



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Balın kurutulması için enerji verimli ve hijyenik yeni bir sistem tasarımı

### *Design of a new energy efficient and hygienic system for drying honey*

Yazar(lar) (Author(s)): Gülşah KARACA<sup>1</sup>, Ekin Can DOLGUN<sup>2</sup>, Mustafa AKTAŞ<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-6219-6016

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-9990-3300

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0003-1187-5120

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Karaca G., Dolgun E.C. ve Aktaş M., "Balın kurutulması için enerji verimli ve hijyenik yeni bir sistem tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 23(3): 713-719, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.526639

# Balın Kurutulması İçin Enerji Verimli Ve Hijyenik Yeni Bir Sistem Tasarımı

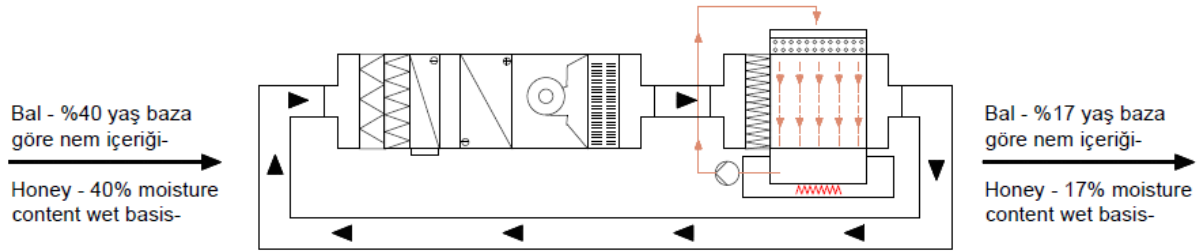
## Design of a New Energy Efficient and Hygienic System for Drying Honey

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Hijyenik sistem koşullarında yeni bir bal kurutma işleminin tasarımı ve geliştirilmesi./Design and development of a novel honey drying process at hygienic system conditions.
- ❖ Kurutma işlemi için ısı ve kütle transferinin analizi./Analysis of heat and mass transfer for drying process.
- ❖ Özgün ve enerji verimli bal kurutucusunun analizi./Analysis of the novel and energy efficient honey dryer.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Balın yüksek enerji ve kurutma verimi ile işlenmesine yönelik yeni bir model geliştirilmiştir./ A novel drying model was developed to produce honey with high energy and drying efficiency.



Şekil. Bal kurutma akış diyagramı / Figure. Flow chart of honey drying

### Amaç (Aim)

Yüksek nem içeriğine sahip ham balın ısı pompası destekli hijyenik bir kurutucuda kurutulması teorik olarak incelenmiş, balın yüksek enerji ve kurutma verimi ile kurutulması amaçlanmıştır. / The drying of raw honey which has high moisture content in a heat pump assisted hygienic dryer is theoretically examined, and it was aimed to dry honey with high energy and drying efficiency.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Hijyenik koşullarda balın düşük enerji maliyetiyle kurutulması için bir tasarım yapılmıştır./A design has been done to dry honey with low energy cost at hygienic conditions.

### Özgünlük (Originality)

Yüksek enerji tasarruflu model kullanılarak yeni bir hijyenik kurutma sistemi tasarımı yapılmıştır./A novel hygienic drying system design was made using with high energy saving model.

### Bulgular (Findings)

Tasarlanan ısı pompası destekli kurutucu ile ham balın nem içeriğinin %40 'dan %17'ye kadar düşürülmesi teorik olarak incelenmiştir. 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 1040 saniye (0,29 saat) olarak saptanmıştır./ It is theoretically examined to reduce the moisture content of the raw honey (wet basis) from 40% up to 17% with the designed heat pump assisted dryer. The time required to remove excess moisture in 1 kilogram of honey was determined to be 1040 seconds (0.29 hours).

### Sonuç (Conclusion)

Özgün kurutma sistemi ile yüksek enerji ve kurutma verimi, ve ısı pompası performans katsayısı elde edilmiştir. Tasarlanan sistemin ısı ve kütle transferi analizleri yapılmıştır. Bu sistem ile bal kısa sürede ve hijyenik şartlarda kurutulabilir./ High energy and drying efficiency, and performance coefficient of heat pump were obtained with a novel drying system. Heat and mass transfer analysis of the designed system were made. Honey can be dried in a short time and under hygienic conditions with this system.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Balın Kurutulması için Enerji Verimli ve Hijyenik Yeni Bir Sistem Tasarımı

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Gülşah KARACA<sup>1\*</sup>, Ekin Can DOLGUN<sup>2</sup>, Mustafa AKTAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 13.02.2019 ; Kabul/Accepted : 26.07.2019)

