

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**MUĞLA KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ BİR  
KURUTUCUDA BİBERİN KURUTULMASININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ VE SONUÇLARIN KLASİK  
KURUTMA SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ONUR ÇAYAN**

**HAZİRAN 2019**

**MUĞLA**

**MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

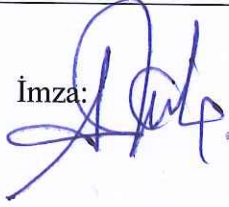
**TEZ ONAYI**

**ONUR ÇAYAN** tarafından hazırlanan **MUĞLA KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ BİR KURUTUCUDA BİBERİN KURUTULMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE SONUÇLARIN KLASİK KURUTMA SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, 27/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enformatik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

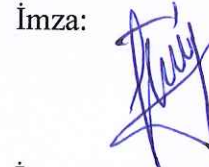
---

**TEZ SINAV JURİSİ**

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ  
Enerji Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza: 

Dr. Öğr. Üyesi Asude ELTEZ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza: 

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜLLÜCE  
Elektrik ve Enerji Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

İmza: 

---

**ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI**

Prof. Dr..Hülya Kara Subasat  
Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza: 

Dr. Öğr. Üyesi Asude ELTEZ  
Danışman, Enerji Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza: 

Savunma Tarihi: 27/06/2019

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Onur ÇAYAN

27/06/2019

**ÖZET**  
**MUĞLA KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİLİ BİR KURUTUCUDA**  
**BİBERİN KURUTULMASININ DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ VE**  
**SONUÇLARIN KLASİK KURUTMA SONUÇLARIYLA**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

Onur ÇAYAN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Asude ELTEZ

Haziran 2019, 53 sayfa

Türkiye’de gerçekleştirilen biber üretimi 2.554.974 ton olup, 10.623 tonu Muğla ilinde gerçekleştirilmektedir. Üretilen biberlerin saklama yöntemlerinden birisi de kurutmaktır. Bölgemizde biber üretiminde talep fazlası ürünün kış ayları için kurutularak saklandığı görülmektedir. Bölgenin güneş enerjisi potansiyeli ve yaşayan insanların kuru bibere olan talebi, güneş enerjisi ile kurutmayı öne çıkarmaktadır. Bu çalışmada Muğla bölgesinde ki biber (Çarliston) kurutulmuştur. Kabin tipli güneş enerjili bir kurutucu tasarlanmıştır. Sıcaklık ve nem ölçümleri elektronik kaydedicilerle yapılmıştır. Yaptığımız iki deney için sistemin ısı kayıpları hesaplanmış 23,7 W/m<sup>2</sup>C bulunmuştur. Hesaplanan faydalı enerji ve verim hesabı ile 1. Deney için verim %25 iken ikinci deney için %33’e çıkmıştır. Biberlerin su oranları hesaplandığında kurutucuda kurutulan biberlerin su oranlarının, doğal ortama göre %2-3 oranında daha az olduğu görülmüştür. Kurutucuda 5 günde tamamlanan kuruma, doğal ortamda 8 günde tamamlanmıştır. Kurutulan ürün ağırlıkları %85-90 arasında azalmıştır. Sistemdeki nem içeriği grafikleri, kurutma odası ve kurutucu çıkış havası psikrometrik diyagramı yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Havalı Toplayıcı, Biber Kurutma

**ABSTRACT**  
**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DRYING OF PEPPER IN A  
SOLAR ENERGY DRYER IN MUĞLA CONDITIONS AND COMPARISON  
OF THE RESULTS WITH CLASSICAL DRYING RESULTS**

Onur ÇAYAN

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Asude ELTEZ

June 2019, 53 pages

The amount of producing pepper is 2.554.974 ton in Turkey and 10,623 ton of it is producing in Muğla city. One of the storage method of the peppers is drying. It is seem to the excess demand of pepper production is dried and stored in winter in our region. . Drying pepper with solar energy stands out, potential of the region's solar energy and demand of the people live in there dry pepper. . In this study the pepper (banana chilli) was dried in Muğla region. Cabin type with solar energy dryer is designed. Temperature and humidity measurements were made with electronic recorders system heat losses were calculated and found to be 23.7 W/m<sup>2</sup>oC for two experiments. With the calculated energy and efficiency calculation, the yield for the first experiment increased from 25% to 33% for the second experiment. drying completed in 5 days in the dryer was completed in 8 days in natural environment. The dried products weights were reduced between %85-90. The moisture content graphics of the system, psychrometric diagram of drying chamber and dryer outlet air was commented.

**Keywords:** Solar Energy, Air Collector, Drying Pepper

Çok Değerli Aileme



## ÖNSÖZ

Kurutma; bir üründeki su miktarını azaltmak amacı ile yapılan ve böylelikle olası mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaların önlenmesini, bu yolla çeşitli tarımsal ürünlerin uzun sürelerle depolanmasını ve üretim mevsimi dışında da tüketilmesini sağlayan, çok eski çağlardan bu yana uygulanan bir işlemdir. Sebze ve meyve gibi ürünlerin içerdikleri nemin uzaklaştırılması, yapılarından dolayı, ürün kalitesine en az zarar gelecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıklar ve doğru olarak seçilmeyen diğer şartlar ürünün hem görünüşünde, hem de besin içeriğinde olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir.

Bu Tez çalışmasında biberin Güneş enerjili bir kurutucuda kurutmanın doğal ortamda kurutmaya göre ürün kalitesine ve kurutma süresine olan etkilerini araştırdık.

Tezimin tamamlanmasında göstermiş olduğu bilgi ve deneyimi neticesinde bilimsel bir çalışmanın temellerini öğrettiği için değerli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Asude ELTEZ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca verdikleri bilgiler ile tezin tamamlanmasında yardımını esirgemeyen Doc. Dr. Ali KEÇEBAŞ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜLLÜCE'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında sabırla beni destekleyen değerli ailem ve eşim Meltem ÇAYAN'a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Biber Kurutma Yöntemleri.....	2
1.1.1. Doğal (Güneşte) kurutma .....	3
1.1.2. Yapay kurutma.....	4
1.2. Güneş Enerjili Kurutucuların Seçimi ve Tasarımı .....	5
1.2.1. Güneş enerjili kabin kurutucular .....	8
1.2.2. Güneş enerjili raflı kurutucular .....	9
1.2.2. Güneş enerjili sera kurutucular .....	11
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>24</b>
3.1. Kurutucunun Isı Hesabı.....	29
3.2. Kurutulan Üründeki Su Oranının Hesaplanması.....	33
3.3. Kuru Termometre ve Bağlı Nemi Bilinen Havanın Psikrometrik Özelliklerinin Hesaplanması .....	34
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>35</b>
4.1. Deneylelerin Isı Hesapları.....	36
4.2. Biberlerin Su Oranı Hesapları .....	38
4.3. Kurutma Odası ve Kurutucu Çıkış Havaasının Psikrometrik Açıklaması .....	44
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>50</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>53</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Birinci deney için toplam ısı transfer katsayısı hesap sonuçları .....	36
Çizelge 4.2. İkinci deney için toplam ısı transfer katsayısı hesap sonuçları .....	36
Çizelge 4.3. Faydalı enerji çıktıları .....	37
Çizelge 4.4. Biberlerin tam kuru haldeki su oranları.....	38
Çizelge 4.5. Doğal ortamda kurutulan biberlerin su oranları .....	39
Çizelge 4.6. Deneyleerin yükleme oranları .....	44
Çizelge 4.7. İki deney için kurutma odası havasının psikrometrik hesap sonuçları .....	45
Çizelge 4.8. İki deney için kurutucu çıkış havasının psikrometrik hesap sonuçları .....	46

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneş enerjili kabin kurutucu .....	8
Şekil 1.2. Güneş enerjili raflı kurutucu .....	10
Şekil 1.3. Güneş enerjili sera tipi kurutucu .....	12
Şekil 3.1. Kurutucunun yandan görünüşü ve ölçüleri .....	25
Şekil 3.2. Kurutucunun önden görünüşü ve ölçüleri .....	25
Şekil 3.3. Kurutucunun arkadan görünüşü ve ölçüleri .....	26
Şekil 3.4. Kurutma odası raf dizilim görünüşü.....	26
Şekil 3.5. Kurutma odası raf ölçüleri .....	27
Şekil 3.6. Kurutma rafları ölçüleri.....	27
Şekil 3.7. Kurutucu bölümlerinin gösterimi .....	28
Şekil 3.8. Kurutucunun görünümü) .....	28
Şekil 3.9. Havalı güneş toplayıcının şematik görünümü .....	29
Şekil 3.10. Havalı güneş toplayıcının ısıl ağ örgüsü (a-iletim, taşınım ve ışınlım dirençleri, b-plakalar arası resistanslar cinsinden) .....	30
Şekil 3.11. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımı .....	31
Şekil 4.1. Raflara yerleştirilen biberlerin görünüşü .....	35
Şekil 4.2. Birinci deney için zamana bağlı olarak kuru esasa göre biberlerdeki nem içeriği .....	40
Şekil 4.3. İkinci deney için zamana bağlı olarak kuru esasa göre biberlerdeki nem içeriği .....	41
Şekil 4.4. Birinci deney için zamana bağlı olarak yaş esasa göre biberlerdeki nem içeriği .....	42
Şekil 4.5. İkinci deney için zamana bağlı olarak yaş esasa göre biberlerdeki nem içeriği .....	43
Şekil 4.6. İki deney için kurutma odası havasının psikrometrik diyagramı .....	45
Şekil 4.7. İki deney için kurutucu çıkış havasının psikrometrik diyagramı .....	46

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ac	Toplayıcı açıklık alanı (m <sup>2</sup> )
AW	Özgül nem (kg.nem/kg.hava)
d	Karışım havasının yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
H	Entalpi (kJ/kg)
hc,c-a	Camdan çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hc,p-c	Emici yüzeyden cama taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hr,c-a	Camdan çevreye ışınlama ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hr,p-c	Emici yüzeyden cama ışınlama ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hr,b-a	Tabandan çevreye ışınlama ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hc,b-a	Tabandan çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
hw	Rüzgar ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
IOβ	Toplayıcı yüzeyine gelen anlık atmosfer dışı ışınlama şiddeti (W/m <sup>2</sup> )
k	Isı iletim katsayısı (W/m°°C)
k1	Sacın ısı iletim katsayısı (W/m°°C)
k2	Suntanın ısı iletim katsayısı (W/m°°C)
L	Emici yüzey-cam arası mesafe (m)
L1	Sacın kalınlığı (m)
L2	Suntanın kalınlığı (m)
Le	Yan yüzlerdeki sunta kalınlığı (m)
n	Gün numarası
Nu	Nusselt sayısı
Pd	Karışım içindeki su buharının doyma basıncı (kPa)
Pb	Karışım içindeki su buharının kısmi basıncı (kPa)
Ph	Karışım içindeki havanın kısmi basıncı (kPa)
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
Rn	Dirençler
S	Absorblanan güneş ışınlama şiddeti (W/m <sup>2</sup> )
Tpm	Ortalama emici yüzey sıcaklığı (K)
Tp	Emici yüzey sıcaklığı (K)
Ta	Çevre sıcaklığı (K)

$T_s$	Sacın sıcaklığı (K)
$T_b$	Taban sıcaklığı (K)
$T_c$	Cam sıcaklığı (K)
$T_{sky}$	Gökyüzü sıcaklığı (K)
$T_{dp}$	Çiğlenme noktası sıcaklığı (K)
$U_b$	Toplayıcı tabanından kayıplar ( $W/m^2\text{°C}$ )
$U_{b1}$	Taban kayıp katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$U_e$	Toplayıcı yan yüzlerinden kayıplar ( $W/m^2\text{°C}$ )
$U_L$	Tüm ısı transfer katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$U_t$	Çevreye toplayıcı üstünden kayıplar ( $W/m^2\text{°C}$ )
$v$	Karışım havasının özgül hacmi ( $m^3/kg$ )
$Q_u$	Faydalı enerji çıktısı (W)
$\Delta x$	Birim uzunluk (m)
$\mu$	Viskozite (Pa s)
$k$	İletkenlik ( $W/m\text{°C}$ )
$\rho$	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )
$\nu$	Kinematik viskozite ( $Pa\ s\ m^3/kg$ )
$\alpha$	Isıl difüzyivite ( $m^2/s$ )
$g$	Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$\beta'$	$1/T_m$
$\beta$	Kurutucu eğimi (o)
$\sigma$	Stefan Boltzman katsayısı
$\epsilon_p$	Emici yüzey yayma katsayısı
$\epsilon_c$	Camın yüzey yayma katsayısı
$t$	Gece yarısından itibaren geçen süre (saat)
$\eta$	Toplayıcı verimi
$\theta$	Güneş ışınımı geliş açısı (o)
$\Phi$	Enlem açısı (o)
$\delta$	Deklinasyon açısı (o)
$\omega$	Saat açısı (o)
$\varphi$	Bağıl nem (%)

KT	Kuru termometre sıcaklığı (°C)
YT	Yaş termometre sıcaklığı (°C)
MN	Mutlak nem (g/m <sup>3</sup> )
MCKA	Numunenin kuru esasa göre nem içeriği (kg.su/kg.kuru ağırlık)
MCYA	Numunenin yaş esasa göre nem içeriği (kg.su/kg.yaş ağırlık)
YA	Yaş ağırlık (kg)
KA	Kuru ağırlık (kg)



# 1. GİRİŞ

Kurutma veya dehidrasyon gıda ürünlerinin korunmasında en etkili yöntemlerden biridir. Kurutma işlemi, yaş üründeki serbest suyu uzaklaştırma işlemidir, kurutma ile üründe meydana gelen biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimi sınırlandırılmaktadır. Bu işlem ürünlerin bozulmadan muhafaza edilebilmeleri için ilk çağlardan beri uygulanmaktadır. Teknik kurutma ise, ürün içerisinde bulunan sıvı oranının dış müdahale yapılarak çeşitli metotlarla istenilen düzeye düşürülmesidir. Kurutmanın tarihine bakıldığında bu işlemin ilk kez 18. Yüzyılda başladığı, kurutulan gıdanın da sebze olduğu görülmektedir. Daha sonra kurutmacılığın savaşlarla birlikte büyük gelişme gösterdiği bilinmektedir. Örneğin, 1854-1856 tarihleri arasında yapılan Crimea savaşında süvarilerin, ülkelerinden gönderilen kurutulmuş sebzeler ile beslenme gereksinimlerini karşıladıkları, I. Dünya Savaşında ise yaklaşık 4500 ton kurutulmuş sebzenin ABD'den savaş alanlarına gemilerle gönderildiği bildirilmektedir. ABD'de meyve kurutmacılığının 1800'lü yılların sonu ve 1900'lü yılların başında çok önemli bir sıçrama göstermiş olduğu bilinmekte ve daha sonra doğal güneş kurutmacılığının yerini giderek yapay kurutma sistemlerinin aldığı görülmektedir. II. Dünya Savaşından önceki dönemlerde valsli ve püskürtmeli kurutucular kullanılmış ve bu sistemlerde en çok kurutulan ürünler süt ve yumurta olmuştur. Kurutmacılığın tanınması ve yaygınlaşmasında askeri amaçlı kullanımın büyük rolü olmuştur (Hastürk, 2010).

Diğer saklama yöntemlerine göre kurutma daha az teknoloji ve makine teçhizat gerektirdiğinden daha ucuz bir yöntemdir. Kurutma; sağladığı birçok avantajla en çok tercih edilen gıda yöntemlerinden biri olup, enerji tasarufu sağlaması, ürünlerin erken hasat edilmelerine olanak vermesi, kuru meyve ve sebze gibi ekonomik değeri olan ürünlerin üretilmesine olanak vermesi, ürünün ağırlık ve hacimsel küçülmesine bağlı olarak nakil ve depolanmasını kolaylaştırması, ürünlerin kalite ve besin değerlerini koruyarak daha uzun süre tüketilebilmesini sağlamaktadır.

Yurdumuz genelinde meyve ve sebzelerin çoğu geleneksel yöntem ile açık havada güneşte bırakılarak kurutulmaktadır. Bazı sebzeler balkonlarda iplere dizilip asılarak, bazıları ise güneş gören yerlerde sergilere serilerek kurutulurlar. Güneşte kurutma hiçbir enerji ve bakım masrafı istemediğinden en ucuz kurutma yöntemidir. Yalnız ürünün kalitesi hava şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Havalarda açık, güneşli olursa iyi kalitede ürün elde edilebildiği halde; yağışlı havalarda kuruma süresi uzar, ürünün kalitesi bozulmaya başlar ve ürün çürür. Açık sergilerde kurutmanın diğer bir sakıncası da meyveleri kuşların yemesi, toz, toprak, böcek artıkları gibi yabancı maddelerin kolaylıkla bulaşabilmesidir. Ayrıca kurutma hızı çok düşük olduğundan sınırlı kapasite dezavantajdır. Bu olumsuz şartları ortadan kaldırmak için değişik kurutma tesis ve düzenekleri geliştirilmiştir.

Kurutma yöntemleri arasında doğal kurutmadan sonra en ekonomik olanı sıcak hava yardımıyla yapılan kurutmadır. Geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı olduğu dünyamızda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye sokulması için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, ulaşım, dağıtım ve çevre sorunlarının bulunmaması, tükenmemesi ve dışa bağımlı olmamasından dolayı diğer enerji kaynaklarına göre daha çok tercih edilmektedir (Mutlu, 2007).

Günümüzde ticari olarak kullanılan kurutuculardan hiçbiri tam olarak en ekonomik ve en kaliteli kurutma işlemini bir arada sağlayamamaktadır. Her yöntem enerji tüketimi, kurutma maliyeti ve ürünlerdeki kalite değişimi açısından sınırlama veya eksikliklere sahiptir. Günümüzde ticari kurutucular; kontakt, konvektif, ışınlı, dielektrik, donmalı ve ozmatik kurutma gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Tarhan vd., 2007).

### **1.1. Biber Kurutma Yöntemleri**

İçeriğindeki su miktarının % 90'dan fazla sudan oluşması nedeni ile biber bozulmaya yatkın bir sebzedir. Kesilme ile artan bozulma hızı mikrobiyal ve enzimatik etkilerle kısa sürede önemli kalite kayıplarına neden olur. Kurutma yöntemlerinden yapay kurutma yöntemlerinde, kurutmanın oldukça hızlı

gerçekleşmesi ve son üründe su oranının % 6'lara kadar düşürülmesi ürünü, hiçbir yardımcı madde olmadan dayanıklı kılabilmektedir. Ancak diğer bir kurutma yöntemi olan güneş altında doğal koşullarda geleneksel kurutma, gerek kurutmanın çok uzun sürmesi gerekse son ürün neminin yapay kurutulmuşa göre yüksek (% 13-18) olması sebebiyle bozulma riskini son derece yükseltmektedir. Ayrıca depolanması sırasında her iki şekilde de kurutulmuş biberlerin gerek kimyasal gerekse duyuşal özelliklerindeki değişmelerin minimize edilebilmesi için soğukta saklamanın zorunlu olduğu belirlenmiştir (Ayan, 2010).

### **1.1.1. Doğal (Güneşte) kurutma**

Güneş enerjisinden yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yöntem "doğal (güneşte) kurutma" denir. Bilinen en eski yöntemlerden biri güneşte kurutmadır. Mevsimsel kurutmanın sağlanabilmesi için iklim koşullarının çok uygun olduğu yörelerde üretim, enerji maliyeti gerektirmeden güneş enerjisinden yararlanarak daha yüksek kalitede yapılabilir. Biberlerin yüksek nem içermesi nedeni ile yapay kurutma pahalı bir yöntemdir. Bu nedenle birçok ülkede biberlerin kurutulması güneşte yapılmaktadır. Yurdumuzun çeşitli bölgeleri güneşte kurutma uygulamasına son derece elverişli olup, başta üzüm, incir ve kayısı gibi ürünler bu yöntemle başarı ile kurutulmaktadır. Son yıllarda bu ürünlere güneşte kurutulmuş biber de eklenmiştir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, doğrudan kontrolsüz ısıya maruz kalması önemli dezavantajlardır. Gıdaların doğal kurutulması için geniş alanlara gereksinim vardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle % 15 su oranından daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Ayan, 2010).

