

Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Kırmızıbiber Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi

Mustafa AKTAŞ

ÖZET

Bu çalışmada, güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Kurutma sisteminde kırmızıbiberler başlangıç nem miktarından (0.914 g su/g yaş madde) son nem miktarına (0.11 g su/g yaş madde) kadar kurutulmuştur. PID (oransal, integral ve türevsel) kontrollü kurutucuda güneş kolektörü ön ısıtıcı olarak kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısı (COP_{wh}) 2.1, tüm sistem için özgül nem çekme oranı ($SMER_{ws}$) 0.18 kg/kWh olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kırmızıbiber kurutma, güneş enerjisi, ısı pompası, PID kontrol

Experimental Examining of Red Pepper Drying in a Dryer Assisted Solar Energy and Heat Pump

ABSTRACT

In this study, drying of redpeppers were examined experimentally in a dryer assisted solar energy and heat pump. Redpeppers have been dried from initial moisture content (0.914 g water/g wet matter) to final moisture content (0.11 g water/g wet matter) in the drying system. In PID (proportional, integral, derivation) controlled dryer, solar collector was used as a pre-heater. According to experiment results, average heating coefficient performance (COP_{wh}) and specific moisture extraction rate ($SMER_{ws}$) were calculated for whole system as 2.1 and 0.18 kg/kWh respectively.

Key words: Red pepper drying, solar energy, heat pump, PID control

1. GİRİŞ

Kurutma, değişik yöntem ve teknikler kullanarak herhangi bir materyaldeki suyun o materyalden uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işleminde bir denge olup bu denge sistemdeki enerji ve kütle transferi ile ilgilidir. Kurutma işleminde harcanan enerji miktarı kurutma odası ısı kayıplarına ve materyaldeki başlangıç ve son nem miktarına göre değişir. Günümüzde ısı pompaları kurutma uygulamaları için son derece verimli ve etkili bir uygulama haline gelmiştir. Isı pompalı sistemlerde kurutma işleminin gerçekleşmesi için buharlaştırıcı tarafında bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Güneş enerjili kurutucularda ise kurutmanın gece devam edememesi kurutma kalitesini düşürmekte ve kurutma süresini de uzatmaktadır.

Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak kullanılan güneş altında kurutma yönteminde, kurutulacak ürün toprak veya beton zemin üzerine serilerek kurutulmaktadır. Bu tip açığa yapılan kurutmada, kuruma esnasında böcekler, kuşlar ve rüzgarın olumsuz etkileri sebebiyle ürün kayıpları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hava koşullarının uygun olmaması nedeniyle ürün neminin kısa sürede uzaklaştırılmadığı durumlarda mikrobiyel aktiviteler sonucu üründe küflenme ve verim kayıpları ortaya çıkmaktadır (1). Gıda maddelerinden

Makale 04.01.2010 tarihinde gelmiş, 19.04.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

M. AKTAŞ, Teknoloji Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü

e-posta : mustafaaktas@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.1, 1-6

meyve ve sebzelere kurutma işlemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu çerçevede, ülkemizde biber işleme tesislerinde kurutma temel işlemler arasında yer alır. Türkiye yılda 1390000 ton kırmızıbiber üretimi ile tek başına dünya üretiminin %10'unu karşılamaktadır. Kırmızıbiber yurdumuzun bütün bölgelerinde yetişmektedir. Türkiye'de beş değişik biber çeşidi bulunmakta olup Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Kayseri, Bursa, Bilecik ve Gaziantep'te üretilenler toz ve pul biber üretiminde son derece uygundur (2). Kahramanmaraş'ta kırmızıbiber üreticiliği, kırmızı kuru biber üretimi için yapılmaktadır. Bölgede üretilen kırmızıbiber, yaygın biçimde Türkiye'nin iç talebini karşıladığı gibi, ihracatı da yapılmakta ve önemli ölçüde döviz kaynağı oluşturmaktadır (3).

