

# Küçük Ölçekli Sera Tipi Bir Kurutucuda Kırmızı Biber Kurutulmasının Termoekonomik Analizi

Seyfi ŞEVİK<sup>1\*</sup>, Mustafa AKTAŞ<sup>2</sup>, Hikmet DOĞAN<sup>2</sup>, Adem YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Beşevler / ANKARA

<sup>3</sup>Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, BATMAN

## ÖZET

Bu çalışmada, küçük ölçekli bir sera tipi kurutucu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Polikarbonat levha, kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Hareketli bakır kanatçıklı yüzeyler kullanılarak havanın ısıtılması ve dağılımı sağlanmıştır. Sistem elektrik enerjisi gereksinimi fotovoltaik (PV) ünitesi ile sağlanmıştır. Sistem verimi kırmızı biber kurutularda deneysel olarak incelenmiştir. Kırmızı biberler 11.5 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından son nem miktarına kadar farklı hava sıcaklıklarında kurutulmuştur. Kurutucu içerisinde hava hızı ortalama 0.34 m/s ölçülmüştür. Sistemin yıl içinde 120 gün tam verimli kullanılması halinde geri ödeme süresi 4.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına göre zorlanmış taşınımli sera tipi kurutucunun verimi % 23-27 arasında hesaplanmıştır. Bu sistem, güneş enerjisinin yeterli olduğu aylarda kurutucu olarak kullanılabilmesinin yanında kış aylarında sera olarak da kullanıma olanak sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sera tipi kurutucu, Kurutma, Kırmızıbiber, Polikarbonat levha, Enerji analizi

## Thermo-economic Analysis of Red Pepper Drying in a Small Scale Greenhouse Type Dryer

### ABSTRACT

In this study, a small scale greenhouse type dryer was designed and manufactured. Polycarbonate cover was used as covering material. Heating and distribution of air was provided by using a moving copper finned surface. The system electricity energy requirement was provided by photovoltaic (PV) unit. The efficiency of system was examined experimentally by drying red peppers. Red peppers were dried from 11.5 g water/g dry matter initial moisture content to final moisture content at the different air temperatures. Drying air velocity was measured average 0.34 m/s. The payback time of system was calculated as 4.5 years when using 120 days in one year. The drying efficiency of forced convection greenhouse type dryer was calculated between the 23% and 27% according to experimental results. This system, when sufficient of solar energy considered can be used as dryer, also it can be used as greenhouse in winter.

**Keywords:** Greenhouse type dryer, Drying, Red pepper, Polycarbonate sheet, Energy analysis

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gıdaların uzun süre saklanabilmesi ve güvenle tüketilebilmesi için bir takım işlemlerden geçirilmesi, sonrasında ise uygun saklama koşullarına uyarak tüketilmesi gerekir. Gıdaların uzun süre saklama koşullarının oluşturulması işlemlerinin başında da kurutma işlemine tabi tutmak gelmektedir.

Kurutma, yüksek enerji gerektiren bir işlem olduğundan kurutma üniteleri etkin ve alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Günümüzde kurutma işlemi için pek çok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de güneş enerjisi ile kurutma yöntemidir. Güneş enerjisinin en önemli özelliği yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır [1]. Güneş enerjili kurutucular, sera tipi ve kolektörlü olmak üzere iki tipte değerlendirilebilir. Sera tipi bir kurutucu bir güneş kolektörü olarak da düşünülebilir. Buna ek olarak ürün yetiştirilen seralarda da ürün yetiştirilmenin yanında kurutma

işlemi ile ürün de kurutulabilmektedir. Sera tipi kurutucularda genellikle cam ve naylon kullanılmakta ve bu kurutucular yarı küre, kubbeli, tünel vb. yapı şekillerinde olabilmektedir.

Dijital medya, elektronik cihazlar, otomobil ve tıbbi cihazlar dahil olmak üzere pek çok uygulama alanında geniş bir yelpazede kullanılan polikarbonat; branda, cam veya buna benzer malzemelere karşı oldukça dayanıklı bir ürün olması nedeniyle özellikle seralarda paneller halinde kullanılmaktadır. Ayrıca, ışık geçirgenlik indeksinin (% 85 ±1) yüksek olması, kırılma indisinin 1.586, ısı iletkenliğinin 0.192 W/mK, mukavemeti, ısı kararlılığı ve ısı yalıtımının iyi olması [2] nedeniyle de seralarda cam ve naylonla alternatif olarak kullanılmaktadır.

Literatürde tünel tipi başta olmak üzere farklı tiplerde sera kurutucular ve kırmızı biber kurutma ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Sera tipi bir kurutucu içerisinde ve dış ortamda; çekirdeksiz üzüm ve incir [3], Kütahya vişne çeşidi [4] ve dört farklı tip fındık [5] kurutulmuşlardır. Muller vd, (1989), tarafından yapılan sera tipi bir aktif kurutucuda aromatik ve baharat bitkileri

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: seyfisvk@hotmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.4, 143-152

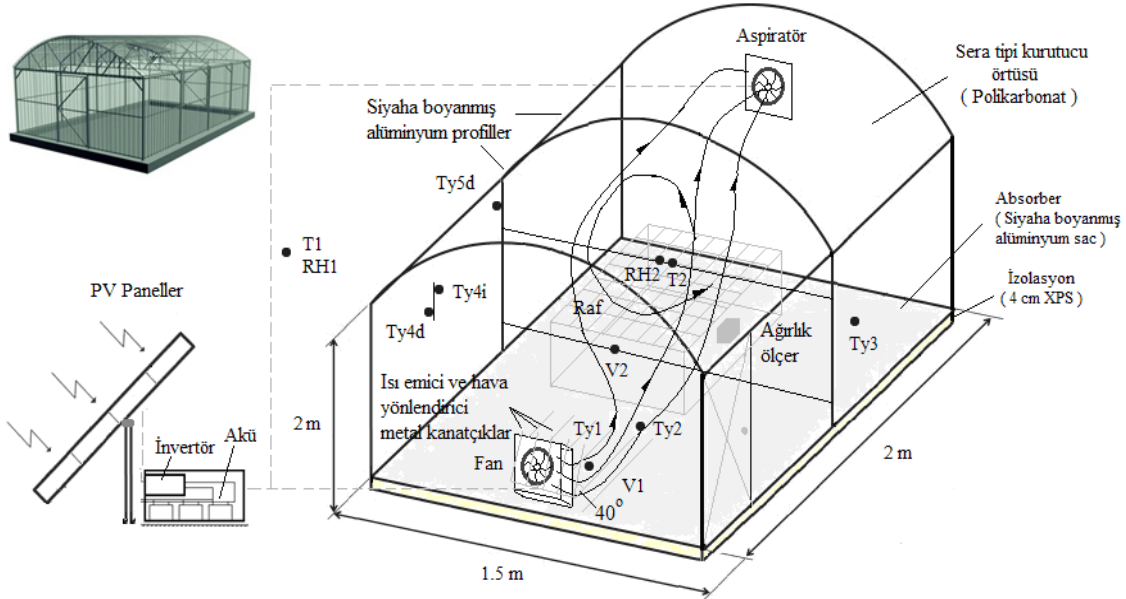
kurutulmuştur [6]. Trim ve Ko (1982) tarafından çift katlı polietilen absorberli sera tipi güneş kurutucusu tasarlanmış ve kırmızı biber kurutmuşlardır [7]. Kırmızı biberin kurutma karakteristikleri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir [8-11].