### 1.1.2. Yapay kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine “yapay kurutma” denir. Bu tanımda ürünün yapısındaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir bölümünün ürünün özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olmaksızın uzaklaştırılması kavramı yatmaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki başlıca ölçüt, kurutulmuş gıdaların rehidrasyonu halinde eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidrasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar önemsiz olmasıdır.

Kurutma yöntemi doğal ve yapay kurutma şeklinde iki ana gruba ayrılmakla birlikte, bunun çeşitli açılardan ayrıca gruplandırılması da olanaklıdır. Bu gruplandırmalardan birisi, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının kurutucuya taşınma yöntemine dayanmaktadır. Buna göre “konveksiyon kurutma”, “kontakt kurutma” ve “radyasyonla kurutma” olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi söz konusudur.

Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani çoğunlukla olduğu gibi hava tarafından taşınır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden ve çevresinden geçirilir. Bu yöntem genel olarak “sıcak hava kurutma” tekniği olarak bilinir. Kurutulan maddelerin niteliklerine bağlı olarak bu yöntemin, birçok uygulama çeşidi vardır. Örneğin, kabin kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürtmeli kurutucular bu yöntemin bazı değişik uygulamalarıdır.

Kontakt kurutma yönteminde ise evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Yani kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Bu yöntemin de çok çeşitli uygulamaları mevcut olup, en yaygın örneği valsli (silindirik) kurutuculardır.

Radyasyondan yararlanılarak kurutmada ise, kurutulacak materyale ısı, herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir deyişle radyasyon ile kurutmada mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Ayan, 2010).

## 1.2. Güneş Enerjili Kurutucuların Seçimi ve Tasarımı

Güneş enerjili kurutucuların çok değişik tipte ve boyutlarda imal edilmeleri, her tarımsal ürünün kurutma özelliklerinin farklı olması ve güneş enerjisi potansiyelinin yere ve zamana bağlı olarak değişim göstermesi, güneş enerjili kurutucuların seçim ve tasarımlarını karmaşık bir işleme dönüştürmektedir. Detaylı kurutucu tasarımı için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır;

- a. Kurutulacak ürün miktarı,
- b. Yaş ürün özellikleri (ilk nem miktarı, denge nemi, önişlem gereksinimi, fizikomekanik özelleri vb.)
- c. İstenilen kuru ürün özellikleri (son nem miktarı, renk tekrar su alma özellikleri, tat, besin değerleri vb.)
- d. Yörenin iklim özellikleri (günlük güneşlenme şiddeti ve süresi, çevre havası sıcaklığı, çevre havası nemi, rüzgar yönü ve şiddeti vb.)
- e. Yörenin coğrafik özellikleri (enlem derecesi, arazi yapısı, yeryüzü örtüsü vb.)

Kurutucular birçok bölümden oluşmakta, her bölümde çok sayıda fiziksel olay birbirine bağımlı olarak meydana gelmekte ve zamana göre değişim göstermektedir. Bu nedenle literatürde verilen deneysel çalışma sonuçlarına bağlı olarak basitleştirilmiş tasarım kriterlerine ihtiyaç vardır. Toplaç yüzey alanı, kurutma tepsileri toplam yüzey alanının 0,75 katı olmalı, yükleme oranı, bir metrekaarelik tepsi yüzey alanına 4 kg'lık yaş ürün olarak seçilmeli gibi literatürde güneş enerjili kurutucu tasarımı ile ilgili pratik kurallar verilmiştir.

Kurutucular yoğun olarak yaz ayının sonlarından başlayarak sonbahar ayının ortalarına kadar kullanıldığı için güneş ışınlarını tutan toplaç eğimi ve güneş enerjili kabin kutuların kapaklarının eğimi yörenin enlem derecesinden  $10^0$  daha düşük olmalıdır.

Güneş enerjili kurutuculardan beklenen başarı kriterleri; kurutucu toplam verimi, işletilebilirlik ve kurutulmuş ürün kalitesi olarak üç ana grupta toplanmaktadır. Kurutucu toplam verimini etkileyen faktörler toplaç/kurutma odası ısıl verimi, hava dağılım düzgünlüğü, yeterli hava debisi ve ısı depolama ünitesi varlığı olmaktadır.

Kurutucu verimini etkileyen en önemli iki fiziksel işlem, mümkün olduğunca çok ürün neminin hızlı bir şekilde geçirilmesidir.

Toplaç/Kurutma odası ısı verimi; güneş ışınlarını tutan tutucu yüzeylerin özelliklerine, saydam örtü özelliklerine, kullanılan yalıtım malzemelerinin özelliklerine ve kurutucunun yerleştirildiği yerin özelliklerine bağlı olmaktadır. Kurutucu içerisinde düzgün hava dağılımı sağlanması tekdüze ve hızlı ürün kurutma için gereklidir. Bu sebeple, hava giriş ve çıkış kanalları, kurutucu içerisinde nem yoğunlaşmasını ve sıcak bölge oluşumunu engelleyecek şekilde eşit aralıklarla yerleştirilmelidir.

Kurumanın istenen zamanda tamamlanması için, birim ürün miktarı için gerekli hava miktarı, istenilen sıcaklık aralığında ürün üzerinden geçirilmelidir. Hava debisi değerinin bir metrekarelik kurutucu tepsi yüzey alanına 0,75 m<sup>3</sup>/dakika olması tavsiye edilmektedir. Bu sebeple, aktif kurutucularda uygun fan gücü ve pasif kurutucularda ise uygun baca boyutları seçilmelidir. Hava akışına engel olacağı için yüksek yükleme oranlarından kaçınılmalıdır. Ayrıca üst üste yerleştirilecek tepsi sayısı da çok olmamalıdır. Genelde üst üste konulan tepsi sayısı 5 olmaktadır. İstenilen hava debisini sağlamak için baca yüksekliği 0,5 ile 3 m arasında olmaktadır. Isı depolama ünitesi, güneşin olmadığı gece saatlerinde de kurutmanın devam edebilmesi için kurutma odasının veya toplaçların içine yerleştirilen ısı tutucu madde deposundan meydana gelmektedir. Isı tutucu madde olarak, su, faz değiştiren kimyasallar veya çakıl taşları kullanılmaktadır. Böylece, ısı depolama ünitesi olan kurutucularda, aşırı sıcaklık yükselmeleri olmamakta ve kuruma işlemi daha sürekli olmaktadır.

Kurutucuların işletilebilirlik kriterleri, yatırım özellikleri/masrafları, işletme özellikleri/masrafları ve uyumluluktan oluşmaktadır. Yatırım özellikleri/masraflarını en az miktarda tutmak için yerel malzeme kullanımı ve yerel teknoloji/sanayi olanakları tercih edilmelidir. Kurutucu boyutları gerektiğinden daha büyük olmamalıdır. Karmaşık kurutucu tiplerinin imalatı için yerel sanayi olanakları yetersiz olduğu durumlarda daha basit kurutucular tercih edilmelidir. Ek ısıtıcının kullanılması, yatırım masraflarını artırmaktadır. İşletme özellikleri/masrafları içerisinde; kapasite kullanımı, işçilik giderleri, bakım/tamir giderleri, ek enerji giderleri (fan ve ek ısıtıcı çalıştırılması durumunda geçerlidir) ve zamanlılık yer

olmaktadır. Zamanlılık istenilen ürünü istenilen süre içerisinde kurutabilme özelliğidir. Kurutucunun uyumluluğu; kurutucunun çevreyi kirletici özelliğinin olmaması, farklı ürünleri kurutabilmesi ve farklı amaçlar için kullanılabilmesi olarak anlaşılmalıdır.

Kaliteli kurutulmuş ürün; kendisinden beklenen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmaktadır. Fiziksel özellikler içerisinde ürünün nem, tekrar nem alma özelliği, rengi, tadı, sertliği ve boyutları yer almaktadır. Kimyasal özellikler içerisinde ise besin içeriği ve mikrobiyal aktivite atıkları yer almaktadır. Meyve ve sebzeler için kurutma havasının sıcaklığının 65 °C'in üzerine çıkması ürünlerde kahverengileşme ve besin kayıplarına sebep olmaktadır. Diğer taraftan kurutma havası sıcaklığının 45°C'in altına düşmesi, kurutma süresini uzatmaktadır. Baharatlar için kurutma havası sıcaklık değerlerinin 35-40,5 °C olması önerilmektedir. Kurutucu içerisindeki hava çıkış kanalına veya bacanın girişine hava debisini düzenleyen bir ayar sistemi (klape gibi) konmalıdır. Güneş ışınımı olmadığı geceler ve bulutlu günlerde hava ayar düzeni tam veya kısmi kapalı tutulur ve hava akışı engellenir. Böylece, geri hava akışı ve kurutma havası sıcaklığının düşmesi engellenir. Güneşli günlerde hava ayar düzeni açık tutulur ve hava akışı hızlandırılır. Hızlı hava akışı ürünlerden su uzaklaştırılmasını artırırken, yüksek sıcaklık artışını engeller. Kurutma havasının ürüne ilk temas ettiği yerdeki hava sıcaklığı termometre ile ölçülerek yüksek sıcaklık artışları tespit edilir ve hava ayar düzeni tam açık konuma getirilebilir.

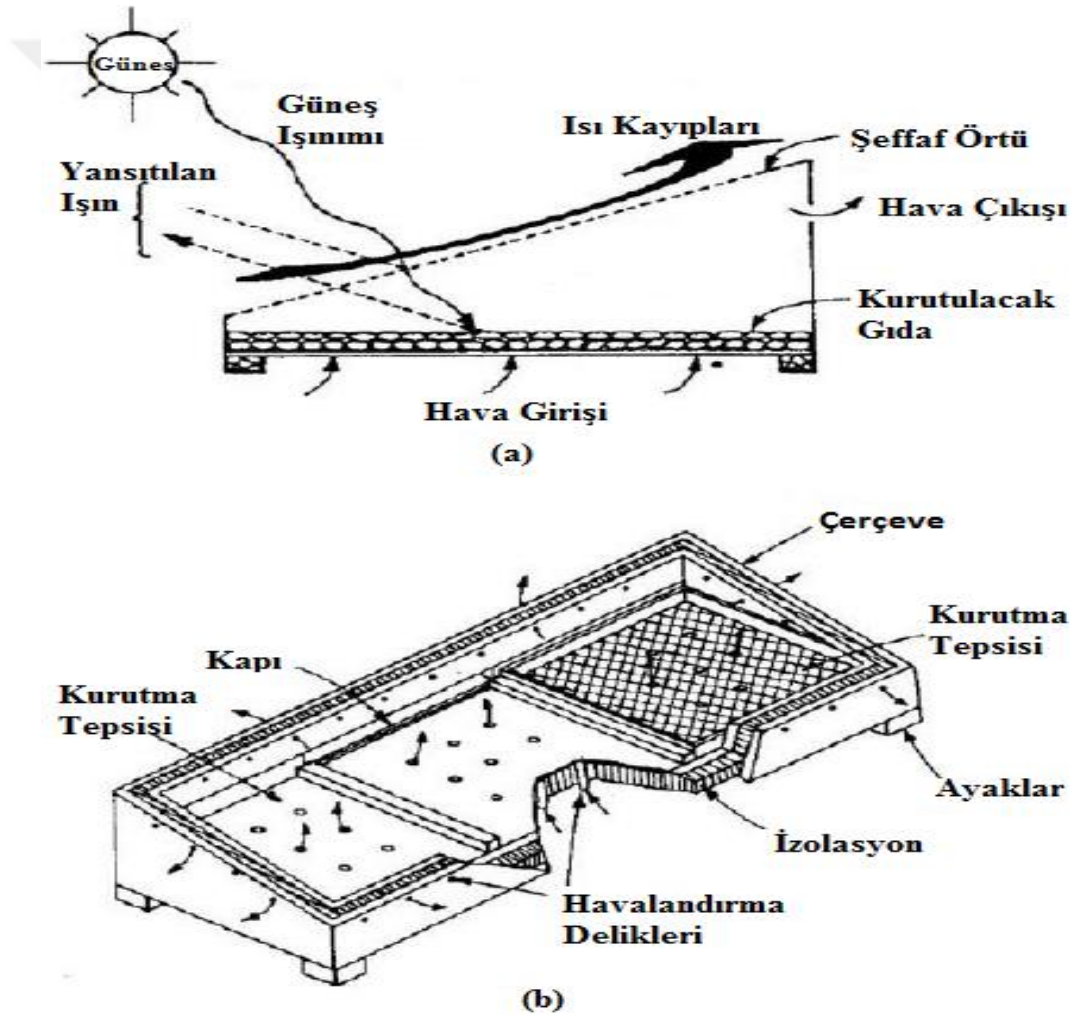
Ürünlerin kurutucu içerisinde gerektiğinden daha uzun sürelerde bulundurulmaları ve yüksek kurutma havası sıcaklıklarına maruz bırakılmaları ürünlerde aşırı kurumaya sebep olmaktadır. Aşırı kurumuş ürünlerin nemleri çok düşük olmakta ve yapısal özellikleri bozulmaktadır. Diğer taraftan, kurutma havasının sıcaklığının düşük ve neminin yüksek olması mikrobiyal aktiviteyi artırmaktadır. Ayrıca yükleme oranının yüksek olması veya yağ ürünlerin üst üste yığılmaları, kuruma hava ile ürün temasını azalttığı için kurumayı yavaşlatmakta ve mikrobiyal aktiviteyi hızlandırmaktadır. Yağ ürünlerin kurutucuya yerleştirilmeden önce gerekli fiziksel önlemlerle (ayıklama, yıkama, kesme, çekirdeklerini çıkarma, haşlama ve sıcak suya daldırma gibi) muamele edilmeleri kaliteyi olumlu etkilemekte ve kuruma sürelerini kısaltmaktadır. Kurutucuların sürekli bakımları ve temizlenmeleri, ürün kalitesini dolaylı olarak etkilemektedir. Kurutucu hava giriş ve çıkışları böcekleri ve tozları

engelleyecek şekilde tel veya ip ağlarla kaplanmalıdır. Ayrıca kurutucu hava giriş ve çıkışları yağmurun girişine karşı korunaklı hale getirilmelidir.

En yaygın olarak kullanılan güneş enerjili kurutucu tipleri olan güneş enerjili kabin kurutucular, güneş enerjili raflı kurutucular ve güneş enerjili sera tipi kurutucuların tasarımı aşağıda verilmiştir (Tarhan vd., 2007).

### 1.2.1. Güneş enerjili kabin kurutucular

En basit yapılı kurutuculardan bir tanesidir. Bu kurutucuya ait genel görünüş Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Güneş enerjili kabin kurutucu

Kurutucu tek veya iki kat saydam örtüyle kaplanmış, belirli bir eğimle kapanan bir kapak ile yan yüzleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal saçtan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan kabinden oluşmaktadır. Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılmıştır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmalıdır. Kurutucu içinde hava hareketi; tabanda ve ön kenarda bulunan deliklerden çevre havasının içeri girmesiyle ve ısınmış ve nemli havanın arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle meydana gelmektedir

Güneş enerjili kabin kurutucuların imalatında, yan yüzeylerin gölgeleme etkisini azaltmak için kabinin uzunluğu genişliğinin en az üç katı olmasına, kabinin iç yüzeylerinin siyaha boyanmasına, kurutma tepsilerinin altında ve ürün içerisinde yeterli ve düzenli hava akışını sağlamak için tepsinin alt yüzeyi ile kabinin tabanı arasında yeterli bir boşluk bırakılmasına, kapakta kullanılacak saydam örtünün ultraviyole ışınlarına dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir.

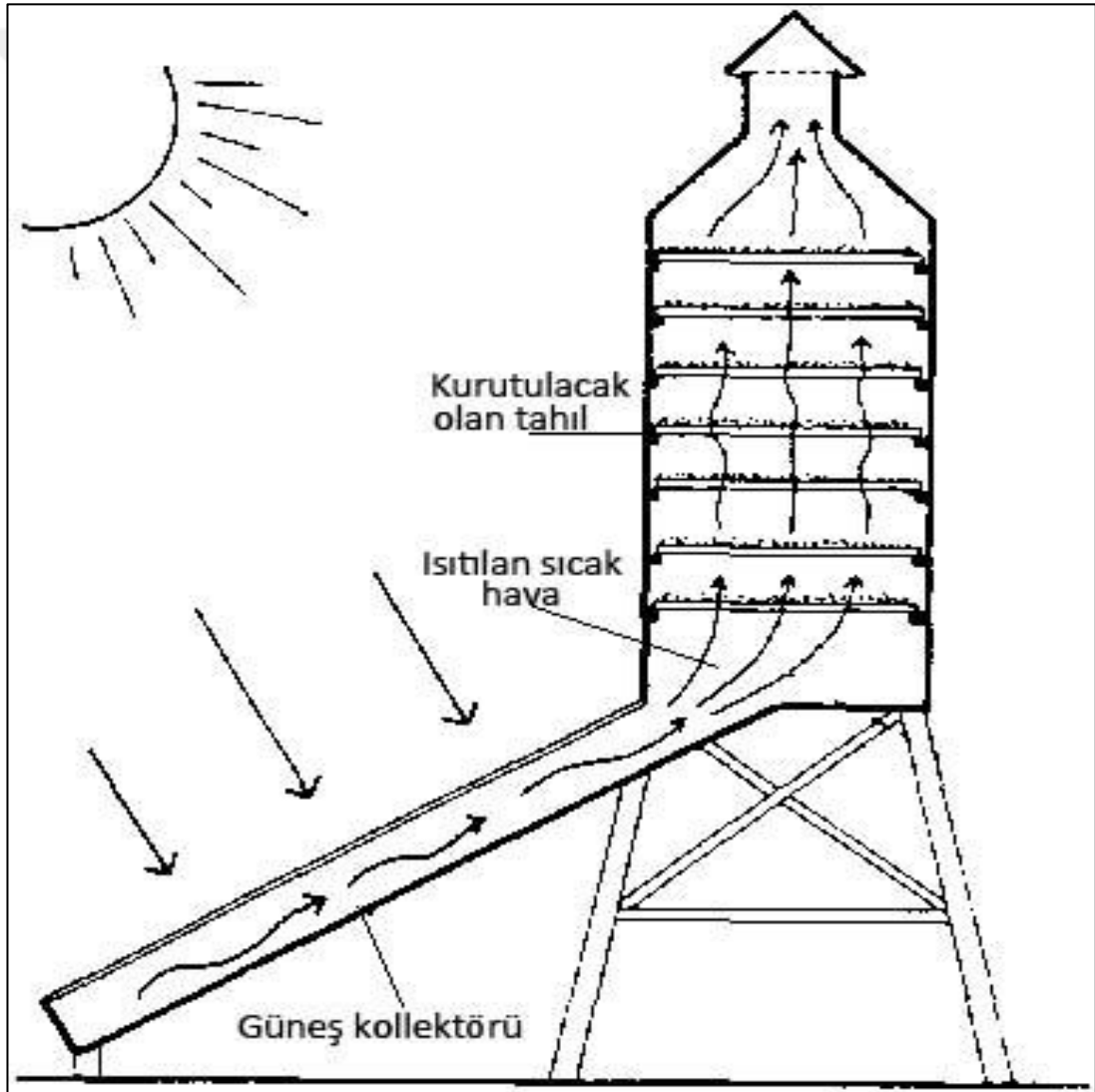
Bu tip kurutucuların imalat masrafları diğer güneşli kurutuculara göre daha düşüktür. En büyük dezavantajı nemli havanın etkin bir şekilde atılamamasına bağlı olarak kabin içerisinde 70-100 °C'e varan aşırı sıcaklıklara ulaşılmasıdır. Bu tip kurutucularda havalandırma delikleri yerine güneş bacası ve hava giriş kanalı kullanarak, düzgün hava dağılımı sağlanabilir ve kabin içerisinde aşırı sıcaklık yükselmesi önlenir.

