

Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Bir Kurutma Sistemi ile Çam Fıstığı Kozalağı Kurutulması

Turgay POLAT, Mustafa AKTAŞ^a, Hacı Mehmet ŞAHİN^a

^a Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar/Ankara

ÖZET

Çam fıstığı teknik metotlarla kurutulamadığından bazı kalite bozulmaları söz konusu olmakta bu da ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu araştırma kapsamında yapılan bilgisayar kontrollü güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kurutucuda teknik kurutma yöntemi ile; enerji tasarrufu ve yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve kurutulan ürünün de yüksek kalitede olması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, ısı pompası, kurutma, çam fıstığı

The Pine Nut Drying With a Solar Energy and Heat Pump Drying System

ABSTRACT

Because of pine nuts dried not used technical methods, some quality deteriorations are concerned and this is adversely affected on product quality. In this research which was done, energy saving and reduction of investment costs and high quality of dried products have been targeted by drying technic method in the dryer assisted computer control, using heat pump and solar energy.

Key words: Solar energy, heat pump, drying, pine nuts

1. GİRİŞ

Ülkemizde büyük potansiyele sahip tarım ürünlerinden çam fıstığının işlenmesinde çok büyük problemler görülmektedir. Bu problemlerin en önemlisi çam fıstığının kozalaklardan ayrılmasında yaşanan zaman veya haşlanmasıyla ürün kalitesindeki kayıplardır. Yapılacak teknik kurutma ile çam fıstığının son nem miktarına kadar kurutma işlemi gerçekleştirilerek renk, koku, tat ve aroması istenilen şartlarda olması sağlanmalıdır.

Çam fıstığı, fıstık çamının (pinus pinea) kozalaklarından çıkarılan sert kabukların kırılması sonucu elde edilen ve besin değeri oldukça yüksek bir besin maddesidir. Yenilebilir ve yüksek ticari değeri olan bir tohumdur. Yetiştirme yeri bakımından sorun çıkartmayan türlerdendir. Neredeyse her tür toprakta yetişmekte; fakir kumlu, kireçli veya killi topraklarda kurak iklimlerde yetişir. Güneşli yerleri sever, soğuk ve sert iklimlerde gelişemez, ışık isteği fazladır. Ekvatorun 30° kuzey ve 30° güney enlemleri arasında kalan bölgeye “güneş kemeri” adı verilir. Türkiye coğrafi konumu ile (36°-42° kuzey enlemleri arasında) bu kemere çok yakın olduğundan, güneş enerjisi alma yönünden şanslı bir ülkedir.

Bu çalışmada, endüstriyel amaçlı çam fıstığının ısı pompası ve güneş enerjisi destekli bir kurutucuda kurutulması ve çam fıstığının kozalaklardan ayrılmasını sağlayacak sistem tasarımı ve analizinin yapılması

amaçlanmıştır.

Türkiye’de büyük bir potansiyele sahip tarım ürünlerinden çam fıstığının işlenmesindeki problemlerin en önemlileri; çam fıstığının kozalaklardan ayrılması amacıyla haşlanmasıyla, ürün kalitesi ve zaman kayıplardır. Klasik kurutma sistemlerinde kurutma havasının kurutma odası çıkışında nemi artmakta, bu sıcak ve nemli hava sistemden dışarı atılmaktadır. Bu işlem kurutma uygulamalarında enerji kayıplarına yol açmaktadır. Yapılan tasarım ile kurutma sisteminde gerektiğinde kurutma havasının nemi soğuk yüzeyde alınabilecektir. Sistemde, kurutulacak ürünün özellikleri de dikkate alınarak bilgisayar yardımıyla sıcaklık, nem, ürün ağırlığı ve hava hızı kontrolü de yapılarak ürün standartlara uygun şekilde teknik kurutma yöntemiyle kaliteli olarak kurutularak çam kozalaklarının açılması sağlanabilmektedir.

2. KURUTMA

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılmasıdır. Kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemleri ile su veya uçucu maddelerin buharlaştırılarak uzaklaştırılmasıdır. Kurutma uygulamalarında nemin buharlaştırılması için gereken ısı, kurutulacak maddeyi sıcak gazlarla doğrudan temas ettirerek taşınım veya ışınım veya kurutulacak maddeyle temas eden katı yüzeyden iletimle transfer edilir [1].

Gıdaların kurutulması, insanlığın tabiatın öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: turgaypolat@hotmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.1, 1-7

olan en eski muhafaza yöntemidir. Gerçekten bu metod tabiatın çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Doğada kuruma, güneş enerjisiyle gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla olması imkânsızdır. Her ürünün güneşte kurutulması doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer metotlarla kurutulma yolları geliştirilmiştir [2].