Manohar ve Chandra (2000) ve Jain ve Tiwari (2004) kurutma işlemlerini doğal ve cebri havalandırma sera tipi kurutucularda gerçekleştirmişlerdir [12-13]. Koyuncu (2006) ise iki farklı doğal dolaşimli sera tipi ürün kurutucusunun performanslarını test etmiştir [14]. Ahmad (2001), Jain (2005), Roux *vd.*, (2010) ve Yelmen (2010) gibi bazı araştırmacılar sera kurutucusunun bir kısmını kolektör olarak kullanmışlardır [15-18]. Tünel tipi güneşli kurutma sisteminde üzüm [19], ananas [20], domates [21], biber [22] ve benzeri ürünler rahatlıkla kurutulabilmektedir. Khiari *vd.*, (2004) tarafından sera tipi güneşli tünel kurutucuda kuruma özellikleri deneysel ve matematiksel olarak incelenmiştir [23]. Arıca, serada tahıl kurutma çalışmaları [24-27] ve kurutucusunun modellenmesi çalışmaları yapılmıştır [13,16,22,28]. Barnwal ve Tiwari (2008), hibrid PV-termal sera kurutucuda üzüm kurutulmasını incelemişlerdir [29]. Janjai *vd.*, (2011), polikarbonat örtü

ğinin sisteme eklenmesi ile ısının transfer şekli ve hızı emiş fanı ve üfleme fanı vasıtasıyla artırılmasıyla çift etkili sirkülasyonun oluşturulmasıdır. Kurutucu, ürünlerin kısa sürede, kaliteli ve kontrollü bir şekilde kurutulabilmesi için tasarlanmıştır. Polikarbonat malzemenin basit ve ucuz olması genel tasarım için malzeme seçiminde önemli bir faktör olmuştur. Buna karşın malzemenin inşa sırasında kolay zarar görebilmesi ve güneş ışığı altında açık havada ömürlerinin kısa olması (4-5 yıl) gibi dezavantajları da dikkate alınmıştır. Düşük enerji maliyeti ve yatırım maliyeti ile kontrollü sera tipi bir kurutucu imal edilmiş ve kırmızı biber kurutulmasıyla deneysel olarak analiz edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Sera tipi kurutucular genellikle toprak veya beton zemin üzerine kurulmakta ve cam veya naylon örtü ile kaplanmaktadır. Tasarlanarak imalatı yapılan sera tipi kurutucu ise özel tasarlanan bir zemin üzerine inşa edilen bir iskele ve termoplastiklerin özel bir grubunu oluşturan polikarbonat levha ile kaplanmış bir sera örtüsünden oluşmaktadır. Kurutucu zemini; tabanına serilmiş siyaha boyanmış alüminyum sac levha ve levhanın



Şekil 1. Sera tipi kurutucu

kullanılan sera kurutucusunun tropikal çevre şartlarında modellenmesini ve testini yapmışlardır [30]. Benzer olarak polikarbonat örtü kullanılan bir tünel kurutucuda Salih-oğlu *vd.*, (2007) çamur ve Srisittipokakun *vd.*, (2012) Tayland'a özgü bir bitki kurutmuşlardır [31,32].

Bu çalışmada, küçük ölçekli bir sera tipi kurutucu tasarlanıp imal edilerek enerji, kurutma ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılan çalışmalardan farklı olarak en önemli ayırt edici özelliği sera tipi kurutucusunun polikarbonat levha ile örtülmüş kubbeli yüksek bir yapıda olmasının yanında sera tabanının ısı emme ve depolama yeteneğinin artırılmış olmasıdır. Ayrıca, tasarlanan ısı depolama ve ısı transfer düzene-

altında 4 cm XPS yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Ayrıca, ısı depolama ve ısı dağılımının düzgün olabilmesi için sera içerisine bir düzenek yerleştirilmiştir. Bu düzenek; levhanın üzerinde ve fana yakın bölgede olup ısı emici ve hava yönlendirici bakır kanatçıklardan oluşmaktadır. Ek olarak, havayı yönlendirmek için hareketli hava yönlendirici kanatçıklar yerleştirilmiştir.

Kurutma sistemi, kurutulacak ürün miktarına göre güneşten kazanılacak enerji miktarı hesaplanarak boyutlandırılmıştır. Kurutucusunun boyutları 2m x 1.5m x 2m olup ürün tipine ve şekline bağlı olarak ürün kapasitesi 15 kg ila 20 kg'dır. Sera tipi kurutucuya ait deneysel düzenek Şekil 1'de görülebilir.

T1; dış hava sıcaklığı (°C), RH1; dış hava bağıl nemi (%), T2; kurutucu iç hava sıcaklığı (°C), Ty1; havanın ilk temas ettiği noktadaki metal yüzey sıcaklığı (°C), Ty2; 2 nolu noktadaki metal yüzey sıcaklığı (°C), Ty3; 3 nolu noktadaki metal yüzey sıcaklığı (°C), Ty4; polikarbonat levhanın iç ve dış yüzey sıcaklıkları (°C), Ty5d; alüminyum çita dış yüzey sıcaklığı (°C), v1; kurutucuya giriş hava hızı (m/s), v2; ürün üzerinden geçen hava hızı (m/s).

Tablo 1'de sera tipi kurutucuda kullanılan ekipmanlar ve özellikleri, Tablo 2'de deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri verilmiştir. Tablo 3'te ise polikarbonat levhanın özellikleri verilmiştir [33].

Tablo 1. Sera tipi kurutucuda kullanılan ekipmanlar ve özellikleri

Ekipmanlar	Özellikleri
Fanlar	50 Hz, 220 V, 0.2 A, 250 m <sup>3</sup> /h
İnverter	100 W, DC-AC 12V-220V, 50Hz
Akü (3 adet)	12 V 40 Ah, PB12040.0
Şarj kontrolörü	10 Ah, 12 V, -10~+50 °C
PV paneller (3 adet)	LS040-3M, max. güç 40 W/adet, max. voltaj 17.6V, 535x635x35 (mm), ± 5 %

