



İnfrared ısıtımali fındık kurutma makinası tasarımı

Cengiz Özdemir Keleş*, Kamil Saçılık

^aAnkara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara
^{*}Sorumlu yazar/corresponding author: kelescengiz@hotmail.com

Geliş/Received 15/08/2016 Kabul/Accepted 20/03/2017

ÖZET

Bu çalışmada, infrared ısıtıcı ve hava kurutucu destekli bir fındık kurutma makina tasarlanmıştır. Bu amaçla, 2010 ve 2014 yıllarında iki ayrı prototip imal edilerek kurutma denemeleri yapılmıştır. 2010 yılındaki prototipte kurutma sistemi, bir fan havasıyla beslenmiş ve bu havanın nemi bir hava kurutucu makine ile düşürülmüştür. 2014 yılındaki prototipte ise hava kaynağı olarak içerisinde hava kurutucu içeren bir kompresör sistemi kullanılmıştır. Kurutma makinasının kabini, infrared karbon film ısıtıcılarla ısıtılmakta olup dış kısmı hava ve ısı yalıtımlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Makina, nemi alınmış fan veya kompresör havasını hareket halindeki fındık yığımına basmakta ve ürünün nemini alan bu havayı kanallarından dışarı atmaktadır. Birinci prototip denemesi, Ankara'da atölye ortamında yapılırken ikinci prototip denemeleri Giresun'da yapılmıştır. İlk prototip 600 kg fındık kapasiteli olarak tasarlanmıştır. İkinci prototipte ise kazan kapasitesi 200 kg'a düşürülmüş ve 2014 yılında 4 deneme yapılmıştır. Deneme sonuçlarına göre hasat edilmiş nemli fındığın 8-14 saat içinde % 6 iç nem seviyesine kurutulabileceği ve enerji tüketiminin 60-150 TL ton⁻¹ fındık olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler:
Basınçlı hava
İnfrared kurutma
Karbon film
Kuru hava
Nemli hava

Design of a hazelnut drying machine with infrared heating

ABSTRACT

In this research, a hazelnut drying machine is designed with infrared heating and air dryer. With this aim, two different prototips were manufactured and then drying experiments were conducted in 2010 and 2014 years. The first prototype drying system was fed by a fan and air humidity was decreased before process with an air dryer. However, in the second prototype air was supplied from a compressed air system including air dryer. Drying machine chamber is insulated for air and heat leakage, and heated by infrared carbon film heaters from its outer walls. The machine, drives dehumidified air or compressed air into hazelnut bulk placed in chamber, and humidified air is discharged out through air channels. First prototype was tested in Ankara workshop in 2010, while the second was tested in Giresun in 2014. First prototype was designed with a capacity of 600 kg. Second prototype was designed as 200 kg hazelnut capacity and tested 4 times in 2014. Field tests proved that the designed machine can dry hazelnut in 8-14 hours and energy cost is within reasonable range (60-150 TL per ton).

Keywords:
Compressed air drying
Infrared drying
Carbon film
Dry air
Humid air

© OMU ANAJAS 2017

1. Giriş

Dünya fındık üretiminin yaklaşık % 60-80'i ülkemizde yapılmaktadır. Gıda olarak doğrudan tüketilmesinin yanı sıra, çikolata başta olmak üzere çeşitli gıda sanayi dallarında önemli bir girdi olan fındık, yağı, posası, kabuğu ve hatta yeşil kabuğu ile çok farklı sanayi dallarında değerlendirilen önemli bir üründür. Ülkemizde üretilen tarım ürünleri arasında ekonomik değer ve ihracat oranı olarak başlarda yer almaktadır. Bu derece önemli bir ürünün depolanabilmesi için hasat sonrasında kurutulması

şarttır. Aksi halde ürün depolarda çürüme ve küflenme yoluyla bozulabilmektedir. Bazı yıllarda, aşırı yağışların hasat dönemine gelmesiyle binlerce ton fındık kurutulmadan üretici elinde ziyan olabilmektedir.

Bu sorun üreticiler tarafından yaşanmakta ve herkes kendine göre çözümler üretmektedir. Genel uygulama sergi ile güneşte kurutmaktır. Ancak Karadeniz bölgesi nemli bir havaya sahip olduğundan iklim koşulları buna fazla imkân vermediğinden kurutma işlemi günlerce sürebilmektedir. Hava koşullarının çok kötü olduğu yıllarda ise, ürünleri fırında kurutmak, yağışsız bölgelere nakletmek gibi herkesin imkanı dahilinde

olmayan çözümlere başvurulmaktadır. Kontrolsüz şartlarda yapılan kurutma sırasında aflatoksin oluşması veya mevcut miktarın da artması gibi sakıncalar vardır. Önemli bir ihracat ürünü olan fındığın ticaretinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi de aflotoksindir. Tam kurutulmadan depolanan fındıkta küf oluşumu da kaçınılmazdır. Depolama şartları üzerine yapılan çalışmalar fındık için ideal depolama şartlarının nem içeriği ile ortam sıcaklık-nemine bağlı olduğunu göstermiştir (Çetin, Nazlı, Bostan ve Alperden, 2000 ; Savran, 2010). Depoya giren kabuklu fındığın iç neminin % 5-6 ve bu sırada kabuk neminin ise % 10-12 olması gerektiği bilimsel çalışmalarda esas alınan ve artık depolama yapanlar tarafından bilinen anonim bir bilgidir (Anonim, 2002; Anonim, 2003; Okuroğlu ve Özüng, 2000; Kibar ve Öztürk, 2009). Fındık neminin bu seviyelere düşürüleceği yörede ise fındık sezonu sırasında sahilde öğle vakitlerinde 25-30 °C sıcaklıkta % 50-70 civarında nem görülmektedir. Gece saatlerinde sıcaklık düşmekte ve nem % 90 civarına gelmektedir. Hemen her gün zeminde çiylenme görülür. Yüksek kesimlerde ise daha serin ve daha nemli bir hava vardır. Bölge havası fındığın kurumasındaki en önemli engeldir.