Günümüzde gıda kurutma sistemleri ve kurutulmuş ürünlerle ilgili birçok çalışma yapılmış olup bu konularla ilgili olarak hem deneysel hem de matematiksel metotlarla kurutma parametreleri incelenmiştir. Gıda maddelerinin kuruma özellikleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hızı ve ürüne göre akım yönü, ısı ve kütle transferi olaylarının etkilerinin belirlenmesi gerekir. Bu konuyla ilgili olarak Atalay güneş enerjisi destekli nem almali ısı pompalı kurutucunun tasarımını yaparak sistemin termodinamik analizini yapmıştır [3].

Li vd. bir tahıl ambarı için güneş destekli ısı pompası kurutma sistemi tasarlamışlardır. Ünitinin güneş enerjisinden yararlanma oranı % 20'dan daha yüksek, COP değeri 5,19 ve SMER değeri 3,05 kg/kWh elde edilmiştir [4].

Hawlader vd, Singapur'da yapılan çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompası kurutma sistemi tasarlanıp testleri yapılmıştır. Sistemde soğutucu akışkan buharlaştırmak için dış ortam havası sıcaklığı kullanılmakta, ayrıca kurutma havasını ısıtmak için de havalı güneş kolektörü kullanılmıştır. Bunun dışında kurutucu girişine bir de harici ısıtıcı konmuştur. Isı pompası içinde kullanılan akışkan R-134a'dır. Sistem ile ilgili olarak sıcaklık, basınç, güneş radyasyonu, bağıl nem ve rüzgar hızı değerleri ölçümü yapılmıştır. Ölçüm cihazları için hata analizi metodu kullanılmış ve $\pm 3,5$ bulunmuştur. ASHRAE test standartlarına göre kolektör testleri yapılmış ve en yüksek verimin hava debisinin artmasıyla elde edildiği görülmüştür. Verim değerleri 0,036 kg/s ve 0,06 kg/s hava debileri için sırasıyla %69-73 ve %72-75 olarak elde edilmiştir. Havalı kolektör veriminin giren havanın neminin alınmasıyla arttığı görülmüştür. Soğutucu akışkanın buharlaştırıcı kolektöre daha düşük sıcaklıkta girmesinden dolayı verimin havalı kolektör verimine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu verim %87 ve %76 değerlerindedir [5].

Hawlader ve Jahangeer, güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucunun ve su ısıtıcısının performansını araştırmışlardır. Bununla ilgili bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Yükün 20 kg ve kompresör hızının 1200 rpm olması durumunda özgül nem çekme oranı (SMER) 0,65 olarak saptanmıştır. Sistem performansını etkileyen üç parametrenin güneş radyasyonu, kompresör hızı ve kurutma odasındaki toplam yük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, kompresör hızı arttığında SMER ve COP değerinin azaldığı gözlemlenmiştir [6]. Ayrıca Hawlader, güneş enerjili, ısı pompalı kurutma fırını ve sıcak su ısıtıcısı yapmıştır [7].

Günerkan, endüstriyel kurutma sistemlerini incelemiştir. Araştırmada, kuruma zamanının hesaplanması, kurutucu hesapları ve kurutma sistemi seçimi ile ilgili unsurlar ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir [8].

Braun vd, ısı pompalı hava çevrimli kurutucuların enerji verimliliği analizini yapmış. Hava çevrimli ısı pompalı kurutucuda elbise kurutularak ekonomik analiz yapılmıştır. Konvansiyonel kurutucularla karşılaştırıldığında hava çevrimli pratik ısı pompalı kurutucuların önemli verim iyileşmesine sahip olduğu saptanmıştır [9].

Chou ve arkadaşları, ısı pompalı kurutucuda tarımsal ve deniz ürünlerini (mantar, meyveler ve istiridye) kurutmuştur. Isı pompalı kurutucularda planlanmış kurutma şartları ile tarımsal ve deniz ürünlerinin kalitesinin artırılabilirliğini ifade etmişler [10-12]. Coşkun, ısı pompası yardımıyla sürekli kurutma sisteminin simülasyon programını oluşturmuştur [13].

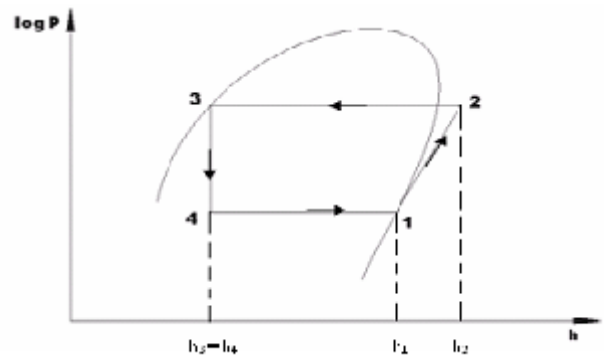
Prasertsan ve arkadaşları, ısı pompalı kurutucuda tarımsal gıdaları (muz) kurutmuştur. Isı pompalı kurutucuların yüksek nem miktarına sahip materyaller için daha uygun olduğunu ifade etmiş. Isı pompalı kurutucuların işletme maliyetlerinin onları ekonomik olarak mümkün yaptığını belirtmişler [14-15].

