

Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması

İlhan CEYLAN, Mustafa AKTAŞ, Hikmet DOĞAN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, güneş enerjili havalı kolektörlü bir kurutma fırınında elma kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Kurutma sonrası fiziksel şartlar duyuşsal olarak analiz edilmiş ve nem değışimi kütle ölçüm metodu ile takip edilmiştir. Gereklđ ön hazırlık ve son kontrol işlemleri uygulanarak elmaların kurutma işlemi sonrası kalitelerinin artırılması, üreticilerin ihtiyacı olan ilk yatırım masrafı düşük ve enerji giderleri az olan bu kurutma fırını ile sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elma kurutma, güneş enerjisi, güneş kolektörü

Apple Drying at Kiln by Solar Energy

ABSTRACT

In this study, apple drying was examined experimentally at drying kiln with solar air collector. After the drying physical conditions were analyzed emotionally, humidity change was observed with mass measurement method. After the drying increasing of the quality of apples were provided by applying necessary first preparation and last control operations with this drying kiln which has been required by producers, has low first investment and energy expense.

Key Words: Apple drying, solar energy, solar collector

1. GİRİŞ

Kuruma; bir madde içinde bulunan sıvının uzaklaşmasıdır. Teknik kurutmada, kuruma işlemine dış müdahale yapılarak madde içerisinde bulunan nem değışik metotlarla alınır. Bu nedenle kurutma, kuruyacak ürün neminin istenilen kuruluk değerlerine belli bir süreçte indirgenmesi olarak tanımlanır. Belli bir süreçte ürünün kurutma değerlerine gelmesini sağlayan ve değışik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma) ünitelerin bütününe kurutma sistemi denir (1).

Kurutma işleminde kullanılan sistemler sanayinin bir çok dalında yaygın olarak (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) uygulanmaktadır. Kurutma, genel olarak gıdaların kurutulmasında nemin gıda maddesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın bir çok amacı vardır ve bunların belki de en belirgin olanı, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminin diğer amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmaktır (2).

Gıda maddelerinde kurutma işlemi daha çok meyve ve sebzelere uygulanmaktadır. Kuru meyvelerin anavatani ve binlerce yıllık üretim alanı olan Türkiye’de kuru meyveler tarih boyunca ve günümüzde özellikle

dış ticaret gelirlerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Türkiye’de kuru meyve yetiştiriciliğinin çok eski ve üretimin fazla olmasında bu meyvelerin kolay hasat, muhafaza ve nakil edilebilir oluşlarının, ekolojik imkanların uygunluğunun ve doğal olarak yetişmiş olmalarının büyük payı vardır (3).

Türkiye’de kuru meyve üretimi hala ilkel metot ve tekniklerle yapılmaktadır. Bir çok üretici tamamı ile kontrolsüz dış hava şartlarında bu kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Kurutma işlemine başlanmadan yapılan ön hazırlık ve kurutma sonrası kontrollerden yoksun yapılan kurutma işlemi istenilen kalitede ürün elde edilememesine yol açmaktadır. Bu çalışmada sıcak hava akışlı güneş kolektörlü kurutma fırınında kurutma öncesi hazırlıklar ve kurutma sonrası kontroller yapılarak elma kurutulmuştur. Yapılan çalışma; ilk yatırım masrafı düşük, enerji giderleri az ve kurutma kusurlarını büyük ölçüde giderecek kurutma fırını ihtiyacı içerisinde olan üreticiye de hitap etmektedir. Önerilen ve deneysel olarak incelenen metotla kurutulmuş elmanın kuruma kalitesi de artırılmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR

Güneş enerjisiyle açık havada doğal kurutma tarihinin ilk çağlarından beri bilinmekte olup kereste ve diğer tarım ürünlerinin kurutulmasında uygulanmaktadır. Doğal kurutmada meteorolojik şartların kontrol edilememesinden dolayı, sebze ve meyvelerin zarar görmesi, kalitesinde düşme olması, istenilen nem derecesine kadar düşürülemeyişi, sermayenin uzun süre bağlı kalması vb sebeplerden dolayı önemli sakıncalar görülmektedir. Bu sakıncaların bazılarını giderebilmek için, sıcaklığın kontrol edilebildiği kapalı kurutma oda-

ları yapıp kullanılmasına rağmen, bu defa da kurutma havasının nemi kontrol edilemediğinden istenilen kurutma kalitesine ulaşmak yine de mümkün olmamıştır.

