



ALTTAN VE ÜSTTEN ÜFLEMELİ KABİN TİPİ KURUTUCUDA NANE KURUTULMASININ DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Tansel KOYUN* ve Hülya Bayhan YILMAZ**

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 32260,
Çünür Isparta, tanselkoyun@sdu.edu.tr

**Vemeks Mühendislik A.Ş., 07040, Antalya, h_aylaa@hotmail.com

(Geliş Tarihi: 20.11.2015, Kabul Tarihi: 20.06.2016)

Özet: Bu çalışmada, farklı iki kabin tipi kurutucuda eşit ağırlıklardaki nane (*Mentha longifolia*) numunelerinin kurutulması incelenmiştir. Böylece aynı tip ve aynı miktarda numuneler her iki deney setinde ayrı ayrı kurutularak kurutma sürecini etkileyen parametreler karşılaştırılmıştır. Alttan ve üstten üfleme olan iki farklı deney setinde yapılan kurutma deneylerinde 60 °C sıcaklık ve 0.8 - 1.5 m/s hızlarındaki hava incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda üstten üfleme ile yapılan kurutma da, alttan üfleme ile yapılan kurutmaya göre daha kısa sürede kuruma gerçekleştiği ve kuruma hızının da daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca 60 °C sıcaklık ve 0.8 m/s hava hızındaki sıcak havanın iki farklı kurutucuda yapılan kurutmaya ait deney sonuçları, farklı kurutma modelleri üzerinde uygulanmış ve nane için uygun bir model belirlenmiştir. Üstten üfleme ile yapılan kurutmada Page modeli, Alttan üfleme ile yapılan kurutmada ise Wang ve Sing modeli en uygun sonuçları vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kabin tipi kurutucu, kurutma hızı, nem içeriği, kurutma modeli

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MINT DRYING BY CABIN TYPE DRYER BLOWING IN UPPER AND BOTTOM

Abstract: In this study, we investigated the drying of mint (*Mentha longifolia*) in equal weight samples in two different type of cabin dryers. Therefore, drying times effect parameters were compared the same type and same amount of both test samples separately while drying in each experiment set up. 60 °C and 0.8 - 1.5 m/s velocity air investigated upper and bottom blowing two different experiment set up in drying experiments. As a result of experiments, drying made with upper-blowing was found to be shorter time than made with bottom-blowing. Also, drying made with a upper-blowing was found to be higher than made with bottom-blowing. These methods were performed into the two different dryer results and convenient model determined for mint. While Page model is convenient for upper-blowing, Wang and Sing model is giving optimum results for bottom-blowing.

Keywords: Cabin dryer, drying rate, moisture content, drying model

SEMBOLLER

a, b, c, g, n	Kurutma modellerindeki empirik sabitler
k, k_0, k_1	Kurutma modellerindeki empirik katsayılar
M_e	Kurutulan ürünün denge bağıl nemi [$kg_{su}/kg_{kurumadde}$]
M_0	Ürünün başlangıçtaki nem oranı [$kg_{su}/kg_{kurumadde}$]
m_{KM}	Üründeki toplam kuru madde kütlesi[g]
m_{SU}	Üründeki su kütlesi[g]
m_T	Ürünün toplam kütlesi[g]
MR	Nem oranı
$MR_{i,teorik}$	Model ile hesaplanan nem oranı
$MR_{i,deneysel}$	Deneme sonuçlarından elde edilen nem oranı
N	Deneysel veri sayısı
n	Kullanılan modeldeki katsayı sayısı

R	Regresyon katsayısı
$RMSE$	Tahminin standart hatası
$V_{k,h}$	Ürünün Kuruma hızı[g/dak]
X^2	Khi-kare
X_{KB}	Kuru baza göre başlangıç nem içeriği[%]

GİRİŞ

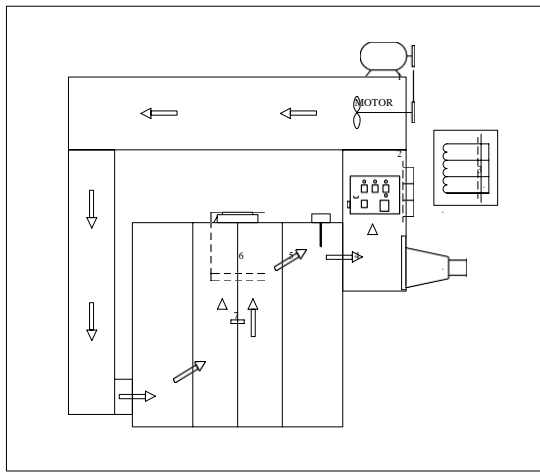
Gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılması işlemine kurutma denir. Bununla beraber kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin uzaklaştırılması işlemi tanımlamaktadır (Güngör ve Özbalta, 1997). Nane, Arjantin, Mısır, Türkiye ve Balkan ülkelerinde kütleli anlamda üretimi yapılan tıbbi ve aromatik bir bitkidir. Yükte hafif olan pahada ağır olan bu değerli üründe hasat sonrasında oluşan kalite kayıplarının önlenmesi için hemen dayanıklı hale getirilmesi gerekmektedir (Soysal ve Öztekin, 2000). Doğada

