



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Isı pompalı kurutma tekniği ile toz elma ve elma cipsi üretimi: performans analizi

Production of powder apple and apple chips with heat pump drying technique: performance analysis

Yazar(lar) (Author(s)): Meltem TOKDEMİR¹, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ³, Simge Pelin ALKAÇ⁴

ORCID¹: 0000-0003-0530-3214

ORCID²: 0000-0003-0184-8233

ORCID³: 0000-0003-1187-5120

ORCID⁴: 0000-0003-1213-1414

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tokdemir M., Boran K., Aktaş M., ve Alkaç S. P., “Isı pompalı kurutma tekniği ile toz elma ve elma cipsi üretimi: performans analizi”, *Politeknik Dergisi*, 21(4): 887-894, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417750

Isı Pompalı Kurutma Tekniği ile Toz Elma ve Elma Cipsi Üretimi: Performans Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Meltem TOKDEMİR^{1*}, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ³, Simge Pelin ALKAÇ⁴

¹ Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

² Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

³ Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

⁴ Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.07.2017 ; Kabul/Accepted : 15.10.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Starking Delicious elma çeşidinin dilimlenerek ve rendelenerek ısı pompalı bir kurutucuda kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Kurutulan rendelenmiş elma toz haline getirilmiştir. Kurutma proseslerinin sonunda elma cipsi ve toz elma elde edilmiştir. Ülkemizde uzun yıllardan beri üretimi yapılan elmanın önemli yetiştiricilik alanları Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgeleri ile İç Anadoludur. Tarımsal ürünlerin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntem olan kurutma 5 mm kalınlığında dilimlenmiş ve rendelenerek eşit bir kalınlıkta tepsiyeye serilmiş elmalara uygulanmıştır. Elmalara herhangi bir ön işlem yapılmamıştır. Deneyler 40°C kurutma havası sıcaklığında ve 1 m/s hava hızında yapılmıştır. Deneyler sonucunda tüm sistem performans katsayısı (COPws) değerleri ortalama olarak elma dilimleri için 2,82 rendelenmiş elma için ise 3,02 olarak hesaplanmıştır. Elma dilimleri 9 saatte 5,06 gsu/gkatı madde nem miktarından, rendelenmiş elmalar ise 4 saatte 5,06 gsu/gkatı madde nem miktarından 0.17 gsu/gkatı madde nem miktarına kadar kurutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, elma cipsi, rendelenmiş elma, elma tozu, ısı pompası.

Production of Powder Apple and Apple Chips with Heat Pump Drying Technique: Performance Analysis

ABSTRACT

In this study, drying of the Starking Delicious apple variety by slicing and grated in a heat pump dryer was experimentally investigated. The dried grated apple was powdered. At the end of the drying process, apple cips and powder apples were obtained. The most important cultivation areas of apple, which has been produced in our country for many years, are North Anatolia, Black Sea coastal regions and Central Anatolia. Drying, which is a method used in the evaluation of agricultural products, was sliced to a thickness of 5 mm and grated and applied with a uniform layer of padded apples. No pretreatment had been done with the handmade. Experiments were carried out at a drying air temperature of 40°C and air velocity of 1 m/s. As a result of the experiments, all system performance coefficients (COPws) were calculated as 2.82 for apple slices and 3.02 for grated apple. The apple slices were dried from a moisture content of 5.06 g water / g solid matter at 9 hours, and the grated apples were dried at 4 hours from 5.06 g water / g solid matter to a moisture content of 0.17 g water / g solid matter.

Keywords: Drying, apple cips, grated apple, apple powder, heat pump

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kurutma, ürünlerdeki nemin ısı ve kütle aktarımı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma sistemi ise belli zaman aralığında kurutulması istenen maddenin içerdiği nemin istenen kuruma değerine gelmesini sağlayan ve nem alma, ısıtma, buharlama gibi değişik birimlerden oluşan ünitelerin bütünüdür [1].

Kurutma işleminde kullanılan sistemler çimento, gıda, kereste, kağıt, kimya, boya ve ilaç endüstrisi gibi birçok sanayi dallarında uygulanmaktadır [2].

Tarım ürünlerinin içerdiği bazı organik maddeler ve yüksek yüzdeli su (%60-80) kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalara neden olmaktadır [3].

Ürünlerin hasadından tüketimine kadar geçen sürede birçok ürün kaybı söz konusudur. Bu nedenle gıdaların kurutulması muhafaza edilmesi yöntemi, yüzyıllardır uygulanan bir koruma yöntemidir [4].

Türkiyede gıda maddelerinin çoğu doğal kurutma yöntemi ile kurutulmaktadır. Kurutulan gıda maddelerinde bu durum, ekonomik olarak dış ve iç pazarda kalite ve değer kaybı gibi problemlerenden olmaktadır [5]. Ayrıca açık havada kurutulan gıda maddeleri, böcek ve zararlıların yanı sıra toz, toprak gibi dış etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenlerle günümüzde kurutmanın kapalı ortamda kontrollü yapılması, ürün kalitesinin artmasını, işçilik, ürün kaybının ve kurutma zamanının azalmasını sağlamıştır [6].

Türkiyede gıda maddelerinin çoğu doğal kurutma yöntemi ile kurutulmaktadır. Kurutulan gıda maddelerinde bu durum, ekonomik olarak dış ve iç pazarda kalite ve değer

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mlmtkdmr@gmail.com

kayıbı gibi problemlerenden olmaktadır [5]. Ayrıca açık havada kurutulan gıda maddeleri, böcek ve zararlıların yanı sıra toz, toprak gibi dış etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenlerle günümüzde kurutmanın kapalı ortamda kontrollü yapılması, ürün kalitesinin artmasını, işçilik, ürün kaybının ve kurutma zamanının azalmasını sağlamıştır [6].

