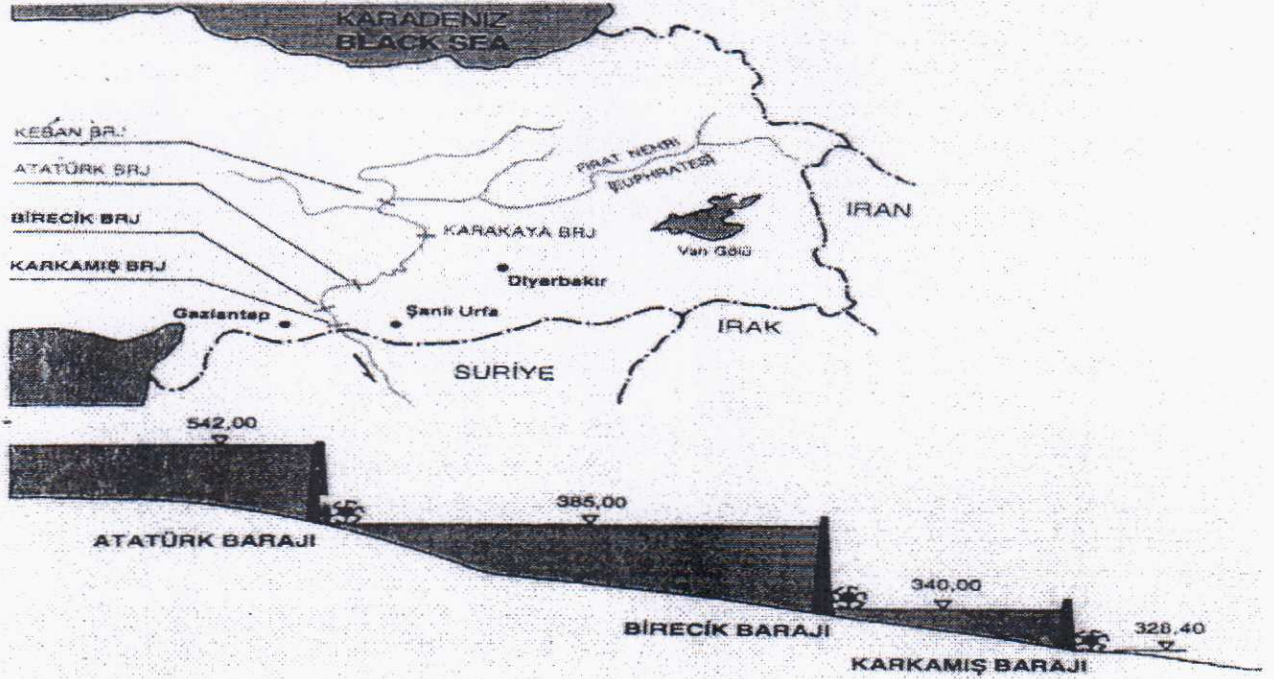


**CUMHURİYETİN
75. YILI**



**HARRAN ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

GAP 2. MÜHENDİSLİK KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI



21-23 MAYIS 1998

ŞANLIURFA

GÜNEŞ ENERJİ DESTEKLİ KURUTMA SİSTEMLERİ

Mehmet GÜMÜŞÇÜ
M.Azmi AKTACİR
Ş.Müslüm AÇIKER

İRÜ Müh.Fak.Makina Müh.Böl.ŞANLIURFA
İRÜ Müh.Fak.Makina Müh.Böl.ŞANLIURFA
İRÜ Müh.Fak.Makina Müh.Böl.ŞANLIURFA

ÖZET: Kurutma en eski, en kolay ve en ucuz gıda saklama yöntemlerinden birisidir. İlk çağlardan itibaren insanlar gıda kurutulmasında güneş ve rüzgar enerjilerinden faydalanmışlardır. Bugün de endüstriyel katı maddelerin kurutulması, mühendisliğin en önemli uğraş alanlarından biridir. Kurutmada amaç ürünün yapısında bulunan suyu alarak mikroorganizmaların yaşaması için elverişsiz hale getirmektir.

GAP'ın işlerlik kazanmasıyla birlikte, kurutma işlemi Güneydoğu Anadolu Bölgesinde büyük bir potansiyel bulmuştur. Özellikle büyük bir kültürel mirasa sahip olan Şanlıurfa'da Kırmızı Biber kurutmanın ayrı bir önemi vardır. Halk arasında Biber kurutma, açık alanlarda direkt güneş ışınları ile geleneksel yöntemle olmaktadır.