Güneş enerjili kurutma sistemleri konusunda, 1950'lerden bu yana, birçok ülkede araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmalarda kurutma enerjisinin toplanması, depolanması ve kullanma verimliliğini artıracak çeşitli sistemler önerilmektedir. Güneş enerjili sistemlerle kurutma yapılması düşünüldüğünde kurutmanın yapılacağı bölgenin iklim özellikleri dikkatle incelenmelidir. Çeşitli iklim özellikleri, güneş ışınımı, yoğunluğu, güneşlenme süresi, güneş enerjili kurutucuların tertibini ve verimini etkileyen önemli unsurlar olmaktadır. Güneş enerjili kurutucular, sera tipi ve kolektörlü olmak üzere iki aşamada değerlendirilir.

2.1 Sera Tipi Güneş Enerjili Kurutucular

Sera tipi 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 elemanlarına absorbe edilip, ısı taşıyıcı akışkan olarak hava yardımı ile taşınarak kurutulacak kereste, meyve ve sebze üzerine ulaştırılır. Güneş enerjisi ile ısıtılan hava yardımıyla alınan meyve veya sebzelerin nemi, yine aynı hava ile kurutma ortamından uzaklaştırılmaktadır. Sera tipi kurutucularda, güneş enerjisini toplayan yüzeyler, kurutma fırınının integral bir parçası olduğundan, tertiplerinde ve yüzeylerinin büyüklüğünün belirlenmesinde fırının geometrisine ve tertibine uyma zorunluluğu vardır. Yapıları basit olduğundan verimleri, güneş enerjili kolektörlü kurutuculara göre daha düşük, kurutma süreleri uzundur. Isı kayıpları fazla olduğundan saydam örtü çift kat yapılmalıdır. Sıcak hava saydam örtünün altında sürekli dolaştırdığında, hava içindeki toz ve diğer parçacıkların örtü malzemesinin altına yapışması mümkündür. Tozların temizlenmemesi halinde verimin düşeceği dikkate alınmalıdır.

2.2 Güneş Enerjili Kolektörlü Kurutucular

Güneş enerjili kolektörlü kurutucularda, kolektörler kurutma fırınlarının ayrı birer parçasıdır. Kolektörlerde toplanan enerji hava ya da su ile aktararak kurutulacak malzemeye iletilir. Fırının geometrisine ve tertibine bağlı kalınmayacağından, kolektör yüzeylerinin büyüklüğünün belirlenmesinde ve düzeninde daha esnek ve bağımsız hareket etme imkanı vardır. Özellikle termal depolama sistemlerinin uygulanması ve fırın ısı yalıtımı daha iyidir. Kurutma işleminin kontrolü kolaylıkla başarılabilir. Bu fırınların tasarımı daha karışık ve sera tipine göre maliyeti daha yüksektir. Kurutma maliyeti ve süreleri yapılan kurutma işlemine göre değişiklik göstermektedir. Güneş kolektörlerinde ısınan hava bir fan ile emilerek kurutma fırını içindeki meyve ve sebze yığını üzerinden geçirilmek suretiyle kurutulacak ürünün nemi alınır ve kuruma sağlanır.

3. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMANIN DOĞAL KURUTMA VE DİĞER ENERJİ KAYNAKLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Güneş enerjili kurutma doğal kurutmaya göre çok daha hızlı, klasik kurutmaya göre ise yavaştır. Klasik kurutmaya göre düşünülecek bu sakıncayı, kullanılacak enerjinin maliyeti dikkate alındığında, olumsuz bir faktör olarak değerlendirilmeyebilir. Kurutma sadece güneş enerjili kurutma fırınında yapılır ise, taze sebze ve/veya meyve doğrudan fırına konular ve istenilen nem derecesine ulaşmaya kadar kurutulur. Bu yöntemle doğal kurutmayla ulaşılamayacak nem derecelerine ulaşılır. Bu yöntem doğal kurutma ile yıl boyunca yeterli bir nem derecesine ulaşılamayan bölgelerde uygulanır. Doğal kurutmanın uygun olmadığı yerlerde, güneş enerjili sistem klasik sistemlere bir ön kurutma temin eder. Böylece kurutma maliyeti düşürüldüğü gibi klasik sistemin kurutma süresi kısaltılır (4).

