



TARSUS  
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PLC KONTROLLÜ KURUTUCU KONVEYÖR TASARIMI VE İMALATI

Orçun KÜÇÜKATAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS – 2021

**T.C.**  
**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PLC KONTROLLÜ KURUTUCU KONVEYÖR TASARIMI VE İMALATI**

**Orçun KÜÇÜKATAY**

**Danışman: Doç. Dr.Ercan KÖSE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS - 2021**

**Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;**

Bu çalışma, jürimiz tarafından İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Başkan:** Doç. Dr. Ercan KÖSE  
(Danışman)

**Üye:** Prof. Dr. Abdulkadir YAŞAR

**Üye:** Doç. Dr. Zehra YILDIZ

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.  
.../.../2021

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR  
Enstitü Müdürü

**NOT:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. .... / .... / 2021

Orçun KÜÇÜKATAY

## ÖZET

### PLC KONTROLLÜ KURUTUCU KONVEYÖR TASARIMI VE İMALATI

**Orçun KÜÇÜKATAY**

**Yüksek Lisans Tezi, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr.Ercan KÖSE**

**Haziran 2021, 106 sayfa**

Bu çalışmada kurutucu konveyör sistemi (KKS) tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. KKS, doğrudan (pasif) güneş enerjili kabin tipi kurutma sistemidir. İlk olarak kurutma kabının boyutlandırılma hesapları yapılmıştır. İkinci olarak kabin havalandırması için gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Üçüncü olarak kurutulacak ürünün yüklenmesi ve boşaltılmasını kolaylaştırmak amacı ile taşıyıcı konveyör bant sistemi tasarımı yapılmıştır. Daha sonra kabin üzerine yerleştirilecek olan güneş radyasyonunun geçmesine izin veren cam seçimi, fan seçimi, ağırlık ölçer, sıcaklıkölçer ve nemölçer gibi algılayıcı seçimleri yapılmıştır. Tasarım işlemi ve gerekli donanım seçimleri yapıldıktan sonra kurutma sisteminin imalatı yapılmıştır. Kurutma sistemine ait taşıyıcı konveyör bant sisteminin denetimi ve sıcaklık, nem ve ağırlık gibi verilerin toplanması ve kaydedilmesi için PLC kullanılmıştır. İmalatı yapılan kurutma sisteminin performansını değerlendirmek için Adana ilinde Ağustos ve Eylül aylarında hasat edilen yaş erik meyvesi seçilmiştir. Deney sonucunda yemeye hazır yarı kurutulmuş erik elde etme amaçlanmış ve deney Eylül ayında yapılmıştır. Deneysel çalışmada kurutma işleminin başlangıcından bitimine kadar yaş ürünün ağırlık ölçümleri, kabin giriş havasına, kabin içindeki havasına ve kabin çıkış havasına ait sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmış ve kaydedilmiştir. Yaş erik meyvesi çok yüksek su içeriğine ve su aktivasyonuna sahip olduğu için ve deneyler Eylül ayında yapıldığı için deneyler yedi gün sürmüştür. Gereken hesaplamalar MATLAB ile modellenmiş, kurutma işlemi psikrometrik diyagrama çizilmiş ve sistem performansını görmek için diğer grafikler çizilmiştir. Deneylerde istenilen tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Eylül ayına göre Ağustos ayında güneş radyasyonu daha yüksek olduğu için yaş erik meyvesinin hasat

işleminden sonra kurutmanın Ağustos ayında yapılmasının daha iyi sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, kurutma, konveyör tasarımı, PLC

**Danışman:** Doç. Doç.Dr. Ercan KÖSE, Tarsus Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus Mersin.



## **ABSTRACT**

### **PLC CONTROLLED DRYER CONVEYOR DESIGN AND MANUFACTURING**

**Orçun KÜÇÜKATAY**

**Master Thesis, Department of Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Assooc. Prof. Dr. Ercan KÖSE**

**June 2021, 106 pages**

In this study, the dryer conveyor system (KKS) design and manufacturing has been carried out. KKS is a direct (passive) solar powered cabin type drying system. First, the sizing calculations of the drying cabinet were performed. Secondly, the amount of air required for cabin ventilation was calculated. Thirdly, a conveyor belt system has been designed in order to facilitate the loading and unloading of the product to be dried. Later, a glass that allows the passage of solar radiation to be placed on the cabin, fan, and sensor such as weight meter, temperature meter and humidity meter were selected. After the design process and the necessary equipment selection, the drying system was manufactured. PLC is used to control the conveyor belt system of the drying system and to collect and record data such as temperature, humidity and weight. In order to evaluate the performance of the drying system manufactured, fresh plum fruit harvested in Adana in August and September was selected. At the end of the experiment, it was aimed to obtain ready-to-eat semi-dried plums and the experiment was carried out in September. In the experimental study, the weight measurements of the wet product from the beginning to the end of the drying process, the temperature and humidity values of the cabin inlet air, the air in the cabin and the cabin exit air were measured and recorded. The experiments took seven days, as the fresh plum fruit has a very high water content and water activation and the experiments were carried out in September. Basic calculations were modeled with MATLAB, the drying process was plotted on a psychrometric diagram, and other graphs were drawn to see system performance. Satisfactory results were obtained in the experiments. Since the solar radiation is higher in August compared to September, it is concluded that drying the fresh plum fruit after harvesting in August will give better results.

**Keywords:** Solar energy, drying, conveyor design, PLC

**Advisor:** Assoc. Prof. Dr. Ercan KÖSE, Department of Manufacturing Engineering,  
Tarsus University, Tarsus Mersin.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xvi</b>

### BÖLÜM I

#### GİRİŞ

### BÖLÜM II

#### KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Yapılan Çalışmalar .....	4
2.1.1. Güneş enerjili kurutma .....	4
2.1.2. Tasarım, imalat ve performans testi .....	10
2.1.3. Taşıyıcı konveyör bantlı kurutucular .....	11
2.1.4. Erik kurutma .....	11
2.1.5. Yarı kurutulmuş sebze ve meyveler .....	12
2.2. Kurutma işlemlerinde kullanılan temel kavramlar .....	13
2.2.1. Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları .....	13
2.2.2. Çiylenme noktası sıcaklığı .....	13
2.2.3. Özgül nem ve bağıl nem .....	13
2.2.4. Psikrometrik tablolar .....	14
2.3. Yaş Ürünün Özellikleri .....	15
2.3.1. Nem içeriği .....	15
2.3.2. Nem içeriğinin belirlenmesi .....	17
2.4. Kurutucunun enerji analizi .....	19
2.4.1. Kurutucunun ısı verimliliği .....	19
2.4.2. Konvektif kurutma işleminde ısı verimlilik .....	20
2.4.3. Özgül nem uzaklaştırma hızı .....	20
2.4.4. Özgül enerji tüketimi .....	20
2.4.5. Buharlaşan su kütlesi miktarı .....	20
2.5. Kurtucunun performans göstergeleri .....	21
2.5.1. Isı Kullanım faktörü .....	21
2.5.2. Performans katsayısı .....	21

2.5.3. Kurutma etkinliği .....	22
2.5.4. Kurutma hızı .....	22
2.6. Güneş kurutma sistemleri .....	23
2.6.1. Güneş kurutucunun özellikleri .....	24
2.6.2. Güneş enerjili kurutucular sınıflandırması .....	25
2.7. Tarımda Kullanılan Kurutucular .....	32
2.7.1. Arka (Geriye doğru) geçişli ve çok geçişli güneş enerjili kurutucular .....	32
2.7.2. Dolap (Kabin) ve kutu tipi kurutucular .....	33
2.7.3. Kurutma odalı kurutucular .....	35
2.7.4. Sera tipi kurutucular .....	36
2.7.5. Polietilen çadır kurutucular .....	38
2.7.6. Tünel tipi kurutucular .....	39
2.7.7. Ev tipi kurutucular .....	40

### **BÖLÜM III**

#### **MATERYAL VE METOT**

3.1. Kurutma Sıcaklığı ve Numuneden Dışarı Atılan Nem Miktarı .....	41
3.1.1. İlk nem içeriğinin tayini .....	41
3.1.2. Etüvde kurutma sonuçlarının analizi .....	42
3.2. Kurutma Modeli .....	43
3.2.1. Tasarım koşulları .....	43
3.2.2. Denge bağılı nemi .....	46
3.2.3. Kurutma İçin Gerekli Hava Miktarı .....	46
3.2.4. Kurutma için gerekli ısı enerjisi .....	50
3.2.5. Kollektör yüzey eğim açısı ve toplam ışıma .....	53
3.2.6. Kolektör (yutucu yüzey) alanının hesabı .....	53
3.2.7. Kolektörün boyutlandırılması .....	55
3.3. Kurutma Süreçleri .....	56
3.3.1. Kurutma süresi .....	56
3.3.2. Özgül nem uzaklaştırma hızı .....	57
3.3.3. Özgül enerji tüketimi .....	57
3.3.4. Isı kullanım faktörü .....	58
3.3.5. Performans katsayısı .....	58
3.3.6. Kurutma etkinliği .....	58
3.3.7. Kurutma hızı .....	58
3.4 Kurutma Sisteminin Yapısı ve Tasarım Prosedürü .....	59

3.5. Sistem Tasarımında Kullanılan Algılayıcılar ve Ekipmanların Tanıtımı .....	67
3.5.1. Ağırlık ölçer .....	67
3.5.2. Kullanılan algılayıcılar .....	68
3.5.3. Nemölçerler .....	68
3.5.4. Kullanılan otomasyon malzemeleri .....	70

## **BÖLÜM IV**

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

4.1. Tasarlanan Sistemin Teknik Spesifikasyonları .....	76
4.2. Kurutma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi .....	78
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>94</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>96</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>105</b>