### **1.2.2. Güneş enerjili raflı kurutucular**

Bu tip kurutucular; havalı güneş toplayıcı, kurutma odası ve güneş bacasından meydana gelmiştir. Bu kurutucuya ait genel görünüş Şekil 1.2'de verilmiştir. Güneş enerjili kabin kurutucuların geliştirilmiş tipidir.

Havalı güneş toplayıcının görevi, üzerine gelen güneş ışınımı ile toplayıcı içindeki havayı ısıtarak kurutma haznesine göndermektir. Toplayıcı kasası metal veya ahşaptan olabilir. Güneş ışınımını yutan yüzey düz bir plaka şeklinde olabileceği gibi, havaya ısı transferini artırmak için değişik şekillerde biçimlendirilebilir veya çok sayıda plaka değişik şekillerde toplaç içine yerleştirilebilir. Ayrıca ısı iletimini

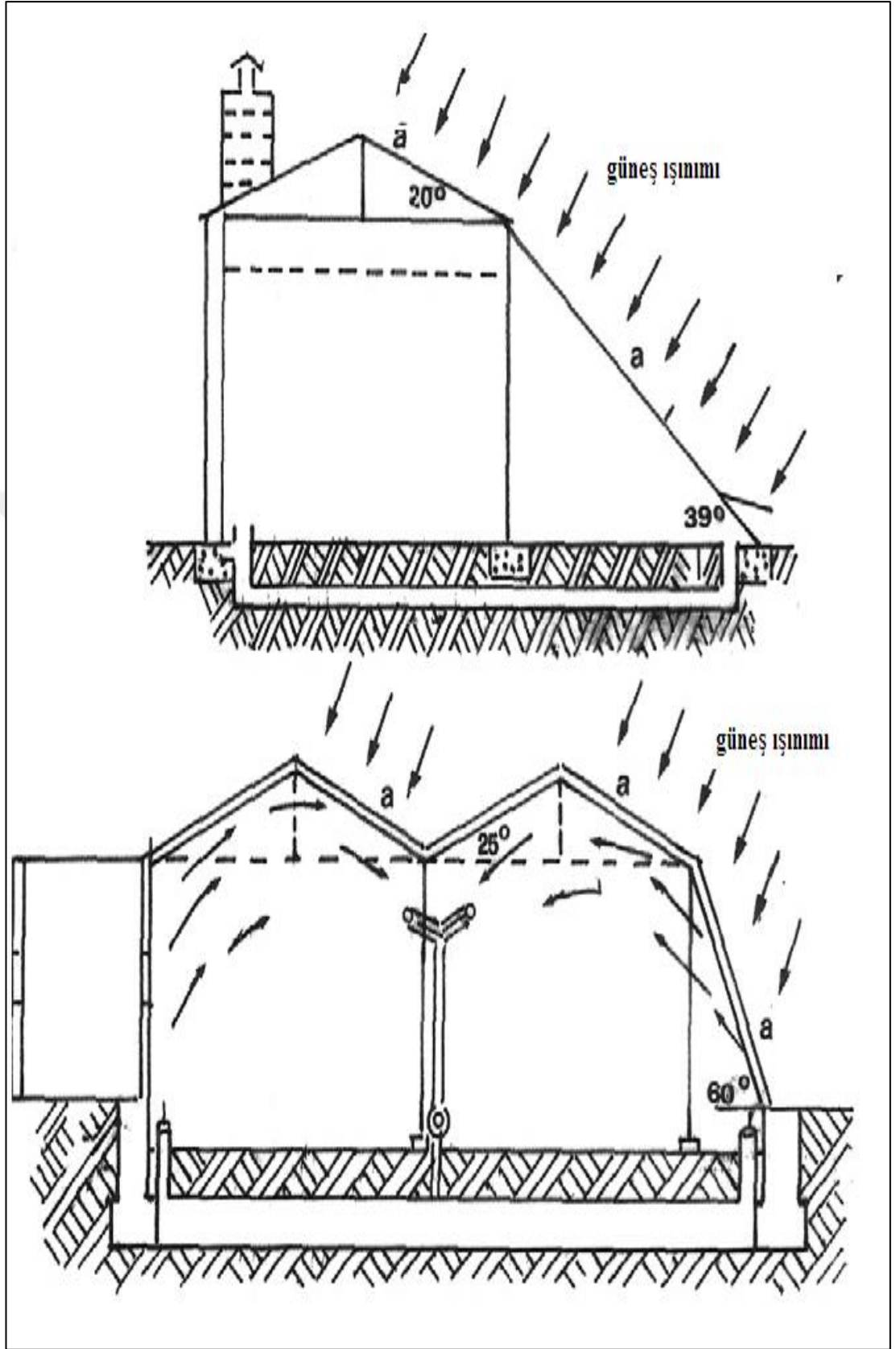
artırmak ve kısmi bir depolama sağlamak için, toplaç içinde tutucu yüzey alt kısmına cam kırıkları, metal talaşları ve ısı depolayıcı kimyasallar konabilir. Kurutma tepleri mümkün olduğunca hava akışına dirençleri en az olacak şekilde tabanında deliklere sahip saç malzemedен yapılmalı veya tel örgü ile kaplanmalıdır. Hava akış hızını artırmak için toplaç girişine veya bacaya elektrikli bir fan takılabilir. Elektriğin olmadığı yerlerde baca uzunluğu artırılabilir veya bacaya rüzgar türbini eklenebilir. Hava akışını engellemek için toplaç genişliği ile kurutucu odası genişliği aynı olmalıdır. Elektrikli fan kullanılması, toplaç verimini artırmakta ve ürünün daha hızlı kurumasını sağlamaktadır.



Şekil 1.2. Güneş enerjili raflı kurutucu

### 1.2.3. Güneş enerjili sera kurutucular

Bu tip kurutucular, bitkisel üretim için kullanılan seraların kurutma amacına uygun olarak değiştirilmiş biçimleridir. Kontrol olanakları daha geniş olup kurutulacak ürün miktarının çok olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Seranın dış örtüsü ultraviyole ışınlarına dayanıklı olmalıdır. Isı tutumunu artırmak için sera tabanının siyaha boyanmış beton ya da metal ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca güneş ışınlarının direkt ürün üzerine gelmesi istenmediğinde, ürünleri içine alan siyah yüzeyli bir örtü kullanılması gerekmektedir. Sera içerisinde havanın düzgün dağılımını ve yeterli hava akışını sağlamak için seranın uzun kenarları boyunca ve tabanında, çevre havası girişi için açıklıklar bırakılmalıdır. Nemli sera havasının dışarıya atılması için sera tavanında açıklık bırakılmalıdır. Açıklıklardan yabancı zararlıların girmemesi için ağla kaplanmalıdır. Aralıklardan yağmur suyunun girmemesi için de gerekli kapak ve perdeler eklenmelidir. Seralarda geceleri kurutmayı devam ettirmek için ısı depolama üniteleri yerleştirilebilir. Seralarda hava dolaşımını hızlandırmak için seranın kısa kenarlarından bir tanesine güneş bacası yerleştirilebilir. Sera içerisinde havalandırma, fanlar yardımıyla da yapılabilir. Fanlar yardımı ile yapılan havalandırma, daha düzenli hava dağılımı sağlar. Fanların ve hava giriş deliklerinin yerleştirilme biçimleri, düzenli ve hızlı kurutma açısından çok önemlidir. Doğal havalandırmanın aksine, hava giriş delikleri seranın kısa kenarlardan bir tanesinin üst kısmına ve diğer kısa kenarın alt kısmına yerleştirilmelidir. Sera içerisinde kurutma tepsilerini taşıyacak sabit iskeleler yapılabileceği gibi, çok katlı ve hareketli kurutma arabaları da kullanılabilir. Bu kurutucuya ait genel görünüş Şekil 1.3'te verilmiştir (Tarhan vd., 2007).



Şekil 1.3. Güneş enerjili sera tipi kurutucu

## 2.LİTERATÜR ÖZETİ

Selçuk vd. (1974) yaptıkları bir çalışmada, en basit tasarımı, en az toprak kullanımı, en düşük maliyeti elde edecek şekilde kombine raflı bir tip güneş enerjili kurutucu inşa ederek meyve kurutma deneyleri yapmışlardır. Bu kurutma ünitesinde ahşap çatı, geçirgen örtü olarak da polietilen film tabakası kullanılmıştır. Güneş ışınımının emilmesi için iki kümes teli tabakasının arasına ince metal yongalardan yapılmış matriks tipi hava ısıtıcısı toplayıcı oluşturulmuştur. Bu araştırmada kombine raf tipi kurutucu için ısı ve kütle transfer bağıntılarının matematiksel formülasyonu sabit hava debisi için bulunmuştur.

Kholliiev ve arkadaşları, yaz aylarında ürün kurutma, diğer mevsimlerde ise sebze ve fide yetiştirme amacıyla 50x5,86 m<sup>2</sup> boyutlarında bir kurutma serası imal etmişlerdir (Kholliiev vd., 1982). Sera, orta kısmından doğu-batı doğrultusunda bir bölmeyle ikiye ayrılmıştır. Güneye bakan bölümün tabanı siyaha boyanmış olup, burada kurutma işlemi radyasyon ve konveksiyonla sağlanmaktadır. Kuzey bölümündeki ürünlerin kurutulması diğer bölümde ısıtılan havanın taşınmasıyla ve sadece konveksiyonla olmaktadır.

Eissen ve arkadaşları, güneşli kurutma ve sıcak hava ile kurutmada, bazı ön işlemlerin etkisini görmek için İtalya'da yetiştirilen beyaz üzüm çeşidi (Italia) ile yapılan denemelerde en iyi sonucu % 3 etil oleat + % 2,5 potasyum karbonat çözeltisine 40 °C sıcaklıkta 3 dakika süreyle yapılan bandırma işlemi sonucu muamelelerin kuruma hızı ve kuru üzüm kalitesi açısından önemli etki gösterdiğini açıklamışlardır (Eissen vd., 1984).

Suarez ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada % 1'lik etil oleat çözeltisine oda sıcaklığında 30 saniye bandırılmış şeker mısır örneklerini 10 m/s hava hızında üç farklı sıcaklıkta (50, 61, ve 69,5 °C) kurutmuşlardır. Mısırların başlangıçtaki 3,2-4,4 g su/g katı madde değerindeki nem içeriklerinin 0,20 g su/g katı madde değerine inmesi için, ön işlem uygulanmamış örnekler, ön işlem görmüş örneklere kıyasla 2,1-

2,8 kat daha fazla kuruma süresine ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir (Suarez vd., 1984).

Demir (1989) tarafından sera tipi bir kurutucu içerisinde ve dış ortamda çekirdeksiz üzüm ve incir kurutulan bir çalışmada, sera içerisinde kurutma bandı yer almakta olup, bu bandın bir kısmı parabolik yansıtıcılarla desteklenmiştir. Kurutma öncesi çekirdeksiz üzümlerin bir kısmı potasyum karbonat ve zeytinyağı içeren çözeltiye bandırılarak kurutulmuştur. Ön işlem uygulanan üzümler, sera içinde 4 günde, sera dışında ise 7 günde ticari nemliliği ulaşırken, bandırılmadan kurutulan üzümler ise sera içinde 7 günde, sera dışında ise 15 günde istenilen nem düzeyine inmiş olduğu açıklanmıştır.

Olorunda ve arkadaşları, kurutulmuş domatesin kalitesi üzerine kurutma yöntemlerinin ve ön uygulamaların etkisini araştırdıkları çalışmalarında, kabin tipi kurutucuda doğru ve ters akımlı hava ile 60, 70ve 80 °C sıcaklıklarda ve hava hızı 1.75 m/s olacak şekilde Reento ve Roma çeşidi domates kullanarak kurutma işlemini yapmışlardır. Doğru akımlı kurutma sisteminde her bir sıcaklık derecesinde nemin uzaklaştırılmasının ters akımlı kurutmadan daha hızlı olduğunu belirtmişlerdir. Düşük nem içerikli ve iyi görünüşlü domates dilimlerini 3 dakika süre ile %30'luk NaCl çözeltisine veya % 0.9'luk potasyum metabisülfite ve %10'luk NaCl çözeltisine daldırılarak güneşte veya fırında kurutmuşlardır. Domateslerin kurutma öncesi kükürt ve tuz ile ön işlem görmesinin, bu ürünler ile yapılan sosların lezzet ve aromasını arttırdığını belirtmişlerdir (Olorunda vd., 1990).

Hawlder vd. (1991) yapmış oldukları çalışmada domatesin kuruma karakteristiklerini belirlemek için, Malaysian çeşidi domates kullanmışlardır. Yaklaşık 5 mm kalınlığında dilimledikleri domatesleri tel örgü tepsilere yerleştirdikten sonra kurutma denemelerini yapmışlardır. Kurutma çalışmalarını 12 kW ısıtıcı gücüne, bir fana ve sıcaklık kontrol sistemine sahip olan kabin tipi bir kurutucuda gerçekleştirmişlerdir. Kurutma denemeleri sırasında tepsiler düzenli aralıklarla kurutucudan çıkarılarak tartılmış ve tekrar kurutucuya yerleştirilmiştir. Kurutma işlemine örneklerin ağırlığı başlangıç ağırlıklarının %10'una ulaştığında son verilmiştir. Denemelerden sonra örnekler 105 °C fırında en az 24 saat bekletildikten sonra nem tayini yapmışlardır. Araştırmacılar kurutma ortam sıcaklığının artması ile aynı hava hızı şartlarında kurutma potansiyelinin arttığını, aynı durumun

sabit sıcaklıkta kurutma havası hızının artmasıyla da gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Üzerinde çalıştıkları sıcaklık ve hava hızı şartlarında örneklerin sabit hızda kuruma evresi göstermediklerini saptamışlardır. Bu durumun, kurutulan örneğin etrafında su ile kaplı ıslak tabakanın bulunmasından yada su tabakasının yüzeyden çok kısa süre içerisinde buharlaşmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Yaşartekin (1991), Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde kabin tipi, güneşi dikey ekseninde belirli aralıklarla izleyen, güneş enerjili kurutucu ile elma kurutma deneylerinde kurutucunun kullanım olanaklarını ve verimliliklerini incelemiş ve açık havada kurutmaya karşılaştırmıştır. Kurutucuda kuruma hızının doğal kuruma hızından daha düşük olmasının nedeninin kurutucu içerisinde hava dolaşımının zayıf olmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Özgöz (1994) bitkisel ürün yetiştirme amaçlı kullanılan cam serada ve dış ortamda yapmış olduğu kurutma denemeleri sonucunda fasulye, biber ve soğanın kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Denemeler sonucunda; bütün ve kıyılmış olarak kurutulan fasulyelerin sera içinde 3 günde, sera dışında ise sırasıyla 7 ve 4 günde kurduğunu belirlemiştir. Biberde ise sera içinde kıyılarak kurutulanlar 3 günde, sera içinde bütün olarak kurutulanlar 8 günde, sera dışında bütün ve kıyılarak kurutulanlar da sırasıyla 9 ve 6 günde kurumuştur. Soğanda ise sera içinde 8 günde sera dışında da 9 günde kurumanın tamamlandığını açıklamıştır.

Öztekin ve Öztürk (1994), yapmış oldukları çalışma sonucunda; % 21, % 17,70 ve % 15,60 başlangıç nemindeki mısırın, havalandırılmalı kasada yapılan ilk 10 günlük kurutma sonunda nem değerlerinin sırasıyla %15, %12,50 ve %12 değerine indiğini belirlemişlerdir. Yüksek başlangıç nemine sahip ürünün nem değerindeki azalmanın daha hızlı olmasını, tane içindeki ince kılcal boşluklarda bulunan fiziksel bağlı nemin buharlaşma ile daha kolay uzaklaştırılabilir olmasına bağlamışlardır.

Afzal ve Abe (1999), yapmış oldukları çalışmada, patates kurutmak amacı ile deneysel bir hava kurutucusunu; hava sıcaklığı, patates çapı ve  $CO_2$  üflenmesinin etkilerini görmek için kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda kuruma oranının artan hava sıcaklığı ve küçülen patates çapına bağlı olarak arttığını ve  $CO_2$  üflemenin kuruma oranına olumlu yönde etki ettiğini belirtmişlerdir.

Ergüneş ve Gerçekçioğlu (1999), Tokat şartlarında Kütahya vişne çeşidi ile sera tipi kurutucuda ve dış koşullarda yapılan çalışmada kurutma öncesi uygulanan %1'lik NaOH çözeltilisine bandırma işlemiyle kuruma hızının kurutma ortamına bağlı olarak belirgin bir şekilde arttığını rapor etmişlerdir.

Yağcıoğlu ve arkadaşları (1999), yapmış oldukları çalışmada; farklı kurutma durumlarında defne yaprağının kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Geleneksel güneşte kurutma metodunda uygun olmayan hava koşulları ile karşılaşıldığını ve kayıpların meydana geldiğini ve ayrıca uzun kuruma zamanı gibi avantajsız durumların ortaya çıktığı görülmüştür. Kontrollü koşullarla kurutmanın geleneksel kurutmaya göre bir çok problemi ortadan kaldırdığı gözlenmiştir. 50 °C yada 60 °C sıcaklıkta kurutma ile defne yapraklarının temel yağ bileşim miktarları ve kalitesinde bir kayıp olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca yaprakların % 10 nem içeriğine kadar kurutma zamanı, geleneksel kurutma işlemine göre 120 kez yada 40<sup>0</sup> C sıcaklıkta kurutma şartlarına göre 8 kez daha kısaldığını ve hiçbir kayıp olmadığını ifade etmişlerdir.

Yılmaz ve arkadaşları (1999), yaptıkları çalışmada kabin tipi bir kurutma sistemi kullanmıştır. Bu kurutma sistemi bir hava kollektörü, kurutma odası ve hava dolaşım sisteminden oluşmaktadır. Kurutma havasının dolaşması için fotovoltaik panellerden üretilen 45W'lık güç, fanı çalıştırmak için kullanılmıştır. Hava kolektörü 27,50 m<sup>2</sup>'lik alana sahiptir ve kabin içerisinde 8 tane 2,8 m<sup>2</sup>'lik raf bulunmaktadır. Soğurucu değişik tip siyaha boyanmış alüminyum telefon telinden yapılmıştır. Kurutucunun kapasitesi 25 kg taze domates alacak şekildedir. Buna göre yük oranı 9kg/m<sup>2</sup>'dir. Bu kurutucuda materyalin nem içeriğinin kurutma mevsimi sırasında 5 günde %95'den %17' ye düşürüldüğünü ifade etmişlerdir.

