

# GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANARAK TARIM ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASI

**M. Tarık Çakır**

İnşaat ve Onarım Daire Başkanlığı, Sağlık Bakanlığı, Ankara, mutlutar@gmail.com

## ÖZET

*Tarım ürünlerinin hasat edildikten sonra taze tüketim dışında kalan kısmının nitelik ve niceliğinden en az kayıpla depolanabilmesi için uygulanan yöntemlerden biriside kurutmadır. Kurutma işleminin amacı yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmaktır. Açık havada güneş ile kurutma yönteminde kurutulan ürün içerisine toz, toprak gibi yabancı maddelerin karışması, olumsuz hava şartlarında (yağmur, rüzgâr) kurutulan ürünün korunmasının zorluğu, geniş kurutma alanlarında ürünün zararlılardan korunma gereksinimi, açık ürün içerisindeki mantari etmenlerin miktarının artması, açık havada kurutma yönteminin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Fuel-oil gibi sıvı yakıtlar veya elektrik enerjisi kullanılarak tünel tipi veya fırın tipi kurutucuların ise ilk yatırım ve işletme masrafları yüksektir. Bu nedenlerle güneş enerjili kurutucular, yukarıda ifade edilen olumsuzlukları ortadan kaldıracak veya etkilerini en aza indirecek alternatif bir kurutma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.*

*Bu çalışmadaki amaç, Şanlıurfa ilinde yoğun olarak üretimi yapılan baharatlık kırmızı biberin kurutulması amacıyla güneş enerjili sera tipi bir güneşli kurutucunun tasarlanması olanaklarını araştırmaktır. Güneşli kurutucuların geliştirilmesi sadece kurutma maliyetleri açısından değil, aynı zamanda ürün kalite ve sağlığı yönünden de önem taşır. Doğrudan güneşte kurutma yönteminin hem uzun zaman alması, hem de modern gıda güvenliği ve sağlığı kurallarına uyulmaması nedeniyle ürün nitelik ve niceliklerinde herhangi bir kayıp olmadan olabildiğince kısa sürede kurutma yapabilmek için güneş enerjili kurutucular önemli bir seçenek oluşturur.*

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjili kurutucu, kırmızı biber, renk parametreleri.

## SOLAR DRYING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

### ABSTRACT

*After the harvest of agricultural products is one of the methods used for drying can be stored with minimal degradation of the quality and quantity of outside fresh consumption. Free water in the drying product removing age aim is to stop the activity of microorganisms and biochemical reactions that can occur in products. Outdoor sun drying methods in the dried product into powder, mixing of foreign materials such as soil, under adverse weather conditions (rain, wind) the difficulty of protecting the dried product, harmful from the protection requirements of the product in large drying area, outdoor products within the fungus increase the amount of factor, the open-air drying constitute disadvantages. If the liquid fuels such as fuel oil or electricity using the tunnel or oven-type dryers initial investment and operating costs are high. For these reasons, solar dryers, emerges as alternative drying methods that will minimize or eliminate the negative effects mentioned above.*

*The aim of this study was to Şanlıurfa dried red pepper spice with the intense solar greenhouse type of production in order to investigate the possibilities of designing solar driers. Not only in terms of the development of solar driers drying costs, but also in terms of product quality and health is also important. Both long-time inclusion of direct sun-drying methods, as well as solar dryers to make drying possible in a short time without any loss in modern food safety and health rules on product quality and quantity due to non-compliance is an important option.*

**Keywords:** solar dryers, red pepper, color parameters.

<b>Simgeler ve Kısaltmalar</b>	
$\alpha$	:Renk tonu(Hue) ( $^{\circ}$ )
$\Delta\alpha^*$	:Metrik renk tonu sapması ( $^{\circ}$ )
$\Delta a^*$	:Yeşil renk sapması %
$\Delta b^*$	:Sarı renk sapması %
$\Delta C^*$	:Metrik kroma sapması (boyutsuz)
$\Delta E^*$	:Toplam renk sapması(boyutsuz)
$\Delta L^*$	:Renk parlaklığı sapması (boyutsuz)
$m\Delta$	:Üründen buharlaşan su kütlesi (g)
$a^*$	:Rengin kırmızılığı (+) ya da yeşilliği (-) (boyutsuz)
$b^*$	:Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-)(boyutsuz)
$C^*$	:Renk kroma (boyutsuz)
$m$	:Ürünün başlangıç kütlesi (g)
$L^*$	:Parlaklık (boyutsuz)
$KBX$	:Kuru baza göre nem içeriği %
$KMm$	:Üründeki kuru madde kütlesi (g)
$Nm$	:Üründeki su kütlesi (g)
$L^*a^*b^*$	$L^*a^*b^*$
CIE	CIE
FDA	FDA

