrit olarak sınıflanan, güneşli kurutucular pasif ve aktif olanlar olarak sınıflandırılabilir:

- (a) Bitkilerin, doğal hava sirkülasyonu olan veya olmayan, güneşten gelen radyasyondan doğrudan etkilenecek şekilde kurutulduğu (doğal taşınım) pasif kurutucular ve
- (b) Bir vantilatör vasıtasıyla sıcak kurutma havasının sirküle edildiği aktif güneşli kurutucular (zorlanmış taşınım).

4.1. Pasif güneş enerjili kurutma sistemleri

Pasif bir güneş kurutucusunda, hava kaldırma kuvveti veya rüzgar basıncı veya her ikisinin bir kombinasyonu sonucu doğal olarak ısıtılır ve dolaştırılır. Normal ve geri emici kabin tipi kurutucu ve sera tipi kurutucu pasif modda çalışır. Ürünlerin pasif kurutulması hala, özellikle Afrika ve Asya'da veya küçük tarımsal topluluklarda birçok Akdeniz, tropik ve subtropikal bölgede pratik olarak kullanılmaktadır.

Bunlar ilkindir, yerel olarak mevcut malzemelerle yapım açısından ucuzdur, kurulumu kolaydır ve özellikle elektrik şebekesinden uzak yerlerde çalışırlar. Pasif kurutucular, muz, ananas, mango, patates, havuç vb. gibi küçük meyve ve sebze gruplarını kurutmak için en uygun kurutucu tipidir.

4.1.1 Dolaylı tip pasif güneş enerjili kurutucular

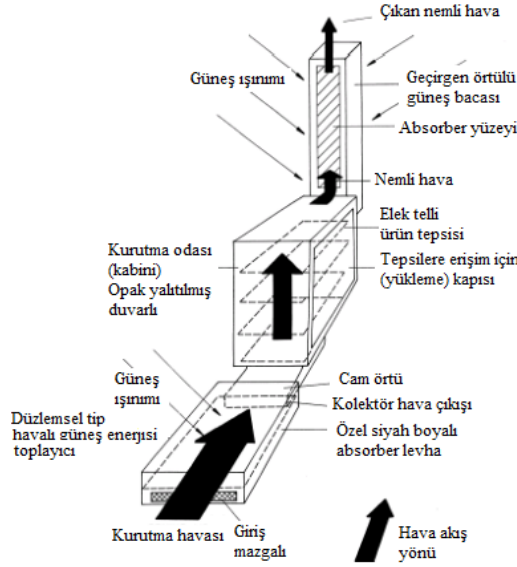
Bunlar, kurutma için havanın doğal taşınımına sahip dolaylı tip kurutuculardır. Bir kurutucunun kapasitesini arttırmak için, yani, mevcut alan içerisinde ürünlere sahip birden fazla tepsi tabakası ile çalışmak için, tepsiler genellikle üst üste tepsiler arasında biraz boşluk bırakacak biçimde dikey raflara yerleştirilir

Bu tepsilerin düzenlenmesi nedeniyle hava için oluşturulan ek direncin yenilebilmesi için hava hareketi "baca etkisi" ile sağlanır.

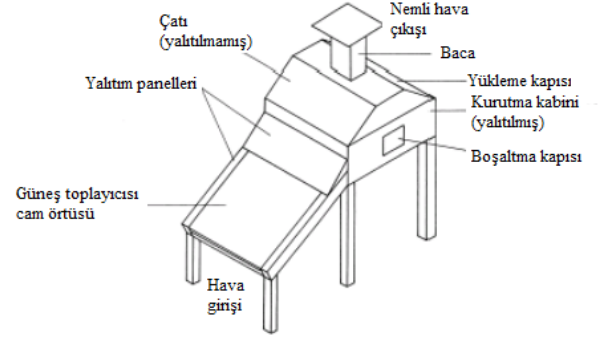
Baca etkisi, kabin içindeki ve atmosferdeki havanın yoğunluk farkının bir sonucu olarak dikey yöndeki hava akışını artırır.

Ürün kurutma için kullanılan tipik bir dolaylı pasif güneş enerjisi kurutucusu, Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 8., Mısır kurutma için Ortho Grainger & Twidel (1981) tarafından yapılan tasarımı göstermektedir.

Tasarımlar genellikle bir hava ısıtmalı güneş enerjisi kollektöründen, yalıtımlı bir kanaldan, bir kurutma odasından ve bir bacadan oluşur.



Şekil 7. Ürün kurutma için kullanılan tipik bir dolaylı pasif güneş enerjisi kurutucusu [1].



Şekil 8. Mısır kurutma için dolaylı pasif güneş enerjisi kurutucusu [1].

4.1.2 Doğrudan tip pasif güneş enerjili kurutucular

Tipik bir direkt tip pasif güneş kurutucusunun özellikleri, Şekil 9.'da gösterilmektedir. Bu tip güneşli kurutucularda, ürünün güneş ışığına doğrudan maruz bırakılması, bazı üzüm çeşitleri, hurmalar, kahve ve kavrulmuş çekirdeklerde tam lezzet gelişimi için istenen renk olgunlaşmasını artırır. Bu kategorideki iki temel kurutucu tipi kabin ve sera tipi kurutucular olarak tanımlanabilir.

4.1.2.1. Güneş enerjili kabin tipi kurutucular

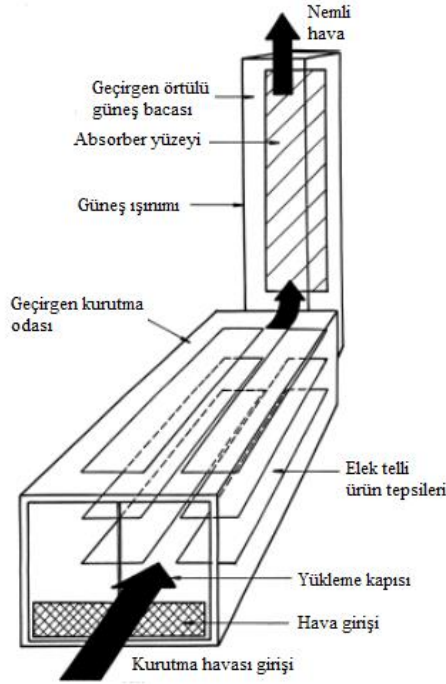
Pasif güneş enerjili kabin tipi kurutucular genellikle evsel kullanım için yaygın uygulamaları olan basit ve ucuz ünitelerdir. Normalde 1-2 m² kurutma alanına sahip, 10-20 kg kapasiteli, tarımsal ürünlerin, baharatların ve bitkilerin kurutulması için uygundur.

