



Mathematical Modelling of Thin Layer Drying of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Varieties at Different Temperatures[#]

Muhammed Taşova^{1,a,*}, Hakan Polatcı^{1,b}, Mahir Özkurt^{2,b}

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tokat Gaziosmanpaşa University, 60000 Tokat, Turkey

²Crop Production and Technology Department, Faculty of Applied Science, Muş Alparslan University, 49250 Muş, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>[#]This study was presented as an oral presentation at the 5th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (Tokat, TARGID 2020)</p> <p>Research Article</p> <p>Received : 10/11/2020 Accepted : 19/11/2020</p> <p>Keywords: Alfalfa Drying Mathematical Modelling Drying temperature Drying kinetic</p>	<p>In this study, the average drying times of the Frigos, Bilensoy, Nîmet and Prosementi alfalfa varieties were determined by drying in a convective dryer (50, 60 and 70°C) and in the open (sun). In addition, the most suitable thin layer drying models were determined, which are important in controlling the drying processes and developing new product-specific dryers. In drying processes, the moisture content of the product was dried up to 10% compared to the wet base. The first moisture contents of the specified varieties according to the wet base are respectively; 76.20, 75.88, 76.13 and 75.07%. In drying processes, it was determined that drying method and temperatures changed average drying times. The longest drying times were determined in the Frigos variety, which was laid in the sun and dried. When the Frigos variety was dried in the oven at 50, 60 and 70°C, the average drying times were determined as 11, 10 and 6 hours. Time-dependent moisture ratios were determined, processed in thin layer drying models and the mathematical model that best predicts drying curves was determined. While creating curves, Page, Midilli, Yağcıoğlu models were used. While acceptable reliability values were found as in all models, among the models, the highest stability value (R²) was found by Midilli was found in equality.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(sp1): 139-144, 2020

Yonca (*Medicago sativa* L.) Çeşitlerinin Farklı Sıcaklıklarda İnce Tabaka Kurutulmasının Matematiksel Modellenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 10/11/2020 Kabul : 19/11/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Yonca Kurutma Matematiksel modelleme Kurutma Sıcaklığı Kurutma Kinetiği</p>	<p>Bu çalışmada, Frigos, Bilensoy, Nîmet ve Prosementi yonca çeşitleri konvektif kurutucuda (50, 60 ve 70°C) ve açıkta (güneşte) kurularak ürünlerin ortalama kuruma süreleri belirlenmiştir. Bununla birlikte kurutma işlemlerinin kontrol edilmesinde ve ürüne özgü yeni kurutucuların geliştirilmesinde önemli olan en uygun ince tabakalı kuruma modelleri belirlenmiştir. Kurutma işlemlerinde ürün nemi içeriği yaş baza göre %10 seviyelerine kadar kurutulmuştur. Belirtilen çeşitlere ait ilk nem içerikleri yaş baza göre sırasıyla; %76,20, 75,88, 76,13 ve 75,07 olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemlerinde, kurutma yöntemi ve sıcaklıklarının ortalama kuruma sürelerini değiştirdiği tespit edilmiştir. Belirlenen en uzun kuruma süreleri güneşe serilerek kurutulan Frigos çeşidinde tespit edilmiştir. Frigos çeşidi, etüvde 50, 60 ve 70°C sıcaklık değerlerinde kurutulduğunda belirlenen ortalama kuruma süreleri 11, 10 ve 6 saat olarak belirlenmiştir. Süreye bağlı uzaklaşan nem oranları belirlenerek, ince tabakalı kurutma modellerinde işlenmiş ve kuruma eğrilerini en iyi tahmin eden matematiksel model tespit edilmiştir. Eğriler oluşturulurken literatürde yaygın olarak kullanılan Page, Midilli, Yağcıoğlu modelleri kullanılmıştır. Tüm modellerde kabul edilebilir güvenilirlik değerleri olarak bulunurken, modelleri arasında kararlılık değeri (R²) en yüksek ise Midilli eşitliğinde bulunmuştur.</p>