Tablo 2. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri

Ekipmanlar	Özellikleri	Ölçüm aralığı	Hassasiyet	Toplam hata
Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı	NTC sensor	% 5-95 RH 0-50 °C	± % 3 ± 0.5 °C	± % 3.16 ± 0.756 °C
Sıcaklık sensörü	10 mV/°C	-55~+150 °C	± 0.1 °C	± 0.304 °C
Hız ve sıcaklık cihazı	NTC sensor	-20~+70 °C, 0-20 m/s	±0.01 m/s ±0.1 °C	±0.1009 m/s ±0.173 °C
Solar metre	0.3-1.1 mikron spektrum	0-1200 W/m <sup>2</sup>	± % 3	± % 3.04
Sıcaklık ölçüm cihazı	12 kanallı elektronik J tipi	0-400 °C	± 0.1 °C	± 0.287 °C
Loadcell	2 mV/V	0-50 kg	±% 2 kg	± % 3 kg
Dijital tartı	220 V	0-6100 g	±0.01 g	±0.015 g
Termometre (termokupl)	K tipi termokupl girişli	-50-1372 °C	± 0.1 °C	± 0.141 °C

Tablo 3. Polikarbonat (PC) levhanın özellikleri

Kalınlık (mm)	Maksimum genişlik (mm)	Görünür ışık geçirgenliği	Kızılötesi radyasyon geçirgenliği	Hava yeteneği	Nihai gerilme kuvveti (N mm <sup>-2</sup> )	Yırtılma mukavemeti (N mm <sup>-1</sup> )	Kırılma indisi	Isı iletkenliği (W/mK)
0.006-0.35	1.4	0.87-0.92	---	İyi	55-80	7.5-10	1.586	0.192

Kurutma için gerekli olan ısı enerjisi güneş ışınımı ile karşılanmaktadır. Sistemde ışınımın gelen enerjinin bir kısmı, sera içerisinde güneş gören emici plakada depo edilmekte, ışınım ve taşınım yolu ile sera içerisine yayılmaktadır. Yani sera bir havalı güneş kolektörü gibi kullanılmaktadır. Dış hava, fan yardımıyla emilerek kurutucuya 2.3 m/s hava hızında

gönderilmektedir. Hava, siyaha boyanmış alüminyum sac, alüminyum sac üzerinde yer alan plakalar ve hava yönlendirici bakır kanatçıklara çarptırılmaktadır. Bu sayede hem ısı transfer yüzey alanı artırılmış hem de hava ürün üzerine yönlendirilmiştir. Üzerine ısı enerjisi alan ortalama 0.34 m/s hızındaki hava, raflardaki ürünlerle temas ettirilmektedir. Burada ürüne bir miktar ısı verilirken üründen de havaya kütle transferi olup, üzerine bir miktar nem alan hava üfleme fanı vasıtasıyla dışarıya atılır. Deneyler sırasında debileri 250 m<sup>3</sup>/h olan emiş ve üfleme fanları devamlı olarak ve sabit hava hızında çalıştırılmıştır.

Açık havada güneşe sererek ve gölgede sererek kurutma denemelerinde kurutulmuş ürünler, ahşap malzemeden imal edilen, yerden yüksekliği 0.5 m ve boyutları 1.2m x 1.5m x 1.6m olan ince tel eleklerle kaplı raflı kurutma sehpasına serilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Teorik Analiz (Theoretical Analysis)

Açık sistem için Termodinamiğin birinci kanunu'na göre enerjinin korunumu;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{gh} \left( h_{gh} - h_{gh} + \frac{V_g^2 - V_g^2}{2} \right) \quad (1)$$

Sera tipi kurutucuda havaya birim zamanda aktarılan ısı enerjisi;

$$\dot{Q} = A.u.\rho.c.(T_g - T_g) \quad (2)$$

ya da;

$$\dot{Q} = \dot{m}.(h_2 - h_1) \quad (3)$$

ile hesaplanır. Üründen birim zamanda uzaklaştırılan nem miktarı;

$$\Delta\omega = \dot{m} \cdot (\omega_2 - \omega_1) \quad (4)$$

ile hesaplanır.

Seranın kazandığı ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_{gelen} = \sum A \cdot I \quad (5)$$

Seradan atılan nemli havanın ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_{atilan} = \dot{m}_h \cdot c_h \cdot (T_g - T_c) \quad (6)$$

Serada oluşan ısı kayıpları;

$$\dot{Q}_{kayıp} = \sum K \cdot A \cdot \Delta T \quad (7)$$

Eşitlikteki toplam ısı geçiş katsayısı (K);

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{\alpha_{dış}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (8)$$

ile hesaplanmıştır.

duyulur ısı transferinden dolayı);

$$Q_3 = A_{ii} \cdot D_{ii} \cdot c_{ii} \cdot \rho_{ii} \cdot (T_{ii} - T_h) \quad (12)$$

Kurutucunun içinde havanın kazandığı ısı enerjisi (havanın giriş ve çıkışından dolayı);

$$Q_4 = V \cdot [(\rho_h \cdot c_{ph} \cdot T_c) - (\rho_h \cdot c_{ph} \cdot T_g)] \quad (13)$$

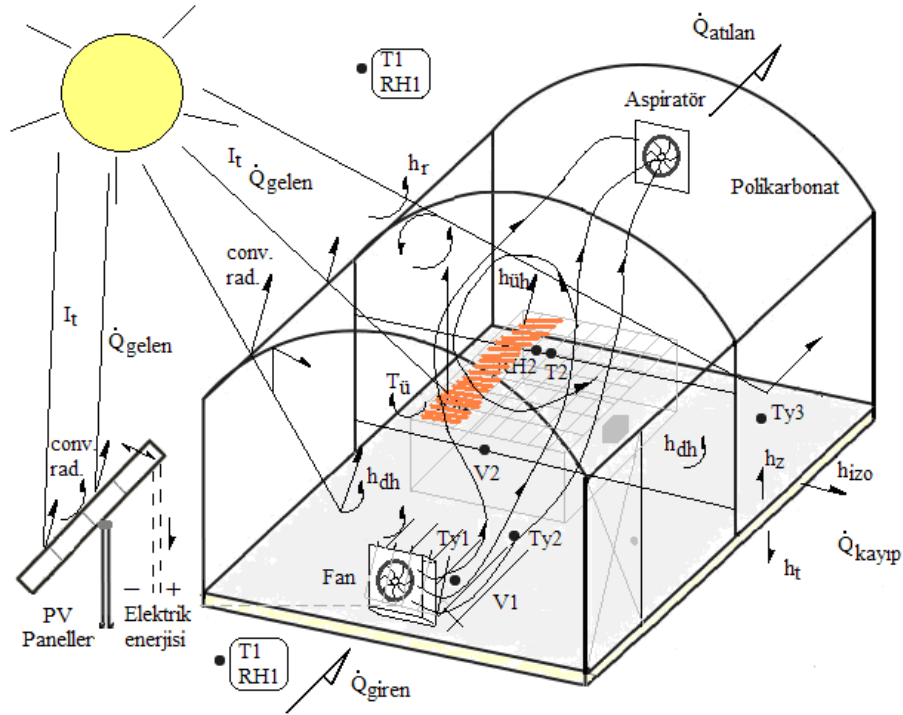
Kurutucunun içindeki havadan çevre havasına olan ısı geçişi;

$$Q_5 = U_p \cdot A_p \cdot (T_{dh} - T_h) \quad (14)$$

Sera örtüsünden toplam ısı kayıp katsayısı;

$$U_p = \frac{k_p}{\lambda_p} \quad (15)$$

Isı taşınımından dolayı ürün ve hava arasındaki ısı enerjisi;