Şekil 10 tipik bir pasif güneş enerjili kabin tipi kurutucuyu göstermektedir. Kurutma ısısı, cam kapaktan geçerek ürüne iletilir ve koyu renkli iç kısımda ve üründe emilir. İstenilen hava sirkülasyonu, kaldırma kuvvetlerinin etkisi altında üst hava deliğinden çıkan ılık nemli havanın çekişi ile taban girişinden gelen temiz dış hava ile sağlanır. Güneş enerjisi kabin kurutucularındaki öncü temel çalışmalar Brace Araştırma Enstitüsü (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen konfigürasyona göre pasif güneş enerjili kabin tipi kurutucu tasarımları Brace Research Institute tarafından çeşitli ürünler ve yerler için inşa edilmiş ve test edilmiştir.

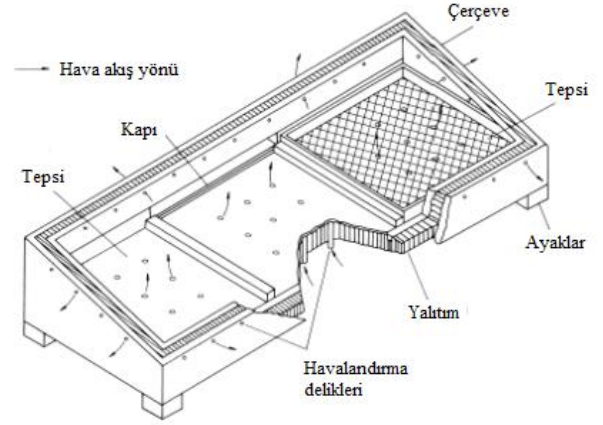
Ezekwe (1981), Şekil 11'da gösterilen tipik tasarımın, hava girişini yönlendiren ahşap bir plenum ve doğal dolaşımı arttırmak için uzun bir kontrplak baca ile modifiye edildiğini ve bu nedenle de açık güneş kurumada kuruma hızının yaklaşık 5 kat hızlandığını belirtmiştir. Şekil 12.'de, Henriksson ve Gustafsson'un (1986) tasarladığı file çalışma zemini ve güneşe bakan siyah PVC folyoya sahip bir bacalı kurutucuyu göstermektedir.

Pasif güneş enerjili kabin tip kurutucu, yerel olarak mevcut olan malzemelerden yapımda ucuz ve kolay olma avantajına sahiptir, ancak en büyük dezavantajı düşük

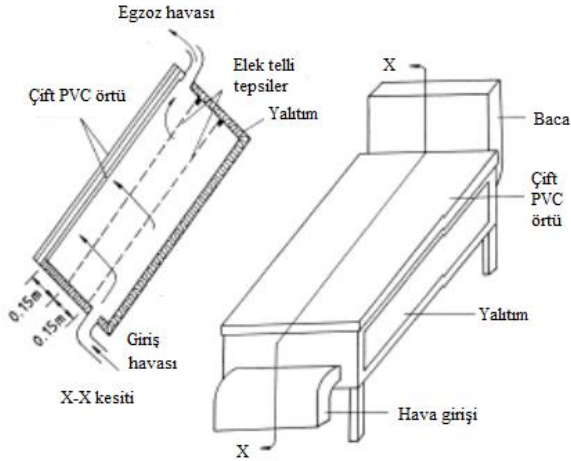
kuruma hızları ve ürünün aşırı ısınmasına neden olan çok yüksek sıcaklıklardır (70-100 °C).



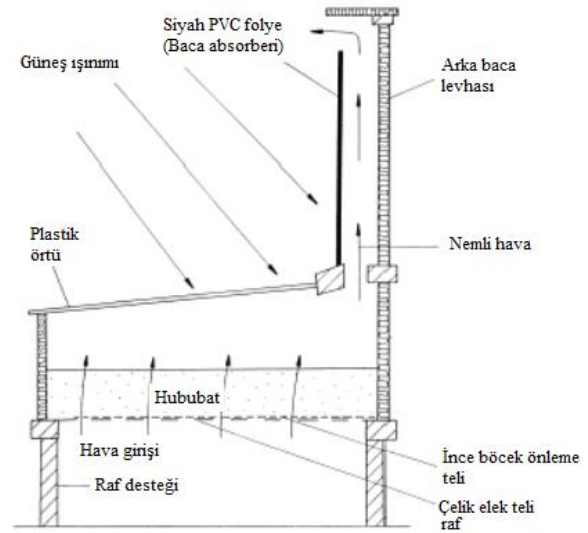
Şekil 9. Tipik bir entegral tip (direkt) doğal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucusunun özellikleri [1].



Şekil 10. Tipik bir doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kabinet tipi kurutucu [1].



Şekil 11. Değiştirilmiş (modifiye) bir doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucusunun özellikleri [1].



Şekil 12. Doğal dolaşimli bacalı güneş enerjili kabinet tipi kurutucu [1].

4.1.2.2 Doğal dolaşimli tünel (sera) tipi kurutucular

Bunlar çadır kurutucu olarak da adlandırılır ve temel olarak kurutmaya uygun değiştirilmiş seralardır. Kontrollü bir hava akışına sahip olacak şekilde uygun boyutta ve pozisyonda

havalandırma menfezleri ile tasarlanmıştır. Şeffaf polietilen örtü kaplamasıyla ya da kapsamlı cam kaplama ile gerçekleştirilebilir.

Şekil 13, ürün üzerinde doğrudan güneş ışığına izin veren eğimli cam tavanlı, Brace Araştırma Enstitüsü'nün en eski pasif güneş serası (tünel tipi) kurutucusunu göstermektedir.

Kurutucunun uzunluğundaki kuzey-güney hizasında, çıkış deliği için çatı üzerindeki sırt üstü kapaklı güneş ışınımının daha iyi emilmesi için siyah kaplanmış iç kısımlar vardı. Doe ve diğ. (1977) daha sonra yaygın olarak bildirilen polietilen çadır kurutucusunu tasarlamışlardır.

Şekil 14., üzerine net bir polietilen örtü ile kaplanmış, çıkıntılı bir bambu çerçeveden oluşur. Güneş ışınımının soğurulmasını arttırmak için çadırın içindeki zemine siyah bir polietilen levha da yerleştirilmiştir. Çadır içine hava akışı, ön tarafın alt kenarındaki kaplamanın ve üst taraftaki deliklerin yuvarlanması ya da açılmasıyla kontrol edilmektedir. Bu açıklık nemli egzoz havasına çıkış olarak kullanılır.