3. SİSTEM ANALİZİ

Çam fıstığı kozalağı kurutma sisteminde kurutma işlemi için gerekli enerji miktarının hesaplanması, ısı pompası sisteminin kapasite hesaplamaları, ısıtma tesir katsayısı, özgül nem çekme oranı ve çam fıstığı için tam kuru ağırlığın belirlenmesi ile ilgili eşitlikler verilmiştir.

Sistemde gerektiğinde kurutma işlemi için gerekli toplam enerji miktarını ısı pompası sisteminde atılan ısı sağlamalıdır. Hesabı yapılan ve ihtiyaç duyulan bu ısı ihtiyacına göre sistemde gerekli olan kondenser, evaporatör ve kompresör güç değerleri ısı pompası sisteminin çalışma sıcaklık aralıkları belirlenerek hesaplanabilir.

Sistemde kullanılan soğutucu akışkanın log P- h diyagramından yararlanılarak hesaplanabileceğinden ısı pompası çevriminin log P- h diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Isı pompası sisteminin log P-h diyagramı

Kullanılan soğutucu akışkanın log P-h diyagramında:

h_1-h_2 : Kompresör giriş-çıkış,

h_2-h_3 : Kondenser giriş-çıkış,

$h_3=h_4$: Genleşme vanası giriş-çıkış

entalpi değerleridir. Kondenser kapasitesi gerekli toplam ısının kompresörün dinlenmesi için %25 fazlası kadar alınarak, sistemde kullanılacak soğutucu akışkan debisi

$$\dot{Q}_K = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kondenserin kurutma havasına verdiği ısı:

$$Q_{KV} = \dot{Q}_k \cdot F_h \quad (2)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır. (F_h , fırın çalışma süresidir).

Sistemde gerekli toplam ısı miktarı kondenser kapasitesi kabul edilerek soğutucu akışkan debisi bulunan sistemde, kompresör gücü için de;

$$\dot{Q}_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

eşitliğinden faydalanılır.

Sistemdeki evaporatör kapasitesi:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Çam fıstığı kozalaklarının kurutulmasında kullanılan sistem ısıtma, soğutma ve nemlendirme (kurutma havasının nemlenmesi) proseslerini içermektedir.

Kütlenin korunumu kanununun genel eşitliği kurutma sistemine uygulandığında:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (5)$$

Su buharı için kütle korunumunun genel eşitliği:

$$\sum (\dot{m}_{wi} + \dot{m}_{mp}) = \sum \dot{m}_{wo} \quad (6)$$

ya da

$$\sum (\dot{m}_{ia} \cdot \omega_i + \dot{m}_{mp}) = \sum \dot{m}_{oa} \cdot \omega_o \quad (7)$$

Enerjinin korunumunun genel eşitliği:

$$\dot{Q}_K - \dot{W} = \sum \dot{m}_{ia} \cdot \left(h_{oa} - h_{ia} + \frac{V_o^2 - V_i^2}{2} \right) \quad (8)$$

Sistemdeki fandaki kinetik enerji değişimi ve sistemin diğer kısımlarındaki kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

Kurutma havasının entalpisi:

$$h = c_p T + w h_{satT} \quad (9)$$

Nemin çekilmesi için kurutma odasında kullanılan ısı miktarı:

$$\dot{Q}_{Dc} = \dot{m}_{ia} (h_{ia} - h_{oa}) \quad (10)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Sistemde kondenserde atılan ısı miktarı (\dot{Q}_K) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ia} \cdot c_p \cdot (T_{ia} - T_{aai}) \quad (11)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (12)$$

Eşitlikte \dot{m}_{ia} , kurutma havasının kütleli debisi, c_p , kurutma havasının özgül ısıtma ısısı, \dot{V}_i , kurutma havasının hacimsel debisi, ρ_{ia} , kurutma havasının yoğunluğu, T_{ia} ve T_{aai} ise sırasıyla kondensere çıkan ve kondenserden giren havanın sıcaklığıdır.

Kondenser sıcaklığı (T_C) ile evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı ($COP_{c,h}$) Carnot çevrimi ile saptanır.

$$COP_{c,h} = \frac{T_C}{T_C - T_E} \quad (13)$$

Normal bir uygulama için, enerji tüketimi sadece ısı pompasının kompresöründe meydana gelmektedir. Sistemde diğer ekipmanlarda söz konusu olabilir örneğin fan, pompa vb.

Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı ($COP_{hp,h}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir [16].

$$COP_{hp,h} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c} \quad (14)$$

Bütün sistem için ısıtma tesir katsayısının (COP_{wh}) hesaplanmasında tüketim ekipmanları için (kompresör, fan ve diğer ekipmanlar) aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$COP_{wh} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c + F_1 + F_2} \quad (15)$$

Kurutma esnasında kurutma prosesinde kurutma odasında enerjinin kullanılma oranı (EUR_{dc}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$EUR_{dc} = \frac{\dot{m}_{ia} \cdot (h_{ia} - h_{oa})}{\dot{m}_{ia} \cdot c_p \cdot (T_{ia} - T_{aai})} \quad (16)$$

Özgül nem çekme oranı (SMER) kurutma sistemlerinde bu oran 1 kg suyu kaldırmak için harcanması

gereken enerji miktarı olarak tanımlanır. Bu kompresörün güç girişi ile ilgilidir ($SMER_{hp}$) [17].

$$SMER_{hp} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (17)$$

Çam fıstığındaki nem tayini çam fıstığının sıcaklığı kontrol edilebilen bir etüvde (103 ± 2) °C'da, çevre basıncında kurutulması sonunda meydana gelen kütle kaybına dayanarak rutubet muhtevasının belirlenmesidir.

Çam fıstığı kozalaklarının kuru esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (18)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Çam fıstığı kozalaklarının yaş esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (19)$$

eşitliği kullanılmıştır.

4. KURUTMA SİSTEMİ

Çam fıstığı kozalakları ya güneşin doğrudan tesiri ile kurutularak ya da kaynatılıp yumuşatılarak patoz makinelerinde dövülme işlemi ile içerisindeki sert kabuklu çam fıstığı çekirdeği çıkartılabilmektedir. Kaynatma yöntemiyle işlenen kozalaklardan elde edilen iç fıstık sararmakta, rengi, kokusu, aroması ve besin değeri düşmektedir. Doğal kurutma yönteminde ise Kasım-Aralık döneminde toplanan kozalaklar ancak Haziran-Temmuz aylarına kadar bekletilip kurutulmaktadır. Her iki yöntemde de ekonomik kayıplar olmaktadır. Bu çalışmada bu olumsuz nedenleri ortadan kaldırmak amacıyla endüstriyel amaçlı ısı pompalı ve güneş enerjisi destekli bir kurutma yöntemi tasarlanmıştır (Şekil 2).

Bu çalışmada öncelikle güneş enerjisi desteği yetersiz olması durumunda sonra da ısı pompası desteği ile her ikisinin de yetersiz olduğu durumlarda elektrikli ısıtıcıların kullanılması ile çam fıstığı kozalaklarının kurutulması amaçlanmıştır.

Klasik kurutma sistemlerinde kurutulan ürün üzerinden geçirilen havanın nemi artmakta ve bu sıcak ve nemli hava sistemden atmosfere atılmaktadır. Bu işlem kurutma uygulamalarında enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu çalışmada Şekil 2'de görüldüğü gibi kurutma havası resirküle ettirilip, üründen nem alan hava