Kurutma işleminin amaçları; ürünlerin taşınması, kullanılması ya da daha sonra uygulanması gereken işlemlerin ekonomik olması için hacim veya ağırlığının azaltılması, ekonomik değeri daha fazla olan bir ürün elde etmek, ürünleri sterilize etmek veya korumak, çözeltiler veya atık sulu karışımlardan yan ürünleri geri kazanmaktır [7]. Kurutmayı belirleyen fiziksel faktörler bağıl nem, sıcaklık, basınç ve hava hızıdır. Bunların kurutma parametrelerini karşılayacak şekilde belirlenmesi ve uygulanması, kurutucu performansında ve son ürün kalitesinde etkilidir [3].

Kurutma işlemi kurutulan maddenin cinsine, şekline ve katının sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle endsütride birçok durumda kurutma işlemi, suyun kaynama sıcaklığının altında bir sıcaklıkta yapılmaktadır [7].

Endüstride kurutma işleminin yapıldığı proseslerde toplam maliyetin büyük bir kısmı kurutma maliyetidir. Bu nedenle kurutma sanayisinde hedef, istenilen özelliklerde kuru ürün elde etmek için en üst düzeydeki suyu en az enerji kullanımı ile uzaklaştırmaktır [8].

Dünyada yenilenemez enerji kaynaklarının azalması ve elektrik enerjisinin maliyetli olması kurutma işlemlerinde ısı pompalı kurutucuların tercih edilmesini sağlamıştır. Isı pompalı kurutucuların hemotomatik kontrolünün kolay uygulanabilir olması hem de enerji verimli olması sanayileşmiş ülkelerde kurutma dahil birçok alanda kullanılmasının önünü açmıştır [9].

Ülkemizde uzun yıllardan beri üretimi yapılan elma, gülgillerden olup humuşça zengin ve nemli topraklarda yetişmektedir. Elmanın anayurdu, Türkiye’de kapsayan Güney Kafkaslardır [10]. Ülkemizde pek çok elma çeşidinin yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu nedenle ülkemiz ekonomisinde önemli yere sahiptir. Tarım Bakanlığı verilerine göre elma 2013 yılında 3.128.450 ton ile dünya üretiminde %3,9’luk bir pay ile 3. sırada, 2014 yılında ise 2.480.444 ton ile dünya üretiminde %3’lük bir pay ile 5. sırada yer almıştır. TÜİK ve Tarım Bakanlığı’nın 2016 verilerine göre ise 2015 yılında üretilen elma miktarı 2.569.759 ton ile yaklaşık %130 yeterlilik oranına ulaşmıştır [11].

Elma içerdiği vitaminler ve mineraller sayesinde beslenmede önemli bir yer almaktadır. Elmada yaklaşık olarak %85 su, %12 şeker, %0,45 protein, %0,4 yağ, %1 azotlu maddeler, pektin, organik asitler, kalsiyum, demir, potasyum, magnezyum, silisyum, sodyum, manganez, çinko, bakır, fosfor ve A, B1, B2, B5, B6, B9, C, G, E, K ve PP vitaminleri bulunmaktadır [12].

Ülkemizde üretilen elmanın bir kısmı taze elma, elma kuru, elma püresi, elma suyu şeklinde hasattan hemen sonra piyasaya sürülürken, bir kısmı depolanmaktadır. Türk Standartları Enstitüsünün 2007 yılında yayınladığı

standarda göre elmanın ihracatı yapılmaktadır. İstanbul İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği tarafından hazırlanan rapora göre 2014 yılında elma kuru ihracat miktarı 2.542.323 kg ile 5.297.294 dolarken 2015 yılında 3.252.340 kg ile 5.417.094 dolar olmuştur. Değerdeki değişim %2,26 ve paydaki değişim ise %0,40 olarak belirtilmiştir [13].

