

ISI POMPASI DESTEKLİ VAKUMLU KURUTUCU TASARIMI

Doğan GÜL*, Erkan DİKMEN, Arzu ŞENCAN ŞAHİN

Özet

Gıda ürünlerinin düşük sıcaklıklarda kurutulmasında ısı pompaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma işleminde kurutma yapılan hacmin düşük basınçta olması buharlaşmaya olumlu etki sağlamaktadır. Bu çalışmada, ekonomizerli ve ekonomizersiz vakumlu ısı pompalı bir kurutucu tasarımı yapılmıştır. Kurutma havası ve ısı pompası sisteminin termodinamik davranışı sayısal olarak modellenmiştir. Sonuç olarak, ekonomizerli vakumlu ısı pompalı kurutma sistem elemanlarının kapasitelerinin ekonomizersiz sistem elemanlarının kapasitelerinden yaklaşık % 20 daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakum, kurutma, ısı pompası, ekonomizer

DESIGN OF VACUUM HEAT PUMP DRYER

Abstract

Heat pumps are commonly used for drying operation in the low temperature of food products. Low pressures in the drying operation provide positive effect to evaporation. In this study, vacuum heat pump dryer with economizer and without economizer was designed. Thermodynamic behavior of heat pump system and drying air was numerically modeled. As a result, it is determined that component capacities of vacuum heat pump dryer with economizer are about less % 20 than component capacities of system without economizer.

Key words: Vacuum, drying, heat pump, economizer

1. GİRİŞ

Günümüzde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önem kazanan ısı enerjisi gereksiniminin minimum seviyeye indirgenebileceği ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına kuvvetle ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompası, en basit tanımı ile ekonomik değeri olmayan düşük ısıya sahip bölgeden ısıyı alarak ısıtılması düşünülen bölgeye pompalayan ve bu işi yapmak için daha az enerji harcayan (yaklaşık %20-25) bir sistemdir (Oktay, 1997).

Isı pompalı kurutucu sistemleri, iki mühendislik dalı olan ısı pompası ve kurutma mühendisliklerinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Isı pompalı sistemlerin diğer sistemlerden daha yüksek verimde çalışabilmesi nedeniyle, düşük kurutma sıcaklıklarında sıcaklık ve nemi kontrol edilebilir bir kurutma ortamında daha düşük enerji tüketilmekte ve daha kaliteli ürün elde edilebilmektedir (Mirza, 2006). Isı pompalı kurutucular çalışma şekli, kurutma aşama sayısı, ürün sıcaklığı, ısı pompası kademe sayısı, yardımcı ısı girişi ve ısı pompalı kurutucunun çalışması olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Chuvd., 2002).

* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Isparta
E-posta: dogangul87@gmail.com

Şekil 1’ de görüldüğü gibi ısı pompalı sistemler diğer yardımcı ısı kaynaklarıyla birleştirilerek hibrit sistemler oluşturulabilmektedir. Yapılan çalışmalarda yardımcı ısı kaynağı olarak radyo frekanslı, mikrodalga ve infrared sistemlerin kullanımının öne çıktığı görülmektedir. Bu kaynakların kullanımı ile ısı pompasına ek bir ısı güç sağlamanın yanı sıra, kurutma verimi ve kurutma süresi açısından da fayda sağlanmış olmaktadır.

Artnaseaw vd., (2010) yeni bir ısı pompalı vakumlu kurutucu tasarımı ve imalatı yapmışlardır. Kurutucuda sıcaklık ve basınç gibi parametrelerin kırmızı biberin kalitesi ve kuruma süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kurutma sıcaklığının artması ve kurutma basıncının azalmasıyla kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. Hem kurutma basıncının hem de kurutma sıcaklığının, kurutulan kırmızı biberlerin yüzey yapısı üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Tayland’ın kuzey doğusunda yetişen Shiitake mantarı ve Jinda kırmızı biberin bir ısı pompalı vakumlu kurutucuda kurutulmasını araştırmışlardır. Kurutma deneyleri, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 bar vakum basınçlarında ve 50, 55, 60 ve 65 °C kurutma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı ve basıncı parametrelerin kırmızı biberin ve mantarın renk karakteristikleri ve kuruma süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir(Artnaseaw vd., 2010).