kuruma, güneş enerjisiyle gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla olması imkânsızdır. Her ürünün güneşte kurutulması doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer metotlarla kurutulma yolları geliştirilmiştir (Cemeroğlu, 2011). Tarım ürünlerinin kurutulmaları sırasında kullanılan kurutucular, ürünün özelliklerine uygun olmasının yanı sıra, kurutma işleminden beklenen özellikleri de sağlayacak yetenekte olmak zorundadır. Bu nedenle, birbirinden önemli farklılıklar gösteren çok çeşitli tiplerde kurutucular geliştirilmiştir. Tarım ürünlerinin kurutulması için, farklı yöntemler geliştirilmiştir. En çok uygulanan temel kurutma yöntemleri kontak kurutma, konvektif kurutma, ışıma ile kurutma, dielektrik kurutma, donmalı kurutma ve ozmotik kurutma şeklinde sıralanabilir (Yağcıoğlu, 1999). Meyve ve sebzelerin parçacıklar veya taneler halinde kurutulduğu kurutucular, Kabin tipi kurutucular, tünel tipi kurutucular, konveyör tipi kurutucular ve akışkan yatak kurutucular olarak sıralanabilir (Cemeroğlu, 2011). Ancak meyve ve sebzelerden elde edilen, domates suyu, salça, meyve suyu veya patates püresi gibi sıvı ve yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında başka yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerde, püskürtük kurutucular, vakumlu kurutucular, puf kurutucular, köpük kurutucular gibi değişik sistemlerden yararlanılmaktadır (Cemeroğlu, 2011). Goyal ve Tiwari (1999), kabin tipi bir kurutucuda tarımsal ürünlerin kurutulması için tersinir düzlemsel toplayıcı kullanmışlardır. Tasarladıkları yeni kurutucunun ısı performansını, çeşitli enerji denge denklemlerini çözerek analiz etmişlerdir. Doymaz (2005), kabin tipi bir kurutucuda 35-60 °C sıcaklık aralığında naneenin ince tabaka halinde kurumasını incelemiştir. Hava sıcaklığındaki artışın nane yapraklarının kuruma süresini büyük bir oranda azalttığı gözlemlenmiştir. Literatürde mevcut kurutma modellerinin karşılaştırılması neticesinde Logaritmik modelin diğer modellere göre daha iyi uyum sağlayan

eğriler ortaya koyduğunu da görmüştür. Ajayeoba vd., (2014), Nijerya evlerinde bisküvi pişirmek için kabin tipi bir kurutucu dizayn etmişler ve bu kurutucuyu yine evde kullanmak üzere ithal edilen bir kurutucu ile kıyaslamışlardır. Yapılan testler sonucunda her iki kurutucu arasında kayda değer bir fark olmadığı görülmüştür. Radhika vd. (2011) ise parmak mısırın kurutulmasında kurutucu modeli olarak logaritmik modelin en uygun model olduğunu görmüşlerdir. Akpınar (2006), maydanoz, fesleğen ve nanenin açık güneş altında doğal konveksiyonla kurutulmasını incelemiştir. Çalışmada bu bitkilerin kuruma davranışını incelemek için on iki kurutma modeli incelenmiş; nane ve fesleğen için en uygun kurutma modelinin modifiye edilmiş Page modeli olduğu, maydanoz için ise Verma et al. modeli olduğu tanımlanmıştır. Therdtai ve Zhou (2009), çalışmalarında nane yaprakları için sıcak hava kurutması ve mikro dalga vakum kurutmasının karakteristiklerini incelemişlerdir. Nem değişimi için Lewis modeli, Page modeli ve Fick modeli tanımlanmıştır. Sonuç olarak tüm modellerin düşük RMSE ve yüksek R değerlerinin, elde edilen deneysel veriler ile iyi bir uyum gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada; farklı iki kabin tipi kurutucuda eşit ağırlıklardaki nane numunelerinin farklı kuruma parametreleri altında kurutulması incelenmiştir. Konvektif kurutmaya göre yapılan deney sonuçları, literatürde verilen ve sıkça kullanılan bağıntılar üzerinde uygulanmış ve nane için en uygun model belirlenmiştir.

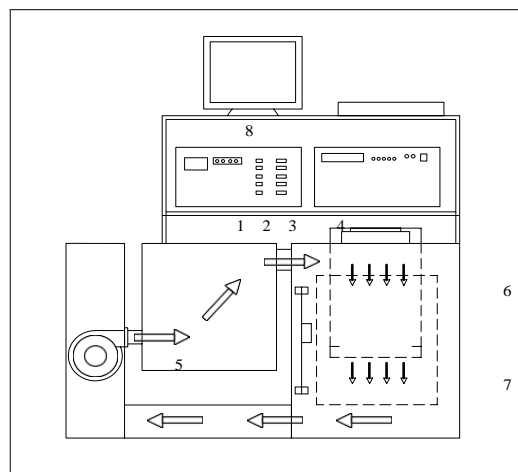
DENEYSSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kurutma işleminde kurutucu olarak kabin tipi kurutucu ve PC Kontrollü Deneysel Kurutma Cihazı kullanılmıştır (Şekil 1a. ve şekil 1b.). Deneyler S.D.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Laboratuvarı ve S.D.Ü. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yapılmıştır.