Literatürde gıda ürünlerinin kurutulması esnasında, havanın akış hızı, bağıl nem, hava sıcaklığı gibi parametrelerin kuruma özelliklerine etkilerinin incelendiği araştırmalar mevcuttur. Özgen [4], konvektif bir kurutma sistemi tasarlamış ve bu sistemi elma kurutulmasında kullanmıştır. Hava sıcaklığı ve hava hızının kuruma zamanı üzerindeki etkisini incelemiştir. Heybeli ve Ertekin [3], sanayi tipi prototip rafli kurutucuda elma dilimleri kurutmuşlardır. Belirledikleri kurutma havası sıcaklığının değişimi ile ürünün kuruma hızı, kurumasüresi, hacimsel büzülme, hacim ağırlığı, yeniden su alma, duyuşsal ve renk özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Abuşka ve Doğan [6], çekirdeksiz üzümün kurutulması üzerinde çalışmışlardır. Bunun için endüstriyel tip ısı pompalı kurutucu kullanmışlardır. Çekirdeksiz üzümün kurutulmasında ortalama ısıtma tesir katsayısını COP_{sistem} değerini 2,81 olarak bulmuşlardır. Ceylan ve diğerleri [2], ısı pompalı kurutma odasında elma kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Kuruma işleminde nem değişimini ağırlık ölçüm metodu ile belirlemiştir. Kuruma sonrası kurutulan ürünün fiziksel özelliklerini duyuşsal olarak incelemiştir. Deneyde kullanılan elmalar 4 mm kalınlığında dilimlenmiş ve 2.8 m/s hava hızında elmaların kuruma süresi 3.5 saat olarak bulmuşlardır. Aktaş ve diğerleri [1], kurutma fırınlarının fındık kurutulmasına uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Fındık için kurutma havası parametreleri belirlenerek, ağırlık, nem ve sıcaklık kontrollü nem yoğunlaştırılmalı bir fındık kurutma fırınının modellenmesini yapmışlardır. Aktaş ve diğerleri [9], portakal kabuğu kurutmuşlar ve kurutma sonucunda elde edilen sonuçları irdilemişlerdir. Kurutma işlemi için ısı pompalı bir kurutucu kullanmışlardır. Deney sonucunda COP_{ws} değerini ortalama olarak 3,83 olarak bulmuşlardır. Tarhan ve diğerleri [5] Amasya elması kurutmuşlardır. Farklı kurutma şartlarının Amasya elmasının kurutma kalitesi ve süresi üzerine etkilerini incelemiştir. Gürlek ve diğerleri [8], ısı pompalı kurutucuların gıda kurutulmasında kullanımını ve elma kurutulmasında uygulanmasını incelemiştir. Huang ve diğerleri [14], patatesin ve elmanın karıştırılarak yeniden yapılan cipslerinin, doku, renk, rehidrasyon, duyuşsal, mikroyapı ve diğer kalite parametreleri üzerinde dört farklı kurutma yöntemini uygulamışlar ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Saçılık ve Eliçin [15], yaptıkları araştırmada organik elma dilimlerini konveksiyonlu sıcak hava kurutucusunda kuruma hava sıcaklığının 40-60°C aralığında 5 ve 9 mm kalınlıklarında tek kat olarak kurutmuşlardır. Kurutma havası sıcaklığının ve dilim kalınlığının kurutma özellikleri ve kurutulmuş elma dilimlerinin kalite parametreleri üzerindeki etkisini belirlemiştir. Shyu ve Hwang [16], önışlem ve işleme

koşullarının vakum altında kurutulmuş elma parçalarının kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Teeboonma ve Soponronnarit [17], ısı pompası kullanarak kurutulmuş papaya ve mango şekerlemelerinin matematiksel modellerini deneysel olarak geliştirmişlerdir. Fatouch ve diğerleri [18], çeşitli bitkilerde kurutma özelliklerini deneysel olarak araştırmak için ısı pompası destekli bir kurutucu tasarlamış ve yapmışlardır. Aktaş ve diğerleri [19], kapalı devre ısı pompası kurutucusunda kurutulmuş defne yapraklarının performans analizini ve modellemesini yapmışlardır. Darıcı [20], dilimlenmiş kivi örneklerine kurutma havası hızının kurumaya etkisini incelemek amacıyla kurutma havasının farklı hızları için deneyler yapmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte gıda ürünlerinin toz haline getirilerek gıda katkı maddesi olarak kullanımı ile ilgili araştırmalar sürmektedir. Toz haline getirilen kurutulmuş elmanın gıda katkı maddesi olarak tatlandırıcı, çay, kek gibi ürünlerin içine eklenerek kullanılması kullanım alanını genişletecektir.

Yapılan deneylerde açık çevrim ısı pompalı bir kurutma sistemi kullanılmıştır. Sistemde bağıl nem kontrolü sağlanmış, yoğuşturucudan atılan ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada, elma dilimlerinin ve rendelenmiş elmanın kurutulmasında kullanılan kurutucunun performans analizi yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Metot (Method)

2.1.1. Nem içeriği (Moisture content)

Nem içeriği, kurutulacak maddenin içerdiği bağıl nemin bir ölçüsüdür. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$MC_{db} = \frac{M_i - M_d}{M_d} \quad (1)$$

2.1.2. Nem oranı (Moisture ratio)

Nem oranı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır [22].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

Burada M nem içeriğini, M_e denge nem içeriğini, M_o ise başlangıçtaki nem içeriğidir. Bununla birlikte, taze ürünün yüksek nem içeriği nedeniyle aşağıdaki eşitlik yazılabilir [22].

$$MR = \frac{M}{M_o} \quad (3)$$

2.1.3. Kuruma hızı (Drying rate)

Kurutma deneyleri boyunca ürünlerin kuruma hızı aşağıdaki Eş. 4 ile hesaplanmaktadır .

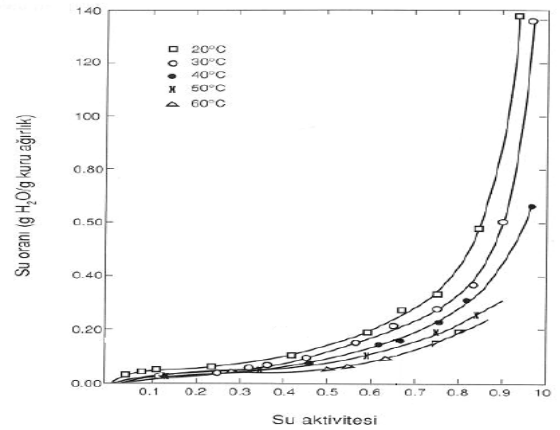
$$DR = \frac{MC_{t-dt} - MC_t}{dt} \quad (4)$$

2.1.4 Su aktivitesi (Water activity)

Su aktivitesi (a_w) Eş. 5 yardımıyla hesaplanmaktadır [2]. Su aktivitesi değeri, çevre havası bağıl neminin (ÇBN) 100'e bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$a_w = \frac{CBN}{100} \quad (5)$$

Gıdaların kurutulmasında su aktivitesi değeri önemli bir faktördür. Kurutulmuş ürünlerde mikrobiyolojik veya biyokimyasal bozulmaların meydana gelmemesi için su aktivitesi değerinin yardımıyla bulunan su oranının altındaki bir değere kadar kurutmak gerekmektedir [2].