Şekil 2. Sera tipi kurutucunun enerji dengesi

Sera tipi kurutucu içindeki havanın enerji dengesi

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 \quad (9)$$

Enerji dengesi incelendiğinde kurutucunun içindeki havanın toplam ısı enerjisi;

$$Q_1 = m_h \cdot c_{ph} \frac{dT_h}{dt} \quad (10)$$

Güneş radyasyonu ile kurutucunun içindeki hava tarafından emilen enerji;

$$Q_2 = [(1 - R_{ii}) \cdot (1 - \alpha_d) + (1 - \alpha_{ii}) \cdot R_{ii}] \cdot I_t \cdot A_p \cdot \tau_p \quad (11)$$

Ürünün havadan kazandığı ısı enerjisi (havadan ürüne

$$Q_6 = A_{ii} \cdot h_{ih} \cdot (T_{ii} - T_h) \quad (16)$$

Isı taşınımından dolayı döşeme ve hava arasındaki ısı enerjisi;

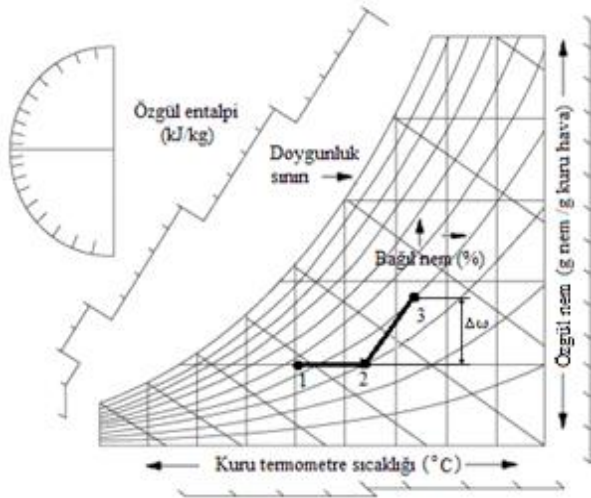
$$Q_7 = A_d \cdot h_{dh} \cdot (T_d - T_h) \quad (17)$$

Zorlanmış dolaşımli sistemin kurutma verimi;

$$\eta = \left[ \frac{(YA - KA) \cdot L}{\sum A \cdot I} \cdot x100 \right] \quad (18)$$

ile hesaplanmıştır.  $\sum A \cdot I$ ; seranın her bir yüzey alanına gelen güneş ışınım şiddeti ölçülerek bulunmuştur.

Şekil 3'te kurutma sisteminin taslak psikrometrik analizi verilmektedir. Şekle göre; "1" şartlarındaki dış hava, kurutma öncesi sera kurutucusunun bir miktar duyulur olarak ısınmasıyla "2" şartına ulaşır. "2" şartında ürün sera kurutucusu içerisine konularak kurutma deneyi başlar. "2-3" şartları ise kurutma esnasındaki değişimi göstermektedir. Burada, sera ile birlikte aynı zamanda ürün de ısıldığından bir taraftan buharlaşma olurken bir taraftan da kütle transferi nedeniyle nem artışı söz konusudur ve kurutma havası seradan  $\Delta\omega$  kadar nemi bünyesine nem alarak "3" şartında emiş fanı sayesinde kurutucu dışına atılır. Kurutucu içerisindeki yük miktarına, dışa hava şartlarına göre veya ürünün seradaki raflara koyulma zamanına göre taslak grafik değişiklik gösterebilir.



Şekil 3. Kurutma sisteminin taslak psikrometrik analizi

Sera tipi kurutucuda deneyler esnasında sıcaklık, hava hızı, bağıl nem, güneş ışınımı ve ağırlık ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde ortaya çıkabilecek hatalar deneylerde kullanılan cihazlara bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen deneysel veriler için ölçülen değerlerin doğruluğunu etkileyen en önemli etken ise deneyler esnasında oluşabilecek hatalardır. Bu durumda ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (19)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır [34]. Eş. 19'da R ölçülmesi gereken büyüklük (sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, vb), bu büyüklüğe etki eden değişkenler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  şeklindedir. Her bir bağımsız değişkenlere ait hata oranları  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  ve R büyüklüğünün toplam belirsizliği  $W_R$  olarak ifade edilmiştir. Sistemde, sıcaklık, hız, zaman, bağıl nem, güneş radyasyonu, kütle kayıplarının ölçümünde yapılan hatalar ve diğer hatalar hata oranlarını oluşturmaktadır. Örneğin hız ölçümünden kaynaklanan hatalar; anemometrenin hassasiyetinden, debi kaçaklarından ve okumadan kaynaklanan hatalardan oluşmaktadır. Verilen eşitlikten elde edilen hata değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

## 2.2. Kırmızı biberlerin Kurutma İşlemi İçin Hazırlanması (Red pepper Preparation for Drying)

Taze kırmızı biberlerin sap, tohum ve tohum evleri alındıktan sonra elde edilen ortalama etli kısım % 69-74, kuru kırmızı biberlerde ise % 49-55 arasında değişmektedir. Tohum ve sap oranının düşük olması, kuru biberlerin yaprak ve toz biber üretiminde randıman değerlerinin artmasında önemli rol oynamaktadır [11]. Bu nedenle kurutulacak olan kırmızı biberlerin etli olanları seçilmiştir. Kırmızı biberler saplarından arındırılıp tohum evleri temizlendikten sonra ortalama 5 mm kalınlığında boyuna dilimlenmiştir. Öncelikle kırmızı biberlerin başlangıç nem miktarı etüv fırınında TS-2134 standardına göre deneyler yapılarak belirlenmiştir [35]. Başlangıç nem miktarları belirlenmiş olan kırmızı biberler kurutucuda kurutma sehpasına yerleştirilerek, kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir.

## 2.3. Kurutma Analizi (Drying Analysis)

Kırmızı biberlerdeki yaş ve kuru esasa göre hesaplanan nem içeriği değerleri için;

$$M_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (20)$$

$$M_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (21)$$

eşitliklerinden faydalanılır [1]. Kurutma deneyleri sırasında kırmızı biberlerdeki nem oranı ve kuruma hızı değerleri ise;

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (22)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (23)$$

eşitlikleri ile hesaplanır [1].

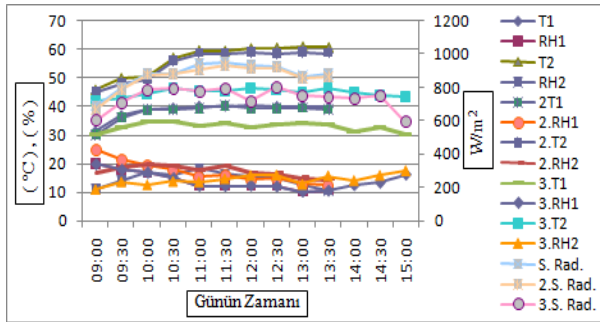
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Biber hasat mevsimi ile güneş enerjisi potansiyelinin birbiriyle örtüşmesi ile güneş enerjisinden yararlanarak kurutma yapmayı mümkün kıldığından tasarlanan ve imalatı yapılan sera tipi kurutucunun kullanım olanakları ve verimliliği kırmızı biber kurutulması için incelenmiştir.

