



ISI POMPALI KURUTMA ODASINDA ELMA KURUTULMASI

İlhan CEYLAN, Mustafa AKTAŞ ve Hikmet DOĞAN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü
Teknikokullar 06500/ANKARA
e-posta: ceylan060606@hotmail.com

(Geliş Tarihi: 12. 04 2005)

Özet: Bu çalışmada ısı pompalı bir kurutma fırınının elma kurutulmasında kullanılması deneysel olarak incelenmiştir. 4 mm kalınlığında dilimlenmiş elmalar 40 °C'de ortalama %20 bağıl nemde 2.8 m/s hava hızında 4.8 (g su/g kuru madde) su oranından 0.18 (g su/g kuru madde) su oranına kadar 3.5 saatte kurutulmuştur. Elmaların ulaşılan son kuru ağırlıktaki su aktivitesi ise 0.65 olarak bulunmuştur. Böylece daha düşük su aktivitesinden dolayı bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretimi engellenmiştir. Kuruma sonrası fiziksel şartlar duyuşsal olarak analiz edilmiş ve nem değışimi ağırlık ölçüm metodu ile takip edilerek kurutma işlemleri sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elma kurutma, Isı pompası, Kurutma odası

APPLE DRYING IN HEAT PUMP DRYER

Abstract: In this study, usage of heat pump dryer for apple drying has been investigated experimentally. Apples cut into slices of 4 mm thickness were dried from 4.8 (g water/g dried matter) moisture content to 0.18 (g water/g dried matter) at 40 °C temperature, 20%, average relative humidity and 2.8 m/s air velocity. Drying was lasted a period of 3.5 hours. The water activity in the dry apple has been determined as 0.65. Thus, due to the lower water activity, the activity of some toxigenic moulds and production of toxins were prevented. Physical conditions were analyzed emotionally after drying and drying operation was stopped by following moisture variation by weight measurement method.

Keywords: Apple, drying, Heat Pump, Dryer

SEMBOLLER

SO_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su oranı (g su/g kuru madde)
SO_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su oranı (g su/g yaş madde)
YA	Ürünün başlangıçtaki yaş ağırlığı (g)
KA	Ürünün tam kuru ağırlığı (g)
a_w	Su aktivitesi
$ÇBN$	Çevre havası bağıl nemi
RO	Rehidrasyon oranı
SA	Kurutma sonrası sıcak suda bekletilen ürünün değışmeyen son ağırlığı (g)
$KA_{\%18}$	Kurutulacak ürünün %18 nem miktarındaki ağırlığı (g)

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 (Ceylan ve Doğan, 2004). Kurutma işleminde kullanılan sistemler sanayiinin bir çok dalında yaygın olarak (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayii gibi endüstri dallarında) uygulanmaktadır. Genel olarak gıdaların kurutulmasında kurutma, nemin gıda maddesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın bir çok amacı olup, bunlardan en önemlisi, 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 (Evranoz, Çataltaş, 1989). Gıda maddelerinden meyve ve sebzelere kurutma işlemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Kuru meyvelerin anavatanı ve binlerce dönümlük üretim alanı olan Türkiye’de kuru meyveler tarih boyunca ve günümüzde özellikle dış ticaret gelirlerine önemli katkılarda bulunmuştur. 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 oluşmuş çok sayıda amaçlarında büyük payı vardır (Ayfer, 1991). Türkiye’de kuru meyve üretimi hala ilkel metot ve tekniklerle yapılmaktadır. Bir çok üretici tamamı ile kontrolsüz dış hava koşullarında 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 teknik kurutma yöntemlerinden ısı pompalı bir kurutma odasında 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 kalitesi de artırılabilir.

ELMALARIN KURUTULMASI

Elmaların kurtulmasında 2 türlü kontrol yöntemi kullanılmaktadır.

- Ağırlık değişimine bağlı olarak ürünlerdeki nem kontrolü.
- Kurutma sırasında ve sonrasında duyuusal kontrol.