(Hancioglu ve Hepbasli, 2007) defne yapraklarının dikey toprak kaynaklı ısı pompalı kurutucu ile kurutulmasında ekserji analizini yapmıştır. Yapılan çalışmada yaklaşık 40-50 °C arası sıcaklıkta ekserji verimliliği % 9.11–15.48 ürün/yakıt olarak bulunmuştur.

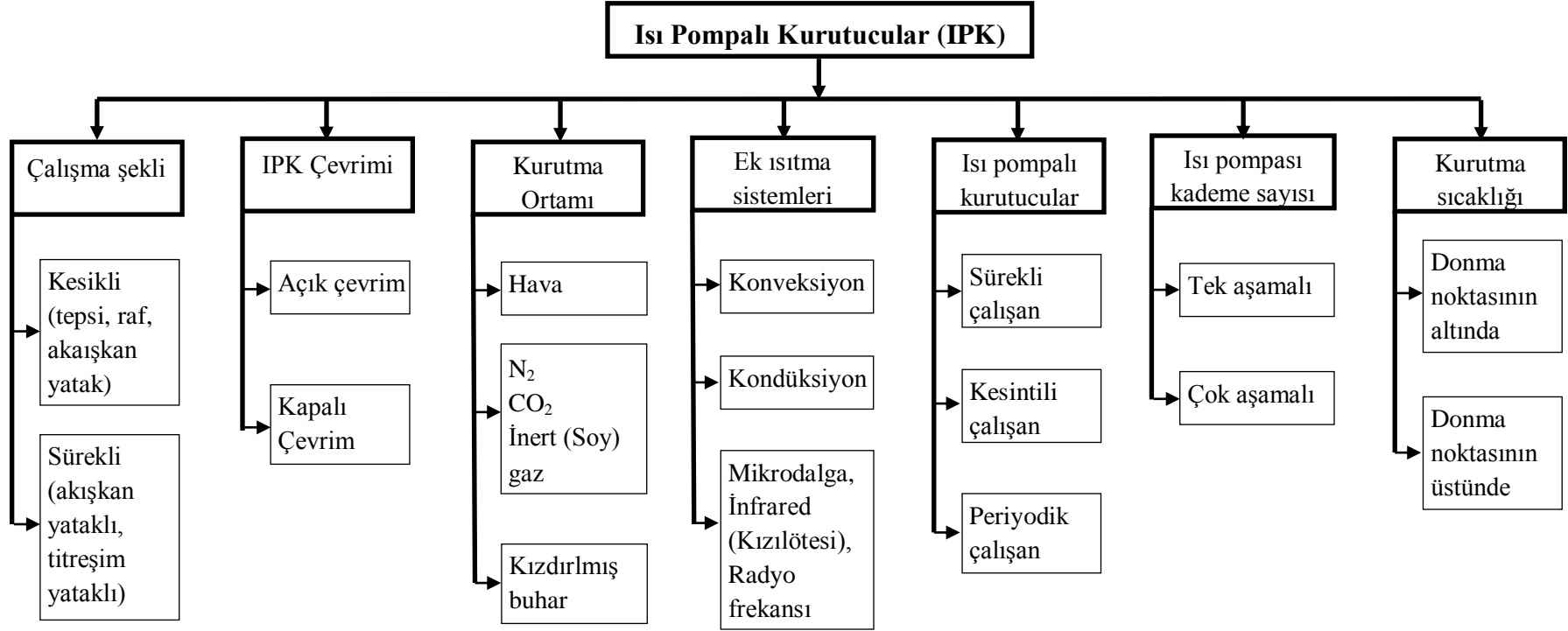
(Fatouh vd., 2006), ısı pompalı kurutucu kullanarak maydanoz, nane ve ebegümece kurutmuşlardır. Bu bitkilerin kurutulmasında gerek duyulan en düşük enerji tüketim değerleri maydanoz için 3684 kJ/kg, nane için 3982 kJ/kg ve ebegümece için 4029 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

(Soysal, 2011) PLC kontrollü, elektro manyetik güç ile çalışan vakumlu kurutucu tasarımı ve imalatı yapmıştır. Yapılan deneyde 500 g Amasya tipi elmanın 65 °C sıcaklık ve 20mmHg, 50mmHg ve 75mmHg basınçlarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, vakumlu kurutucunun harcadığı enerjinin azaldığı, kurutma hızının arttığı tespit edilmiştir.

