



Kültür Mantarı Dilimlerinin Kurutulmasında Isı Pompalı Sisteminin Enerji Performansının İncelenmesi

Cüneyt TUNÇKAL^{1*}

Öz: Farklı kalınlıklarda dilimlenmiş tamamen kapalı döngü bir ısı pompalı kurutucu (IPK) 40°C'lik kurutma sıcaklığında dilimlenmiş kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) kurutulmuştur. Kurutma sistemi çalışması sırasında, yoğuşturucu tarafından kurutma havasına verilen ısı miktarı ile buharlaştırıcı tarafından kurutma havasından çekilen ısı miktarı her bir dakikalık zaman diliminde bulunarak IPK sisteminin ortalama performans katsayısı (ITK_{sis}) hesaplanmıştır. Denemeler, 1 m/s kurutma hava hızında gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda dilimlenmiş kültür mantarları 8.234 g-su/g-kuru madde su oranından 0.932 g-su/g-kuru madde su oranına sırasıyla 4, 6 ve 8 mm dilim kalınlıklarında 305, 355 ve 415 dakikada kurutulmuştur. Ortalama yoğuşturma kapasitesi ($Q_{yoğ}$) 2.350, buharlaştırma kapasitesi (Q_{buh}) ise 1.610 olarak belirlenmiştir. Sistem için en yüksek ortalama ısı pompası performans katsayısı (ITK_{sis}) 3.157 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, kurutma, kültür mantarı, performans analizi.

Investigation of Energy Performance of Heat Pump System in Drying of Mushroom Slices

Abstract: The sliced culture fungus (*Agaricus bisporus*) at different thicknesses was dried at a drying chamber temperature of 40 °C using a fully closed cycle heat pump dryer (IPK). During the drying system operation, the

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Cüneyt TUNÇKAL, Yalova Üniversitesi, Yalova MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Yalova, Türkiye, cuneyt.tuncikal@yalova.edu.tr, [OrcID 0000-0002-9395-3534](https://orcid.org/0000-0002-9395-3534)

Atıf/Citation: Tunçkal, C. 2019. Kültür Mantarı Dilimlerinin Kurutulmasında Isı Pompalı Sisteminin Enerji Performansının İncelenmesi. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 33 (1), 101-112.

amount of heat supplied to the drying air by the condenser and the amount of heat drawn from the drying air by the evaporator were found in each minute period and the average performance coefficient (ITK_{sis}) of the IPK system was calculated. Experiments, drying speed of 1 m/s without any pretreatment. At the end of the experiments, the sliced cultured fungi which had a water content varying between 8.234 g-water / g-dry matter water to 0.932 g-water / g-dry matter water and the slurry thicknesses of 4, 6 and 8 mm were dried at 305, 355 and 415 minutes, respectively. Also, average condense capacity (Q_{con}) and evaporation capacity (Q_{evap}) were determined as 2.350 and 1.610, respectively. The value of maximum average heat pump performance coefficient value was calculated as 3.157 for all system.

Keywords: Cultured fungus, dryer, heat pump, performance analysis.

Giriş

Mantarlar çabuk bozulabilir ve taze mantarların kendi yaşamları ortam koşullarında yalnızca yaklaşık 24 saattir (Salehi ve ark. 2017). Bu nedenle, mantar ürünü makul bir maliyetle yıl boyunca kullanılabilmesini sağlayacak şekilde konserve, asitleme ve kurutma gibi bir şekilde muhafaza edilmelidir. Taze mantarlar bazen raf ömrünü uzatmak için kurutulur. Kurutulmuş mantar doğrudan doğal koşullar ve çeşitli çorba karışımları için maddeler olarak kullanılır veya kullanılmadan önce rehidre (tekrar su alma) edilir (Rhim ve Lee, 2011; Salehi ve ark. 2017).

Kurutma endüstrisi, gıdanın haricinde kağıt, kereste, çimento, tekstil, kimya ve ilaç sanayi gibi birçok sanayi dalında da kullanılmaktadır.

Tüketilen enerjinin ekonomik olması bakımından en uygun kurutma yöntemini seçmek çok önemlidir. Gelişmiş ülkelerde ulusal enerjinin önemli bir kısmı kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Ürün kurutma maliyeti, toplam giderlerin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji tasarrufu dünya ekonomisi için önemli bir hedefdir ve öyle olmaya da devam edecektir. Daha az enerji kullanmanın en etkin yolu ise, enerjiyi daha faydalı kullanmaktır (Çapar ve Gökbulut, 2013).