## ÖZ

Bu çalışmada, yüksek nem içeriğine sahip ham balın ısı pompası destekli hijyenik bir kurutucuda kurutulması teorik olarak incelenmiş, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre ideal üretim ve depolanma koşullarına sahip balın yüksek enerji-kurutma verimi ve düşük enerji tüketimi ile üretilmesi amaçlanmıştır. Ham balın %40 nem içeriğinden %17 (yaş bazda) nem içeriğine kadar kurutulması, enerji tüketimi ve kurutma süresi açısından incelenmiş; 40 °C ve 1 m/s kurutma havası şartlarında 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 0.29 saat olarak hesaplanmıştır. Enerji-kurutma verimliliği, özgül enerji tüketimi, nem alma hızı ve tüm sistem için ısı pompasının etkinlik katsayısı sırasıyla %27.11, %30.01, 2.64 kWh/kg, 0.96 kg/s ve 2.65 olarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler ile sunulan tasarımın enerji tüketimi ve kuruma süresi açısından uygunluğu saptanmış olup, sistem kaliteli bal eldesi için endüstride kullanılabilir bir sistem olarak önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal kurutma, kurutucu, ısı pompası, enerji verimliliği.

# Design of a New Energy Efficient and Hygienic System for Drying Honey

## ABSTRACT

In this study, the drying of raw honey which has high moisture content in a heat pump assisted hygienic dryer is theoretically examined and, it was aimed to produce honey with optimum production and storage conditions according to the Turkish Food Codex Communiqué on Honey, with high energy and drying efficiency and low energy consumption. Drying of raw honey to 17% from 40% moisture content (wet basis) was examined in terms of energy consumption and drying time; the time required for evaporation of excess moisture from 1 kilogram of honey at 40 °C and 1 m/s drying air conditions was calculated as 0.29 hours. Energy-drying efficiency, specific energy consumption, moisture extraction rate and the coefficient of the performance of the whole drying system were calculated as 27.11%, 30.01%, 2.64 kWh/kg, 0.96 kg/h and 2.65, respectively. The presented design is supported by the results of the analyzes in terms of the energy consumption and drying time and therefore, this system has proposed as a system that can be used in the industry for the production of high quality honey.

**Keywords:** Honey drying, dryer, heat pump, energy efficiency.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bal, şekerleri, glukoz ve fruktoz (%70-80), su (%10-20) ve vitamin, protein, organik asitler, serbest amino asitler ve mineral tuzlar gibi bileşenleri içeren doğal biyolojik bir üründür [1]. Bal, antibakteriyel, antiviral ve anti-mantar özellikleriyle yaraların iyileşmesi için sağlık alanında [2], kozmetik tedavilerde [3] ve enerji verici, besleyici özellikleriyle gıda sektöründe kullanılmaktadır.

Bal, genelinde bir şeker çözeltisi olduğundan, bu ürünün karakteristik özelliği sebebi ile kristalleşmeye yatkındır. Kristalleşme sırasında, mikrobiyal büyüme ve mayalanma için faydalı bir ortamın yaratılmasına katkıda bulunan bir miktar serbest su salınır. Bu eğilim, balın içerdiği su oranına, şekerlerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle depolama ömrünün uzatılarak bozulmaların önlenmesi için nem içeriğinin

standartlarda belirtilen değerlerin altında olması gerekmektedir. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre nem içeriği çiçek ve salgı ballarında %20'yi geçmemelidir. Kasolia (1991)'e göre ise balda olması gereken nem içeriği değerleri **Çizelge 1**'de verilmiştir [4]. Nem, depolama sırasında, mayalanma ve granülasyona bağlı lezzeti etkileyen önemli bir faktördür [5]. Maya sayısından bağımsız olarak nem içeriği %20'nin üzerinde olduğunda mayalanma gerçekleşirken [4], %17'nin altında olduğunda mayalanma gerçekleşmediği belirtilmiştir [6,7,8].