## KISALTMALAR

<b>A</b>	: Yüzey ve kesit alanı, $m^2$
<b>A<sub>col</sub></b>	: Kolektör yüzey alanı, $m^2$
<b>A<sub>c,taban</sub></b>	: Kabin taban yüzey alanı, $m^2$
<b>A<sub>c,yan</sub></b>	: Kabin yan yüzey alanı, $m^2$
<b>A<sub>v</sub></b>	: Kabin hava geçiş kesit alanı, $m^2$
<b>a<sub>w</sub></b>	: su aktivitesi
<b>b</b>	: Duvar kalınlığı, m
<b>b<sub>c</sub></b>	: Kabin genişliği, m
<b>C<sub>p</sub></b>	: Sabit basınçta özgül ısısı, kJ/kgK
<b>C<sub>p,a</sub></b>	: Sabit basınçta havanın özgül ısısı, kJ/kgK
<b>COP</b>	: Performans katsayısı
<b>DE</b>	: Kurutma etkinliği
<b>dt</b>	: Zaman, h
<b>G</b>	: Güneşten gelen ışınlam yoğunluğu, MJ/ $m^2$ gün
<b>h</b>	: Yüzey ısı taşınım katsayısı, W/ $m^2$ °C
<b>h<sub>c</sub></b>	: Kabindeki hava geçiş yüksekliği, m
<b>H</b>	: Özgül nem, kg <sub>su buharı</sub> /kg <sub>kuru hava</sub>
<b>H<sub>s</sub></b>	: Doyma noktasındaki havanın özgül nemi, kg <sub>su buharı</sub> /kg <sub>kuru hava</sub>
<b>HUF</b>	: Isı kullanım faktörü
<b>I</b>	: Yatay yüzeydeki güneş ışınlamı, W/ $m^2$
<b>I<sub>T</sub></b>	: Gelen güneş radyasyonu, MJ/ $m^2$ /gün
<b>k</b>	: Isı iletim katsayısı, W/ $m^2$ °C
<b>KKS</b>	: Kurutucu konveyör sistemi
<b>L<sub>c</sub></b>	: Kolektör boyu, m
<b>L<sub>vap, w</sub></b>	: Serbest suyun buharlaşma gizli ısısı, kJ/kg
<b>m<sub>a</sub></b>	: Kuru hava kütlesi, kg
<b><math>\dot{m}_a</math></b>	: Kurutma havasının kütleli debisi, kg/s
<b>m<sub>dp</sub></b>	: Kuru ürün kütlesi, kg
<b><math>\dot{m}_{dr}</math></b>	: Kurutma hızı, kg/h
<b>m<sub>i</sub></b>	: İlk kütle, kg
<b>m<sub>f</sub></b>	: Son kütle, kg
<b>MC</b>	: Nem içeriği, % ve kg/kg

$MC_{db,f}$	: Kuru bazda son nem içeriği, %
$MC_e$	: Denge nem içeriği, %
$MC_f$	: Son nem içeriği, %
$MC_i$	: İlk nem içeriği, %
$MC_{wb}$	: Yaş esaslı nem içeriği, % ve $kg_{su}/kg_{materyal}$
$MC_{db}$	: Kuru esaslı nem içeriği, % ve $kg_{su}/kg_{kuru\ materyal}$
$MC_t$	: t zamanındaki nem içeriği, %
$m_{loss}$	: Uzaklaştırılan su kütlesi, kg
$MR$	: Nem oranı
$m_{rw}$	: Buharlaşan su kütlesi, kg
$m_t$	: t zamanındaki ürün kütlesi, kg
$m_w$	: Su buharı kütlesi ve üründeki su kütlesi, kg
$m_{wp}$	: Kurutulacak yaş ürünün kütlesi, kg
$\dot{m}_{wp}$	: Kurutulan materyalin kütleli debisi, kg/s
$m_{ws}$	: Doyma noktasındaki su buharı kütlesi, kg
$p$	: Islak ürün üzerindeki kısmi su buharı basıncı, Pa
$p_a$	: Kısmi hava basıncı, Pa
$p_w$	: Kısmi buhar basıncı, Pa
$p_{ws}$	: Doymunluktaki kısmi buhar basıncı, Pa
$p_o$	: Saf suyun kısmi buhar basıncı, Pa
$p_t$	: Toplam hava ve su buharı basıncı, Pa
$R$	: Isıl direnci, $^{\circ}C/W$
$R_a$	: Havanın gaz sabiti, $kJ/kgK$
$RH$	: Bağlı nem, %
$RH_e$	: Denge bağlı nemi, % ve $kg_{su}/kg_{kuru\ katı}$
$RH_c$	: Kabin bağlı nemi, %
$RH_i$	: Girişteki havanın bağlı nem, %
$RH_o$	: Çıkıştaki havanın bağlı nem, %
$RH_{ort}$	: Ortam bağlı nemi, %
$R_T$	: Radyasyon dönüşüm faktörü
$R_{yan}$	: Yan yüzey sıll dirençleri, $^{\circ}C/W$
$R_{taban}$	: Taban çeperlerinin ısıll dirençleri, $^{\circ}C/W$
$SEC$	: Özgöl enerji tüketimi, $kWh/kg$

<b>SMER</b>	: Özgül nem uzaklaştırma hızı, kg/kWh
<b>t</b>	: Zaman, h ve gün
<b>T<sub>a</sub></b>	: Hava sıcaklığı, °C ve K
<b>T<sub>amb</sub></b>	: Çevre sıcaklığı, K
<b>T<sub>c</sub></b>	: Kabin sıcaklığı, °C
<b>T<sub>db</sub></b>	: Kuru hazne sıcaklığı, °C
<b>T<sub>dp</sub></b>	: Çiylenme noktası sıcaklığı, °C
<b>t<sub>dr</sub></b>	: kurutma zamanı, h
<b>T<sub>i</sub></b>	: Giriş sıcaklığı, °C
<b>T<sub>max</sub></b>	: En fazla sıcaklık, °C
<b>T<sub>o</sub></b>	: Çıkış sıcaklığı, °C
<b>T<sub>ort</sub></b>	: Ortalama sıcaklık, °C
<b>T<sub>wb</sub></b>	: Yaş hazne sıcaklığı, °C
<b>T<sub>yüzey</sub></b>	: Yüzey sıcaklığı, K
<b>T<sub>1</sub></b>	: Kurutucudan atılan hava sıcaklığı, °C
<b>T<sub>2</sub></b>	: Kurutucu sıcaklığı, °C
<b>Q</b>	: Isı enerjisi, J
<b>Q<sub>a</sub></b>	: Havanın duyulur ısı, J
<b>Q<sub>ışınım</sub></b>	: Soğurucudan gelen yeniden ışıınım, J
<b>Q<sub>kayıp</sub></b>	: Kayıp enerji, J
<b>QL</b>	: Buharlaşma için gerekli enerji miktarı, J
<b>Q<sub>pr</sub></b>	: Ürünün ısınma ısı, kJ
<b>Q<sub>R</sub></b>	: Suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarı, kJ
<b>Q<sub>T</sub></b>	: Toplam enerji tüketimi, J
<b>Q<sub>taşınım</sub></b>	: Soğurucudan gelen iletim ve taşınım kaybı, J
<b>Q<sub>trans</sub></b>	: Isı transferi, J
<b>Q<sub>u</sub></b>	: Yaralı ısı, J
<b>Q<sub>vap</sub></b>	: Buharlaşma için gerekli olan enerji, J
<b>Q<sub>vap, w</sub></b>	: Suyun buharlaşması için gereken ısı, J
<b>Q<sub>yarar</sub></b>	: Hava tarafından toplanan yararlı enerji, J
<b>V<sub>a</sub></b>	: Ürünün üzerinden geçirilen havanın hacmi, m <sup>3</sup>
<b>Ḃ<sub>a</sub></b>	: Hacimsel hava debisi, m <sup>3</sup> /s
<b>Ḃ<sub>a, fan</sub></b>	: Fanın hacimsel hava debisi, m <sup>3</sup> /s

$V_{a,t}$  : Toplam hava hacmi,  $m^3$

$W$  : İş, J

### Alt İndis

**a** : Hava

**c** : Kabin

**da** : Kuru hava

**db** : Yaşş bazda ve Kuru hazne

**den** : Denge

**i** : Giriş ve ilk

**f** : Son

**fan** : Fan

**l** : Kayıp

**o** : Çıkış

**t** : Toplam

**ü** : Ürün

**y** : Yaş

**w** : Su ve yaş

**wb** : Yaş bazda ve yaş hazne

**wp** : Yaş ürün

### Greek Semboller

$\beta$  : Kolektör eğim açısı,  $^\circ$

$\Delta$  : Fark

$\Delta T$  : Sıcaklık farkı,  $^\circ C$

$\Delta T_{yan}$  : Yan yüzey sıcaklık farkı,  $^\circ C$

$\Delta T_{taban}$  : Taban çeperlerinin sıcaklık farkı,  $^\circ C$

$\varphi$  : Bağıl nem, %

$\varepsilon$  : Yüzeyin yayma katsayısı

$\sigma$  : Stefan-Boltzman sabit

$\phi$  : Doyma derecesi

$\eta_T$  : Termal verimlilik

$\eta_e$  : Kolektör etkinliği, %

$\rho_a$  : Havanın yoğunluğu,  $kg/m^3$

$\Sigma$  : Toplam

$\tau\alpha$  : Kolektör verimlilik katsayıları

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Bazı ürünlerin kurutma koşulları (Vijayan vd., 2017).....	18
<b>Tablo 3.1.</b> Tasarım koşulları ve kabuller. ....	44
<b>Tablo 3.2.</b> Tasarım parametreleri. ....	59
<b>Tablo 3.3.</b> Ağırlık ölçerin (loadcell) teknik özellikleri. ....	67
<b>Tablo 3.4.</b> Sıcaklık algılayıcıların teknik özellikleri. ....	68
<b>Tablo 3.5.</b> Pronem nemölçerin teknik bilgileri. ....	69
<b>Tablo 3.6.</b> Dixel Nemölçerin teknik özellikleri. ....	70
<b>Tablo 3.7.</b> Dokunmatik panelin teknik özellikleri. ....	71
<b>Tablo 3.8.</b> PLC cihazının teknik özellikleri. ....	72
<b>Tablo 3.9.</b> Analog giriş modülünün teknik özellikleri. ....	73
<b>Tablo 3.10.</b> Tartım indikatörü özellikleri. ....	74
<b>Tablo 3.11.</b> Kontrol cihazının teknik özellikleri. ....	75