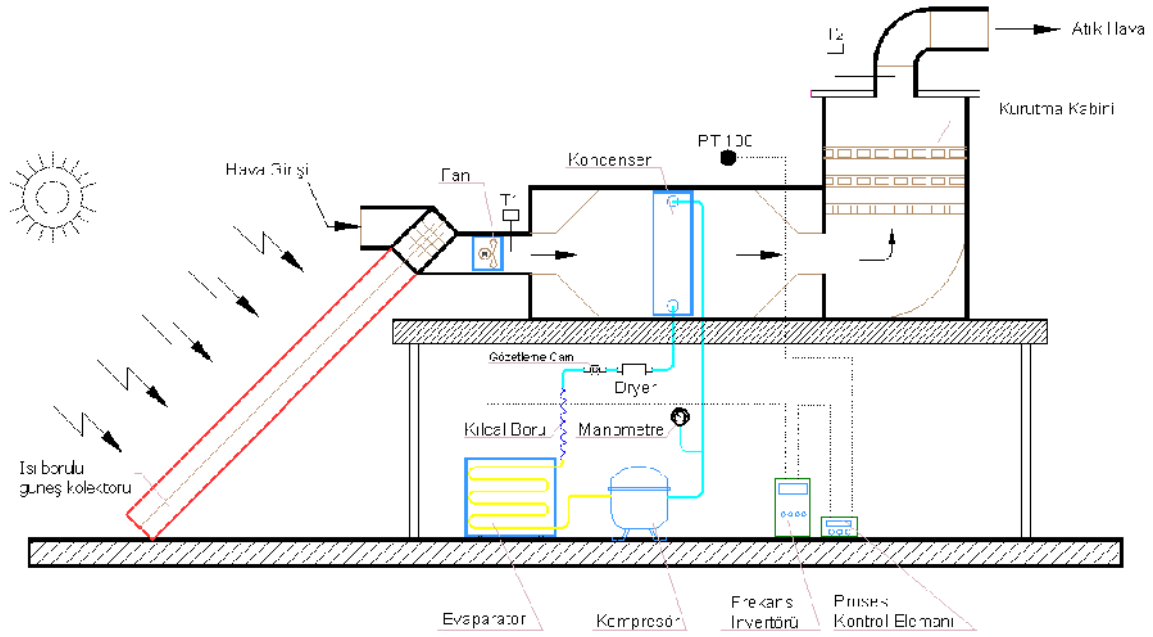
Bu çalışmada, kırmızıbiberleri kaliteli ve kontrollü bir şekilde kurutabilmek için PID (oransal, integral ve türevsel) kontrollü güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir sistem imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir.

2. KIRMIZIBİBER KURUTMA SİSTEMİ

Kurutma sisteminde kompresör, yoğuşturucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), gözetleme camı, kurutucu filtre (dryer), kılcal boru, fan, frekans invertörü, proses kontrol cihazı, kurutma odası ve güneş kolektöründen oluşmaktadır (Şekil 1). Deneysel ısı borulu güneş kolektörünü ve ısı pompası sisteminin yoğuşturucusunu enerji kaynağı olarak kullanacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kurutma fırını içe-

risindeki biberlerin nemi güneş kolektöründen ve ısı pompası sisteminin yoğuşturucusundan aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır.

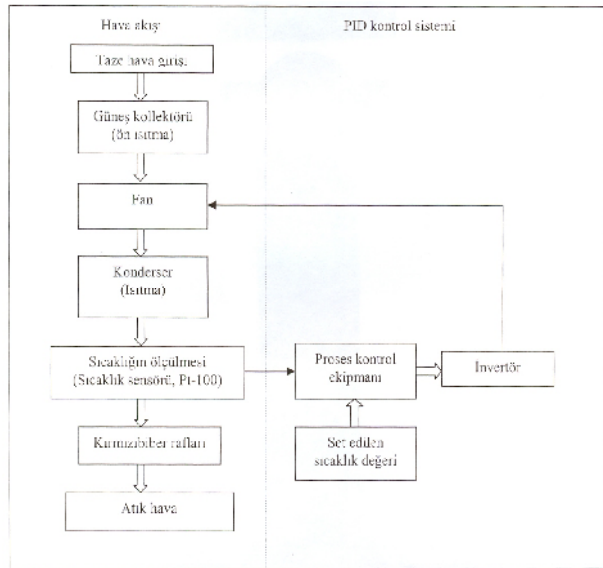
Tamamen dış hava ile çalışan kurutucuda, fanın devri kurutma havası sıcaklığı olarak belirlenen 50 °C sıcaklığı ürün üzerinde sağlayabilmek için frekans