^a muhammed.tasova@gop.edu.tr

^b <http://orcid.org/0000-0001-5025-0807>

^b hakan.polatci@gop.edu.tr

^b <http://orcid.org/0000-0002-2071-2086>

^c m.ozkurt@alparslan.edu.tr

^b <http://orcid.org/0000-0003-0058-3026>



Giriş

Yem bitkileri ekolojik istekler açısından çok seçici olmayan, protein ve karbonhidrat içerikleri dengeli kaliteli ve ucuz kaba yem kaynaklarıdır. Yem bitkileri içerisinde kraliçe olarak vasıflandırılan yonca (*Medicago sativa* L.) dünyanın hemen hemen her yerinde yetişme alanı bulabilen, Dünya’da ve Türkiye’de yem bitkileri içerisinde en fazla yetiştiriciliği yapılan uzun ömürlü çok yıllık bir bitkidir (Özkurt, 2018). Yonca, baklagil yem bitkileri içerisinde yüksek protein oranı ve sindirilebilirliği ile önemli bir yem bitkisidir (Özkurt ve ark., 2018). Yonca bölgeden bölgeye göre değişimle birlikte 3-10 adet biçim alınabilmesi bir vejetasyon dönemi içerisinde veriminin yüksek olduğunun bir kanıtıdır. Yonca; yeşil yem, kuru ot, un ve silaj olarak değerlendirilmekte ve bazı ülkelerde de otlatılabilmektedir. Yonca esas olarak büyük baş hayvan yemidir. Erken biçim ürünü ise kanatlılar ve domuzlar için önemli bir protein kaynağıdır. Genellikle proteince fakir olan (saman ve saman peleti vs.) yemlerin eksik yönlerini tamamlamak açısından önemli bir besin kaynağıdır. Bir süt ineğine en fazla 8 kg kuru madde hesabı ile yeşil yonca otu verilebilir. Fakat yonca yeşil otunda bulunan %1,5-8 oranında bulunan saponinler nedeniyle hayvanların kan dolaşımını olumsuz etkilediğinden dolayı tek başına hayvan beslenmede kullanılması önerilmez. Ayrıca süt ineklerine sağıma yakın verilmesi sütün tadında acılaşmaya neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı da yoncanın hayvanlara kurutulmuş olarak verilmesi gerekmektedir (Avcioğlu ve ark., 2019).

Kurutma; meyve, sebze ve otların muhafazası için uygulanan en eski yöntemlerden birisidir. Kurutma işlemi ile nem uzaklaştığı için ürünlerin raf ömürleri uzamakta, taşıma işlemleri için daha hafif ve depolama için ise daha az yer kaplayan ürünler elde edilmektedir (Dandamrongrak ve ark., 2002; Ando ve ark., 2019). Bunun yanında, ürünün nem içeriği azaldığı için mikrobiyel oluşum engellenmekte ve ürünlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerindeki değişiklikler de azalmaktadır (Viyağa ve ark., 2012).

Dünya’da tarımsal ürünlerin kurutulması işleminde birçok farklı ısı kaynağı ve kurutucu kullanılmaktadır. Literatürde yaklaşık 500 çeşit kurutucunun bulunduğu ve bunların ise yaklaşık 100 tanesinin yaygın olarak kullanıldığı ifade edilmektedir (Midilli, 2001; Şevik, 2013). Ülkemizde yapılan kurutma işlemlerinde ise genellikle açıkta (güneşte, gölgede) ve sıcak hava ile yapılan yapay konvektif kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Açıkta kurutma yöntemleri ucuz ve pratik olmasına rağmen, homojen su içeriğine sahip olmayan ürünler, çevre koşullarından ürüne bulaşan yabancı maddeler ve bitkinin uzun sürede kurumamasından dolayı kısa sürede kuru ürün talebini karşılayamam noktasından uygun olmayan bir yöntemdir (Midilli ve ark., 2002; Aghbashlo ve ark., 2010; Göztek ve İçier, 2017).

Sıcak havalı yapay kurutma yöntemi ise tarımsal ürünlerin hasat sonrasında kurutmak için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, üniform bir kurutma işlemi oluşturma ve daha hijyenik-sağlıklı kuru ürünler elde etme açısından açıkta yapılan kurutma yöntemlerine göre daha uygundur (Doymaz, 2004; Ünal ve Saçılık, 2011). Bundan dolayı da kurutma yöntemi ve sıcaklığı ürünlerin kuruma süresinde en önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Kurutma işlemlerinde farklı materyaller ve yöntemler için farklı ısı ve kütle transfer işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bunun için ürünlerin kuruma davranışlarını tahmin edebilmek için bazı işlemlere gerek duyulmaktadır. Bu işlemlerden biride, kuruma eğrilerini oluşturmak ve kuruma süreleri hakkında bilgi edebilmek için matematiksel modellerin kullanılmasıdır (Akpınar, 2006; Doymaz, 2004; Fan ve ark., 2014; Amiri Cahyan ve ark., 2015; Salım ve ark., 2016). Bu modeller; Teorik, kısmi-teorik ve deneysel olmak üzere üç farklı çeşidi vardır. Bu modeller arasında ince tabakalı olarak kurutulmuş ürünlerde deneysel modeller kullanılmaktadır. Bunlar Fick yasasının 2. kanunu basitleştirilmesiyle elde edilmektedir (Sablan ve ark., 2000; Srikiatden ve Roberts, 2006; Doymaz, 2006; Haq ve ark., 2015).