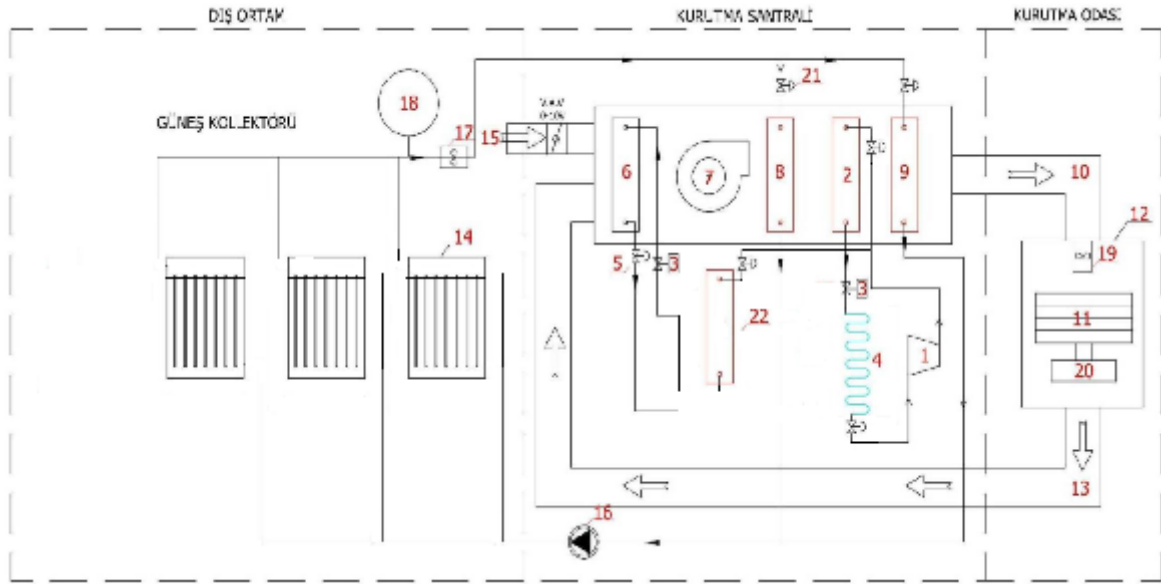
kurutma santralinde çiy noktası sıcaklığının altına kadar soğutulup havanın soğuk yüzeyde nemi alınacaktır. Soğuyan ve nemi alınan hava güneş kolektörlerinden gelen sıcak suyun gönderildiği Şekil 2'de verilen 8 nolu ön ısıtıcı bataryadan geçirilerek duyulur olarak ısıtılacaktır. Daha sonra kondenserde (2 nolu batarya) yine duyulur olarak ısıtılıp kurutma odasına gönderilecektir. Eğer kurutma odasına üflenen havanın sıcaklığı yeterli olmazsa, güneş kolektörlerinden gelen sıcak suyun gönderildiği Şekil 2'de verilen 9 nolu son ısıtıcı bataryadan geçirilerek kurutma odasına gönderilecektir. Şekil 2'de verilen 7 nolu fan sistemde hava dolaşımını sağlayacak olup 19 numaralı anemometreden ölçülen hava hızı değeri ve set değeri arasındaki ilişkiye göre frekans invertörü ile devrini ayarlayacaktır.

Sistemde ısı pompası devrede olduğunda, kondenserin daha rahat ısı atabilmesi için güneş enerjisi sisteminin ön ısıtıcısının akışını kontrol eden Şekil 2'de verilen 21 nolu selonoid vana ile akış kesilecektir.

Güneş enerjisinin yeterli olmadığı ya da olmadığı zamanlarda sistemin enerji kaynağı ısı pompası sisteminin kondenseri olacaktır. Kondenserde ısıtılan hava kurutma odasına gönderilecek, kurutma odasından çıkan havanın bağıl nemi yüksek ise otomatik kontrol ile iç evaporatörün soğutma yapması sağlanarak çiy noktası sıcaklığının altında bir yüzey sıcaklığı elde edilerek havanın nemi alınacaktır. İkinci bir alternatif olarak sistemde kurutma odasından çıkan havanın bağıl nem miktarı yükseldiğinde eğer dış havanın bağıl nemi düşük ise Şekil 2'de verilen 15 numaralı değişken hava debisi ayar ünitesi ile gerekirse bir miktar taze hava alınabilmesi de mümkün olacaktır.

Ürün ağırlığı ise loadcell (ağırlık ölçer) ile bilgisayardan kontrol edilerek son nem miktarına gelindiğinde kurutma işlemi sonlandırılacaktır. Sistemde, kurutma havası sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi kontrol edilecek ve bu kontrol ile sistem optimum şartlarda çalışabilecek bu da sistemde enerji giderlerini azaltacaktır.

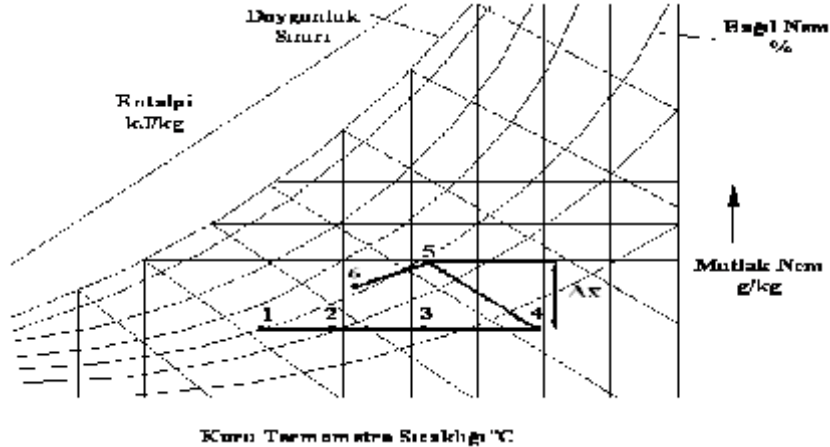
Sistemde kurutulacak ürünün özellikleri de dikkate alınarak bilgisayar yardımıyla gerekli otomatik kontrol yapılarak ürün standartlara uygun ve optimum şartlarda kurutularak çam kozalaklarının açılması sağlanacaktır. Bu yöntemle çam fıstığının son nem miktarına kadar kurutma işlemi gerçekleştirilerek renk, koku, tat ve aroması istenilen şartlarda, doğal kurutmadan hiçbir farkı olmadan, endüstriyel ölçekte 24 saat çalışma prensibine dayalı olarak yaz-kış işletme devam edecek ve ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.