Elmalar dış kabuklarından arındırılıp çekirdek evleri temizlendikten sonra ortalama 4-5 mm kalınlıklarında dilimlenir (Brady, 2001). Elmada tannik asit olması nedeni ile elmanın kesik yüzeyi hava ile temas ettiğinde tannik asit havadaki oksijenle tepkimeye girer (oksitlenme) ve kahverengimsi renkli polifenollerin oluşmasına neden olur (Ghose ve Home, 1997). Bu renk değişiminin önlenmesi için kurutma öncesi hazırlıkta, askorbik asit askorbik-sitrik asit karışımı, askorbik asit sakoroz karışımı, limon suyu yada sitrik asitli sular kullanılmaktadır. Kurutma sonrası duyuusal kontrolde elmalardaki renk değişimi göz ile görülebilmektedir. 4-5 mm kalınlıklarında dilimlenerek kurutulmuş olan elmalar ikiye katlandıklarında kırılmamalı ve elastiki olmalıdır. Ortadan ikiye bölünerek bakıldığında merkezlerinde nem olmamalıdır (Wagner vd, 1999). Ağırlık değişimine göre ürünlerdeki nem kontrolünün belirlenebilmesi için tam kuru ağırlığının bulunması gerekir. Kurutma işlemine başlanmadan önce elmalar $70 \pm 1^\circ\text{C}$ ’de sabit tutulan bir fırında belirli aralıklarla tartılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm

sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda elmalar tam kuru sayılır (TS 3688, 2002).

Elmalardaki kuru esasa göre hesaplanan su oranı için;

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

eşitliği kullanılır.

Elmalardaki yaş esasa göre hesaplanan su oranı için;

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

eşitliğinden faydalanılır (Ashrae, 1993).

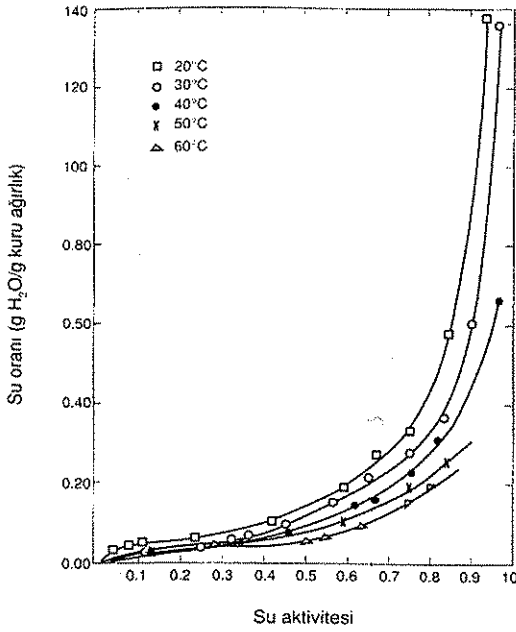
Elmaların kurutma sonrası uygun olan su oranı 0,18 g su/g kuru madde %18’dir. Bu şekilde bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi (a_w) değerinin altına düşülmüş olunacaktır (Cemeroğlu vd, 2003). Bir gıdanın su aktivitesi (a_w), onun mikrobiyolojik veya kimyasal-biyokimyasal yollarla bozularak kalitesini kaybetmesi üzerinde rol oynayan önemli bir faktördür (Anthony ve Jontana, 2000). Çizelge 1’de bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi değerleri görülmektedir. Gıdaların içerisindeki nemin bulunduğu ortam havasının bağıl nemi ile dengede bulunmasına “higroskopik denge” denir (Ceylan ve Doğan, 2004). Gıdanın içerisindeki su oranının bulunduğu çevre havası bağıl nemi ile dengeye ulaştığında, çevre havası bağıl neminin 100’ e bölünmesi ile o gıdaya ait mevcut su oranındaki su aktivitesi (a_w) bulunmuş olunur ve Eşitlik 3 ile gösterilebilir.

$$a_w = \frac{CBN}{100} \quad (3)$$

Çizelge 1. Bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi (a_w) değerleri (Cemeroğlu vd, 2003).