Kullanılan bu deneysel modeller aynı zamanda kurutma işlemlerinin kontrol edilmesinde, kurutucuların iyileştirilmesinde veya yeni bir kurutucunun geliştirilmesinde kullanıldığı içinde ayrıca önem arz etmektedir. Literatürde, yapılan kurutma çalışmalarında; mısır (Sanghi ve ark., 2018), mısır (Abdoli ve ark., 2018), buğday (Mohapatra ve Rao, 2005), pirinç (Cihan ve ark., 2007), ürünlerine ait kuruma eğrilerini ince tabakalı kurutma modellerinde işlemişlerdir. Ancak ülkemiz hayvancılık işletmeciliği açısından önemli bir yem bitkisi olan yoncanın farklı kurutma yöntemlerinde kurutulmuş olarak elde edilen verilerin ince tabakalı kurutma modellerinde işlenmesi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu duruma neden olan diğer bir sebep ise yonca kurutma endüstrisinin ülkemizde yeterli seviyede olmamasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, yonca çeşitleri yapay konvektif ve açıkta (güneş altında) yapılan kurutma yöntemlerinde kurutulmuş ürünlere ait kuruma eğrileri oluşturularak en iyi tahmin eden ince tabaka kurutma modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Kurutma Materyali

Kullanılan materyal yonca bitkisinin Frigos, Bilensoy, Nimet ve Prosementi çeşitleridir. Ürünler Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarla Bitkileri bölümüne ait deneme arazilerine tesadüfi parsel blokları şeklinde ekilen alanlardan 2018 yılı Temmuz ayında hasat edilmiştir. Örnekler yığını temsil edecek şekilde araziden toplandıktan sonra nem kaybetmemesi için kilitli plastik kutulara konulmuştur. Vakit kaybetmeden kurutma işlemleri için Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümü kurutma laboratuvarına getirilmiştir. Ürünler bozulmaması ve nem kaybetmemesi için kurutma işlemleri sonlanana kadar ürünler 4±0,5°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir

Nem Tayini (%)

Taze ürünlerin % nem içeriklerini yaş baza göre belirlemek için ortalama 40’ar gram örnek kullanarak üçer tekerrür şeklinde gerçekleştirilmiştir. Nem tayini işlemi 70°C sıcaklığa ayarlanmış Şimşek marka laboratuvar tip bir etüvde belirli aralıklarda ürünler tartılıp ağırlıklarındaki değişim sabitlenene kadar kurutulmuştur (Yağcıoğlu, 1999).

Kurutma İşlemi

Kurutma işleminden önce yonca çeşitleri içerisinde bulunan yabancı ot vb. materyallerden temizlenmiştir. İşlemler kabin kurutucuda; 50, 60 ve 70°C kurutma sıcaklıklarında ve güneşe sererek üçer tekerrür şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir çeşit ve kurutma sıcaklığı için toplamda ortalama 120'şer g örnek kullanılmıştır. Kurutma işlemleri sırasında ürünlerin ağırlıkları belirli sürelerde Sartorius marka hassas terazi (0,01 g) ile tartılmıştır. Ürünlerin nem içeriği %10 seviyelerine kadar kurutma işlemine devam edilmiştir.

Kurutucular

Kurutma işlemleri Şimşek Labortechnik marka ST-055 kabin kurutucuda gerçekleştirilmiştir. ST-055 tip kabin kurutucuda kurutma havası sıcaklığı 150°C sıcaklığa kadar ayarlanabilme seçeneği bulunmaktadır. Güneşte yapılan kurutma işlemlerinde ise zararlı böceklerin ve zehirli gazların ürüne gelmesini engellemek için önceden tasarlanıp imal edilen menteşeli telli kafesler kullanılmıştır (Şekil 1).