1. Kompresör, 2. İç kondenser, 3. Genleşme valfi, 4. Evaporatör, 5. Selonoid vana (soğutucu akışkan hattı), 6. İç evaporatör (nem alıcı batarya), 7. Fan, 8.-9. Isıtıcı batarya, 10. Kurutma havası gidis kanalı, 11. Kurutma rafları, 12. Kurutma odası, 13. Kurutma santraline dönüş kanalı, 14. Güneş enerjisi sistemi, 15. Değişken debili dış hava kanalı, 16. Sirkülasyon pompası, 17. Debimetre, 18. Genleşme tankı, 19. Anemometre (hava hızı ölçümü), 20. Load cell (ağırlık ölçer), 21. Selonoid vana (sıcak su hattı), 22. Dış kondenser.

Şekil 2. Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli çam fıstığı kurutma sistemi

Şekil 2’de tasarlanan kurutma sistemin taslak psikrometrik analizi Şekil 3’de görülmektedir.



1-2: Güneş enerjisi ön ısıtıcı, 2-3: Kondenser, 3-4: Güneş enerjisi son ısıtıcı, 4-5: Kurutma odası, 5-6: Soğutucu batarya

Şekil 3. Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kurutma sisteminin taslak psikrometrik analizi

Şekil 3’de görüldüğü gibi 1 şartlarında güneş enerjisi sisteminin ön ısıtıcısına giren hava duyulur olarak ısıtılarak, 2 şartlarında kondensere girmekte ve 3 şartında çıkmaktadır. Sistem havası 4 şartında da güneş enerjisi sisteminin son ısıtıcısını terk etmektedir. 4 şartlarında kurutma odasına üflenen hava Δx kadar nemi artarak kurutma odasını 5 şartlarında terk etmekte ve gerektiğinde son olarak da soğuk yüzeyde nemi alınarak 6 şartına ulaşmaktadır.

Tasarımı, gerekli olan hesaplamaları ve termodinamik ve ısı transferi analizleri yapılan güneş enerjisi ve ısı pompası destekli çam fıstığı kozalağı kurutma fırını bilgisayar kontrolü olarak gerektiğinde de uzaktan kontrollü olarak çalışacak ve denetlenebilecek şekilde düşünülmüştür.

Güneş enerjisi ve ısı pompası desteğiyle çalışacak olan kurutma sisteminde kurutma odasında kurutulacak ürün miktarına göre gerekli olan hesaplamalar yapılmıştır. 1200 kg çam fıstığı kozalağı

kurutma kapasitesine sahip sistemde bu ürünün sisteme yüklenebilmesi, ürünün boşaltılabilmesi için tek noktadan sabitlenmiş gerektiğinde hareket edebilen bir raf düzeni tasarlanmıştır ve imal edilmiştir.

Kurutma santralinde kullanılan ekipmanların özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kurutma santralinde kullanılan ekipmanların özellikleri

Malzemenin adı	Özelliği
Filtre	Kaba filtre, G4 tipi
Nem alma bataryası	22 kW, çok girişli, bakır boru, alüminyum kanatçıklı, soğutucu gaz için özel imalat
Güneş enerjisi ön ısıtıcı	15 kW, tek giriş tek çıkışlı, bakır boru, alüminyum kanatçıklı, özel imalat
Kondenser	33 kW, çok girişli, bakır boru, alüminyum kanatçıklı, soğutucu gaz için özel imalat
Güneş enerjisi son ısıtıcı	30 kW, tek giriş tek çıkışlı, bakır boru, alüminyum kanatçıklı, özel imalat
Fan	6000 m ³ /h, salyangoz fan, kasnak kayış sistemli, değişken devirli
Kompresör	11 kW, 380 V, devri ayarlanabilir, R134 a soğutucu akışkanı ile uyumlu
Santral	Paslanmaz malzemedan özel üretilmiş, sızdırmazlık testi yapılmış
Dış Ünite	Paslanmaz malzemedan özel üretilmiş, sızdırmazlık testi yapılmış