4. ELMALARIN KURUTULMASI

Gülgiller familyasından olan elma, ılıman iklim meyvesidir. Üretimine çok eski çağlarda başlanan elmanın, 2000 yılı öncesinden bu yana binlerce çeşidi geliştirilmiştir. Kışın yapraklarını döken elma ağacının, salkımlar oluşturan beyaz-karman kırmızısı çiçekleri vardır. Meyveleri ise, 50 mm ...100 mm çapında ve kırmızı, sarı yada açık yeşil renktedir. Sonbahar sonlarında olgunlaşan elma çeşitleri iyi şartlarda bir yıl kadar saklanabildiği halde, yaz sonunda olgunlaşan çeşitleri saklamaya elverişli değildir. Elmayı uzun süre saklamak için, donma noktasının biraz üstündeki sıcaklıklarda depolamak gerekir. Şeker bakımından zengin bir meyve olan elma, ayrıca A ve C vitaminleri ihtiva eder. En çok meyve olarak tüketilen elmadan sirke, şarap, meyve suyu, reçel, konserve ve komposto da yapılır. Pasta ve yemeklerde de kullanılır. Dünyadaki önemli elma üreticileri arasında yer alan Türkiye'de elma, en çok Isparta, Antalya, Konya ve Niğde'de yetiştirilir. Tarımı yapılan elma çeşitleri arasında Amasya, Hür yemez, Demir ve Ferik elması gibi yerli çeşitler ile Starking, Golden, Jonathan, Rome ve Beauty gibi yabancı çeşitler yer alır (5).

Elmaların kurutulmasında iki türlü kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kütle değişimine bağlı olarak ürünlerdeki nem kontrolü, ikincisi ise kurutma sırasında ve sonrasında duyuusal kontroldür.

Elmalar dış kabuklarından arındırılıp çekirdek evleri temizlendikten sonra ortalama 4 mm ... 5 mm kalınlıklarında dilimlenir (6). Elmada tannin asit vardır. Elmanın kesik yüzeyi hava ile temas ettiğinde tannin asit havadaki oksijenle tepkimeye girer (oksitlenme) ve kahverengimsi renkli polifenollerin oluşmasına neden olur (7). Bu renk değişiminin önlenmesi için kurutma öncesi hazırlıkta, askorbik asit, askorbik-sitrik asit karışımı, askorbik asit sakozoz karışımı, limon suyu ya da sitrik asitli sular kullanılmaktadır. Kurutma sonrası duyuusal kontrolde elmalarındaki renk değişimi göz ile görülebilmektedir. 4 mm ... 5 mm kalınlıklarında dilimlene-

rek kurutulmuş olan elmalar ikiye katlandıklarında kırılmamalı ve elastiki olmalıdır. Ortadan ikiye bölünerek bakıldığında merkezlerinde nem olmamalıdır (8). Ağırlık değişimine göre üründeki nem kontrolünün belirlenebilmesi için tam kuru ağırlığının bulunması gerekir. Kurutma işlemine başlanmadan önce elmalar 70 °C' de (± 1) sabit tutulan bir fırında belirli aralıklarla tartılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm sonunda ağırlığın %1'den az olması durumunda elmalar tam kuru sayılır (9). Elmaların kurutma sonrası uygun olan su oranı 0.18 g su/g kuru ağırlıktır (%18 k.b.).

Çizelge 2. Ankara ilinin atmosfer öncesi aylık ortalama ışıma değerleri, [W/m²] (13)

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4253	5725	7614	9562	10924	11479	11202	10062	8310	6253	4585	3747

Elmalardaki kuru esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Elmalardaki yaş esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (2)$$

eşitliği kullanılmıştır (10).