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde üretilen baharatlar içinde önemli bir yer tutan baharatlık acı kırmızı biber (*Capsicum Annum L.*) üretimi özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yoğunlaşmış olup, tüketim daha çok iç pazara dönüktür. Baharatlık kırmızı biberin dış satımı, ürünün gıda güvenliği ve kalitesi açısından ilgili normlara uymaması nedeniyle yok denecek kadar azdır. Baharatlık kırmızı biber üretiminde tarladan elle hasat edilen ürünün neminin yüksek olması nedeniyle ilk olarak kurutma işlemi uygulanır.

Şanlıurfa ilinde yoğun olarak kullanılan güneş altında kurutma yönteminde, kurutulacak ürün beton veya toprak zemin üzerine serilir. Ancak yaş baza göre % 80 ve üzeri neme sahip olan ürünün kuruması hava koşullarına bağlı olarak en kısa bir hafta veya daha uzun sürebilir. Geleneksel yöntemin en önemli sorunu uzun kuruma evresi nedeniyle artan çevresel ve mikrobiyolojik kirliliktir. Bilindiği gibi özellikle toprak kökenli pek çok küf türü, toz, toprak, sulama, yağmur vb. hava hareketleri gibi çevresel etmenlerle bitkiye bulaşmakta ve ürün henüz tarladayken enfeksiyona yol açmaktadır. Tarladan gelen ürün genellikle başta *Aspergillus flavus* olmak üzere pek çok küf florasını barındırmaktadır [1].

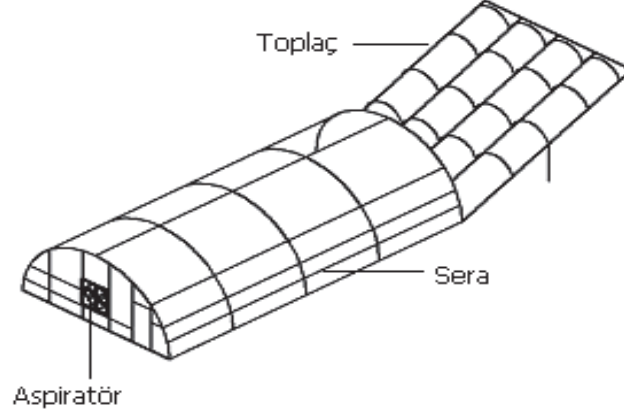
Bu tip açıkta yapılan kurutmada, kuruma esnasında böcekler, kuşlar ve rüzgârın olumsuz etkileri sebebiyle ürün kayıpları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hava koşullarının uygun olmaması nedeniyle ürün neminin kısa sürede uzaklaştırılamadığı durumlar da mikrobiyel aktiviteler sonucu üründe küflenme ve verim kayıpları ortaya çıkmaktadır[2-3-4].

Güneşte kurutma yönteminde kuruma süresinin uzun olması, gece yapılan toplama işlemi bu bulaşmanın ürün kütlesi içerisinde giderek yayılmasına neden olmaktadır. Buna ilaveten toz, trafik kirliliği gibi etmenler de ürünü kirletmektedir. Kuruma tamamlandıktan sonra üründe Aflatoksin başta olmak üzere bazı zararlı metabolitler ve çoğu mikrobiyel kaynaklı kalite düşürücü etmenler oluşmuş durumdadır. O halde, bu tarz geleneksel üretimin gıda güvenliği ve kalitesi yönünden ciddi sorunları taşıdığı açıktır. Bu durumda üretici ürününü pazar koşullarına göre ucuza satmaktadır [5].