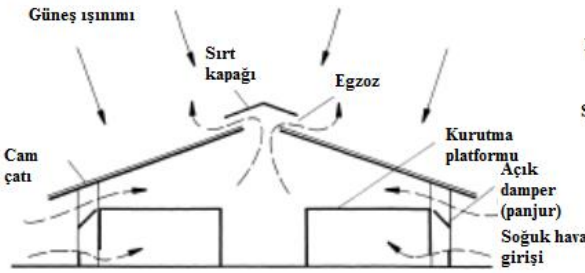
Sachithanathan ve diğ. (1983) yarı silindirik bir metal çerçeve üzerine kaplanmış, şeffaf plastik örtüden oluşan bir bitki serasını kurutma amaçlı kullanmıştır, Şekil 15..

Yapılan tadilat, zeminde siyah galvanizli demir sac absorber ile, tabanın her iki kenarı boyunca giriş delikleri ve böceklerden ve tozdan korumak için üst kısımda plastik ağlar ile yapılmış bir çıkış uygulanmıştır.

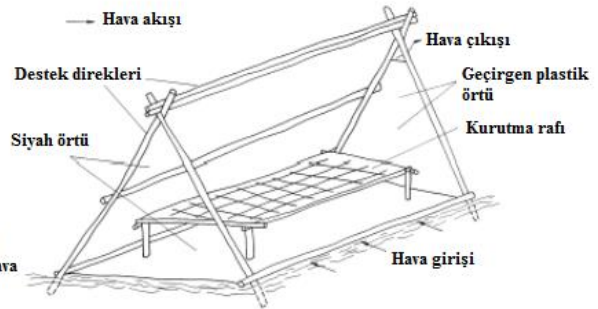
Fleming ve diğ. (1986) şeffaf olan tipik bir sera (tünel) tipi güneşli kurutucu gerçekleştirmiştir.

Bir ucunda dikey olarak yerleştirilmiş bir silindirik güneş bacasına sahip yarı silindirik oda ve Şekil 16.'da gösterildiği gibi hava girişi ve diğer ucundaki odaya erişim için bir kapı bulunmaktadır. Rathore ve diğ. (2010) üzümün kurutulması için yarı silindirik tüneli tipi güneş kurutucusunun değiştirilmiş tasarımı üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar yürütmüştür.

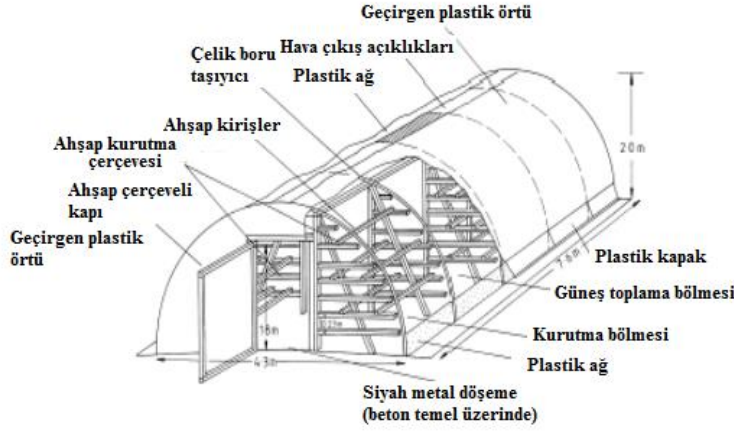
(Jaijai ve diğerleri, 2011) yapımı için bir polikarbonat örtü kullanmıştır. Afriyie ve diğ. (2011), bir baca havalandırma güneşli ürün kurutucusunun simülasyon ve optimizasyon çalışmalarını gerçekleştirmiştir [1].



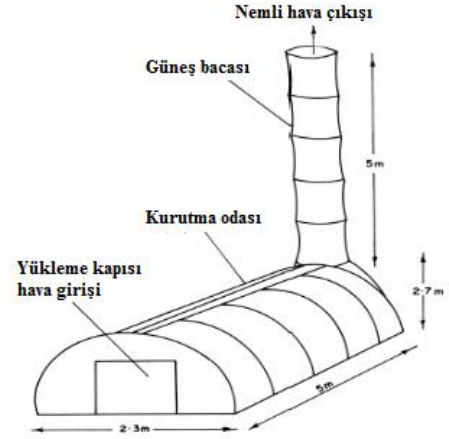
Şekil 13. Doğal sirkülasyonlu cam tavan güneş enerjili kurutucunun özellikleri [1].



Şekil 14. Doğal dolaşimli polietilen çadır tipi kurutucu [1].



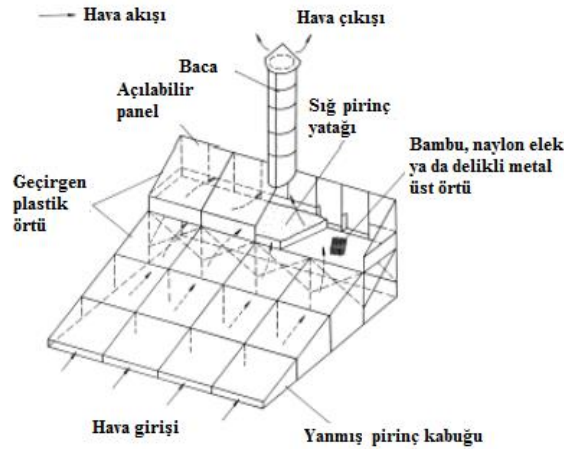
Şekil 15. Tünel tipi doğal dolaşimli güneş enerjili kurutucu [1].



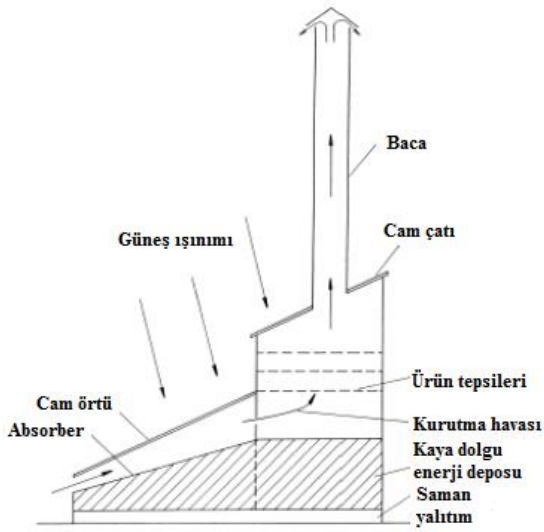
Şekil 16. Sera (tünel) tipi doğal dolaşimli güneş enerjili kurutucu [1].