(1-Motor, 2-Vantilatör, 3- Isıtıcı, 4-Kontrol ünitesi, 5-Higrometre, 6-Hassas Terazi, 7-Izgara)

a



(1-Sıcaklık kontrol, 2-Sensör, 3-Kontrol Paneli, 4-PC Kontrol, 5-Fan, 6-Hassas Terazi, 7-Izgara, 8-Ekran)

b

Şekil 1. a Kabin tipi kurutucunun şematik gösterimi
b PC tipi kurutucunun şematik gösterimi

Her iki tip kurutucu içinde kurutma için kullanılan sıcak havanın akış yönü Şekil 1a. ve Şekil 1b'de gösterilmiştir. Şekil 1a'da görülen kurutucu, üç ayrı vantilatör hızı, üç ayrı rezistans kontrolü ve termostatik sıcaklık ayarı (40 - 100 °C) yapılabilen manuel kontrollü alttan üfleli kabin tipi bir kurutucudur.

Şekil 2a'da görülen kurutucu ise, on ayrı vantilatör hızı, üç ayrı rezistans kontrolü, dijital hassas sıcaklık (40 - 120 °C) ve nem kontrolü yapılabilen bilgisayar destekli üstten üfleli kabin tipi bir kurutucudur. Bu kurutucudaki bilgisayar kontrol sistemi 500 sensöre kadar genişleme imkanına sahiptir. Şekillerden de görüldüğü üzere 1. deney setinde sıcak hava ızgaranın altından üflenmektedir. 2. deney setinde ise sıcak hava ızgaranın üzerinden verilmektedir. Böylece aynı tip farklı kurutucularda aynı miktarda numuneler her iki deney setinde de kurutulmuş ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak incelenmiştir.

1. (Altta Üfleli Kabin Tipi Kurutucu) ve 2. (PC Kontrollü Üstten Üfleli Kabin Tipi Kurutucu) deney düzeneğinde yapılan kurutma deneyleri, kurutma havası 0.8 ve 1.5 m/s hız ve 60 °C sıcaklığında yapılmıştır. Deney için kullanılan kurutucu, kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni ile elektriksel ısıtıcılar ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kurutma havası sıcaklığını sağlayan düzenden oluşmaktadır. Kurutma için gerekli fan debisi, elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile fan devir sayısının ayarlanması ile istenilen değerlerde tutulmuştur. Hava kanalı içerisinde yer alan ısıtıcılar sayesinde de hava istenilen kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılmıştır.

Deney düzeneğinde ortam şartlarından alınan hava kurutma sisteminin giriş kısmına yerleştirilen ısıtıcıda ısıtıldıktan sonra fan vasıtası ile sistem içerisine gönderilmiştir. Böylece sistem içerisine gönderilen sıcak hava, malzeme üzerinden geçirilerek konveksiyonla kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerinde her deney esnasında kullanılan naneler günlük taze olarak alınmış ve deneyler için sadece 50 g nane yaprakları kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce deneme için alınan örnek naneler laboratuvar ortamına alınmış ve ortam sıcaklığına ulaşması için bekletilmiştir. Ortam koşullarına ulaşan nane örneklerinden 50 g alınmış ve kurutma öncesi nem içeriği 105 °C de 24 h bekletilerek belirlenmiştir (Özbek ve Dadalı, 2007). Nane yaprakları, higrometre ile ölçülen % 40 ortam neminde ± 0.001 gram hassasiyetle ölçen terazi ile 50.00 g nane yaprağı kurutucu içine konulmuştur Hem 1.deney setinde hem de 2.deney setinde kabin sıcaklığı 60 °C , hava hızı ise 0.8 m/s ve 1.5 m/s olacak şekilde vantilatör ayarı yapılmış ve hava hızı anemometre ile ölçülerek kontrol edilmiştir. Kurutucu deneye başlamadan kurutma sıcaklığına kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 10 dakika boş durumda çalıştırılmıştır. Kurutucu üzerine yerleştirilen ± 0.001 gram hassasiyetle ölçen terazi ile kurutucunun kapakları

açılmadan 10'ar dakikalık periyotlar halinde ölçümler yapılmış ve kaydedilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm sonuçları bilgisayara yüklenmiş ve ilgili hesaplamalar bilgisayar yardımıyla yapılmıştır. Gerekli zaman periyodunda not alınan değerlerin hepsi önce tablolar sonra da grafikler halinde verilmiştir.

MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Ürün başlangıç nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla kurutma öncesi ürünlerden alınan 50 g'lık üç adet örnek 105 °C'de 24 saat kurutma dolabında bekletilmiştir. Ürün nemi; başlangıç ve çıkış kütlelerinden gidilerek kuru baza göre aşağıdaki Eş. (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Bayhan, 2011).

$$X_{KB} = \frac{m_{SU}}{m_{KM}} = \frac{m_T - m_{KM}}{m_{KM}} \quad (1)$$

$$m_T = m_{SU} + m_{KM} \quad (2)$$

$$m_{SU} = m_T - m_{KM} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

X_{KB} : Kuru baza göre başlangıç nem içeriği,
 m_{SU} : Üründeki su kütlesi (g),
 m_T : Ürünün toplam kalitesi
 m_{KM} : Üründeki toplam kuru madde kütlesidir.

Δt zaman aralığında numuneden uzaklaşan nem miktarını göstermek üzere kuruma hızı;

$$V_{k.h} = \frac{m_T - m_{t,\Delta t}}{\Delta t} \quad (4)$$

Burada, $V_{k.h}$: Ürünün kuruma hızıdır.

KURUTMA EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ

Bu çalışmada, deneysel nem içeriği, Eş. (5) kullanılarak boyutsuz nem oranına dönüştürülmüştür. Böylece lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla deney sonuçlarından elde edilen nem oranı- zaman değişimi eğrilerinin modellenmesi yapılmıştır (Murthy and Manohar, 2014).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5)$$

Burada M_0 başlangıç nem içeriği, M nem içeriği, M_e ise denge nem içeriğidir. Nem oranı eğrileri literatürde bulunan beş farklı nem oranı denklemi ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 1.). Bunların içerisinde en uygun sonucu veren model, deneysel sonuçları ifade etmek için kullanılmıştır. Regresyon analizleri STATISTICA programı kullanılarak yapılmıştır. Regresyon katsayısı ürünlerin kurutma eğrilerini tanımlayan en iyi denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan kurutma eğrisi modelleri

Model	Model adı	Model	Kaynak
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$	(Mujumdar,1987)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Diamante and Munro, 1993)
3	Henderson ve Pabis	$MR = a. \exp(-kt)$	(Zhang and Litchfield, 1991)
4	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Wang and Sing, 1978)
5	Verma et al.	$MR = a. \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-gt)$	(Verma vd., 1985)

Ayrıca tahminin standart hatası $RMSE$ ve khi-kare X^2 , değerleri kullanılarak en uygun model saptanmıştır (Taheri-Garavand vd., 2011).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n MR_{i,teorik} - MR_{i,deneysel}}{N}} \quad (6)$$

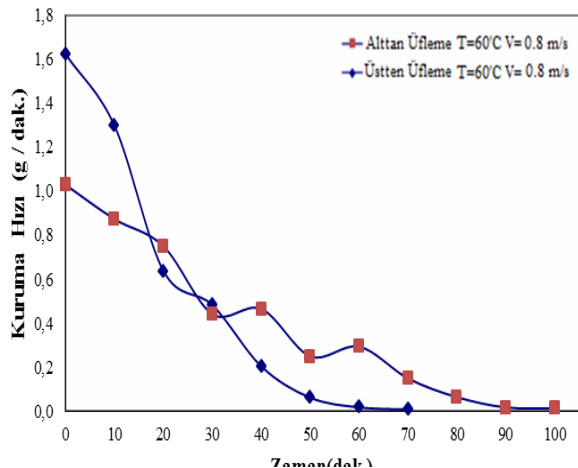
$$X^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n MR_{i,teorik} - MR_{i,deneysel}}{N-n}} \quad (7)$$

Burada $MR_{i,teorik}$ model ile hesaplanan nem oranı değeri, hızları $MR_{i,deneysel}$ deneme sonuçlarından elde edilen nem oranı değeridir. N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı olarak ifade edilmiştir.

Tahminin standart hatası, teorik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Bu değer in sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir.

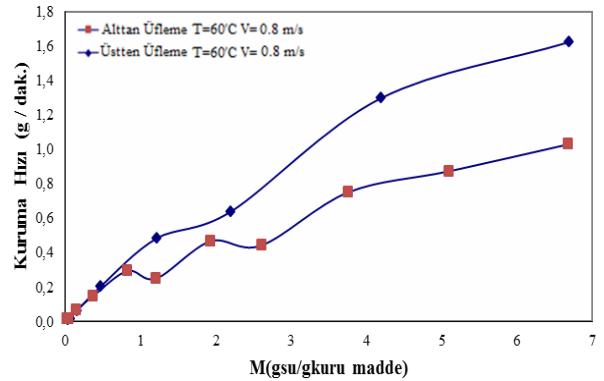
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı iki kabin tipi kurutucuda sabit kurutma havası sıcaklığı 60°C ve farklı kuruma havası hızları $0.8 - 1.5 \text{ m/s}$ alınarak kuruma olayı deneysel olarak incelenmiştir. 1. deney setinde sıcak hava ızgara altından üflenmektedir, 2. deney setinde ise sıcak hava ızgara üzerinden üflenmektedir. Buna göre yapılan deneylerde nem içeriği-zaman, kuruma hızı-zaman ve kuruma hızı-nem içeriği grafikleri Şekil 2-6'de verilmiştir (Bayhan, 2011).