Deneyler; ölçüm değerleri; Haziran 2012 tarihlerinde (3 gün) sabah saat 09.00'da başlayarak her 30 dakikada bir alınmıştır. Sistem % 100 dış hava kaynaklıdır. Sistemde kullanılan fan ve yönlendirici kanat motorunda enerji harcaması olup PV ünitesinden beslenmektedir. Dilimlenmiş kırmızı biberler, ortalama 0.34 m/s sabit hava hızında ve değişken kurutma havası sıcaklığında sera içerisinde, güneşe sererek ve gölgede olmak üzere üç farklı alanda kurutulmuştur. Kurutma sisteminde kırmızı biberler 11.5 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından 0.1 g su/g kuru madde son nem miktarına kadar kurutulmuştur.

Onat (2002), havalı güneş kolektörü ile kırmızı biber kurutmuştur. Kırmızı biber için en uygun kurutma havası hızının 0.5 m/s olduğunu belirtmiş, buna ek olarak 65 °C'nin üzerindeki kurutma işlemlerinde biberlerin renklerinde esmerleşme olduğunu ve 70 °C'nin üzerinde ise biberlerde yanma olduğunu gözlemlemiştir [36]. Koç vd, (2004) çalışmalarında açık havada kırmızı biberlerde hızlı kuruma olmasına karşın, L-askorbik asit (C vitamini) ve renk seviyeleri incelendiğinde kurutucu ile kurutulan biberlerde elde edilen değerlerin açıkta kurutulan biberlerden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [37]. Makaracı (2006), açık havada, fırında ve mikrodalga fırında olmak üzere üç farklı kurutma yönteminin kırmızı biberlerde aflatoksin oluşumu üzerine etkisini incelemiş ve kullandığı hiçbir kurutma yönteminde aflatoksine rastlamamıştır [38]. Yapılan bu çalışmalara göre, sera tipi kurutucunun yukarıda belirtilen, kırmızı biber için en uygun kurutma havası hızının 0.5 m/s olduğu ve 65 °C'nin altında kurutulması gerektiği yönündeki, tavsiyelere uygun olarak kurutma uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde dilimlenmiş kırmızı biberler ortalama 0.34 m/s hava hızında ve 42-61 °C arasında değişen kurutma havası sıcaklığında sera içerisinde kurutulmuştur. Deneyler sırasında belirli noktalardan her yarım saatte bir sıcaklık, bağıl nem, güneş ışınımı değerleri ve tek noktadan ağırlık ölçülmüştür. Kurutma deneylerine ait ölçüm değerleri Şekil 4'teki grafikte gösterilmiştir. Buna göre dış hava sıcaklığı 28-40 °C, kurutma havası sıcaklığı 42-61 °C, güneş radyasyon değerleri 550-950 W/m<sup>2</sup> aralığında ölçülmüştür. Ayrıca, grafikte gösterilmeyen alüminyum sac üzerindeki yüzey sıcaklık değerleri 47-67 °C arasında, polikarbonat yüzey sıcaklık değerleri ise 35-46 °C aralığında ölçülmüştür.



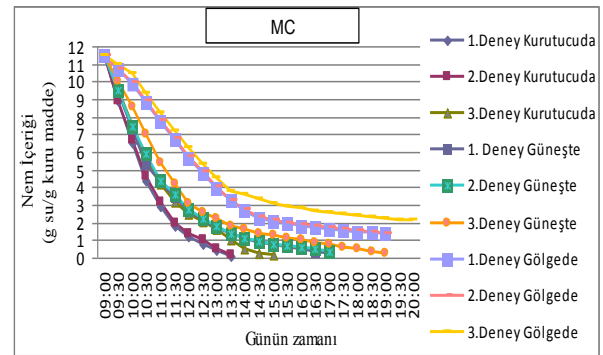
Şekil 4. Kurutma deneylerine ait sıcaklık, bağıl nem ve güneş ışınımı değerleri

T1; dış hava sıcaklığı (°C), RH1; dış hava bağıl nemi (%), T2; kurutucu içi hava sıcaklığı (°C), RH2; kurutucu içi hava bağıl nemi (%), S. Rad; güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>).

Dış ortam şartları deney sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. 3 ayrı kurutma işleminde her gün için bir sonuç elde edilerek ve her işlem için 3 farklı deney sonuçları alınarak deneyler 3 günde tamamlanmıştır. Birinci ve ikinci gün dış hava şartları birbirine çok yakın olmasına rağmen üçüncü gün deneyi daha düşük dış hava sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Birinci ve

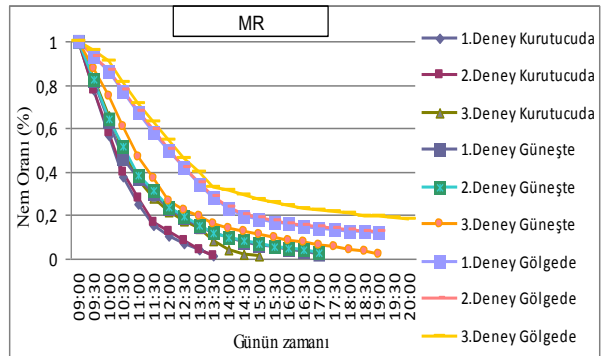
ikinci gün deneylerinde hava şartlarının benzer olması deney sonuçlarının da benzerlik oluşturmasına neden olmuştur. Üçüncü deneyde ise, dış hava sıcaklığının düşük olması ürün kurutma süresini uzatmıştır. Kurutma süresinin uzun olması istenmeyen bir durumdur. Ürün ne kadar kısa sürede kurutulursa, o kadar iyi kalitede ürün elde edildiği bilinmektedir. Kurutucu içerisinde kurutma havası sıcaklığı kurutma süresi boyunca dış ortam sıcaklığına paralel olarak yükselen bir eğilim izlemektedir. Bu artış eğilimine göre kurutma hızı da artmaktadır.

Yığın kalınlığı ve kapladığı yüzey alanı eşit olarak seçilen yaş kırmızı biberlerin her bir kurutma yöntemi (Kurutucuda, güneşte ve gölgede) için nem içeriği, nem oranı ve kuruma hızı değerleri eşitlikler 20-23'ten hesaplanarak Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Kurutucuda, güneşte ve gölgede kurutulan kırmızı biberlerin nem içeriği değerleri

Şekil 5'te görüldüğü gibi kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde nem içeriğinde gölgede ve güneşte kurutmaya göre daha hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir.