Kuruma Modeli

Kurutulan yonca çeşitlerinde işlemler esnasında süreye bağlı ayrılabilir nem oranı değerini belirlemek için 1 nolu eşitlik kullanılmıştır (Haq ve ark., 2015).

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

- ANO : Ayrılabilir nem oranı
M : Kurutulan ürünlerin anlık nem içeriği (%)
M_e : Kurutulan ürünlerin verilen durumdaki denge nem içeriği (%)
M₀ : Kurutulan ürünlerin ilk nem içeriği (%)

Çeşitlerin kuruma eğrilerini oluşturmak için genellikle kararlılık değeri yüksek olan ve çalışmalarda yaygın olarak kullanılan; Midilli, Page ve Yağcıoğlu ince tabakalı kurutma modelleri seçilmiştir. Elde edilen alınabilir nem oranı değerleri bu modellerde işlenmiştir (Çizelge 1).

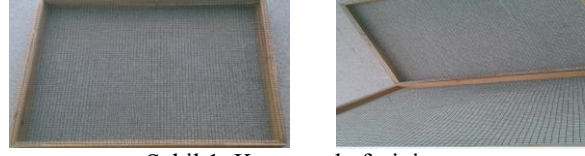
Bulgular ve Tartışma

Kuruma Verileri

Kullanılan ürünlerin ortalama nem içerikleri yaş baza göre Frigos, Bilensoy, Nimet ve Prosementi çeşitleri için sırasıyla; %76,20, 75,88, 76,13 ve 75,07 olarak belirlenmiştir. Konvektif ve güneşte yapılan kurutma işlemlerinde ürünlere ait belirlenen ortalama son nem oranları ve kuruma süreleri (Çizelge 2) verilmiştir.

Çizelge 2'ye göre, konvektif yöntemle yapılan kurutma işleminde sıcaklık kriteri ürünlerin kuruma süresinde etkili bir faktör olduğu ve bunun yanında kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma sürelerinin önemli oranda azaldığı görülmektedir. Konvektif yöntemle yapılan kurutma işlemlerinde en kısa kuruma süresi 4,5 saat ile 70°C sıcaklık değerinde belirlenirken, en uzun kuruma süresi 11 saat ile 50°C sıcaklıkta yapılan işlemde tespit edilmiştir. Güneş altında yapılan kurutma işlemlerinde ise ürünlerin nem içerikleri 14-16 saat aralığında istenilen düzeye inmiştir. Açık göz-Eryılmaz ve ark. (2017), çalışmalarında sıcak hava ve mikrodalga yöntemlerini kullanarak yaptıkları latin çiçeği bitkisinin kurutulması işleminde

mikrodalga gücü ve kullanılan havanın sıcaklık değeri ürünün kurumasında önemli bir faktör olduğu ve değerlerin yükselmesiyle kuruma sürelerinde azalmanın olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1. Kurutma kafesinin yapısı
Figure 1. Structure of the drying cage

Çizelge 1. İnce tabakalı matematiksel kurutma modelleri
Table 1. Thin layer mathematical drying models

Model ismi	Eşitlik	Kaynak
Page	MR = exp (-k(t ^h))	Page (1949)
Midilli	MR = h.exp (-j.(t ^k)) + (m.t)	Aghbaslo ve ark. (2010)
Yağcıoğlu	MR = k.exp(-h.t)+j	Polatçı ve Taşova (2017)

Açık göz-Eryılmaz (2015), yaptığı çalışmada, kuzukulağı bitkisini 40, 50 ve 60°C sıcaklık ve 1-2 m/s hava hızları altında ve gölgede şartlarında yaptığı kurutma çalışmasında sıcaklık ve hava hızının artmasıyla ürünün kuruma süresinin azaldığı ve en uzun kuruma süresinin ise gölge şartlarında belirlenmiştir. Benzer sonuçları nane (Morad ve ark., 2017), oğulotu ve ısırgan otu (Branisa ve ark., 2017) ve ısırgan (Lamharar ve ark., 2017) üzerine yapılmış çalışmalarda bulunmuştur. Tüm kurutma şartları içerisinde sırasıyla, diğer çeşitlerde belirlenen en iyi tahmin eden modelin Midilli-Küçük olduğu tespit edilmiştir.