Şekil 2. Farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin kuruma hızının zamana göre değişimi $T=60^\circ\text{C}$, $V=0.8 \text{ m/s}$

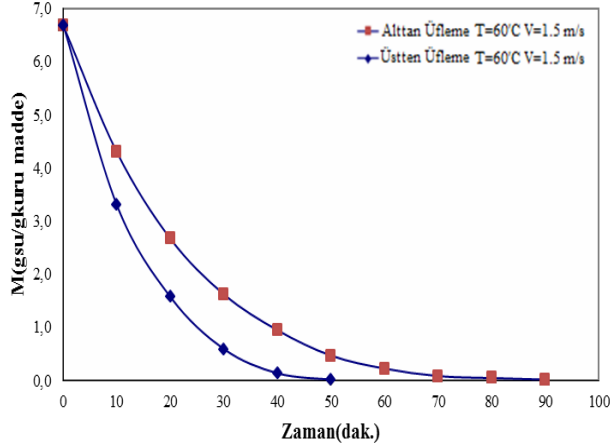
Şekil 2'de görüldüğü üzere, farklı iki kabin tipi kurutucuda sabit sıcaklık ve hava hızı için (60°C ve 0.8 m/s) yapılan kurutma deneyleri incelendiğinde üstten üfleme deney cihazında nem içeriğinde belirgin bir şekilde ve daha hızlı bir azalma görülmekte, ayrıca kuruma süresi de azalmaktadır. Kuruma üstten üfleme kabin kurutucuda 70 dakikada, alttan üfleme kabin kurutucuda ise 100 dakikada sağlanmıştır. Şekil 3'te farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin kuruma hızının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere sabit hava sıcaklık ve kuruma hızında kuruma hızının nem içeriğine göre değişimi incelendiğinde genel olarak doğrusal değiştiği görülmektedir. Yine şekilden görüleceği üzere üstten üfleme kurutma cihazının alttan üfleme cihaza göre daha iyi kurutma yaptığı görülmektedir.



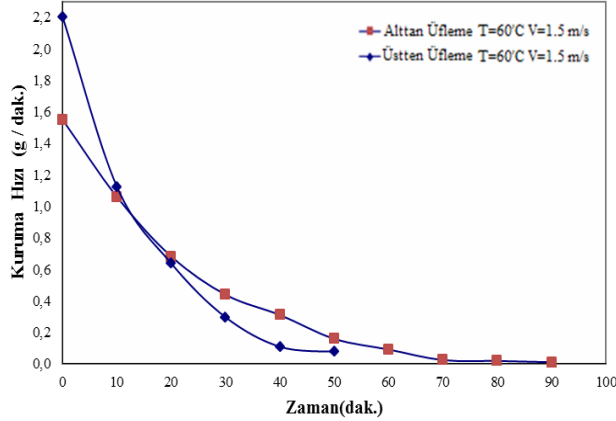
Şekil 3. Farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi $T=60^\circ\text{C}$, $V=0.8 \text{ m/s}$.

Şekil 4.'de ise farklı iki kabin tipi kurutucuda yapılan kurutma deneyleri sabit hava sıcaklık ve kuruma hızında (60°C ve 0.8 m/s) nem içeriğinin zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere her iki tip kurutma cihazı için de kurutma hızı zamanla ters orantılı olarak değişmektedir. Fakat bu değişim üstten üfleme kurutma cihazında daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Şekil 5'de farklı iki kabin tipi kurutucuda yapılan kurutma deneyleri sabit hava sıcaklık ve kuruma hızında (60°C ve 1.5 m/s) incelendiğinde kuruma hızının üstten üfleme kurutma cihazında daha hızlı azaldığı, alttan üfleme deney cihazında ise kuruma hızının daha yavaş azaldığı ve daha uzun sürede kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Üstten üfleme kurutucuda naneler 50 dakikada kururken, alttan üfleme kurutucuda ise kurutma işlemi 90 dakikada gerçekleşmektedir. Şekil

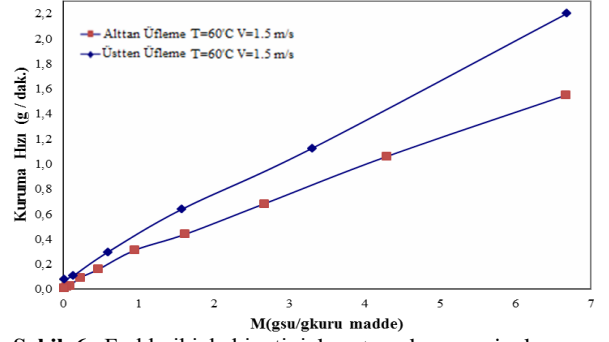
2 ve Şekil 5' den görüleceği üzere sabit sıcaklıkta (60°C) havanın hızı artırıldığında (0.8 m/s den 1.5 m/s) her iki deney cihazı içinde kuruma hızı değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. Farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin nem içeriğinin zamana göre değişimi T=60°C, V=1.5 m/s.