Oluşturulan mikotoksinler	Küfler	Minimum su aktivitesi değerleri	
		Faaliyet için	Toksin üretimi için
Aflatoksin	Aspergillus flavus	0.82	0.83-0.87
	A. parasiticus	0.82	0.87
Ochratoksin	A. ochraceus	0.77	0.85
	Penicillium cyclopium	0.82-0.85	0.87-0.90
Patulin	P. expansum	0.81	0.99
	P. patulum	0.81	0.95
Stachybotryn	Stachybotrys atra	0.94	0.94

Farklı sıcaklıklardaki elmaların tam kuru esasa göre hazırlanmış su oranı miktarlarının su aktivitesi değerleri Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Farklı sıcaklıklardaki elmaların kuru esasa göre hazırlanmış su oranı miktarlarının su aktivitesi değerleri (Roman vd, 1982).

Kurutulmuş ürünlerin Rehidrasyon yeteneği önemli bir kalite kriteridir. Kurutulmuş meyveler sıcak su içerisinde bekletilir. Belli aralıklarla sudan çıkarılıp, bir elek üzerinde suyun süzülmesi beklendikten sonra tartılarak sabit ağırlığa ulaşması izlenir. Sabit ağırlığa ulaşınca belirlenen süzme ağırlığının başlangıçtaki kuru ağırlığa oranı, "rehidrasyon oranını" verir (Ayfer, 1991).

Rehidrasyon oranı için;

$$RO = \frac{SA}{KA_{\%18}} \quad (4)$$

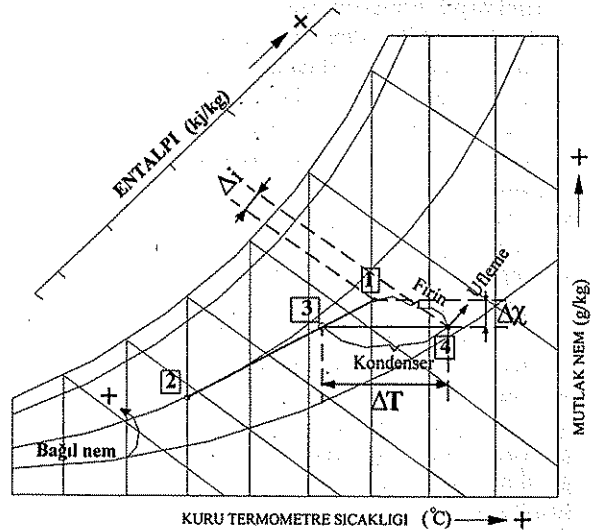
eşitliği kullanılır.