Kuruma Modellerine Ait Katsayılar, "R²" ve "p" Değerleri

Kurutma işlemlerinde süreye bağlı ayrılabilir boyutsuz nem oranı değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kurutma şartları için seçilen ince tabakalı kuruma modellerinde işlenerek elde edilen bazı katsayı, "p" ve "R²" değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3'e göre, Frigos çeşidi yonca bitkisi için belirlenen ince tabakalı kurutma modelleri arasında 50°C ve 70°C kurutma havası sıcaklığında Midilli modeli kuruma eğrilerini en iyi tahmin ederken, Page modeli 60°C kurutma havası sıcaklığında tahmin etmiştir. Güneşte yapılan kurutma işlemleri için oluşturulan kurutma eğrilerini en iyi tahmin eden modelin Midilli olduğu belirlenmiştir. Modellerin güvenilirlik değerleri tüm kurutma sıcaklıkları için (P<0,05) uygun olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4'e göre, Bilensoy çeşidi yonca bitkisi için belirlenen ince tabakalı kurutma modelleri arasında 50°C ve 70°C kurutma havası sıcaklıklarında Midilli modeli kuruma eğrilerini en iyi tahmin ederken, Yağcıoğlu modeli ise en iyi 60°C kurutma havası sıcaklığında tahmin etmiştir. Güneşte yapılan kurutma işlemleri için oluşturulan kurutma eğrilerini en iyi tahmin eden modelin Midilli olduğu belirlenmiştir.

Modellerin güvenilirlik değerleri tüm kurutma sıcaklıkları için (P<0,05) uygun olduğu bulunmuştur.

Çizelge 5'e göre, Nimet çeşidi yonca bitkisi için belirlenen ince tabakalı kurutma modelleri arasında tüm kurutma havası sıcaklıklarında Midilli modeli kuruma eğrilerini en iyi tahmin etmiştir. Güneşte yapılan kurutma işlemleri için oluşturulan kurutma eğrilerini de en iyi tahmin eden modelin Midilli olduğu belirlenmiştir. Modellerin güvenilirlik değerleri tüm kurutma sıcaklıkları için ($P<0,05$) uygun olduğu bulunmuştur.

Çizelge 6'ya göre, Prosementi çeşidi yonca bitkisi için belirlenen ince tabakalı kurutma modelleri arasında 70°C kurutma havası sıcaklığında Midilli ve Yağcıoğlu modelleri kuruma eğrilerini en iyi tahmin ederken, 50°C ve 60°C kurutma havası sıcaklığında Midilli modeli tahmin etmiştir. Güneşte yapılan kurutma işlemleri için oluşturulan kurutma eğrilerini en iyi tahmin eden modelin Midilli olduğu belirlenmiştir. Modellerin güvenilirlik değerleri tüm kurutma sıcaklıkları için ($P<0,05$) uygun olduğu bulunmuştur.

Çizelge 2. Yonca çeşitlerine ait kuruma performans değerleri
Table 2. Drying performance values of alfalfa varieties

Kurutma yöntemi	Çeşit	Sıcaklık (°C)	Ortalama son nem (%)	Ortalama kuruma süresi (Saat)
Konvektif	Frigos	50°C	$10,33\pm 1,10$	11
		60°C	$10,21\pm 0,88$	10
		70°C	$10,44\pm 1,29$	6
	Bilensoy	50°C	$10,30\pm 2,12$	10
		60°C	$10,82\pm 1,19$	9
		70°C	$9,09\pm 0,76$	5
	Nimet	50°C	$10,66\pm 0,87$	10,5
		60°C	$10,19\pm 1,09$	9,5
		70°C	$10,67\pm 1,53$	5,5
	Prosementi	50°C	$10,08\pm 2,09$	9,5
		60°C	$10,33\pm 1,55$	8,5
		70°C	$10,67\pm 0,73$	4,5
Güneş	Frigos	$32,5^{\circ}\text{C}$	$10,41\pm 2,01$	16
	Bilensoy		$10,33\pm 1,14$	14,5
	Nimet		$10,49\pm 1,69$	15,5
	Prosementi		$10,22\pm 1,00$	14

Çizelge 3. Frigos çeşidinde belirlenen ince tabakalı kurutma modellerine ait bazı değerler
Table 3. Some values of thin layer drying models determined in Frigos variety