5. TEORİK ANALİZ

Enerji hesaplamalarında, güneşten kolektör üzerine gelen enerji Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır (11).

$$I_{TOP} = [I_{DIR} \cdot R] + I_{DIF} \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + [I_{DIR} + I_{DIF}] r_a \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (3)$$

Eşitlik 3 ile verilenler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

Direkt ışıma değeri; (12)

$$I_{DIR} = \varphi - I_{DIF} \quad (4)$$

Difüz ışıma değeri;

$$I_{DIF} = [1 - (1.097 \cdot \varepsilon)] \varphi \quad (5)$$

Bulanıklık faktörü;

$$\varepsilon = \frac{\varphi}{v} \quad (6)$$

$$R = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2} \quad (7)$$

$$\cos \theta = [\sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta] - [\sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma] + [\cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega] + [\cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega] + [\cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega] \quad (8)$$

$$\cos \theta_2 = [\sin \phi \cdot \sin \delta] + [\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega] \quad (9)$$

Deklinasyon açısı; (13)

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[360 \times \frac{284 + n_1}{365} \right] \quad (10)$$

Bulanıklık faktörünün hesaplanmasında kullanılan Ankara ilinin atmosfer öncesi aylık ortalama ışıma değerleri Çizelge 2. ile verilmiştir.

Eşitlik (8) ve (9) ile verilen “ ϕ ” enlem derecesi olup Ankara için 40°, “ ω ” saat açısı olup 12:00’den itibaren her saat için 15°, ve “ γ ” azimut açısı olup, kolektör güney yönüne baktığı için 0° olarak çözüm

yapılmıştır. Ayrıca Eşitlik (3)’deki r_a değeri; eğik düzlem çevresinin toplam güneş ışımasını için yansıtma katsayısı 0.2 olarak alınmıştır (13).

Sistemden elde edilen enerji:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (11)$$

Sistemin verimi ise:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{F_k \times I_{TOP}} \quad (12)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır (14).

Kurutma havası ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında doğal taşınım için Grashof ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olan Nusselt sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (15).

$$Nu = \frac{h_c L}{k} = C(Gr Pr)^n \quad (13)$$

Benzer şekilde, kurutma havası ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında zorlanmış taşınım için Reynold ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olan Nusselt sayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$Nu = \frac{h_c L}{k} = C(Re Pr)^n \quad (14)$$

Sistemde zorlanmış taşınım söz konusu olduğundan ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (16).

$$Q_e = 0.016 h_c [P(T_c) - \gamma_B P(T_e)] \quad (15)$$

Eşitlik 14’ü eşitlik 15’de yerine koyduğumuzda;

$$Q_e = 0.016 \frac{k}{L} C(Re Pr)^n [P(T_c) - \gamma_B P(T_e)] \quad (16)$$

eşitliği elde edilir.

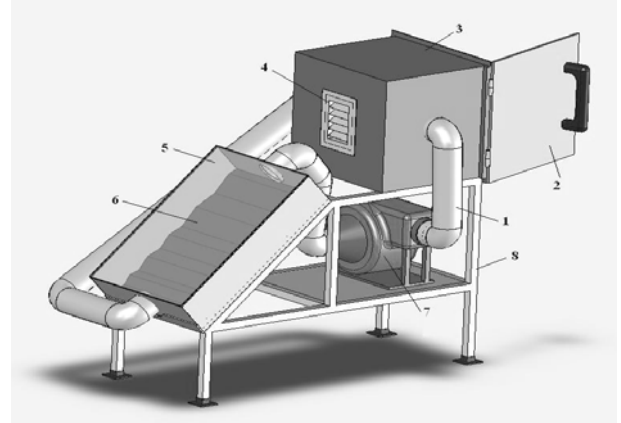
Üründen buharlaştırılan nem miktarı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir (17).

$$m_{ev} = \frac{Q_e}{\lambda} A_f t = 0.016 \frac{k}{L\lambda} C(\text{RePr})^n [P(T_c) - \gamma_B P(T_e)] A_f t \quad (17)$$