Kurutma işlemi için bazen insan gücü ve teknik ekipman da olsa yeterli olmamaktadır. Bunun da en temel nedeni, bölgenin nemli ve yağışlı iklimidir. Fındığın diğer tarım ürünlerine göre düşük sıcaklıkta kurutulması da bu konuda makina ve metod geliştirilmesini zorlaştırmıştır. Yaş sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklığının 60-65 °C'den fazla olmaması istenmektedir. Fındığın ise kurutma sıcaklığının 50 °C'yi geçmemesi gerekmektedir. Daha yüksek sıcaklıklar uygulandığında yağ asitlerinin yapısı değişmekte ve depolama süresi azalmaktadır (Özdemir, Yıldız ve Gürcan, 2002). Kurutma sezonu olan Ağustos ve Eylül aylarında sıcaklıklar 18-32 °C, bağıl nem oranları ise % 50-100 civarında değişmektedir. Tipik sayılabilecek Karadeniz havası 25 °C ve % 70 bağıl nemde iken, bu hava 50 °C'ye ısıtıldığında yeni bağıl nem % 16.3 olur, 60 °C'ye ısıtıldığında % 9.2, 65 °C'ye ısıtıldığında % 6.9 olacaktır. Kurutulmuş fındık için nem içeriğinin en çok % 6 olması gerektiğinden, dış ortamdan alınıp 50 °C sıcaklığa çıkarılan hava yetersiz kalmaktadır.

Ülkemizde fındığın tamamına yakını hala sergi usulü ile kurutulmaktadır. İklimin müsait olduğu sezonlarda hasat erken yapılabildiğinde henüz yağmurlar başlamadığı için sergide 2-3 günde kuruma sağlanabilmektedir. Fındık, sergi dışında güneş enerjili ve güneş enerjisine ek olarak ısı pompalı kurutma sistemiyle kurutulmuştur (Olgun ve Rzayev, 2000; Ceylan ve Aktaş, 2007; 2008). Isı pompalı çalışmada fındık, 28 saatte kurutulmuştur. İklim şartları dikkate alındığında güneşin olmadığı ve yağmurlu günlerde bu süre daha uzun olmaktadır. Bir başka çalışmada ise elektrik ısıtmalı sandıklar kullanılarak fındık kurutma denenmiş, daha kısa bir kurutma süresi elde edilememiştir (Kaya ve ark., 2004).

Sıcak havayı döndürülen kazandaki fındığa üfleyen makine tasarımları da vardır. Fındık Araştırma Enstitüsü'nde 2004 yılında testi yapılan bir makinanın ulaşabildiği kurutma süresi 54 saat olmuştur. Günümüzde makul kurutma süresi sunabilen tek makina, İtalyan Brovind markalı kurutucu olduğu görülmektedir. 5 ton kapasiteli bu kurutma makinası, % 14-15 nem içeren fındığı 8 saatte kurutabilmektedir. Bu süre daha nemli hasat edilmiş fındıklar için 24 saati geçebilmektedir. Bu makine, yakıt olarak motorin kullanmasından dolayı enerji tüketimi yüksektir.

Tüm çalışmalarda ve yapılan tasarımlarda kurutucu olarak bölgedeki dış ortam havası kullanılmıştır. Fındığın daha az nem içeren bir hava ile kurutulması için hava kurutucu kullanılması bu çalışmanın en temel inceleme konusudur. Şekil 1'de görülen karbon ısıtıcı filmler (FIR) ısıyı ışımaya iletir, ürünle temas etmesi veya hava akımı olması gerekmez, organik maddelere 40 mm'ye kadar nüfuz edebilir. Bu iki özelliği sebebiyle kurutulacak bir gıda maddesini, güneşe veya sıcak hava üflemeyle göre daha verimli ve homojen ısıtır. Bu sırada bütün yüzeyde yaklaşık aynı sıcaklık görülür, yüksek sıcaklıklara çıkmadığı için gıda ile temas ettirilebilir. Ayrıca ürettiği frekanslar sebebiyle küf ve mantar oluşumunu engellemesi de başka bir avantajıdır. Karbon film "far infrared" bandında ısı vermektedir. İnfrared dalgaların bu bandı FIR kısaltması ile tanınır, dalga boyu 3-50 µm'den başlatılır, üst sınırı ise 1.000 µm'dir



Şekil 1. Karbon infrared film örnekleri (eski renkli model – yeni şeffaf modeller)

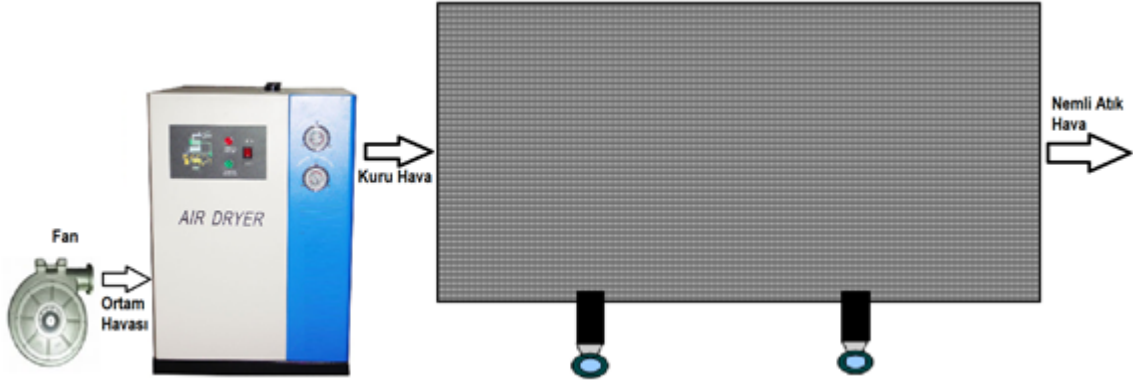
Bu çalışmada, havanın bağıl neminin yüksek olduğu bölgelerde dış ortam havasının kurutulacak ürüne, proses öncesi kurutularak uygulanması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için, infrared ısıtıcı ve hava kurutucu destekli iki ayrı prototip imal edilerek kurutma denemeleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada elde edilen verileri kullanılarak yapılan termodinamik ve psikrometrik hesaplamalar için kitap yerine formüllerle beraber güncel katsayılar içeren bir şirket teknik dokümanı kullanılmıştır (Vaisala, 2013). Veriler kullanılarak elde edilen grafikler, nem ve

enerji hesaplamaları için yazılımdan yararlanılmıştır (PsychroGen 2.0, 2010).