Bu kapsamda balın kurutulması için çalışmalar yapılmış olup; mikrodalga enerji ile kurutma, kızılötesi enerji ile kurutma, vakum ve püskürterek kurutma ve ısı pompası sistemi ile kurutma gibi kurutma yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalara literatürde rastlanmaktadır [9,10,11,12,13].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : gulsahkaraca1@gmail.com

**Çizelge 1.** Balın mayalanma eğiliminin nem içeriği ve maya miktarına bağlılığı (The dependence of the fermentation tendency of honey on the moisture content and the amount of yeast) [4]

Nem içeriği %	Eğilim
17.1'den düşük	Yok
17.1-18.0	Eğer maya sayısı < 1000/gm, Yok
18.1-19.0	Eğer maya sayısı < 10/gm, Yok
19.1-20.0	Eğer maya sayısı < 1/gm, Yok
20.0'den yüksek	Daima eğilimli

*319 bal örneğine bağlı olarak çıkarılan bilgiler [4]*

Semkiw ve ark. (2008) fazla suyun olgunlaşmamış baldan buharlaştığı koşulları belirlemiş ve işlem dinamiklerini incelemişlerdir. Üç yıllık deney süresinde, 79 olgunlaşmamış bal, 79 susuz bal ve 69 kovan içinde olgunlaşan bal numune örneklerini toplamışlardır. Dehidrasyon için ısı pompası kullanmışlardır. Üreticinin şartnamesine göre nem alma cihazının verimliliği, yaklaşık 200m<sup>3</sup>/saat hava akımında 0.8 l/saat değerindedir. Nem alma cihazını, ahşaptan yapılmış ve polietilen folyo ile kaplanmış 1.07m<sup>3</sup> kapasiteli özel bir odaya yerleştirmişlerdir. Balların başlangıçtaki su içeriği %22.9 iken 36 saatlik bir dehidrasyon işlemi sonrasında, ortalama su içeriği %15.9'a düşmüştür [12].

Alam ve ark. (2014) balın nem içeriğini düşük hata paylarıyla ( $\pm$ 0.24-0.30) 50°C ve 60°C'de 20 ve 40 dakika bekletme sürelerinde %18.4'e düşürmüşler ve mikrobiyolojik kalitesini incelemişlerdir. Mikrobiyolojik sayılar bakımından en iyi ısı işlem koşullarını, 20 dakika süresince 60°C sıcaklık olarak bulmuşlardır [14].

Gill ve ark. (2015) balın nem içeriğini %17'nin altına düşürmek için bir bal dehidratörü tasarlamışlardır. Bal dehidrasyonu için 30°C ve 40°C ortam sıcaklığında kurutma havası ve 35°C, 40°C ve 45°C'de su kullanarak deneyler yapmışlardır. Balın, 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 45°C su sıcaklığına karşılık gelen metrekaşe başına maksimum kuruma hızını 197.0 g/saat-m<sup>2</sup>, 8-17°C kurutma havası sıcaklığı ve 35°C su sıcaklığında bu değeri minimum (74.8 g/saat-m<sup>2</sup>) olarak bulmuşlardır [6].

Singh ve ark. (2011) desikant kullanılan bir bal dehidratörü tasarlamış ve test etmiştir. Dehidrasyon, 35°C ve 45°C'de nemden arındırılmış hava veya çevre havası ile yapılmıştır. Ayrıca referans amacıyla bal açık olarak kurutulmuştur. Bir desikant bal kurutucunun, nemi alınmış hava, ortam havası ve 45°C'de açık kurutma durumlarında kullanıldığında maksimum nem çekme oranları sırasıyla 132, 78.7 ve 52 g/saat-m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur [15].

Isı pompasıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde, üzüm posasının ısı pompasıyla kurutulduğu küçük ölçekli bir sistemde 1 m/s hava hızında 45°C ve 50°C için ısıtma tesir katsayısını (COP) sırasıyla 3.28 ve 3.10 [16], üzümün kurutulduğu endüstriyel ölçekli bir tesiste COP'yi 2.81 olarak bulmuşlardır [17]. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucuda kırmızı biber kurutulduğunda ise tüm sistemin COP'si 2.1 olarak bulunmuştur [18].