Zononi ve arkadaşları (1999), yapmış oldukları çalışmada, 80 °C ve 110 °C hava sıcaklığı ve 1,5 m/s hava hızı şartlarında kurutulan Rita çeşidi domateslerde oksidasyona bağlı ısı zararını incelemişlerdir. Çalışma sırasında domatesleri ikiye ayrılıp çekirdek ve parankima kısımları çıkarıldıktan sonra delikli tepsilere dizilip, dolap şeklindeki kurutucuya yerleştirmişlerdir. Kurutma sırasında domatesleri yas baza göre %10 neme kadar kurutmuşlardır. Araştırmacılar hem 80 °C hem de 110 °C için kısa bir ısınma ve sabit hızlı kuruma periyodunun ardından uzun, azalan bir hızla kuruma evresinin bulunduğunu belirtmiştir. Domatesleri %10 neme kadar indirmek

için 110 °C' de 4 saatlik, 80 °C'de 7 saatlik bir süreye gereksinim olduğunu belirtmiştir. Oksidasyona bağlı ısı zararını ölçmek için kurutma sırasında domatesler tepsilere alınarak toplam kuru madde, likopen, askorbik asit (C vitamini) ve 5-Hidroksimetil- 2- Furfural (HMF) miktarları belirlenmiştir. Askorbik asit kaybının önemli derecede sıcaklıktan kaynaklandığını belirterek 110 °C'de kurutulan ve %50 nem değerine ulaşan domateslerde askorbik asit bulunmazken, 80 °C'de kurutulan ve %10 neme ulaşmış domateslerde hala %10 askorbik asit olduğunu belirtmişlerdir. HMF oluşumunun 110 °C'de 80 °C'ye göre yaklaşık 20 kat fazla olduğu belirtilmiştir. Likopen miktarı açısından 80 °C'de kurutulan domateslerde önemli bir kayıp olmazken, 110 °C'de kurutulan domateslerde istatistiksel açıdan  $\alpha=0,05$  önem düzeyine göre önemli derecede (maksimum %12) kaybın olduğunu vurgulamışlardır.

Durak (2000) yapmış olduğu çalışmada, Tokat şartlarında tünel tipi kurutma serasında ve dış ortamda biber, domates ve mısır kurutmuştur. İki eşit parçaya ayrıldıktan sonra kurutulan domates örneklerinin sera içinde ve dışında 6 ve 7 günde, 1/4 parça halinde kurutulan domateslerin ise 5 ve 6 günde kuruduklarını belirtmiştir.

Mengeç ve Aydın (2000), Farklı kurutma havası sıcaklıkları, hızları ve kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin Stanley çeşidi eriklerin kuruması üzerine olan etkilerini belirlemişlerdir. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60 °C, 70 °C ve 80 °C, hava hızı olarak 1 m/s, 2 m/s ve 3 m/s alınmıştır. Erik örneklerini kurutma öncesinde hiçbir ön işlem uygulanmadan ve % 2 sodyum hidroksit (NaOH) içeren çözeltiliye bandırıldıktan sonra kurutmuşlardır. Yapılan denemeler sonucunda kurutma havası sıcaklığı ve havasının artmasıyla kuruma süresinin önemli oranlarda kısalma gösterdiği ve kurutma öncesi uygulanan bandırma işleminin de kuruma süresini yarı yarıya azalttığını belirtmişlerdir.

Öztekin ve Soysal (2000), Isparta Gülü'nün kurutulması amacıyla Çukurova II adı verilen raflı tip bir kurutucu imal etmişler ve ön denemeleri yapmışlardır. Bu sistem, 4 sütunda 4 kat olmak üzere, toplam 16 adet raf içeren bir kurutma odası, kurutma için gerekli sıcak havanın ısıtılmasında kullanılan 600000 kJ kapasitesindeki bir ısı değiştirici ve sistemde hava dolaşımını sağlayan 10000 m<sup>3</sup>/h debili, 250 kPa basınç kayıplarını karşılayabilen bir radyal fan dan oluşmaktadır. Isı kaynağı olarak gülyağı destilasyon tesisinin buhar kazanlarından sağlanan kızgın buhar kullanılmıştır. Kurutma odasına gönderilen havanın sıcaklığı kızgın buhar hattı önüne konulan bir

vana ile ayarlanabilmektedir. Ürünün % 80 başlangıç neminden % 29 neme kadar kurutulması için gerekli süre 5 saattir. Bu kurutucu ile günde 640 kg gül çiçeği başarı ile kurutulmaktadır. Isparta gülünün sezon dışında kalan zamanlarda bu kurutucu ile diğer ürünlerin kurutulması olanaklıdır. Gül çiçeği kurutma durumunda, kurutma sisteminin geri ödeme süresi 1 aydan az olup, sezon dışında diğer yapraklı ürünlerin kurutulması durumunda da sistemin daha da ekonomikliğinin artmasının beklenildiğini ifade etmişlerdir.

Mengeç (2001) çalışmasında, Konya Bölgesi'nde yetiştirilen vişne ve kayısıların farklı hava sıcaklığı ve hava hızı şartlarında gösterecekleri kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60 °C, 70 °C ve 80 °C , hava hızı olarak 1 m/s , 2 m/s ve 3 m/s almıştır. Hava sıcaklığı ve hava hızının ürünlerin kuruma hızı üzerine olan etkisi belirlenmiştir. Kurutmada kullanılan hava sıcaklığı ve hızı arttıkça ürünlerden uzaklaşan nem miktarının artmakta ve bunun sonucu olarak ürünlerin kuruma süresinin kısaltılmakta olduğunu, bu etkinin hava sıcaklığında daha da fazla olduğunu belirtmişlerdir.

El-Sebaai ve arkadaşları (2002), oluşturdukları güneş enerjili indirekt kurutucuda çekirdeksiz üzüm, incir, elma, domates, soğan ve bezelye kurutmuşlardır. Kurutma havasını ısıtmak için kullandıkları güneş toplacının alanı 1m<sup>2</sup> olup, absorbe edici yüzeyi siyaha boyanmış 2 mm kalınlığından bakır levha, kolektörün örtü malzemesi de 5 mm kalınlığındaki camdır. Cam ile absorbe edici yüzey arasındaki boşluk 80 mm'dir. Kolektörün arka yüzeyinden oluşabilecek ısı kaybını önlemek için 80 mm kalınlığındaki saman tabakası izolasyon malzemesi olarak kullanılmıştır. Prototip kurutma kabini 1x1x1,5 m boyutlarında imal edilmiştir. Siyaha boyanmış 500 mm uzunluğundaki baca, doğal dolaşımı hızlandırmak için kurutucunun üzerine bağlanmıştır. 0,855 x 0,8 m boylarındaki alüminyum çerçeveye takılmış olan örgü teller kurutma tepsisini oluşturmuştur. Kolektörde ısıtılan hava doğrudan kurutma hücresine girmektedir. Kolektörün absorbe yüzeyi ile izolasyon malzemesinin arasında kalan 0,1 m kalınlığındaki kısmı gece koşullarında da kurutmanın devam edebilmesi amacıyla ısı depolayıcı kil, granit, kum gibi malzemelerle de doldurularak kurutma denemeleri yapılmıştır. Domateslerle yaptıkları denemelerde kesilerek kurutulan domateslerin %7 nem içeriğine 28 saat içinde ulaştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar hazırladıkları kurutucu ünitesinin 45-55 °C aralığında denemelerde

inceledikleri tarımsal ürünlerin kurutulması için uygun olduğunu, ısı depolama materyali kullanmanın gece boyunca da nem azalmasına yardım ettiğini sistemin tam kapasiteyle kullanılması halinde homojen bir kurutma için belli süre sonra tepsiyer yerlerinin değiştirilmesi gerektiğini, büyük materyallerin parçalara ayrılarak kurutulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Lewicki ve arkadaşları (2002), ön işlem uygulamalarının domateslerin sıcak hava ile kurutulmalarına etkilerini belirlemek için yaptıkları çalışmada Ravermun ve Lima çeşidi domates kullanmışlar ve 3 farklı ön işlem uygulaması yapmışlardır. Olgunlaşmış ve kırmızı renge sahip domatesleri durulama suyu ile yıkadıktan sonra 10 saniye süre ile kaynayan suda bekletmişler ve kabuğunu soyarak dörde bölmüşlerdir. Ravermun çeşidi domatesin çekirdeklerini ve plasentasını çıkarmışlar, Lima çeşidi domates ise çekirdekleriyle kurutma denemelerine tabi tutulmuştur. Birinci uygulamada Ravermun çeşidi domatesleri %2'lik 2 CaCl içeren 20 °C sıcaklığındaki çözeltide 24 saat bekletmişlerdir. İkinci uygulamada ise birinci uygulamaya maruz bırakılmış domatesleri ayrıca 30 °C sıcaklığındaki %61,5'lik sakkaroz çözeltisi içerisinde 180 dakika bekletmişlerdir. Materyal/Çözelti oranı 1/4 olarak alınmıştır. Çözeltiden çıkarılan domateslere 30 saniye süre ile durulama suyu püskürtülmüş ve domatesler daha sonra kurulum kağıdı ile kurutulmuştur. Üçüncü uygulamada her iki çeşit domates %2'lik 2 CaCl içeren, 30 °C sıcaklığındaki %61,5'lik sakkaroz çözeltisinde 3 saat süresince ozmotik dehidrasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra domatesler laboratuvar ölçeğinde bir kurutucuda 60 °C sıcaklık ve 2 m/s hava hızı değerinde kurutulmuş ve ağırlık değişimi sürekli kayıt edilmiştir. Araştırmacılar 60 °C sıcaklıktaki kurutma işleminin materyale uygulanan ön işlemlere bağlı olarak 7-10 saat gibi uzun zaman alan bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Lima çeşidi domates Ravermun çeşidine göre daha hızlı kurumuştur. Araştırmacılar bu farkın çeşitlerin kurutmaya hazırlanması sırasındaki farklı uygulamadan kaynaklandığını belirtmişlerdir. 2 CaCl ile ön işlem yapılmış domatesler hiçbir ön işlem uygulanmamış domateslere göre daha kısa zamanda kurumuşlardır. Kuruma zamanları arasındaki fark %20'ye yakın olarak belirtilmiştir. Ozmotik dehidrasyona tabi tutulan domateslerin ağırlıkları %37 oranında azalmış buna bağlı olarak kuru madde içeriği iki katına çıkmıştır. 2 CaCl ile ön işlem yapılmış ve sonra ozmotik dehidrasyon uygulanmış domateslerin sıcak hava ile kurutulmada çok yavaş su kaybettikleri belirtilmiştir. 0,266 g/g (kb) nem içeriğine

ulaşabilmek için ozmotik dehidrasyon uygulanmış domateslerin 600 dakikaya ihtiyaç duyduğu buna karşılık, sadece 2 CaCl ile ön işlem görmüş domateslerin aynı nem seviyesine ulaşması için 485 dakika gerektiği belirtilmiştir. Sıcak hava ile kurutmanın ozmotik dehidrasyona göre nemi daha hızlı uzaklaştırdığı belirtilmiştir. Hiçbir ön işlem uygulamadan kurutulan domateslerin ağırlıkları rehidrasyondan sonra 4 kattan fazla artış gösterirken 2 CaCl ile ön işlem uygulanmış domateslerin ağırlıkları 2,7 kat artmıştır. En kötü sonucu “ 2 CaCl + ozmotik dehidrasyon” uygulaması sonucunda kurutulan domatesler vermiş ve ağırlıkları 2 kattan fazla artmamıştır. Hiçbir işlem görmeden kurutulan domatesler ilk su içeriklerinin %30’unu 2 CaCl ile işlem görenler %20’sini, “ 2 CaCl + ozmotik dehidrasyon” uygulaması görenler ise %15’ini absorbe etmişlerdir.

Doymaz ve Pala (2003), Adapazarı Bölgesinde yetiştirilen at dişi mısırla (*Zea mays indentata*) yapılan çalışmada, mısır koçanları % 4 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve % 2 etil oleat çözeltisine 1 dakika süreyle bandırılmış ve daha sonra 55, 65 ve 75 °C sıcaklıktaki kurutma odasında kurutulan örneklerle ön işlem görmemiş örneklerin kuruma süreleri karşılaştırmışlardır. Ön işleme tabi tutulan örneklerin kuruma hızının arttığı, bunun yanında etil oleat solüsyonuyla işlem görmüş mısırın işlem görmeden kurutulmuş mısırdan daha parlak ve daha sarı olduğu görülmüştür. Kuruma hızının ortalama %25,6 oranında arttığının gözlemlendiğini açıklamışlardır.

Latapi ve Barret (2003), güneşte kurutulacak domateslerde tuz ve sodyum metabisülfid daldırma solüsyonlarının kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada, % 0, 10, 15, 20 tuz konsantrasyonları ile % 0, 4, 6 ve 8 sodyum metabisülfid konsantrasyonlarını denemişler, daldırma süresi olarak da 0-2,5-5-7,5 dakika süreleri seçmişlerdir. Kurutma denemelerinde Halley 3155 çeşidi domatesler 5 ppm klorlu su ile yıkandıktan sonra ikiye kesilmiş ve ön işlemler uygulanmıştır. Daldırma işlerinde domates/çözelti oranı 1/3 alınmıştır. Domatesler gerekli işlemlerden geçirildikten sonra tepsiler üzerine serilerek kurutulmuş ve ortamın sıcaklık ve bağıl nem değerleri sürekli olarak kaydedilmiştir. Kurutulan domatesler polietilen torbalara konulduktan sonra analizler yapılncaya kadar 20 °C’de muhafaza edilmiştir. Kurutulan domateslerde nem, renk, su geri kazanım, kükürt, tuz, maya ve küf analizleri yapılmıştır. Tuz solüsyonuna daldırma sürelerinin renk, su geri kazanım oranı ve maya oluşumuna tepkisi olmadığı gibi ancak tuz alımını önemli derecede etkilediği

bulunmuştur. Tuz solüsyonunun konsantrasyonunun maya oluşumu ve rehidrasyon oranı üzerinde önemli derecede etkisi bulunmuştur. Kontrol ve %10 tuz konsantrasyonu ile muamele edilmiş örneklerde bozulmalar görülmesine karşın, %15 ve %20 tuz konsantrasyonu ile muamele edilmiş domateslerde kuruma sonunda hiçbir bozulma gözlenmemiştir. Domatesleri tuz solüsyonuyla işleme tabi tutmanın kurutulmuş domateslerin renk özelliklerini değiştirmede, kükürtlendi domateslerde görünmeyen esmerleşme reaksiyonları sonucunda daha koyu, cezbedici olmayan bir renk kazandıkları belirlenmiştir. Konsantrasyonun ve daldırma süresinin artması ile domateslerin tuz alımı da artmıştır. Sodyum metabisülfite daldırma süresinin, domateslerin kükürt dioksit alımı dışında diğer faktörler üzerinde bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Daldırma çözeltisindeki kükürt dioksit miktarının, renk, rehidrasyon oranı ve maya üzerinde önemli derecede etkisi bulunmuştur. Konsantrasyon miktarı ve daldırma süresinin artması ile kurutulmuş domateslerdeki kükürt dioksit miktarı artmıştır. Araştırmacılar %8'lik solüsyonda 2,5 dakika bekletmenin sonucunda domateslerde 3106 ppm kükürt bulunduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca sodyummetabisülfite konsantrasyonu arttıkça domateslerin rehidrasyon oranında önemli derecede artış meydana geldiğini ve en iyi sonucun %8'lik konsantrasyon ile elde edildiğini vurgulamışlardır. Sodyummetabisülfite uygulaması maya oluşumunu da azaltmış ve kurutulan domateslerde hiçbir bozulma gözlemlenmemiştir. Metabisülfite konsantrasyonu arttıkça domateslerin renk tonu (H) değeri azalarak daha kırmızı ve daha tercih edilen bir renk değerine ulaştığı, %8 konsantrasyon ile muamele edilmiş domateslerin en iyi renge sahip oldukları belirtilmiştir. Araştırmacılar tuzlanarak kurutulacak domatesler için %10-15 tuz konsantrasyonunda, kükürtlendikten kurutulacak domatesler için de % 6-8 sodyum metabisülfite konsantrasyonunda 5'er dakikalık daldırma süresinin tavsiye edildiğini belirtmişlerdir (Günhan, 2005).

Tarhan ve arkadaşları (2003), yaptıkları bir çalışmada Tokat yöresinde eylül ayında başarılı mısır kurutma işlemi için ortalama çevre havası sıcaklığının 3°C ve kasım ayında başarılı mısır kurutma işlemi için ise 6 °C artırılması gerektiğini hesaplamalarla bulmuşlardır. Bu sonuç Tokat yöresinde dış ortamda sergilerde meyve ve sebze kurutmanın çok zor olduğunu tarımsal ürünlerin kurutulmasında kurutucuların kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gerek kurutma

masraflarının azaltılması ve gerekse kullanma kolaylığı açısından güneş enerjili kurutucuların kullanılması önerilmektedir.

Günhan (2005) yapmış olduğu çalışmada Rio Grande çeşidi domateslerin değişik hava sıcaklığı hava hızı ve ön işlem koşullarında gösterdiği kuruma karakteristikleri ve uygulanan kurutma ortamı şartlarının bazı kalite kriterleri üzerindeki etkilerini belirlemiştir. Bu amaçla denemelerde 50-60-70 ve 80 °C hava sıcaklıkları, 0,6-0,9 ve 1,2 m/s hava hızları kullanılarak kükürlenmiş ve tuzlanmış domatesler kurutulmuştur. 50 °C <T <80 °C ve 0,6 m/s <V <1,2 m/s sınırları içerisinde kükürlenerek ve tuzlanarak kurutulan domateslerin kurumasını en iyi tanımlayan modellerin sırasıyla Midilli ve Küçük ve Logaritmik model olduğu belirlemiştir. Kükürlenerek kurutulan domateslerin su geri kazanım oranları tuzlanarak kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda kurutulan domateslerin su geri kazanım oranları 70 °C ve 80 °C kurutulanlara göre daha yüksektir. Güneşte kurutulmuş örneklerle en yakın renk değerleri 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda kurutulan domateslerde elde edilmiştir.

Tarhan ve arkadaşları (2005), günümüzde ticari olarak kullanılan kurutucuların hiçbiri tam olarak en ekonomik ve en kaliteli kurutma işlemini bir arada sağlayamadığını ifade etmişlerdir. Bu makalede, güneş enerjili kurutuculardan beklenen başarı kriterleri ve kurutulmuş ürün kalitesi ile ilgili faktörler ve kavramlar açıklanmıştır. Kurutucu tasarımı ile ilgili gerekli veriler ve güneş enerjili kurutucu tasarımı ile ilgili pratik kurallar verilmeye çalışılmıştır. Güneş enerjili kurutucuların ekonomik ve uzun süreli kullanımları için üreticinin yapması gereken işler açıklanmıştır.

Saçılık ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada, güneş enerjili tünel tip kurutucuda Ankara koşullarında organik domatesin kurutulmasında matematiksel modellemesini yapmışlardır. Domates örnekleri, % 93.35 nem düzeyinden % 11.5 nem düzeyine tünel tipi güneşli kurutucuda dört günde, kontrol olarak alınan açıkta güneşe sererek yapılan kurutma uygulamasında ise beş günde ulaşmışlardır. Ürünler tünel tip kurutucuda dış etkenlerden uzak olarak daha temiz kurumuşlardır. Güneş enerjili tünel tip kurutucunun yerel olanaklarla ve düşük maliyetle yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Yapmış olduğumuz çalışmada hava toplayıcı rafli kurutucu ve eş zamanlı olarak doğal ortamda biber kurutulmuştur. Kurutucuda kurutulan biberlerin kuruma süresi ortalama 5 gün, doğal ortamda kurutulan biberler ise ortalama 8 günde kurumıştır. Kurutucuda kurutulan ürünlerde yapılan duyusal analizler sonucu tadı ve görüntüsünde değişime rastlanmamıştır. Ancak doğal ortamda kurutulan ürünlerin renklerinde değişim gözlenmiş, kurutma süresi arttıkça ürünün renginde bozulma gittikçe artmıştır. Azda olsa ürünlerin tadında değişim olmuştur.