(Tosun, 2009) çalışmasında ısı pompası destekli, ısı geri kazanımlı, raflı bir kurutucu tasarımı ve imalatı gerçekleştirmiştir. Kurutucuda bazı yüksek nemlilikteki tarım ürünlerinin kurutulması amaçlanmıştır. Kurutucuda, elma dilimlerini, 40 – 44 – 48 – 50 °C sıcaklıklarda kurutma deneyleri yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda ısı pompalı kurutucunun düşük nem ve sıcaklıkta çalışmasından dolayı ürün kalitesine olumlu etkisi olduğunu gözlemiştir.

Isı geri kazanımı destekli bir ısı pompası kurutucusunda kurutma havası ve ısı pompası sisteminin termodinamik davranışı sayısal olarak modellenmiş sabit hızlı kuruma periyodu esas alınarak, kurutma havası debisi, bağıl nemi ve ısı geri kazanım sistemi veriminin değişimlerinin enerji tüketimine etkisini araştırmış ve konu ile ilgili yazılım geliştirmiştir(Akgün, 2009).

Şekil 1. Isı pompalı kurutucuların sınıflandırması (Tsotsas ve Mujumdar, 2012)

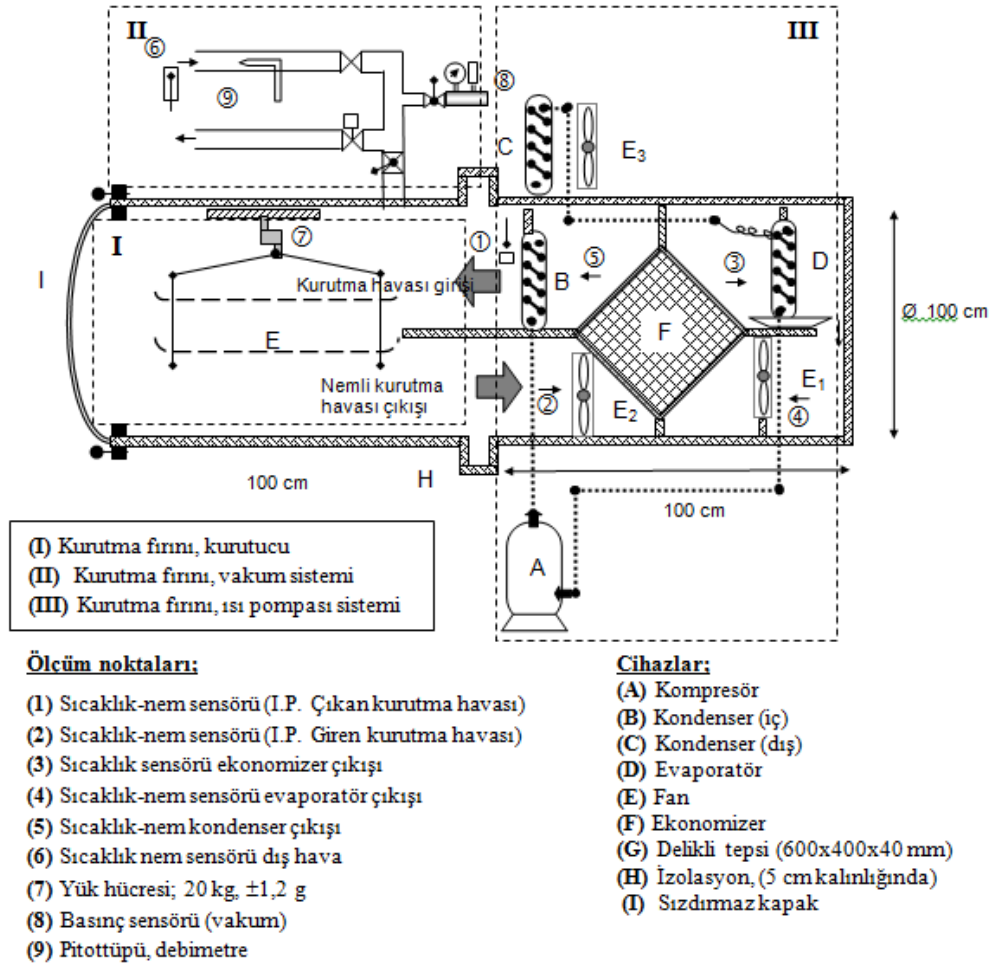


2. VAKUMLU ISI POMPASI SİSTEMİNİN TASARIMI

Isı pompası destekli vakumlu kurutucu üç ana bölümden oluşturulmuştur: kurutucu, vakum sistemi ve ısı pompası. Delikli tepsilerin raf üzerine yerleştirilebilmesi amacıyla kurutucu bölmenin bir tarafı sızdırmaz kapaklı (I) olarak yapılmıştır (Şekil 2). Vakum sistemi, kurutucu bölmenin gereksinimi olan vakum basıncı 0.25 bar değerine kadar vakum pompası yardımıyla sağlayabilmektedir. Isı pompası tasarımında enerji geri kazanımı amacıyla ekonomizer kullanılmıştır.

Kurutucu içinde kuru hava yük hücreğine bağlanıp asılı olarak duran raf bölümü (G) üstüne doğru yönlendirilecek ve ürün üzerinden geçtikten sonra alt bölümde yer alan nemli hava çıkışından bir fan (E2) yardımıyla ekonomizere (F) iletilmesi sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Sıcaklığı