Açıkta güneş altında kurutmanın bu olumsuzluklarını azaltmak mümkündür. Kurutmada kullanılacak havanın ısıtılarak kurutulacak ürün üzerinde kapalı bir ortamda dolaştırılması açıkta kurutma ile karşılaştırıldığında daha kontrollü bir kurutma sağlamaktadır. Kurutma havasının güneş enerjisi ile ısıtıldığı yöntem, havanın uygun bir güneş kolektörü üzerinden geçirilerek ısıtılması ve ürün üzerine doğal konveksiyon veya zorlamalı konveksiyon yolu ile iletilmesi esasına dayanmaktadır [6-7-8]. Koyuncu ve ark., kırmızı biber kurutmada kullanılmak üzere düşük maliyetli kabin tipi doğal konveksiyonlu bir kurutucu tasarlamıştır[9]. Ancak bu tip bir kurutucuda kapalı bir kurutma ortamı sağlanmasına karşın, ürünün yoğun olarak direk güneş ışınlarına maruz bırakılması vitamin ve renk gibi kalite özelliklerinde kayıplara yol açmaktadır[10].

Sıcak hava ile ürün kurutma işleminde kurutma havası, belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak nem alabilme özelliği artırılmakta, doğal veya zorlamalı olarak kurutulacak ürün üzerine belli bir hızda gönderilmektedir. Ürün ile temas eden sıcak hava ürünün nemini alır. Bu işlem ürün istenilen nem oranına gelene kadar devam eder. Kontrollü ortamda kurutulan ürünler açıkta güneş altında kurutulan ürünlere göre, daha temizdir ve kuruma sonunda doğal renk, tat, koku ve besin maddelerinde daha az değişim olmaktadır. Kontrollü kurutma ile ürün olumsuz çevre şartlarından korunmaktadır[11].

Kırmızı biberin kurutulması amacıyla Şekil 1’de görülen güneş enerjili sera tipi raflı bir güneşli kurutucu tasarlanmıştır. Kırmızı biber örnekleri ön işlemlerden geçirilerek güneş enerjili sera tipi raflı kurutucuda ve eşzamanlı olarak açık havada ayaklı tel örgülü kurutma sehpasında kurutulmuştur. Kurutulan ürünler kuruma zamanı, yüzde ağırlık kaybı ve ürün kalitesi açısından karşılaştırılmıştır. Bu denemede, kurutucu içerisinde en üst raftaki ürünler 28 saatte kurutulmuştur. Bu örneklerle ait ağırlık kayıpları yüzdesi sırasıyla; en üst raf ve açık havada kurutulan ürünler için %80,98 ve %78,91 olarak bulunmuştur. Açık havada kurutulanlara göre kıyaslandığında ağırlık kaybı yaklaşık 2,071 oranında daha fazla artmıştır. Bu örneklerle ait hue açısı ve kroma değerleri sırasıyla 47,57<sup>0</sup> ve 26,75<sup>0</sup> olarak bulunmuştur. Taze örneklerle kıyaslandığında kroma değeri yaklaşık %28,51 oranında azalmıştır[12].



**Şekil 1.** Sera tipi kurutucu

Kurutma sıcaklığı, kurutma işleminin en önemli faktörlerinden biridir. Kurutma sıcaklığı; ürünün kuruma süresine ve ürün bileşimine etki etmektedir. Ürünün en yüksek kuruma sıcaklığı ile yanma sıcaklığı birbirine yakın değerlerdir. Bu nedenle kurutma havası sıcaklığının iyi ayarlanması kaliteli bir kurutma için gereklidir. Yüksek kurutma sıcaklığı ürünün renk, tat ve koku gibi özelliklerini etkilemektedir[13].

Başarılı bir kurutmada ürünün sahip olduğu nemi absorbe etmek için yeterli kurutma havası sıcaklığına ve absorbe edilen nemi kurutma ortamından uzaklaştırmak için yeterli hava sirkülasyonuna gereksinim duyulmaktadır. Kurutma sonunda kurutulan ürünün enerji değerinde, lif yapısında ve demir içeriğinde önemli bir değişim olmaz. Ancak, L-askorbik asit kurutma öncesi işlemler ve kurutma işlemi süresince ışık, sıcaklık ve kuruma süresi gibi etkenlere bağlı olarak azalmaktadır[14]. Ürünün thiamin (B1 vitamini), riboflavin (B2 vitamini), niacin değerlerinde kuruma boyunca çok az miktarda değişim görülür.