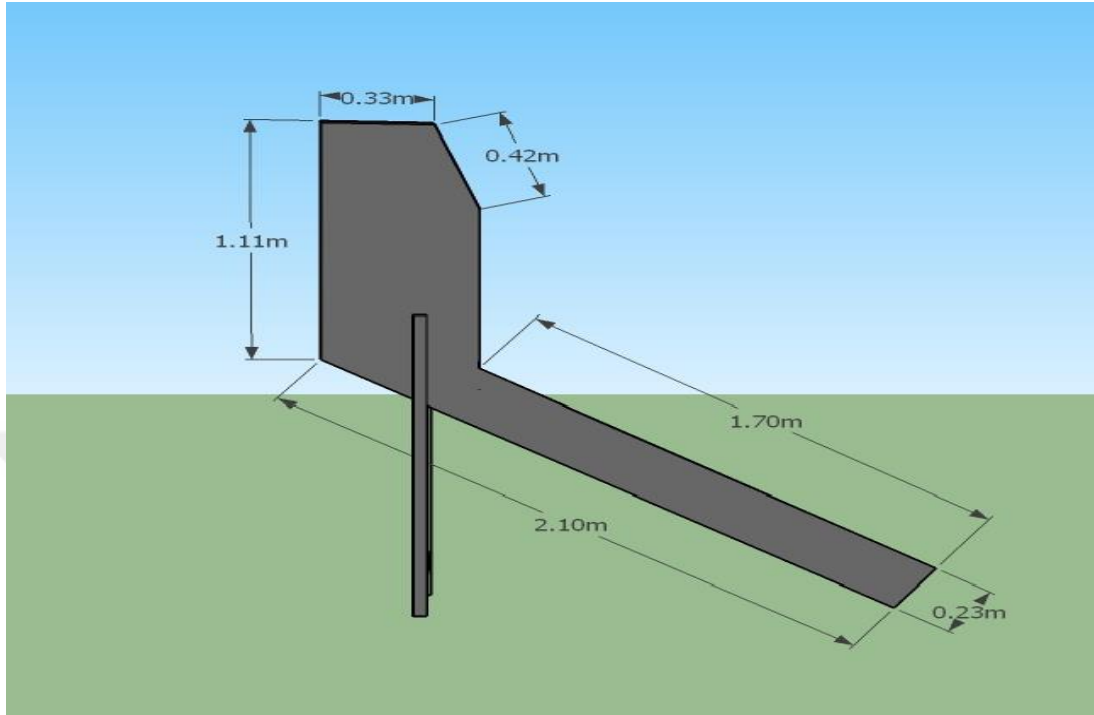
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

İmal edilen güneş enerjili havalı toplayıcı kabin tipli kurutucunun üzerinde 4 mm kalınlığında normal pencere sera camı kullanılmıştır. Kurutucunun gövdesi ise 20 mm'lik suntadan imal edilmiştir. Bu proje kapsamında Muğla bölgesinde büyük miktarda tüketilen biberler hem açık havada hem de kurutucuda kurutularak karşılaştırılmıştır. Kabin tipli güneş enerjili kurutucu; havalı toplayıcı, kurutma odası, kurutma raflarından oluşmaktadır. Kurutucunun şematik gösterimi ve resimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Kurutma materyali olarak bölgemizde tüketilen biber çeşidi kullanılmıştır. Kurutma denemeleri, Muğla ili şartlarında güneş enerjili raflı kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kontrol olarak aynı ışınım şartlarında eşzamanlı olarak açık havada tel örgülü tepsilerde yapılan kurutma yöntemi alınmıştır.

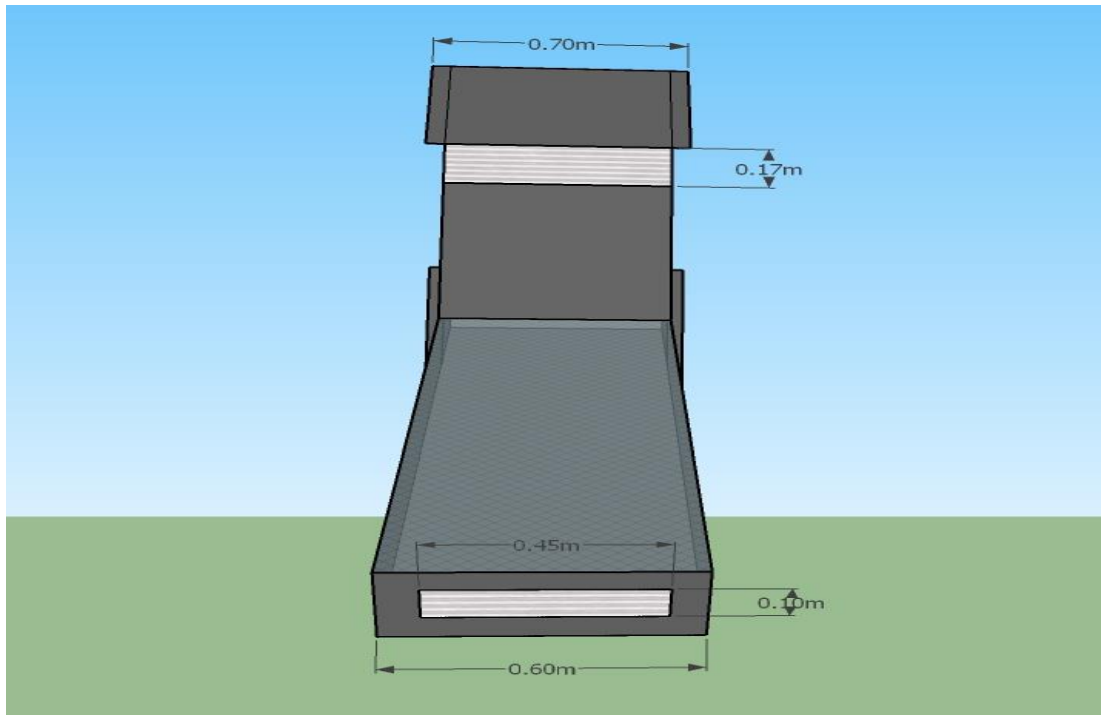
Kurutma denemelerinin yapıldığı raflı tip kurutucu, hava akışlı güneş toplacı, güneş bacası, kurutma odası bölümlerinden oluşmaktadır. Hava akışlı güneş toplacının görevi, üzerine gelen güneş ışınlarını tutarak ısı enerjisine çevirmek ve kurutma havasına aktarmaktır. Toplaç içinde ısınan hava termal kuvvet etkisiyle kurutma odasına girer ve biberlerin yerleştirildiği kurutma tepsilerinden geçerek ürünün nemini alır ve bacadan dışarı atılır.

Havalı güneş toplayıcı; 1,7x2,0,6 m ölçülerinde olup, sunta kasa, güneş ışığını tutan siyaha boyanmış ve sacdan yapılmış tutucu eleman ve saydam örtüden oluşmaktadır. Kurutucu kabine 0,40x0,57 m ölçülerinde, 9 adet raf yerleştirilmiştir. Raf kasaları ahşap malzemeden yapılmış olup, hava geçişini kolaylaştırmak için çelik elek teli kullanılmıştır. Kurutucu kabinin arka cephesine menteşeli bir kapak konulmuştur. Yine kabinin üst kısımlarında önde ve arkada olmak üzere havalandırma kapakları bulunmaktadır. Bir havalandırma kapağı da toplayıcının alt giriş kısmına konulmuştur. Sıcaklık, çiğ noktası ve nem ölçümleri dış ortam, kurutma odası, kurutucu çıkışı olmak üzere üç ayrı noktada yapılmıştır. Şekil 3.1'de kurutucunun yandan görünüşü, Şekil 3.2'de önden görünüşü, Şekil 3.3'de arkadan, Şekil 3.4'te

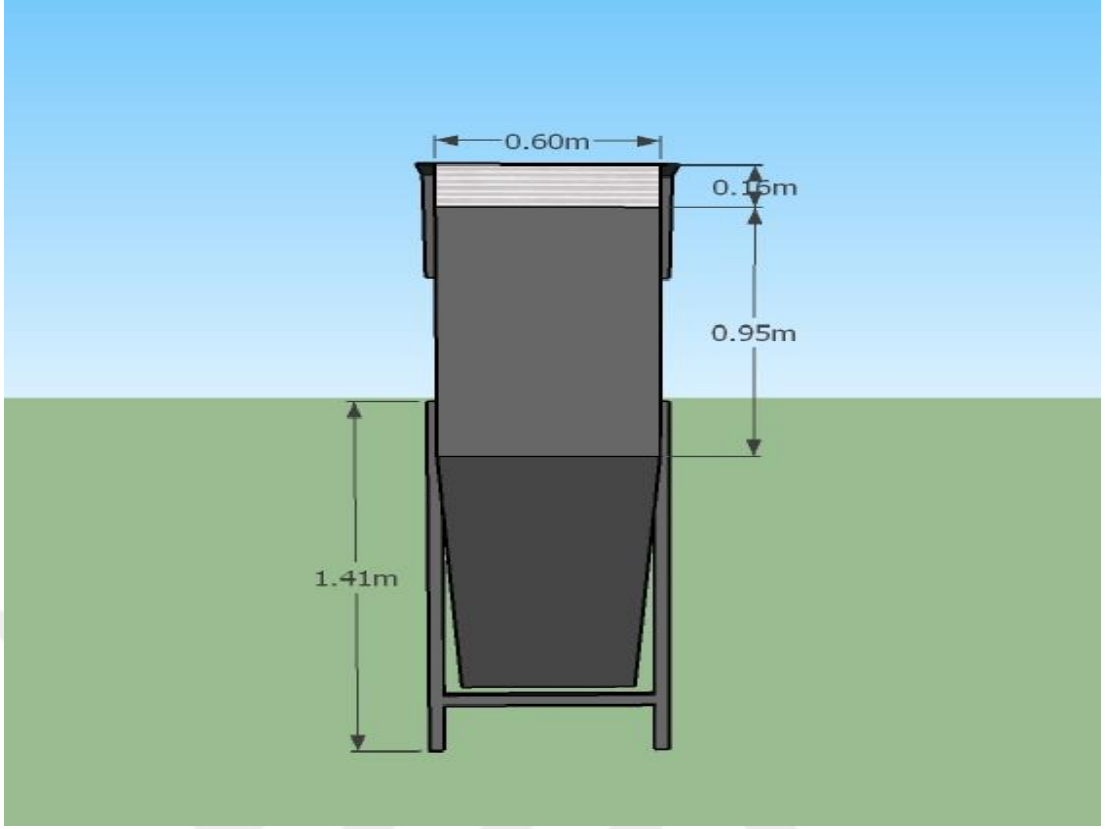
kurutma odasının raf dizilimi, Şekil 3.5'te kurutma odası raf ölçüleri, Şekil 3.6 da kurutma raflarının ölçüleri gösterilmiştir. Şekil 3.7'de kurutucunun çeşitli yönlerden şematik gösterimi, Şekil 3.8'de kurutucunun fotoğrafı gösterilmiştir.



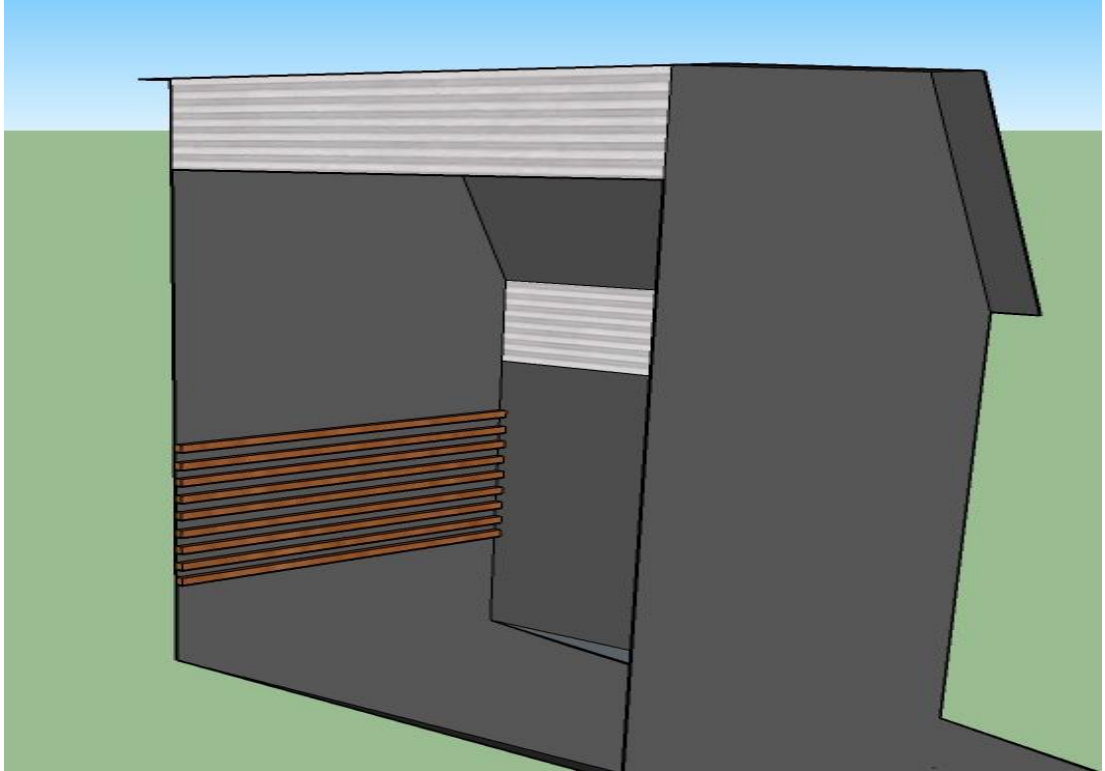
Şekil 3.1. Kurutucunun yandan görünüşü ve ölçüleri



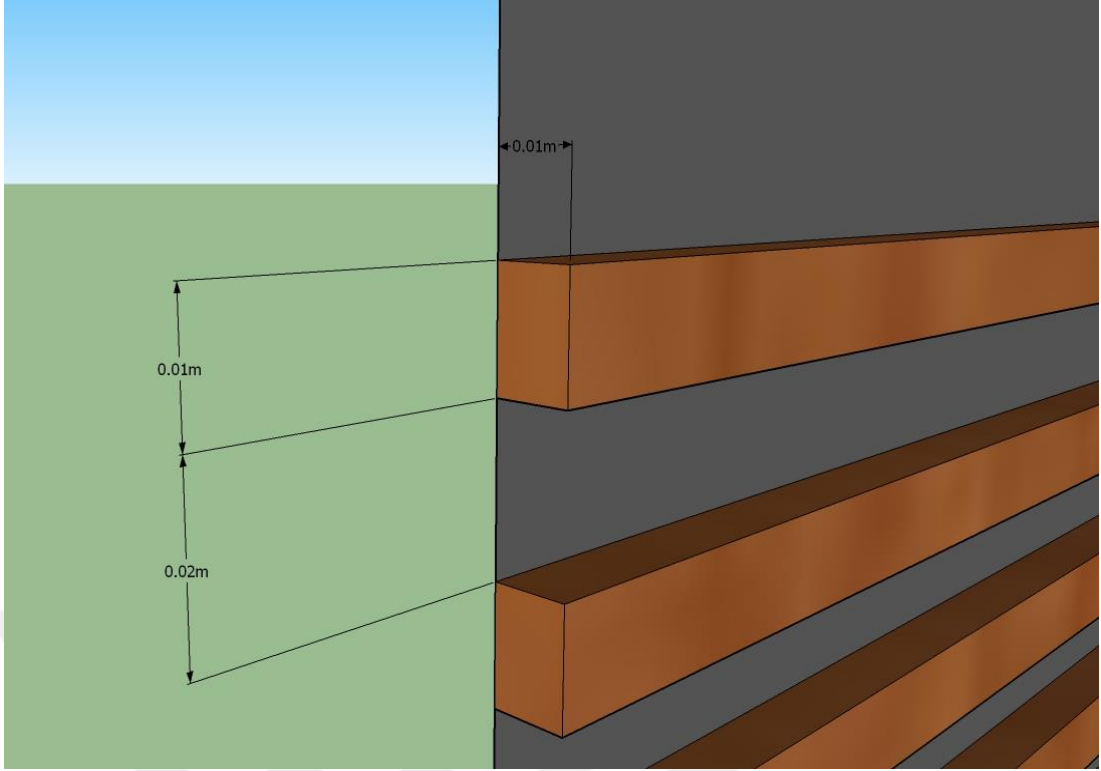
Şekil 3.2. Kurutucunun önden görünüşü ve ölçüleri



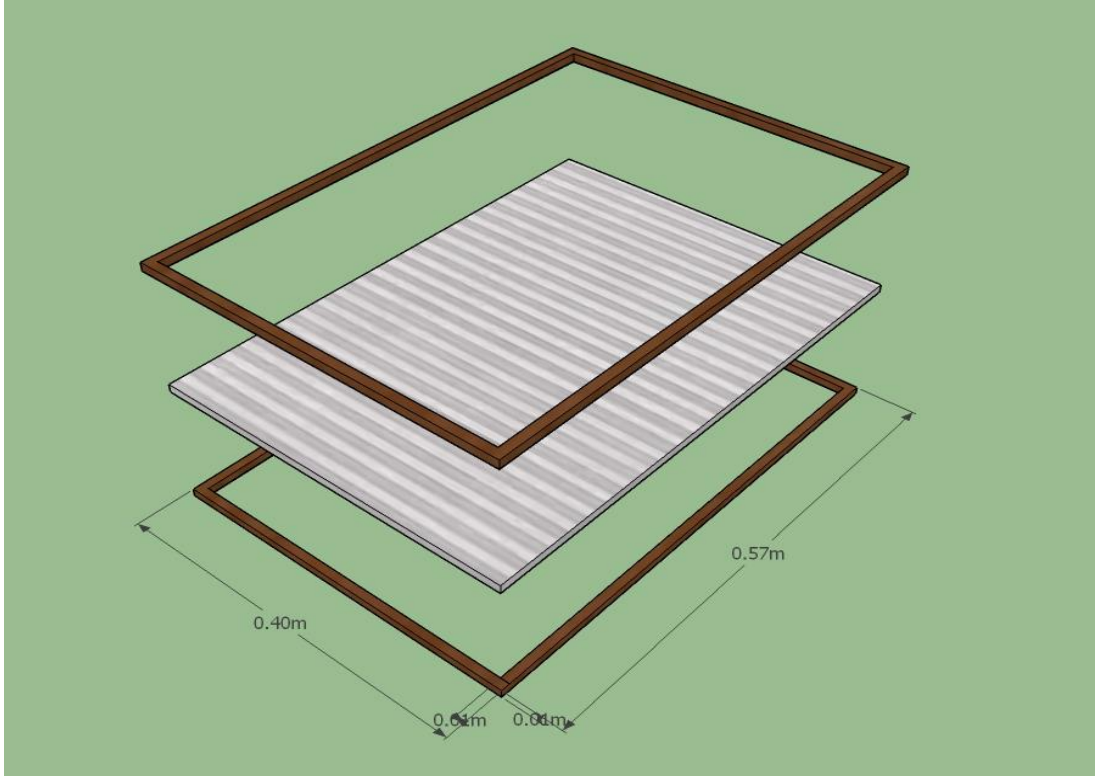
Şekil 3.3. Kurutucunun arkadan görünüşü ve ölçüleri