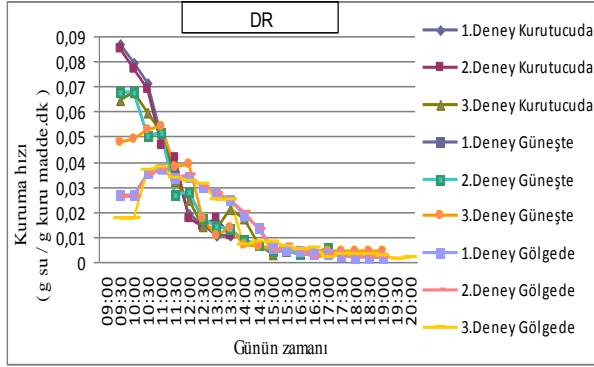


Şekil 6. Kurutucuda, güneşte ve gölgede kurutulan kırmızı biberlerin nem oranı değerleri

Şekil 6'da kurutucu içerisindeki ürünlerin nem oranı değişimi güneşte ve gölgede yapılan kurutmaya göre daha hızlı olduğu görülebilir. Şekil 5, 6 ve 7'deki ana unsur sera tipi kurutucuda hava sıcaklığının artırılması ile havanın bünyesine alabileceği nem miktarı artmış, böylelikle de kurutma hızı sera tipi kurutucuda artmıştır. Kurutucuda, daha yüksek sıcaklıktaki hava ürün ile temas ettiğinde kurutma hızlanmıştır.

Genel olarak en yüksek kurutma hızı sera tipi

kurutucuda elde edilmiştir. Güneşe sererek kurutmanın ilk evresinde serada ve gölgede kurutmaya göre biraz hızlı olmuş ancak sonrasında serada kurutmaya göre çok yavaşlamıştır. Deneysel sonuçlarındaki sera tipi kurutucuda kırmızı biberler 0.1 g su/g kuru madde son nem miktarına ulaşmasına rağmen aynı süre içerisinde diğer alanlardaki ürünler bu nem değerine kadar ulaşamamıştır.



Şekil 7. Kurutucuda, güneşte ve gölgede kurutulan kırmızı biberlerin kuruma hızı değerleri

Kırmızı biberler, değişken kurutma havası sıcaklığında ve 0.34 m/s hava hızında güneş ışınımına bağlı olarak 270-360 dakika aralığında kurutulmuştur. Benzer olarak Aktaş vd, (2010) güneş destekli ısı pompalı bir kurutucuda kırmızı biberleri 50 °C kuru termometre sıcaklığında ve ortalama 0.4 m/s hava hızında 210 dakikada kurutmuşlardır. Her iki sistem aşağı yukarı benzer şartlarda denendiğinden birbirleriyle karşılaştırılabilir. Buna göre; güneş destekli ısı pompalı kurutucuda kurutma süresinin kısa olmasına ve yılın bütününde kullanılabilir olmasına karşın, kurulum maliyeti ve işletme maliyetinin yüksek olması sera tipi kurutucu için avantaj oluşturmaktadır.

#### 4. EKONOMİK ANALİZ (ECONOMIC ANALYSIS)

Sistem verimi hesaplanırken termodinamik analizler ile birlikte ekonomik analizinin de yapılması gerekir ki, tam manasıyla sistem verimliliği ortaya konabilsin. Zira kurutucu, termodinamik açıdan verimli olabilir ancak ekonomik açıdan iyi olmayabilir.

Sera tipi kurutucunun kurutma kapasitesi 20 kg olup ilk yatırım maliyeti 1500 \$'dır. Sistem 6 ay kurutucu, geri kalan zamanda (6 ay) ise sera olarak çalıştırılabilir, Kurutucunun, kırmızı biberin hasat süresi ile bağlantılı olarak, yılda 120 gün tam verimli bir şekilde çalışacağı göz önünde bulundurulmuştur.

Kurutucunun hurda değerinin 150 \$ olacağı göz önünde bulundurulmuştur. Kurutucunun faydalı ömrünün 15 yıl [30] olacağı kabul edilmiştir. Bu süre içinde de nakit akışlarının ilk yılki gibi olacağı dikkate alınmıştır.

Kurutma sistemi için amortisman giderleri doğru-hat amortisman yöntemi kullanılarak aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir [39].

$$D_t = \frac{C_{sp} - S_v}{n} \quad (24)$$

Eşitlikte,  $D_t$ ; t periyodundaki kurutucu amortisman gideri (\$/yıl),  $n$ ; kurutma sistemi faydalı ömrü (yıl),  $S_v$ ; hurda değeri (\$) ve  $C_{sp}$ ; kurutma sisteminin şimdiki değeri (\$) olarak ifade edilebilir.

Gerçek ödeme süresi, bir yatırımda sağlanan net nakit girişlerinin, yatırım miktarının karşılayabilmesi için gerekli süre veya başka bir deyişle yıl süresidir. Gerçek ödeme süresi, bir yatırımın kendisini ne kadar hızlı geri ödeyebileceğinin bir göstergesidir [40].

$$\text{Gerçek ödeme dönemi} = \frac{\text{Yatırım tutarı}}{\text{Yıllık net nakit girişi}} \quad (25)$$

Ayrıca sistem için yatırım karlılığı ise;

$$\text{Yatırım karlılığı} = \frac{\text{Yıllık ortalama net nakit girişi}}{\text{Yatırım tutarı}} \quad (26)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kırmızı biber kurutulurken bazı kabuller ile ekonomik analiz hesaplamaları yapılmıştır. Ankara ili şartlarında yılın tüm zamanında yaş ürün bulmak mümkündür. Örneğin; kırmızı biber 6 aylık periyotta kolaylıkla bulunabilir, bununla birlikte Ağustos-Eylül-Ekim aylarında hasat mevsiminde daha ucuz ve kaliteli ürün bulmak mümkündür.

Yapılan hesaplamalarda;

- Günde 2 kg kuru kırmızı biber elde edileceği,
- Hasat döneminde yaş kırmızı biber fiyatının 0.5 \$/kg ve kuru kırmızı biber fiyatının 7 \$/kg olacağı,
- Kullanılan akü ve sera tipi kurutucu kaplama malzemesinin 4 yılda bir yenilenmesi gerekliliğinden ve bakım-onarım giderlerinden dolayı 150 \$/yıl gider kalemi olacağı,
- Kurutucunun işçilik (küçük ölçekli olmasından dolayı) ve enerji giderinin olmayacağı,
- Amortisman giderinin nakit akışını etkilemeyeceği,

dikkate alınmıştır.

Buna göre; Eş. 24'ten kurutucunun amortisman gideri 90 \$/yıl olarak hesaplanmıştır. Bahsi geçen kurutma sisteminin belirtilen hususlar dikkate alındığında gerçek ödeme süresi Eş. 25'ten 4.54 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yatırım karlılığı Eş. 26'dan 0.22 olarak hesaplanmıştır.