Şekil 5. Farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin kuruma hızının zamana göre değişimi T=60°C, V=1.5 m/s.



Şekil 6. Farklı iki kabin tipi kurutucuda nanenin kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi T=60°C, V=1.5 m/s.

Şekil 6'dan görüldüğü üzere sabit hava sıcaklık ve kuruma hızında kuruma hızının nem içeriğine göre değişimi incelendiğinde doğrusal değiştiği görülmektedir. Yine şekilden görüleceği üzere üstten üfleme kurutma cihazının alttan üfleme cihaza göre daha iyi kurutma yaptığı görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 6'dan görüleceği üzere sabit sıcaklıkta (60°C) sıcaklıkta havanın hızı artırıldığında (0.8 m/s den 1.5 m/s) her iki deney cihazı içinde kuruma hızı değerinin arttığı görülmektedir. Sonuçlar literatürle uyum içindedir. Darıcı ve Şen, (2012), kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda kurutma hızının 0.5 m/s den 1 m/s'ye çıkarıldığında ürünün kuruma süresi % 50 azaldığı görülmüştür.

KURUTMA MODELİ

Tarımsal ürünlerin çeşitliliği düşünülürse ve her ürünün fiziksel özellikleri ile boyutlarının farklı olduğu göz önüne alınır, kurutma işleminde her bir ürünün kütlesi değişimini farklı olacaktır.

Çizelge 2. Newton model için bağımlı parametreler

Newton Model İçin Bağımlı Parametreler $MR = \exp(-kt)$				
Kurutma sıcaklığı ve hızı	R	k	RMSE	X^2
60°C, 0.8 m/s (1.Deney Seti)	0.99446369	0.032884	0.0227976	0.0005717
60°C, 0.8 m/s (2.Deney Seti)	0.99636456	0.056216	0.0188575	0.0004064

Kurutma işlemindeki bu kütle değişimi ürünün fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişeceği gibi kurutma ortamı ve kurutucu akışkanın özelliklerine bağlı olarak da değişir. Kurutma işlemindeki amaç ürünün nem miktarının düşürülmesidir. Bu nedenle kurutma işlemi için birçok deneysel bağıntı geliştirilmiştir. Daha sonra yapılan bütün kurutma işlemleri için elde edilen nem oranı değişimi bu bağıntılara göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken regresyon katsayısının R yüksek olması, X^2 ve RMSE değerlerinin ise düşük olması istenir. Bu çalışmada, nane için elde edilen nem oranı değerleri literatürde verilen bu bağıntılarla karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçları, literatürde verilen ve sıkça kullanılan model bağıntılar üzerinde uygulanarak nane için uygun model belirlenmiştir. 60°C ve 0.8 m/s'deki farklı iki kabin tipi kurutucudaki kurutma deneylerinden elde edilen nem içeriğinin zaman göre değişim değerleri nem oranı değerine dönüştürülmüştür. Nanenin kuruma karakteristiklerini açıklamak için deneysel olarak bulunan nem oranı değerlerine literatürde bulunan 5 kurutma modeli her iki kurutucu değerleri içinde uygulanmıştır ve en uygun model için sonuçlar Regresyon katsayısı R, RMSE ve X^2 değerleri karşılaştırılarak bulunmuştur. Tahminin standart hatası RMSE, teorik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir.

Çizelge 3. Page model için bağımlı parametreler

Page Model İçin Bağımlı Parametreler $MR = \exp(-kt^n)$					
Kurutma sıcaklığı ve hızı	R	k	n	$RMSE$	X^2
60°C, 0.8 m/s (1.Deney Seti)	0.99888	0.015057	1.215319	0.0155779	0.0002966
60 °C, 0.8 m/s (2.Deney Seti)	0.99973	0.027330	1.231896	0.0039071	0.0000204

Çizelge 4. Henderson ve Pabis model için bağımlı parametreler

Henderson ve Pabis Model İçin Bağımlı Parametreler $MR = a \cdot \exp(-kt)$					
Kurutma sıcaklığı ve hızı	R	k	a	$RMSE$	X^2
60°C, 0.8 m/s (1.Deney Seti)	0.99524	0.033948	1.03675	0.0346777	0.0014698
60 °C, 0.8 m/s (2.Deney Seti)	0.99668	0.057280	1.022632	0.0265098	0.0009370

Çizelge 5. Wang ve sing model için bağımlı parametreler

Wang ve Sing Model İçin Bağımlı Parametreler $MR = 1 + at + bt^2$					
Kurutma sıcaklığı ve hızı	R	a	b	$RMSE$	X^2
60°C, 0.8 m/s (1.Deney Seti)	0.99890	-0.023159	0.000134	0.0131182	0.0002103
60 °C, 0.8 m/s (2.Deney Seti)	0.99459	-0.037334	0.000339	0.0173199	0.0004000

Çizelge 6. Verma vd. model için bağımlı parametreler

Verma vd. Model İçin Bağımlı Parametreler $MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-gt)$						
Kurutma sıcaklığı ve hızı	R	k	a	g	$RMSE$	X^2
60°C, 0.8 m/s (1.Deney Seti)	0.99889	0.05270	8.20854	0.05715	0.01577	0.00034
60 °C, 0.8 m/s (2.Deney Seti)	0.99970	0.09011	5.79189	0.1021	0.2350306	0.0883830

Ayrıca uyumu gösteren khi-kare değerinin azalması uyumun arttığını göstermektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre 1.deney seti için Wang ve Sing modelinde regresyon katsayısı artmış, khi-kare ve $RMSE$ değerleri azalmış, 2. deney seti içinde Page modeli en uygun sonuçları vermiş ve model daha yüksek bir uyuma sahip olmuştur.