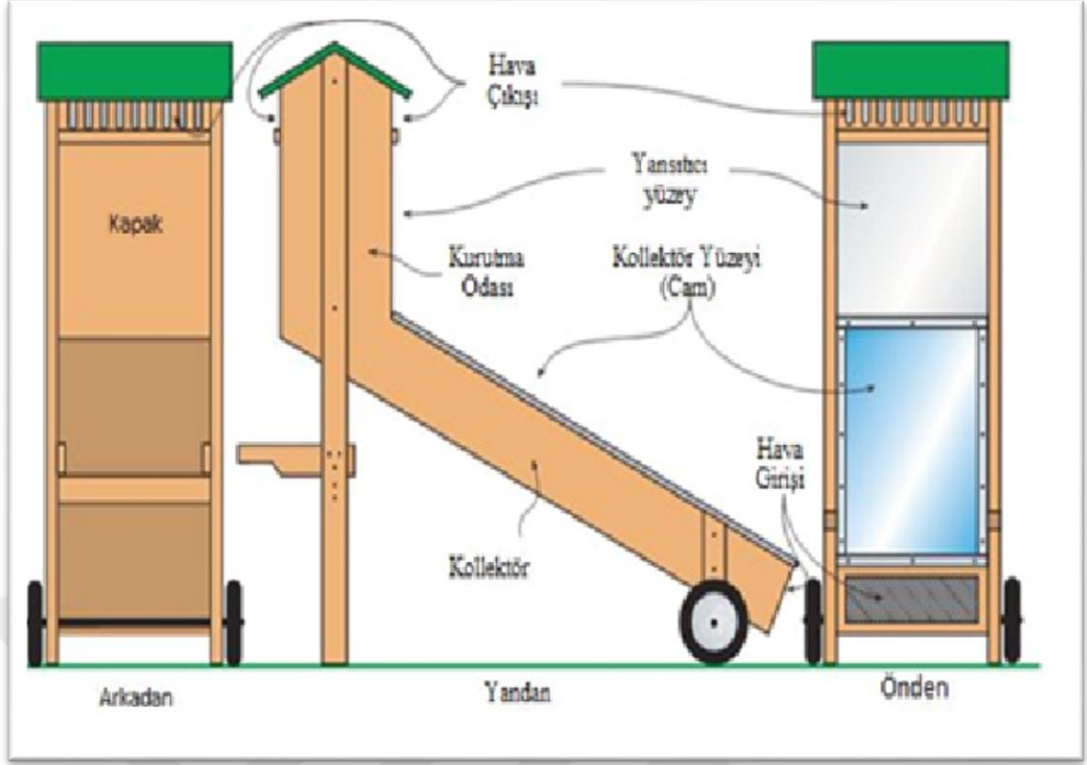
Şekil 3.4. Kurutma odası raf dizilim görünüşü



Şekil 3.5. Kurutma odası raf ölçüleri



Şekil 3.6. Kurutma rafları ölçüleri



Şekil 3.7. Kurutucu bölümlerinin gösterimi



Şekil 3.8. Kurutucunun görünümü

### 3.1. Kurutucunun Isı Hesabı

Isı hesaplamalarında Duffie ve Beckman'ın Solar Engineering of Thermal Processes isimli kitabından yararlanılmıştır (Duffie vd., 2006). Toplayıcıdan sağlanan faydalı enerji çıktısı  $Q_u$  (W) için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

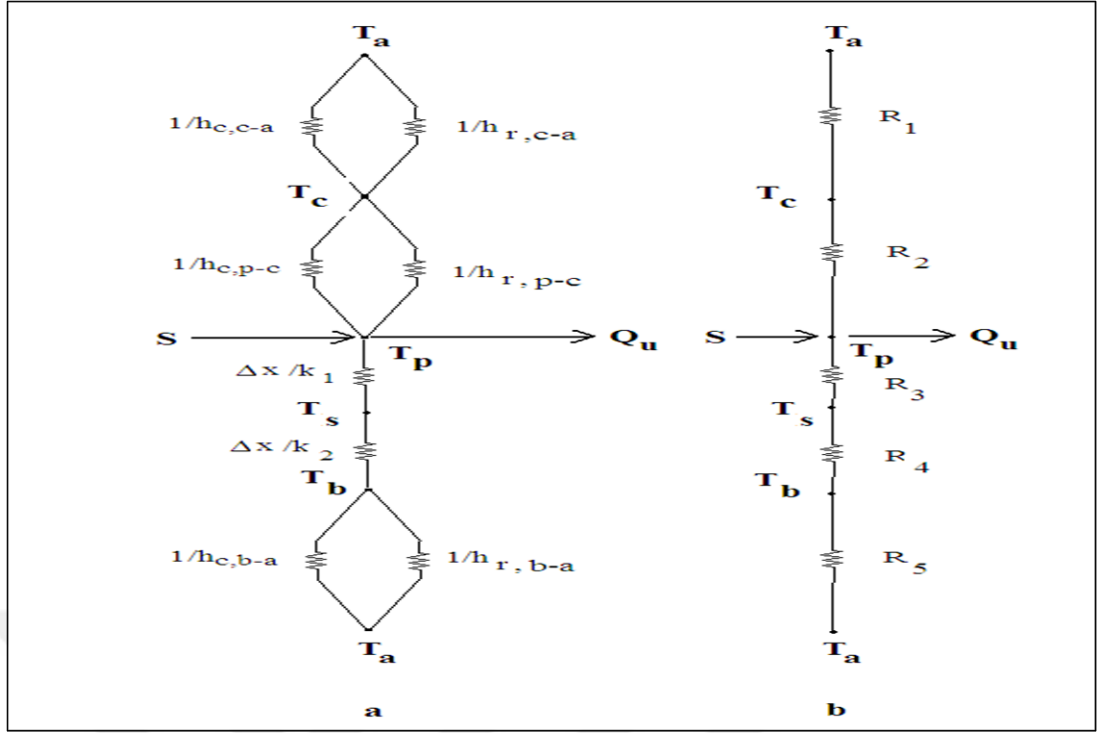
$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (3.1)$$

Burada  $A_c$ ; toplayıcı alanını  $m^2$  cinsinden,  $S$ ; absorblanan güneş ışınım şiddetini  $W/m^2$  cinsinden,  $U_L$  tüm ısı transfer katsayısını  $W/m^2°C$  cinsinden,  $T_{pm}$  absorblayıcı yüzey sıcaklığını Kelvin olarak,  $T_a$  ise çevre sıcaklığını yine Kelvin cinsinden ifade etmektedir. Deneyler süresince güneş ışınım şiddeti ölçüm değerleri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MUTEK) tarafından sağlanmıştır. Şekil 3.9'da havalı toplayıcının kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 3.9. Havalı güneş toplayıcının şematik görünümü

Deneyleri yapılan kurutucunun ısıtma ağı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Kurutucunun alt bölümü 4mm sunta malzemedendir, hemen üstünde 1.12mm kalınlığında emici saç plakadan oluşmaktadır. Üst kısımda ise 4mm kalınlığında sera camı kullanılmış, iki düzlem arasında sıcak hava akışı olmaktadır.



Şekil 3.10. Havalı güneş toplayıcının ısıl ağ örgüsü (a-iletim, taşınım ve ısınım dirençleri, b-plakalar arası resistanslar cinsinden)

Toplayıcı yüzeyinden çevreye olan üstten kayıplar (U<sub>t</sub>):

$$U_t = 1/(R_1 + R_2) \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Toplayıcı tabanından enerji kayıpları (U<sub>b</sub>) ise:

$$U_b = 1/(R_3 + R_4 + R_5) \quad (3.3)$$

olmaktadır. Taban kayıp katsayısı (U<sub>b1</sub>):

$$U_{b1} = 1/(R_3 + R_4) = k_1/L_1 + k_2/L_2 \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada k<sub>1</sub>; sacın ısı iletim katsayısını, k<sub>2</sub> de suntuanın ısı iletim katsayısını, L<sub>1</sub>; sacın kalınlığını, L<sub>2</sub> de alt sunta kalınlığını göstermektedir.

Toplayıcının yan yüzlerinden olan kayıp katsayısı (U<sub>e</sub>):

$$U_e = (UA)_{edge} / A_c \quad (3.5)$$

$$(UA)_{edge} = k_2 / L_e * \text{Toplayıcının kalınlığı} * \text{Toplayıcının çevre uzunluğu} \quad (3.6)$$

Burada  $L_c$ ; yan yüzlerdeki sunta kalınlığını ifade eder.

Toplayıcıdan tüm kayıplar ( $U_L$ ) ise;

$$U_L = U_t + U_{b1} + U_e \quad (3.7)$$

formülü ile elde edilir. Üst cam sıcaklığı için aşağıdaki formülden yararlanılır;

$$T_c = T_p - [U_t(T_p - T_a)/(h_{c,p-c} + h_{r,p-c})] \quad (3.8)$$

burada,  $T_c$ ; cam sıcaklığını,  $T_p$ ; emici yüzey sıcaklığını,  $h_{c,p-c}$ ; emici yüzeyden cama taşınım ile ısı transferini,  $h_{r,p-c}$ ; emici yüzeyden cama ışınım ile ısı transferini simgelemektedir.

$U_t$ 'yi dirençler cinsinden yazacak olursak;

$$U_t = [(1/(h_{c,p-c} + h_{r,p-c})) / (1/(h_w + h_{r,c-a}))] \quad (3.9)$$

Burada,  $h_w$ ; rüzgar ısı transfer katsayısını ifade eder ve

$$h_w = 5,7 + 3,8v \text{ formülünden hesaplanır.} \quad (3.10)$$

Formüldeki  $v$ , rüzgar hızını m/s cinsinden ifade etmektedir. Rüzgar hızı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün, resmi istatistikler kısmından elde edilmiştir. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yön dağılımı Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımı

Emici yüzey ile cam arasındaki taşınım katsayısı hesaplamaları için boyutsuz parametreler; Nusselt ( $Nu$ ), Rayleigh ( $Ra$ ), Prandtl ( $Pr$ ), viskozite ( $\mu$ ), iletkenlik ( $k$ ), yoğunluk ( $\rho$ ), kinematik viskozite ( $\nu$ ), ısı difüzyon katsayısı ( $\alpha$ ) kullanılmıştır. Tablo

değerleri  $T_m = (T_p+T_c)/2$  için alınmıştır. Bu değerler kullanılarak Ra sayısı aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$Ra = [(g \beta' \Delta T L^3) / (\nu \alpha)] \quad (3.11)$$

Burada g; yerçekimi ivmesini,  $\beta' = 1/T_m$ 'i,  $\Delta T$ ; emici yüzey ile cam arasındaki sıcaklık farkını, L; emici yüzey ile cam arası mesafeyi ifade etmektedir.

Ra hesabından sonra Nu sayısının hesabı, aşağıdaki formülden yararlanılarak yapılır. Bu formüldeki  $\beta$ , kurutucu eğimini göstermektedir. Bu da kurutucumuzda  $35^\circ$  olarak tasarlanmıştır.

$0 < \beta < 70$  ise;

$$Nu = 1 + 1,44 [1 - (1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}) / Ra \cos \beta] [1 - 1708 / Ra \cos \beta]^+ + [(Ra \cos \beta / 5830)^{1/3} - 1]^+ \quad (3.12)$$

Formüldeki parantezlerin üzerindeki (+)'lar, hesaplamalarda sadece pozitif değerlerin dikkate alınacağı anlamına gelir.

Emici yüzey ile saydam örtü arasındaki taşınım katsayısı ( $h_{c,p-c}$ );

$$h_{c,p-c} = Nu * k / L \quad (3.13)$$

Burada k,  $T_m$  sıcaklığındaki havanın ısı iletkenliğini ifade eder.

Emici yüzey ile cam arasındaki ışıınım katsayısı ( $h_{r,p-c}$ );

$$h_{r,p-c} = [\sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)] / [(1/\epsilon_p) + (1/\epsilon_c) - 1] \quad (3.14)$$

denklemden elde edilir. Bu denklemdeki  $\sigma$ , Stefan Boltzman katsayısını,  $\epsilon_p$ ; emici yüzey yayma katsayısını,  $\epsilon_c$  ise camın yayma katsayısını ifade etmektedir. Hesaplamalarda  $\epsilon_p=0,95$ ,  $\epsilon_c=0,88$  olarak alınmıştır.

Saydam örtü camdan çevreye olan ışıınım katsayısı ise ( $h_{r,c-a}$ );

$$h_{r,c-a} = [\sigma \epsilon_c (T_c + T_{sky}) (T_c^2 + T_{sky}^2) (T_c - T_{sky})] / [T_c - T_a] \quad (3.15)$$

denklemden  $T_s = T_a$  konularak;

$$h_{r,c-a} = [\sigma \epsilon_c (T_{sky}^2 + T_c^2) (T_{sky} + T_c)] \quad \text{elde edilir.} \quad (3.16)$$

(3.15) ve (3.16) numaralı denklemlerdeki  $T_{sky}$ , gökyüzü sıcaklığını gösterir.

$T_{sky}$ , için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır;

$$T_{sky} = T_a[0,711+0,005T_{dp}+0,000073T_{dp}^2+0,013\text{Cos}(15t)]^{1/4} \quad (3.17)$$

Denklemden,  $T_{dp}$ ; çığ noktası sıcaklığını,  $t$  ise gece yarısından itibaren saatleri ifade eder. (9) numaralı denklemde bu değerler yerine konularak  $U_t$  hesaplanır. Bulunan  $U_t$  değeri (8) numaralı denklemde kullanılarak (cam sıcaklığı)  $T_c$  hesaplanır. Bu değer ile hesaplamalarda kullanılan cam sıcaklığı arasındaki fark yeteri kadar küçük ise iterasyon yapılmaz. Aksi halde iki değer birbirine yaklaşıncaya kadar iterasyona devam edilir.

Toplayıcıdan olan tüm kayıplar ( $U_L$ );  $U_e$ ,  $U_t$ ,  $U_{b1}$  değerleri toplanarak bulunur. Toplayıcıdan sağlanan faydalı enerji çıktısı  $Q_u$  için, (1) numaralı denklem kullanılır. Toplayıcının verimi ise;

$$\eta = \dot{Q}_u / (A_c * I_{o\beta}) \quad (3.18)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Bu denklemde  $\dot{Q}_u$ ; toplayıcıdan birim zamanda elde edilen enerjiyi,  $I_{o\beta}$  ise toplayıcı yüzeyine gelen anlık atmosfer dışı güneş ışınım şiddetini ( $W/m^2$ ) ifade etmektedir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$I_{o\beta} = [1353(1+0,033\text{cos}(360*n/365))] * \text{cos}\theta \quad (3.19)$$

Bu eşitlikte 1353; güneş sabitini ( $W/m^2$ ),  $\theta$  güneşe bakan eğimli yüzeyler için güneş ışınımı geliş açısını  $n$  ise gün numarasını ifade etmektedir.

$$\text{Cos}\theta = \text{sin}(\Phi - \beta) * \text{cos}\delta + \text{cos}(\Phi - \beta) * \text{cos}\delta * \text{cos}\omega \quad (3.20)$$

Yukarıdaki eşitlikte  $\Phi$ ; bulunulan yerin enlemini,  $\beta$ ; toplayıcı eğimini,  $\delta$ ; deklinasyon açısını ve  $\omega$ ; saat açısını belirtmektedir. Deklinasyon açısı;

$$\delta = 23,45 \text{ sin } [360*(n+284)/365] \quad (3.21)$$

eşitliği ile hesaplanır.

### 3.2. Kurutulan Üründe Su Oranının Hesaplanması

Numunenin kuru esasa ( $MC_{KA}$ ) ve yaş esasa ( $MC_{YA}$ ) göre nem içerikleri aşağıdaki eşitliklerden bulunur (Aktaş vd., 2010).

$$MC_{KA} = (YA - KA) / KA \quad (3.22)$$

$$MC_{YA} = (YA - KA) / YA \quad (3.23)$$

Burada YA; yaş ağırlık, KA; kuru ağırlığı ifade eder. Kurutucunun yükleme yoğunluğu ise (Leon vd., 2002);

$$\text{Yükleme Yoğunluğu} = \text{Kurutucuya yüklenen yaş ürünlerin ağırlığı(kg)} / A_c(\text{m}^2) \quad (3.24)$$

### 3.3. Kuru Termometre ve Bağlı Nemi Bilinen Havanın Psikrometrik Özelliklerinin Hesaplanması

Karışımın içindeki su buharının doyma basıncı ( $P_d$ ), kPascal cinsinden, verilen sıcaklıkta doymuş su buharının termodinamik özellikleri tablosundan bulunur. Karışımın içindeki su buharının kısmi basıncı ( $P_b$ ), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$P_b = \phi \times P_d \dots \text{kPascal} \quad (3.25)$$

Karışımın içindeki havanın kısmi basıncı;

$$P_h = 101,375 - P_b \dots \text{kPascal} \quad (3.26)$$

Eşitliğinden hesaplanır.

Özgül nem ise;

$$AW = 0,622 \times P_b / P_h \dots \text{kg.nem/kg.hava} \quad (3.27)$$

Eşitliği yardımıyla bulunur.

Karışım havasının yoğunluğu;

$$d = 1/T \times [(P_h/0,287) + (P_b/0,46162)] \dots \text{kg/m}^3 \quad (3.28)$$

Olarak bulunur.

Karışım havasının özgül hacmi ( $v$ );

$$v = 1/d \dots \text{m}^3/\text{kg} \quad (3.29)$$

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Muğla şartlarında Temmuz ayında bölgemizde tüketilen biberler ile deneyler yapılmıştır. Birinci deneme; 3-7 Temmuz 2018, ikinci deneme; 10-14 Temmuz 2018, tarihlerinde yapılmıştır. Her iki denemede eş zamanlı olarak açık havada güneşte kurutma işlemi de gerçekleştirilmiştir.

Kurutma denemelerinde uzun eksenleri boyunca bir bıçak yardımıyla ikiye bölünen biberlerin üzerine ince tuz tabakası oluşana kadar sanayi tuzu serpilmiştir. Biberlerin kesik yüzleri üste gelecek şekilde kurutma tepsilerine dizilerek kurutma odasına yerleştirilmiştir. Her bir denemeye biberlerin tuzlanmasından sonra başlanmıştır. Kurutma odasında bulunan 9 raf ayrı ayrı tartılarak aralarından hava geçişini engellemeyecek şekilde hazırlanarak yerleştirilmiştir. Her rafa o rafı temsil edecek tartılmış bir numune de eklenmiştir. Numunelerin de Biberlerin raflara yerleştirilmesi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Deneylerde dış ortam, kurutma odası ve kurutucu çıkışlarında olmak üzere üç noktadan sıcaklık, bağıl nem ve çiğlenme sıcaklıkları ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Raflara yerleştirilen biberlerin görünüşü

#### 4.1. DeneYlerin Isı Hesapları

Her deney için toplayıcıdan sağlanan faydalı enerji çıktısı ( $Q_u$ ), toplayıcı yüzeyinden çevreye üstten olan kayıplar ( $U_t$ ), toplayıcı tabanından kayıplar ( $U_b$ ), toplayıcı yan yüzlerinden olan kayıp katsayısı ( $U_e$ ) ve toplayıcının tüm kayıp katsayısı ( $U_L$ ), cam sıcaklığı ( $T_c$ ) Bölüm 3.1’de verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmış olup, iterasyon sonuçları Çizelge 4.1, 4.2’de verilmiştir. Toplayıcıdan sağlanan faydalı enerji çıktısı sonuçları ve toplayıcı verimi de Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Birinci deney için toplam ısı transfer katsayısı hesap sonuçları

İterasyon	$T_p(^{\circ}C)$	$T_a(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$	$T_s(^{\circ}C)$	$h_{c,p-e}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{r,p-e}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{r,c-a}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{c,c-a}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$U_t$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$T_c(^{\circ}C)$ kontrol	$U_L$ (W/m <sup>2</sup> °C)
1	60	31,2	40	14,1	1,78	6,43	5,41	11,4	5,5	39,3	23,7
2	60	32,5	40	14,1	1,78	6,43	5,43	11,4	5,5	39,3	23,7

Çizelge 4.2. İkinci deney için toplam ısı transfer katsayısı hesap sonuçları

İterasyon	$T_p(^{\circ}C)$	$T_a(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$	$T_s(^{\circ}C)$	$h_{c,p-e}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{r,p-e}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{r,c-a}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h_{c,c-a}$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$U_t$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$T_c(^{\circ}C)$ kontrol	$U_L$ (W/m <sup>2</sup> °C)
1	60	32,2	40,4	14,3	1,76	6,45	5,42	11,4	5,52	40,4	23,7
2	60	31,8	41,4	14,3	1,74	6,48	5,47	11,4	5,52	40,4	23,7

**Çizelge 4.3. Faydalı enerji çıktıları**

DENEY NO	$U_L$ (W/m <sup>2</sup> K)	S(Işınım Şiddeti) (W/m <sup>2</sup> )	$I_{o\beta}$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_u$ (W)	$\eta$ (Verim)
1	23,7	894,86	1189,554	355,3443	0,2526
2	23,7	966,51	1233,285	511,1955	0,3364

Çizelge 4.1’de ve 4.2’de hesaplanan sonuçlar neticesinde toplayıcıdan olan tüm kayıplar hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’te toplayıcıdan sağlanan faydalı enerji çıktısı ve verim hesabı yapılmıştır. Yapılan 2 deney sonucunda 2. Deneyde 1. Deneye göre daha fazla verim elde edilmiştir. Verimde ki bu farkın en büyük sebebinin deneylerin yapıldığı günlerdeki ışınım şiddetinden kaynaklandığı söylenebilir.