Şekil 1. Farklı sıcaklıklardaki elmanın su oranı - su aktivitesi değerleri (The Water activity values - water content of the apple at different temperatures) [2]

2.1.5. Isı Pompalı Kurutucu (Heat pump dryer)

Isı pompasında kompresör, yoğuşturucu (kondenser), genişleme vanası ve buharlaştırıcı (evaporatör) bulunmaktadır. Kurutma sisteminde, yoğuşturucudan kurutma havasına verilen ısı miktarı \dot{Q}_K aşağıdaki Eş. 6 ile hesaplanmaktadır [9].

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ia} \cdot c \cdot (T_{oa} - T_{ia}) \quad (6)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (7)$$

Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı (COP_{hp}) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır [9].

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_C} \quad (8)$$

Tüm sistem için ısıtma tesir katsayısının (COP_{ws}) bulunmasında Eş. 9 kullanılmaktadır [9].

$$COP_{ws} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_C + \dot{W}_f} \quad (9)$$

Özgül nem çekme oranı ($SMER$) 1 kg nemi buharlaştırmak için harcanması gereken enerjidir [9]. Eş. 10 ile gösterilmiştir.

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_C} \quad (10)$$

Tüm sistem için özgül nem çekme oranı ($SMER_{ws}$) ise Eş. 11 ile hesaplanmaktadır.

$$SMER_{ws} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_C + \dot{W}_f} \quad (11)$$

2.1.6. Belirsizlik Analizi (Uncertainty analysis)

Yapılan deneylerin sonuçlarına ait sistematik hataların bulunması için geliştirilen bir yöntemdir. Eş. 12 ile hesaplanmaktadır [22].

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

Eş. 12’de n bağımsız değişken sayısı, R ölçülmesi gereken büyüklük, x de bağımsız değişkendir.

2.2. Materyal (Material)

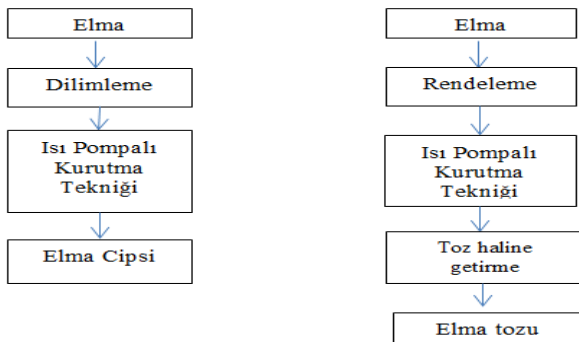
Kurutma işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Starking Delicious çeşidi elma kullanılmıştır. Boyut ve Renk olarak aynı olanlar seçilmiştir.

Kurutma işlemine başlamadan önce elmaların nem içeriğinin belirlenmesi için etüv yöntemi kullanılmıştır. Etüvde 70°C sıcaklıkta kurutulmuş elmaların kurutma işlemi boyunca ağırlığındaki değişimler ölçülerek kaydedilmiştir. Son iki tartım arasındaki fark %1 oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Kurutma deneyi 2 kez tekrar edilmiştir.

Ağırlık ölçümlerinde Mettler Toledo marka 0,01g hassasiyette dijital ağırlık ölçer kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonunda nem içeriği yaş baza göre 0,835 gsu/g yaş ağırlık olarak, kuru baza göre 5,06 gsu/g kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır.

Isı pompalı kurutucu kullanarak kurutma işlemine başlamadan önce elmalar ortam sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra elmaların kabukları soyulmuş ve çekirdekleri temizlenmiştir. Elmalara herhangi bir ön işlem yapılmamıştır. Birinci deneyde elmalar 5 mm kalınlığında kesilmiştir. İkinci deneyde ise elmalar rendelenmiş ve 50x13 cm’lik 3 bölmeli eleğe serilmiştir. Her iki deneyde de elmalar hava akışına dik şekilde asılmıştır. Kurutma işlemine başlanmadan önce sistem 45 dakika kadar çalıştırılarak sistemin kararlı hale gelmesi sağlanmıştır.

Yapılan deneylerin akım şeması Şekil 2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Elma tozu ve elma cipsi üretimi akım şeması (Flow chart of apple powder and apple cips production)

Deneylerin yapıldığı günler çevre havası ortalama 20°C sıcaklıkta ve ortalama % 50 bağıl nemdedir.

Deneylerde bu değer baz alınarak kurutma yapılmıştır. Deney setinin görünümü Şekil 3’ de verilmektedir.