Kurutma işlemi başlatılmadan önce, biberler su ile yıkanarak toz, toprak ve kimyasal kalıntılar temizlenir. Çürük, zedelenmiş ve kalitesi düşük olan biberler kaliteli olanlardan ayrılır. Tohum evleri ve sapları alındıktan sonra, kesilen biberler kurutmaya bırakılır. Güneş enerjisi ile çalışan ve kapalı ortamda doğal veya zorlamalı konveksiyon yolu ile kurutma sağlayan bir çok kurutucu tasarımı

literatürde mevcuttur. Bu kurutucuların pek çoğu küçük kapasiteli ve ticari olmayan kurutma işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Büyük çaplı güneş enerjili kurutmaya olanak veren kurutucular genellikle sera tipi kurutuculardır.

Ağustos-Eylül-Ekim ayları arasında Şanlıurfa ilinde kırmızı biber yoğun bir şekilde açıkta kurutulmaktadır. Kurutma denemesinin yapıldığı Şanlıurfa ili yıllık toplam güneşli gün sayısı ve güneş radyasyon yoğunluğu bakımından Türkiye'nin zengin yörelerinden biridir.

Bu çalışmada amaç, Şanlıurfa ilinde yoğun olarak üretimi yapılan baharatlık kırmızı biberin kurutulması amacıyla güneş enerjili sera tipi zorlamalı konveksiyonlu bir kurutucunun tasarımı yapılmış ve kırmızı biber kurutmada test edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Bu çalışma ile Şanlıurfa ili koşullarında sera tipi bir güneş enerjili kurutucunun baharatlık kırmızı biberin kurutulmasında kullanılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ağustos ayında sera tipi kurutucunun montajı tamamlanmıştır.

Sera tipi kurutucu 4x3x2,50 m. boyutlarında olup, seranın ön kısmında 3x3 m boyutlarındaki bir güneş kollektörü mevcuttur. Kollektörde bulunan hava 97,5x95 cm boyutlarında 0,3675 kW gücünde, 8500 m<sup>3</sup>/h maksimum hava debisine sahip Alfa marka bir fan ile emilerek, sera içine iletilmektedir. Ürün sera orta kısmına yerleştirilen bir kurutma tünelineki üst üste konumlandırılmış raflar üzerinde kurutulmuştur. Kurutma tüneli 4x3x2,50 m boyutlarındaki bir ana çatıdan ibaret olup, düşey yönde 30 cm aralıklı 5 adet rafı taşımaktadır. Her raf 175x100 cm boyutlarındaki bir dikdörtgen çita arasına gerilmiş ince plastik sineklik örtü malzemesi ile kaplanmıştır.

Açık havada yapılan şahit kurutma denemelerinde de ahşap malzemedan imal edilen, yerden yüksekliği 45 cm, boyutları 175x100 cm olan ince tel elekle kaplı kurutma sehpaları kullanılmıştır.

Baharatlık kırmızıbiber için kurutma denemeleri 19-28 Ağustos tarihleri arasında yapılmıştır.

Kurutucu oda sıcaklık ve nem ölçümleri Testo 175 data logger ve Boxcar ver.3.7 data logger ile gerçekleştirilmiştir. Hava hızı değerleri Velocicalc plus marka bir anemometre kullanılarak okunmuştur. Kütle ölçümleri QHAUS marka; en fazla 32 kg ve 2 g hassasiyetli teraziler ile beraber Sartorius BL 15005 en fazla 1500 gr ve 0,01 g hassasiyetle ölçüm yapan teraziler kullanılarak yapılmıştır. Ürünlerin başlangıç nem içerikleri, laboratuvar koşullarında kurutma dolabında (etüv) kurutularak ölçülmüştür.

Kurutma işlemine başlamadan önce sapları ve iç çekirdekleri çıkarılmış kırmızıbiber yıkanmıştır. Daha sonra tartılmış ve darası alınmış alüminyum folyo üzerine 20'şer gramlık örnekler konularak 105°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat bırakılmıştır. Her deneme koşulunda, denemelerde kullanılan örneklerin nem içerikleri ölçümleri tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır.

Ürün nemi başlangıç ve çıkış kütlelerinden gidilerek kuru baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$X_{KB} = \frac{m_N}{m_{KM}} \quad (1)$$

$$m = m_N + m_{KM}$$

Bu eşitlikte;

$X_{KB}$  : Kuru baza göre başlangıç nem içeriği (%)

$m_N$  : Üründeki su kütlesi (g),

$m$  : Ürünün toplam kütlesi (g)'dir.