## 4.2. Biberlerin Su Oranı Hesapları

Biberlerin tam kuru haldeki su oranı yaş ve kuru esasa göre her deney için hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4. Biberlerin tam kuru haldeki su oranları**

Deney No	Raf No	Yaş Ağırlık (YA) (gr)	Kuru Ağırlık (KA) (gr)	Kuru Ağırlık Esasına Göre Su Oranı (MC <sub>KA</sub> ) %	Yaş Ağırlık Esasına Göre Su Oranı (MC <sub>YA</sub> ) %
1	1	733	126	4,82	0,83
1	2	621	79	6,86	0,87
1	3	749	138	4,43	0,82
1	4	770	113	5,81	0,85
1	5	557	84	5,63	0,85
1	6	641	99	5,47	0,84
1	7	578	75	6,71	0,87
1	8	521	69	6,55	0,87
1	9	500	48	9,42	0,90
2	1	701	89	6,88	0,87
2	2	650	101	5,44	0,84
2	3	730	113	5,46	0,84
2	4	760	98	6,75	0,87
2	5	550	75	6,33	0,86
2	6	630	85	6,41	0,86
2	7	580	72	7,05	0,88
2	8	503	45	10,17	0,91
2	9	480	31	14,48	0,93

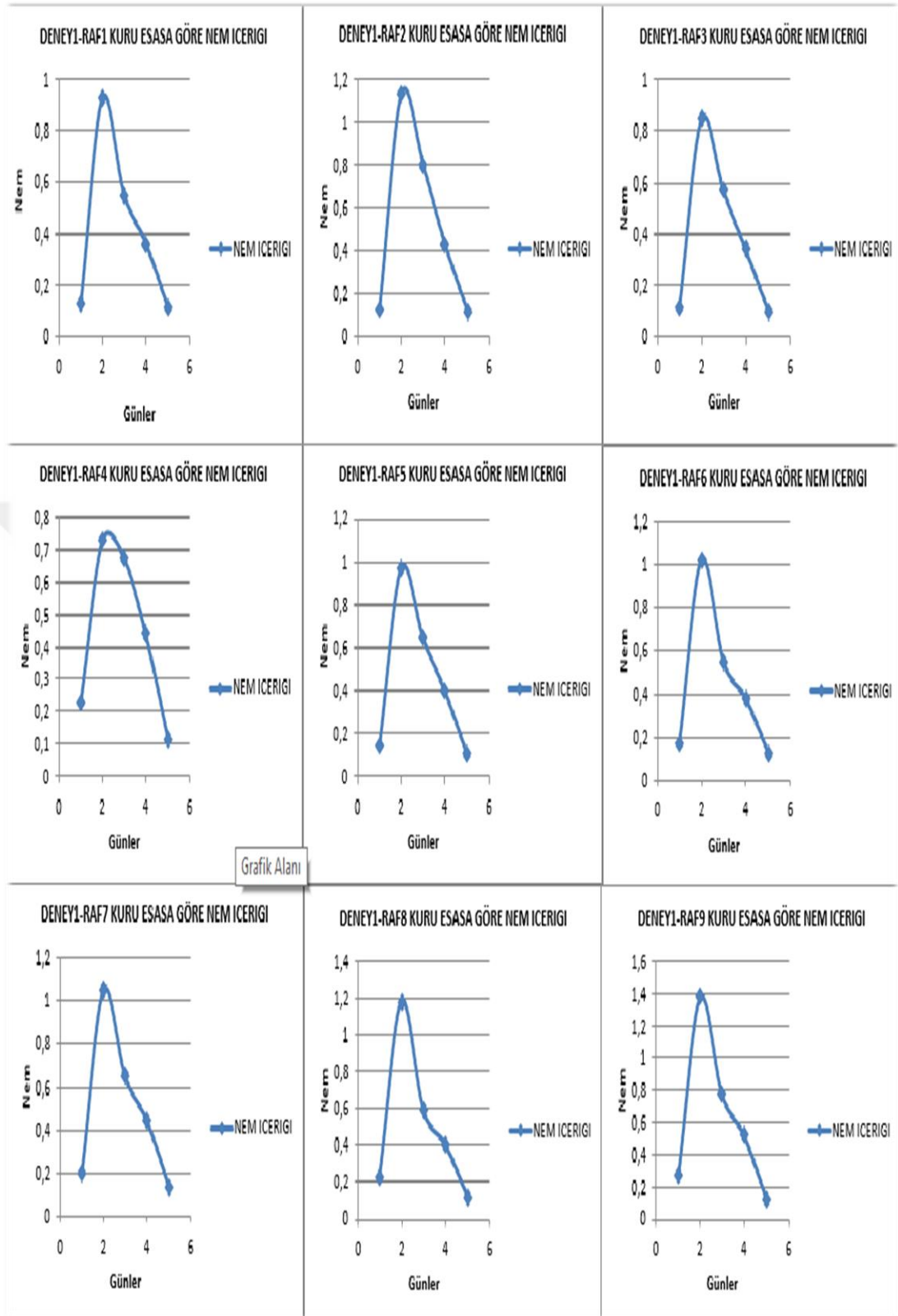
Doğal ortamda güneşte kurutulan biberlerin gün cinsinden kuruma süreleri ve su oranları da Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5. Doğal ortamda kurutulan biberlerin su oranları**

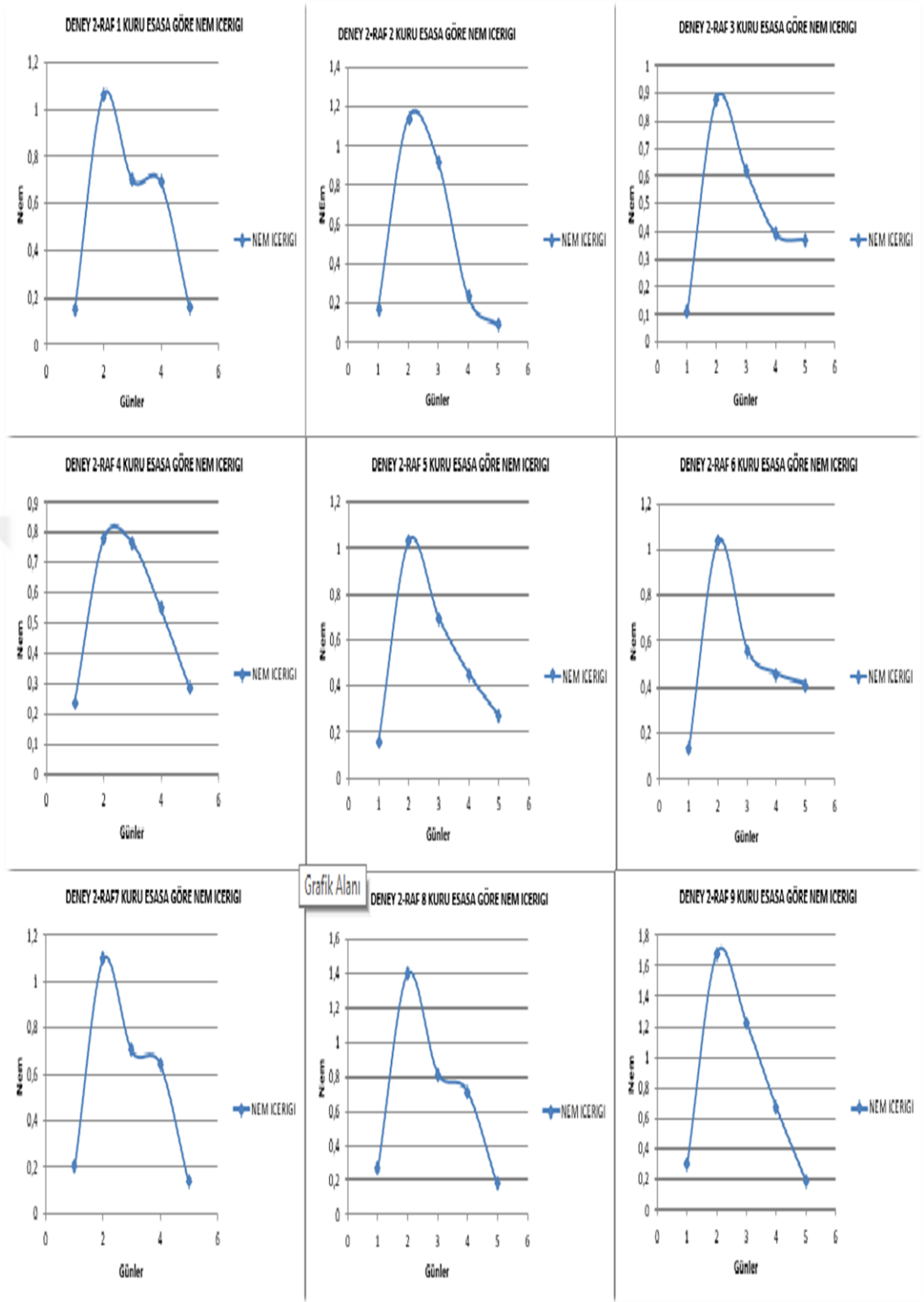
Deney No	Yaş Ağırlık (YA) (gr)	Kuru Ağırlık (KA) (gr)	Kuru Ağırlık Esasına Göre Su Oranı (MC <sub>KA</sub> ) %	Yaş Ağırlık Esasına Göre Su Oranı (MC <sub>YA</sub> ) %	Kuruma Süresi (gün)
1	485	58	7,36	0,88	8
2	544	62	7,77	0,89	8

Yapılan iki deneyde Çizelge 4.4'te ve 4.5'te görüldüğü üzere kuru ve yağ ağırlık esasına göre su oranları hesaplanmıştır. Biberlerin dizilişi ve düzenli ısı dağılımının olmaması sebebi ile oranlarda farklılık görülmektedir. Ancak Güneş enerjili hava toplayıcı sistemdeki su oranı doğal ortamdaki kurutmaya göre çok daha azdır. Güneş enerjili hava toplayıcı sistemde ortalama 5 günde kuruyan ürün doğal ortamda ortalama 8 günde kurumıştır..

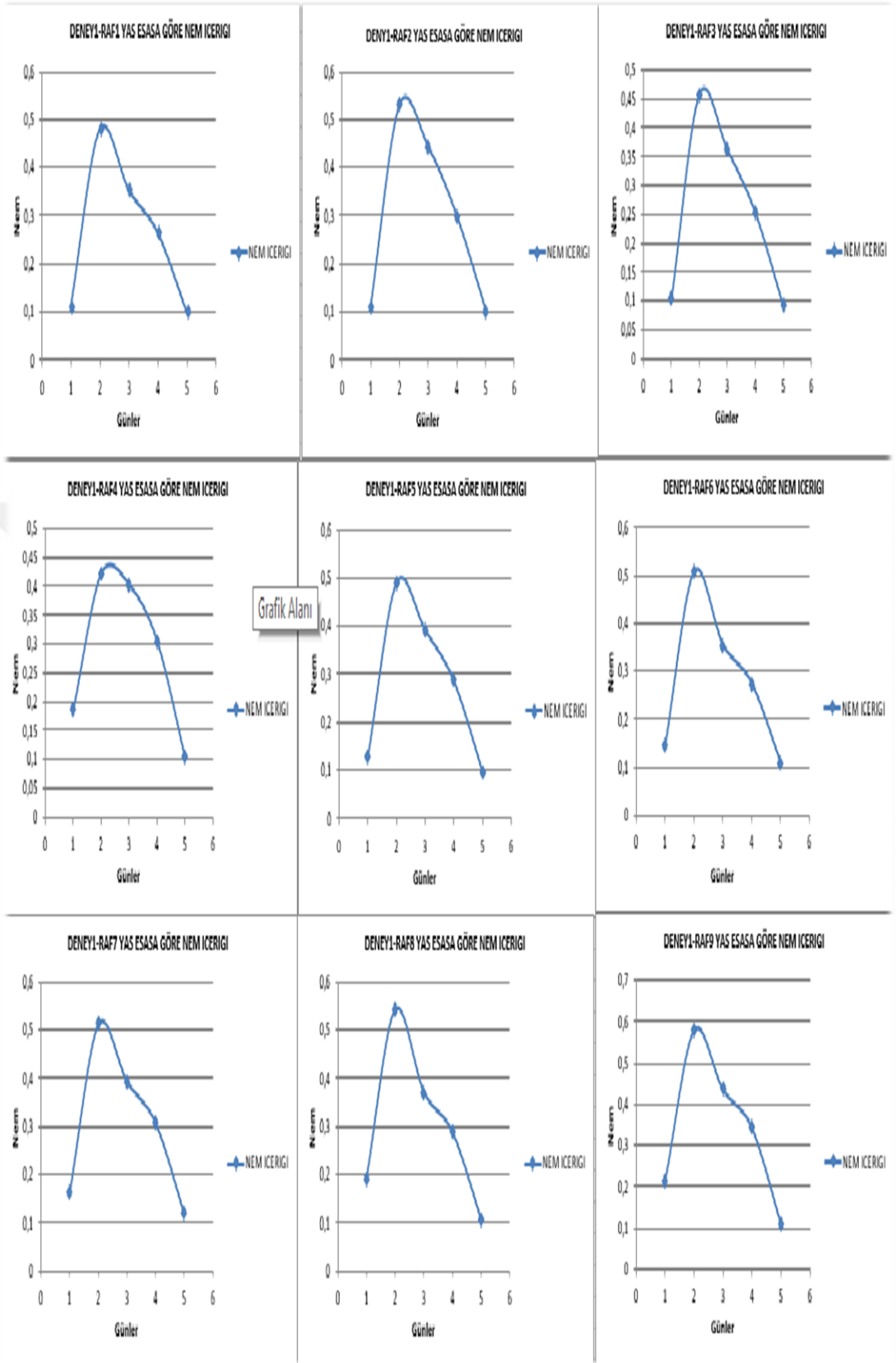
Zamana bağlı olarak biberlerdeki yağ ve kuru esasa göre nem içeriği ve kütle değişim grafikleri her deney ve her raf için aşağıdaki Şekil 4.2'den Şekil 4.5'e kadar olan şekillerde gösterilmiştir.



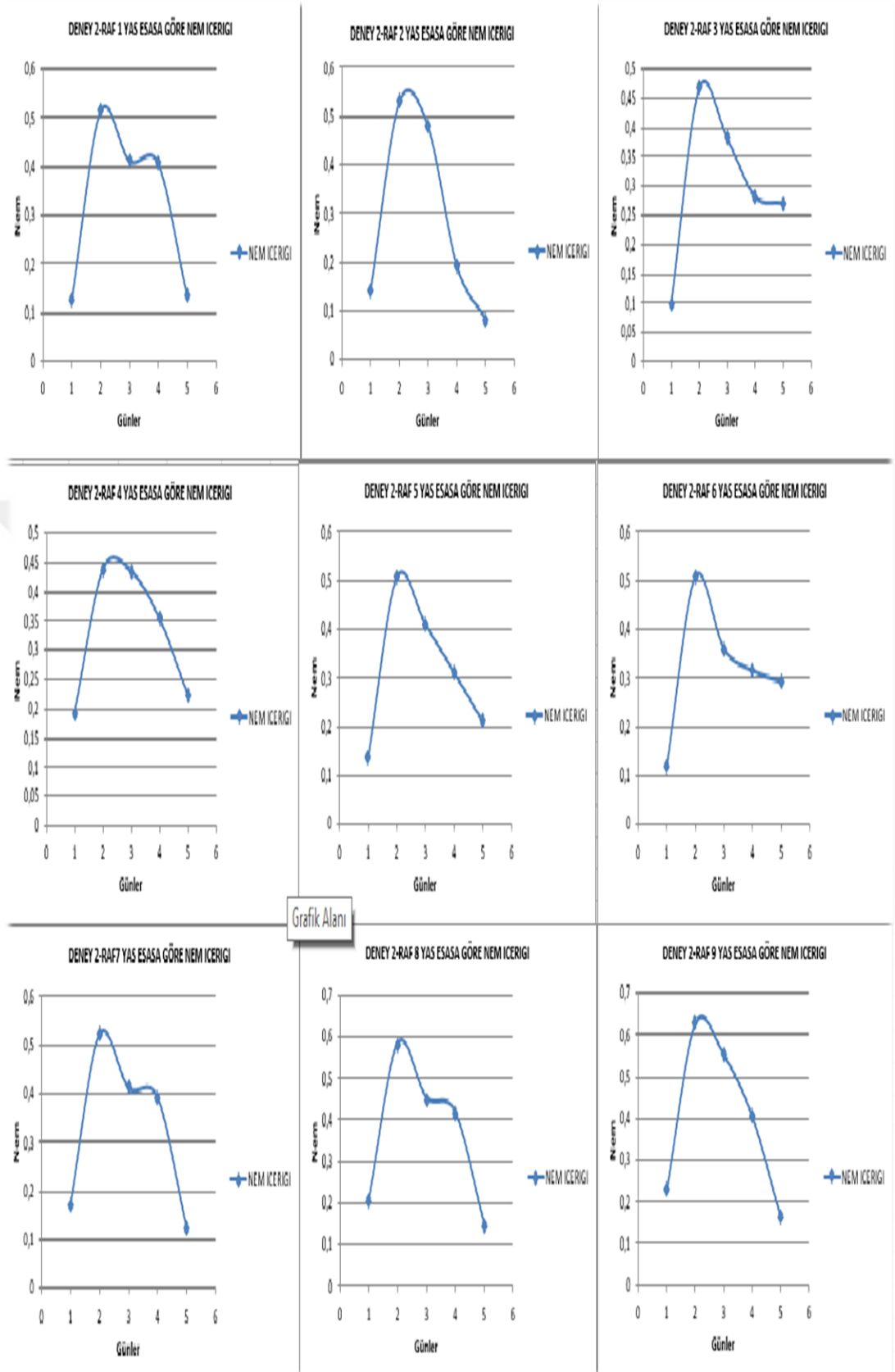
Şekil 4.2. Birinci deney için zamana bağlı olarak kuru esasa göre biberlerdeki nem içeriği



Şekil 4.3. İkinci deney için zamana bağlı olarak kuru esasa göre biberlerdeki nem içeriği



Şekil 4.4. Birinci deney için zamana bağlı olarak yaş esasa göre biberlerdeki nem içeriği



**Şekil 4.5.** İkinci deney için zamana bağlı olarak yaş esasa göre biberlerdeki nem içeriği

Grafiklerdeki nem içerikleri incelendiği zaman kurumanın gerçekleştiği 5 gün için ürünlerin nem içeriği ilk 2 günde artış göstermiş 2. ve 5. Gün aralığında nem içeriği azalarak kuruma gerçekleşmiştir. İlk iki gündeki nem artışının sebebi kurutulacak olan nemli biberlerin yüzey sıcaklığının düşük olması ve üzerinden geçen sıcak hava akımının kurutulacak biberlere verdiği ısı enerjisidir. Bu enerjinin kısmı biberlerin yüzeyinin sıcaklığını yükseltirken, diğer kısmı buharlaşma ısısı olarak kullanılır. Bu nem artışı ayarlanma süreci olarak bilinir ve kuruma hızı düşüktür. 2. günden 4. güne kadar nem oranı hızlı bir şekilde azalır, 4. Günden sonra kurumadan dolayı biberin nem içeriği azalmış ve hızı düşmeye biberin yüzey sıcaklığı artmaya başlamıştır.