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 2.1.</b> Islak bazda ve kuru bazda nem içeriğinin değişimi (Ekechukwu, 1999).....	16
<b>Şekil 2.2.</b> Güneş enerjisi ile kurutma sistemlerinin sınıflandırılması (Banout, 2017)....	26
<b>Şekil 2.3.</b> Doğal konveksiyonlu güneş kurutucu (Banou, 2017).....	27
<b>Şekil 2.4.</b> Sera tipi doğal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucusu (Ekechukwu ve Norton, 1999). .....	27
<b>Şekil 2.5.</b> Cebri konveksiyonlu güneş kurutucu (Banout vd., 2012).....	28
<b>Şekil 2.6.</b> Hibrit güneş kurutucunun tipik yapısı (Fudholi vd. 2010).....	30
<b>Şekil 2.7.</b> a) Doğrudan, b) dolaylı ve c) karma güneş kurutucularının çalışma prensibi (Çizim: J. Banout). .....	31
<b>Şekil 2.8.</b> Tipik bir doğal konveksiyonlu kabin kurutucu tasarımı (Ekechukwu ve Norton 1999). .....	33
<b>Şekil 2.9.</b> Kutu tipi güneş kurutucunun şematik çizimi. (1) Kurutma odası. (2) Yeterli hava akışını sağlamak için baca. (3) Şeffaf erişim kapağı. (4) Plastik ağ tepsiler. (5) Hava girişi (Banout vd., 2008).....	34
<b>Şekil 2.10.</b> Rüzgarla havalandırılan bölmeli güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton 1999). .....	35
<b>Şekil 2.11.</b> PVC folyo toplayıcı ve şeffaf hazneli Brezilya muz kurutucusu (Weiss ve Buchinger, 2005).....	36
<b>Şekil 2.12.</b> Doğal sirkülasyonlu sera kurutucusu (Ekechukwu ve Norton 1999).....	37
<b>Şekil 2.13.</b> Kamboçya'daki Kraliyet Tarım Üniversitesi'ne kurulan güneş enerjisi sera kurutucusu (Fotoğraf: J. Banout). .....	37
<b>Şekil 2.14.</b> Polietilen çadır pasif güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton, 1999).....	38
<b>Şekil 2.15.</b> Tünel tipi kurutucu: (1) hava girişi, (2) fan, (3) güneş modülü, (4) güneş kolektörü, (5) yan metal çerçeve, (6) kolektör çıkışı, (7) ahşap destek , (8) plastik ağ, (9) plastik kapağı desteklemek için çatı yapısı, (10) tünel kurutucuyu desteklemek için taban yapısı, (11) haddeleme çubuğu, (12) kurutma tüneli çıkışı (Bala vd., 2003). .....	39
<b>Şekil 2.16.</b> Çatı kollektörlü aktif güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton 1999). .....	40
<b>Şekil 3.1.</b> (a) Etüv cihazında kurutulan numunelerin ilk hali, (b) Etüv cihazında kurutulan numunelerin son hali. ....	42
<b>Şekil 3.2.</b> Adana ili 2004-2018 yılları arasında radyasyon değerleri .....	45

Şekil 3.3. Adana ili 2019 yılı Eylül ayı günlük bağıl nem ortalamaları. ....	45
Şekil 3.4. Adana ili 2019 yılı Eylül ayı günlük kuru termometre hava sıcaklıkları .....	46
Şekil 3.5. Kurutma sisteminin kütle ve enerji giriş ve çıkışlarını gösteren şematik şekli. ....	50
Şekil 3.6. Çekirdekli meyvelerin kıyaslamalı özgül ısıları. ....	54
Şekil 3.7. Kurutma numunesi olan erik ve sahip olduğu çap değeri. ....	60
Şekil 3.8. Kurutma kabininin (a) perspektif (b) önden görünümü ( $m_i$ , $a$ : giren havanın kütlesel debisi, $m_o$ , $a$ : çıkan havanın kütlesel debisi). ....	60
Şekil 3.9. Kurutma sisteminin kabinine ait perspektif resmi. ....	61
Şekil 3.10. İmalatı yapılan kurutma sisteminin perspektif resmi. ....	61
Şekil 3.11. Kurutma kabininin üstten görünüşü. (A ve B: kabin içi sıcaklık algılayıcıları, C: kabin içi nem algılayıcı, E: emiş fanı ve D: hava deliği)..	62
Şekil 3.12. Tartım platformu ve ağırlık ölçerin montaj edilmiş görünümü. ....	63
Şekil 3.13. Kurutma sisteminin arkasında nemölçer ve emiş fanı ile birlikte arkadan görünüşü. ....	63
Şekil 3.14. Kurutma sisteminin genel görünümü. ....	64
Şekil 3.15. Operatör panelinin sensör değerleri sayfasının görünümü. ....	65
Şekil 3.16. Kurutma sisteminin izlenmesi ve kontrol edilmesi için test sayfasının görünümü. ....	66
Şekil 3.17. Kurulacak olan erik numunelerinin kabin içinde yerleşim şekli. ....	66
Şekil 3.18. Numunelerin kurutma işlemi sonundaki görünümü. ....	67
Şekil 3.19. Sıcaklık algılayıcısı. ....	68
Şekil 3.20. Pronem Nemölçer. ....	69
Şekil 3.21. Dixel nemölçer. ....	70
Şekil 3.22. Operatör dokunmatik paneli. ....	71
Şekil 3.23. PLC cihazı. ....	72
Şekil 3.24. Analog giriş modülü. ....	73
Şekil 3.25. Tartım indikatörü. ....	74
Şekil 3.26. Kontrol cihazı. ....	75
Şekil 4.1. Yaş erik numunelerinin kabin içine yerleştirilmesi. ....	78
Şekil 4.2. Kurutulmuş numunelerin kabin içerisindeki görünümü. ....	79
Şekil 4.3. Deney günlerine ait güneş radyasyonu, ortam ve kabin sıcaklık değerleri (a)22 Eylül, (b) 23 Eylül, (c) 24 Eylül, (d) 25 Eylül, (e) 26 Eylül, (f) 27 Eylül ve (g) 28 Eylül. ....	81

<b>Şekil 4.4.</b> Bulutlanma ile güneş radyasyonu arasındaki etkileşim. (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. Gün.....	82
<b>Şekil 4.5.</b> Kabin giriş, çıkış, zaman ve radyasyon arasındaki bağıntılar. (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. Gün.....	84
<b>Şekil 4.6. (a) ve (b).</b> Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları. (a) 1. gün (b) 2. gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).....	85
<b>Şekil 4.6. (c) ve (d).</b> Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları c) 3. gün (b) 4. Gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).....	86
<b>Şekil 4.6. (e) ve (f).</b> Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları (c) 5. gün (b) 6. Gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).....	87
<b>Şekil 4.6. (e) ve (f).</b> Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları (c) 5. gün (b) 6. Gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).....	88
<b>Şekil 4.6. (g).</b> Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları (g) 7. gün (Not: A sayıları kabin girişi ve B sayıları kabin çıkışıdır.).....	89
<b>Şekil 4.7.</b> Yedi günlük kurutma periyotlarının MR değerleri.....	89
<b>Şekil 4.8.</b> Yedi günlük kurutma periyotlarının ayrı ayrı MR değerleri (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. gün.....	91

## 1. GİRİŞ

Kurutma, hasat sonrası kayıpları azaltma ve arzadaki azlıktan dolayı oluşacak kayıpları telafi etmek için oldukça etkili ve pratik bir koruma yöntemi sunmaktadır. Kurutma, istenen nem içeriğine ulaşmak için bir üründen basit bir nem alma işlemidir ve yüksek enerji yoğunluğu gerektiren bir işlemdir. Depolama ve raf ömrünün uzatılmasının yanı sıra kurutmanın birincil amacı, aynı zamanda kalitenin iyileştirilmesi, kullanım kolaylığı, ileri işleme ve sanitasyon olabilmektedir. Kurutma muhtemelen insanlık tarafından uygulanan en eski gıda muhafaza yöntemidir ve tarımsal ürünlerin korunması için önemli bir işlemdir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki temel amaç, nem içeriğinin, uzun süre güvenli depolamaya olanak tanıyan bir düzeye indirilmesidir (Doymaz, 2004; Mujumdar, 2007). Kurutulmuş ürünün diğer avantajları, en aza indirgenmiş ambalaj gereksinimleri ve daha düşük ağırlığın bir sonucu olarak daha düşük nakliye maliyetleridir (Sabarez vd., 1997). Meyvelerin kurutulmasıyla gıda kaliteleri artırılabilir; reçel-jöle, marmelat, atıştırmalık kuru meyve, meyveli keke, hazır içecekler, renklendirici ve jel oluşturan özler gibi endüstriyel gıdaların üretiminde katkı maddesi olarak bilinen ara ürünlerin yapımında kullanılabilir. Aynı zamanda taze ürüne kıyasla kurutulmuş ürünün birim ağırlığı başına karbonhidrat, vitamin, lif, mineral ve yağ miktarı artmaktadır (Hong vd., 2016).