6. SİSTEM VE DENEYİN YAPILIŞI

Tarafımızdan tasarlanıp imalatı yapılan güneş enerjili kurutucu; havalı kolektör, hava kanalları, fan, ayar damperi ve kurutma fırınından oluşmaktadır. Deneysel sistemi enerji kaynağı olarak havalı güneş kolektöründen aldığı ısıyı kullanacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kolektör ön yüzeyinde arası 1 cm boşluklu çift cam kullanılmıştır. Emici plaka olarak iç açılı 30 derece olan ve 1 cm aralıkla yükselen 0.3 mm kalınlığındaki çinko sac mat siyaha boyanarak kullanılmıştır. Emici plaka kolektör girişinden, çıkışına doğru 1 cm aralıkla birbirini gölgelemeyecek şekilde 30 derece iç açıyla yükselmektedir. Bu şekilde kolektör giriş havasının emici plaka ile temas yüzeyi artırılmıştır. İmal edilen kolektör detayı Şekil 1’de görülmektedir.

Kurutma fırını içerisindeki elmaların nemi havalı güneş kolektöründen aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır. Bu nedenle nemi artan kurutma havasının zamanla nem alma yeteneği azalacaktır. Bu

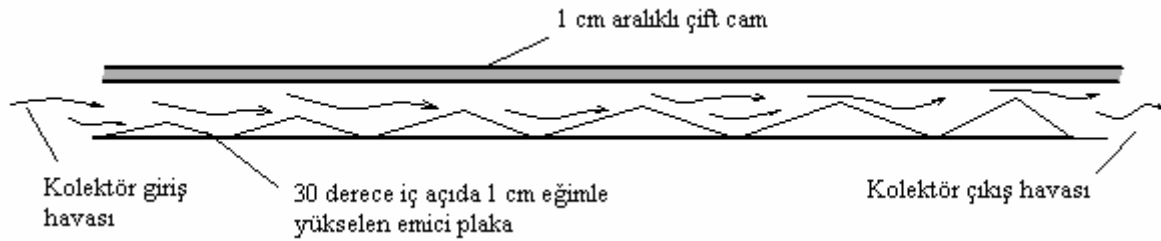


1. Fan üfleme kanalı 2. Fırın kapağı 3. Fırın
4. Hava ayar klapesi 5. Havalı güneş kolektörü
6. Emici plaka 7. Sistem fanı 8. Platform

Şekil 2. Güneş Enerjili Kurutma Fırını

7. DENEY SONUÇLARI

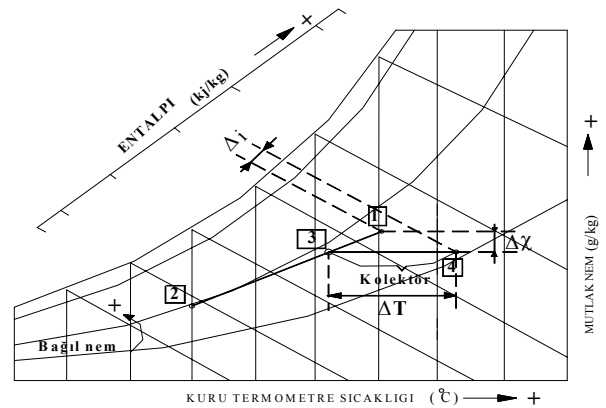
Sistemdeki hava akışının psikrometrik açıklaması Şekil 3’ de gösterilmiştir. Kurutma havası, fırın ve kanal ısı kayıpları ile “1” şartına gelmektedir.