İki aşamadan oluşan bu çalışmada aynı kazan tasarımı ile iki ayrı havalandırma yöntemi kullanılmıştır. Tasarımın ilk halinde hava kaynağı olarak fan kullanılmış olup bu şekilde oluşturulan test düzeneği 2010 yılında test edilmiştir. Bu testin sonuçları dikkate alınarak tasarımda değişiklikler yapılmış ve oluşturulan yeni test düzeneğinde ise hava kaynağı olarak kompresör kullanılmıştır.

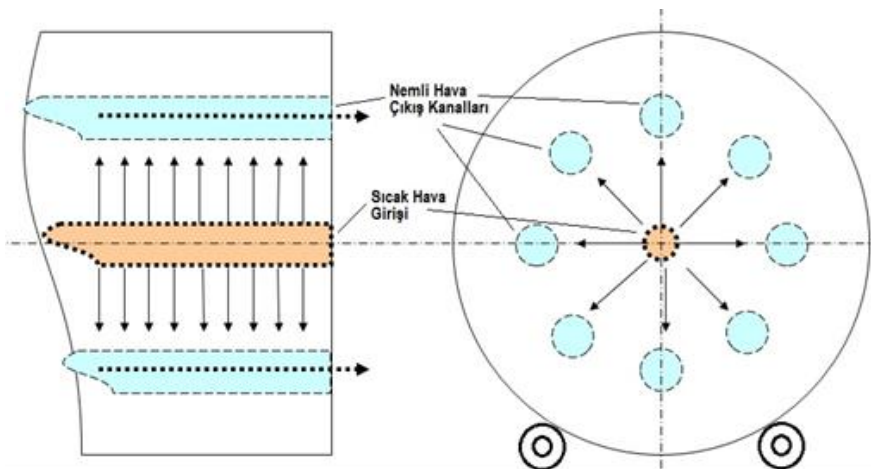


Şekil 2. Birinci prototipin şematik gösterimi - fan, kurutucu ve makine kabini bağlantısı

Makina, fındığı yalıtımlı bir kabinde dönen bir kazan içinde dakikada 3 devir ile çevirmektedir. Kazanda hava kanalları bulunmaktadır. Fan tarafından üretilen hava kurutucudan geçirilerek kazan içindeki fındığın merkezindeki delikli boru içinden yığına üflenmektedir. Bu hava fındıkla temas etmeden önce kabinin üst kısmında dolaşan borulardan geçirilmektedir. Bu sayede hava ön ısıtmaya tutulurak fındıkla sıcak havanın temasini sağlar. Ön ısıtmanın iki amacı vardır. Birincisi sıcak olan fındıkla temas eden havanın soğuk olmamasıdır. İkincisi de test sürecinde kabin içinde üst kısımda sıcak hava birikmesidir. Ayrıca, borulama ile kabine soğuk olarak girip ılıklaşan hava kabindeki sıcaklık farklarını azaltmaktadır. Fan tarafından sağlanıp kurutucudan

geçirilen havanın aynı zamanda soğutucu özelliği de vardır. Test bitiminde ısıtıcı filmler kapatılarak kurutulmuş fındık kuru ve serin hava ile ortam sıcaklığına düşürülmektedir.

Kabinin içine yerleştirilen kazan delikli sacdan yapılmış olup hava hareketine izin vermektedir. Tasarımın temel unsurlarından olan kazanın merkez ekseninde bulunan delikli boruya kuru hava verilmektedir. Bu hava kazanın dışına doğru hareket ederken fındıkla temas etmekte ve nemini alarak, kazanın dışına yakın tahliye borularına ulaşmakta ve tahliye borularının açık olan diğer ucundan dışarı atılmaktadır. Kazanın içine tahliye borularını örtecek seviyede fındık konulmaktadır. Kuru hava girişi ve nemli hava tahliye kanalları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Fındık kazanının yan ve kesit şematik gösterimi

İkinci prototipte fan yerine kompresör kullanılmıştır. Kompresör setinde ayrıca kurutucu olduğundan, kullanılan hava kaynağı dış ortam havasından tamamen bağımsız hale getirilmiştir.

Basıncı havanın kurutma kazanı içindeki hareketi daha güçlü olup daha geniş çap, dolayısıyla daha fazla fındık alan kazan kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Ayrıca, basınçlı hava fan ve kurutucu setine göre daha kuru olmaktadır. Gaz kanunu dikkate alınır:

$$PV = \rho RT \quad (1)$$

Adiyabatik koşullarda eşitliğin her iki tarafı da sabit kalacaktır.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2)$$

$$P_1 = P_{h1} + P_{w1} \quad (3)$$

P_h : Kuru havanın oluşturduğu basınç,

P_{w1} : Hava içindeki suyun oluşturduğu kısmi basınçtır.

Nemli havanın sıkıştırılması sırasında havanın hacmi daralır ve basıncı artar, aynı hacmi kullanan su buharı da daralır ve basıncı artmaktadır. Suyun oluşturduğu kısmi basınç en fazla o koşullardaki doymuş havadaki su buhar basıncı kadar yükselebilir. Bu daralma sırasında havanın o sıcaklıktaki doyma noktasına ulaşılır. Doyma noktasından sonra daha fazla sıkıştırma sonucu daralan su buharı çiylenir ve kompresör tankında sıvı olarak kalır.