Kurutma işlemi iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama, kuruyan materyalin yüzeyinde sabit kuruma hızında gerçekleşir ve suyun difüzyon yoluyla ortama buharlaşması şeklinde gerçekleşmektedir. İkinci aşama azalan (düşen) kuruma oranı ile gerçekleşmektedir. İkinci aşamanın durumu kurutulan malzemenin özelliklerine göre belirlenmektedir (Can, 2000).

Kurutmada güneş enerjisinin kullanımıyla ilgili dikkat edilmesi gereken bazı hususları içeren çalışmalar da bulunmaktadır. Kurutma sadece güneş enerjisiyle yapılırsa, hava durumuna bağlı bir yöntem olduğu için uzun kurutma süresine ve düşük gıda kalitesine sebebiyet vermektedir (Bezyna ve Kutovoy, 2005). Ayrıca, güneşte kurutma ucuz ve pratik bir yöntem olmakla birlikte, güneşte kurutma gibi ısı kurutma teknikleri dikkatli kullanılmazsa belli sıcaklık üzerinde kurutmadan dolayı gıda kalitesi

ve güvenliği üzerinde olumsuz etkiler meydana gelmektedir (Figiel ve Michalska, 2016).

Önerilen kurutma sistemi meyve ve sebze kurutma üzerine tasarlanmış ve ilk örnek imalatı yapılmıştır. Bu çalışmada, sistemin performansını test etmek için ülkemizde yetiştirilen Mürdüm erik meyvesinin kurutması yapıp veriler üzerinde performans analizi ve değerlendirmeler yapılacaktır. Erik zengin bir karbonhidrat (glikoz, fruktoz, sukroz) kaynağıdır ve ayrıca içeriğinde lifler, tanenler, enzimler, mineraller ve vitaminler, potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyum barındırmaktadır (Ertekin, 2006). Bazı meyve ve bitki türlerinin kurutulması için yapılan bazı çalışmalar incelenmiştir. Dünyada Erik meyvesi üretiminde başlıca ülkeler sırasıyla şunlardır: Çin, Romanya, Sırbistan, ABD, Türkiye, Şili, İran, Hindistan, İspanya, Fransa, İtalya ve Ukrayna'dır (atlasbig, 2020).

Güneş enerjisi ile kurutma, etüvde yapılan düzeyde kurutma yapmak mümkün olmayabilir. Elde edilen kurutma oranı (su aktiviteleri) uzun raf ömrüne elverişli olmayabilmektedir. Kurutma esnasında kurutma işlemine son verilerek yarı kurutulmuş ürünler elde etmek mümkündür. Uysal Seçkin ve Taşeri (2015) yaptıkları çalışmada, yarı kurutulmuş meyve ve sebzeler konusunu incelemiştir. Su aktivitesinin azaltılmasıyla pH değerinin düşürülmesi, hafif ısıtma ve koruyucu kullanımıyla gıdanın orijinal değerlerinin çok az değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu ürünlerin yaş ürün ile tat ve dokuda az farkın olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmadan anlaşılacağı üzere yarı kurtulmuş meyvelerin raf ömrü daha kısa olmasına rağmen yemeye hazır gıda olarak kullanılan yarı kurutulmuş meyveler günlük kullanımda tercih edilmektedir.

Güngör (2013), yaptığı çalışmada, bantlı kurutucularda gıda maddesi sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutucu içinde hareket ettirmiş ve bu esnada bant üzerinden sıcak kurutma havası üfletmiştir.

Bu çalışmada, önerilen sistem, kurutucu konveyör sistemi (KKS) tasarımı ve imalatıdır. KKS, doğrudan (pasif) güneş enerjili kabin tipi kurutma sistemidir. Zorlanmış havalı sistemler, doğal hava dolaşımına göre daha iyi kurutma yapılabildiği için KKS'nin kurutma kabin kısmına bir aksiyal fan yerleştirilmiştir. Kurutma kabinin üzeri cam kaplanmış ve kabin yalıtımlı olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ayrıca kabin içerisine yerleştirilen konveyör band sayesinde, kurutulacak

ürünlerin tahliyesi ve yerleştirilmesi daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Sistemde kullanılan PLC kurutma sisteminin otomatik olarak denetlenmesi amacı ile kullanılmıştır. PLC konveyör sisteminin konum bilgisini algılamakta istenilen konumda konveyör bandın hareketini sağlamaktadır. PLC aynı zamanda sistem üzerinde kullanılan tüm sensör bilgilerinin kayıt edilmesi ve izlenmesi amacı ile kullanılmıştır. Bunlara ek olarak ürünün sürekli kütle ölçümünün yapılabilmesi için ana kaidesine bir kütle ölçer yerleştirilmiştir. Bu kütle ölçer sayesinde ürünün ilk kütlesi, kurutma işlemi esnasında belli aralıklarla kütle takibinin yapılmasına izin vermektedir. Yeterince kurutma yapıp yapılmadığını anlamamıza yardımcı olan bu özellik kurutma işlemleri için çok önemlidir. Sistemde kullanılan sensörler, kütle ölçer değerlerinin izlenip kayıt edilmesi ve konveyör bandın kontrol edilmesi için PLC kullanılmıştır. PLC endüstriyel bir denetim cihazı olduğundan sistemdeki tüm verilerin anlık olarak izlenmesi, sensör verilerinin belirli aralıklarla kayıt altına alınması, konveyör bandın yükleme ve boşaltma işleminin otomatik olarak gerçekleştirilmesi amacı ile kullanılmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışma tünel tipi bir kurutucunun da bir ön çalışması olarak öngörülmüştür.

Daha sonraki çalışmada, kurutma kapasitesi artıracak; yansıtıcı aynalar, hava ısıtmalı kolektörler, güneşin olmadığı saatlerde faz değiştirerek ısı depolayabilen malzemeli sistemler ve diğer temiz ısı kaynaklı sistemler yardımıyla kurutmaya 24 saat boyunca devam ettirilmesi planlanmaktadır. Otomasyonlu taşıyıcı konveyör bant sistemi kurutma tünelleri ile uyumludur. Ayrıca önerdiğimiz bu sistem, kurutma sisteminin elektrikli almaçların çalıştırılması amacıyla gerekli enerjiyi fotovoltaik paneller tarafından sağlanabilecek ve enerji tasarrufu sağlayan çevre dostu melez sistemlere imkân vermektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. Yapılan Çalışmalar

#### 2.1.1. Güneş enerjili kurutma

Akdeniz (2011), yaptığı çalışmada, sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinin geleneksel metotlar ile güneşte kurutulması hakkında bazı teknik bilgiler verdiği derlemesinde, kurutulacak üzümlerin hasat zamanının doğru olarak seçilmesi, yani hasat olgunluğu, kurutma dönemindeki meteorolojik koşullar, bandırma işlemi, serme, kaldırma proseslerin doğru bir şekilde uygulanması ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacağını bu sayede biyoyararlılığı yüksek, sağlıklı gıda tüketimi konusunda bilincin yaygınlaşması ile de bu ürünler sofralarımızda daha fazla yer bulacağını ortaya koymuştur.

Along ve Omoniwa (2012) yaptıkları çalışmada yerel olarak mevcut malzemeler kullanılarak bir doğrudan pasif kabin tipi güneş kurutucu tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Kurutucunun kabin eğim açısı kolayca değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kurutucu, diğer deneylerle mukayese etmek için yüksüz durumda test edilmiştir.

Alonge ve Hammed (2007) yaptığı çalışmada, doğrudan pasif bir güneş kurutucu, mevcut yerel malzemeler kullanılarak tasarlamışlar, imal etmiş ve test etmiştir. İmal ettikleri kolektörün eğim açısı konuma ve mevsime göre değişebilecek şekilde tasarlanmıştır. Havanın hacimsel debisi, rüzgâr hızı, dehidre edilen su kütlesi, gün ışığı saati, eğim açısı ve kurutma süresi gibi belli teorik ve tasarım konuları dikkate alınmıştır.

Bingöl (2010), yaptığı çalışmada, kurutma teknolojilerinin temel işleyiş mekanizmasından bahsettiği çalışmada, kurutma teknolojisinin yanı sıra gerekli durumlarda doğru seçilmiş ön işleme yöntemlerinin de son ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmiştir. İyi kalitede son ürün elde edebilmek ve enerjiyi mümkün olduğu kadar etkin bir şekilde kullanabilmek için hammadde ve son ürünün piyasa değerine uygun olarak seçilmiş olan ön işleme ve kurutma yönteminin, parametreleri de dikkatli bir şekilde seçilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Ceylan vd. (2006), yaptıkları çalışmada, güneş enerjili havalı kolektörlü bir kurutma fırınında elma kurutulmasının deneysel olarak incelediği çalışmasında imal edilen güneş enerjili kurutucu; havalı kolektör, hava kanalları, fan, ayar damperi ve kurutma fırınından oluşmaktadır. Enerji kaynağı olarak havalı güneş kolektöründen aldığı ısıyı kullanmaktadır. Kurutma fırını içerisindeki elmaların nemi havalı güneş kolektöründen aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır

Ekechukwu ve Norton (1999), yaptıkları çalışmada, güneş enerjisiyle çalışan kurutucuları genel olarak ısıtma biçimleri ve güneş enerjisinden faydalanma şekillerine göre pasif ve aktif olarak iki ana sınıfa ayırdıkları çalışmalarında, tipik bir aktif güneş enerjili kurutma sistemi, ısı kaynağı olarak yalnızca güneş enerjisi ve kuruma havasının sirkülasyonu için fanlar ve/veya pompalar kullanmışlardır.