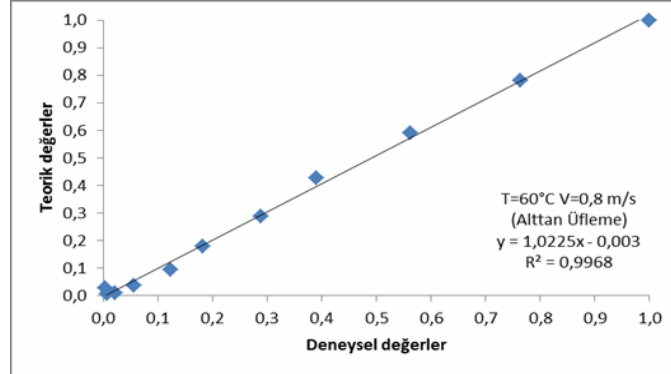
Literatürde, nane kurutulması ile ilgili çalışmalar yapılmış, ancak farklı iki kabin tipi bir kurutucuda, alttan ve üstten üfleme ile kurutmanın kıyaslanması ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Sobukola vd. (2007), çalışmalarında farklı yeşil yapraklı sebzelerin açık güneş altında kurutulmasını incelemişlerdir. Gözlenen ve tahmin edilen nem oranlarının arasında kıyas yapabilmek için sekiz ayrı kurutma modeli tanımlamışlardır. Sonuç olarak üç yaprak türü için de Midilli et al. modelinin, kurutma eğrilerini en uygun şekilde tanımladığını görmüşlerdir.

Akpınar (2010), nane yapraklarının güneşli kurutucuda zorlanmış konveksiyonla, açık güneş altında ise doğal konveksiyonla kurutulmasını incelemiştir. Kurutma verilerini on farklı matematik modele uyarlamıştır.

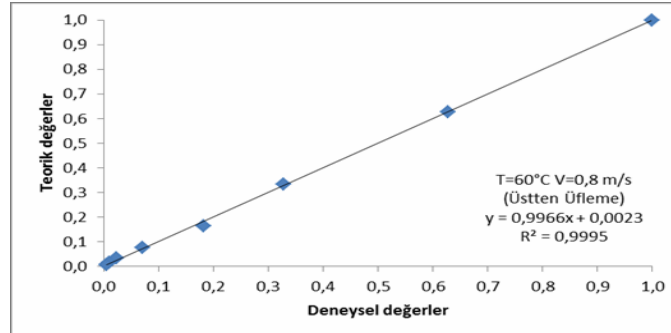
Sonuç olarak kurutma eğrisini tanımlayabilmek için, Wang-Sing modelinin, hem zorlanmış hem de doğal kurutmada, en uygun model olduğunu görmüştür. Sallam vd. (2015), nane kurutulmasını, güneşle kurutma şartları altında doğal ve zorlanmış olarak incelemişlerdir. Nananın kurutma davranışını açıklayabilmek için on kurutma modelini uygulamışlardır. Sonuç olarak, hem direkt hem dolaylı kurutmayı tanımlamak için en iyi modellerin doğal konveksiyonda Difüzyon yaklaşım ve Verma et al. modelleri, zorlanmış konveksiyonda ise sadece Verma et al. modeli olduğunu söylemişlerdir.

T=60 °C, V=0.8 m/s'de farklı iki kabin tipi kurutucuda elde edilen deneysel ve model ile hesaplanan teorik nem oranı değerlerinin lineer dağılımları grafiksel olarak Şekil 7. ve Şekil 8'de

gösterilmiştir. Bu da modellerin bir uyum içinde deneysel verileri açıklayabildiğini göstermektedir.



Şekil 7. T=60 °C, V=0.8 m/s deneysel ve teorik nem oranı değerleri (1. deney seti)



Şekil 8. T=60 °C, V=0.8 m/s deneysel ve teorik nem oranı değerleri (2. deney seti)

SONUÇLAR

Deneylerde farklı iki kabin tipi kurutucu için, nem içeriği- zaman, kuruma hızı-zaman ve kuruma hızı-nem içeriği değişimi kurutma havası sıcaklığı 60 °C ve kuruma havası hızları ayrı ayrı 0.8 - 1.5 m/s olarak seçilerek incelenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca nane için elde edilen nem oranı değerleri literatürde verilen bazı bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, literatürde verilen ve sıkça kullanılan model bağıntılar üzerinde uygulanarak nane için uygun model belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda;