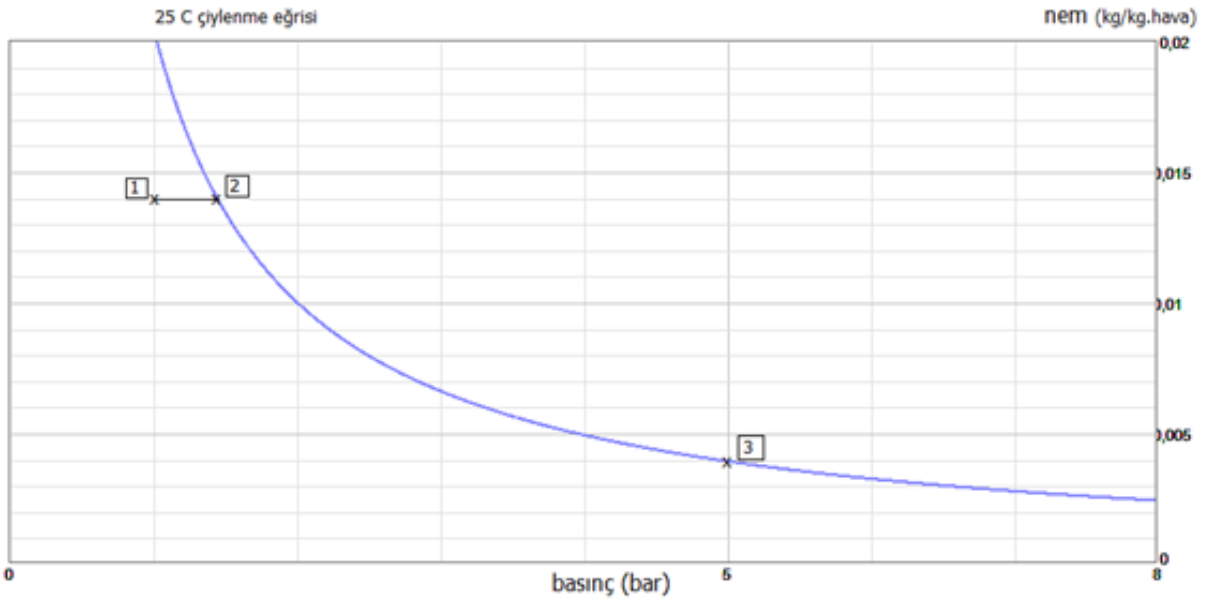
$$P_2 = P_{h2} + P_{w25} \quad (4)$$

P_{h2} : Kuru havanın son basıncı,

P_{w25} : 25 °C'de doymuş havadaki suyun kısmi buhar basıncıdır.

Suyu alınmış olan hava atmosferik basınca geri genişlediğinde eski hacmine gelecektir. Başlangıçta çok nemli (doyma noktasında) bir hava basınçlandırma sonrası genişlediğinde bağıl nem oranı yaklaşık olarak P_2 oranında azalmış olacaktır. Örneğin başlangıçta basınç altında bağıl nem oranı % 100 ise, 5 bar sonrası genişlediğinde yeni bağıl nem oranı yaklaşık % 20 olacaktır. Teoride olan bu fark, pratikte daha büyüktür çünkü kompresör setleri ayrıca kurutucuya sahip olup basınçlı havayı bir derece daha kurutur. Bu nedenle kompresör havası basınç altında olsa da % 100 bağıl nem içermez.

Karadeniz bölgesinde hasat döneminde görülebilecek normal bir hava 1 barda, 25 °C sıcaklıkta % 70 bağıl nem (yaklaşık 14 gkg⁻¹ hava) taşırken (1), bu havayı Şekil 4'de görüldüğü gibi sıkıştırmaya başlarsa, 1.45 bar basınca ulaştığında çiylenme başlamaktadır (2). Basınç artmaya devam ettikçe doyma eğrisi boyunca devam edilir (2→3). 5 bara ulaşıldığında havanın taşıdığı nem 4 gkg⁻¹hava olur. Sıkışan hava daralan hacimle beraber su buharına doyma noktasına ulaşır (2) ve basınç arttıkça hava haznesinde sıvı halde su birikir. Kompresör seti bu suyu dışarı attıktan sonra ayrıca havayı kurutmakta nemini daha da düşürmektedir. Bu nedenle, test sırasında kullanılan havanın nem içeriği 1 gkg⁻¹ hava seviyesinde olmuştur. Bu derece kurutulan hava atmosferik basınca geri genişlediğinde 25 °C'de bağıl nemi % 5 olacaktır.



Şekil 4. Basınç altında havanın nem kaybı

Kabin ve kazan tasarımı, genel olarak ikinci prototipte de aynıdır, arada ölçü farkları vardır. Birinci prototip yaklaşık 600 kg alabilirken, test zorlukları nedeniyle yaklaşık 200 kg alan yeni kazan kullanılmıştır. Kabin üstünde havanın ön ısıtılması için kullanılan borulama yine mevcuttur (Şekil 5). Ön ısıtmadan geçen hava kabine girmeden önce boru tipi elektrik rezistansından geçirilerek, ikinci ısıtma ile istenen sıcaklığa ayarlanmaktadır. Bu prototipte önceki prototipten farklı olarak boru tip rezistans ikinci ısıtıcı

kullanılmıştır. Borulamanın burada da kullanılmasının bir başka sebebi de kurutma bitiminde hava akımının devam ederek soğutma aşamasına geçilmesidir. Bu aşamada borulardan geçen hava bir yandan kabini de soğutmakta ve sıcak fındığa soğuk olarak değil ılık olarak temas ettirilmektedir. Testlerde fındıkla hava arasındaki sıcaklık farklarının mümkün olduğu kadar azaltılması yolu ile kabuklanmanın önlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 5. İkinci prototip fındık kazanı üst çerçevesine takılı borulama (ısı eşanjörü)