Model adı	Sıcaklık (°C)	Model sabitleri	P	R ²
Midilli	50	$k=0,8859, h=0,9987, j=0,1783, m=-0,0171$	$P<0,0001$	0,9997
	60	$k=1,1068, h=0,9933, j=0,3022, m=-0,0007$	$P<0,0001$	0,9993
	70	$k=1,0697, h=1,0028, j=0,3559, m=-0,0261$	$P<0,0001$	0,9991
Page	50	$k=0,1690, h=1,236$	$P<0,0001$	0,9941
	60	$k=0,3091, h=1,1032$	$P<0,0001$	0,9992
	70	$k=0,3763, h=1,2630$	$P<0,0001$	0,9968
Yağcıoğlu	50	$k=1,1951, h=0,1405, j=-0,2106$	$P<0,0001$	0,9991
	60	$k=1,0517, h=0,3151, j=-0,0468$	$P<0,0001$	0,9987
	70	$k=1,2965, h=0,2974, j=-0,2900$	$P<0,0001$	0,9989
Midilli	Güneş	$k=1,8324, h=0,9776, j=0,1775, m=0,0035$	$P<0,0001$	0,9970
Page	Güneş	$k=0,2013, h=1,6937$	$P<0,0001$	0,9942
Yağcıoğlu	Güneş	$k=1,0844, h=0,3964, j=-0,0226$	$P<0,0001$	0,9687

Çizelge 4. Bilensoy çeşidinde belirlenen ince tabakalı kurutma modellerine ait bazı değerler
Table 4. Some values of thin layer drying models determined in Bilensoy variety

Model adı	Sıcaklık (°C)	Model sabitleri	P	R ²
Midilli	50	$k=0,9045, h=1,0002, j=0,1827, m=-0,0159$	$P<0,0001$	0,9989
	60	$k=1,0732, h=0,9846, j=0,2193, m=-0,0102$	$P<0,0001$	0,9964
	70	$k=0,9014, h=0,9960, j=0,4347, m=-0,0379$	$P<0,0001$	0,9969
Page	50	$k=0,1706, h=1,1387$	$P<0,0001$	0,9934
	60	$k=0,2294, h=1,1677$	$P<0,0001$	0,9931
	70	$k=0,4823, h=1,1724$	$P<0,0001$	0,9910
Yağcıoğlu	0	$k=1,1952, h=0,1456, j=-0,2077$	$P<0,0001$	0,9985
	60	$k=1,1795, h=0,2027, j=-0,1888$	$P<0,0001$	0,9965
	70	$k=1,1869, h=0,3730, j=-0,2005$	$P<0,0001$	0,9966
Midilli	Güneş	$k=1,8165, h=0,9812, j=0,1780, m=0,0039$	$P<0,0001$	0,9965
Page	Güneş	$k=0,1988, h=1,6853$	$P<0,0001$	0,9933
Yağcıoğlu	Güneş	$k=1,0825, h=0,3933, j=-0,0187$	$P<0,0001$	0,9688

Çizelge 5. Nimet çeşidinde belirlenen ince tabakalı kurutma modellerine ait bazı değerler

Table 5. Some values of thin layer drying models determined in Nimet variety

Model adı	Sıcaklık (°C)	Model sabitleri	P	R ²
Midilli	50	k=0,9473, h=1,0045, j=0,1941, m=-0,0081	P<0,0001	0,9980
	60	k=1,0720, h=1,0045, j=0,2364, m=-0,0062	P<0,0001	0,9997
	70	k=1,0759, h=1,0018, j=0,3514, m=-0,0242	P<0,0001	0,9987
Page	50	k=0,1837, h=1,0775	P<0,0001	0,9964
	60	k=0,2303, h=1,1574	P<0,0001	0,9988
	70	k=0,3708, h=1,2528	P<0,0001	0,9968
Yağcıoğlu	50	k=1,0921, h=0,1726, j=-0,0947	P<0,0001	0,9977
	60	k=1,1341, h=0,2276, j=-0,1233	P<0,0001	0,9995
	70	k=1,2888, h=0,2950, j=-0,2827	P<0,0001	0,9986
Midilli	Güneş	k=1,6249, h=0,9901, j=0,2090, m=0,0060	P<0,0001	0,9924
Page	Güneş	k=0,2293, h=1,4749	P<0,0001	0,9855
Yağcıoğlu	Güneş	k=1,0448, h=0,3925, j=0,0122	P<0,0001	0,9730

Çizelge 6. Prosementi çeşidinde belirlenen ince tabakalı kurutma modellerine ait bazı değerler

Table 6. Some values of thin layer drying models determined in prosementi variety