Erbay ve Küçüköner (2008), yaptıkları çalışmada, sıcaklık uygulamaları ve geleneksel açık havada kurutma yöntemi ile büyük oranda zarar gören vitaminler, mineral maddeler gibi bileşenlerin; solar kurutucular, hava üfleli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalgalı kurutucular, dondurarak kurutma yapan sistemler gibi farklı kurutma sistemleri kullanılarak bunların muhafazasının sağlanabildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca bu sistemlerin birlikte kullanımları tercih edilen yöntemler arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak kurutma teknolojisinde, uygun metodun doğru bir şekilde belirlenmesi için ürünün fiziksel ve kimyasal kompozisyonu, rehidrasyon yeteneği ile başlangıç ve son nem değerlerinin çok iyi bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Esper ve Mühlbauer, (1998), yaptıkları çalışmada, aktif güneş kurutma sistemlerinde hava ürün boyunca geçerken yüksek dirençle karşılaşmaktadır. Oluşan bu direncin giderilmesi için birkaç tane tepsinin hava akımını engellemeksizin yerleştirilebilmişlerdir.

Güneş enerjisi ile kurutma yöntemleri, nemi gidermek için kullanılan enerjinin ürüne aktarıldığı mekanizmaya göre genellikle dört kategoriye ayrılmaktadır (Furlan vd., 1983):

(1) Doğrudan güneş radyasyonlu veya doğal kurutucular: Kurutulacak malzeme, kurutmayı sağlamak için doğrudan güneş radyasyonu, ortam hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi düşman iklim koşulları altına yerleştirilmektedir. (2) Direkt güneş

radasyonlu kurutucular: Bu kurutucularda kurutulacak malzeme şeffaf kapaklı veya yan panellerle kapalı bir muhafaza içerisine yerleştirilmektedir. Isı, ürünün kendisinde ve kurutma odasının iç yüzeylerinde güneş ışınlarının emilmesi ile üretilmektedir. Bu ısı, kurutucu ürünündeki nemi buharlaştırmakta ve kurutucu havanın doğal sirkülasyonunu desteklemektedir. (3) Dolaylı güneş radyasyonlu kurutucular: Bu kurutucularda, hava önce güneş enerjili hava ısıtıcısında ısıtılmakta ve ardından kurutma odasına yönlendirilmektedir. (4) Karışık tip güneş kurutucular: Güneş radyasyonu olayının doğrudan kurutulacak malzeme ile güneş hava ısıtıcısında önceden ısıtılmış havanın birleşik etkisi, kurutma işlemi için gerekli enerjiyi sağlamaktadır.

Hussein vd., (2017) yaptıkları çalışmada, hibrit bir fotovoltaik güneş kurutucu tasarlamış, imal etmiş ve test etmişlerdir. Melez kurutma yöntemi kullanılarak domates dilimlerinin güneşte ve açık güneşte kurutmaya göre ince tabaka kurutma davranışı incelenmişlerdir. Kurutucu; güneş kolektörü, fotovoltaik güneş paneli, pil ve kurutma odasından meydana gelmektedir. Kurutucu, hem bir güneş enerjili kurutucu hem de bir hibrit güneş kurutucu olarak çalıştırılmıştır. Kurutucunun kurutma performansı taze domates dilimiyle değerlendirilmiştir ve aynı iklim koşullarında açık güneşte kurutma ile karşılaştırılmıştır.

İsaeva (2007), yaptığı çalışmada, Türkiye’de genelde kayısı açık havada serilerek güneş ile direk temasta kurutulduğunu, bu tür doğal kurutma yönteminin bir takım eksikleri ve zararları olduğunu belirterek kayısının hava ile konveksiyon kurutması deneysel olarak incelemiştir. Deneysel kayısı çeşitli sıcaklık ve hızlarda kurutma yapmıştır. Kayıslar kapalı hijyenik ortamda hava ile konveksiyonlu kurutmaya tabi tutulmuş kurutma daha kısa sürelerde gerçekleştirmeye çalışmıştır. Kurutma ortamı olarak kullanılan hava kurutma kanalı girişine yerleştirmiş olan değişken debili fan tarafından sağlanmıştır. Hava kanalı içerisinde yer alan kademeli elektrikli ısıtıcılar yardımıyla, hava istenilen sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Kurutma hava sıcaklığı ve hava hızı arttıkça kuruma hızı artarak, kurutma süresi düşmekte olduğunu tespit etmiştir.

Kamer vd. (2016), yaptıkları çalışmada, konvektif kurutucu üzerinde bulunan PLC ekranında, test bölgesi içindeki istenilen hız ve sıcaklık değerleri girmekte ve kurutma süresi boyunca bu değerler sabit tutarak deney yapmışlardır. Beş farklı bölgeye yerleştirilen hız, sıcaklık ve bağıl nem algılayıcıları ile kurutma işlemini takip

edebilmekte, değerler istenen periyotlarda bilgisayara doğrudan kaydedilebilmekte ve PLC ekranından da görülebilmektedir.

Kumar vd. (2014) yaptığı çalışmada, doğal konveksiyonlu ve zorlamalı konveksiyonlu kurutucular, doğrudan ve dolaylı tip kurutucular, entegre kurutucular, sera kurutucular, dolap kurutucular, tünel kurutucular, karma modlu kurutucular gibi güneş enerjili kurutucular, tasarımları, geliştirmeleri ve performansları açısından gözden geçirmişlerdir. Güneş ışığı olmayan saatlerde mahsullerin kurutulmasını kolaylaştıran ısı transfer modellerine, kurutma karakteristiğine sahip güneş kurutma teknolojilerine özel önem verildiğini tespit etmişlerdir. Dünyada tartışılan güneş kurutma sistemi teknolojileri; tahıl kurutucular, üzüm kurutucular, soğan kurutucular, patates kurutucular ve bunun gibi belirli bir mahsul için özel olarak tasarlanmış güneş kurutucular, tasarımları, performans değerlendirmeleri ve sistem simülasyonlarının sonuçları ile gözden geçirmişlerdir.

Nwakuba vd., (2017) yaptıkları çalışmada, sebze atıklarını azaltmak ve depolama koşullarını iyileştirmek için havalı kolektör güneşle kurutma ve fotovotaik enerji destekli ısıtıcılı kurutma özellikler olan bir melez kabin kurutucu tasarlanmış ve geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri kurutma sistemi; kurutma odası, ısıtma nitesi ve kontrol nitesi olmak üzere üç ana üniteden oluşmaktadır. Kurutucu, günde 25 kg taze dilimlenmiş sebze kurutma kapasitesine sahiptir. Kurutucunun ısıl performansını değerlendirmek için, kurutucuyu beş farklı hava hızında ( $0,1 \text{ ms}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ,  $1,0 \text{ ms}^{-1}$ ,  $1,5 \text{ ms}^{-1}$  ve  $2,0 \text{ ms}^{-1}$ ) testler yapılmıştır. Seçilen dilimlenmiş sebze mahsulleri (bamyas, domates ve biber) için önceden ayarlanmış optimum kurutma sıcaklıklarında ( $50^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$  ve  $70^\circ\text{C}$ ) kurutulmuştur.

Prakash ve Kumar (2013) yaptıkları çalışmada güneş kurutucularının tarihsel gelişimini incelemiş ve gözden geçirmişlerdir. Yaptıkları araştırmaya göre tarımsal alanda sebze, meyve ve diğer mahsulleri korumak için güneş enerjisi ile kurutma teknolojisinin uygulanmasının pratik, ekonomik ve evre dostu olduğu kanıtlanmıştır. Yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi kurutma sistemlerinin pratik olarak gerçekleştirilmiş birçok tasarımının çeşitli tasarımlarının, yapım detaylarının ve çalışma ilkelerinin kapsamlı bir incelemesi sunulmaktadır. Güneşle kurutma sistemi, birçok ülkede mahsulleri yaygın olarak kurutmak için kullanılmaktadır. Güneşle kurutma, ürün kalitesini artırmata, israfı en aza indirmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarını

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, güneş enerjisi ile kurutma sistemlerine en çok ihtiyaç duyulan ülkelerin çoğunda uygun bilgilerin mevcudiyeti eksik olduğunu tespit etmişleridir. Bu tür sistemler çeşitli boyutlarda ve tasarımlarda mevcuttur ve çeşitli yiyecekleri ve tarım ürünlerini kurutmak için kullanılmaktadır.

Onat vd. (2003), yaptıkları çalışmada, güneş enerjili biber kurutucusu ile kırmızıbiberi kurutmak amacıyla kurutma süresini azaltmak ve sürekliliğini sağlamak için otomasyona yönelik kontrol sistemi geliştirilip uygulanmışlardır. Sistemde birer adet basma ve emme fanı kullanmışlardır. Kolektör içerisindeki sıcaklık kontrolünü PC bağlantılı PLC ile sağlamışlardır. Bilgisayarda yazılan program ile farklı ürünlerin kurutulması, girilen farklı sıcaklıktaki kurutma değerlerine göre ısıtıcı ve soğutucu kontrolü ile sağlamışlardır.

Pala (2018), yaptığı çalışmada, çekirdeksiz üzümler güneş enerjisi destekli konvektif kurutma kabinlerinde ve doğal güneşe sererek kurutmuştur.

Ratti (2001), yaptığı çalışmada, geleneksel sıcak havayla kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerini karşılaştırmış ve çekme, cam geçiş sıcaklığı, işlem-kalite etkileşimi, kurutma kinetiği, maliyetler ve yeni gelişmeler gibi birkaç önemli özellikleri belirlemiştir.