Bu çalışmada çeşitli bölgelerde kullanılan güneş enerji destekli kurutucuların tanıtılması amaçlanmıştır.

1. GİRİŞ

Kurutma; bir katıdan içerdiği nemi, uygun koşullar oluşturarak uzaklaştırma işlemi olarak düşünülebilir. Kurutma özellikle gıda sektöründe çokça uygulanan endüstriyel bir işlemdir. İlk çağlardan itibaren insanlar, gıda maddelerini kurutarak bozulmadan saklayıp tüketme yoluna gitmişlerdir. Teknolojik gelişmeler sonucunda günümüzde modern kurutma tesisleri kurulmuştur. Bu tesislerde kurutulacak malzemeye göre çeşitli kurutma teknikleri uygulanmaktadır.

Kurutucularda güneş enerjisi kullanılması enerji giderlerini azalttığı için son yıllarda kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle Ülkemiz gibi güneş enerji potansiyeli fazla olan ülkelerde bu sistemin tanıtılması büyük önem arz etmektedir. Tablo 1'de Şanlıurfa ilinin uzun yıllar aylık ortalama güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi verilmiştir.

Tablo 1. Şanlıurfa ili uzun yıllar aylık ortalama güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi.

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Güneş Şid. (cal/cm ² gün)	159	233	336	417	504	565	546	502	427	308	197	149	362
Güneş Sür. (saat)	4.2	5.2	6.3	8.0	10.3	12.4	12.6	11.6	10.3	8.2	6.1	4.2	8.3

2. KURUTMA MEKANİZMASI

Bir katının kurutulmasında aynı anda ısı ve kütle transferi prosesleri görülmektedir. Katı (kurutulacak materyal) ile üzerinden geçen kurutma havası arasında oluşan denge sonunda, katı-hava arayüzeyi havanın yaş termometre sıcaklığına gelir. Böylece oluşan sıcaklık farkıyla, havadan ıslak katının yüzeyine büyük oranda konveksiyonla hissedilir ısı akımı olur. Bu ısı gizli ısıya dönüşerek yüzeyde buharlaşmayı sağlar. Buharlaşan sıvı yine

konveksiyonla yüzeyden hava içine aktarılır. Kurumanın başlarında, yüzeyden buharlaşan nemin yerine katının iç kısımlarından nem difüzyon yada kapiler kuvvetle yüzeye gelerek yüzeyin doymun kalması sağlanır. Yaş termometre sıcaklığı ise debiden bağımsız olarak sabit kalır. Böyle bir durumda sabit sıcaklık farkında sabit hızda ısı aktarımı olur. Dolayısıyla kuruma sabit hızda gerçekleşir. Kurumanın bu şekilde gerçekleştiği periyot **sabit hız periyodu** olarak adlandırılır.

Kuruma prosesi devam ederken, belli bir nem değerinde katı içinden yüzeye nem geçişi, yüzeyden olan buharlaşmayı sağlayamaz ve katı yüzeyi doymun tutulamaz. Bu andaki nem değerine kritik nem denir. Bu durumda kuruma hızı, katı içindeki nemin transfer hızıyla belirlenir ve kuruma hızı aniden düşmeye başlar. Katı içinde giderek azalan nem değerleri, azalan nem transfer hızları vereceğinden kuruma hızıda giderek azalır. Bu periyot **azalan hız periyodu** olarak adlandırılmaktadır. Azalan hız periyodu kurutulan maddenin denge nemine kadar devam eder. Şekil 1'de genel kurutma eğrileri gösterilmiştir(GEANKOPLIS, 1983; TREYBAL, 1981).

3. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR

Güneş enerjisinden kurutmada faydalanma en eski ve en ekonomik bir yoldur. Kurutucularda amaç, en az ürün zararı ile maksimum kurutma oranının en ekonomik koşullarda gerçekleştirerek kaliteli ürün elde etmektir. Günümüzde çeşitli güneş enerji destekli kurutucular geliştirilmiştir. Bunları çeşitli parametrelere göre sınıflandırmak mümkündür. Kurutucularda güneş enerjisinin kullanım şekline göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