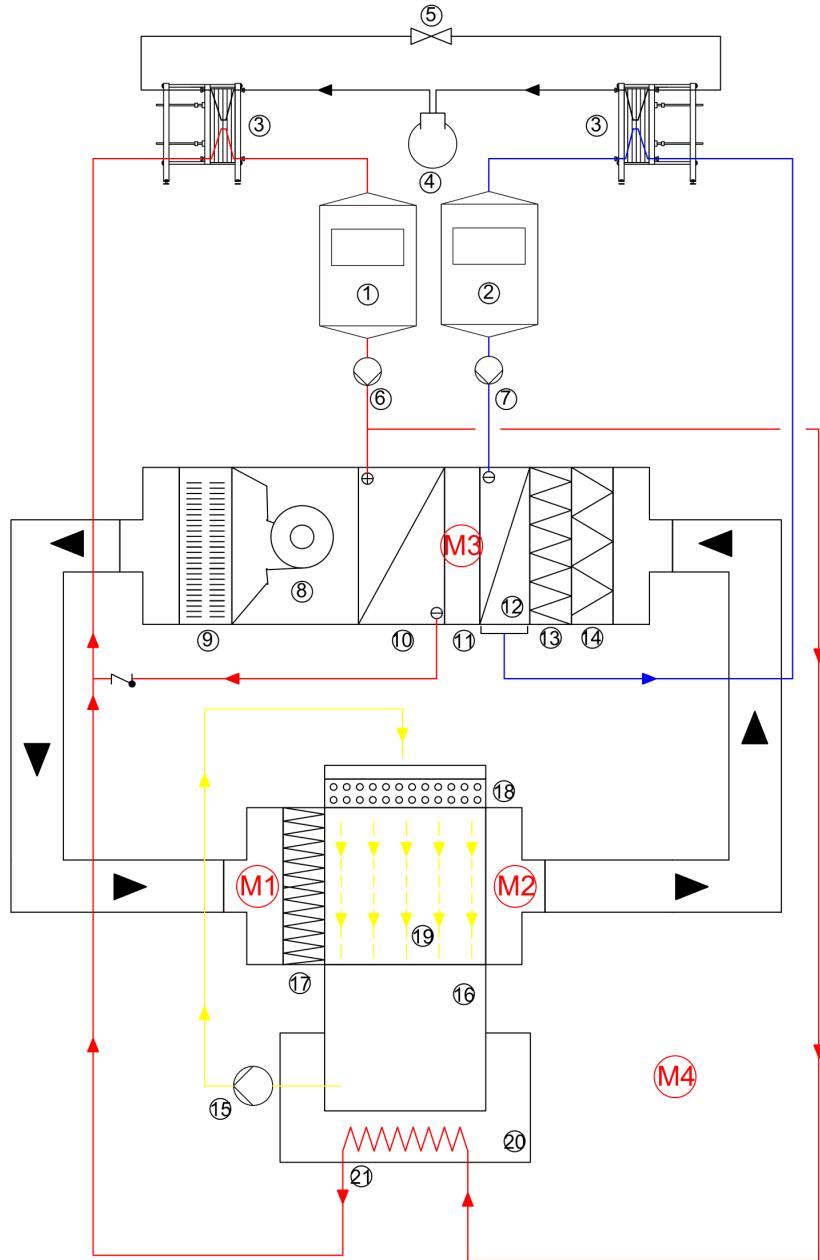
Bu çalışmada incelenen bal %40 nem (yaş bazda) içermektedir. Bu değer %17'nin (yaş bazda) altına

düşürülene kadar kurutma devam ettirilmelidir. Balın kurutulması için yapılan çalışmalar ve sonuçları göz önüne alınarak ısı pompalı kapalı çevrim bir kurutucu tasarlanmıştır. Kurutma şartlarını kolayca kontrol edebilen ısı pompalı kurutucular, ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesi için elverişlidir [19,20]. Tasarımda kullanılan ısı pompası ve hava şartlandırma sistemi ile kapalı çevrim hijyenik kurutma, bal kurutucu tasarımı bir yenilik olarak sunulmaktadır. Bu kurutucu tasarımı ile kapalı çevrimde kurutma sağlanmış olup hala yüksek enerji içeriğine sahip atık hava sırasıyla ön filtre (M5 tipi hava filtresi) ve hassas filtre (F9 tipi hava filtresi), soğutma-nem alma, ısıtma serpantini ve en son yüksek verimlilikli hava filtresinden (HEPA filtre) geçirilerek tekrar bal üzerine üflenmektedir. Bu yönleriyle ısı pompalı kurutucu, enerji tasarrufunun yanı sıra hijyenik ve çevreye duyarlı yönüyle de öne çıkmaktadır. Geniş kullanım alanına sahip olan balın kuru madde miktarının artırılması ve kaliteli bal eldesi için balın karakteristik özelliklerine uygun olarak kurutucu tasarlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Kurutma Sistemi Tasarımı (Drying System Design)