Strommen et al. (2002), ısı pompalı kurutucuların aynı sıcaklıktaki kurutma işlemi için geleneksel kurutuculara göre %60 ile %80 daha az enerji tükettiğini bulmuşlardır.

Phani ve ark. (2005), kapalı tip ısı pompası destekli kurutma sisteminde 30–35°C sıcaklıklarda kurutulması gereken bitkileri kurutmuşlardır. Özgül nem çekme oranını (ÖNÇÖ) 0,006–0,61 kg/kWh arasında hesaplamışlardır. Elektrik ısıtıcılı (fırın) geleneksel sistem ile ısı pompası destekli kurutma sisteminin karşılaştırmışlar ve ısı pompası destekli sistemde kurutma süresinin %65 düştüğünü, tüketilen enerjinin ise %22 azaldığını tespit etmişlerdir.

Mantar kurutma ile ilgili oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Nehru ve ark. (1995), “Pleurotus Florida” tipi mantarı güneşli kurutucuda nem miktarını %10’a düşürmek için geçen süreyi ortalama 5.5 ile 6.5 saat arasında bulmuştur. Pal ve Chakraverty (1997), kurutma sıcaklığı 45, 50 ve 60°C ve hava hızı 0.9 ve 1.6 m/s arasında iken

yapılan ön işlemin mantarda kaliteye etkilerini inceleyen bir araştırma gerçekleştirmişler kuruma süresi ile kalitede özellikle 50°C sıcaklık ve 0.9 m/s hızda ön işlemlili ve ön işlemsiz mantarlar için kaliteli kuru ürün elde edilebileceğini söylemişlerdir. Helvacı ve ark. (1999), kuruma sonuna doğru mantar dilimleri içindeki nemin azalması sebebiyle ürün yüzeyindeki sıcaklığın hızla arttığını ifade etmişlerdir. Midilli ve ark. (1999), mantarları laboratuvar tipi bir kurutucuda, Toğrul ve ark. (2005) infrared kurutucuda, Xanthopoulos ve ark. (2007) ince katmanlı kurutucuda ve Kulshreshtha ve ark. (2009), akışkan yataklı bir kurutucuda sıcak hava kullanarak kurutmuşlardır. Şevik ve ark. (2013), başlangıç nem içeriği 13.24 g-su/ g-kuru madde olan mantarı 0.07 g-su/g-kuru madde nem içeriğine kadar, 45 ve 55°C kurutma havası sıcaklığında güneş enerji sistemi ve ısı pompası sistemiyle hem ayrı ayrı hem de birlikte kurutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre sistemin performans katsayısını (ITK) 2.1 ile 3.1 arasında, özgül nem çekme oranının (ÖNÇO) ise 0.26 ile 0.92 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Şevik ve ark. (2013), 45°C ve 55°C sıcaklıkta ve 0.9 m/s ve 1.2 m/s hızlarında sadece güneş enerjisiyle ve güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucu iki ayrı sistemde mantar kurutarak test etmişlerdir. Denemelerde elde edilen verileri yapay sinir ağları ile modellemişlerdir.

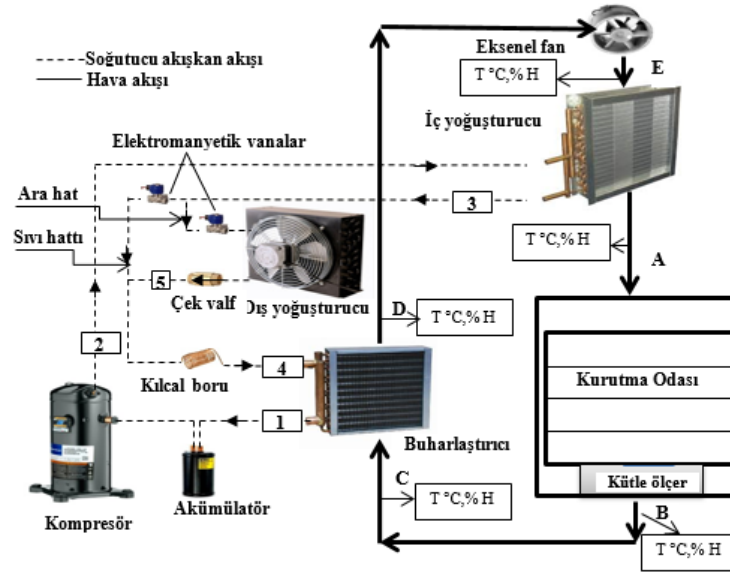
İmal edilen kapalı döngülü ısı pompalı kurutma sistemi yardımıyla 1 m/s hava hızı ve 40 °C sıcaklık şartlarında, 4, 6 ve 8 mm dilim kalınlıklarında kültür mantarları kurutulmuştur. Kurutma sonunda ısı pompası kurutucu performans verimi, çalışma esnasındaki buharlaştırıcı ve yoğuşturucu kapasiteleri her bir dakikalık sürelerde hesaplanarak incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Deney Düzenegi