Kapasite büyüdükçe bu sistem için enerji giderleri olmadığından yatırım karlılığı artacaktır. İşçilik, yaş ürünün ve ilk yatırım maliyeti göz önünde bulundurulurken Eşitlikler 24-26 kullanılarak istenilen kapasite için yatırım karlılığı hesaplanabilir. Sonuç olarak, üreticiler için yaz döneminde yapılan hasatlarda bu kurutucunun her ölçekte (büyük-orta-küçük) verimli ve karlı bir şekilde kullanılacağı tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Bu çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar

Veriler	Sera tipi kurutucuda	Güneşte	Gölgede
Kurutma havası sıcaklıkları (°C)	42-61	28-40	29-38
Ortalama hava hızı (m/s)	0.34	0.34	0.34
Kurutma süresi (dakika)	270-360	270-360	270-360
Güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )	550-950	550-950	--
Kurutma verimi	0.23-0.27	--	--
Amortisman gideri (\$/yıl)	90	--	--
Yatırım karlılığı	0.22	--	--
Geri ödeme süresi (yıl)	4.5	--	--

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULT AND SUGGESTION)

65 °C'ye kadar olan düşük sıcaklıklar gerektiren gıda kurutma uygulaması için güneş enerjisi en uygun enerji kaynağı olarak düşünülebilir [41]. Tasarlanan sistemde deneysel olarak kırmızı biber kurutulmuş analiz edilmiş ancak literatürdeki gibi gıda ve hatta çamur gibi farklı ürünler de kurutulabilir. Konvansiyonel kurutuculardaki enerji giderleri olmayan bu deney düzeneği, yüksek kapasiteli sistemlere kolay adapte edilebilir niteliktedir. Sera tipi kurutucu kurutma yapılmadığı zamanlarda başka amaçlar için de kullanılabilir. Örneğin, güneşin kurutma için yeterli olmadığı yılın diğer periyodunda sera olarak da kullanılabilir.

Deney düzeneğinin zorlanmış taşınımlı ve kontrollü olması nedeniyle ürünler dışarıda kurutulanlara göre daha kısa sürede kurutulmuştur. Seranın tabanını beton veya toprak zemin olarak kullanmak yerine sera tabanına siyaha boyalı alüminyum levha konulması sayesinde seranın bir havalı güneş kolektörü gibi kullanılması ile sera içerisinde daha yüksek sıcaklık elde edilmiştir. Böylece havanın nem alma kabiliyeti de artırılmıştır. Bu da kurutma süresini kısaltmıştır. Ayrıca ürünlerin kurutucuda kurutulmasıyla dış ortamdan yalıtılmış olduğundan gıda güvenliği ve kalitesi açısından bir avantaj sağlanarak hava kalitesi belirli şartlarda tutulabilmiştir. Kurutulan ürünler yağmur, toz vb. faktörlerden korunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda Eş. 18'den zorlanmış taşınımlı sera tipi kurutucunun verimi 0.23-0.27 arasında olduğu hesaplanmıştır.

Kurutucuda, kapasite artırıldığında ve/veya yılın geri kalanında sera olarak kullanıldığında geri ödeme süresi de kısalacaktır. Mevcut sistemde ürün miktarı artırıldığında verim artmakta buna karşın kurutma süresi uzamaktadır. Üreticiler için bu çalışma model olarak alınabilir.

Kötü hava şartlarında ve gece kurutmanın devam edebilmesi amacıyla sisteme havalı ve/veya sulu güneş kolektörü, sera içerisine faz değiştiren madde, ısı depolama elemanları veya ısıtıcılar eklenebilir. Ayrıca sistem havası dışarıya atılmadan bir ısı geri kazanım cihazından geçirilerek egzoz havasının ısısı kurutucu giriş havasına kazandırılarak sistem verimi artırılabilir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 07/2010-45 kodlu proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

### SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

A	Kurutucu yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
A <sub>d</sub>	Döşeme yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
A <sub>p</sub>	Polikarbonat levha yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
A <sub>ü</sub>	Ürünün yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
c <sub>ph</sub>	Kurutma havasının özgül ısısı [kJ/kgK]
C <sub>sp</sub>	Kurutma sisteminin şimdiki değeri [\$]
c <sub>ü</sub>	Ürünün özgül ısısı [kJ/kgK]
D <sub>ü</sub>	Ürünün kalınlığı, [m]
D <sub>t</sub>	t periyodundaki kurutucu amortisman gideri [\$/yıl]
dt	Ölçüm zaman aralığı [dk]
h <sub>üh</sub>	Ürün ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]
h <sub>dh</sub>	Döşeme ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]
I	Güneş ışınımı [W/m <sup>2</sup> ]
k <sub>p</sub>	Polikarbonat örtünün ısı iletkenliği [W/mK]
L	Suyun buharlaşma gizli ısısı [MJ/kg]
M	Nem içeriği [g su/g kuru madde]
M <sub>t</sub>	"t" zamanda nem içeriği [g su/g kuru madde]
M <sub>t+dt</sub>	"t+dt" zamanda nem içeriği [g su/g kuru madde]
M <sub>0</sub>	İlk nem içeriği [g su/g kuru madde]
m	Kütleli debi [kg/s]
n	Kurutma sistemi faydalı ömrü [yıl]
Q̇	Sistemin güneşten kazandığı ısı enerjisi [kJ/s]
R	Ölçülmesi gereken büyüklük
R <sub>ü</sub>	Ürün üzerine düşen güneş ışınımı kesri [%]
S <sub>v</sub>	Hurda değeri [\$]
T <sub>ç</sub>	Sera çıkış havası sıcaklığı [K]
T <sub>d</sub>	Döşeme sıcaklığı [K]
T <sub>dh</sub>	Dış hava sıcaklığı [K]
T <sub>g</sub>	Dış hava sıcaklığı [K]
T <sub>h</sub>	Havanın sıcaklığı [K]
U <sub>p</sub>	Polikarbonatın levhadan dış havaya toplam ısı geçiş katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]
T <sub>ü</sub>	Ürün sıcaklığı [K]
x	Bağımsız değişken
V̇	Hacimsel debisi [m <sup>3</sup> /s]
v	Hız [m/s]
W <sub>R</sub>	R büyüklüğünün toplam belirsizliği
w	Hata oranı
α	Emicilik
τ <sub>p</sub>	Polikarbonat levhanın ışık geçirgenliği [0.85 ±0.01]
λ <sub>p</sub>	Polikarbonatın kalınlığı [m]
ρ	Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]



**Kısaltmalar**

ç	Çıkış
çh	Çıkış havası
DR	Kuruma hızı [g su/g kuru madde.dk]
g	Giriş
gh	Giriş havası
d	Döşeme
h	Hava
KA	Kuru ağırlık [g]
YA	Yaş ağırlık [g]
MR	Nem oranı
sb	Su buharı
ü	Ürün