düşmüş nemli kurutma havası, evaporatörden (D) geçirilerek kurutma havasındaki nem miktarının düşürülmesi sağlanacaktır. Fan (E1) yardımıyla nemsiz soğuk kurutma havası ekonomizerden (F) geçerek sıcaklığı biraz yükseltilecektir. Daha sonra kondanserde (B) kurutma havası sıcaklığına ulaşması sağlanacaktır. Isı pompasının etkinliğini artırmak amacıyla evaporatör (D) ve kondenser (B) kurutucu girişine yerleştirilmiştir. Ayrıca ısı pompasının daha dengeli ve daha yüksek performansla çalışması için dış ortamda ek kondanser (C) ve fanı (E3) tasarlanmıştır.

Raf yük hücreğine asılarak kurutma süresince üründeki nem kaybı gerekli ölçüm cihazlarıyla kaydedilecektir. Üründen uzaklaştırılmak istenen nem miktarına ulaşıldığında sistem otomatik olarak durdurulabilecek otomasyon sağlanacaktır.



Şekil 2. Vakum basıncında çalışan ısı pompası kurutma sistemi

3.SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Sistemin teorik analizi için öncelikle ürüne bağlı özelliklerin ve kurutma koşullarının seçimi yapılmıştır. Buna göre kurutma yapılacak ürün olarak nane bitkisi seçilmiştir. Kurutma koşullarına ilişkin olarak 2 saat olarak öngörülen kurutma süresince kuruma hızının sabit olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 1).

Nane bitkisinin yaş ve kuru haldeki nem değerleri sırasıyla %80 ve %11 olarak alınmıştır (Gülçimen, 2008).

Çizelge 1. Sistemin teorik analizi için kullanılan parametreler

Ürün	Nane
Ürün miktarı	6 kg
Ürünün başlangıç nemi	% 80
Ürünün son nemi	% 11
Kurutma süresi	2 saat
Kurutucu giriş hava özellikleri	35°C % 20 bağıl nem
Kurutucu çıkış hava özellikleri	30°C % 35 bağıl nem
Buharlaştırıcı çıkış hava özellikleri	10°C % 92 bağıl nem
Isı pompası ısıtma tesir katsayısı (ITK)	3
Çalışma vakum basıncı	0,8 bar