Bal kurutma sisteminde ısı pompası yardımıyla üretilen sıcak su, kapalı çevrim kurutma sisteminde havayı ısıtmak için kullanılmaktadır. Kuru ve sıcak hava bal tankını nemli ve soğuk olarak terk eder. Bu nemli hava, çiy noktası sıcaklığı altındaki soğutucu serpantin yüzeyine çarptırılarak nemi alınır ve ardından yoğuşmadan dolayı oluşabilecek bakterileri inaktive etmek için UV lamba üzerinden geçirilir. Kurutma havası tekrar istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra bal tankı girişinde bulunan HEPA filtrelerden geçirilerek bal tankına gönderilir. Balın nem içeriği %17'ye ulaşana kadar çevrim sürdürülür, ardından istenilen nem içeriğine ulaştırılmış bal, ürün depolamaya gönderilir. Havayı tekrar ısıtmak ve neminin uzaklaştırılması için kullanılan ısıtma/soğutma bölmesinde gerekli sıcak ve soğuk akışkan ısı pompası sistemindeki yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdan elde edilir. Yoğuşturucuda atılan ısı ile sıcaklığı artırılmış sıcak akışkan ve buharlaştırıcıda çekilen ısı ile sıcaklığı düşürülmüş soğuk akışkan birer sıcak ve soğuk akışkan tankında muhafaza edilerek kurutma havasının şartlandırılması için hazır bekletilir. Bu sayede kurutma işleminin süresinden bağımsız olarak yalnızca kurutma havasının şartlandırılması için gerekli enerjiyi sağlayacak sürede ısı pompası devreye girer ve enerji tüketimi azaltılmış olur. Aynı zamanda bal, bir bal pompası ile bal tankının üzerinde bulunan elekten geçirilerek sirküle edilir, balın sirkülasyonunu kolaylaştırmak amacı ile harici bir ısıtıcı ile bal tankı ısıtılmaktadır. Bal kurutma sisteminin tasarımı **Şekil 1.**'de verilmiştir.



- |                    |                         |   |
|--------------------|-------------------------|---|
| ① Sıcak su tankı   | ⑪ UV Lamba              | ► Hava hattı                            |
| ② Soğuk su tankı   | ⑫ Nem alma ünitesi      | → Sıcak su hattı                        |
| ③ Plakalı eşanjör  | ⑬ F7-F9 Hassas filtre   | → Soğuk su hattı                        |
| ④ Kompresör        | ⑭ M5 filtre             | → Soğutucu akışkan hattı                |
| ⑤ Kısılma vanası   | ⑮ Bal pompası           | → Bal hattı                             |
| ⑥ Sıcak su pompası | ⑯ Bal tankı             | Ⓜ M1 Kurutma kabini hava giriş şartları |
| ⑦ Soğuk su pompası | ⑰ HEPA filtre           | Ⓜ M2 Kurutma kabini hava çıkış şartları |
| ⑧ Fan              | ⑱ Süzgeç                | Ⓜ M3 Nem alma serpantini çıkış şartları |
| ⑨ Susturucu        | ⑲ Kurutma kabini        | Ⓜ M4 Çevre havası şartları              |
| ⑩ Isıtıcı          | ⑳ Harici ısıtıcı bölümü |   |
|                    | ㉑ Harici ısıtıcı        |   |

Şekil 1. Balın kurutulması için sistem tasarımı (System design for drying honey)

## 2.2. Kurutma Sisteminin Analizi (Analysis of Drying System)

Bu bölümde balın kurutulması, tasarlanan kurutma sisteminde termodinamik açıdan analiz edilmiş, kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

### 2.2.1. Kurutma işlemi için gereken toplam enerji ihtiyacı (Total energy requirement for drying process)

Başlangıç anından sistem termal açıdan dengeye ulaşınca kadar kapalı çevrimdeki havanın ısıtılması için gerekli enerji ( $Q_1$ );

$$Q_1 = \rho_h V_h c_h \Delta T \quad (1)$$

Havanın özgül ısısı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir;

$$c_h = 1009.26 - 0.0040403T + 0.00061759T^2 - 0.0000004097T^3 \quad (2)$$

Kurutma sisteminin katı elemanlarının istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için gerekli enerji ( $Q_2$ );

$$Q_2 = m_d c_{d@T_{ort}} \Delta T \quad (3)$$

Kurutulacak ürünün istenilen kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için gerekli enerji ( $Q_3$ );

$$Q_3 = m_b c_{p,b} \Delta T \quad (4)$$

Üründeki nemin uzaklaştırılması için gerekli enerji ( $Q_4$ );

$$Q_4 = m_v h_{fg} \quad (5)$$

Gizli ısı, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bulunabilir [21];

$$h_{fg} = 2.503 \times 10^6 - 2.386 \times 10^3 T \quad \text{için } 0 \leq T(^{\circ}\text{C}) \leq 65.57 \quad (6)$$