**6. KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Şevik S., "Design, experimental investigation and analysis of a solar drying system", *Energy Conversion and Management*, 68: 227-234, (2013).
- Mark J. E., "Polymer Data Handbook", 363-367, *Oxford University Press.*, Oxford, USA, (1999).
- Demir S., "Bazı meyvelerin sera içinde kuruma karakteristikleri", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Ege Üniversitesi*, 22-23, İzmir, (1989).
- Ergüneş G. ve Gerçekçioğlu R., "Sera tipi kurutucuda Kütahya vişne çeşidinin kuruma özellikleri ve kuru ürün kalitesine etkileri", *Türkiye 3. Bahçe Bitkileri Kongresi*, 14-17 Eylül, Ankara, 833- 837, (1999).
- Demirbaş M., Kasap A., "Fındık kurutma sistemlerinin karşılaştırılması", *Tarumsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 13-15 Eylül, Şanlıurfa, 431-436 (20019).
- Muller J., Reisinger G., Muhlbauer W., Martinov M., Tesic M. and Kisgeci J., "Drying of medicinal and spice plants with solar energy in plastic film covered greenhouse", *Land Technik* 44(2): 58-60 (1989).
- Trim D. S., Ko H. Y., "Development of a forced-convection solar dryer for red peppers", *Tropical Agriculture*, 59(4): 319-323 (1982).
- Chandy E., Ilyas S. M., Samuel D. V. K. and Singh A., "Effect of some physical treatments on drying characteristics of red chillies", *In Proceedings of the Int. Agricultural Engineering Conference*, Bangkok, Thailand (1992).
- Tırıs Ç., Özbalta N., Tırıs M. and Dinçer İ., "Experimental testing of a new solar dryer", *Int. J. of Energy Research*, 18: 483-490 (1994).
- Doymaz I. and Pala M., "Hot-air drying characteristics of red pepper", *J. of Food Engineering*, 55(4): 331-335, (2002).
- Aktaş M., Ceylan İ., Doğan H. ve Aktekeli Z., "Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı kırmızı biber kurutucusunun tasarımı, imalatı ve performans deneyleri", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1): 111-120, (2010).
- Manohar K. R. and Chandra P., "Drying of agricultural produce in a greenhouse type dryer", *Int. Agric. Eng. J.*, 9(3): 139-150, (2000).
- Jain D. and Tiwari G. N., "Effect of greenhouse on crop drying under natural forced convection II. Thermal modeling and experimental validation", *Energy Conversion and Management*, 45: 2777-2793, (2004).
- Koyuncu T., "An investigation on the performance improvement of greenhouse type agricultural dryers", *Renewable Energy*, 31: 1055-1071, (2006).
- Ahmad N. T., "Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film", *Renewable Energy*, 23: 663-671, (2001).
- Jain D., "Modeling the performance of greenhouse with packed bed thermal storage on crop drying application", *J. of Food Engineering*, 71: 170-178, (2005).
- Roux N., Jung D., Pannejon J. and Lemoine C., "Modelling of the solar drying process Solia", In: Pierucci S, Ferraris GB, editors. *Proceeding of 20th European symposium on computer aided process engineering*, (2010).
- Yelmen B., "Polietilen yüksek tünel sera tipi kurutucuda baharatlık kırmızı biberin kurutulması", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Çukurova Üniversitesi*, Adana, (2010).
- Fuller R. J. and Charters W. W. S., "Performance of a solar tunnel dryer with microcomputer control", *Solar Energy*, 59(4-6): 151-154, (1997).
- Bala B. K., Mondol M. R. A., Biswas B. K., Daschowdury B. L. and Janjai S., "Solar drying of pineapple using solar tunnel drier", *Renewable Energy*, 28: 183-190, (2003).
- Gürlek G., Özbalta N. and Güngör A., "Solar tunnel drying characteristics and mathematical modelling of tomato", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29(1): 15-23, (2009).
- Farhat A., Koli S., Kekreni C., Maalej M., Fadkel A. and Belghith A., "Validation of a pepper drying model in a polyethylene tunnel greenhouse", *Int. J. of Thermal Sciences*, 43: 53-58, (2004).
- Khari B., Mihoubi D., Mabrouk S. B. and Sassi M., "Experimental and numerical investigations on water behaviour in a solar tunnel drier", *Desalination*, 168: 117-124, (2004).
- Condori M. and Saravia L., "The performance of forced convection greenhouse driers", *Renewable Energy*, 13: 453-469, (1998).
- Condori M., Echaz R. and Saravia L., "Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel greenhouse drier", *Renewable Energy*, 22: 447-460, (2001).
- Garg H. M. And Kumar R., "Studies on semi-cylindrical solar tunnel dryers: thermal performance of collector", *Applied Thermal Engineering*, 20: 115-131, (2000).
- Sethi V. P. and Arora S., "Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection", *Solar Energy*, 83: 1472-1484, (2009).

28. Kumar A. and Tiwari G. N., “Thermal modeling of a natural convection greenhouse drying system for jaggery: an experimental validation”, *Solar Energy*, 80: 1135-1144, (2006).
29. Barnwal P. and Tiwari G. N., “Grape drying using hybrid photovoltaic-thermal greenhouse dryer: an experimental study”, *Solar Energy*, 82: 1131-44, (2008).
30. Janjai S., Intawee P., Kaewkiew J., Sritus C. and Khamvongsa V., “A large-scale solar greenhouse dryer using polycarbonate cover: Modeling and testing in a tropical environment of Lao People’s Democratic Republic”, *Renewable Energy*, 36: 1053-1062, (2011).
31. Salihoğlu N. K., Pinarlı V. and Salihoğlu G., “Solar drying in sludge management in Turkey”, *Renewable Energy*, 32: 1661–1675, (2007).
32. Srisittipokakun N., Kirdsiri K. and Kaewkhao J., “Solar drying of andrographispaniculata using a parabolic shaped solar tunnel dryer”, *Procedia Engineering*, 32: 839-846, (2012).
33. Ekechukwu O. V. and Norton B., “Review of solar-energy drying systems III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications”, *Energy Conversion and Management*, 40: 657-667, (1999).
34. Holman J. P., “Experimental Methods for Engineers”, *McGraw-Hill*, Singapore, (1994).
35. TS-2134, “Baharat-Rutubet Miktarının Tayini”, Kasım 1987, (1987).
36. Onat A., “Kırmızı biberin havalı güneş kolektörü sistemi ile kurutulması”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Marmara Üniversitesi*, 129-130, İstanbul, (2002).
37. Koç A., B. Toy, M. Hayoğlu, İ. ve Vardin, H., “Kırmızı biber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8: 57-65, (2004).
38. Makaracı A., “Farklı kurutma yöntemlerinin kırmızı biberlerde aflatoksin oluşumu üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Trakya Üniversitesi*, 21-22, Tekirdağ, (2006).
39. Işık A., “Mühendislik Ekonomisi”, Birinci Baskı, *Bizim Büro Basımevi*, 320, Ankara, (1999).
40. Aydın N., Coşkun M., Bakır H., Ceylan A. ve Başar M., “Finansal Yönetim”, *Anadolu Üniversitesi Yayın no:1465*, Editör: Aydın N., 2007.
41. Rathore N. S. and Panwar N. L., “Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying”, *Applied Energy*, 87: 2764–2767, (2010).