Şekil 1. Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kırmızıbiber kurutma fırını

Kurutma sisteminde proses kontrol cihazından set edilen sıcaklık değerine göre fanın devri ayarlanmıştır. Set edilen değer termokupl (Pt-100) ile ölçülen sıcaklıktan büyükse fanın üflenen havanın debisi azalmıştır. Set edilen değer termokupl ile ölçülen sıcaklıktan küçükse fanın üflenen havanın hızı artmaktadır. Dolayısı ile daha fazla debideki dış hava kondenserden geçirilerek termokupl ile ölçülen sıcaklığın set edilen değere ulaşmasını sağlamaktadır.

Kurutma sisteminde hava akışının ve PID kontrol sisteminin sistematik şeması Şekil 2’de verilmiştir.

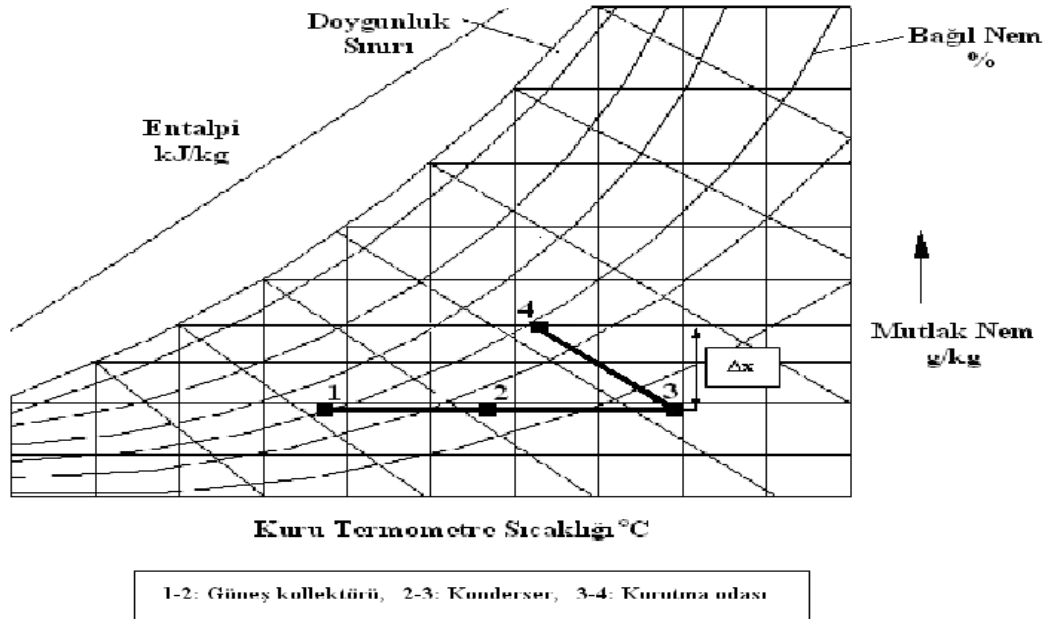


Şekil 2. Hava akışının ve PID kontrol sisteminin sistematik şeması

invertörü ile kontrol edilmiştir. Kurutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Isı pompası sisteminde soğutucu akışkan olarak R-134a gazı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Isı pompalı kurutucuda kullanılan ekipmanlar ve özellikleri