Şekil 1. Havalı Güneş Kolektörü Detayı

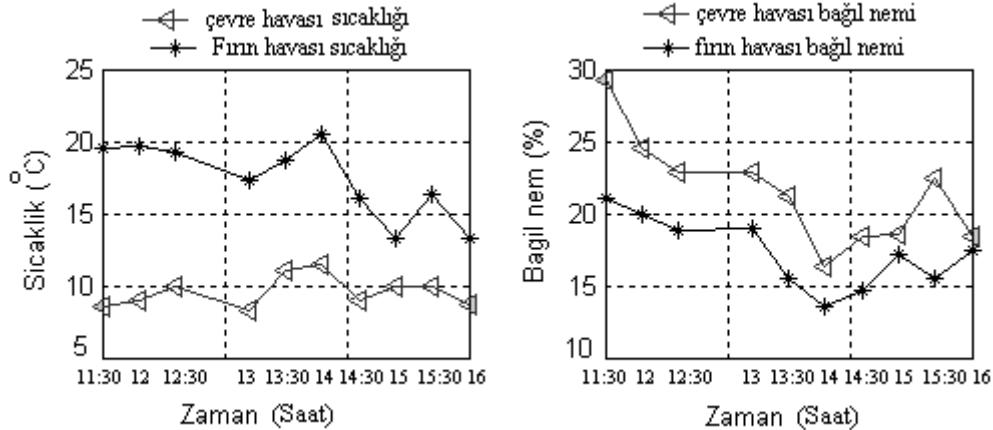
çalışmada bir miktar dış hava sisteme ayar klapesi ile karıştırılarak kurutma işlemi sırasında bağıl nemin artması önlenmiştir. Çevre havası bağıl nemi düşük olan bölgelerde, kurutma işlemi ile birlikte bağıl nemi yükselen havanın dışarı atılması ya da içerisindeki nemin soğuk yüzeyde yoğunlaştırılması yerine kontrollü olarak çevre havası ile karıştırılan sistem havası, kurutma sırasında bağıl nemin istenen değerlerde olmasını sağlayacaktır. Şekil 2’de görülen tarafımızdan tasarım ve imalatı yapılan fırında, kurutma havası bağıl nemi ve sıcaklığı kolektör çıkışından ölçülerek ayar klapesi yardımı ile sisteme alınacak hava miktarı ayarlanmıştır. Yapılan ayarlama, kurutma havası sıcaklığını düşürmeden, bağıl nemin düşürülmesine dikkat edilmiştir. Dijital tartı üzerine konulan elmaların kütle değişiminin fırın içerisindeyken takip edilebilmesi için fırın hacminin bir yüzeyi çift camdan yapılarak içerisinde görülebilmesi sağlanmıştır.

“1” şartlarındaki kurutma havası “2” şartlarındaki dış hava ile karışarak “3” şartında kolektöre girmektedir. Kolektörde ısıtarak sıcaklığı ΔT kadar artan ve “4” şartında kurutma fırınına giren hava, ürünün nemini alırken kuru termometre sıcaklığı da düşmektedir.



Şekil 3. Havalı Güneş Kolektörlü Kurutma Fırınında Kurutma Havasının Psikrometrik İzahı

“4” şartındaki hava Δx kadar mutlak nemi yükselerek tekrar “1” şartına gelmektedir. “1” şartı kurutma fırınının yalıtımına bağlı olarak değişmektedir. “1-4” eğrisi ısı kayıplarının ihmal edildiği durumda entalpi eğrilerine paralel olacaktır. Fakat, uygulamada bu eğri ısı kayıplarıyla Δi kadar entalpi eğrisi altında kalmaktadır. “3” noktası sisteme alınan dış hava miktarına, “4” noktası da kolektör verimine bağlı olarak değişmektedir. Dışarıdan sisteme alınan daha düşük sıcaklıktaki ve bağıl nemdeki hava ile fırın havası bağıl neminin kurutma için istenen değerlerde tutulabilmesi sağlanmıştır. Daha düşük sıcaklıktaki dış havanın sisteme alınması ile sistem havasının sıcaklığı düşerken, bu düşüş kolektörde tekrar telafi edilebilmektedir. Çevre havası sıcaklığı ve bağıl nemi ile fırın havası sıcaklığı ve bağıl neminin karşılaştırma diyagramı Şekil 4’ de görülmektedir. Şekil 4’ deki diyagram kurutma havası hızının 2.75 m/s olması durumunda oluşturulmuştur. Deney yapılan günler için kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı değeri eşitlik 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 11’den de kurutma havasına verilen enerji hesaplanarak eşitlik 12.’den güneş enerjisi sistem verimi ortalama %40 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık ve nem ölçümlerinde Testo firmasının ürettiği olduğu 625 model 5-95% bağıl nemde $\pm 3\%$, 0-50 °C sıcaklıkta