Her bir denemede 392 g kütlelerinde dilimlenmiş kültür mantarları kurutulmuştur (Şekil 1). İmal edilen kurutma sistemi; ısı pompası, fan, kanal sistemi, 60x60x60 cm³ boyutlarındaki kurutma odası ile 46x42x2 cm³ boyutlarında ve 1.2x1 cm² dikdörtgen paslanmaz çelik telli tepsilerden oluşmaktadır. Isı pompalı kurutma (IPK) deney düzeneginde birbirine seri olarak bağlanmış iç ve dış olmak üzere iki adet yoğuşturucu kullanılmıştır.

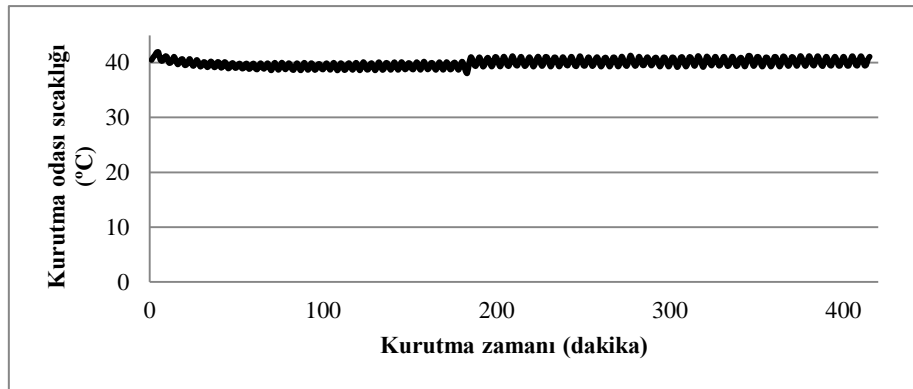
Kurutma havası Şekil 1’de gösterildiği gibi, aksnel fan yardımıyla dolaştırılmakta ve kesinlikle dışarıdan taze hava alınmamaktadır. İç yoğuşturucudan geçirilen kurutma havası (E) ısınarak kurutma odasına girmekte (A), ürün içindeki nemi bünyesine alarak, daha yüksek nemde kurutma odasından ayrılmaktadır (B). Buharlaştırıcı üzerinden geçen nemli hava bünyesindeki nemi, buharlaştırıcı boruları üzerine bırakarak sıvı hale gelmektedir (C-D). Buharlaştırıcının altında toplanan ürünün suyu hortum vasıtasıyla sistemin dışına koyulan kabın içine dolmaktadır. Sistem içerisinde dolaşan soğutucu akışkan ise, kompresör tarafından emilerek yoğuşturucuya gönderilmekte (1-2) daha sonra kılcal borudan geçirilip buharlaştırıcıya gönderilmektedir (3-4). Kurutma odası çıkış sıcaklığını (istenilen kurutma sıcaklığı) referans alan bir dijital termostat ile iç yoğuşturucuya seri şekilde bağlanan dış yoğuşturucu devreye girerek (5), kurutma odasının ±0.5 °C diferansiyel aralığında sabit sıcaklıkta tutulması sağlanmıştır (Tunçkal ve ark.(2016), Coşkun ve ark. (2017)). İmal edilen sistemin şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. İmal edilen kurutma sistemi şeması (Tunçkal ve ark.(2016), Coşkun ve ark. (2017))

Kurutma sistemi çalışırken dış yoğuşturucunun termostat yardımıyla devreye girmesiyle birlikte iç yoğuşturucu yükünün bir kısmı alınarak performans artırılmıştır. Yoğuşturma kapasitesi ile orantılı bir şekilde buharlaştırma kapasitesi de artmış ve böylece kurutma odasını terk eden havadan daha çok nem alınması sağlanmıştır.