1. Doğal sistemler,
2. Pasif sistemler (Direkt),
3. Aktif sistemler (İndirekt),
4. Hibrit sistemler (Kombine).

3.1. Doğal Sistemler

Meyve ve sebzelerin direkt güneş ışınlarından faydalanarak kapalı veya açık sergilerde veya raflarda yapılan kurutma metodudur. Ülkemizde sıkça kullanılan bu metodun bir çok dezavantajları bilinmektedir. Havaların açık geçtiği günlerde kurutma iyi gerçekleşmesine rağmen yağışlı, rüzgarlı kısacası uygun olmayan hava şartlarında kurutma kalitesi düşmektedir. Bunun yanısıra ürünlerde tozlanma, kayıp olma, küflenme ve bazı mikroorganizmaların üremesi söz konusudur. Örneğin Şanlıurfa'da biber kurutma, damlarda beton zemin üzerine serilerek direkt güneş ışınları ile geleneksel yöntemle gerçekleştirilmektedir. Kurutma işlemi yaklaşık olarak 7-10 günlük bir periyot sürmektedir. Şanlıurfa'daki bir biber fabrikasında ise biberleri kurutmak için tel ızgaralar kullanılmıştır. Bu ızgaralar toprakla temas etmemesi için sehpa üzerine oturtulmuştur. Bu ızgaralar üzerine serilen biber yaklaşık olarak 1-2 günde kurumuştur.

3.2. Pasif Sistemler

Sera tipi kurutucular olarak adlandırılan bu kurutucularda, kurutma hacminin çatı ve/veya duvarları, güneş ışığının geçmesi için, saydam örtü malzemesi ile kaplanırlar. Saydam örtü malzemesinden geçen güneş ışınları, bu örtülerin altındaki yapı elemanlarıca absorbe edilip, bunlardan da hava ile taşıyıp kurutulacak ürüne ulaştırılır. Güneş enerjisi ile ısıtılan hava ile alınan ürünün nemi, yine aynı hava ile kurutma mahalinden uzaklaştırılmaktadır. Şekil 2'de sera tipi bir güneşli kereste kurutma firmı görülmektedir(UYAREL ve ÖZ, 1987).

Sera tipi kurutucuların, konstrüksiyonları basit olduğundan verimleri, kolektörlü güneşli kurutuculara göre, daha düşük, kurutma süreleri uzundur. Isı kayıpları fazla olduğundan saydam örtü çift kat yapılmalıdır. Sıcak hava saydam örtünün altından sirküle

ettirildiğinde, hava içindeki toz ve diğer parçacıkların örtü malzemesinin altına yapışması mümkündür. Tozların temizlenmemesi halinde verimin düşeceği dikkate alınmalıdır. Seraların güneş enerjisinden daha fazla faydalanması için reflektörler kullanılabilir. Şekil 3'te Ege Üniversitesi güneş enerjisi enstitüsünde kurulan reflektörlü güneş serasının şematik görünüşü verilmektedir. Reflektörler seranın güneyinde olup her birinin genişliği 5,5 m ve hepsinin toplam boyu 6 m'dir. Üç parçadan oluşan reflektörün herbirinin ayrı, ayrı eğimi ayarlanabilir. Kuzey duvar tuğladan yapılmış ve dış yüzeyi izole edilmiş, iç yüzeyine ise güneş enerjisini depolayacak elementler için rafları vardır(ATAGÜNDÜZ,1989).

3.3. Aktif Sistemler

Kollektörlü güneşli kurutucular olarakta adlandırılırlar. Bu sistemlerde, kollektörler kurutma fırınlarının ayrı birer parçasıdır. Kollektörlerde toplanan enerji hava veya su ile alınarak kurutulacak malzemeye iletilir. Fırının geometrisine ve dizaynına bağlı kalınmayacağından, kollektör yüzeylerinin büyüklüğünün belirlenmesinde ve dizaynında daha esnek ve bağımsız hareket etme imkanı vardır. Özellikle termal depolama sistemlerinin uygulanması ve fırın ısı yalıtımı diğer sistemlere göre daha iyidir. Kurutma işleminin kontrolü kolaylıkla başarılabilir. Şekil 4'te kollektörlü kurutma fırın şeması görülmektedir. Kurutma havasının nemi, higrostatla kontrol edilebilmektedir(UYARIL ve ÖZ, 1987).