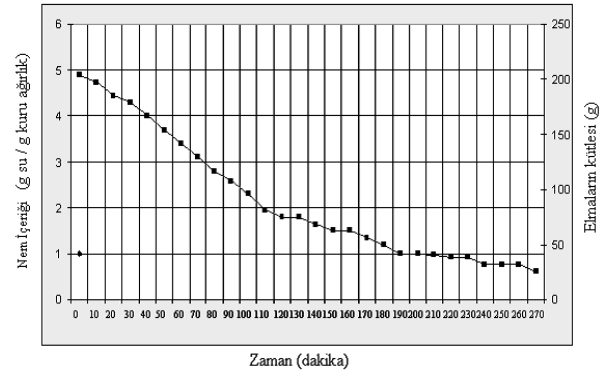


Şekil 4. Çevre Havası Sıcaklığı ve Bağıl Nemi İle Fırın Havası Sıcaklığı ve Bağıl Neminin Karşılaştırma Diyagramı

$\pm 0,5$ °C hassasiyette dijital göstergeli termohigrometre kullanılmıştır.

Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma işlemine başlanmadan önce Isparta ilinin starking türü elmasının tam kuru ağırlığı, sıcaklığı 70 °C’ da sabit tutulan bir fırında 8 saat süre ile kurutularak bulunmuştur. Birbirini takip eden iki ölçüm sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda elmalar tam kuru kabul edilmiştir (9). Ağırlık ölçümlerinde Avery Berkel Marka 6 kg*0.1/600g*0.01g hassasiyette sahip “CC062DIOA BAA6A” model dijital ağırlık ölçer kullanılmıştır. Elmaların tam kuru haldeki su oranı kuru esasa göre Eşitlik 1.’den 4.8 g su/g kuru ağırlık (%488 k.b) olarak

bulunmuştur. Elmaların tam kuru haldeki su oranı yaş esasa göre Eşitlik 2. kullanılarak 0.83 g su/g yaş ağırlık (%83 y.b) olarak bulunmuştur. Havalı güneş kolektörlü kurutma fırınında kurutma işlemine başlanmadan önce çekirdek yuvaları çıkartılan ve soyulan elmalar 4 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Dilimlenen elmaların renk değişiminin önlenmesi için limonlu askorbik asitli suda 4 ila 5 dakika bekletilmiş ve kurutma işlemine başlanmıştır. Elmaların nem içeriği eğrisi Eşitlik 1. kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 5.’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Zamana Bağlı Olarak Elmalardaki Nem içeriği ve Kütle Değişim Grafiği

8. SONUÇ

Türkiye’nin güneş enerjisi açısından zengin bir potansiyele sahip olmasından dolayı, kurutma uygulamalarında güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanımı enerji ekonomisi açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada genellikle tamamı ile kontrolsüz dış hava şartlarında gerçekleştirilen kurutma işleminin yerine, elma kurutulması için gerekli ön hazırlık ve son kontrol işlemleri gerçekleştirilerek ilk yatırım masrafı düşük, enerji giderleri az olan ve karmaşık olmayan kurutma fırınında kontrollü olarak kurutma yapılarak kurutulmuş elmanın kalitesi artırılmıştır. Aynı zamanda havalı güneş kolektörlü

kurutma fırını ile yapılan kurutmada doğal kurutmaya göre kurutma süresi hem kısaltılmış hem de kurutulmuş ürün kalitesi artırılmıştır. Böylece kurutulmuş ürün daha kısa zamanda piyasaya sunulabilecek ve özellikle dış piyasada daha çok tercih edilebilir hale gelecektir.