Şekil 2’de 8 mm dilim kalınlığındaki kültür mantarlarının kurutulması esnasında her bir dakikalık periyotta ölçülen kurutma odası sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Kurutma odası sıcaklığı (her bir dakika için)

Kurutma sistemini meydana getiren malzemelerin teknik detayları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge1. Deneysel ısı pompalı kurutma sistemi bileşenlerinin özellikleri (Tunçkal ve ark. 2016)

Sistem elemanları	Teknik özellikler
Soğutma kompresörü	Dönel tip, güç 750 W.
Buharlaştırıcı	Alüminyum lamelli, ısı transfer yüzey alanı, 2.78 m ²
İç yoğuşturucu	Alüminyum lamelli, ısı transfer yüzey alanı, 3.60 m ²
Dış yoğuşturucu	Alüminyum lamelli, ısı transfer yüzey alanı, 1.56 m ²
Kurutma sistemi fanı	Aksiyal tip (nominal güç 50 W)
Dış yoğuşturucu fanı	Aksiyal tip (nominal güç 33 W)
Kılcal boru	100 cm uzunluk ve 1.5 mm iç çap
Soğutucu akışkan	Freon - 410a

Sistemde dolaşan kurutma havası hızı, 22x30 cm dikdörtgen kanal kesitinde 30 noktadan bir anemometre yardımıyla ölçülen hız değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir (Goodfellow ve Tahti, 2001). Kurutma kabini içerisine konulan üründeki kütle kaybını ölçmek için yük hücresi kullanılmış ve indikatör yardımıyla 5'er dakikalık aralıklar ile veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Sistemde dolaşan kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülerek, veri toplama cihazı yardımıyla her bir dakikada kaydedilmiştir.

Soğutucu akışkan alçak ve yüksek basınç değerleri dijital manifold ile tespit edilirken, sistemde dolaşan akışkan sıcaklıkları ise 4 kanallı termometre ile ölçülmüştür. Kompresör ve tüm sistemin tükettiği enerji miktarı dijital sayaç ile ölçülmüş ve her saat başı kaydedilmiştir. Kayıt altına alınan bütün veriler excel programında değerlendirilmiştir. Denemelerde kullanılan ölçü cihazları ve teknik detayları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri <(Tunçkal ve ark.(2016)>

Ölçülen kısım	Kullanılan cihazı	Ölçüm aralığı	Doğruluk
Ürün ağırlığı	Yük hücresi (ESİT SSP-40)	0-40 kg	±0.05 g
Kurutma hava hızı	Anemometre (TESTO 405)	0.1-10 m/s	±0.1 m/s
Ortam havası sıcaklık ve nem	Termal anemometre (TESTO 410-1)	-20 - +70°C 0.4 - 20 m/s	±0.5°C ±0.2 m/s
Kompresör ve fanların güç tüketimi	Dijital elektrik sayacı (MAKEL)	150V -300 V	0.5 s/day
Isı pompası buharlaştırıcı ve yoğuşturucu çalışma basınçları	Dijital Manifold (TESTO 570-2)	0-50 bar	±0.1 bar
Isı pompası çalışma dış boru sıcaklıkları	4 kanallı dataloger termometre (Extech)	-40 - +250°C	±0.5°C
Kurutma oda sıcaklığı	Dijital termostat NTC sensor (EVCO evkb21)	-50 - +130°C	±0.1°C
Kurutma havası sıcaklık ve bağıl nem	5 kanallı(A-B-C-D-E) datalogger (Humlog20 E)	0-100% RH -40 ile +80 °C	±2% RH ±0.4°C

Deney Prosedürü

Deneyler sırasında, sisteme bağlanan dijital bir termostat yardımıyla yine sistemde bulunan elektromanyetik vanaların kontrolü ile, kurutucu çıkışındaki kurutma havası sıcaklığı 40 °C'de ±0.5 °C hassasiyetinde tutulmaya çalışılmıştır.

Kurutulan ürünlerin tam kuru ağırlığı nem tayin cihazıyla bulunmuştur. Tam kuru ağırlığı belirleyebilmek için, üründen 3 gram kütle alınarak örnek 70 °C’de etüve konulmuş ve kurutma kütlesi sabit bir değerde duruncaya kadar kurutulmuştur (Cemeroğlu 2010). Birbirini takip eden iki ölçüm sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda ürünler tam kuru kabul edilmiştir.

Isı Pompalı Kurutma Sistemi Performans Analizi

Bu çalışmada, farklı dilim kalınlıklarında kesilen numunelerinin kurutulması gerçekleştirilmiş ve bu sırada ısı pompası ve tüm sistemin performansı gözlenmiştir.