3.3.1. Kondenzasyonlu kurutma

Kollektörlü güneşli kurutma sistemlerinin kondenzasyonlu sistemle birleştirilmesi kurutma hızını ve kalitesini yükseltebilir. Şekil 5'te bu tip bir kurutma sisteminin şeması görülmektedir. Sistemde nemli kurutma havası dışarı atılmayıp bir ısı pompasının evaporatöründe, havanın nemi yoğunlaştırılmaktadır. Böylece, yoğunlaşma sırasında, yoğunlaşma gizli ısı, ısı pompasının kondansöründe, tekrar kurutma ısı olarak kullanılabilir. Güneş kollektörlerinde ısınan hava bir vantilatörle emilerek kurutma kamarası içindeki kereste istifi üzerinden geçirilmektedir. Kerestenin nemini alıp bağıl nemi yükselen hava kollektörlere giderken, fırın çıkışındaki evaporatör üzerinden geçeceğinden, nemi yoğunlaşır ve daha kuru olarak kollektörlere döner. Geceleri ve güneşin olmadığı gündüzleri vantilatör, kollektör sıcaklığından kumanda alan bir termostatla, devreden çıkar. Vantilatörün devreden çıkmasıyla ısı pompasının kompresörü otomatik olarak devreye girer ve kondenzasyonlu kurutmaya devam edilir. Isı pompasının çalışması sırasında, kereste kondansörden alınan ısı ile ısıtılırken havanın nemi de evaporatörde yoğunlaşacağından kurutma daha, düşük sıcaklık ve nemi alınmış kuru hava ile devam eder. Isı pompasının çalışması sırasında, kurutma havasının sistemde sirkülasyonu, kamaranın altındaki by-pass kanalından, ısı pompasının kondansörü önündeki fanla yapılır(UYARIL ve ÖZ, 1987).

3.3.2. Panjurlu güneş kurutucusu

Şekil 6'da panjurlu güneş kurutucusu şematik olarak gösterilmiştir. Kurutucu, başlıca bir hava kollektörü, bir kurutma odası ve bir baca olmak üzere üç kısımdan oluşmuştur. Tek camlı hava kollektörünün kurutma odasına bakan yüzeyindeki siyaha boyanmış kanatlar yardımıyla ısınmış sıcak hava kurutma odasına verilmektedir. Kurutma odasında altı adet kurutma tepleri vardır. Bunların eni aşağıdan yukarıya doğru, kollektörün eğimi nedeniyle azalmaktadır. Kuzeyde bulunan ve siyaha boyanmış olan baca, kurutma odasından gelen nemli havayı doğal konveksiyon dışarıya atmaya yardım eder. Kurutucunun doğu ve batı duvarları plastik madde içine gömülmüş cam cıyafından yapılmıştır. Hava kollektöre dışarıdan alttan girmekte kollektör içinde ısıdıktan sonra kanatlar üzerinden kurutma odasına akmaktadır. Burada kurutulacak ürün ile temasa geldikten sonra kurutma odasını bırakarak bacaya girmekte ve bacanın üst tarafından dışarıya verilmektedir.

3.3.3. Raf Tipi güneşli kurutucu

Raf tipi kurutucularda kurutucu dolabının kuzeye bakan yüzü izole edilmekte diğer yüzeyler ise saydam örtülerle kaplanmaktadır. İzolasyon maddesi olarak cam yünü kullanılmaktadır. Raf sayrsı ve kurutucunun boyutları, kurutucunun kapasitesine bağlıdır. Hava rafların arasından geçeceği için hava akışına fazla direnç göstermeyecek bir yapıda, az giderli, temizlenmesi kolay, hafif fakat sağlam olması istenir. Raf malzemesi ürünü kirletmeyecek ve lekelemeyecek özellikte seçilmelidir. Raflar tahta bir çerçeve ve galvanizli bir elek telinden yapıldığı gibi amaca uygun olarak ince çitallardan da yapılmaktadır. Hava kurutucuya genellikle alttan girmekte rafların altından, üstünden ve arasından geçerek çıkmaktadır(Şekil 7)(DIAMANTE ve MUNRO, 1993).

3.3.4. Kabin kurutucular

Bu tip kurutucularda ürün kabinlere yerleştirilir. Kabin tahtadan yapılmakta ve üst yüzeyi güneş ışınımını geçiren saydam örtüyle kaplanmıştır. Kabinin arka, yan, ön üst ve taban kısımlarına delikler açılmıştır. Bu deliklerden hava sirkülasyonu sağlanmaktadır. Sistemi iyileştirmek için ısı deposu kullanılmaktadır. Bunun yanısıra kabinin iç kısımları alüminyum ile kaplayarak güneş ışınlarının ürüne yansımaları sağlanmaktadır. Şekil 8'de kabin kurutucu görülmektedir(TIRIS ve Ark., 1994). Yöresel olanaklarla yapılabilmesi, ayar ve bakım kolaylığı, az giderli olması kırsal alanlarda çok kullanılmasına neden olmaktadır.