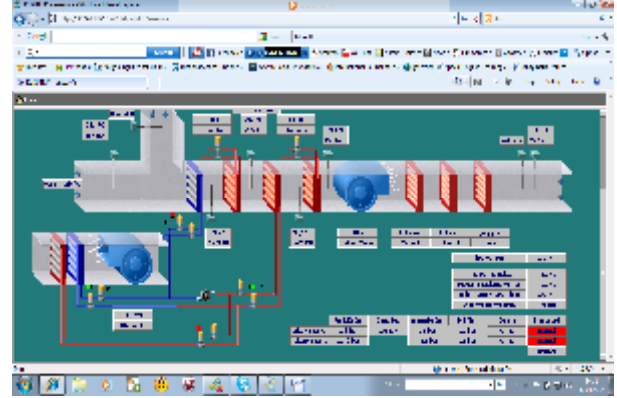
5. DENEY VE SONUÇLARI

Tasarlanan ve imal edilen deney setinde sistem kurutmaya etki eden parametrelerin değiştirilip denenmesine uygun şekilde yapılmıştır. Bu parametreler temel olarak kurutma havası sıcaklığı, bağıl nemi ve hava hızıdır.

Sistemde yapılan ön deneylerde 50 °C sıcaklığın üzerinde yapılan deneylerde üründe bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. 50 °C’nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde yapılan kurutma uygulamalarında kurutma süresinin kısaldığı fakat çam fıstığında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu bozulmalar ise ürün rengine bir morarmanın meydana gelmesi ve sıcaklık arttıkça bu morarma da artmıştır. 50 °C’nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde yapılan kurutma uygulamalarında çam fıstığının tadında istenmeyen değişimler olmuş arttıkça ürün acılaşmış ve kavrulmuştur.

Deneylere başlamadan önce ürünün etüv fırınında tam kuru ağırlığı belirlenerek kuru baza göre başlangıç nem miktarı Eş. 18’den 0,26 g su / g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

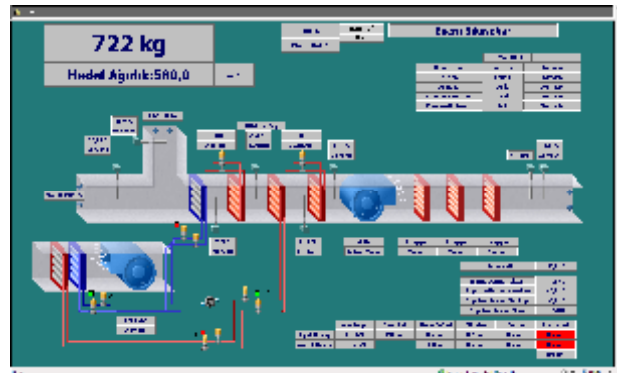
Yapılan ön denemelere göre sistemde nihai deneye başlanmış ve bu deneye ait değer ve sistem parametreleri aşağıda Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Deneye ait değer ve sistem parametreleri

Şekil 4’de görüldüğü gibi sistemde üfleme havası sıcaklığı set değeri 50 °C olarak set edilmiştir. Bu değere göre sistem ekipmanları önce güneş enerjisi desteği sonra ısı pompası daha sonra da elektrikli ısıtıcı desteğiyle çalışacaktır. Sistemde kurutma odasından dönen hava 44°C olduğunda ısıtma prosesleri tamamen devre dışı kalacaktır. Sıcaklık 40 °C’ye düştüğünde iç evaporatör devreye girecek ve sistem fanı 25 hz frekans değerinde çalışarak kurutma havasının nemi soğuk yüzeyde alınmıştır. Bu işlem sıcaklık 35 °C’ye düştüğünde nem alma işlemi tamamlanmıştır.

Yapılan deneyler esnasında sistemde set edilen ve ölçülen değerlere ait bir görüntü Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Deneyler esnasında sistemde set edilen ve ölçülen değerlere ait bir görüntü

Şekil 5’de görüldüğü gibi sistem ısıtma modunda, elektrikli ısıtıcılar kontrol dahilinde devrede, fan 50 hz ‘de, ve ısı pompası devrededir. Kurutma işlemi Şekil 5’de görülen şartlarda devam etmiştir.

Sistemde ürün ağırlık değişimi bilgisayardan takip edilmiş ve ürün son nem miktarına ulaşıncaya kurutma otomatik kontrolle bitirilmiştir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan deneyler ve elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuç ve öneriler elde edilmiştir.