Kurutma sisteminde bulunan fanlarda enerji tükettiğinden dolayı, toplam enerji tüketimine eklenmiştir. Sistemin performansını ifade eden Isıtma Tesir Katsayısı (ITK_{sis}) değerleri bulunmuştur.

Isı pompasının ve tüm sistemin ITK değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır. Isı pompasının ITK ’sı Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ITK_{ip} = \frac{\dot{Q}_{yog}}{\dot{W}_{komp}} \dots\dots\dots (1)$$

Tüm sistemin ITK ’sı ise Eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

$$ITK_{sis} = \frac{\dot{Q}_{yog}}{\dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fan,i} + \dot{W}_{fan,d}} \dots\dots\dots (2)$$

İç yoğurturucu tarafından kurutma havasına aktarılan ısı miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{m}_h(h_A - h_E) \dots\dots\dots (3)$$

Buharlaştırıcı tarafından kurutma havasından çekilen ısı miktarı Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_h(h_C - h_D) \dots\dots\dots (4)$$

ÖNÇÖ (özgül nem çekme oranı), üründen çekilen neme karşılık toplam tüketilen enerji miktarı olarak tanımlanmakta olup aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Jia et al. 1990).

$$\text{ÖNÇÖ} = \frac{\dot{m}_s}{\dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fan,i} + \dot{W}_{fan,d}} \dots\dots\dots (5)$$

Ürün dilimlerinin kuru esasa göre nem miktarı;

$$MC_{KA} = \frac{M_{YA} - M_{KA}}{M_{KA}} \dots\dots\dots (6)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır (Aktaş, 2007).

Bulgular ve Tartışma

Denemelerde kurutma sisteminin konulduğu ortam sıcaklığı 19,5°C ve nem değeri ortalama %40 olarak tespit edilmiştir. Kültür mantarının kurutulması sırasında tüketilen toplam enerji miktarları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kurutma sistemi enerji tüketimi

Tüm Sistem Enerji Tüketimi (kWh)			
Dilim Kalınlığı (mm)	4	6	8
Toplam (kWh)	3.79	4.536	5.258

Enerji tüketimi dilim kalınlığının artmasına bağlı olarak orantılı şekilde artmıştır. Kurutma kabini içerisindeki yüzey sıcaklığı belli bir süreden sonra artınca ve dengeye ulaşıncaya kadar bununla orantılı olarak saatlik enerji tüketimi de azalmıştır.

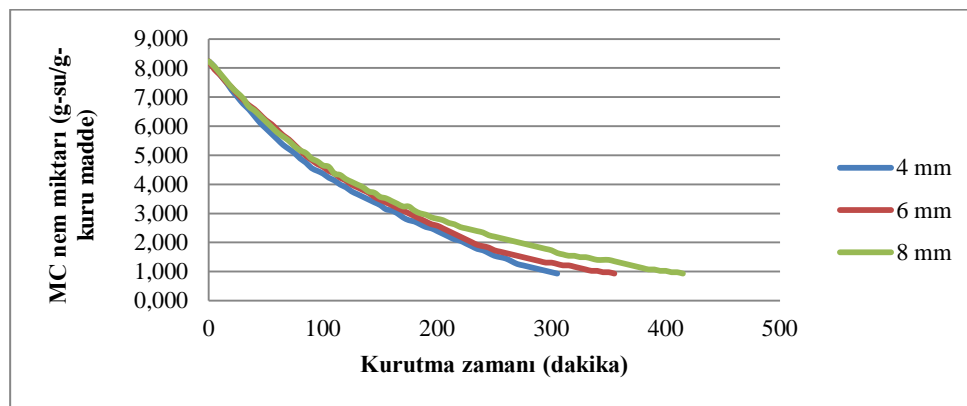
Kurutma süresine bağlı olarak tüm sistemin ÖNÇÖ değeri (kg/kWh) (5) numaralı formül yardımıyla saatlik olarak hesaplanmış ve ortalaması alınarak Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kurutma süresine göre özgül nem çekme değerleri (ÖNÇÖ)

ÖNÇÖ (kg/kWh)			
Dilim Kalınlığı (mm)	4	6	8
Ortalama ÖNÇÖ	0.081	0.067	0.058

Hesaplanan ÖNÇÖ değerlerinin az çıkmasının tek nedeni, kurutma sistemine koyulan ürün miktarının (392 g.) çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Denemesi yapılan bütün farklı dilim kalınlıklarında ilk iki saatte ÖNÇÖ değerleri en yüksek değer olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer ise 4 mm kalınlıkta bulunmuştur. Phani ve ark. (2005) hesapladıkları ÖNÇÖ değerlerine yakın değerler çıktığı ve uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