3.3.5. Aspiratörlü güneşli kurutucu

Şekil 9'da görüldüğü gibi raflı tip kurutucuya bir hava ısıtıcısı, rüzgarın etkisiyle dönen ve kurutucudan havayı emerek atmosfere aktaran bir aspiratör eklenmiştir. Isıtıcıda ısınan hava yükselmekte aspiratörün emiş etkisiyle raflardan geçerek üstteki bacadan dışarıya çıkmaktadır. Kurutucunun kuzey duvarı ve tabanı dışında diğer duvarlar güneş ışınımını kurutucuya girmesi için saydam örtü ile kaplanmıştır. Kuzey yönündeki duvar ve kurutucu tabanı ısıtıcı kayıplarını azaltmak amacıyla siyaha boyanmıştır. Isıtıcı güney yönünde ve belirli bir açıyla yerleştirilmiştir(GÜNER,1991).

3.3.6. Akışkan yatak kurutucu

Akışkan yatak katı tanelerle gaz arasındaki karşılıklı değme ve etkileşimin en çok olduğu süreçlerden birisidir. Şekil 10'da görülen akışkan yatak kurutucu iki üniteden meydana gelmiştir. Birincisi hava ısıtıcısı diğeri ise akışkan yataklı kurutma dolabıdır. Kurutucunun arka duvarı ve tabanı izole edilmiş olup tüm kasa siyaha boyanmıştır. Güneye bakan yüzü tahta çerçevesi camla örtülmüş ve eğimli yerleştirilmiştir. Kurutucuya ve ısıtıcıya verilecek eğimde, minimum akışkanlaşma için gerekli güç, gerekli hava akımı ve güneş ışınımı göz önünde bulundurulmaktadır. Kurutucunun tabanında materyalin üzerine konduğu delikli plaka vardır. Plaka deliklerinden hava geçebilmekte ancak taneler geçememektedir. (GÜNER,1991)

Kurutucuda kullanılan hava üstten çıkmakta, istendiğinde çıkan hava tekrar kurutma işleminde kullanılabilir. Kurutma işleminde ısınan havanın yanında direkt etkide bulunan güneş ışınımında direkt etkisi vardır. Renklerinin kararmaması için güneşi görmesi gereken bazı meyvelerin kurutulmasında başarıyla kullanılabilir. Bu kurutucuda ısı transfer alanı büyük olduğu için kurutma daha kısa sürede meydana gelmektedir. Ancak akışkanlaşmanın sağlanabilmesi için gerekli güç miktarı çok fazladır.

3.4. Hibrit Sistemler

Yukarıda bahsedilen sistemlerin ikili olarak veya tümünün birlikte kullanıldığı sistemdir. Burada kurutucu istenilen şartlara göre dizayn edildiğinden kullanım alanı geniştir. Aşağıda bu tür sistemler tanıtılmıştır.

1938'de altenkirch, Berlin yakınlarında Atlandsberg'e yakın bir yerde bir güneş evini kurutucu olarak kurmuştur. Bu kurutucuda absorpsiyon malzemesi kullanılmakta ve

güneş enerjisi bu malzemenin rejenerasyonunda kullanılmaktadır. Bu tür kurutuculara "soğuk kurutucular" da denir. Burada güneş enerjisi rejenerasyon için kullanılsa da endüstri tipi odun kurutmada kullanılan ilk güneş evi olarak Altenkirch-evi söylenebilir. Şematik olarak Altenkirch-evi Şekil 11'de gösterilmiştir. (ATAGÜNDÜZ,1989)

Tayland, Asya Teknolojisi Enstitüsü tarafından az giderli bir çeltik kurutucusu geliştirilmiştir. Çeltik hasadı yağışlı ve nemli zamana kaldığından bu kurutucuyla iki gün içinde kurutulmuştur. Açık havada kurutulanlara göre, işleme kalitesinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 12'de çeltik kurutucusunun şematik resmi görülmektedir. Güneş ışınımı plastik örtüden geçer ve tabanda yanmış çeltik saplarının yardımıyla havayı ısıtır, ısınan hava çeltik üzerinden geçerek bacadan atılır. Böylece kurutma sağlanmış olur. (GÜNER, 1991)

Şekil 13'te görülen sistem, özel şekilde silo cidarına kollektör entegre edilerek sistem iyileştirilmiştir. Bu hava kollektörlerinde amaç mümkün olduğu kadar güneş ışınları çok absorbe etmektir. Sistemdeki vantilatör ile hava hareketi hızlandırılmıştır(KEÇECİOĞLU, 1989).