Model adı	Sıcaklık (°C)	Model sabitleri	P	R ²
Midilli	50	k=0,7767, h=0,9949, j=0,2647, m=-0,0127	P<0,0001	0,9990
	60	k=0,9411, h=0,9987, j=0,3549, m=0,0057	P<0,0001	0,9954
	70	k=1,0361, h=0,9969, j=0,3723, m=0,0285	P<0,0001	0,9996
Page	50	k=0,2590, h=0,9476	P<0,0001	0,9942
	60	k=0,3567, h=1,0066	P<0,0001	0,9943
	70	k=0,4009, h=1,2424	P<0,0001	0,9965
Yağcıoğlu	50	k=1,0116, h=0,2063, j=-0,0494	P<0,0001	0,9963
	60	k=1,0282, h=0,3263, j=-0,0380	P<0,0001	0,9952
	70	k=1,2650, h=0,3138, j=-0,2666	P<0,0001	0,9996
Midilli	Güneş	k=1,8166, h=0,9809, j=0,1809, m=0,0039	P<0,0001	0,9975
Page	Güneş	k=0,2016, h=1,6874	P<0,0001	0,9943
Yağcıoğlu	Güneş	k=1,0827, h=0,3993, j=-0,0182	P<0,0001	0,9691

Sonuç

Yonca içerdiği besin değerleri açısından hayvan yemlemesinde oldukça yaygın şekilde kullanılan bir yem bitkisidir. Bu özelliğinden dolayı bitkinin uygun koşullarda uzun süre depolanıp kullanılabilmesi için uygun sıcaklıkta kurutulması ve kurutma karakteristiğinin bilinmesi önemlidir. Çalışmada kabin tip bir konvektif ve güneşe sererek uygulanan kurutma yöntemleri altında dört çeşit yonca bitkisinin kuruma özellikleri belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında en uzun kuruma süresi 16 saat ile güneş altında yapılan kurutma işleminde belirlenirken, en kısa kuruma süresi ise 4,5 saat ile konvektif kurutucuda 70°C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Etüvde 50, 60, 70°C sıcaklıklar ile açıkta güneşte kurutulan yonca çeşitleri için oluşturulan kuruma eğrileri arasında en iyi tahmin eden ince tabakalı matematiksel kurutma modelinin Midilli olduğu bulunmuştur. Yonca kurutulurken kurutma işletmeciliği (piyasaya kuru ürün sunumu, kurutma işleminin kontrol edilmesi vb.) açısından konvektif kurutucuda 70°C sıcaklıkta kurutulmasının diğer yöntemlere göre daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Abdoli B, Zare D, Jafari A, Chen G. 2018. Evaluation of the air-borne ultrasound on fluidized bed drying of shelled corn: Effectiveness, grain quality, and energy consumption. *Drying Technology*, 36(14): 1749-1766.

- Açıkgöz-Eryılmaz F, Aktaş T, Ellialtıoğlu ŞŞ, Devenci M, Şahin, FH. 2017. Latin Çiçeğinin (*Tropaeolum Majus* L.) Kurutulmasında Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması: Kurutma Kinetiklerinin Ve Bazı Kimyasal Özelliklerinin Değişimi. Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, (Proje No: NKUBAP.42.GA.16084).
- Açıkgöz-Eryılmaz F. 2015. Kuzukulağı (*Rumex Acetosa* L.) Bitkisinin Farklı Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulması Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, (Proje No: NKUBAP.00.MB.AR.15.01).
- Aghbashlo M, Kianmehr MH, Hassan-Beygi SR. 2010. Drying and rehydration characteristics of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation* 34(3): 351–365.
- Akpınar EK. 2006. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. *Journal of Food Engineering*, 77, 864–870.
- Amiri-Chayjan R, Kaveh M, Khayat, S. 2015. Modeling drying characteristics of hawthorn fruit under microwave-convective conditions. *Journal Food Processing Preservation*. 39, 239–253.
- Ando Y, Hagiwara S, Nabetani H, Sotome I, Okunishi T, Okadome H, Orikasa T, Tagawa A. 2019. Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple. *Journal of Food Engineering*, volume: 244, pp: 170-177.
- Avcıoğlu R, Hatipoğlu R, Karadağ Y. 2009. Yem bitkileri. *Buğdaygil Yem bitkileri ve Diğer Familyalardan Yem bitkileri*, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, İzmir, 843, İzmir.