4.1.2.3 Hibrit tip pasif güneş enerjili kurutucular

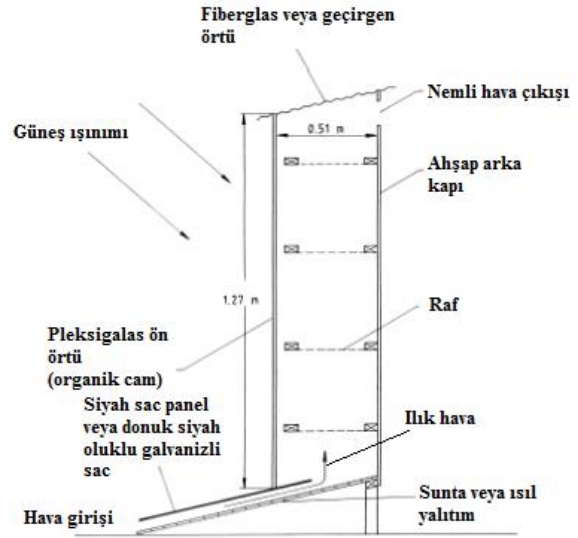
Hibrit tip bir pasif güneş enerjisi kurutucusu, dolaylı tip ve doğrudan tip (yani bir güneş enerjili hava ısıtıcısı, ayrı bir kurutma odası ve bir baca) ile aynı tipik yapısal özelliklere sahip olacak ve ayrıca kurutma odasının içinde camlı duvarlar olacaktır. Böylece Güneş ışınımı, Şekil 7'de gösterildiği gibi doğrudan tip kurutucularda olduğu gibi doğrudan ürüne etki eder. Exell ve diğ. ark. (1980), Sodha ve diğ. (1987), Asya Teknoloji Enstitüsü'nde güneşli pirinç kurutucusunu geliştirmiştir (Şekil 17.). Ayensu ve Asiedu (1986), bir absorber sıcak ısı depolama ortamı olarak işlev gören bir granit (kaya) dolgu yatağı olan bir hava ısıtıcıdan oluşan hibrit kurutucuyu tasarlamıştır, Şekil 18.. Sauliner ilk önce Exell'den farklı olarak çok istiflenmiş bir hibrit tasarım gerçekleştirmiştir. Ardından Sharma ve ark. (1986, 1987), şekilde gösterildiği gibi, Şekil 19., çok katlı istiflenmiş tasarım gerçekleştirmiş ve çeşitli ürünlerin aynı anda kurumasını sağlamıştır. Hibrit tipi pasif güneş enerjisinin diğer birkaç tasarımı da (Amer ve diğerleri, 2010; Hughes ve diğerleri, 2011) çalışmalarında verilmiştir.



Şekil 17. Hibrit doğal dolaşimli güneş enerjili pirinç kurutucu [1].



Şekil 18. Hibrit doğal dolaşımlı güneş enerjili, ısıl depolu kurutucu [1].



Şekil 19. Hibrit doğal sirkülasyonlu (dolaşimli) çok raflı güneş enerjili kurutucu [1].

4.2 Aktif güneş kurutma sistemleri

Aktif güneş kurutma sistemleri, güneş enerjisini toplayıcı alandan kurutma yataklarına ısıtılmış hava şeklinde hareket ettirmek için fanlar gibi harici araçlar içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, tüm aktif güneş enerjili kurutucular, uygulamalarına göre, zorlamalı taşınımlı kur tip kurutucudur. Tipik bir aktif güneş kurutucusu, sadece ısı kaynağı olarak güneş enerjisini kullanır. Hava sirkülasyonu için ise motorlu fan veya vantilatör kullanır. Bu kurutucular büyük uygulama alanına sahiptir.

Büyük ölçekli ticari kurutma işlemlerinde, geleneksel fosil yakıt ile birlikte, güneş ışınımındaki değişimlerin kuruma havası sıcaklığı üzerindeki etkisini bir araya getirerek kuruma üzerinde daha iyi bir kontrole sahip olunabilmektedir. Aktif güneş kurutucular papaya, kivi meyveleri, patlıcan, lahana ve karnabahar dilimleri gibi daha yüksek nem içerikli gıda maddelerinin kurutulması için uygundur. Doğrudan tip, dolaylı tip veya hibrit kurutucular olarak sınıflandırılabilen çeşitli aktif güneş enerjisi kurutucuları mevcuttur.

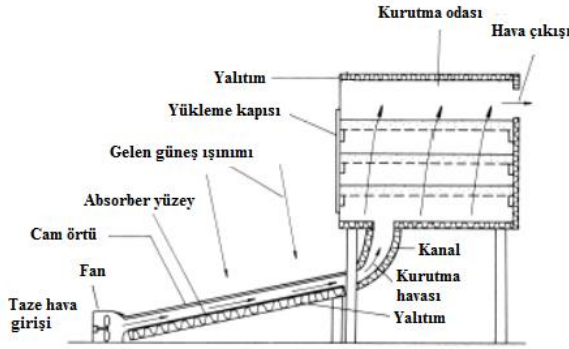
4.2.1 Dolaylı tip aktif güneşli kurutma sistemleri

Şekil 20'deki dolaylı ve aktif kurutucuda, ayrı bir kolektör ve kurutma birimine sahiptir. Genellikle dört temel bileşenden (güneş enerjisi ısıtıcısı, kurutma odası, hava sirkülasyonu için hava kanalları ve bir fan) oluşur. Ayrı hava ısıtma ünitesi sayesinde, hava akış hızı kontrolü ile daha yüksek sıcaklıklar kolayca elde edilebilir. Bununla birlikte, kolektörün etkinliği daha yüksek sıcaklıkta çalışırken azaldıkça, uygun bir tasarıma sahip olacak şekilde optimum bir sıcaklık ve hava akış hızı belirlenmelidir. Güneş kolektörlerinin çoğu uygun kaplamalara sahip metal veya ahşap emicilerden yapılırken, siyah polietilen gibi malzemeler de ekonomik olarak kullanılırlar.

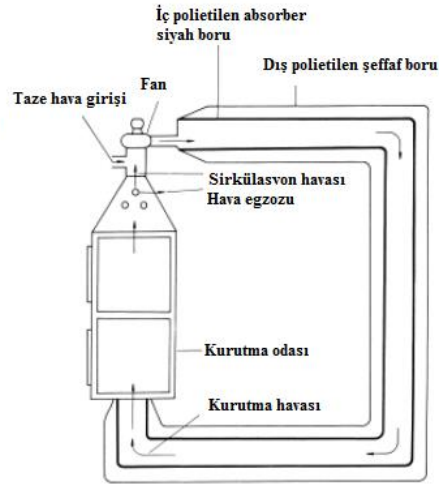
Şekil 21., tipik bir dolaylı tip aktif güneşli kurutucuyu göstermektedir. Birkaç tasarım aynı zamanda düşük egzoz havası sıcaklığı sağlayan ve böylece enerjinin verimli kullanılmasını sağlayan kurutma havasının bir kısmının tekrar dolaşımını kullanır. Şekil 21., polietilen

borulu güneş kolektöründe kısmi hava sirkülasyonu kullanan bu tür bir sistemi göstermektedir.