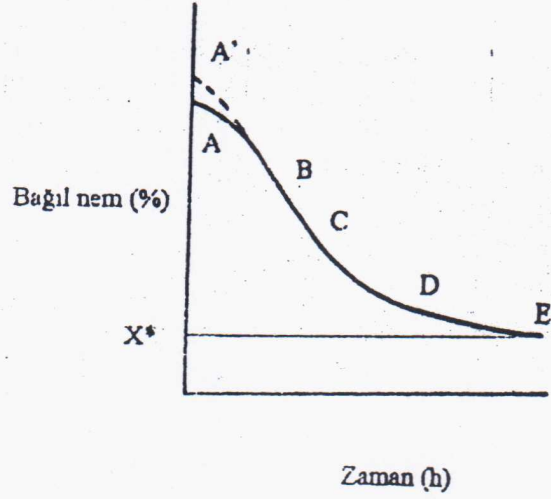
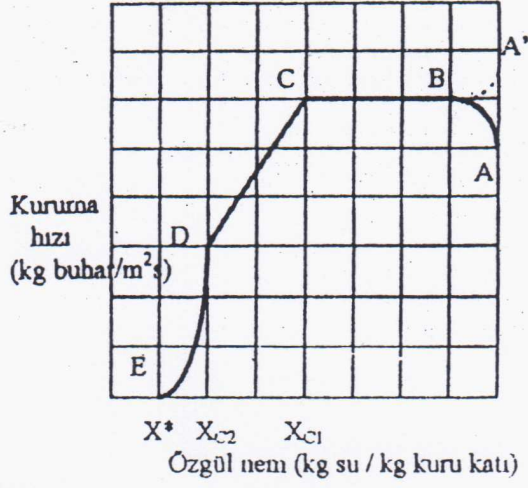
4. SONUÇ

Kurutma sistemlerinde güneş enerjisinin kullanılması enerji tasarrufu açısından büyük önem taşımaktadır. Yöresel yapı elemanlarının kullanılması ve varolan iklimsel özelliklerinden faydalanılması sistemin avantajlarını oluşturmaktadır. Sistem sadece ilk yatırım maliyeti gerektirir. Kullanma aşamasında işletme maliyeti olmadığından veyahut çok az olduğundan oldukça ekonomiktir. Çalışmaları oldukça kolaydır.

Sonuç olarak güneş enerji destekli kurutma sistemleri diğer kurutma sistemlerine nazaran daha olumlu sonuçlar doğurmuştur. Ülkemizde bu sistemlerin yaygınlaştırılması için gayret edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

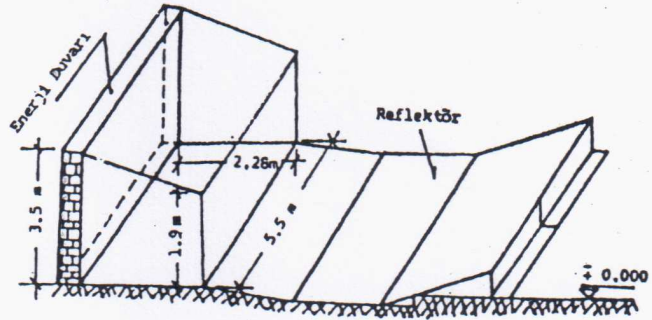
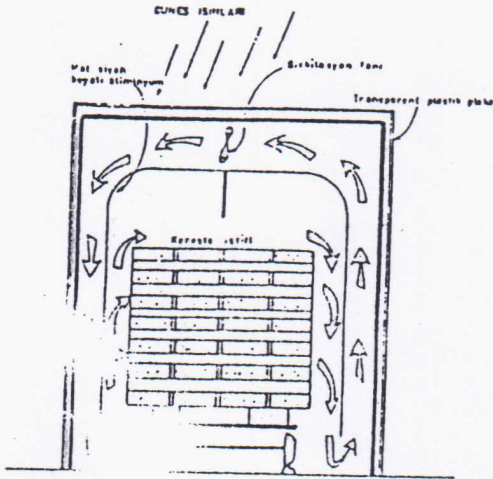
1. ATAGÜNDÜZ G.,1989. "Reflektörlü Güneş Serasının Kurutucu Olarak Kullanımı", I.B.T.7.Ulusal Kongresi 26-28 Eylül 1989, Güneş Enerjisi Enstitüsü EGE Üniv., İZMİR.
2. DIAMANTE L.M., MUNRO P.A., 1993. "Mathematical Modelling Of The Thin Layer Solar Drying Of Sweet Potato Slices", Solar Energy Vol.51, No.4, pp.271-276, USA.
3. GEANKOPLIS C.J., 1983. "Transport Proses And Unit Operations", second edition, Allyn and Bacon, Inc., USA.
4. GÜNER M.,1991. "Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular", ANKARA Üniv.Zir.Fak.Yayınları 1205, ANKARA.
5. KEÇECİOĞLU G., 1989. "Güneşle Isıtılan Hava Yardımıyla Hububat ve Ot Kurutulması" I.B.T.7.Ulusal Kongresi 26-28. Eylül 1989, Güneş Enerjisi Enstitüsü EGE Üniv., İZMİR.
6. TIRIS M., TIRIS Ç., EDİN M., 1994. "İki Ayrı Tip Güneşli Kurutucuda Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kuruma Eğrilerinin İncelenmesi" I.B.T.D. cilt 17, No.3 Sayfa:27-32, ANKARA.
7. TREYBAL R.E., 1981. "Mass Transfer Operations", tridh edition, McGraw Hill, NEWYORK-USA.
8. UYAREL, A.Y.,ÖZ E.S.,1987. "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları". Birsen yayınevi, ANKARA.