Kurutma sisteminden ortama olan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli enerji ( $Q_5$ );

$$Q_5 = UA \Delta T \quad (7)$$

Kurutma işlemi için gereken toplam enerji ( $Q_{TOP}$ );

$$Q_{TOP} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (8)$$

### 2.2.2. Kurutma işlemi için gereken süre (Required time for drying)

Türk Gıda Kodeksi 2012/58'ya göre balın depolama koşulları için ideal olarak kabul edilen %17 nem miktarına (yaş bazda) ulaşması için kilogram başına 0.277 kilogram suyun bünyesinden uzaklaştırılması gereklidir. Bu işlem için gerekli süre aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$t = \frac{m_v}{\dot{m}_v} \quad (9)$$

$$\dot{m}_v = h_m (C_{bw} - C_{b\infty}) = \frac{h_m}{R_b T} (P_{bw} - P_{b\infty}) \quad (10)$$

$$Sh = 0.037 x Re^{4/5} x Sc^{1/3} = \frac{h_m L}{D} \quad (11)$$

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (12)$$

$$Re = \frac{u L}{\nu} \quad (13)$$

### 2.2.3 Kurutucunun verim tanımları (Efficiency definitions of dryer)

Kurutucunun performansını ve verimini tanımlamak için aşağıdaki parametreler kullanılır.

Tüm sistem için ısıtma tesir katsayısı ( $COP_{ts}$ ) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{\Sigma} W} \quad (14)$$

Isı pompası için ısıtma tesir katsayısı ( $COP_{hp}$ ) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_c} \quad (15)$$

Özgül nem çekme oranı (SMER), buharlaştırılan su miktarının toplam enerji girdisine oranı olarak belirtilmektedir:

$$SMER = \frac{m_v}{\dot{\Sigma} W} \quad (16)$$

Özgül enerji tüketimi (SEC), 1 kg nemi uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı olarak belirtilmektedir:

$$SEC = \frac{\dot{\Sigma} W}{m_v} \quad (17)$$

Nem alma hızı (oranı) (MER), birim zamanda buharlaşan su kütlesi olarak tanımlanır:

$$MER = \frac{\text{üründen uzaklaştırılan nem kütlesi } \frac{kg_w}{h}}{\text{kurutma süresi}} \quad (18)$$

Enerji verimi (EE) üründen nemi uzaklaştırmak için tüketilen enerjinin toplam enerji tüketime oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$EE = \frac{m_v h_{fg}}{\dot{\Sigma} W t} \quad (19)$$

Kurutma verimi (DE) ürünü ısıtmak ve üründen nemi uzaklaştırmak için tüketilen enerjinin toplam tüketime oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$DE = \frac{m_v h_{fg} + m_b c_{p,b} (T_{b,o} - T_{b,i})}{\dot{\Sigma} W t} \quad (20)$$

Yapılan analizlerde kullanılan parametreler **Çizelge 2.** 'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Sistemin termodinamik analizinde kullanılan parametreler (Parameters used in thermodynamic analysis of the system)

Parametre	Değer	Birim
Çevre sıcaklığı, $T_{\infty}$	15	°C
Balın yüzey sıcaklığı, $T_w$	40	°C
Balın başlangıç nemi	40	%
Balın kurutulduktan sonra nemi	17	%
Kurutma kabine giren havanın bağıl nemi	20	%
Nemli ürün kütlesi	1	kg
Uzaklaştırılacak nem kütlesi	0.277	kg
Kurutma havası hızı, $u$	1	m/s
Havanın yoğunluğu, $\rho_{hava}$	1.128	kg/m <sup>3</sup>
Alüminyumun yoğunluğu, $\rho_{Al}$	2700	kg/m <sup>3</sup>
Balın özgül ısısı, $c_{p,b}$	3.0514	kJ/kgK
Alüminyumun özgül ısısı, $c_{p,Al}$	0.913	kJ/kgK
Havanın özgül ısısı, $c_{p,hava}$	1.010	kJ/kgK
Suyun buharlaşma gizli ısısı, $h_{fg}$	2573.6	kJ/kg
Havanın ısı iletim katsayısı, $k_{hava}$	0.02662	W/mK
Alüminyum ısı iletim katsayısı, $k_{Al}$	200	W/mK
Havanın 40 °C 'de kinematik viskozitesi, $\nu_{hava}$	17.02e-6	m <sup>2</sup> /s
Prandtl sayısı, $Pr$	0.7255	-
Havanın difüzyon katsayısı, $D$	27.53e-6	m <sup>2</sup> /s
T sıcaklığındaki su buharı doyma basıncı	7.3851	kPa
Su buharı gaz sabiti, $R_b$	0.4615	kJ/kgK
Buharlaşma sıcaklığı, $T_e$	-5	°C
Yoğuşma sıcaklığı, $T_c$	50	°C
Kullanılan soğutucu akışkan	R-410a	-
Kompresör izantropik verimi	80	%

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma ısı pompalı kurutucuda %40 nem içeriğine sahip ham balın, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre ideal olarak kabul edilen %17 nem içeriğine kadar kurutulması teorik olarak incelenmiş, enerji tüketimini azaltmaya yönelik ve hijyenik çerçevede yeni bir

kurutucu tasarımı sunulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucu 1 kilogram balın içerisindeki fazla nemin uzaklaştırılması için gereken süre 1040 saniye (0,29 saat) olarak hesaplanmış, analiz sonuçları **Çizelge 3.**'de verilmiştir. Kurutma süresinin kısa olmasına etki eden en önemli unsurlardan birisi de düşük bağıl nemde (%20) kurutma odasına üflenen havadır.