SİSTEM VE DENEYİN YAPILIŞI

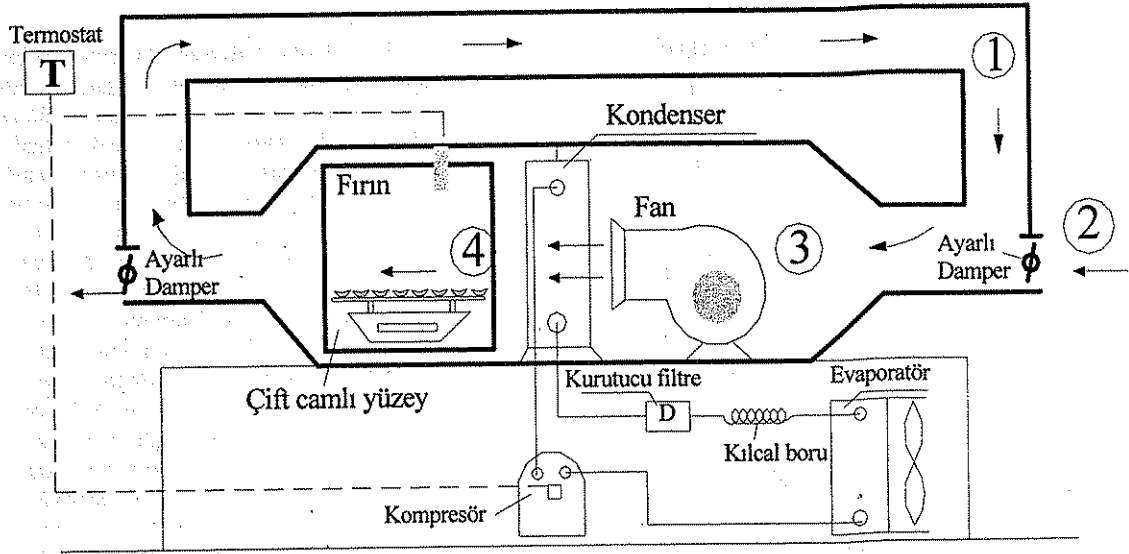
Tarafımızdan tasarlanıp imalatı yapılan sistem kompresör, yoğunlaştırıcı (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), kurutucu filtre (Dryer), kılcal boru, fan, ayarlı damper ve termostattan oluşmaktadır. Deney sistemi ısı pompası sisteminin yoğunlaştırıcısını enerji kaynağı olarak kullanacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kurutma fırını içerisindeki elmaların nemi ısı pompası sisteminin yoğunlaştırıcısından aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır.

Bu nedenle nemi artan kurutma havasının zamanla nem alma yeteneği azalacağından bu hava diğer ısı pompalı kurutma odasında ya dışarı atılır ya da içerisindeki nem yoğunlaştırılır. Bu çalışmada bir miktar dış hava sistem havası ile karıştırılarak kurutma işlemi sırasında bağıl nemin artması önlenmiştir. Kurutma havasının dışarı atılması ya da soğuk yüzeyler yardımı ile içerisindeki nemin alınması sistem enerji giderlerini artırmakta ve kurutma sisteminin verimini düşürmektedir. 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. Tasarımı ve imalatı yapılan kurutma sisteminde, kurutma havası bağıl nemi yoğunlaştırıcı çıkışından ölçülerek ayarlı damperler yardımı ile sisteme alınacak ve sistemden atılacak hava miktarları ayarlanmıştır (Şekil 3.). Yapılan ayarlama, kurutma havası sıcaklığını düşürmeden, bağıl nemin düşürülmesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde kurutma havası ortalama olarak 40 °C sıcaklıkta ve %20 bağıl nemde tutulmuştur. Deneyin yapıldığı gün çevre havası ortalama 16 °C sıcaklıkta ve %25 bağıl nemindedir. Kurutma işlemine başlanmadan damperler ayarlanmış ve sabitlenmiştir. Kurutma işleminin devamı ile birlikte elmalardaki nemin azalması ile kurutma havası bağıl nemi de azalmıştır. Kurutma odasının bir yüzeyi çift camdan yapılarak içerisindeki görülebilmesi sağlanmıştır. Dijital tartı üzerine konulan elmaların ağırlık değişimi oda içerisindeyken camlı yüzeyden takip edilebilmiştir. Şekil 3'de kurutma sistemi üzerinde rakamlar ile gösterilen hava akışının psikrometrik diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Kurutma havası, oda ve kanallar ısı kayıpları ile "1" şartına gelmektedir. "1" şartlarındaki kurutma havası "2" şartlarındaki dış hava ile karışarak "3" şartında kondensere girmektedir. Kondenserde ısınarak sıcaklığı ΔT kadar artarak ve "4" şartında kurutma fırınına giren hava, ürünün nemini alırken kuru termometre sıcaklığı da düşmektedir. Δx kadar mutlak nemi yükselerek tekrar "1" şartına gelmektedir. "1" şartı kurutma fırınının izolasyonuna 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 kondenser kapasitesine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2. Isı pompalı kurutma sisteminin psikrometrik analizi