AB: Isınma periyodu
 BC: Sabit hız periyodu
 CE: Azalan hız periyodu
 CD: I.azalan hız periyodu(Doygun olmayan yüzey kuruması)
 DE: II.azalan hız periyodu(Iç nem hareketi kuruması)

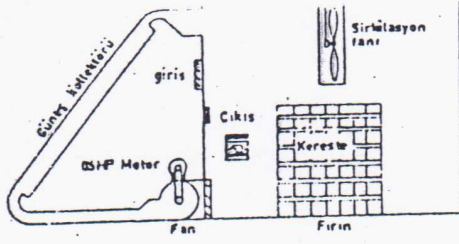
X^* : Denge nemi.
 X_{c1} : 1.kritik nem.
 X_{c2} : 2.kritik nem.

Şekil 1. Genel kuruma eğrileri.

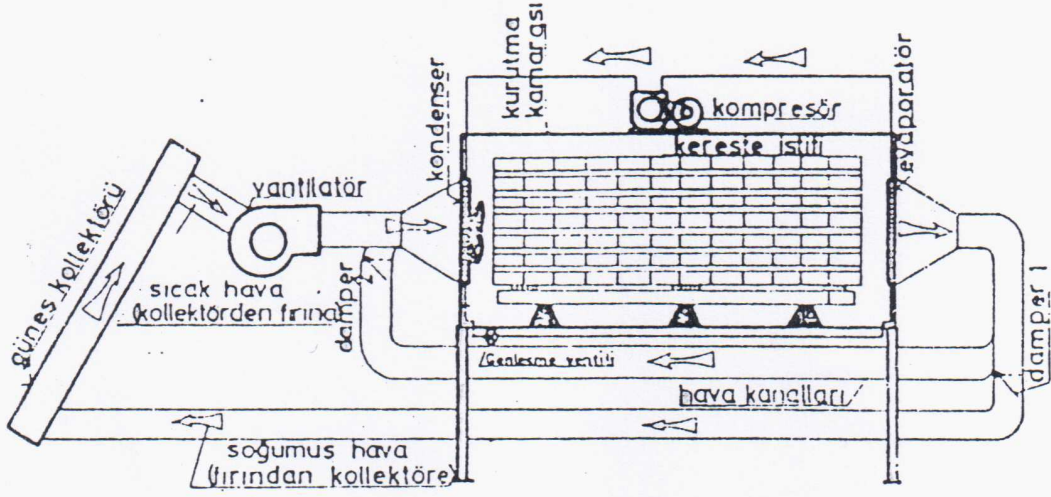


2. Sera tipi bir güneşli kereste kurutma fırını

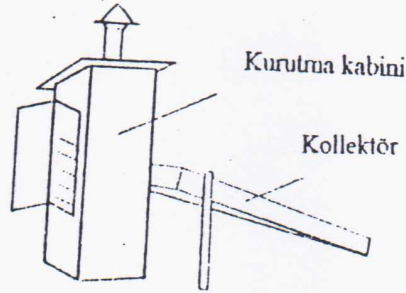
Şekil 3. Reflektörlü güneş serasının şematik görünüşü



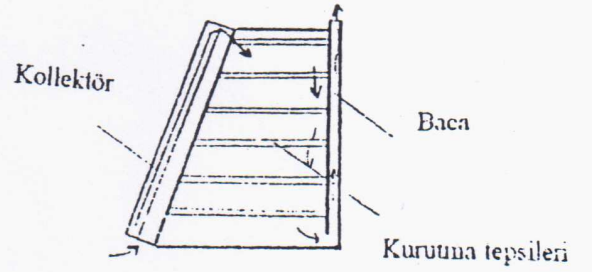
Şekil 4. Kollektörlü kurutma fırını



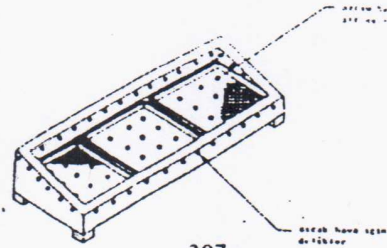
Şekil 5. Güneş enerji destekli kondenzasyonlu kurutma sisteminin şeması