Dolaylı (endirekt) tip aktif güneş enerjili kurutucunun verimliliği, küçük gruplar halinde çok önemli olmasa da fanın konumuna bağlıdır. Fanın ana amacı, kurutma dolabında ıslak bir malzemeden nemin eşit şekilde buharlaşmasına neden olan istenen bir akış hızını sağlamaktır. Böylelikle havalı toplayıcıda, ısı kayıplarını azaltarak negatif bir basıncı koruyan ısı sağlanmasıdır. Şekil 22, fanın aktif bir güneş kurutucusundaki tipik bir sürekli akıştaki, tahıl kurutma için dikey bölmedeki rolünü göstermektedir.



Şekil 20. Tipik endirekt (dolaylı) tip, aktif güneş enerjili kurutucu [1].

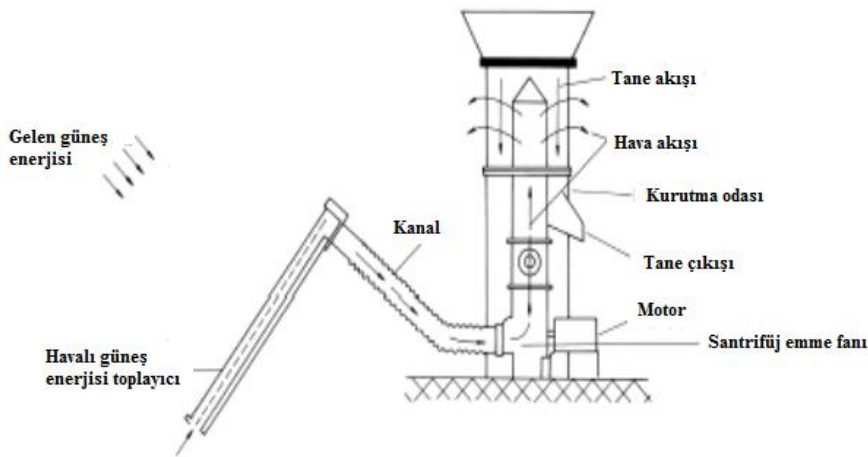


Şekil 21. Endirekt tip aktif, kısmi dolaşimli güneş enerjili kurutucu [1].

4.2.2. Doğrudan tip aktif güneş enerjili kurutma sistemleri

Doğrudan tip aktif güneş kurutucular, entegre bir güneş enerjisi toplama ünitesi ile tasarlanır. Genel olarak, direkt tip aktif güneş enerjili kurutucuların üç farklı tasarımı, absorpsiyon tipi, depolama tipi ve sera kurutucuları olarak tanımlanabilir.

4.2.3. Absorplayıcı kurutucular

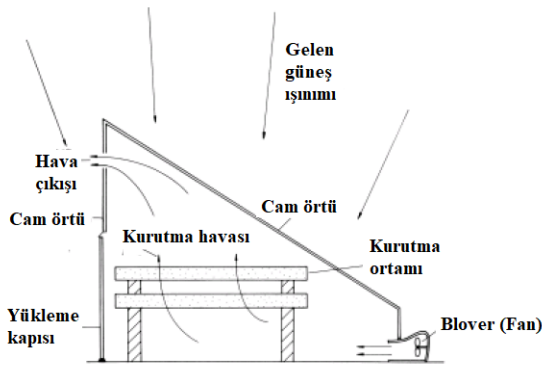


Şekil 22. Sürekli akışlı, aktif endirekt güneşli taneli madde kurutucu[1].

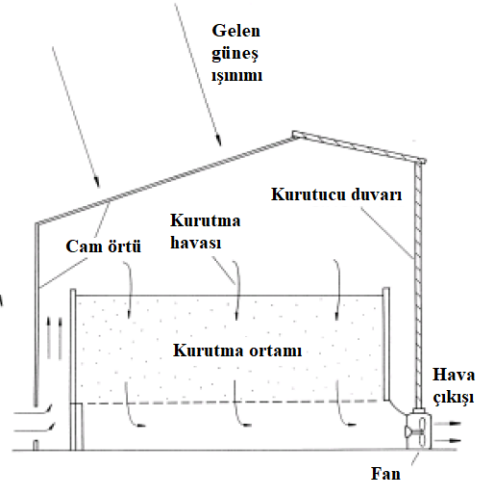
Adından da anlaşılacağı gibi doğrudan absorplayıcı kurutucu, ürünlerin güneş ışınlarını doğrudan absorpladığı doğrudan tip aktif kurutucu tasarımlarıdır. Büyük ölçekli ticari

zorlanmış taşınımlı sera kurutucusu için tipik pratik tasarım, kereste kurutması için güneş fırınları Şekil 23. ve Şekil 24.de gösterildiği gibi geçirgen çatı örtülüdür.

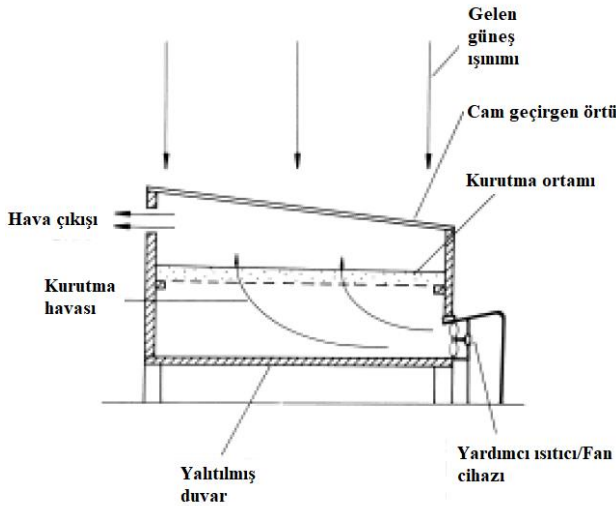
Şekil 25'de yardımcı ısıtma ile donatılmış küçük ölçekli zorlanmış taşınımlı kurutucuyu göstermektedir. Tipik tasarımlar arasında kurutucunun tavanı veya duvarı ile kurutma haznesinin bir kısmı kolektör olarak işlev görmektedir. Şekil 26.'da sera tipi bir kurutucu görülmektedir. Tedlar kaplı şeffaf oluklu cam elyaftan yapılmış yarı silindirik bir yapıya ve güneş absorpsiyonunu etkilemek için siyah boyalı bir dış yüzeye sahip döner veya sabit tambur tipi iç kurutma odasına sahiptir.