Kullanılan Ekipman	Teknik Özellikleri
Isı pompası sistemi	Kompresör Danfoss, 1/3 HP, Kondenser ½ HP, Evaporatör 1/3 HP
Fan	125 W, 350 m ³ /h, 2700 d/d, 50 Hz, 220 V
Güneş kolektörü	0.4 m ² , ısı borulu
Proses kontrol ekipmanı	Ordell, PC440, 4 W, 100-240V AC, Transmitter kaynağı 24 V DC, Auto-Tuning, PID kontrol.
Invertör (driver)	Commander SK, 3 fazlı indüksiyon motorları için, AC değişken hız sürücüsü, Güç aralığı 0.25 kW - 4 kW, 0.33 HP - 5 HP
Termokupl (T, Pt-100)	Elimko, Giriş Pt-100, R/T Tip, Skala 0-70 °C, Besleme 24 V - DC, Çıkış 4-20 mA



Şekil 3. Kurutma sisteminin psikrometrik analizi

Şekil 3 üzerindeki “1” şartlarındaki dış hava ısı borulu güneş kolektöründe duyulur olarak ısıtılarak “2” şartına gelir. “2” şartındaki hava kondenserde duyulur olarak bir miktar daha ısıtılarak “3” şartında kurutma odasına girmektedir. Güneş kolektörü ve kondenserde ısınarak sıcaklığı ΔT kadar artan hava kurutma odasına gönderilerek “4” şartında kurutma odasından Δx kadar nemi artarak çıkmıştır. “3-4” eğrisi ısı kayıplarının ihmal edildiği durumda entalpi eğrilerine paralel olacaktır.

3. DENEYSEL YÖNTEM

Kırmızıbiberin kurutulmasında iki türlü kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, ağırlık değişimine bağlı olarak üründeki nem kontrolü, ikincisi de kurutma sırasında ve sonrasında duyusal kontroldür. Biberler saplarından arındırılıp tohum evleri temizlendikten sonra ortalama 4 mm - 5 mm kalınlığında boy boy dilimlenir. Taze kırmızıbiberlerin sap, tohum ve tohum evleri alındıktan sonra elde edilen ortalama etli kısım %69-74, kuru kırmızıbiberlerde ise %49-55, arasında değişmektedir. Tohum ve sap oranının düşük olması, kuru biberlerin yaprak ve toz biber üretiminde randıman değerlerinin artmasında önemli rol oynamaktadır (4).

Kurutma sonrası duyusal kontrolde biberlerdeki renk değişimi göz ile görülebilmektedir. Ağırlık değişimine göre üründeki nem kontrolünün belirlenebilmesi için tam kuru ağırlığının bulunması gerekir. Kurutma işlemine başlamadan önce biberler 70 ± 1 °C’ de sabit tutulan bir fırında belirli aralıklarla tartılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda biberler tam kuru sayılır (5).

Biberlerdeki kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$MC_{KA} = \frac{M_t - M_e}{M_e} \quad (1)$$

eşitliği kullanılır.

Biberlerdeki yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$MC_{YA} = \frac{M_t - M_e}{M_t} \quad (2)$$

eşitliğinden faydalanılır (6).

Tam kuru ağırlığın belirlenmesinde iki türlü yöntem vardır bunlar endirekt ve direkt yöntem olarak tanımlanır. Direkt metot fırında kurutma işlemi ile gerçekleşmekte olup ürünün kütle değişimi esasına dayanır. Endirekt metotta ise nem ölçüm cihazlarından faydalanılmaktadır (7).

Deneylerden önce temin edilen kırmızıbiberler tam kuru ağırlığı belirlenmek üzere hazırlanmıştır. Taze kırmızıbiberlerin sap, tohum ve tohum evleri alındıktan sonra elde edilen ortalama etli kısım ortalama 4 mm - 5 mm kalınlığında boy boy dilimlenmiştir.