Başlangıçtaki toplam kurutulacak madde miktarı (m_{ilk}) ve başlangıç nemi yaş bazda (y_i) olarak verildiğinde, son nemin (y_f) olması halinde son durumdaki ürün toplam kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Tosun, 2009) :

$$m_{son} = [(100 - y_i)/(100 - y_f)] \times m_{ilk} \quad (1)$$

Kurutma süresince üründen uzaklaştırılacak toplam su:

$$m_{su} = m_{ilk} - m_{son} \quad (2)$$

Kurutma için gerekli toplam hava miktarı:

$$m_h = \frac{m_{su}}{(w_2 - w_1)} \quad (3)$$

Kurutma süresi Δt olmak üzere buharlaşma hızı:

$$\dot{m}_{su} = \frac{m_{su}}{\Delta t_{kurutma}} \quad (4)$$

Evaporatör (buharlaştırıcı) kapasitesi:

$$Q_L = \dot{m}_h (h_2 - h_3) + h_f \dot{m}_{su} \quad (5)$$

Kondanser (yoğuşturucu) kapasitesi:

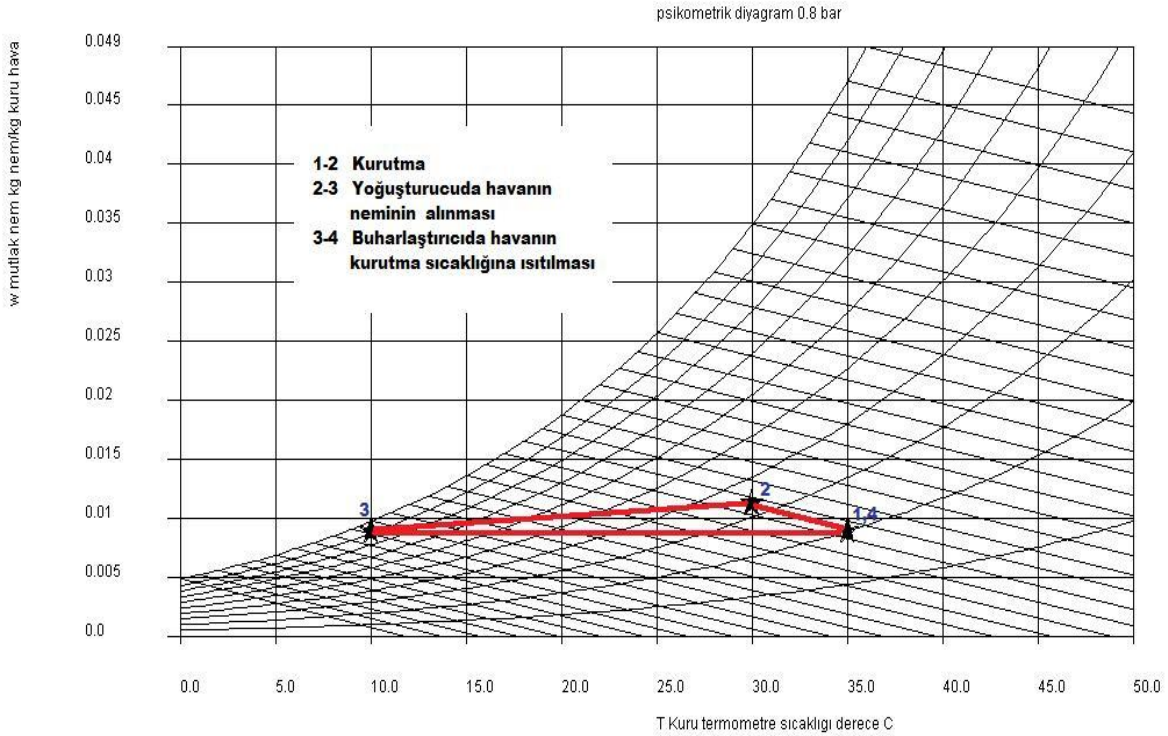
$$Q_H = \dot{m}_h(h_1 - h_3) \quad (6)$$