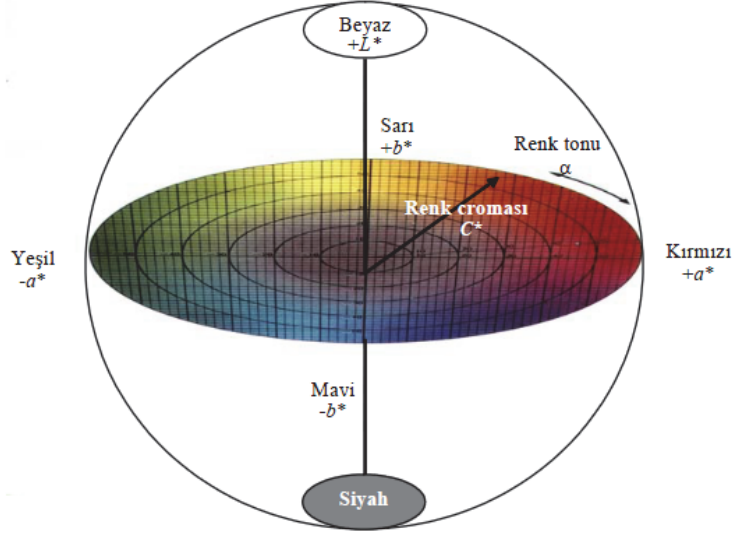
$m_{KM}$  : Üründeki toplam kuru madde kütlesi (g)'dir[15].

Kurutma denemelerinde Şanlıurfa arazilerinde yetiştirilen kırmızı biberler kullanılmıştır. Kırmızı biber kurutulması sırasında, kurutma koşullarının ürünlerin üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, taze ve kurutulmuş ürün örneklerinin renk ölçümleri yapılmıştır.



Taze ve kurutulmuş ürünlerin renk ölçümlerini yapmak için Minolta Spektrometre Minolta CR-100 kullanılmıştır.

Taze ürün ile kurutucuda kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir denemede kullanılan taze ürünlerde 20, kurutulmuş ürünlerde de 3 tekrarlı olarak renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak SPSS 13.0 istatistik programı ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Ölçümler cihazın C konumunda  $L^*a^*b^*$  modunda yapılmıştır. Değerlendirmede, CIE tarafından 1976 yılında geliştirilen  $L^*a^*b^*$  renk skalası kullanılmıştır. Renk ölçümleri sırasında ürün renk değişimi de gözlemlenerek kaydedilmiştir. Şekil 2'de  $L^*a^*b^*$  renk uzayının şematik görünümü verilmiştir. Şekil 2'de siyahtan beyaza doğru değişen dikey  $L^*$  eksenini parlaklık değerini vermekte olup, ölçülen renge göre 0 ile 100 arasında değişen değerler alabilmektedir. Renk uzayı üzerinde bulunan  $a^*$  eksenini pozitif değer aldığı anda ölçülen renk kırmızı, negatif değer aldığı anda ise yeşil olmaktadır. Aynı şekilde  $b^*$  eksenini pozitif değer aldığı anda ölçülen renk sarı, negatif değer aldığı anda ise mavidir.



Şekil 2.  $L^*a^*b^*$  renk uzayının şematik görünümü[16].

Şekil 2'de  $\alpha$  metrik renk tonunu (hue) göstermekte olup,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\alpha = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$C^*$  ise metrik kromayı belirten boyutsuz bir değer olup 0 ile 60 arasında değişen değerler alabilmektedir. Metrik renk kroması  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

Kurutulan ürünlerde taze ürüne göre renk değişiminin belirlenmesinde toplam renk sapması ( $\Delta E^*$ ), renk parlaklığı sapması ( $\Delta L^*$ ), kırmızı renk sapması ( $\Delta a^*$ ),

sarı renk sapması ( $\Delta b^*$ ), metrik kroma sapması ( $\Delta C^*$ ) ve metrik renk tonu sapması ( $\Delta \alpha^*$ ) indisleri kullanılmıştır. Pozitif  $\Delta L^*$  değerleri kurutulan ürün (örnek) renk parlaklığının standart olarak alınan taze ürün (standart) renk parlaklığından daha yüksek olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün renk parlaklığının azaldığını göstermektedir. Pozitif  $\Delta b^*$  değerleri kurutulan üründeki sarı rengin standart olarak alınan taze ürün sarı renginden daha yüksek olduğunu belirtirken, negatif değerler ürün sarı renginin azaldığını göstermektedir.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (4)$$

$$\Delta L = L^* \text{ örnek} - L^* s \text{ tan dart}$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ örnek} - a^* s \text{ tan dart} \quad (5)$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ örnek} - b^* s \text{ tan dart}$$

$$\Delta c^* = c^* \text{ örnek} - c^* s \text{ tan dart}$$

$$\Delta \alpha^* = \sqrt{\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2}} \quad (6)$$