Etüv fırınında saatlik kurutma periyotları sırasında ağırlık değişimi saatte bir takip edilerek, en son iki ölçüm arasındaki fark %1’den daha az olana kadar kurutma tekrarlanmıştır. Ağırlık değişimleri saatte bir takip edilerek, değerler kaydedilmiştir. Ölçümler Mettler Toledo marka dijital ağırlık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. İki ölçüm arasındaki fark %1’den daha az olduğu durumda kırmızıbiberler tam kuru kabul edilmiştir.

Bu işlemler üç ayrı numune için ayrı ayrı yapılarak tam kuru ağırlık değeri olarak bu üç değerin ortalaması alınmıştır. Kırmızıbiberlerin yaş baza göre başlangıç nem miktarı Eşitlik 2'den ortalama olarak 0.914 g su/g yaş madde olarak belirlenmiştir.

Kurutma sisteminde kondenserden atılan ısı miktarı (\dot{Q}_K) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_i \cdot c \cdot (T_i - T_{ai}) \quad (3)$$

$$\dot{m}_i = \rho_i \cdot \dot{V}_i \quad (4)$$

Eşitlikte “ \dot{m}_i ”, kurutma havasının kütleli debisi, “ c ”, kurutma havasının özgül ısı, “ \dot{V}_i ”, kurutma havasının hacimsel debisi, “ ρ_i ”, kurutma havasının yoğunluğu, “ T_i ve T_{ai} ” ise sırasıyla kondenserden çıkan ve kondensere giren havanın sıcaklığıdır.

Kondenser sıcaklığı (T_K) ile evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı ($COP_{c,h}$) Carnot çevrimi ile aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$COP_{c,h} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (5)$$

Isı pompası çevriminde enerji tüketimi kompresörde meydana gelmektedir. Sistemde diğer ekipmanlarda söz konusu olabilir, örneğin fan vb.

Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı ($COP_{hp,h}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{hp,h} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c} \quad (6)$$

Bütün sistem için ısıtma tesir katsayısının (COP_{wh}) hesaplanmasında tüketim ekipmanları için (kompresör, fan ve diğer ekipmanlar) aşağıdaki eşitlik kullanılır (8).

$$COP_{wh} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c + \dot{W}_f} \quad (7)$$

Kurutma fırınlarında en önemli verim etkinliği 1 kg nem kaldırmak için harcanması gereken enerjidir. Özgül nem çekme oranı (SMER) olarak tanımlanan bu ifade eşitlik 8'de ve ayrıca tüm sistem için de eşitlik 9'da verilmiştir (9).

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (8)$$

$$SMER_{ws} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c + \dot{W}_f} \quad (9)$$

Başlangıç nem miktarları belirlenmiş olan kırmızıbiberler kurutucuda kurutma kabineye yerleştirilerek, kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Sistemde istenilen kurutma havası sıcaklığı proses kontrol cihazından 50°C olarak set edilerek kurutma işlemi başlatılmıştır. Yapılan deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri

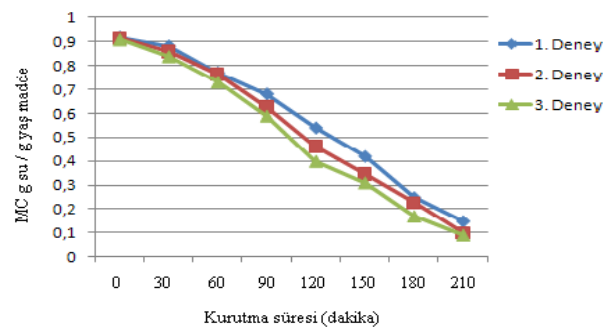
Kullanılan cihaz	Özellikleri
Dijital tartı	Mettler Toledo, Excellence XS6002S model, en yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti 0,01 g.
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Testo, sıcaklık -20,+70 °C, hız 0-20 m/s ölçüm hassasiyeti 0,01 m/s, 0.1 °C, NTC sensör.
Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı (Termohigrometre)	Testo, 625 model, 5-95% bağıl nemde $\pm 3\%$ ölçüm hassasiyeti, 0-50 °C sıcaklıkta $\pm 0,5$ °C ölçüm hassasiyeti.

Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı (termohigrometre) havanın sıcaklığı ve bağıl neminin ölçülmesinde kullanılmıştır.

Kurutma işleminde kırmızıbiberlerin son nem miktarı ölçülerek ve kırmızıbiberlerde yapılan duyu analizi sonucunda kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Kırmızıbiberlere kurutma sonrası yapılan duyu analizi (kurutulmuş biberler ikiye katlandığında kırılabilir hale gelmesi ve böylece öğütülmeye hazır olması, rengi ve tadı ve aroması) el ve göz ile olmaktadır.

4. DENEY SONUÇLARI

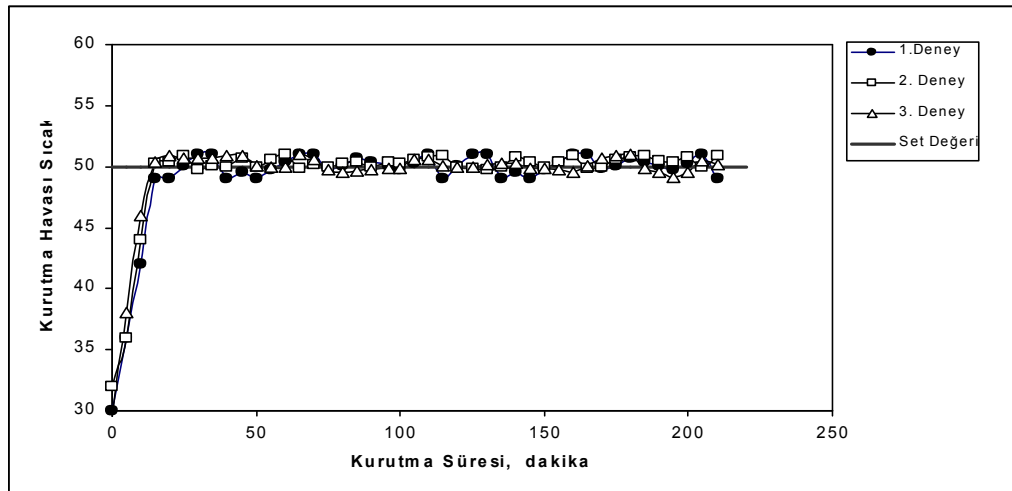
Yapılan deneylerin sonucunda kurutma işlemine başlamadan önce belirlenmiş olan kırmızıbiberlerin tam kuru madde miktarına göre güneş enerjili ve ısı pompalı kurutma sisteminde kurutulan kırmızıbiberlerin nem değişimi Eşitlik 2'den hesaplanarak Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kırmızıbiberlerdeki Nem Miktarının Kurutma Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Kurutma havası ısı pompasının kondenserinden geçmeden önce güneş kolektörü ile bir ön ısıtmaya tabii tutulmuştur. Kurutma havasının hızı, kondenser çıkışına konulan Pt-100 tipi sıcaklık algılayıcısı vasıtasıyla frekans invertörü kullanılarak kurutma havası sıcaklığına göre değişmiştir. Kırmızıbiberler ortalama 0.37 m/s hava hızında kurutulmuştur.

Şekil 5’de kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 5’de görüldüğü gibi PID kontrol ile kurutma havası sıcaklığı $\pm 0,4$ °C hassasiyetle sağlanmıştır. On-off kontrol yapılması durumunda sıcaklık dalgalanması söz konusu olacaktır. PID kontrol ile bu dalgalanmanın önüne geçilmiştir.