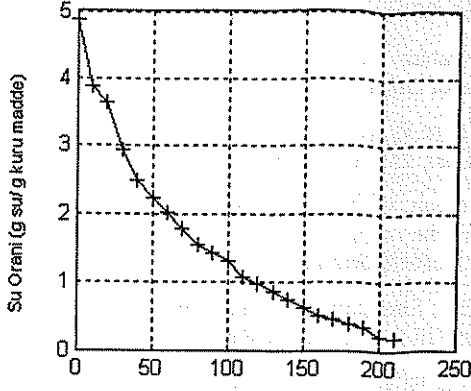
Şekil 3. Isı pompalı kurutma sistemi.

Dışarıdan sisteme alınan daha düşük sıcaklıktaki ve nemdeki hava ile fırın havası bağıl neminin istenen değerlerde tutulabilmesi sağlanmıştır. Daha düşük sıcaklıktaki dış havanın sisteme alınması ile sistem havasının sıcaklığı düşerken bu düşüş kondenserde tekrar telafi edilebilmektedir. Bağıl nemi ve sıcaklığı düşük olan dış havanın sisteme alınmasıyla "1" şartlarındaki hava "3" şartlarına gelirken 3 °C' lik bir sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir. Bu havanın tekrar kondenserde ısıtılarak "4" şartlarına getirilmesi sonucu bağıl nemde ortalama %10'luk bir düşüş olmuştur. Isı pompalı kurutma fırınında, kurutma işlemine başlanmadan önce Isparta ilinin starking türü elmasının tam kuru ağırlığı, sıcaklığı 70 °C' de 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 (TS 3688, 2002). Ağırlık ölçümlerinde Avery Berkel Marka 6 kg*0,1/600g*0,01g hassasiyette "CC062DIOABAA6A" model dijital ağırlık ölçer kullanılmıştır. Elmaların tam kuru haldeki su oranı kuru esasa göre Eşitlik 1'den 4,8 g su/g kuru madde (% 488) olarak bulunmuştur. Elmaların tam kuru haldeki su oranı yaş esasa göre Eşitlik 2 kullanılarak 0,83 g su/g yaş ağırlık (%83) olarak bulunmuştur. Açık havada elmaların kurutulmasında oksitlenme sonucu renk değişimi (karama) meydana gelmektedir. Isı pompalı kurutma odasında kurutma işlemine başlanmadan önce çekirdek yuvaları çıkartılan ve soyulan elmalar 4 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Dilimlenen elmaların renk değişiminin önlenmesi için limonlu ascorbic asitli suda 4-5 dakika bekletilmiş ve kurutma işlemine başlanmıştır. Isı pompalı kurutma odasında elmalardeki su oranı 3,5 saatte 0,18 g su/g kuru madde değerine düşürülmüştür (Şekil 4. A). Farklı sıcaklıklarda elmaların su aktivitesi (a_w) değerleri Şekil 1'de görülmektedir. Isı pompalı kurutma fırınında 40 °C sıcaklıkta içerisindeki su oranı 0,18 g su/g ağırlığa