Schiavone (2011) yaptığı çalışmada, Haiti'nin kırsal topluluklarında kurutulmuş mango dilimleri üretebilen doğal konveksiyonlu bir güneş kurutucu tasarlanmış ve kurutma sisteminin performansını değerlendirmiştir. Mango meyvesi dilimlerini muhafaza edebilen yeterli ve etkili bir sistem geliştirmek için hem mango meyvesi hem de kurutma sisteminin matematiksel tasarımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu yeni geliştirilen kurutucunun tasarımı, yapımı ve işletimi, mangoların fiziksel özellikleri, Haiti çevre koşulları ve küçük Haiti köylerinin yerel üretim yetenekleri dâhil olmak üzere çeşitli faktörlere dayalı olarak açıklamıştır. Kurutma sonucunda elde ettiği veriler ışığında, mango dilimlerinin iki tam gün güneş ışığına maruz bırakılmasıyla yeterli bir şekilde kurutulabildiği anlaşılmıştır.

Turan (2017), çalışmasında, örnekleri beton harman, çimen harman ve kurutma makinesinde kurutmuş, 18 ay depolamış (20-24°C sıcaklık ve % 70-90 nem) ve meyve özelliklerindeki değişim incelemiştir. Depolama süresince meyve ağırlığı, iç ağırlığı, protein oranı ve yağ oranında nem değerine bağlı değişim kaydetmiştir. Depolamanın

başından itibaren hiçbir ortam ve çeşitte aflatoksin B1 tespit etmemiştir. Ancak toplam aflatoksin depolamanın başında sadece tombul çeşidinin çimen harmanında 0.23 ng/g olarak tespit etmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda kurutma makinesi ortamının meyve kalitesi ve muhafazasında en etkili yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Yıldız ve Ertekin (2001), yaptıkları çalışmada, güneş enerjili hava ısıtıcısı ve kurutma kabininden oluşan güneş kabinli kurutucu kullanmışlardır. Taze malzemeler olan kabak, yeşilbiber, biber dolması, yeşil fasulye ve soğan, ince katlar halinde doğal güneşte kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Kuruma süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için kurutma işlemine üç farklı kurutma hava hızı uygulanmışlardır. Kurutucu hava sıcaklığını yaklaşık 46°C'ye kadar artabileceği belirlenmişlerdir. Kurutma havası hızının, kurutma işlemi üzerinde önemli bir etkisi olmuş, kurutma süresi farklı sebzeler için güneşte kurutma ile 30,29 ile 90,43 saat arasında değiştiğini ve bu kuruma süresinin doğal güneşte kurutma için 48,59 ile 121,81 saat arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

Yıldız ve Gökayaz (2019a) yaptıkları çalışmada, elma çok raflı güneş enerjili kurutucu ile kurutmuşlar ve kurutma koşullarını Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize etmişlerdir. Yanıt Yüzey Yönteminde kullanılan kurutma parametreleri, kurutma süresi, dilim kalınlığı ve tepsiye yüklenen dilimlerin kütlesi olarak seçmişlerdir.

Yıldız ve Gökayaz (2019b) yaptıkları çalışmada, elma çok raflı güneş enerjili kurutucu ile kurutmuşlar ve kurutma koşullarını Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize etmişlerdir. Yanıt Yüzey Yönteminde kullanılan kurutma parametreleri, kurutma süresi, dilim kalınlığı ve tepsiye yüklenen dilimlerin kütlesi olarak seçmişlerdir. Üç faktörlü merkezi kompozit dizayn ile kurutma süresi 58,6-361 dakika, tepsideki dilimlerin kütlesi 32.7-167 g ve elma dilim kalınlığı 3,98-9,02 mm aralığında uygulamışlardır. En fazla nem kaybı ve büzülme oranı minimum kuruma hızı için kurutma süresi 159-274 dakika, tepsiye yüklenen elma dilimlerinin kütlesi 92,86-105,72 g ve elma dilim kalınlığı 6.48-6.667 mm olarak bulmuşlardır.

Yıldız ve Gökayaz (2020a) yaptıkları çalışmada, nem içeriği ve kurutma sıcaklığı yüksek olan elma dilimlerini doğal konveksiyonlu çok raflı kurutma sisteminde doğrudan güneş enerjisinde ve gölgede kurutmuşlardır.

Yıldız ve Gökayaz (2020b) yaptıkları çalışmada, 4 ve 10 mm kalınlığında elmaları dilimleyerek raflı konvektif güneş enerjili kurutucu kurutmuşlar ve serbest nem oranının elma dilimlerinin kuruma kinetiğine olan etkisini incelemişlerdir.

### 2.1.2. Tasarım, imalat ve performans testi

Alange ve Omoniwa (2012) yaptıkları çalışmada yerel olarak mevcut malzemeler kullanılarak bir doğrudan pasif kabin tipi güneş kurutucu tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Kurutucunun kabin eğim açısı kolayca değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kurutucu, diğer deneylerle mukayese etmek için yüksüz durumda test edilmiştir. Değişik günlerde optimum açıyı hesaplamak için eğim açısı ayarlanmış ve toplam üç günlük süre için maksimum 54°C sıcaklık elde edilmiştir. Eşit sürelerde kurutucu dışında en fazla 34 °C ortalama sıcaklığı elde edilmiştir. Numune olarak manyok yongaları optimum bir eğim açısında kurutularak yük testi yapılmıştır. Kurutucu içindeki yüzde nem kaybının sonuçları, kurutucu dışındaki nem kaybı yüzdesi ile karşılaştırılmış ve kurutucu içindeki nem kaybı yüzdesi daha yüksek bulunmuştur.

Ohanwe vd., (2015) yaptıkları çalışmalarında, börülce (*Vigna unguiculata*) ve depolama zararlılarının kontrolü için dolaylı aktif bir güneş kurutucu tasarlamış, inşa etmiş ve test etmiştir. Geliştirilen kurutucuda pasif kurutma havası ile kurutma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar üç teknik değerlendirme ölçütü için ortalama değerler; kolektör verimi, sistem kurutma verimi ve depolama verimi sırasıyla %25,1, %21 ve %21 şeklindedir. Güneş yutucu (emici) plakalar için ısıl verimliliği maksimum %90,8 ve minimum %26,4 şeklindedir. Termal enerji depolama için granit yonga kullanmışlardır. Dış ortam havasından bağımsız olarak granit yongalar üzerinden dolaştırılan 55-58°C sıcaklık aralığında sabitleştirilmiş pasif hava ile gece kurutma işleminde %14 oranında dehidrasyon gerçekleştirmişlerdir.

Özdemir ve Yatarkalkmaz (2018), yaptığı çalışmada, kayısı kurutmak için düz ve hapsedici yüzeyli emici plakalara sahip kurutma sistemleri tasarımı yaparak imalatını yapmışlar ve kurutma sistemlerinin performansını inceledikleri çalışmalarında kurutma işlemi, 2,5 m/s, 3,0 m/s ve 3,5 m/s kurutma havası hızlarında gerçekleştirmişlerdir.

Tosun vd. (2009) yaptıkları çalışma kapsamında, enerji kaynağı olarak sadece güneşin kullanıldığı bir gıda kurutma sistemi tasarlamış ve imal etmişlerdir. Diğer bir

deyişle güneş fırını adı verilen geliştirilen bu kurutma sisteminin iç sıcaklığı belli derecelerde tutularak mevsimine göre incir, üzüm, domates, patlıcan, biber, kabak, salça gibi sebze ve meyveler fiziksel kalite ve özellikleri bozulmadan güneş enerjisi ile çevreye zarar vermeden kurutulabilmektedir. Sistemin performansını teste etmek için bu çalışmada ilk olarak salça kurutma denemesi yapılmıştır. Sistem Diyarbakır ilinde performans testine tabi tutulmuştur. Geliştirilen ve imal edilen bu sistemin çok amaçlı kurutma işleminde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

### **2.1.3. Taşıyıcı konveyör bantlı kurutucular**

Güngör (2013), yaptığı çalışmada, bantlı kurutucularda gıda maddesi sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutucu içinde hareket ettirmiş ve bu esnada arasından sıcak kurutma havası üfletmiştir. Bu tip kurutucuların çok yönlü ve aynı zamanda hem ısıya duyarlı hem de kırılğan olan büyük miktardaki gelişigüzel şekilli yükleri taşıyabildiğini belirtmiştir. Çok büyük ticari bant tipi kurutucuların tasarımında, bant üzerindeki ürünün düzgün bir şekilde dağılması ve ayrıca kurutucunun bulunduğu kurutma odasında ürünün dengeli bir neme sahip olması için havanın da eşit bir şekilde dağılması çok önemli olduğunu açıklamıştır.

### **2.1.4. Erik kurutma**

Çevik ve Bilişli (2002) yaptıkları çalışmada Baneasa, Tuleu Timpuriu, Grand Prize, Krikon Damson. Sugar, Giant, Prune ve Prune d'Ente erik çeşitlerinin kurutmaya elverişlilik durumları araştırmışlardır. Çalışmalarında numune erikleri suni kabin kurutucuda kurutmuşlardır. Erik numunelerini taze ve kurutulmuş olarak ele almışlardır ve kuru madde, suda çözünen madde, toplam şeker, sakkaroz, invert şeker, toplam asitlik, pH, C vitamini miktarları ile renk değerlerini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre dilim halinde kurtulan erik çeşitlerinden Taleu Timpuriu ve Prune çeşitlerini, çekirdekli bütün olarak kurutulan Krikon Damson ve Giant erik çeşitleri kurutmaya elverişli olduğunu bulunmuşlardır.