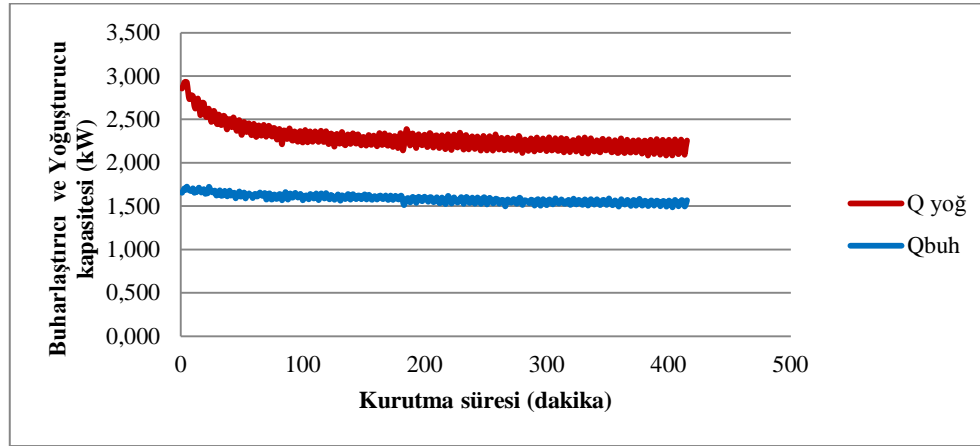
Zamana bağlı olarak kuru esasa göre nem miktarı Eşitlik (6) yardımıyla hesaplanmış ve grafik halinde Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Üründe nem miktarlarının değişimi

Görüldüğü gibi kurutma süresinin ilk 50 dakikasına kadar grafik çizgilerinde belirgin bir değişiklik gözlenmezken, bu süreden itibaren dilim kalınlıkları farkı nemin çekilmesindeki etkisini göstermiştir.

Isı pompalı kurutma sisteminin performansını hesaplayabilmek için Şekil 1’de gösterildiği gibi, belirlenen beş noktadan aynı anda her bir dakikada sıcaklık ve bağıl nem verileri kaydedilerek Eşitlik (3 ve 4)’te yerine konulmuş $Q_{yoğ}$ ve Q_{buh} kapasite hesabı yapılarak grafik halinde Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te 8 mm dilim kalınlığı için hesaplanan değerler grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4. Buharlaştırıcı ve Yoğuşturucu kapasitesi (kW)

Ayrıca yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasiteleri saatlik olarak ortalamaları alınarak Çizelge 5’te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 5. Kurutma sistemi yoğuşturucu ve buharlaştırıcı kapasiteleri (kW)

Kurutma zamanı (saat)	Dilim Kalınlıkları (mm)					
	4		6		8	
	$Q_{yoğ}$	Q_{buh}	$Q_{yoğ}$	Q_{buh}	$Q_{yoğ}$	Q_{buh}
1	2,621	1,663	2,610	1,699	2,558	1,655
2	2,359	1,634	2,353	1,653	2,326	1,617
3	2,384	1,635	2,311	1,630	2,265	1,603
4	2,335	1,614	2,380	1,627	2,254	1,573
5	2,272	1,593	2,321	1,633	2,218	1,557
6			2,293	1,639	2,198	1,546
7					2,185	1,539
Ortalama	2,394	1,628	2,378	1,647	2,286	1,584

Çizelge 5’te de görüldüğü gibi farklı dilim kalınlıklarında kapasiteler $Q_{yoğ}$ 2.350, Q_{buh} 1.610 civarında çıkmıştır.

Yukarıdaki verilerde hesaba katılarak ürünlerin kurutulması esnasında, tüm sistemin ve ısı pompasının ITK değerleri Eşitlik (1 ve 2) yardımıyla saatlik olarak hesaplanarak ortalaması alınmış ve Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Tüm sistemin ve kompresörün performans katsayısı

"Kalınlığı(mm)	ISITMA TESİR KATSAYISI (ITK)	
	TÜM SİSTEM	ISI POMPASI
4	3.157	3.430
6	3.144	3.418
8	3.042	3.306

Görüldüğü gibi, hesaplanan ITK değerleri 40°C'lik kurutma sıcaklığı değerinde birbirine yakın çıkmıştır. Şevik ve ark. (2013), buldukları ITK değerlerinden biraz daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Tabii bu durumu kurutma odası sıcaklığı ile de ilişkilendirmek gerekir. Şevik ve ark. (2013), 45 ve 55°C kurutma odası sıcaklığında çalışmışlardır.