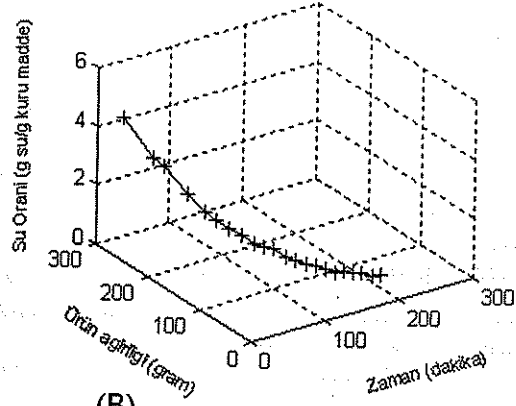
düşürülen elmaların su aktivitesi değeri Şekil 1'deki grafikten 0,65 olarak bulunur. Kurutma sonrası elmaların bulunabileceği çevre havası sıcaklıkları olan 20 °C ve 30 °C' de su aktivitesi değerleri bu oranın altında olduğu görülmüştür (Şekil 1). Elmaların kuruma oranı eğrisi Eşitlik 1 kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 4 (A)'da gösterilmiştir. Zamana bağlı ağırlık değişimi ise Şekil 4 (B)'de görülmektedir. Gıdanın sabit sıcaklıkta ve bağıl nemi gittikçe azalan atmosferde tutulması ile elde edilen veriler bir grafiğe işlenirse kurutulan materyalin "desorpsiyon izotermi" saptanmış olunacağından, su oranına bağlı olarak havanın bağıl nem değişim grafiği (desorpsiyon eğrisi) Şekil 4 (C)' de gösterilmiştir (Ayfer, 1991). Isı pompası sisteminde kurutulan elmaların içerisindeki su oranı azaldıkça üründen havaya olan nem difüzyonu da azaldığından kurutma havası bağıl nemi elmalardaki su oranına bağlı olarak azalmıştır. Sıcaklık ve nem ölçümlerinde Testo firmasının üretmiş olduğu 625 model 5-95% bağıl nemde $\pm 3 \%$, 0-50 °C sıcaklıkta $\pm 0,5 \%$ hassasiyette dijital göstergeli termohigrometre kullanılmıştır.

Kurutma sonrası sıcak suda bekletilen elmaların zamana bağlı olarak ağırlık değişimi grafiği (Rehidrasyon eğrisi) Şekil 4 (D)'de görülmektedir (Ayfer, 1991). Su oranı 0,18 (%18) kadar kurutulan elmalar 10 dakika sıcak suda bekletilerek, suyu süzülüp tartılmış ve ardı ardına yapılan iki ölçüm sonunda ağırlık değişimi sabit kalana kadar işleme devam edilmiştir. Rehidrasyon oranı ise 3,92 olarak bulunmuştur. Elmalar başlangıçtaki yaş ağırlığına %80 oranında geri dönmüştür.

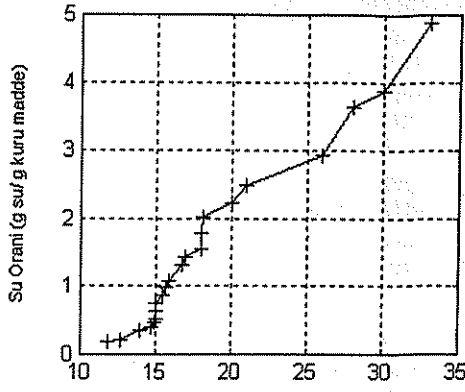
Kurutulan elmaların kurutma sonrasında yapılan duyuusal kontrolünde renk değişiminin görünmediği ve ikiye katlandıklarında kırılmadığı Şekil 5'de görülmektedir. Ayrıca kurutulmuş dilimlerin ortadan ikiye kesildiklerinde merkezlerinde nem görülmemiştir



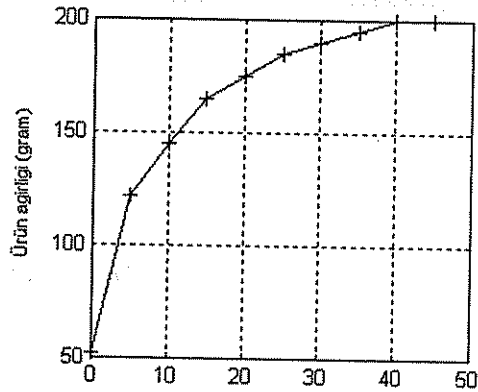
(A) Zaman (dakika)



(B)