* Farklı iki kabin tipi kurutucuda yapılan kurutma deneyleri incelendiğinde sabit sıcaklık ve sabit hava hızında üstten üfleme kurutma cihazında yapılan deneylerin alttan üfleme kurutma cihazında yapılan deneylere göre kuruma süresi ve nem miktarındaki azalma açısından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Farklı iki kabin tipi için kuruma hızları incelendiğinde başlangıç kurutma hızının alttan üfleme deney setinde daha yüksek olduğu ve daha hızlı azaldığı görülmüştür. Yine farklı iki kabin tipi için kurutucuda kuruma hızı ile nem miktarındaki azalma doğru orantılı olarak gerçekleşmiş ve sabit bir nem miktarı için üstten üfleme deney setinin

alttan üfleme deney setine göre daha hızlı kuruma sağladığı gözlemlenmiştir.

* Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre alttan üfleme deney seti için Wang ve Sing modelinde regresyon katsayısı artmış, khi-kare ve RMSE değerleri azalmış, üstten üfleme deney seti içinde Page modeli en uygun sonuçları vermiş ve model daha yüksek bir uyuma sahip olmuştur.

Kurutma havası hızı arttıkça kurutma süresinde bir azalma olduğu da gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Ajayeoba, A.O., Fatukasi and Awotunde, O.W., 2014, Design and Development of a Domestic Biscuit Cabinet Tray dryer, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 3, 13-20.

Akpınar, E.K., 2006, Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants, *Journal of Food Engineering*, 77, 864-870.

Akpınar, E.K., 2010, Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses, *Energy Conversion and Management*, 51, 2407-2418.

Bayhan H., 2011, *Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Cemeroğlu, B., 2011, *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, 1. Baskı, Nobel Yayınevi, İstanbul

Darıcı, S. and Şen, S., 2012, Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Hava Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 130, 51-58.

Diamante, L. M. and Munro, P.A., 1993, Mathematical Modeling of the Thin layer Solar Drying of Sweet Potato Slices, *Solar Energy*, 51(4), 271-276.

Doymaz, İ., 2005, Sun Drying of Figs: an Experimental Study, *Journal of Food Engineering*, 71, 403-407.

Goyal, R.K. and Tiwari, G.N., 1999, Performance of a Reverse Plate Absorber Cabinet Dryer: a New Concept, *Energy Conversion and Management*, 40, 385-392.

Güngör, A. and Özbaltalı, N., 1997, *Endüstriyel Kurutma Sistemleri*. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 737-747.

Mujumdar, A.S., 1987, *Handbook of Industrial Drying*, Inc, New York and Basel.

Murthy, T.P.K., and Manohar, B., 2014, Hot Air Drying Characteristics of Mango Ginger: Prediction of Drying Kinetics by Mathematical Modeling and Artificial Neural Network, *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3712-3721.

Radhika, G.B., Satyanarayana, S.V. and Rao, D.G., 2011, Mathematical Model on Thin Layer Drying of Finger Miller (*Eluesine coracana*), *Advanced Journal of Food Science and Technology*, 3(2), 127-131.



Tansel KOYUN, 1993 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını ve 2002 yılında ise Doktora çalışmasını tamamladı. 2003 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'na Yardımcı Doçent olarak atandı. Halen aynı bölümde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları; termodinamik, soğutma, ısı transferidir.



Hülya Bayhan YILMAZ, 2007 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılında ise Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2007 yılından bu yana özel sektörde çeşitli firmalarda çalışmıştır. Halen Antalya'da Vemeks Mühendislik'te çalışmaktadır.

Sallam Y.I., Aly, M.H., Nassar A.F. and Mohamed E.A., 2015, Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection, *Journal of Advanced Research*, 6, 171-178.

Sobukola, O.P, Dairo, O.U., Sanni, L.O., Odunewu, A.V. and Fafiolu, B.O., 2007, Thin Layer Drying Process of Some Leafy Vegetables Under Open Sun, *Food Science and Technology International*, 13, 35-40.

Soysal, Y. and Öztekin S., 2000, Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasında İşletme Ölçeğinde Bir Kurutucu Tasarımı, *Çukurova I. 6. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi*, 423-430, Adana.

Taheri-Garavand, A., Rafiee S. and Keyhani A., 2011, Study on Effective Moisture Diffusivity, Activation Energy and Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Kinetics of Bell Pepper, *Australian Journal of Crop Science*, 5(2), 128-131.

Therdthai N. and Zhou, W., 2009, Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen), *Journal of Food Engineering*, 91, 482-489.

Verma, L.R., Bucklin R.A., Endan J.B. and Wratten F.T., 1985, Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models, *Transaction of the ASAE*, 28, 296-301.

Wang C.Y. and Singh R.P., 1978, A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, *ASAE*, 3001.

Yağcıoğlu, A., 1999, *Tarım Ürünlerinde Kurutma Tekniği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir.

Zhang, Q. and Litchfield J.B., 1991, An Optimization of Intermittent Corn Drying in a Laboratory Scale Thin Layer Dryer, *Drying Technology*, 9, 383-395.