Hedayatzadeh ve Chaji (2016) erik kurutma üzerine yaptıkları derleme çalışmasında, eriklerin raf ömrünü uzatmak, nakliye maliyetlerini düşürmek gibi

etmenler için kurutma teknikleri ile su içeriğinin (dehidrasyon) azaltılması gerektiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, erik ürününe ön işlemlerin uygulanmasının, kuruma süresini kısaltmakta, kaliteyi yüksek tutmakta ve aynı zamanda daha az enerji tüketmek konusunda son derece yararlı olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer yandan bu derlemede, erik kurutma işlemi için sunulan benzetim ve matematiksel modeller de kapsamlı bir şekilde çalışılmış ve özetlenmiştir. Ayrıca bazı kurutma modelleri bakımında erik kurutma kinetiğini incelemek, nem kaybı ve kurutma işleminin yaygın olarak kullanıldığını erik için de önemli bir konu olduğunu ortaya konulmuştur.

Kurmanov vd. (2015) yaptıkları çalışmada, yerli bir erik çeşidinin kurutma kinetiği, laboratuvar ölçekli bir sıcak hava kurutucusunda  $0.65\text{m s}^{-1}$  hava hızında ve 45-75 °C hava sıcaklığı aralığında incelemişlerdir. Bütün meyvelerin en iyi şekilde kurduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada, kurutma yönteminin yerli erik çeşidinin kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Kurutulmuş meyveler, duyuusal parametreler ve askorbik asit içeriği açısından değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, önerilene kurutma yönteminin, geleneksel yaklaşıma göre kurutulmuş ürün için daha yüksek bir askorbik asit içeriğini verdiğini tespit etmişlerdir.

### **2.1.5. Yarı kurutulmuş sebze ve meyveler**

Uysal ve Taşeri (2015) yaptıkları çalışmada, yarı kurutulmuş meyve ve sebzeler konusunu incelemişlerdir. Su aktivitesinin azaltılmasıyla pH değerinin düşürülmesi, hafif ısıtma ve koruyucu kullanımıyla gıdanın orijinal değerlerinin çok az değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu ürünlerin yaş ürün ile tat ve dokuda az farkın olduğunu belirtmişlerdir. Bu da tüketici için büyük önem arz etmektedir. Su aktiviteleri 0,5-0,95 arasında değişmesi ve nem miktarlarının %26-60 arasında olan meyvelerin “orta nemli meyveler” olarak tanımlamaktadırlar. Yarı-kurutulmuş meyvelerin, yeme kalitesi açısından daha yumuşak bir dokuya sahip olduğu için taze ürüne daha yakın dokuda olmaktadır. Dolayısıyla bu tür ürünler tüketici tarafından tercih edilmektedir.

## 2.2. Kurutma işlemlerinde kullanılan temel kavramlar

### 2.2.1. Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları

Normal bir termometre ile ölçülen havanın sıcaklığı, kuru hazne termometre sıcaklığı ( $T_{db}$ ) olarak bilinmektedir. Termometrenin ampul benzeri şeklindeki haznesine ıslak bir fitil veya su emici kumaş ve benzeri malzeme ile sarılıyken, ölçülen sıcaklığa yaş hazne termometre sıcaklığı ( $T_{wb}$ ) denilmektedir. Doymuş hava koşullarında,  $T_{wb}$  ve  $T_{db}$  birbirine eşit olmaktadır (Vijayan vd., 2017).

### 2.2.2. Çiylenme noktası sıcaklığı

Havanın sabit bir basınçta ve nemde soğutulduğu sıcaklık doygunluk durumuna ulaşmakta ve su buharı çiy olarak yoğunlaşmaktadır. Çiyin oluştuğu sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı ( $T_{dp}$ ) denilmektedir (Vijayan vd., 2017).

### 2.2.3. Özgül nem ve bağıl nem

Atmosferik hava bir miktar su buharı içermektedir; parametrelerin özgül (spesifik) nem ve bağıl nem miktarını tespit etmek için kullanılmaktadır. Özgül nem, buhar ve hava karışımındaki birim kuru hava kütlesi başına su buharı kütlesidir. Genellikle kg kuru hava başına gram su olarak ifade edilmektedir. Bağıl nem ise bir karışımındaki kısmi su buharının aynı sıcaklıktaki doymuş karışımın kısmi basıncına oranıdır ve yüzde olarak ifade edilmektedir (Vijayan vd., 2017). Nemli havanın doyma derecesi, bir birim kuru hava kütlesindeki su buharı kütlesinin, hava aynı sıcaklıkta doygun hale geldiğinde bir birim kuru hava kütlesindeki su buharı kütlesine oranıdır:

$$\text{Özgül nem} = \frac{\text{su buharı kütlesi}}{\text{kuru hava kütlesi}}$$

Islak havanın özgül nemi,  $H$  ( $\text{kg}_{\text{su buharı}}/\text{kg}_{\text{kuru hava}}$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$H = \frac{m_w}{m_a} \quad (2.1)$$

$$H = 0.622 \frac{p_w}{p_a} = 0.622 \frac{p_w}{p_t - p_w} \quad (2.2)$$

burada,  $p_w$  kısmi su buhar basıncı (Pa),  $p_a$ , kısmi hava basıncı (Pa),  $p_t$  toplam hava ve buhar basıncı (Pa) şeklindedir.

Doyma derecesi ( $\phi$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$\phi = \frac{H}{H_s} \quad (2.3)$$

burada,  $H$  ıslak havanın özgül nemi ( $\text{kg}_{\text{su buharı}}/\text{kg}_{\text{kuru hava}}$ ) ve  $H_s$  doyma noktasındaki havanın özgül nemi ( $\text{kg}_{\text{su buharı}}/\text{kg}_{\text{kuru hava}}$ ) şeklindedir.

Ortamanın Bağıl nemi,  $RH_{\text{ort}}$  (%) aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$RH_{\text{ort}} = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100 \quad (2.4)$$

burada,  $p_w$  ve  $p_{ws}$  sırasıyla belirli bir sıcaklıkta ve aynı sıcaklıkta doygunculuktaki kısmi su buharı basıncı (Pa) şeklindedir.

#### 2.2.4. Psikrometrik tablolar

Kurutma işlemi esas olarak hava-su buharı karışımının özellikleriyle karakterize edilir. Psikrometrik çizelgeler, hava-su buharı karışımının tüm önemli özelliklerinin birbiriyle ilişkisini gösteren çizelgedir. Psikrometrik diyagram, kuru termometre sıcaklığına göre mutlak nemi, çiylenme noktası sıcaklığını ve belirli hacimleri temsil etmektedir. Kuru termometre sıcaklıkları ve kg kuru hava başına nem içeriği kütlesi sırasıyla yatay ve dikey eksenlerde çizilmiştir. Çiy noktası sıcaklıkları,% 100 bağıl neme karşılık gelen üst eğimli çizgide işaretlenmiştir. Bu çizgi doygunluk çizgisi olarak bilinmekte ve yüzde cinsinden sabit bağıl nem çizgileri, doygunluk çizgisi ile grafiğin temel çizgisi arasında işaretlenmektedir. Islak hazne çizgileri, sağa doğru eğimli, yatay eksene  $30^\circ$  açı yapan verev çizgilerdir. Özgül hacim, yani bir kg kuru hava başına hava-su buharı karışımı hacmi,  $60^\circ\text{C}$ 'de daha dik olan başka bir verev çizgidir. Duyulur

ısıtma veya duyulur soğutmanın psikrometrik süreçleri, işlem sırasında nem oranının sabit kaldığını gösteren yatay çizgi boyunca gösterilmektedir. Bağlı nem, ısıtma ile azalır ve soğutma ile artmaktadır (Vijayan vd., 2017).

### 2.3. Yaş Ürünün Özellikleri

Kurutma işleminin hızı, havanın özelliklerine olduğu kadar ıslak ürünün özelliklerine de bağlıdır. Bu kısımda, ürünün nem içeriği ve denge nem içeriği gibi kurutmayı etkileyen birkaç özellikten bahsedilmektedir (Vijayan vd., 2017).

#### 2.3.1. Nem içeriği

Genellikle, çok azı hariç, neredeyse tüm tarımsal ve endüstriyel ürünler nem içeriği içermektedir. Bu nem içeriği yüzde olarak veya ondalık oran olarak gösterilmektedir. Bir ürünlerdeki nem içeriği miktarı ( $MC$ ) iki yöntemle ifade edilebilir: Islak bazlı (esaslı) (%w.b) ( $MC_{wb}$ ) ve kuru bazlı (esaslı) (% d.b) ( $MC_{db}$ ) şeklindedir.  $MC_{wb}$  ( $kg_{su}/kg_{materyal}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Belessiotis ve Delyannis, 2011; Vijayan vd., 2017).

$$MC_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_{dp}} = \frac{m_w}{m_t} \quad (2.5)$$

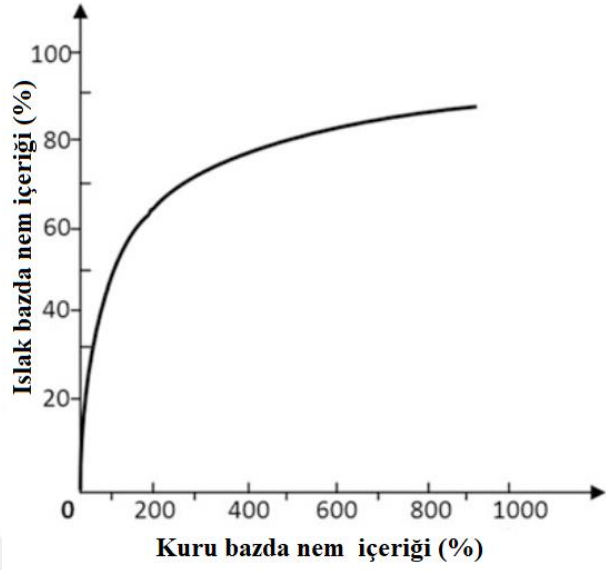
burada,  $m_w$ ,  $m_{dp}$  ve  $m_t$  sırasıyla su ve kuru ürün ve toplam ürün kütlesi (kg) şeklinde ifadedir.