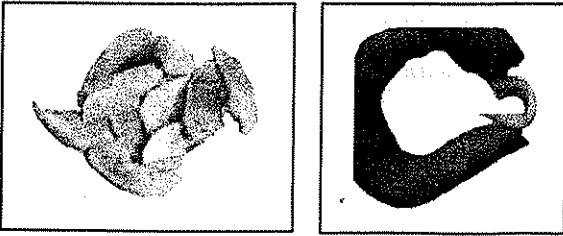


(C) Bağıl Nem (%)



(D)

Şekil 4 (A): Zamana bağlı olarak elmalardaki su oranının değişim grafiği.
(B): Zamana bağlı olarak elmaların ağırlığının ve su oranının değişim grafiği.
(C): Elmalardaki su oranının kurutma havası bağıl nemine göre değişim grafiği (Desorpsiyon eğrisi).
(D): Kurutma sonrası sıcak suda bekletilen elmaların zamana bağlı olarak ağırlık değişim grafiği (Rehidrasyon eğrisi).



Şekil 5. Kurutma sonrası elmaların görünüşü.

SONUÇ

Bu çalışma ile Türkiye’de elma kurutulmasında yaşanan problemlere çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Elma üreticilerinin yapmış oldukları tabii şartlarda sergi yöntemi ile kurutmaya ön hazırlık ve son kontrol işlemleri önerilmiştir. Teknik kurutmada kullanılan ısı pompalı kurutma odalarının çevre havası bağıl nemi düşük olan bölgelerde kullanılması ile ilgili bir metot

önerilmiştir. Önerilen metodun uygulanabilirliği deneysel olarak elma kurutulmasında incelenerek gösterilmiş, böylece çevre havası bağıl nemi düşük olan bölgelerde ısı pompası sisteminden fırın enerji ihtiyacı için faydalanılması önerilen metotla mümkün kılınmıştır. Deneysel olarak incelenen sistem özellikle bağıl nemin düşük olduğu aylarda sezonluk olarak mevsim boyunca kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Ayfer M., Kuru Meyvelerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri ve Geliştirme Çareleri, *Kuru ve Kurutulmuş Sebze ve Meyve Endüstrisi Semineri*, Milli Produktivite Merkezi Tarım Şubesi, Ankara, 150-158, 1991.

Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, *Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında ve Depolanmasında Göz Önüne Alınacak Fizyolojik Etkiler*, Tesilat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, 10.5, 1993.

Anthony J., Fontana Jr., Water Activity's Role In Food Safety And Quality, *Presented at the Second NSF International Conference on Food Safety*, October 11-13, Savannah, GA, USA, 1, 2000.

Brady L. P., *Drying Fruits*, University of Arkansas Cooperative Extension Service Fact Sheet, 18, 2001.

Ceylan İ. ve Doğan H., Nem Kontrollü Kondenzasyonlu Kereste Kurutma Fırını, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155-166, 2004.

Cemeroğlu B., Kardeniz F., ve Özkan M., Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları* 28, 544-570, Ankara 2003.

Ceylan. İ. ve Doğan. H., Güneş Enerjili ve Nem Kontrollü Kondenzasyonlu bir Kereste Kurutma

Fırınının Modellenmesi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ 148-150, 2004.

Evranuz Ö. ve Çataltaş İ., *Gıda İşleme Teknolojisi*, Anka Ofset, Birinci Baskı, 260-262, 1989.

Ghose P. ve Home D., *Tübitak Popüler Bilim Kitapları Serisi*, 25, 90-92, 1997.

Roman, G. N., Urbicain, J. and Roststein, E., "Kinetics of the Approach to Sorptional Equilibrium by a Foodstuff, *Journal Food. Science*. 471-485, 1982.

Türk Standardı, TS 3688 ISO 7701, Kurutulmuş Elma Özellikleri ve Deney Metotları, 8-9 Nisan 2002.

Wagner K. M., Mary E. M. and Jonhnson C. E., *Drying Foods at Home, Booklet*, University of Wisconsin-Modison, 22, 1999.