Sonuç

Tasarlanan ve imal edilen kapalı devre bir ısı pompalı kurutma sisteminde, farklı dilim kalınlıklarında ürünün kurutulması esnasında elde edilen veriler değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada, dilim kalınlıklarına göre tüm sistemin ITK_{sis} değerleri sırasıyla 4 mm 3.157, 6 mm 3.144 ve 8 mm dilim kalınlığında ise 3.157 bulunmuştur. Çalışma konusu ile ilgili dünyada yapılan diğer çalışmalarda ise;

Qiu ve ark. (2016) güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutma sisteminde mantar kurutmuşlar ve ITK_{sis} değerini 3.21 ile 3.49 arasında hesaplamışlar,

Aktaş ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Isı pompalı kurutma sisteminde havuç dilimlerini 0.5 m/s hava hızında ve 45 ve 50°C'lik kurutma sıcaklığında kurutmuşlar ve ITK_{sis} değerleri 2.87 ile 2.96 arasında çıkmıştır.

Ceylan ve ark. 2008 Hazelnup meyvesi kurutmuşlar ve ITK_{sis} değerini 40°C kurutma sıcaklığında 1.40 olarak hesaplamışlardır.

Mohanraj (2014) hibrit güneş enerjisi kaynaklı ısı pompalı kurutucuda ortalama 43.2 °C'de hindistan cevizi kurutmuş ve ITK_{sis} değerini ortalama 2.54 hesaplamıştır.

Yapılan çalışmada yoğuşturucu kapasiteleri ortalama olarak 4, 6 ve 8 mm dilim kalınlıklarında 2.394, 2.378 ve 2.286 değerlerinde bulunmuştur. Mohanraj (2014) çalışmasında ise yoğuşturucu kapasitesini ortalama 3.29 kW olarak hesaplamıştır. Mohanraj (2014) yaptığı çalışmada daha büyük yoğuşturucu seçmiştir.

Klasik kurutma sistemlerine göre oldukça avantajları olan bu sistemin kullanılması enerji verimliliği yönünden oldukça önemlidir. Kapalı döngü ısı pompalı kurutma sisteminde kurutma odasından ayrılan kurutma odasının nemi alınarak tekrar kurutma odasına gönderilmekte ve böylece önemli bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu sistem ile kapalı sistem kurutma işlemi uygulandığından, güneşe serme kurutma işlemi gibi hemen hemen aynı sıcaklıkta (40°C) kurutma işlemi gerçekleştirilirken, ürünün toz veya pisliklere maruz kalması önlenmektedir.

ve daha hijyenik ortamda kurutulması sağlanmaktadır. Ayrıca kurutma işlemi günler değil, saatlerde bitirilerek zamandan büyük tasarruf sağlanmaktadır.

Semboller

ITK_{ip}	Isı pompası ısıtma tesir katsayısı
ITK_{sis}	Sistem ısıtma tesir katsayısı
\dot{W}_{komp}	Kompresör güç tüketimi [kW]
\dot{Q}_{yog}	Yoğuşturucu tarafından havaya iletilen ısı miktarı [kW]
Q_{buh}	Buharlaştırıcı tarafından havadan alınan ısı miktarı [kW]
$\dot{W}_{fan,i}$	İç fanın enerji tüketimi [kW]
$\dot{W}_{fan,d}$	Dış fanın enerji tüketimi [kW]
\dot{m}_h	Kurutma havası kütleli debisi [kg/s]
h_A	İç yoğuşturucu çıkışındaki kurutma havasının özgül entalpisi [kJ/kg]
h_E	İç yoğuşturucu girişindeki kurutma havasının özgül entalpisi [kJ/kg]
h_C	İç buharlaştırıcı çıkışındaki kurutma havasının özgül entalpisi [kJ/kg]
h_D	İç buharlaştırıcı girişindeki kurutma havasının özgül entalpisi [kJ/kg]
ÖNÇÖ	Özgül nem çekme oranı [kg/kWh]
\dot{m}_s	Üründen buharlaştırılan su miktarı [kg/h]
M_{YA}	Yaş ağırlık [g]
M_{KA}	Kuru ağırlık [g]
MC_{KA}	Kuru esasa göre nem miktarı [g-su/g-kuru madde]
T	Sıcaklık [°C]
H	Bağıl nem [%]