Hesaplanan yükleme oranları sonuçları da Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6. Deneylerin yükleme oranları**

Deney No	Kurutucuya yüklenen biberlerin kütlesi (kg)	Yükleme oranı (kg/m <sup>2</sup> )
1	5,670	3,60
2	5,584	3,55

### 4.3. Kurutma Odası ve Kurutucu Çıkış Havaasının Psikrometrik Açıklaması

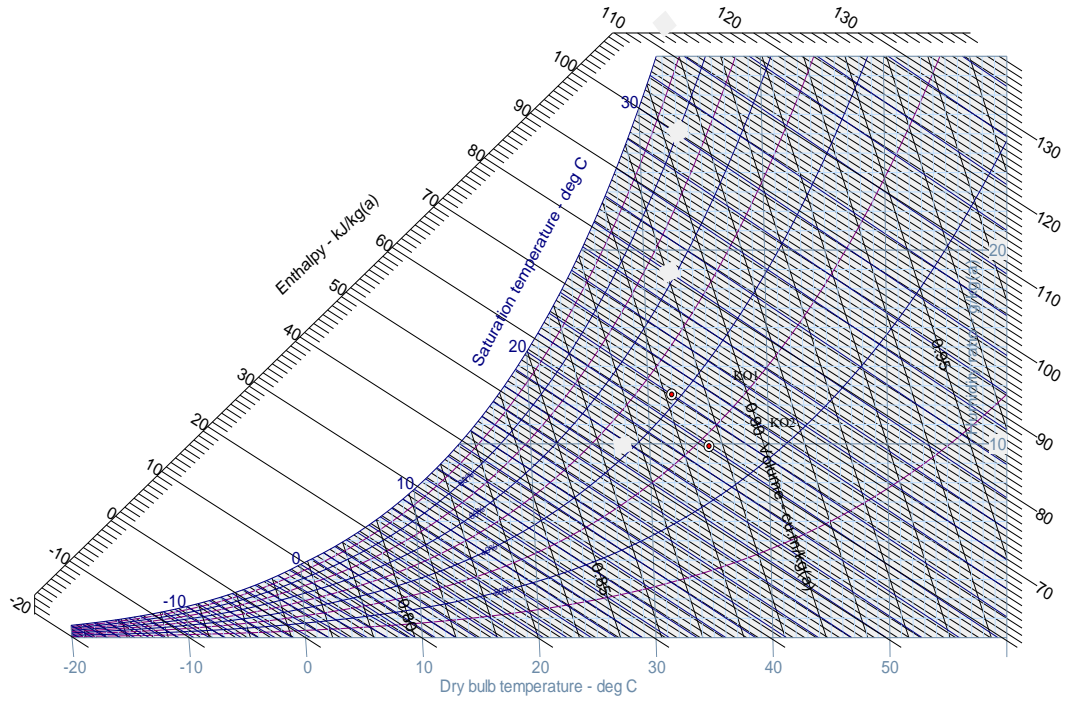
Sistemdeki hava akışının psikrometrik açıklaması Şekil 4.3.1’den Şekil 4.3.3’e kadar olan grafiklerle gösterilmiştir. Bu analizler her bir deney için; dış ortam, kurutma odası ve kurutma çıkışı havaları için ayrı ayrı yapılmış olup, hesaplanan değerler ayrıca Çizelge 4.3.1, 4.3.2 ve 4.3.3’de verilmiştir. Çizelgelerdeki KT; kuru termometre sıcaklığı, YT; yaş termometre sıcaklığı, BN; bağıl nem, T<sub>dp</sub>; çiğlenme noktası, φ; mutlak nem, AW; özgül nem, d; karışım havaasının yoğunluğu, v; karışım havaasının özgül hacmi, H ise entalpiyi göstermektedir. Bu bölümde kullanılan

grafikler (Michell online humidity calculator 1.08) yazılımından faydalanılarak çizilmiştir.

**Çizelge 4.7. İki deney için kurutma odası havasının psikrometrik hesap sonuçları**

Deney	KT (°C)	YT (°C)	$\phi$ %	$T_{dp}$ (°C)	MIN g/m <sup>3</sup>	$P_d$ kPa	$P_b$ kPa	$P_h$ kPa	AW %	d kg/m <sup>3</sup>	v m <sup>3</sup> /kg	H kJ/kg(a)
1	35,65	21,9	36,9	15,06	12,1	5,8	1,7	99,7	0,0106	1,137	0,88	63,39
2	32,52	17,1	39,7	17,07	13,8	4,9	1,9	99,4	0,0122	1,148	0,87	64,01

Pressure: 101325 Pa

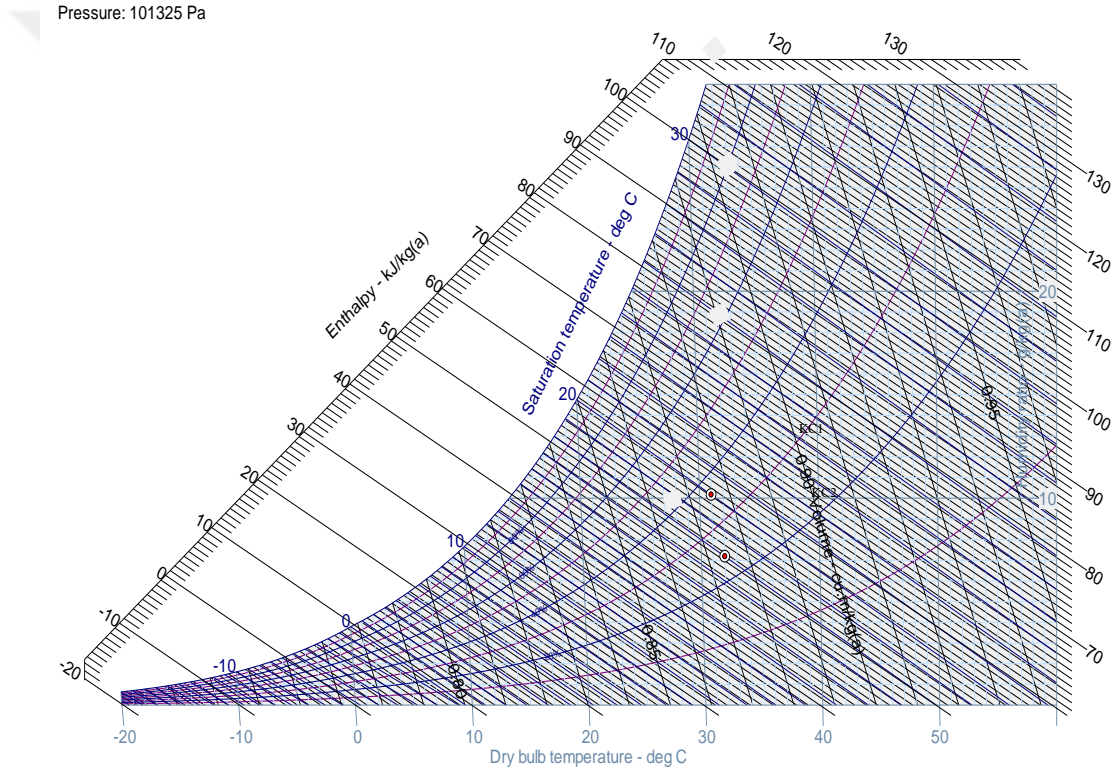


**Şekil 4.6. İki deney için kurutma odası havasının psikrometrik diyagramı**

Şekil 4.6'daki KO1 noktası; birinci deney için kurutma odası psikrometrik özelliklerini, KO2; ikinci deney için kurutma odası psikrometrik özelliklerini, göstermektedir.

**Çizelge 4.8. İki deney için kurutucu çıkış havasının psikrometrik hesap sonuçları**

Deney	KT (°C)	YT (°C)	$\phi$ %	$T_{dp}$ (°C)	MN g/m <sup>3</sup>	$P_d$ kPa	$P_b$ kPa	$P_h$ kPa	AW %	d kg/m <sup>3</sup>	v m <sup>3</sup> /kg	H kJ/kg(a)
1	31,2	20,41	36,9	14,7	11,9	4,56	1,79	99,5	0,010	1,15	0,87	58,26
2	32,0	18,29	24,9	13,2	8,4	4,76	1,17	100	0,007	1,15	0,87	51,12



**Şekil 4.7. İki deney için kurutucu çıkış havasının psikrometrik diyagramı**

Şekil 4.8'deki KC1 noktası; birinci deney için kurutucu çıkış havası psikrometrik özelliklerini, KC2; ikinci deney için kurutucu çıkış havası psikrometrik özelliklerini, psikrometrik özelliklerini göstermektedir.

Yapılan iki deney için kurutma odası ve kurutucu çıkış havası psikrometrik diyagramları 3 noktadan alınan ölçüm ortalamaları kullanılarak Michell online humidity calculator 1.08 yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Çizimler neticesinde kurutma odasındaki biberin yüzey sıcaklığının, kurutucu hava sıcaklığından daha düşük olduğu için kurutma havasından bibere enerji akışı olmaktadır. Psikrometrik diyagramdan da görüleceği gibi kurutma odası ve çıkış havasının özellikleri karşılaştırıldığında çıkış havasının entalpi, özgül nem, bağıl nem gibi değerlerindeki düşüş görülmektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin güneş enerjisi açısından zengin bir potansiyele sahip olmasından dolayı, kurutma uygulamalarında güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanımı enerji ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada genellikle tamamı ile kontrolsüz dış hava iklim şartlarında gerçekleştirilen kurutma işleminin yerine, biber kurutulması için ilk yatırım maliyeti düşük, enerji giderleri olmayan kurutma fırınında kontrollü olarak kurutma yapılarak kurutulmuş biberin kalitesi artırılmıştır.

Bu çalışma yerel imkanlarla imal edilmiş raflı kabin tip kurutucu ile Muğla şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kurutucu için öncelikle dış ortam, kurutma odası ve kurutucu çıkışı olmak üzere üç noktadan ölçümler alınmış ve daha sonra bu ölçümlerin ortalaması alınarak, sistemde ki enerji kayıpları hesaplanmış 23,7 w/m<sup>2</sup>oC bulunmuştur. Her iki deney için faydalı enerji hesabı yapılmış 1 deney için 355,34 W ikinci deney için 511,19 W hesaplanmıştır. Yine her iki deney için verim hesabı yapılmış 1. deneyin verimi %25, 2. Deney verimi %33 hesaplanmıştır. Kurutucuyu test etmek amacıyla deneme yapılmış, biberlerin su oranları tablolar halinde verilmiştir. Sonuçlar eş zamanlı açık havada kurutulan biberlerle karşılaştırılmıştır. Kurutucuda kurutulan ürünlerin su oranları doğal ortamda kurutulan ürünlere göre %2-3 oranında azaldığı görülmüştür. Kurutucu, kuruma süresi ve kalitesi açısından açık havada kurutmaya göre üstünlük sağlamıştır. Biberler açık havada ortalama 8 günde kururken, kurutucuda bu süre 5 güne kadar düşmüştür. Bu durum ürün kalitesinin korunması açısından da oldukça önemlidir.

Kurutucuda kurutulan biberler, kontrol örneklerine göre, yağmur, toz gibi olumsuz çevre şartlarından etkilenmemiş ve daha temiz kurumuşlardır. Kurutulan biberler renk açısından da incelendiğinde, kuruma süresinin artmasıyla birlikte renkteki bozulma daha da artmıştır.

Kurutucudaki raflar nem içeriği bakımından grafiğe dökülmüş ve yorumlanmıştır. Aynı zamanda iki deney için kurutma odası ve kurutucu çıkış havası psikrometrik diyagramları Michell online humidity calculator 1.08 yazılımından faydalanarak oluşturulmuş.

Deneysel çalışmada kullanılan bu kurutucunun sadece biber değil her türlü gıda maddesinin kurutulmasında da kullanılabilirliği test edilmiştir (domates, elma, incir gibi).

Yapılan duyuşal analizler sonucunda, her bir denemede kurutulan ürünlerin kurutma sonrası tadında ve renginde bir bozulma görülmemiştir.

Bu çalışmada, daha önceki birçok çalışmada denenmiş sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda biberler kurutulmuş olup, biberlerde oluşabilecek ısı hasarlarının önüne geçilmiş buna bağlı olarak kaliteli bir şekilde biberler kurutulmuştur. Biberlerin ikiye bölünerek kurutulmasından dolayı kurutma esnasında üründen kurutma havasına kütle transferi hızlanmış ve biberler kısa sürede kurumuştur.

Sonuç olarak, bu sistem küçük ve büyük ölçekte pratik bir şekilde uygulanabilir ve böylece geleneksel kurutma sistemlerine alternatif olabilir. Bu çalışma ile biberin kurutulmasına yönelik mevcut sistemlere enerji verimliliği açısından alternatif olabilecek bir sistem test edilmiş ve kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; sistemde kullanılan enerji tamamıyla güneşten sağlanarak, günümüz enerji sistemlerini ve çevresel etkilerini incelediğimizde bu sistem kurutma sistemlerine örnek teşkil edecek ve literatüre katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Afzal,T.A., Abe, T., Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato drying technology, 17, 137-155, 1999.
- Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H., Aktekeli, Z., Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı kırmızıbiber kurutucusunun tasarımı, imalatı ve performans deneyleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30,1, 111-120, 2010.
- Ayan, H., Güneşte ve yapay kurutucuda kurutulmuş domates (*Lycopersitcum esculentum*) üretimi ve proses sırasındaki değişimlerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.
- Demir, Ş., Bazı meyvelerin sera içinde kuruma karakteristikleri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1989.
- Doymaz, I., Pala, M., The thin-layer drying characteristics of corn, J. Food Eng. 60, 125-130,2003.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, Third edition, John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- Durak, Ö.C., Güneş ısıtıcılı kurutma serasında biber, domates ve mısırın kurutma parametrelerinin belirlenmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Eissen, W., Muhlbauer, W., Kutzbach, H.D., Solar drying grapes, Drying Technology, 3(1), 63-74, 1984.
- El-Sebati, A. A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M. R. I., El-Gohary, H. G., Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer, Energy Conversion and Management, 43, 2251-2266, 2002.
- Ergüneş, G., Gerçekçioğlu, R., Sera tipi kurutucuda Kutahya vişne çeşidinin kuruma özellikleri ve kuru ürün kalitesine etkileri, Türkiye 3. Bahçe Bitkileri Kongresi, Ankara, 833-837, 1999.
- Günhan, T., Farklı kurutma havası şartlarının rio grande çeşidi domatesin kuruma karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Hastürk Ş., F., Domates kurutmada farklı yöntemlerin karşılaştırılması, Doktora Tezi,Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- Hawladar, M. N. A., Uddin, M.S., Ho, J. C., Teng, A. B. W., Drying characteristics of tomatoes, Journal of Food Engineering, 14 (4), 259-268, 1991.
- Kholliev, B., Sadikov, T., Khairitidinov, B., Sadikov, B., On the investigation of a solar hothouse/fruit dryer, Applied Solar Energy, 8 (3), 78-81, 1982.

- Latapi, G., Barrett, D. M., Use of salt and sodium metabisulfite dips prior to sun drying tomatoes, Proceedings of the Eighth International Symposium on the Processing Tomato, Acta Horticulturae, 613: 391-397, 2003.
- Leon, M. A., Kumar, S., Bhattacharya, S. C., A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 6, 367-393, 2002.
- Lewichi, P., Le, H. V., Pomaranska-Lazuka, W., Effects of pretreatment on convective drying of tomatoes, Journal of Food Engineering, 54: 141-146, 2002.
- Mengeç, H. O., Konya bölgesinde yetiştirilen stanley çeşidi eriklerin sıcak hava ile kurutulmasında kuruma üzerine etki eden faktörler, Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi, Erzurum, 2000.
- Mengeç, H. O., Konya bölgesinde yetiştirilen vişne ve kayısıların kontrollü şartları altında kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi, Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, Şanlıurfa, 2001.
- Mutlu, A., Tokat'ta güneş enerjili raflı kurutucu ile domates kurutma koşullarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Olorunda, A. O., Aworth, O. C., Onuohac, N., Upgrading quality of dried tomato: effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments, Sci. Food Agric., 52, 447-454, 1990.
- Özgöz, E., Bazı sebzelerin sera içinde kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
- Öztekin, S., Öztürk, S., Çukurova bölgesinde ikinci ürün mısırın depolanmasında küf önleyici bir asit karışımının kullanılması üzerine bir araştırma, Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi, Antalya, 1994.
- Öztekin, S., Soysal, Y., Çiçeğinden yararlanılan aromatik bitkiler için tasarlanan bir raflı kurutucu, Çukurova II, Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi, Erzurum, 2000.
- Saçılık, K., Keskin, R., Eliçin, A. K., Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato, Journal of Food Engineering, 73(3), 231-238, 2005.
- Selçuk, K. M., Ersoy, O., Akyurt, M., Development, theoretical analysis and performance evaluation of shelf type driers, Solar Energy, vol. 16, 82-88, 1974.
- Suarez, C., Loncin, M., Chirife, J., A preliminary study on the effect of ethyl oleate dipping treatment on drying rate of gain corn, Journal of Food Science, 49, 236-238, 1984.

Tarhan, S., Ergüneş, G., Özler, S., Tokat yöresinde düşük sıcaklıkta mısır kurutma için uygun kurutma şartlarının belirlenmesi, Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, Konya, 18-24, 2003.

Tarhan, S., Ergüneş, G., Tekelioğlu, O., Tarımsal ürünler için güneş enerjili kurutucuların tasarım ve işletme esasları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu, Kayseri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: E/2055/371, 51-58, 2005.

Tarhan, S., Ergüneş, G., Tekelioğlu, O., Tarımsal ürünler için güneş enerjili kurutucuların tasarım ve işletme esasları, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 99, 26-32, 2007.

Tarım Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2000.

Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A., Çağatay, F., Drying characteristics of laruel leaves under different drying conditions, 7th International Congress on Agrucultural Mechanism and Energy, 565-569, Adana, 1999.

Yaşartekin, Y., Kabinet tipi, güneşi dikey ekseninde belirli aralıklarla izleyen, güneş enerjili kurutucunun tasarımı ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında denenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991.

Yılmaz, H. N., Güngör, A., Özbalta, N., Domates için kabin tipi bir güneşli kurutucunun performans analizi, 7. Uluslar arası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, 26-27, Adana, 1999.

Zanoni, B., Peri, C., Giovanelli, G., Nani, R., Study of oxidative heat damage during tomato drying, Acta-Horticulturae, 487-395, 1999 A.

Zanoni, B., Peri, C., Giovanelli, G., Lavelli, V., Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying, Food Research International, 31 (5), 395-401, 1999 B.

Yazılım: Michell online humudity calculator 1.08

Yazılım: Sketch Up Make 2016

<http://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/turkiye-ortalama-ruzgar-5.pd>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur ÇAYAN  
Uyruk : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi : 30/07/1990  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : 0(543)5719731  
E-posta : onurcayan@gmail.com

### Eğitim

Alınan Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Muğla Anadolu Lisesi	2008
Lisans	Bülent Ecevit Üniversitesi (Makine Mühendisliği)	2014
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2019

### İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev
2014-Devam	Muğla Büyükşehir Belediyesi	Makine Mühendisi