**Çizelge 3.** Analitik sonuçlar (Analytical results)

Parametre	Değer	Birim
Reynolds Sayısı, $Re$	29377	-
Nusselt Sayısı, $Nu$	78.402	-
İç havanın ısı taşınım katsayısı, $h_{iç}$	4.695	W/m <sup>2</sup> K
Schmidt Sayısı, $Sc$	0.6182	-
Sherwood Sayısı, $Sh$	118.302	-
Kütle transfer katsayısı, $h_m$	0.0065137	m <sup>2</sup> /s
Balın içerisinden buharlaşan su debisi, $m_b$	0.0002664	kg/s
Kurutma zamanı, $t$	1040	s
Kurutma için toplam enerji ihtiyacı, $Q_{TOP}$	2629.2	kJ
Kurutma verimi, $DE$	30.01	%
Enerji verimi, $EE$	27.11	%
Özgül nem çekme oranı, $SMER$	379.278	g/kWh
Özgül enerji tüketimi, $SEC$	2.636	kWh/kg
Nem alma hızı, $MER$	0.959	kg/h
Isı pompası etkinlik katsayısı, $COP_{hp}$	3.48	-
Tüm sistemin ısı pompası etkinlik katsayısı, $COP_{ts}$	2.65	-
Buharlaştırıcıda çekilen ısı ( $Q_e$ )	130.394	kJ/kg
Yoğuşturucuda atılan ısı ( $Q_c$ )	183.041	kJ/kg
Kompresörde çekilen elektrik enerjisi	52.647	kJ/kg

Sonuç olarak bu çalışmada; yüksek enerji-kurutma verimi, ısı pompası etkinlik katsayısı değeri sunan ve

aynı zamanda kısa sürede balı kurutabilen bir sistem tasarlanmıştır.

İklimlendirme santralinin havanın şartlandırılması için hem sıcak hem de soğuk akışkan ihtiyacı bulunmaktadır. Isı pompası ile tek bir çevrimde bu sağlanmıştır. Sistemde sıcak ve soğuk akışkanın tanklarda depolanarak gerekli enerji ihtiyacının tüm işlemin süresi düşünüldüğünde daha kısa zamanda hazırlanarak muhafaza edilmesi sağlanmıştır. İleriye dönük yapılacak çalışmalarda havanın ısıtılması için enerji olarak güneş kaynağını kullanan kolektörler veya elektrik-ısı ihtiyacını da sağlayacak fotovoltaik-termal PV/T güneş enerjisi sistemi ile gerekli ihtiyaç karşılanabilir. Soğuk akışkan ihtiyacı da kuru soğutucular gibi çevre havasından daha çok faydalanan sistemler ile sağlanabilir. Yalnız sıcak ve soğuk akışkan için farklı sistemlerin tercih edilmesi ile yer ihtiyacı, hijyen unsuru ve enerji ihtiyacı tekrar analiz edilmelidir.

#### SİMGE VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

$c_{p,b}$	Balın özgül ısısı (kJ/kg.K)
$C_{bw}$	Suyun kütleli yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
$C_{b\infty}$	Ortam havasının kütleli yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
$D$	Havanın difüzyon katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
$h_m$	Kütle transfer katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
$L$	Karakteristik uzunluk (m)
$m_v$	Üründen uzaklaştırılan su kütlesi (kg)
$\dot{m}_v$	Birim yüzeyden birim zamanda geçen kütle miktarı (kg/s.m <sup>2</sup> )
$m_b$	Balın kütlesi (kg)
$P_{bw}$	Bal içerisindeki suyun doyma basıncı (kPa)
$P_{b\infty}$	Ortam havasındaki su buharının kısmi basıncı (kPa)
$Q_c$	Yoğuşturucudan atılan ısı (kJ)
$R_b$	Su buharı gaz sabiti (kJ/kg.K)
$Re$	Reynolds sayısı
$Sc$	Schmidt sayısı
$Sh$	Sherwood sayısı
$T$	Sıcaklık (°C)
$T_{b,o}$	Bal çıkış sıcaklığı (°C)
$T_{b,i}$	Bal giriş sıcaklığı (°C)
$t$	Zaman (s)
$u$	Kurutma havası hızı (m/s)
$\nu$	Momentum katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
$\nu$	Kinematik viskozite (m <sup>2</sup> /s)
$V_h$	Havanın hacmi (m <sup>3</sup> )