Alt Simge

ip	ısı pompası
sis	sistem
komp	kompresör
yog	yoğuşturucu
buh	buharlaştırıcı
h	Hava
s	Yoğuşan su
i	İç
d	Dış

Kaynakça

- Aktaş, M., A. Khanlari, A. Amini, S. Şevik. 2017. Performance analysis of heat pump and infrared-heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology *Energy Convers Manage.* 132 pp. 327-338.
- Aktas, M. 2007. Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cemeroğlu, B. 2010. Gıda Analizleri. Genişletilmiş 2. baskı, Gıda Teknolojileri Derneği. No:34. Ankara.
- Ceylan, İ. ve M. Aktaş. 2008. Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 23(1), 215-222.
- Coskun, S., I. Doymaz, C. Tunckal and S. Erdogan. 2017. Investigation of drying kinetics of tomato slices dried by using a closed loop heat pump dryer. *Heat Mass. Tran.*;53:1863-71.
- Çapar, B. ve S. Gökbulut. 2013. Farklı Kurutma Metotlarıyla Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite Özelliklerinin ve Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Goodfellow, H. and E. Tahti. 2001. Industrial ventilation design guidebook. Academic Press.
- Helvacı, Ş., S. Yapar ve S. Peker. 1999. Mantar kurutulması için bazı pratik öneriler. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Güncel Konular Serisi. No:1. Kurutma Temel İlkeleri ve Endüstriyel Uygulamaları (Eds. S. Peker, S. Yapar. 47-52. İzmir.
- Kulshreshtha, M., A. Singh, Deepti and Vipul. 2009. Effect of drying conditions on mushroom quality. *School of Engineering, Taylor's University College, Journal of Engineering Science and Technology* 4(1): 90-98.
- Jia, X., P. Jolly and S. Clements. 1990. Heat pump assisted continuous drying part 2:Simulation results. *International Journal of Energy Research.* (14): 771-782.
- Midilli, A., H. Olgun and T. Ayhan. 1999. Experimental studies of mushroom and polen drying. *International Journal of Energy Research* 23: 1143-1152.
- Mohanraj, M. 2014. Performance of a solar-ambient hybrid source heat pump drier for copra drying under hot-humid weather conditions. *Energy Sustain. Dev.* 23. 165-169.
- Nehru, C., V. Kumar, C. Maheswari and L. Gothandapani. 1995. Solar drying characteristics of oyster mushroom. *Mushroom Research* 4 (1): 27-30.
- Pal, U. S. and A. Chakraverty. 1997. Thin-layer convection drying of mushrooms. *Energy Conversion and Management* 38(2): 107-113.
- Phani, K.A. and J.S. Greg. 2005. Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis. *International Journal of Energy Research.* 29: 961-972.
- Rhim, J.W. and J.H. Lee. 2011. Drying kinetics of whole and sliced Shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*). *Food Sci. Biotechnol.* 20: 419-427.

- Salehi, F., M. Kashaninejad and A. Jafarianlari. 2017. Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices. *Heat and Mass Transfer*, 53, 1751-1759.
- Strommen, I., T. M. Eikevik., O. Alves-Filho., K. Syverud and O. Jonassen. 2002. Low temperature drying with heat pumps new generations of high quality dried products. 13 th International Drying Symposium.
- Şevik, S., M. Aktaş, H. Doğan and S. Koçak. 2013. Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management* 72: 171-178.
- Toğrul, H., İ. Toğrul ve A. İspir. (2005). Mantarların ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.
- Tunçkal, C., S. Coşkun ve S. Erdoğan. 2016. Kapalı döngü bir ısı pompalı kurutma sisteminin performans analizi. *Isi Bilimi ve Tekniği Dergisi*. 36 (1). 161-172.
- Qiu, Y., M. Li, R.H.E. Hassanien, Y.F. Wang, X. Luo and Q.F. Yu. 2016. Performance and peration mode analysis of a heat recovery and thermal storage solar-assisted heat pump drying system *Sol. Energy*. 137 pp. 225-235.
- Xanthopoulos, G., G. Lambrinos and H. Manolopoulou. 2007. Evaluation of thin-layer models for mushroom (*agaricus bisporus*) drying. *Drying Technology* 25: 1471-81.