İkinci tasarımda düşük debili sıcak hava kullanılarak infrared filmlerle beraber (Şekil 6), hava da ısıtıcı olarak kullanılabilir olmuştur. Düşük debili sıcak hava kullanılması ile ısıtma evresinin sürece kısaltılması amaçlanmıştır. Birinci prototip testinin işlem sırası genel hatlarıyla ısıtma-havalandırma-soğutma şeklinde

uygulanmıştır. Birinci prototip ile yapılan ilk testte fındıkların yerleştiği kazan dönmeye başlamış ve infrared ısıtıcılar çalıştırılmış, yaklaşık bir saat sonunda fındık homojen olarak ayarlanan sıcaklığa (48 °C) ulaşınca fan ve kurutucu devreye girerek, kuru hava silindirin içindeki hava kanallarına verilmiştir



Şekil 6. İkinci prototip makina kabin kapakları ve kapak içinde İnfrared filmler

Kabine giren hava fındıkla temas etmeden önce kabin üzerinde bulunan ve ısı eşanjörü görevi gören borulara içinde dolaşarak ön ısıtmadan geçirilir. Bu sayede fındıkla ilk temasın soğuk olmaması sağlanır. Isınarak nemlenen fındıkların suyu, kurutucudan geçmiş hava ile alınarak dışarı atılır. Yaklaşık yedi saat sonunda ısıtma durdurulmuş ve dış ortamdan yaklaşık 10 °C soğuk olan kurutucu havası verilerek fındık kazanı dönmeye devam etmiş, fındık sıcaklığı yaklaşık 40 dakikada 10 °C kadar düşürülmüş, ortam sıcaklığına yaklaştırılmıştır. Test sırasında ölçümler yapılmış ve

kabin içi sıcaklığını ölçmek ve kontrol etmek için termostat (Uriel-UTH 120), kuru havanın kabine giriş sıcaklığını ölçen termostat (Uriel-UTH 120), dışarı atılan havanın ve dış ortam havasının sıcaklık ve nemini ölçen cihaz (TFA Dostmann/Wertheim), ısıtma tüketimini ölçmek üzere elektrik saati ve diğer ekipmanın tüketimini ölçmek üzere ikinci elektrik saati kullanılmıştır. Yapılan ilk test olduğu için, kabin içinin 50°C'de tutulması haricinde başka bir kontrol parametresi izlenmemiş ve Çizelge 1'de görülen ölçümler bir saat aralıklarla kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Birinci prototip testi sırasında kayıtlı edilen ölçümler

	1. Saat	2. Saat	3. Saat	4. Saat	5. Saat	6. Saat	7. Saat
Dış Ortam Hava Sıcaklığı (C)	33	33	33	33	33	33	34
Dış Ortam Hava Bağıl Nemi (%)	22	22	22	22	24	24	24
Kabin İçi Sıcaklık (C)	48	46	47	46	48	48	49
Kabine Giriş Hava Sıcaklığı (C)	40	40	43	43	41	41	41
Atık Hava Sıcaklığı (C)	38	40	40	40	38	38	40
Atık Hava Bağıl Nemi (%)	83	80	75	76	83	83	80

İkinci prototipin testi bir fabrika ortamında yapılmıştır. Fabrikanın basınçlı hava sistemi de dış ortamdan beslendiği için bu havanın özellikleri değişkenlik göstermiştir. Yapılan ölçümlerde basınçlı kuru havanın sıcaklık değerleri 21-27 °C ve bağıl nem değerleri basınç altında % 19-28 aralığında değişmiştir. Ancak mutlak nem değeri test boyunca en çok 0.8gkg⁻¹ hava olmuştur.

Kurutma işlemi ana hatlarıyla birinci prototip testiyle aynı şekilde uygulanmıştır. Bu testte termodinamik değişim de hesaplandığı için sıcaklık ve nem değerlerine ek olarak basınç ve hava debisi de ölçülmüştür. Ayrıca ilk testte olduğu gibi yine kabin içi sıcaklığını ölçmek ve kontrol etmek için termostat (Uriel-UTH 120), kuru havanın kabine giriş sıcaklığını ölçen ve kontrol eden termostat (Uriel-UTH 120), dışarı atılan havanın ve dış ortam havasının sıcaklık ve nemini ölçen cihaz (TFA Dostmann/Wertheim), kompresörden gelen havanın sıcaklık ve nemini ölçen cihaz (Ordell-HTC06), kompresörden gelen havayı ölçen manometreler (debimetre öncesi ve sonrası), ısıtma tüketimini ölçmek üzere kullanılan müstakil bir elektrik saati ve diğer cihazların tüketimini ölçmek üzere kullanılan ayrı bir elektrik saati kullanılmıştır. Basınçlı hava kaynağı olarak fabrika hava hattının kullanılması sebebiyle, kompresör katalog değerleri kullanılarak basınçlı hava üretimi için harcanan enerji yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

19 Ağustos 2014 tarihli dördüncü test boyunca motor ve ısıtıcılar tarafından kullanılan toplam enerji elektrik saati tarafından 43.61 kW h⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Test boyunca kullanılan havanın toplam atmosferik hacmi 894 m³ olarak ölçülmüştür. Katalog değerleri kullanılarak bu kadar havayı elde etmek için

gerekli enerji miktarı 11.18 kWh olarak kabul edilmiştir. 15 dakika aralıklarla tüm cihazlardan ölçüm alınmış ve değişimler kaydedilmiştir.