$W$	Tüm sistemde tüketilen toplam enerji (W)
$W_c$	Isı pompasının kompresörünün tükettiği enerji (W)
$\rho_h$	Havanın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Alt indisler</b>	
hp	Isı pompası
ts	Tüm sistem
w	Su

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ouchemoukh, S., Louaileche, H. and Schweitzer, P., "Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys", *Food Control*, 18 : 52–58, (2007).
- [2] Kumar, K.P.S. Bhowmik, D., Biswajit, C., and Chandira, M.R., "Medicinal uses and health benefits of Honey: An Overview", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2(1): 385-395, (2010).
- [3] Ediriweera, E. R. and Premarathna N.Y., "Medicinal and cosmetic uses of Bee's Honey - A review", *An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda*, 33(2): 178-182, (2012.)
- [4] Kasolia, D.J., "Effects of Processing Conditions and Storage on Honey Quality", *Master Thesis*, Nairobi University, (1991).
- [5] Singh, N. and Bath P.K., "Quality evaluation of different types of Indian honey", *Food Chemistry*, 58(1-2):129-133, (1997).
- [6] Gill, R.S., Hans, V.S., Singh, S., Singh, P.P. and Dhaliwal S.S., "A small scale honey dehydrator", *J Food Sci Technol.*, 52(10):6695–6702, (2015).
- [7] Wakhle, D.M., "Beekeeping Technology - Production, Characteristics and Uses of honey and other products", *In Perspectives in Indian Apiculture* (Ed. R.C. Mishra, Agro- Botanica, Bikaner) pp.134-139, (1997).
- [8] Sanz S., Gradillas G., Jimeno F., Perez C. and Juan, T., "Fermentation Problem in Spanish North-Coast Honey", *Journal of Food Protection*, 58(5):515-518, (1995).
- [9] Hebbar, H.U., Nandini, K.E., Lakshmi, M.C. and Subramanian, R., "Microwave and Infrared Heat Processing of Honey and Its Quality", *Food Science and Technology Research*, 9(1):49–53, (2003).
- [10] Subramanian, R., Umesh Hebbar H. and Rastogi, N.K., "Processing of Honey: A Review", *International Journal of Food Properties*, 10: 127–143, (2007).
- [11] Cui, Z-W., Sun L-J., Chen, W. and Sun D-W., "Preparation of dry honey by microwave–vacuum drying", *Journal of Food Engineering*, 84(4): 582–590, (2008). DOI: 10. 1016/j.jfoodeng.2007.06.027
- [12] Semkiw, P., Skowronek, W. and Skubida, P., "Changes in Water Content of Honey During Ripening Under Controlled Condition", *Journal of Apicultural Science*, 52 (1): 57-63, (2008).
- [13] Nurhadi, B., Andoyo, R., Indiarjo, M. and Indiarjo, R., "Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method", *International Food Research Journal*, 19 (3): 907-912, (2012).
- [14] Alam, Md.S., Sharma, D.K., Sehgal, V. K. Arora, M. and Bhatia S., "Development and evaluation of low cost



- honey heating-cum-filtration system”, *Journal of Food Science and Technology*, 51(11): 3476–3481, (2014).
- [15] Singh, S., Gill, R.S. and Singh P.P., “Desiccant honey dehydrator”, *International Journal of Ambient Energy*, 32(2): 62-69, (2011).
- [16] Aktaş, M., Taşeri, L., Şevik, S., Gülcü, M., Uysal Seçkin, G. and Dolgun E.C., “Heat pump drying of grape pomace: Performance and product quality analysis”, *Drying Technology*, (2019).
- [17] Abuşka, M. ve Doğan, H. “Endüstriyel Tip Isı Pompalı Kurutucuda Çekirdeksiz Üzümün Kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 13 (4): 271-279, (2010).
- [18] Aktaş, M. “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 13(1):1-6, (2010).
- [19] Raghavan, G.S. and Valerie, O., “Drying of agroproducts and grains”, *Proceeding of IWSID 2004*, Mumbai, India, (2004).
- [20] Ünlü G., Boran K., Aktaş M., ve Khanları A., “İnfrared Enerjili - Isı Pompalı Plc Kontrollü Bir Kurutucuda Kabak Çekirdeği Kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 519-525, (2018).
- [21] Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S. and Madadlou, A. “Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation”, *Biosystems Engineering*, 111(2): 229–241, (2012).