Şekil 5. Kurutma Havası Sıcaklığının Kurutma Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Deneysel sonuçlarına göre eşitlik 6’dan $COP_{hp,h}$ eşitlik 8’den SMER hesaplanmıştır. Tüm sistem için $SMER_{ws}$ ve COP_{wh} değerleri kurutucuda kullanılan fanın harcadığı enerji de hesaba katılarak eşitlik 7 ve 9 yardımı ile hesaplanmıştır. Ortalama olarak $SMER$ 0.24 kg/kWh, $SMER_{ws}$ 0.18 kg/kWh, COP 2.71 ve COP_{wh} 2.1 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Deneysel olarak incelenen bu sistemde güneş enerjisi olmadığı zamanlarda da kurutma işlemi ısı pompası desteğiyle devam edebilecektir. Kurutma sisteminde dışarıdan taze hava alınarak kurutma işlemi yapılmış olup güneş kolektörü ve kondenserden geçen havanın bağıl nemi düşmüş ve bu durumda havanın nem alma kabiliyeti artmıştır.

Sistemde sıcaklığın PID olarak kontrol edilmesi ile üründe, sıcaklık değişiminden dolayı oluşabilecek renk değişimi engellenmiştir. Böylece ürün kaliteli olarak kurutulmuştur. Biberin işlenmesine yönelik Dünya standartları, biberin sadece kurutucularda kurutulmasını öngörmektedir.

Buharlaştırıcı için ısı kaynağı olarak su ve toprak kaynakları da kullanılabilir. Bu durumda yeterli ısı kaynağı olması durumunda sistemin $COP_{hp,h}$ değeri daha da artabilecektir.

6. SEMBOLLER

\dot{Q}	Birim zamanda verilen enerji (W)
c	Havanın özgül ısısı, (kJ/kg °C)
\dot{W}_f	Fan gücü (kW)
M_t	Kurutmadan önce numune kütlesi, (g)
M_e	Kurutmadan sonra numune kütlesi, (g)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
\dot{m}_d	Kurutma oranı (kg/h)
$SMER_{hp}$	Isı pompalı kurutucu için özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
$SMER_{ws}$	Isı pompalı kurutucuda bütün sistem için özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
PID	P-Oransal, I-İntegral, D-Türevsel

COP	Carnot çevriminin ısıtma tesir katsayısı
$COP_{hp,h}$	Carnot çevrimine göre ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı
COP_{wh}	Carnot çevrimine göre bütün sistemin ısıtma tesir katsayısı
MC_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı (g su/g yaş madde)
MC_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı (g su/g kuru madde)

7. KAYNAKLAR

- Koç, A., B., Toy, M., Hayoğlu, İ., Vardin, H., Kırmızıbiber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8, s 57-65, 2004.
- Doğantan, Z., S., Kahramanmaraş Biberinin Kurutmaya Yönelik Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Saptanması ile Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutma Üzerine Bir Araştırma, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 1986.
- Tekinel, O., Tuncer, İ., K., Başer, N., Abak, K., Pakyürek, Y., Çoksöyler, N., Kahramanmaraş Kırmızı Biberinde İhracata Yönelik Kaliteli Yetiştirme İşleme ve Pazarlamada Karşılaşılan Sorunlara Çözüm Arayışları,

- Panel, KSÜ Yayınları, no:11, s 7-9, Kahramanmaraş, 1995.
4. Demir, L., Kahramanmaraş Kırmızıbiberinin Farklı Materyaller Üzerine Serilerek Güneşte Kurutulması Üzerine Bir Çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 1996.
 5. TS-2134, Baharat-Rutubet Miktarının Tayini, Kasım 1987.
 6. Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, Tesisat mühendisleri derneği teknik yayımlar, Tarım ürünlerinin kurutulmasında ve depolanmasında göz önüne alınacak fizyolojik etkenler, 10.5, 1993.
 7. Ashrae, Fundamentals, chapter 11, Psycological factors in drying and storing farm crops, 11.4 - 11.7, 1997.
 8. Ceylan, İ., Aktaş, M.,” Isı Pompası Destekli Bir Kurutucuda Fındık Kurutulması”, Gazi Üniversitesi
 9. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, s 215-222, 2008.
 10. Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., Energy And Exergy Analysis of Timber Dryer Assisted Heat Pump, Applied Thermal Engineering, 27, p 216-222, 2007