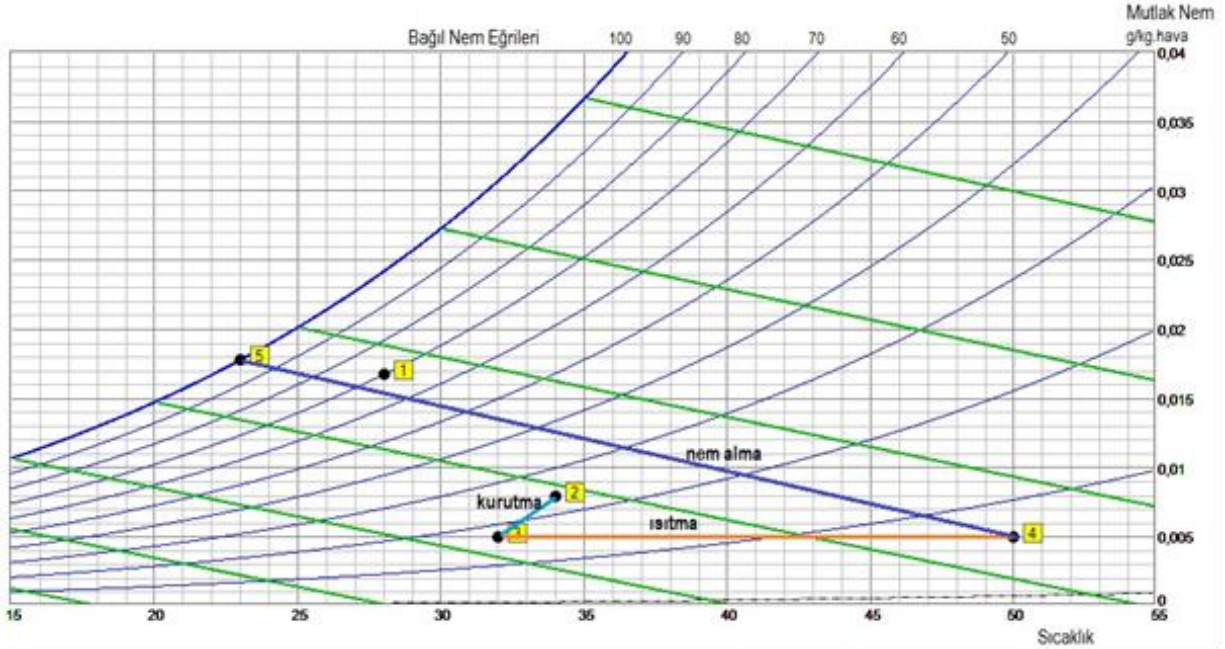
3. Bulgular ve Tartışma

Birinci test, Ankara'da yapılmış olup, fındık yetiştirme alanına göre daha sıcak ve kuru bir dış ortam havası kullanılmıştır. Karadeniz bölgesinde test gününde görülen tipik hava koşulları 28°C, % 70 bağıl nem (19 g m⁻³) olarak meteorolojiden alınmıştır (Şekil 7, Nokta 1). Test yapıldığı gün Ankara'da görülen en nemli hava 34 °C'de % 24 bağıl nem (8 g m⁻³) olarak kaydedilmiştir (Şekil 7, Nokta 2). Kurutucu sonrası kabine giren fındığa verilen havanın nemi 5 gm⁻³ seviyesine düşürülmüştür. Bu arada kurutucunun etkisi ile hava sıcaklığı yaklaşık 2°C düşmektedir (Şekil 7, Nokta 3). İki hava arasındaki Adiabatik Kurutma Potansiyeli farkı büyüktür, kurutucu her ikisini de iyileştirmekte ve aralarındaki farkı azaltmaktadır. Kurutucudan geçirilen hava 50 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra, doyma noktasına kadar nemlenirse Şekil 7'de gösterilen 2→3→4→5 sırasını takip edecektir. Böylece bu havanın Adiabatik Kurutma Potansiyeli, Şekil 7 üzerinde görüldüğü gibi 7 g m⁻³'den, 15.4 g m⁻³ (13 g kg⁻¹ hava) seviyesine çıkarılmıştır.

Test başlangıcında ve sonunda alınan numunelerin nemleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü laboratuvarında gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. Örneklerin nem içerikleri, sıcak hava akışlı konvektif bir etüvde 105 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kurutulmuştur. Doğrulama amacıyla bir set numune de Giresun Fiskobirlik EFİT AŞ laboratuvarına

gönderilmiştir. Ölçümler arasında bir fark olmadığı görülmüştür. Ankara Üniversitesindeki laboratuarda kurutma öncesi kabuk nemi yaş bazda % 16.93, iç nemi % 14.24 olarak ölçülmüştür. Testin sonucu olan “kuru fındık içi nemi”, Ankara Üniversitesi tarafından % 3.11

olarak, EFİT AŞ Laboratuvarı tarafından da % 3.69 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Birinci prototip testi kurutma havası işlemlerinin psikrometrik şemada gösterimi