## 2.2. Metod

Kurutulacak kırmızı biberler parçalara ayrılmadan önce yıkanarak temizlenmiştir. Kırmızı biberlerin sap ve tohum evi kısımları çıkarıldıktan sonra kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kırmızı biberler parçalandıktan sonra kurutma rafları üzerine serilmiştir. Denemelerde ürün yoğunluğuna bağlı olarak kuruma süresi ölçülmüş ve renk ölçümleri yapılmıştır.

Kırmızı biberler parçalandıktan sonra her rafa 5 kg materyal iç yüzeyleri yukarı bakacak şekilde tek tabaka halinde kurutma raflarına serilmiştir. Aynı miktarlarda kırmızı biberler karşılaştırma amacıyla dış ortamda doğrudan güneş altında kurutulmak üzere kurutma sehpasına serilmiştir.

Kırmızı biberlerin kurutma odası içerisine yerleştirilmesi ve sergiye serilmesi işlemlerinden sonra kurutma işlemi başlatılmıştır. Kurutma işlemi sırasında raflardaki ve doğrudan güneş altındaki ürün kütlelerindeki azalmalar uzun süren kuruma evresi nedeniyle iki veya üç saatte bir ölçülmüştür. Dış hava sıcaklığı, oransal nemi, rüzgar hızı, ışık şiddeti ve radyasyon değerleri, kollektör çıkışı hava sıcaklık ve oransal nemi, kurutma odası çıkışı hava sıcaklık ve oransal nemi ölçülmüştür.

Kurutma işlemi sürerken hava şartlarında ve diğer etkenlerde (elektrik kesintisi, fan açma ve kapama zamanları, yağmur yağması, aşırı rüzgar vb.) olan değişiklikler ölçümler esnasında kayıt edilmiştir. Kurutma işlemi sırasında kırmızı biberlerde görülen renk, görünür küflenme ve ekşime gibi değişimler kayıt edildi. Kurutma işlemi her bir raftaki kırmızıbiber kütlesi 1/5 oranında azalincaya kadar sürdürüldü. Kurutulmuş kırmızı biberler, üzerine deneme numarası ve raf numarası yazılı etiketler yapıştırılmış naylon torbalara konularak daha sonra analizlerde kullanılmak üzere, derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

Bütün denemeler bittikten sonra, kurutulmuş kırmızı biber örnekleri üzerinde renk analizleri yapılmıştır. Isıl değişimlere ve kütle kaybına göre her denemede kuruma işleminin süresi belirlenmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Kırmızı biberde kuruma süresini etkileyen temel faktörler; kurutma havasının sıcaklığı ve bağıl nemidir. Çok az miktarda da hava hızının etkisi vardır. Kırmızı biberdeki nem oranı azaldıkça kuruma süresi artmıştır. Özellikle biberdeki nem oranının %20 ve daha düşük değerleri için harcanan enerji miktarı artmakta dolayısıyla kurutma maliyeti yükselmektedir.

En hızlı kurutma, 10<sup>00</sup>-15<sup>00</sup> saatleri arasında ve sıcaklığın 54-64 °C olduğu durumlarda elde edilmiştir. 64 °C 'nin üzerindeki kurutma işlemlerindeki biberlerin renklerinde siyahlaşma olduğu 70 °C'nin üzerinde ise biberlerde yanma olduğu gözlemlenmiştir. En uygun kurutma sıcaklık aralığının 54-60 °C arası olduğu belirlenmiştir.