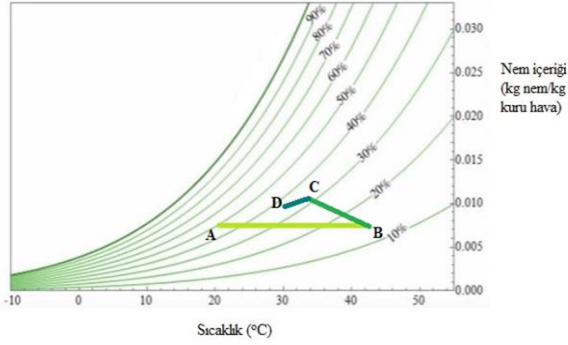
Şekil 3. Deney seti (The test set)

Deney seti dijital ağırlık ölçer, kurutma kabini, kontrol ünitesi termostat, ayarlı damper, buharlaştırıcı (evaporatör), kompresör, yoğuşturucu (kondenser), fan ve genleşme valfinden oluşmaktadır. Kullanılan sistem elemanlarının teknik özellikleri Çizelge 1’ de verilmiştir. Deney süresince ölçülen parametrelerin farklı değişkenler nedeniyle ortaya çıkan toplam hataları Eş. 12 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 1’de sunulmuştur.

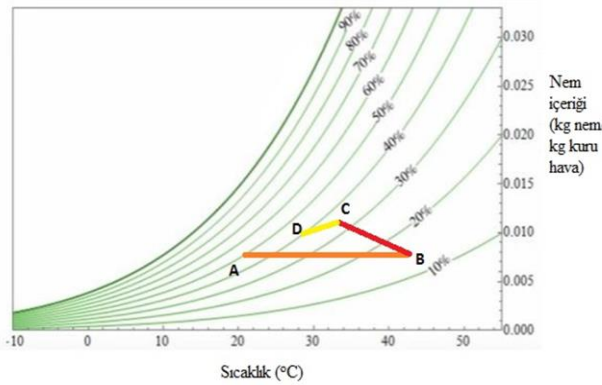
Çizelge 1. Sistem elemanlarının teknik özellikleri (Technical specifications of system components)

Sistem elemanı	Teknik özellikler	Doğruluk	Belirsizlik
Hava akışı ölçüm cihazı	Hız 0-20 m/s	±0.01m/s	±0.0173 m/s
Elektrik ölçer	220 V	±1 %	±1.41 %
Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı	0-100 % bağıl nem, -40’tan +70°C’ye	±2% RH±1°C	± 1.73 % RH± 1.41°C
Isıl çift	Skala 0-70°C, besleme 24V-DC, çıkış 4-20 mA	±0.4°C	±0.412°C
Dijital tartı	Maksimum ölçüm kapasitesi, 6100 g	±0.01g	±0,02 g

Buharlaştırıcı kurutma odasından çıkan havanın ısısını çekmiştir. Yoğuşturucudan atılan ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Yoğuşturucuda sıvı faza geçen soğutucu akışkan genleşme valfinden geçerek tekrar buharlaştırıcıya gelmektedir. Aynı çevrim deney süresince devam etmektedir. Deney süresince kurutma kabininde yer alan ağırlık ölçer ile elmaların ağırlık değişimi gözlemlenmiş ve her 10 dakikada bir not edilmiştir. Kurutma sistemi hava akışının taslak psikrometrik diyagramı her iki deney için çizilerek Şekil 4 ve 5’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Elma dilimi kurutulması deneyi taslak psikrometrik diyagramı (Apple slice drying experiment draft psychrometric diagram)



Şekil 5. Rendelenmiş elmanın kurutulması deneyi taslak psikrometrik diyagramı (Grated apple drying experiment draft psychrometric diagram)

Deney sisteminde “A” taze hava girişi, “B” kondenser çıkışı, “C” kurutma kabini çıkışı, “D” buharlaştırıcı çıkışındaki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerleridir.

3. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI (EXPERIMENT AND ANALYSIS RESULTS)

Kurutma işlemi için önce elmaların nem içeriği Eş. 1. 5.06 g_{su}/g kuru madde olarak hesaplanmıştır. Deneyler 40°C kurutma havası sıcaklığında ve 1 m/s hava hızında yapılmıştır. Kurutma deneyleri sonrası elmaların görünümü Şekil 5 ve 6 ‘da verilmiştir. Kurutulan dilimlenmiş elmaların görünümünde renk değişimi olmazken, rendelenmiş elmalarda kararmalar meydana gelmiştir. Kurutulan rendelenmiş elmalar ayrıca havanda dövülerek toz haline getirilmiştir.

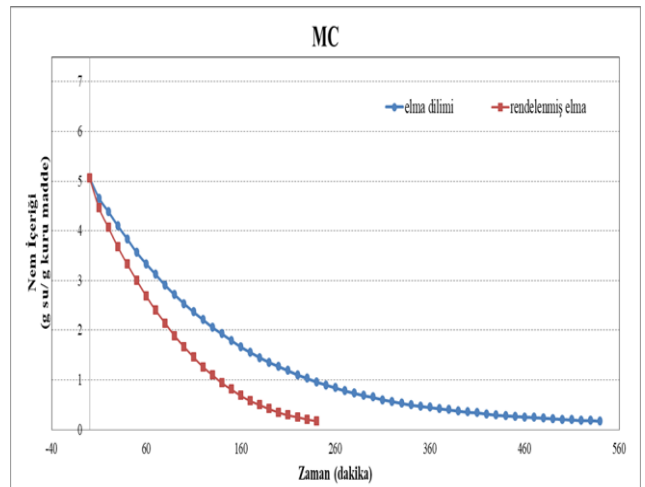


Şekil 6. Kurutma öncesi elmaların görünüşü (Appearance of the apples before drying)



Şekil 7. Kurutma işlemi sonrası elmaların görünüşü (Appearance of the apples after the drying process)