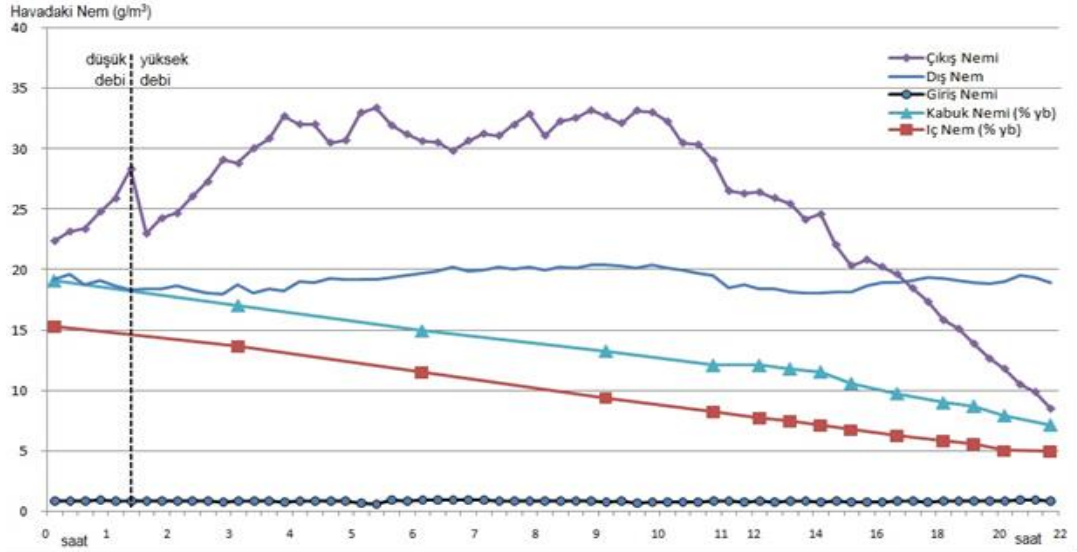
Testin başlangıcında 502 kg fındık makinaya konulmuş ve kurutma sonucunda ise 440 kg kuru fındık elde edilmiştir. Başlangıç ve sonuç tartımları ile nem değerleri arasında tutarlı bir sonuç çıkmıştır. Ancak ağırlık dikkate alınarak yapılan ölçümün hassasiyeti çok iyi değildir. Aradaki fark sadece su olmayıp, test sırasında toz ve kırıntı da ortaya çıkmıştır.

İkinci test Giresun'da yapılmıştır. Şekil 8'de görülen hava ölçüm değerlerine bakıldığında havadaki bağıl nem oranı % 70-94 arasında değişirken, kompresörden alınan havanın atmosferik koşullardaki bağıl nem oranı % 0.6-2 civarında ölçülmüştür. Mutlak nem değeri dış ortam için 18-20 g m⁻³ iken, kurutma havasında 1 g m⁻³ değerinin hep altında kalmıştır. Dolayısıyla bu iki havanın Adiabatik Kurutma Potansiyelleri (AKP) arasında büyük fark vardır. İlk 90 dakikada fındık sıcaklığının yükseltilmesi için infrared filmlere ek olarak düşük debili (25-30 m⁻³ h⁻¹) sıcak hava kullanılmıştır. Hava debisi yükseldiğinde havadaki nem oranı bu yüzden ani düşüş göstermiştir. Testin başlangıcında atmosferik basınçta yaklaşık 70 m⁻³ h⁻¹ olan hava debisi, test ilerledikçe yavaşça düşürülmüş sonunda 35 m⁻³ h⁻¹ seviyesinde bitirilmiştir. Hava debisinin düşürülmemesi halinde atık havanın bağıl nemi düşeceğinden enerji kaybı olacağı görülmüştür.

Şekil 7'de görüldüğü gibi, dış ortam havası fındığın kurutmada tutulacağı sıcaklık sınırı olan 50 °C'ye kadar ısıtılıp fındık yığına verildiğinde doyma noktasına gelene kadar yaklaşık 28 °C yaş termometre sıcaklık eğrisini izler ve yaklaşık 10 gm⁻³ daha nem alabilir.

Basıncılı hava aynı ısıtmadan sonra fındıkla temas ettiğinde, 19,3 °C yaş termometre sıcaklık eğrisini izler ve yaklaşık 16 g m⁻³ daha nem alabilir. İki hava arasındaki teorik olarak görünen bu fark pratikte daha büyük olmaktadır. Esas fark, fındığın kurumaya yakın evresinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 8'de görünen kesişme noktasında fındık içi hedeflenen kuruma değerine (% 5-6) ancak yaklaşılmıştır. Bu noktadan sonra makinadan çıkan nemli hava, dış ortam havasından daha az nemlidir. Oysa kabin içinde fındıklar hala kurumaya devam etmektedir. Bu grafik, dış ortam havası ile fındığın kısa sürede kurutulamayacağını göstermektedir. Ayrıca kurutma için dış ortam havası kullanılırken birim hava başına harcanan enerji miktarı daha fazladır. Çünkü nemli havayı ısıtmak için daha çok enerji gereklidir. Ayrıca kurutma daha uzun süreceği için kullanılan enerji birkaç kat daha fazla olabilmektedir.

2014 yılında yapılan 4 testin enerji tüketimleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Dördüncü test değerleri incelendiğinde enerji tüketiminin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, giriş havasının daha yüksek değerlerden başlatılması ve hava çıkış sıcaklığının fındığın sınır sıcaklığının da üstüne set edilmesidir. Bu testte aynı zamanda fındığın kurutma sırasında bozulup bozulmadığı da gözlemlenmiştir. Bu sırada makinadan atılan sıcak nemli hava 50 °C'yi geçmiştir.



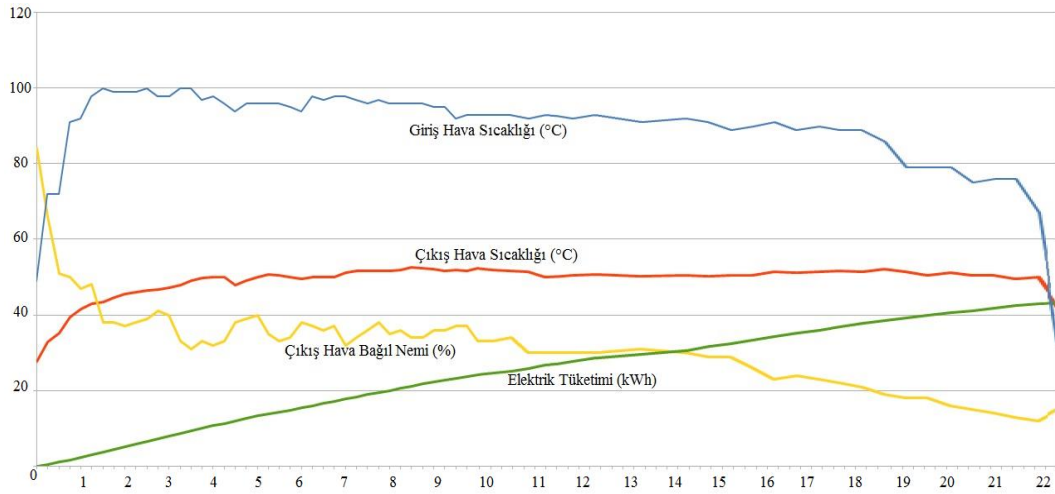
Şekil 8. İkinci prototipin dördüncü testine ait hava ve fındık nem değerleri