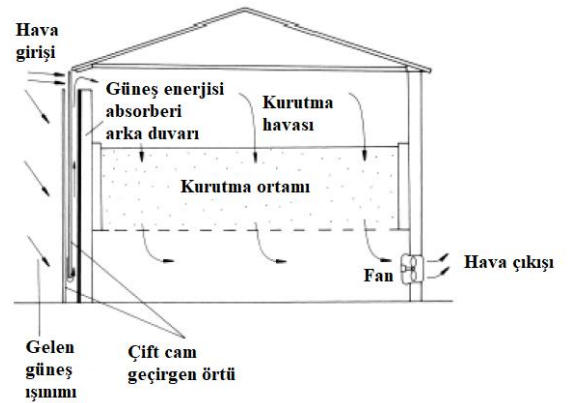
Şekil 23. Zorlanmış taşınımlı, aktif güneş enerjili sera tipi kurutucu [1].



Şekil 24. Zorlanmış taşınımlı, geçirgen çatılı güneş ahır [1].



Şekil 25. Tipik, aktif güneş enerjili yardımcı ısıtıcılı kurutucu [1].

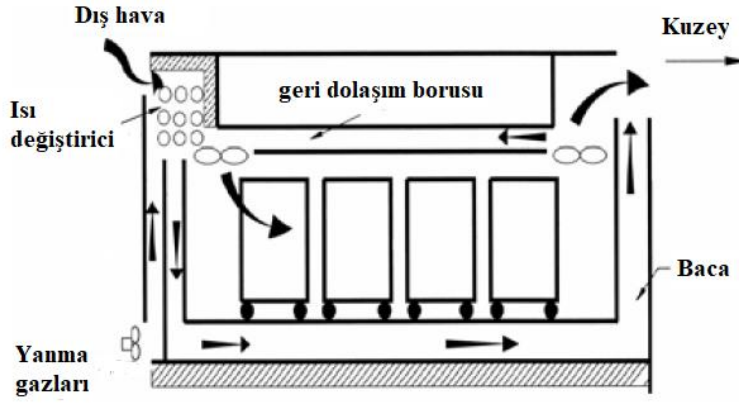


Şekil 26. İç-tamburlu-absorberli sera tipi güneş enerjili kurutucu [1].

4.2.4. Hibrit tip aktif güneş enerjili kurutucular

Hibrit güneş kurutucular, güneş enerjisinin özelliklerini geleneksel veya bir miktar yardımcı enerji kaynağı ile birleştirir ve her iki enerji kaynağı ile birlikte veya tekli modda çalıştırılabilir. Bu kurutucular genellikle % 50-60 aralığında çalışan orta ila büyük tesislerdir ve iklimsel belirsizliklerin neden olduğu sıcaklık dalgalanmalarını telafi eder. Şekil 27 tipik bir aktif tip hibrit güneş kurutucusunun özelliklerini göstermektedir. Bena ve Fuller (2002), meyve kurutmaya uygun basit bir biyokütle brülörü ile birleştirilmiş bir doğrudan tip doğal

konveksiyonlu güneş kurutucusuyu tasarlamıştır. Elektriksiz bölgelerde yardımcı ısıtma kaynağı ile ortam havasının yanma gazı ile istenen sıcaklığa ısıtıldığı bir ısı değiştiriciden geçer ve ısıtılan hava kurutma hacmine gönderilir, Şekil 27.. Kullanılan havanın bir kısmı kurutucunun kuzey duvarından boşaltılır ve geri kalanı geri dolaşım (sirkülasyon) borusundan tekrar dolaştırılır ve soğutulan gaz bacadan ortama çıkar



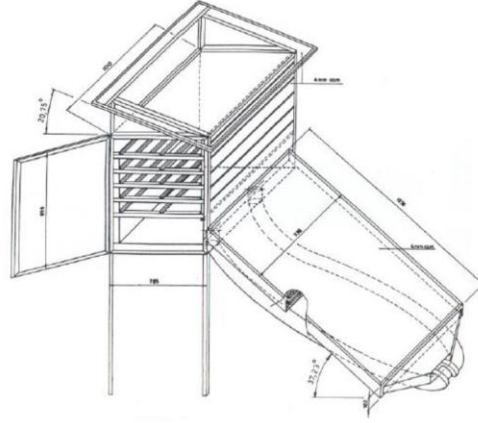
Şekil 27. Ek bir yardımcı ısı kaynağına sahip tünel tipi güneş enerjili kurutucu [1].

Ege niversitesinde ve İzmir bölgesinde yapılan bazı çalışmalarda denenilen kurutucular Şekil 28., Şekil 29. ve Şekil 30.'da gösterilmiştir.



Şekil 28. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yapılan bir araştırmada geliştirilen sera tipi (tünel) kurutucu, kurutma raflarında sultana tip ekirdeksiz üzüm kurutulurken [9].

Sera tipi kurutucular, sınıflandırılması ve çeşitli tipleriyle ulaşılan sonuçlar derlenerek[13]'te verilmiştir.

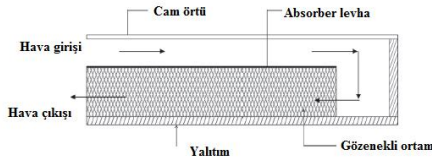


Şekil 29. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yapılan bir doktora çalışmasında araştırmada geliştirilen indirekt aktif bir kabinet tipi kurutucu [10].

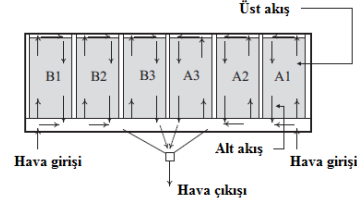


Şekil 30. Prof.Dr.Gazanfer HARZADIN firması tarafından geliştirilen tünel tip, havalı toplayıcı, aktif güneş enerjili kurutucu.

Havali toplayıcılar güneş enerjili kurutucuların en önemli bileşeni olup, bu toplayıcıların daha verimli, daha ucuz olması yönünde çalışmalar da sürmektedir. Şekil 31.'de iki geçişli ve ikinci geçişli gözenekli olan bir havali toplayıcıyı ve Şekil 32.'de ise çoklu toplayıcı bağlantısındaki tipik özeni göstermektedir. Güneş enerjili kurutma sistemlerinde kullanılan havali toplayıcıların bir derlemesi Fudholi ve ark. tarafından yapılmıştır [12]. Toplayıcı verimliliği kurutma verimliliğinin iyileştirilmesi için özel önemdedir. Kurutma sistemlerinde kullanılan havali güneş enerjisi toplayıcıları ile ilgili bilgiler [15]'te bulunabilir.