Kompresör gücü:

$$W_g = \frac{Q_H}{ITK} \quad (7)$$

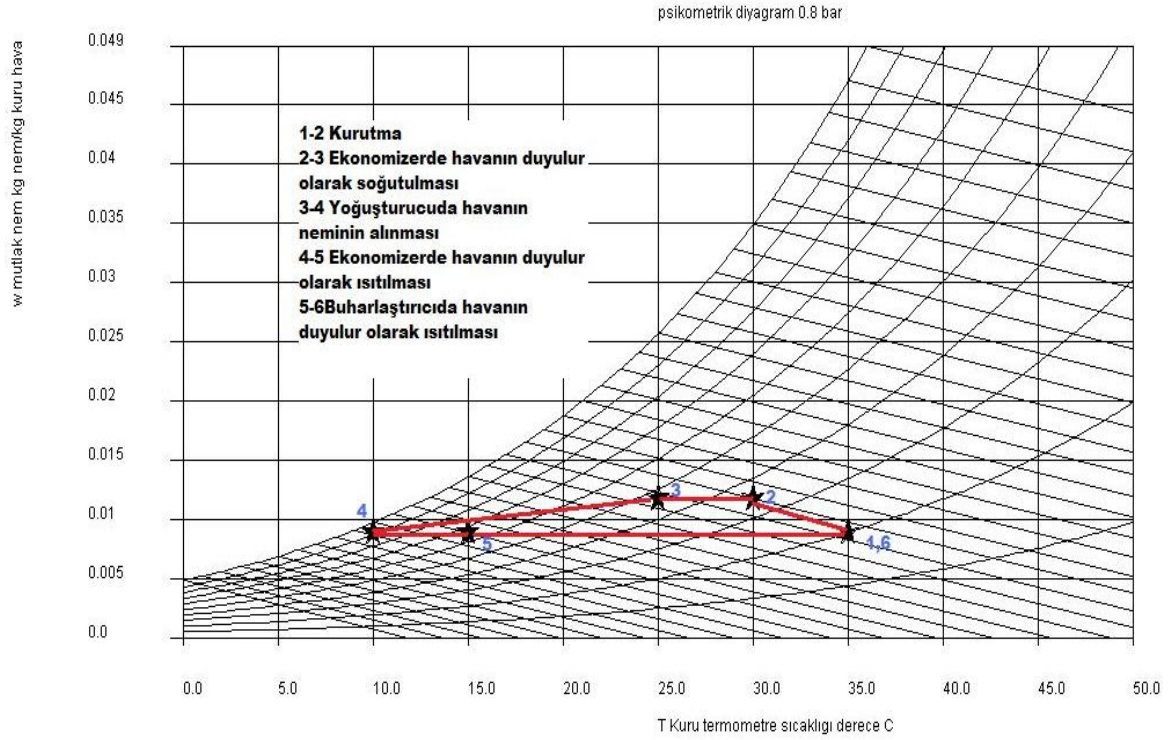
4. ÖRNEK HESAPLAMA:

Tasarımı yapılan ısı pompası destekli vakumlu kurutucunun termodinamik değerlendirilmesi amacıyla ön kabuller dikkate alınarak sistemin ekonomizeli ve ekonomizersiz koşullarda kurutma performansı belirlenmiştir. Şekil 3'te 0.8 bar çalışma basıncında ekonomizer bulunmayan kurutma sisteminde kurutma havası hareketinin psikometrik diyagramda termodinamik analizi verilmiştir.



Şekil 3. Isı pompası destekli vakumlu kurutucuda ekonomizersiz koşullarda kurutma havasının psikometrik diyagramı

Sisteme ekonomizer eklendiğinde Şekil 4'te verilen psikometrik diyagram üzerinde görüldüğü gibi yoğuşturucu öncesinde 5°C ön soğutma, buharlaştırıcı öncesinde 5°C ön ısıtma yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Isı pompası destekli vakumlu kurutucuda ekonomizerli koşullarda kurutma havasının psikometrik diyagramı

Çizelge 2. Isı pompası destekli vakumlu kurutucunun ekonomizerli ve ekonomizersiz koşullarda termodinamik analizi

Tanım	Simge	Ekonomizersiz Sistem	Ekonomizerli Sistem
Ürünün son durumdaki kütlesi	m_{son}	1.35 kg	1.35 kg
Kurutma boyunca uzaklaştırılacak toplam su	m_{su}	4.65 kg	4.65 kg
Buharlaşma hızı	\dot{m}_{su}	0.000645 kg/s	0.000645 kg/s
Kurutma havasının kütleli debisi	\dot{m}_h	0.2808 kg/s	0.2808 kg/s
Buharlaştırıcı kapasitesi	Q_L	7.83 kW	6.36 kW
Yoğuşturucu kapasitesi	Q_H	7.15 kW	5.71 kW
Kompresör kapasitesi	W_g	2.38 kW	1.9 kW