Şekil 9’da giriş havası sıcaklığı, makinadan atılan nemli havanın sıcaklık ve bağıl nemi ile elektrik saatinden ölçülen enerji tüketimi değişimi gösterilmiştir. Enerji tüketiminin diğer testlere göre daha yüksek olmasının bir nedeni de, ilk üç testin tam kuruma sağlanmadan bitirilmesidir. İlk üç testte sıcaklık ve debi değerlerinin teste etkisi gözlemlenmiş ve son test bu gözlemlere dayanarak yürütülmüştür. Görece daha kuru olan fındıktaki suyu buharlaştırmak için daha fazla enerji gerekmektedir.

Dört testin verisine bakarak her bir kg suyun fındıktan alınması için yaklaşık 2.5kWh enerji tüketileceği görülmektedir. Mevcut elektrik fiyatları dikkate alındığında bir kg su için yaklaşık 1 TL harcanacağı anlamına gelir. Bir ton kuru fındık elde edilmesi için alınması gerekli su miktarı hasatlara göre 50-150 kg arasında değişmektedir. Fındık fiyatları dikkate alındığında kurutmadan büyük bir maliyet gelmeyeceği görülmektedir.

Çizelge 2. İkinci prototip testlerinin enerji tüketim kıyaslaması

	1. Test	2. Test	3. Test	4. Test
Yaş Fındık Ağırlığı (kg)	193.4	190.2	180.1	177.5
Kuru Fındık Ağırlığı (kg)	170.6	171.5	163.3	156.3
Yaş Kabuk Nemi (% yb)	22.07	21.25	20.45	19.11
Yaş İç Nemi (% yb)	20.75	19.16	17.72	15.29
Kuru Kabuk Nemi (% yb)	12.62	13.55	14.41	7.17
Kuru İç Nemi (% yb)	9.45	9.32	9.10	4.95
Buharlaştırılan Su (kg)	22.8	18.7	16.8	21.2
Enerji Tüketimi (kW h ⁻¹)	36.88	34.47	32.44	54.79
Birim Enerji Tüketimi (kWh kg.su ⁻¹)	1.62	1.84	1.93	2.58



Şekil 9. İkinci prototipin dördüncü testinde hava sıcaklık-nemi ile enerji tüketimi değişimi

4. Sonuç

Bu çalışmada nemli dış ortam havası yerine basınçlı ve kurutulmuş hava kullanılması ile infrared ışıma ile ısıtma kombinasyonu kullanılmıştır. Kullanılan kazan tasarımı, içindeki hava kanalları sayesinde kurutma havasının fındık yığını içinde homojen ve verimli şekilde dolaşımını sağlamıştır. Hasat edilen fındığın uygun olması (ortalama % 15 yaş baz nem) halinde kurutma süresinin 8 saatin altına düşebileceği görülmüştür. Hasadın genellikle daha erken yapılması sebebiyle fındık daha fazla nem içerdiği için pratikte bu süre daha uzun olacaktır. Yine de bu sistemle günde iki defa kurutma yapılabilmesi mümkün görünmektedir.

Makina, kurutma süresi ile enerji maliyeti arasında optimize edilmiştir. Bu çalışmada fındık için tasarlanan kurutucu prototipleri, kurutulmasında sorun olan başka tarımsal ürünler için de uygulanabilir görünmektedir

Kaynaklar

- Aktaş, M., 2007. Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 116, Ankara.
- Aktaş, M., Ceylan İ., 2008, Isı pompası destekli bir kurutucuda fındık kurutulması, Gazi Üniversitesi Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 23,(1): 215-222.
- Anonim, 2002a. Kabuklu Fındık Standardı, TS 3074
- Anonim, 2002b. İç Fındık Standardı, TS 3075.
- Çetin, Ö., Nazlı, B., Bostan, K., Alperden, İ. 2000. Depolamanın çiğ fındığın kalitesi üzerine etkisi. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 26(2): 413-419.
- Kaya, H., Özenç, N., Şirin, H., 2004, Fındığın elektrik donanımlı sandık sisteminde kurutulması bunun kalite ve raf ömrü üzerine etkilerinin araştırılması,

Fındık Araştırma Enstitüsü

- Kibar, H., Öztürk, T. 2009. Sert kabuklu meyvelerin depolanması. Selçuk Üniv. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 23 (48): 77-84.
- Okuroğlu, M., Özüng, İ. 2000. Karadeniz bölgesinde fındık depolama yapılarının planlama kriterlerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 31(1): 43-49.
- Olgun, H., Rzaev P., 2000. Fındığın üç farklı sistemde güneş enerjisi ile kurutulması Turkish Journal of Engineering Environ Sci, TÜBİTAK, 24, 1-14
- Özdemir, M., Yıldız, M., Gürcan Ş.T. 2002. Effect of artificial drying air temperature on stability of the major turkish hazelnut variety, Tombul. Gıda Dergisi 27(1): 35-39.
- PsychroGen 2.0, 2010. Psychrometric calculations software, Airquest Limited.
- Savran, E., 2010, Fındıkta hasat ve harman sonrası işlemler, fındık araştırma enstitüsü yayını. <http://arastirma.tarim.gov.tr/findik/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=34>.
- Vaisala, 2013. Humidity conversion formulas, Vaisala Oyj Şirket Dokümanı