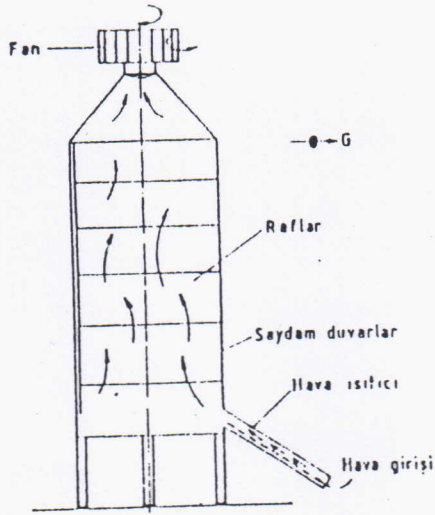
Şekil 7. Raf tipi kurutucu



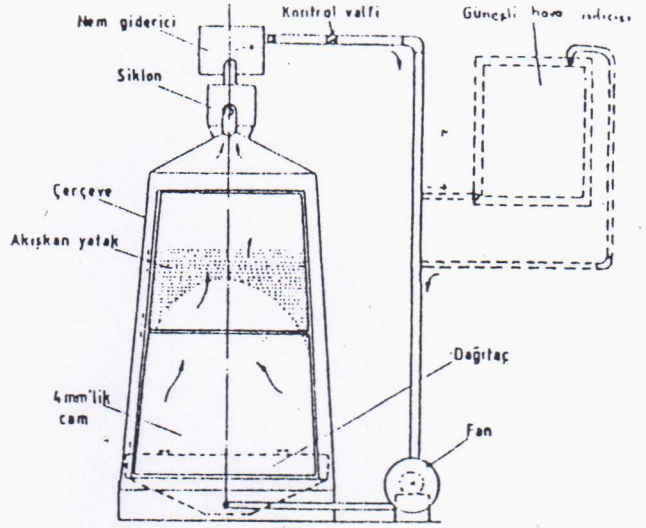
Şekil 6. Panjurlu güneş kurutucusu



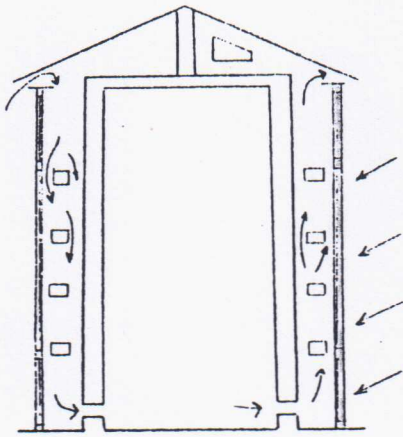
307
Şekil 8. Kabin kurutucu



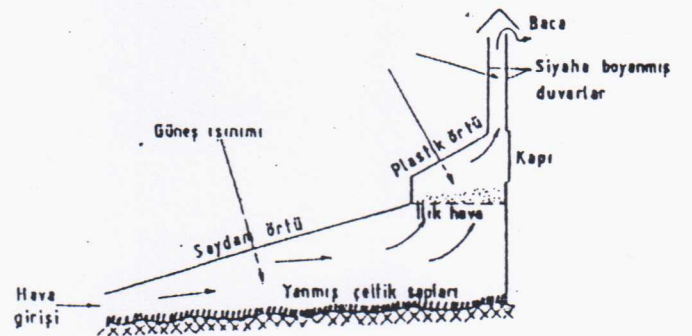
Şekil 9. Aspiratörlü güneş kurutucu



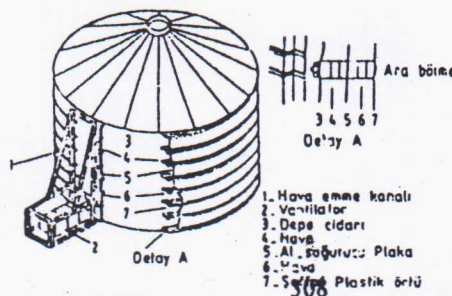
Şekil 10. Akışkan yatak kurutucu



Şekil 11. Altenkirch evi



Şekil 12. Çeltik kurutucusunun şematik resmi



Şekil 13. Silo cidarına kollektör entegre edilen hububat kurutucusu