Kurutma havası hızının kurutma süresini pek fazla etkilemediği, yüksek hava hızlarında ise hava debisinin arttığı ve kollektörde sıcaklığın düştüğü tespit edilmiştir. Buna göre kırmızı biber için en uygun kurutma hızının 0,25 m/s -1 m/s aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1 'de kurutulmadan önceki ve ürün üzerindeki uygulamalar sonrası kırmızı biberin renk parametreleri değişimi verilmiştir. Kontrol grubu referans alınarak karşılaştırılmıştır. Kurutma öncesi kırmızı biber örneklerine ait renk ölçümleri yapılmış ve renk parlaklığı (L) 39,01, kırmızı renk yoğunluğu (a) 27,14, sarı renk yoğunluğu (b) 25,85 renk doygunluğu (C) 37,50, renk tonu ( $\alpha$ ) 43,58, olarak bulunmuştur. Kırmızı biberde renk parametrelerine ilişkin değerlendirmelerde parlaklık, renk doygunluğu, renk tonu, kırmızı renk yoğunluğu ve sarı renk yoğunluğu değerlerinin yanında a/b ve Lxa değerlerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Kırmızı biberde her iki değerinde yüksek olması istenmektedir. Pazarda istenen kırmızı bibere ait renk; parlak, canlı açık kırmızı renge sahip olmalıdır. Renk parametreleri bakımından öncelikle yüksek L, a, Lxa, C ve a/b, orta seviyede b ve  $\alpha$  değerine sahip ürünler yüksek kalite ürün olarak kabul görmektedir. Birinci rafta kurutulan kırmızı biberler en yüksek parlaklık [L] değerine sahip olurken en düşük parlaklık değeri beşinci rafta kuruyan biber örneklerinde bulunmuştur. Açık havada kurutulan kırmızı biberlerin parlaklık değeri ise birinci raftaki biberlere göre daha düşük, 2,3,4 ve 5'inci raflardaki biberlerden daha yüksektir. En yüksek kırmızılık [a] değeri

birinci rafta kurutulan kırmızı biberlerde elde edilmiştir. En yüksek sarılık değeri [b] 1'nci raftaki kurutulan kırmızı biberlerde elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Kırmızı biberde Renk Parametrelerinde İşlemler Sırasında Meydana Gelen değişimler

Raf Sıraları	Renk Parametreleri				
	L	a	b	C	$\alpha$
1	27,91	18,10	21,26	26,36	43,97
2	26,43	17,35	20,75	25,97	45,81
3	25,85	16,91	18,68	22,56	40,85
4	25,56	16,16	17,36	21,32	39,77
5	25,33	17,47	16,13	20,85	40,13
Kontrol Grubu	26,52	18,66	19,21	25,82	40,75
Taze	39,01	27,14	25,85	37,50	43,58

Taze örneklerin L, a ve b değerleri sırasıyla 39,01, 27,14 ve 25,85 olarak bulunmuştur. Kurumanın en hızlı olduğu birinci raftaki kırmızı biberlerin L, a ve b değerlerinde sırası ile %28,45 , %33,30 ve % 17,75 oranında azaldığı görülmüştür. Kuruma süresinin uzaması ile birlikte renkteki değişme daha da artmıştır. Alt raflardaki kırmızı biber örnekleri daha uzun sürede kurudukları ve daha yavaş nem kaybettikleri için havadaki oksijenle reaksiyona girerek renklerde değişmelere neden olan oksidasyon reaksiyonlarına daha fazla maruz kalmışlardır.

#### 4. SONUÇ

Şanlıurfa ilinde yetiştirilen kırmızı biber sera tipi kurutucuda kurutulmuş ve aynı ışınım şartlarında eşzamanlı olarak açık havada ayaklı ve tel örgülü tepsilerde kurutulan ürünlerin kuruma zamanı, yüzde ağırlık kaybı ve ürün kalitesi açısından karşılaştırılmıştır. Rafli güneşli kurutucunun açık havada kırmızı biber kurutmaya kıyasla kısmen bir kuruma avantajı sağladığı görülmüştür. Bu avantaj gündüz saatlerinde kurutucuda daha yüksek kurutma sıcaklığı sağlayarak kırmızı biberin kurutma denemelerinde üst raflarda hızlı bir ağırlık kaybı sağladığı gözlemlenmiştir.

Sıcak havanın giriş noktasında bulunan kırmızı biberler, sıcak havanın çıkış noktasında bulunan kırmızı biberlere göre daha hızlı kurumaktadır. Özellikle kurutma havası hızının düşük olduğu denemelerde bu durum daha açık olarak görülmüştür. Ayrıca kurutma havası hızının 0.5 m/s olduğu denemelerde, kurutucu oda içerisinde alttaki raflar üstteki raflara göre daha yavaş kurumuştur. Bu durum homojen kurumayı önlemektedir. Bunun için rafların kurutucu içerisinde hareketli olması sağlanmalı veya belirli zaman aralıklarında rafların yönü ve yeri değiştirilmelidir. Kırmızı biber kurutma denemelerinde, kurutma işleminin ilk altı saatinden sonra, kollektör çıkışı sıcaklık değeri ile nem değeri, kurutucu oda çıkışı sıcaklık ve nem değerlerine çok yakındır. Bu durum ısıtılan havadan yeterince yararlanılmadığını göstermektedir. Bu nedenle kurutma havasından daha fazla faydalanmak için, kurutucu oda çıkışında havayı tekrar kullanmanın yolları aranmalı veya kurutucu oda uzunluğu artırılmalıdır.