- Deneysel sonuçlarına göre yapılan hesaplamalarda çam fıstığı kozalakları 0,26 g su / g kuru madde nem miktarından 0,07 g su / g kuru madde nem miktarına 29 saatte indirilmiştir. Bu yapılan kurutma işlemi ile ürün işlenecek hale getirilmiştir.
- Deneyler kış sezonunda Aydın ilinde yapılmıştır. Sistem gündüz saatlerinde yeterli enerji olduğunda güneş enerjisi desteğiyle çalışmıştır.
- Deneysel sonuçlarına göre yapılan hesaplamalarda ısı pompası sisteminin ısıtma tesir katsayısı ortalama olarak 2,75 olarak hesaplanmıştır.
- Deneysel sonuçlarına göre yapılan hesaplamalarda kurutma sisteminde tüm sistemin özgül nem çekme oranı 0,35 kg/kWh olarak hesaplanmıştır.
- Kurutma sonrası yapılan duyusal muayene ile üründe herhangi bir bozulma olmadığı görülmüştür.
- Kurutma sistemi güneş enerjisi ve gerektiğinde ısı pompası desteğiyle otomatik kontrol ile optimum şartlarda çalıştırılmış bu da enerji giderlerini azaltmış ve enerji verilmiş bir şekilde kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- Kurutulacak ürünün özellikleri dikkate alınarak bilgisayar yardımıyla sıcaklık, nem ve hava hızı kontrolü de yapılarak çam fıstığı kozalakları standartlara uygun şekilde teknik kurutma yöntemiyle kaliteli olarak kurutulmuştur.
- Bu maksatla 24 saat çalışma esasına dayalı yani 24 saat kesintisiz çalışabilecek bilgisayar kontrollü bir kurutma sistemi geliştirilmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 00708.STZ.2010-2 kodlu San-Tez projesi olarak Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından desteklenmekte olup, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız.

8. KAYNAKLAR

1. Güngör, A., Özbaltalı, N., Kurutmanın Temelleri ve Endüstriyel Kurutucular Kurs Notları , **IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, (2009).
2. Cemeroglu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi" **Gıda Teknolojisi Derneği**, 28, 541 – 542, 544-570, Ankara, (2003).
3. Atalay, Ö., "Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi" **Doktora Tezi**, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2010).

4. Li, H., Dai, Y., Dai, J., Wang, X. and Wei, L., "A Solar Assisted Heat Pump Drying System for Grain in-store Drying", **Front. Energy Power Eng. China**, 4(3): 386–391, DOI 10.1007/s11708-010-0003-3, 2010.
5. Hawlader, M. N.A., Rahman, S. M. A., Jahangeer, K. A., "Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer", **Energy Conversion and Management**, Cilt 49, Sy 1612-1619, (2008).
6. Hawlader, M., N., A., Jahangeer, K., A., "Solar Heat Pump Drying and Water Heating in the Tropics", **Solar Energy**, 80(5): 492-499, (2006).
7. Hawlader, M., N., A., **Engineering Drive**, Department of Mechanical Engineering, National of Singapore, 9: 185-193, (2003).
8. Günerkan, H., "Endüstriyel kurutma sistemleri", **Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, 36(13): 1-10, Mart-Nisan, (2005).
9. Braun, J., E., Bansal, P., K., Groll, E., A., "Energy Efficiency Analysis of Air Cycle Heat Pump Dryers", **International Journal of Refrigeration**, 25, pp, 954-965, (2002).
10. Chou S.K. , Hawlader M.N.A. , Ho J.C. and Chua K.J.. 1998, "On the Study of a Two-Stage Heat Pump Cycle for Drying of Agricultural Products", **Proceedings of the ASEAN Seminar and Workshop on Drying Technology Phitsanulok Thailand**. June 3–5, Thailand
11. Chua K.J. , Chou S.K. , Hawlader M.N.A. and Ho J.C., A Two-Stage Heat Pump Dryer for Better Heat Recovery and Product Quality", **Journal of the Institute of Engineers**, Singapore, 38(6), pp.8-14, (1998).
12. Chua K.J. , Mujumdar A.S. , Chou S.K. , Hawlader M.N.A. and Ho J.C.. "Heat Pump Drying of Banana, Guava and Potato Pieces: Effect of Cyclical Variations of Air Temperature on Convective Drying Kinetics and Colour Change", **Drying Technology**, 18(5), (2000).
13. Coşkun, S., "Isı Pompası Yardımıyla Sürekli Kurutma Sisteminin Simülasyonu", **Doktora Tezi**, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2000).
14. Prasertsan S. , Saen-saby P. , Prateepchaikul G. and Ngamsritrakul P., Heat Pump Dryer Part 3: Experiment Verification of the Simulation, **International Journal of Energy Research**, 21 pp.1-20, (1997).
15. Prasertsan S. and Saen-saby P., Heat Pump Drying of Agricultural Materials, **Drying Technology**, 16, pp. 235-250, (1998).
16. Aktaş, M., Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi**, Ankara, 70-85, Mayıs 2007.
17. Polat, T., Çam Fıstığı Kozalağı Kurutma Sistemi Tasarımı ve İmalatı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi**, Ankara, 66-79, Nisan 2012.