9. SEMBOLLER

SO_{KA}	Kuru ağırlığa göre ürün içerisindeki su oranı (g su/g kuru ağırlık)
SO_{YA}	Yaş ağırlığa göre ürün içerisindeki su oranı (g su/g yaş ağırlık)
YA	Ürünün başlangıçtaki yaş ağırlığı (g)
KA	Ürünün tam kuru ağırlığı (g)
Re	Reynold sayısı
Gr	Grashof sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Nu	Nusselt sayısı
h_c	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
\dot{m}	Suyun kütleli debisi (kg/gün)
I_{DİR}	Direkt radyasyon (W/m ² gün)
I_{DİF}	Difüz radyasyon (W/m ² gün)
ϵ	Bulanıklık faktörü
ϕ	Deneyin yapıldığı gün için ortalama yatay yüzey radyasyon değeri (W/m ² gün)
v	Deney yapılan ayın ortalama atmosfer öncesi radyasyon değeri (W/m ² gün)
r_a	Eğik düzlem çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı ≈ 0.2 'dir.
β	Güneş kolektörünün yatayla yaptığı açı (40 ⁰)
δ	Deklınasyon açısı
ϕ	Enlem derecesi
γ	Azımut açısı
ω	Saat açısı
n₁	Hesabı yapılan gün (takvimde 1 Ocak'tan itibaren kaçınıcı gün ise...)
c	Suyun özgül ısısı (kJ/kg K)
\dot{Q}	Depolanın toplam enerji miktarı (J/gün)
F_k	Kollektör yüzey alanı (m ²)
I_{TOP}	Kollektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımından elde edilen enerji (W/m ² gün)
γ_B	Bağıl nem
P	Kısmi su buharı basıncı (N/m ²)
L	Karakteristik boyut (m)
Q_e	Ürün içerisindeki nemi buharlaştırmak için gerekli olan enerji (J/m ² s)
λ	Buharlaşma gizli ısısı (J/kg)
A_t	Fırın içerisindeki kurutulacak ürün alanı (m ²)

t	Zaman (s)
m_{ev}	Buharlaştırılan nem miktarı (kg)
T_c	Ürün sıcaklığı (°C)
Te	Kurutma havası sıcaklığı (°C)

10. KAYNAKLAR

- Ceylan, İ., Doğan, H., "Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını", II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi., Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya., s,155-166, 2004.
- Evranuz, Ö., Çataltaş, İ., "Gıda işleme teknolojisi", Anka Ofset birinci baskı s-262.,1989.
- Ayfer, M., "Kuru meyvelerin Türkiye ekonomisindeki yeri ve geliştirme çareleri" ,Kuru ve kurutulmuş sebze ve meyve endüstrisi semineri, Milli produktivite merkezi tarım şubesi .
- Öz, E.S.,(1988), Güneş enerjili kondenzasyonlu bir kurutma fırınında kereste kurutulması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, s.2-14.
- <http://www.mutfakrehberi.com.tr/aramasonuclaricontent.asp?ad=elma>
- Brady, L., P., "Drying fruits", University of Arkansas Cooperative Extension Service Fact Sheet ,2001.
- Ghose, P, Home D, "Tübitak Popüler Bilim Kitapları Serisi", 25.,s,92 1997.
- Wagner, K., M., Mary, E., M., and Johnson, C.,E., "Drying foods at home", booklet, University of Wisconsin-Modison, 1999.
- Türk Standardı, TS 3688 ISO 7701, "Kurutulmuş elma – özellikleri ve deney metotları", s,9 Nisan 2002.
- Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, "Tarım ürünlerinin kurutulmasında ve depolanmasında göz önüne alınacak fizyolojik etkenler", Tesisat mühendisleri derneği teknik yayınlar:2, s,10.5,1993.
- Reddy, T., A., "The Design and Sizing of Active Solar Thermal Systems", OxfordUniversity Press, New York, pp 4-10, 1987.
- Aktaş, M., "Güneş Enerjili Tabii Sirkülasyonlu Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Kanatçık Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s, 53-99, 2003.
- Uyarel, A. Y., Öz, E. S., "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları", Emel Matbaacılık, Ankara, 1987.
- Shariah, A., Al-Akhras, M., A., I.A. Al-Omari, I., A., Optimizing The Tilt Angle of Solar Collectors, Renewable Energy, Volume: 26, pp, 587-598, 2002.
- Pitts DR, Sissom LE, Theory and Problems of Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, 200, 1977.
- Malik MAS, Tiwari GN, Kumar A, Sodha MS, Solar distillation, Oxford, Permagon Press, 1982.
- Dilip J, Tiwari GN, Effect of Greenhouse on Crop Drying Under Natural and Forced Convection I: Evaluation of Convective Mass Transfer Coefficient, Energy Conversion and Management 45, 765-783, 2004