- Branisa J, Jomova K, Porubská M, Kollar V, Simunkova M, Valko, M. 2017. Effect of drying methods on the content of natural pigments and antioxidant capacity in extracts from medicinal plants: a spectroscopic study. Chemical Paper, 71(10), pp: 1993–2002.
- Cihan, A., Kahveci, K. & Hacıhafızoğlu, O., 2007. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. Journal of Food Engineering, 79(1): 293-298.
- Dandamrongrak R, Young G, Mason R. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. Journal of Food Engineering, 55(2), pp:139-146.
- Doymaz I. 2004. Effect of dipping treatment on air drying of plums. Journal Food Engineering, 64(4), 465–470.
- Doymaz I. 2006. Thin-layer drying behavior of mint leaves. Journal Food Engineering, 74, pp. 370-375.
- Fan K, Chen L, He J, Yan F. 2014. Characterization of thin layer hot air drying of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) slices. Journal Food Processing Preservation 39, 1361– 1371.
- Göztok SP, İçier F. 2017. Karbon Fiber Destekli Kabin Kurutucuda Farklı Sıcaklıklarda Elma Dilimlerinin Kurutulmasının İncelenmesi: Kurutma Karakteristikleri ve Performans Değerlendirmesi. Akademik Gıda, 15(4), syf: 355-367.
- Haq R, Kumar P, Prasad K. 2015. Hot air convective dehydration characteristics of *Daucus carota* var. Nantes. Journal of Food Processing and Preservation, doi: 10.1111/jfpp. 12785.
- Midilli A. 2001. Determination of pistachio drying behaviour and conditions in solar drying system. International Journal of Energy Research, 25(8): 715–725.
- Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. 2002. A new model for single-layer drying. Dry Technologies, 20(7), pp. 1503-1513.
- Mohapatra D, Rao PS, 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering, 66(4): 513-518.
- Morad MM, El-Shazly MA, Wasfy KI, El Maghawry HAM 2017. Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel greenhouse dryer for drying peppermint plants. *Renewable Energy*, 101, pp: 992-1004.
- Lamharrar A, Idlimam A, Alouani A, Kouhila M. 2017. Modelling Of Thin Layer Solar Drying Kinetics and Effective Diffusivity Of *Urtica Dioica* Leaves. Journal of Engineering Science and Technology, 12(8), pp: 2141 – 2153.
- Özkurt M. 2018. Tokat-kazova ekolojik koşullarında farklı sıra arası ve tohumluk miktarlarının yonca (*Medicago sativa* L.)'da ot verimi ve kalite karakterleri üzerine etkileri. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Tokat, 2018.
- Özkurt M, Saygılı İ. Özdemir-Dirik K. 2018. Bazı yonca (*Medicago sativa* L.) Çeşitlerinin Erken Gelişme Dönemindeki Tuz Toleransının Belirlenmesi. Uluslararası Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1 (3), 251-258. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/ijans/issue/41538/501891>.
- Page GE. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layers. *M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.*
- Polatçı H, Taşova M. 2017. Sıcaklık Kontrollü Mikrodalga Kurutma Yönteminin Alıç (*Crataegus* spp. L.) Meyvesinin Kuruma Karakteristikleri ve Renk Değerleri Üzerine Etkisi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(10): 1130-1135.
- Sablani S, Rahman S, Al-Habsi N. 2000. Moisture diffusivity in foods-an overview. *Drying Technol. in Agriculture and Food Sciences*, Science Publishers, USA, pp. 35-59.
- Salim NS, Gariepy MD, Raghavan V. 2016. Application and the Techno-economical Aspects of Integrated Microwave Drying Systems for Development of Dehydrated Food Products. Journal of Food Processing and Preservation, ISSN 1745-4549.
- Sanghi A, Ambrose RPK, Maier D. 2018. CFD simulation of corn drying in a natural convection solar dryer. *Drying Technology*, 39(7): 859-870.
- Srikiatden JJ, Roberts S. 2006. Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. *Journal Food Engineering*, 74, pp. 43-152.
- Şevik S. 2013. Design, experimental investigation and analysis of a solar drying system. *Energy Conversion and Management*, volume: 68, pp: 227-234.
- Ünal HG, Saçılık K. 2011. Drying characteristics of hawthorn fruits in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35, pp: 272-279.
- Viyaja V, Raman S, Iniyan S, Goic R. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume: 16, pp: 2652– 2670
- Yağcıoğlu A. 1999. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayımları No: 536. Bornova, İzmir.