Sera tipi raflı kurutucuda kurutulan kırmızı biberlerin, olumsuz çevre şartlarından (yağmur, toz, vb.) kırmızı biberleri koruduğu gerçeği dikkate alındığında temizlik açısından da, açık alanda kurutulanlardan daha temiz olduğu gözlenmiştir.

Kurutulan kırmızı biberlerin renk açısından incelendiğinde kuruma süresinin uzaması ile birlikte renkteki değişim daha da artmıştır. Alt raflardaki kırmızı biber örnekleri daha uzun sürede kurudukları ve daha yavaş nem kaybettikleri için havadaki oksijenle reaksiyona girerek renklerde değişimlere neden olan oksidasyon reaksiyonlarına daha fazla maruz kalmışlardır. Kurutma havasındaki sıcaklık kurutma dönemine bağlı olarak değişmiş ve kurutma havasındaki sıcaklığın azalması ile birlikte kuruma süresinin uzadığı ve renk değişiminin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak güneş enerjili raflı kurutucuların Şanlıurfa ili şartlarında kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, geceleri de kurumunun devam etmesi için ek bir ısıtıcı rafların bulunduğu kurutma odasının alt kısmına yerleştirilebilir.

**KAYNAKÇA**

1. Erdem, T.2007. Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikro Dalga Enerjisi İle Kurutulması.
2. Garg, H.P., Kumar, R. ve Data, G. 1998.Simulation model of the thermal performance of a natural convection-type solar tunnel dryer. *International Journal of Energy Research*, ,
3. Mumba, J. 1995. Economic analyses of a photovoltaic, forced convection solar grain dryer. *Energy*, 923-928.
4. Ong, K. S. 1999. Solar dryers in the asiapacific of a solar grain dryer incorporating region. *Renewable Energy*, 779-784.
5. Anonymous. 1989.Gıda Maddeleri Muayene ve Analiz Yöntemleri. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bak. Gıda İş. Gen. Müd. Yayın No:65. Ankara.
6. Scanlin, D. 1997. Design, construction and use of an indirect, through-pass, solar food dryer. *Home Power*, 62-72.
7. Tiris, C, Tiris, M. ve Dincer, I. 1996. Experiments on a new small-scale solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 183-187.
8. Mumba, J. 1996. Design and development of a solar grain dryer incorporating photovoltaic powered air circulation. *Energy Concers. Mgnt* , 615-621.
9. Koyuncu, T. ve Pınar, Y. 2001. Kırmızı biber için bir güneşli kurutucu tasarımı. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 13-15 Eylül, Şanlıurfa, 423-430.
10. Öztekin, S., Başçetinçelik, A. ve Soysal, Y. 1999. Crop drying program in Turkey. *Renewable Energy*, 789-794.
11. Ertekin, C., Yaldız, O. ve Mühlbauer, W. 2001. İncirin kuruma karakteristiklerinin Belirlenmesi ve kuruma davranışının modellenmesi.*Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 13-15 Eylül, Şanlıurfa, 405-411.
12. Yelmen, B., ve Öztekin, S.2010.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında Kullanımının: Güneş Enerjisi Örneği. *İleri Teknolojiler Çalıştayı ve Sergisi (İTÇ2010) 30 Nisan 2010 Kocaeli-Türkiye*, s: 255-261.
13. Cemeroglu, B.ve Acar, J. 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*. Yayın No: 6. Ankara.
14. Madhlopa, A., Jones, S.A. ve Kalenga Saka, J.D. 2002. A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration. *Renewable Energy*, 27– 37.
15. Doymaz,İ., 2006. Thin-Layer Drying Behavior of Mint Leaves. *Journal of Food Engineering*, (74):370-375.
16. Soysal, Y., 2000. İşletme Ölçeğinde Çeşitli Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Yönelik Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, 123.S, Adana.