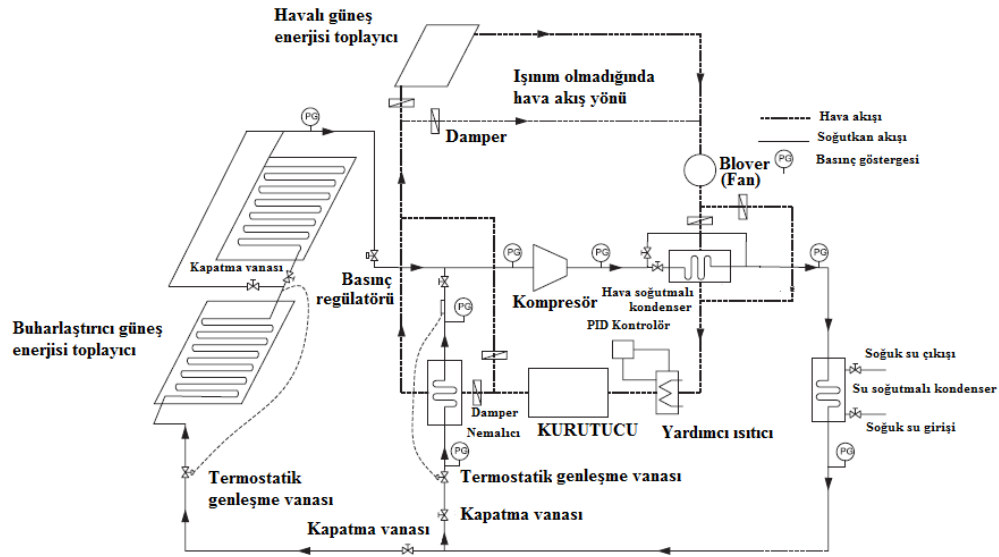
Şekil 31. İki geçişli, ikinci geçişli gözenekli ortamlı havalı güneş enerjisi toplayıcısı[11].



Şekil 26. İki geçişli çoklu havalı güneş enerjisi toplayıcısının bağlantısı[11].

Güneş enerjisinin kesikliğine gözetken kurutma sistemleri de geliştirilmiştir. Özellikle ısı enerji depolamalı faz değişimli, katı ve sıvı uygun maddelerin kullanıldığı sistemler [14]'te derlenmiştir. Aşağıda da bazı tipik sistem örnekleri verilmiştir.

Yeşil fasulyelerin kurutulması için soğutucu olarak R134a kullanılarak bir ısı pompası destekli havalı güneş enerjisi toplayıcılı kurutma sistemi kurutucusunda deneysel ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Deneysel düzeneğinin şematik görünümü, Şekil 27'de gösterilmektedir. Bu sistemin Singapur meteorolojik koşulları için performansı çalışılmıştır. Sonuçlar, sistemin COP'inin 4,0 ile 9,0 arasında, güneş kolektörünün veriminin% 40 ile% 75 arasında değiştiğini göstermiştir. Kurutucuya ait özgül nem alma hızı (SMER), 20 kg yeşil fasulye yükü için 0,65 kg / kWh olarak belirlenmiştir. Performansın değişken hızlı kompresör ile geliştirilebileceği belirtilmiştir [12].



Şekil 27 Isı pompası destekli havalı güneş enerjisi toplayıcılı kurutma sistemi prensip şeması [12].

Şekil 28. ısı enerjisinin depolandığı güneş enerjisinin alt kısımdan yansıtılarak odaklandığı, üst toplayıcıdan ve kurutma odasından ve atılan havadan üst bölgede de ısı depolanan farklı bir güneşli kurutucuyu göstermektedir [14].

Tablo 2. Güneş kurutucularının ön değerlendirmesi ve seçimi için tipik kontrol listesi.

Sıra No	Parametre	Özellikler
1	Kurutucunun fiziksel özellikleri	<ul style="list-style-type: none">• Tip, boyut ve şekil,• Kolektör alanı,• Kurutma kapasitesi / yükleme yoğunluğu (kg / birim tepsi alanı=kg/m²)• Tepsi alanı ve tepsi sayısı,• Yükleme / boşaltma kolaylığı.
2	Isıl (termal) verimlilik	<ul style="list-style-type: none">• Gelen güneş enerjisi miktarı, W/m² veya MJ/gün,• Kuruma süresi / kuruma hızı,• Kurutucu / kurutma verimi,• Kurutma havası sıcaklığı ve bağlı nem,• Hava debisi.
3	Kullanılmakta olan malzemenin özellikleri	<ul style="list-style-type: none">• Fiziksel özellikler (yaş / kuru)• Asitlik• Aşındırıcılık• Zehirlilik• Yanıcılık• Parçacık boyutu• Aşındırıcılık
4	Malzemenin kuruma özellikleri (karakteristik davranışı)	<ul style="list-style-type: none">• Nem tipi (bağlı, bağlı olmayan veya her ikisi de)• Başlangıç nemliliği• Son nemliliği (maksimum)• İzin verilen kurutma sıcaklığı• Farklı kurutucular için muhtemel kuruma süresi
5	Kurutucuya ve kurutucudan malzeme akışı	<ul style="list-style-type: none">• Saatte taşınacak miktar• Sürekli veya kesikli yüklemeli işlem• Kurutma öncesi işlem• Kurutma sonrası işlem
6	Ürün nitelikleri	<ul style="list-style-type: none">• Büzülme• Bulaşma• Son nemliliğinin tekdüzeliği• Ürünün ayrışması• Aşırı kuruma• Görünüm• Lezzet• Kütle yoğunluğu
7	Geri kazanım sorunları	<ul style="list-style-type: none">• Toz geri kazanımı• Çözücü kurtarma
8	Önerilen kurulum yerinde mevcut tesisler	<ul style="list-style-type: none">• Alan, boş yer, mekan• Havanın sıcaklığı, nemi ve temizliği• Mevcut yakıtlar• Mevcut elektrik gücü• İzin verilen gürültü, titreşim, toz veya ısı kaybı• Islak besleme kaynağı• Egzoz gazı çıkışları
9	Ekonomik analiz	<ul style="list-style-type: none">• Kurutma Maliyeti• Kurutucu Maliyeti• Geri ödeme
10	Diğer parametreler	<ul style="list-style-type: none">• Nitelikli teknisyen ve operatör gereksinimleri,• Güvenlik ve güvenilirlik• Bakım

3. Güneşli kurutma testleri.

Kurutma testleri daha sonra, ikinci adımda seçilen güneş kurutucularına dayanarak küçük ölçekli birimlerde yapılmalıdır. Bu testlerin optimum çalışma koşullarını, kurutucunun malzemeyi fiziksel olarak kullanma yeteneğini, ürün kalitesini ve özelliklerini ve kurutucu boyutunu oluşturması beklenir. Kurutucu kurulduktan sonra yapılacak değişikliklerin nadir bir kapsamı vardır, bazen, basit laboratuvar deneyleri, incelenen kurutucu sayısını daha da azaltmaya yardımcı olabilir,

Boyut ve çalışma özelliklerini belirleyen bu kurutma testlerinin sonuçlarına göre, kurutucu üreticilerin resmi teklifleri ve garantileri alınmalıdır. İlk maliyetler, kurulum maliyetleri, işletme maliyetleri, ürün kalitesi, kurutucu çalıştırılabilirliği ve kurutucu esnekliği değerlendirilmelidir.