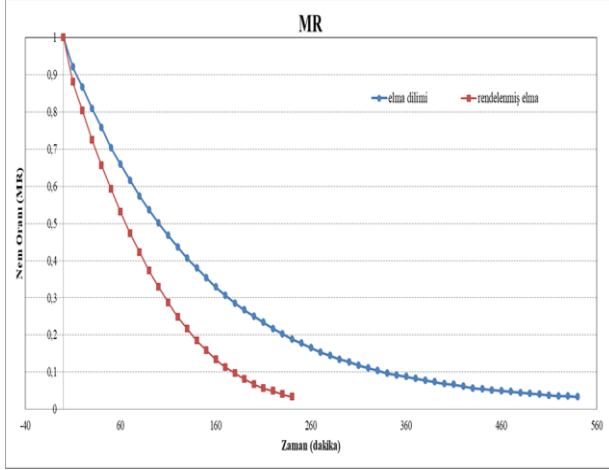
Isı pompalı kurutucuda yapılan bu deneyler sonucunda elma dilimleri ve rendelenmiş için ayrı ayrı nem içeriğinin zamana göre değişimi hesaplanmış ve Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Zamana göre nem içeriğinin değişimi (Change of moisture content according to time)

Şekil 8’de görüldüğü gibi deneylerin son nem içeriğine ulaşmaları elma dilimi için 9 saat sürerken, dilimlenmiş elmada 4 saat sürmüştür.

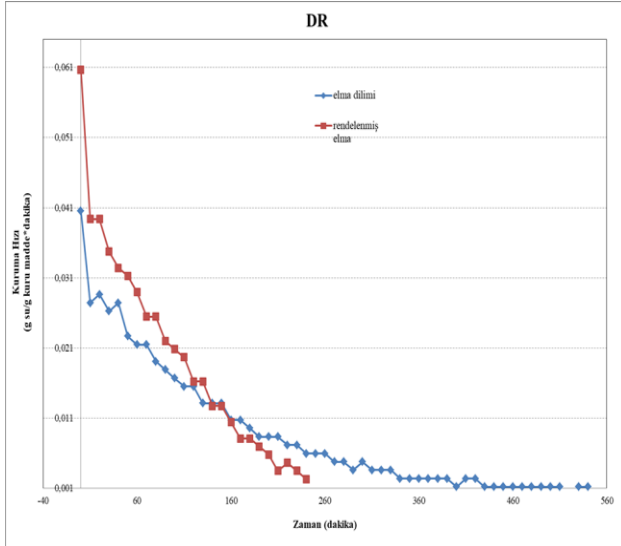
Ayrı ayrı hesaplanan MR değerleri Eş. 2 kullanılarak bulunmuş ve zamana göre değişimi hesaplanmıştır. Hesaplanan MR değerleri Şekil 9’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 9. Zamana göre nem oranının değişimi (Change of moisture ratio according to time)

Deneylerin nem oranlarındaki değişim $1 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{katı madde}}$ ’den başlayarak $0.17 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{katı madde}}$ ’ye kadar sürmüştür.

Deneyler süresinde her 10 dakikada bir ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucu kuruma hızı değerleri Eş 4 ile hesaplanmıştır. Şekil 10’da zamana göre DR değerleri verilmiştir

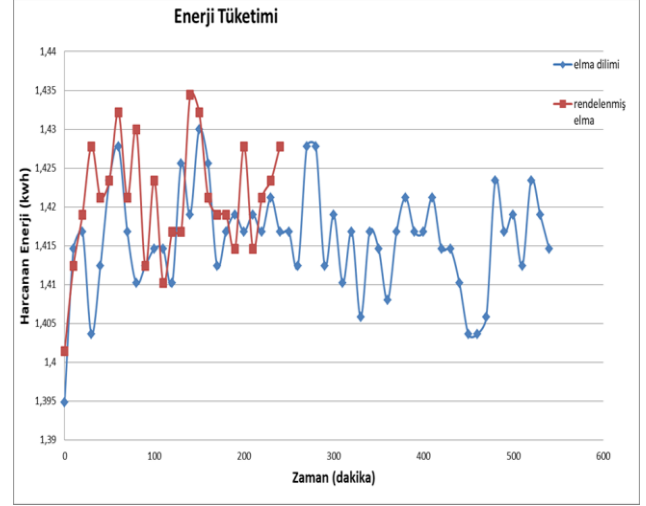


Şekil 10. Zamana göre kurutma hızının değişimi (Change of drying rate according to time)

Şekil 10 yardımıyla elma diliminin ve rendelenmiş elmanın kurutma hızının zamana göre değişimi görülmektedir. Yüzey alanı fazla olan rendelenmiş elmanın kurutma hızı elma dilimine göre daha fazladır. Her iki deneyde 150. dakikada kurutma hızı eşitlenmiştir

ve yaklaşık olarak aynı olmuştur. Uzaklaştırılması gereken nem miktarı azaldıkça kurutma hızı da azalmıştır. Elma diliminin kurutma hızı zamanla azalarak kurutma süresinin 9 saat sürmesine neden olurken rendelenmiş elma 4 saatte kurutulmuştur. Rendelenmiş elmanın kurutulmasında daha kısa sürede daha fazla nem uzaklaştırılmıştır.