Hesaplamalar sonucunda ekonomizerli sistemin buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve kompresör kapasiteleri sırasıyla 7.83, 7.15 ve 2.38 kW olarak bulunmuştur. Ekonomizerli sistemde ise bu değerler 6.36, 5.71 ve 1.9 kW olarak bulunmuştur.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında ısı pompası destekli bir vakumlu kurutucu tasarlanmıştır. Nane kurutulması amacıyla, ekonomizerli ve ekonomizersiz kurutucunun verimliliği üzerine teorik bir analiz yapılmıştır. Kurutma sistemine ekonomizer ilave edilmesi durumunda, buharlaştırma kapasitesi ekonomizersiz hale göre %18.78 daha küçük seçilebilmektedir. Aynı şekilde, yoğuşturucu kapasitesi %20.14 ve kompresör yükü %20.17 değerlerinde azaltılmış olmaktadır.

Ekonomizerli koşullarda kurutma yapıldığında sistemdeki yoğuşturucu ve kondenser yükleri azalarak kompresörün güç tüketimi düşmekte dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Ekonomizerli sistemin yoğuşturucu buharlaştırıcı ve kompresör kapasitelerinin ekonomizersiz sisteme göre daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Sisteme eklenen ekonomizer ile 5°C'lik ön ısıtma ve ön soğutma yapılarak kompresörde saatte ortalama 0.5 kW/h enerji tasarrufu sağlanacağı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 3443-YL-1-13 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, maddi desteklerinden dolayı SDÜ–Bilimsel Araştırma Proje yönetimine teşekkür eder.

KAYNAKÇA

Akgün, H.A.,(2009). Tarımsal Ürünlerin Isı Pompası Destekli Olarak Kurutulması, DokuzEylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Inst., Yüksek Lisans Tezi, 105s., İzmir.

Artnaseaw A., Theerakulpisut S., Benjapiyaporn C. (2010). Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli, Biosystems engineering, 105, 130–138.

Chua, K.J., Chou, S.K., Ho, J.C. and Hawlader, M.N.A.,(2002). Heat pump drying: recent developments and future trends, Drying Technology Volume 20, No: 8, 1581, 1599-1602p.

Gülçimen, F. (2008). Yeni Tasarlanan Havalı Kollektörler Yardımı ile Reyhan ve Nane Kurutulması, Fırat Üniv., Fen Bilimleri Inst., Doktora Tezi, 153 s., Elazığ.

Mirza, M.,(2006). Isı Pompalı Kurutucunun Isıl Tasarımı, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Inst., Yüksek Lisans Tezi, 206s., İzmir.

Oktay Z.,(1997). Isı Pompası Destekli Bir Kurutucunun Performansını Etkileyen Etkenlerin Araştırılması. Teskon 97. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, C2. S.749.

Tosun,S., (2009). Bazı Tarımsal Ürünler İçin Isı Pompalı Bir KurutucununGeliştirilmesi ve Termodinamik Analizi, , Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Inst., Doktora Tezi, 188s. , İzmir.

Tsotsas E., ve Mujumdar A.S., (2012). Modern Drying Technology, Energy Saving, Wiley-Vch Verlag & Co., Weinheim, Germany

SEMBOLLER

m_{ilk}	Ürünün yaş haldeki ağırlığı (kg)
m_{son}	Ürünün kuru haldeki ağırlığı (kg)
m_{su}	Ürünün içerisinde bulunan su miktarı (kg)
m_h	Toplam kurutma havası (kg)
\dot{m}_h	Havanın kütleli debisi (kg/s)
y_i	Ürünün yaş haldeki nemlilik oranı
y_f	Ürünün kuru haldeki nemlilik oranı
h	Entalpi (kJ/kg)
h_w	Yoğuşan suyun entalpisi (kJ/kg)
w	Özgül nem
T	Sıcaklık (°C)
t	Zaman (s)
Q_L	Yoğuşturucu kapasitesi (kW)
Q_H	Buharlaştırıcı kapasitesi (kW)
W_g	Kompresör gücü (kW)