4. Güneş enerjili kurutucunun son seçimi.

Kurutma testleri ve alıntıların sonuçlarından, en uygun güneş kurutucusunun son seçimi yapılabilir.

Kullanılacak malzemenin fiziksel yapısı, kaba katı, bulamaç ve tabaka malzemesi için farklı oldukları için göz önünde bulundurulması gereken temel özelliklerden biridir. Uygun tipte bir güneş kurutucusunun ön seçiminden sonra, en ekonomik olanı seçmek için boyut ve maliyetinin yeniden değerlendirilmesi için bir analiz daha yapılmalıdır. Ekipman üreticilerinden elde edilen maliyet ve performans ilişkisi yeterli veri analiz edildikten sonra performanslarını etkileyen faktörler dikkate alınmalıdır. Bu, kurutma, ayırma, taşıma veya ambalajlama gibi işlemlerden önce veya sonra gelen belli adımlardan taviz vermeyi içerebilir ve bu nedenle dikkatlice düşünülmelidir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çeşitli tasarımların, yapım detaylarının ve güneş enerjili kurutma sistemlerinin çok çeşitli pratik tasarımlarının çalışma prensiplerinin kapsamlı bir derlemesi anlatılmıştır. İki ana güneş enerjili kurutucu grubu tanımlanabilir, yani pasif veya doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucular ve aktif veya zorlanmış taşınımli güneş enerjili kurutucular.

Küçük ölçekli fabrikalarda veya kırsal tarım köylerinde uygun şekilde kullanılabilen, yapımı kolay ve kullanıcı dostu kurutucular sunulmuştur. Bu düşük maliyetli gıda kurutma teknolojileri, kırsal alanlarda bozulmayı azaltmak ve iyileştirmek için kolayca kullanılabilir. Böylece ürün kalitesi, genel işlem hijyenine sahip olur. Bilimsel olarak tasarlanmış aktif güneşli kurutucuların genellikle doğal sirkülasyonlu tiplerinden daha etkili ve daha kontrol edilebilir olduğu bulunmuştur. Aktif güneş kurutucularının çoğunda, fan güneş enerjisi ile çalışan fotovoltaiik hücresi tarafından tahrik edilir. Bu kullanım elektrik enerjisi ve fosil yakıt gerekliliği yönünden aktif kurutucuyu aşırı bağımlılıktan tamamen bağımsız kılar.

Bu nedenle, güneş enerjili fotovoltaiik-termal (PV/T) kurutucunun çoğu gelişmekte olan ülkede uzak kırsal köy çiftliği uygulamalarında uygun olduğu kabul edilmiştir.

Ülkemizde de güneş enerjili kurutucular üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Bu denli başarılı çalışmalar sonrasında yapılması gereken, üretim ve uygulamacı sayısının artırılmasının sağlanmasıdır.

Kurutma sanayi ülkemizde değişik bölgelerimizde jeotermal enerji kullanımlı çok başarılı tesisler kurmuştur. Gerektiğinde ısı depolamalı, büyük kapasiteli ticari ürün kurutulmasına yönelik hibrit başarılı tasarımların da yapılabileceği ve bu tür uygulamaların kurutma sanayisinde yaygın kullanım alanı bulacağı da açıktır.

7. REFERANSLAR

[1] O.V. Ekechukwu O.V., Norton B., Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, Energy Conversion & Management 40 (1999) 615-655.

[2] Ching Lik Hii, Sachin Vinayak Jangam, Sze Pheng Ong and Arun Sadashiv Mujumdar Editors in: Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations, 2012.

[3] Sharma, A., Chen, C.R., Lan, N. V., 2009, Solar-energy drying systems: A review, Renewable And Sustainable Energy Reviews, 13, pp.1185-1210.

[4] M. Augustus Leon, S. Kumar, S.C. Bhattacharya, A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6 (2002) 367–393.

[5] Yves Jannot, Yezouma Coulibaly, The evaporative capacity as a performance index for a solar-drier air heater, Solar Energy, v63, No 6, (387-391), 1998.

[6] S. Vijayan, T.V. Arjunana, Anil Kumar, Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter melon in sensible storage based indirect solar dryer, Innovative Food Science and Emerging Technologies 36 (2016) 59–67

[7] Wei Wang, Ming Li, Meda Hassanien Emam Hassanien, Yunfeng Wang, Luwei Yang, Thermal performance of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango, Applied Thermal Engineering 134 (2018) 310–321.

[8] Hii C.L., Jangam S.V., Ong S.P. and Mujumdar A.S. Mujumdar , Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations, 2012.

[9] Yetiştirme Amaçlı Katkılı Plastik Örtülü Tünel Seralarının Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasındaki Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü- Tariş ARGE ortak araştırması, Ege Üniversitesi Araştırma Fonu Proje No. 1991 GNE 003

[10] Ayvaz Hakkı, Güneş enerjisiyle tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak endüstriyel kurutucu tasarımı, Doktora Tezi, 1992, Tez Danışmanı: Ali Güngör.

[11] Pirasteh, G., Saidur R., Rahman S.M.A., Rahim N.A., A review on development of solar drying applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31(2014)133–148

[12] Fudholi A., Sopian K., A review of solar air flat plate collector for drying application, Renewable and Sustainable Energy Reviews 102 (2019) 333–345.

[13] Singh P., Shrivastava V., Kumar A., Recent developments in greenhouse solar drying: A review , Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018) 3250–3262

[14] Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A. & Jain, A., Thermal Energy storage based solar drying systems: A review, Innovative Food Science and Emerging Technologies (2016)

[15] Yıldız A., Gıda kurutma sistemlerinde kullanılan havalı güneş enerjisi toplayıcıları, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17/20 Nisan 2013/İzmir.