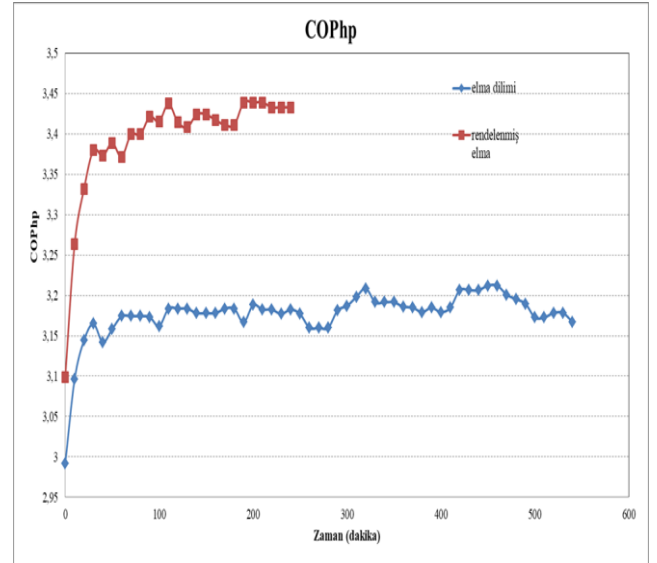
Deneylerde tüketilen enerjilerin karşılaştırması Şekil 11 ile gösterilmiştir.



Şekil 11. Zamana göre harcanan enerji değişimi (Energy exchange by time)

Şekil 11 ile görülen zamana göre harcanan enerji grafikleri deney süresince her 10 dakikada bir sayaçtan okunarak çizilmiştir.

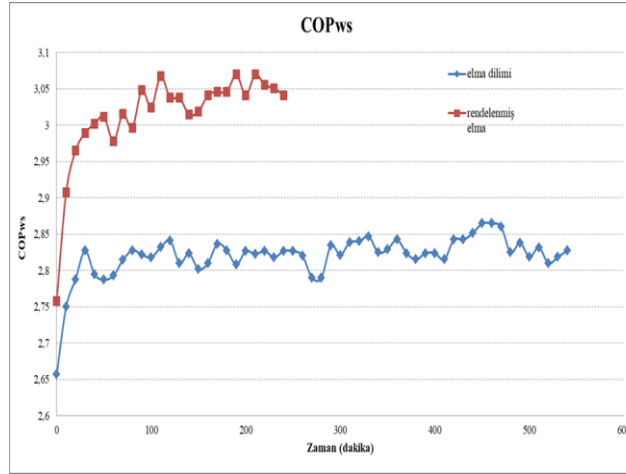
Deney setinde ısıtma tesir katsayısı (COP_{hp}) Eş. 8 yardımıyla hesaplanmıştır. Zamana göre değişimi Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Zamana göre COP_{hp} 'nin değişimi (Change of COP_{hp} by time)

Deney sisteminde ısı pompası için ortalama COP değerleri elma dilimi için COP_{hp} 3.17 bulunurken, rendelenmiş elmanın COP_{hp} 'si 3.39 olarak bulunmuştur.

Tüm sistem için ısıtma tesir katsayısı (COP_{ws}) Eş. 9 yardımıyla hesaplanmıştır. Zamana göre değişimi Şekil 13 ile gösterilmiştir.



Şekil 13. Zamana göre COP_{ws} 'nin değişimi (Change of COP_{ws} by time)

Eş. 9 yardımıyla hesaplanan COP_{ws} değerleri ortalama olarak elma dilimi için 2.82 bulunurken, rendelenmiş elma için ise 3.02 olarak hesaplanmıştır. COP_{ws} değerlerinin COP_{hp} değerlerinden daha küçük çıkması sistemde bulunan tüm tüketim cihazlarının hesaplamaya katılmasından dolayıdır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Kurutma işlemlerinin sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır.

- Elma dilimlerinin $5,06 \text{ g}_{su}/\text{g}_{kuru \text{ madde}}$ miktarından $0,17 \text{ g}_{su}/\text{g}_{kuru \text{ madde}}$ miktarına gelmesi 9 saat sürmüştür. Aynı şartlarda rendelenmiş elmanın $5,06 \text{ g}_{su}/\text{g}_{kuru \text{ madde}}$ miktarından $0,17 \text{ g}_{su}/\text{g}_{kuru \text{ madde}}$ miktarına gelmesi ise 4 saat sürmüştür.
- Eş. 9 yardımıyla yapılan hesaplama sonucunda elma dilimlerinin kurutulmasındaki ortalama COP_{ws} 2,82 olarak, rendelenmiş elmanın kurutulmasındaki COP_{ws} ise 3,02 olarak bulunmuştur. Bulunan COP_{ws} değerleri ile elmanın rendelenerek kurutulmasının daha verimli olduğu görülmüştür.
- Kuruma süreleri rendelenmiş elma için az olmasına rağmen rendelenmiş elmanın hazırlama aşaması dilimlenmiş elmaya göre daha uzun sürmektedir.
- Rendelenmiş elmanın kuruma hızı dilimlenmiş elmaya göre daha yüksektir. Bunun nedeni yüzey alanının geniş olmasıdır.

- Rendelenmiş elmanın kuruma süresi daha az olduğu için dilimlenmiş elmanın kurutulmasına göre daha az enerji harcanmıştır.
- Şekil 6'da görüldüğü gibi rendelenmiş elmaların kurutulmasında karar meydana gelmiştir. Bu nedenle rendelenmiş elmalardan üretilen elma tozunun da rengi kurutma öncesindeki elmaya göre çok farklıdır. Bu durumun ürünlerin pazarlanmasında ve tüketiminin olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir.
- Toz haline getirilen elmanın hem depolanması hem de taşınması elma cipsine göre daha kolaydır.
- Deney sisteminde farklı maddeler de kurutulabilir.
- Sisteme güneş enerjisi eklenebilir. Böylece enerji tasarrufu sağlanabilir.
- Sistemde kurutulacak yaş maddelerin hareketi sağlanarak daha kısa sürede kurumaları sağlanabilir.

SİMGELER (SYMBOLS)

a_w : Su aktivitesi

c : Havanın özgül ısısı, $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$

COP_{hp} : Isı pompasının performans katsayısı

COP_{ws} : Bütün sistemin performans katsayısı

ÇBN : Çevre havası bağıl nemi

DR : Kurutma hızı, $\text{g su}/\text{g kuru madde dakika}$

MC_{db} : Nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

M_i : Başlangıçtaki yaş ağırlık, g

\dot{m}_d : Buharlaştırılan su miktarı, kg/h

M_d : Kuru ağırlık, g

MC_t : t anına göre nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

MC_{t+dt} : t+dt anına göre nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

MR : Nem oranı

M : Ürünün herhangi bir seviyede ve zamandaki nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

M_e : Denge nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği, $\text{g su}/\text{g kuru madde}$

\dot{m}_{ia} : Havanın kütleli debisi, kg/s

ρ : Havanın yoğunluğu, kg/m^3

$SMER_{hp}$: Isı pompasının özgül nem çekme oranı, kg/kWh

$SMER_{ws}$: Tüm sistemin özgül nem çekme oranı, kg/kWh

T_{ia} : Giriş havası sıcaklığı, $^\circ\text{C}$

T_{oa} : Çıkış havası sıcaklığı, $^\circ\text{C}$

\dot{V} : Hava debisi, m^3/h

\dot{Q}_K : Yoğuşturucudan kurutma havasına verilen ısı gücü, kW

\dot{W}_c : Kompresör gücü, kW

\dot{W}_f : Fan gücü, kW

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aktaş M., Ceylan İ. ve Doğan H., “Isı pompalı endüstriyel fındık kurutma fırınının modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 8:329-336,(2005).
- [2] Ceylan İ., Aktaş M. ve Doğan H., “Isı pompalı kurutma odasında elma kurutulması”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25:9-14, (2005).
- [3] Heybeli N.ve Ertekin C., “Elma dilimlerinin inca tabaka halinde kuruma karakteristiği”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3: 179-187, (2007).
- [4] Özgen F., “Elma kurutulmasında kullanılan konvektif tip bir kurutma sisteminin tasarımı”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 55: 42-49, (2014).
- [5] Tarhan S., Ergüneş G., Güneş M. ve Mutlu A., “Farklı kurutma koşullarının amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri”, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2: 1-6, (2009).
- [6] Abuşka M. ve Doğan H., “Endüstriyel tip ısı pompalı kurutucuda çekirdeksiz üzümün kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 13: 271-279, (2010).
- [7] EİEİ Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi, “Sanayide enerji yönetimi esasları”, 4, Ankara, (1997).
- [8] Gürlek G., Akdemir Ö. Ve Güngör A., “Gıda kurutulmasında ısı pompalı kurutucuların kullanımı ve elma kurutmada uygulanması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21: 398-403, (2015).
- [9] Aktaş M., Menlik T., Boran K., Aktekeli B. ve Aktekeli Z.,” Isı pompalı bir kurutucuda portakal kabuğu kurutulması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2: 229-238, (2014).
- [10] Türkiye Ziraat Odaları Birliği, “Türkiye Ziraat Odaları Birliği Elma Raporu”, 2003.
- [11] T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, “BÜGEM FAALİYETLERİ”, Mart, 2017.
- [12] TC Isparta Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü, “Günde 1 elma obez olma”, (2014).
- [13] İstanbul İhracatçılar Birlikleri Genel Sekreterliği, “Türkiye geneli ve İİB mal grupları ve ülkeler bazında kuru meyve ve mamulleri ihracatı”, (2014).
- [14] Huang L., Zhang M., Mujumdar A. ve Lim R., “Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips”, *Journal of Food Engineering*, 103: 279-284, (2011).
- [15] Saçılık K. ve Eliçin A., “The thin layer drying characteristics of organic apple slices”, *Journal of Food Engineering*, 73: 281-289, (2006).
- [16] Shyu S. ve Hwang L., “Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips”, *Food Research International*, 34: 133-142, (2001).
- [17] Teeboonma U., Tiansuwan J. ve Soponronarit S., “Optimization of heat pump fruit dryers”, *Journal of Food Engineering*, 59: 369-377, (2003).
- [18] Fatouch M., Metwally M., Helali A. ve Shedid M., “ Herbs drying using a heat pump dryer”, *Energy Conversion and Management*, 47: 2629-2643, (2006).
- [19] Aktaş M., Şevik S., Özdemir B. ve Gönen E., “Performance analysis and modeling of a closed-loop heat pump dryer for bay leaves using artificial neural network”, *Applied Thermal Engineering*, 87: 714-723, (2015).
- [20] Darıcı S., “Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 120: 51-58, (2012).
- [21] Aktaş M., Khanlari A., Aktekeli B. ve Amini A.,” Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer”, *International Journal of Hydrogen Energy*, (2017).
- [22] Aktaş M., Gönen E.,”Isı pompalı nem kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29: 433-441, (2014).