$MC_{db}$  ( $kg_{su}/kg_{kuru\ materyal}$ ) kuru ürünün birim kütlesi başına nem içeriği kütlesi şeklinde tanımlanmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$MC_{db} = \frac{m_w}{m_{dp}} \quad (2.6)$$

Ondalık nem içeriği 100 ile çarpılırsa, yüzde nem içeriği elde edilebilmektedir. Herhangi bir malzemenin nem içeriği kuru bazda rahatlıkla ifade edilmektedir, ancak tarım ürünleri için nem içeriği ıslak bazda belirtilmektedir. Şekil 2.1 kuru bazda nem içeriğine göre ıslak esasta nem içeriğinin değişimini göstermektedir. Islak (wb) ve kuru

bazdaki (db) nem içerikleri aşağıdaki denklemler kullanılarak birbiriyle ilişkilendirilebilmektedir (Ekechukwu 1999; Vijayan vd., 2017):



Şekil 2.1. Islak bazda ve kuru bazda nem içeriğinin değişimi (Ekechukwu, 1999)

Kuru bazda nem içeriği,  $MC_{db}$ :

$$MC_{db} = \left[ \frac{1}{(1 - MC_{wb})} \right] - 1 \quad (2.7)$$

Sadeleştirirsek;

$$MC_{db} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (2.8)$$

Yaş bazda nem içeriği,  $MC_{yb}$ :

$$MC_{wb} = 1 - \left[ \frac{1}{(1 - MC_{db})} \right] \quad (2.9)$$

Sadeleştirirsek;

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{1 + MC_{db}} \quad (2.10)$$

Kuru bazda herhangi bir 't' zamanında anlık nem içeriği ( $MC_t$ ), aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (El-Sebaï vd., 2002; El-Sebaï ve Shalaby, 2013; Vijayan vd., 2017):

$$MC_t = \left[ \frac{(MC_i + 1)m_t}{m_i} - 1 \right] \quad (2.11)$$

burada,  $m_t$  ve  $m_i$  sırasıyla  $t$  zamanındaki kütle ve ilk kütle (kg) şeklindedir.

Nem oranı (MR) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Akpınar 2010; Vijayan vd., 2017):

$$MR = \frac{(MC_t - MC_e)}{(MC_i - MC_e)} \quad (2.12)$$

Denge nem içeriği,  $MC_e$ , ilk nem içeriği  $MC_i$  ile karşılaştırıldığında çok daha azdır; yukarıda belirtilen denklem şu şekilde sadeleştirilebilmektedir (Akpınar 2006; Vijayan vd., 2016):

$$MR = \frac{MC_t}{MC_i} \quad (2.13)$$

Nem içeriğinin doğasına bağlı olarak, malzemeler higroskopik ve higroskopik olmayan malzemeler olarak gruplandırılabilir. Higroskopik olmayan malzemelerde, nem içeriği serbest veya gevşek bir şekilde tutulan bir formda (bağlanmamış nem) mevcuttur. Bu tip nem içeriği, kurutma işlemi sırasında buharlaşma yoluyla tamamen çıkarılabilirken, higroskopik malzemeler, kapalı kılcal kanalların içinde bulunan bağlı nem formundaki nem içeriğini içermektedir. Bu nedenle, bağlı nem her zaman artık nem olarak malzemedeki kalmaktadır (Belessiotis ve Delyannis, 2011). Gıda maddelerinin çoğu higroskopik malzemelerden meydana gelmiştir. Tablo 2.1, bazı tarımsal ürünlerin ilk ve son nem içeriklerini vermektedir (Vijayan vd., 2017).

### 2.3.2. Nem içeriğinin belirlenmesi

Bir malzemedeki nem içeriği miktarı birçok yöntemle ölçülebilmektedir ve tarımsal üründeki nem içeriğini ölçmek için yaygın olarak kullanılan yöntem fırında kurutma yöntemidir. Bu yöntemde numune olarak az miktarda ürün alınmakta ve belirli bir basınç ve sıcaklıkta nemi tamamen alınana kadar fırında ısıtılmaktadır. Kurutma

sonunda ölçülen ağırlık kuru ağırlıktır, kaybolan ağırlık kaybı ise nem içeriği miktarıdır. Bennett ve Hudson (1954), tahıllardaki nem içeriğinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerin kapsamlı bir incelemesini yayımlamışlardır (Vijayan vd., 2017).

**Tablo 2.1.** Bazı ürünlerin kurutma koşulları (Vijayan vd., 2017).

	Nemlilik (yaş esas) (%)		En fazla kurutma sıcaklığı (°C)	Buharlaştırılan su (kg/ton)	Enerji gereksinimi (kJ/tonx10 <sup>6</sup> )
	Başlangıç	Son			
Elma	80	24	70	736,8	1,502
Kayısı	85	18	65	817,1	1,666
Muz	80	15	70	823,5	1,679
Lahana	80	4	55	791,7	1,614
Havuç	70	5	75	684,2	1,365
Manyok (Cassava)	62	17		542,2	1,105
Karnabahar	80	6	65	787,2	1,605
Kırmızıbiber	80	5	65	789,5	1,610
Kakao çekirdeği	50	7		462,4	0,943
Kahve çekirdeği	55	12		488,6	0,996
Kahve	50	11		438,6	0,695
Kozalaklı ağaç	30-40	10-15	50	222,2-294,1	0,453-0,600
Mısır	24	14	50	116,3	0,237
İncir	80	24		736,8	1,502
Balık	75	15	30	705,9	1,439
Yeşil yapraklı ağaçlar	25-35	17-20	50	96,4-187,5	0,197-0,382
Sarımsak	80	4	55	791,7	1,674
Üzüm	80	15-20	70	750,0-623,5	1,529-1,679
Yeşil fasulye	70	5	75	664,2	1,395
Yeşil bezelye	80	5	65	789,5	1,610
Yer fıstığı	40	9	50	340,6	0,694
Guava (Hintarmudu)	80	7	65	784,9	1,600
Soğan	80	4	55	791,7	1,614
Şeftali	85	18	65	817,1	1,666
Ananas	80	10	65	777,8	1,586
Patates	75	13	75	712,6	1,453
Erik	85	15	55	823,5	1,769
Çeltik	24	11	50	146,1	0,298
Ispanak	80	10		777,8	1,566
Tatlı patates	75	7	75	731,2	1,491
Buğday	20	16	45	47,6	0,097

## 2.4. Kurutucunun enerji analizi

Bir kurutucu için enerji analizi çok önemlidir. Çünkü kurutma oldukça fazla enerji tüketen bir işlemdir. Kurutma endüstrileri, dünya pazarındaki rakipleriyle rekabet edebilmek için ürün başına maliyeti düşürmek için kurutma işlemi için enerji tüketimini azaltmaları gerekmektedir. Konvektif kurutucuda daha fazla enerji tüketiminin ana nedeni, buharlaşmanın gizli ısını karşılayarak ürünlerdeki nem içeriğini uzaklaştırmaktır. Bir kurutucunun enerji analizi, iyileştirilecek sistem performansının yerlerini net olarak göstermektedir. Enerji tasarrufu ısı kayıplarının azaltılmasıyla mümkündür. Konvektif kurutma işleminde oluşabilecek ısı kayıpları; egzoz havasıyla, ürünle, radyasyonla, kurutucudan hava sızıntısıyla ve ürünün aşırı kurutmadan kaynaklanan ısı kaybı olarak gruplandırılabilir (Vijayan vd., 2017).

Herhangi bir kurutucunun performansı, kurutma verimliliği, özgül enerji tüketimi, enerji verimliliği ve özgül nem uzaklaştırma hızı gibi farklı performans göstergeleri ile karakterize edilebilmektedir. Özgül enerji tüketimi ve enerji verimliliği, bir kurutucuyu enerji açısından değerlendirmek için önemli parametreler olarak kabul edilmektedir. Kurutucunun enerji analizi ve verimlilikleri kavram ve tanımlamaları aşağıda yapılmaktadır:

### 2.4.1. Kurutucunun ısı verimliliği

Bir kurutucunun enerji veya ısı (termal) verimliliği ( $\eta$ ), buharlaşma için gereken enerjinin kurutma işlemi için harcanan toplam enerjiye oranıdır (Kudra, 2012):

$$\eta_T = \frac{Q_{vap}}{Q_T} \quad (2.14)$$

burada,  $Q_{vap}$  buharlaşma için gerekli olan enerji (J) ve  $Q_T$  harcanan toplam enerji (J) şeklindedir.

#### 2.4.2. Konvektif kurutma işleminde ısı verimliliği

- 1) Konvektif kurutma işleminde, kurutma işlemi sırasında konvektif havanın düşük neme ve düşük sıcaklığa sahip olması durumunda enerji verimliliği, ısı verimliliği ( $\eta_T$ ) ile yaklaşık olarak tahmin edilir (Kudra 2012):

$$\eta_T = \frac{T_i - T_o}{T_i - T_a} \quad (2.15)$$

burada,  $T_i$ ,  $T_o$  ve  $T_a$  sırasıyla giriş, çıkış ve ortam (çevre) hava sıcaklığı (°C) şeklindedir.

Denklem (3.28)'den, enerji veya ısı verimliliğinin hava giriş, çıkış ve ortam sıcaklığına bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Isı verimliliği giriş hava sıcaklığını artırarak ve çıkışta havanın doymuş duruma yaklaşmasıyla artırılabilir.

#### 2.4.3. Özgül nem uzaklaştırma hızı

Bir kurutma sisteminin diğer bir önemli performans göstergesi, birim enerji tüketimi başına buharlaşan su miktarı olan özgül nem uzaklaştırma hızı (SMER) şeklindedir. SMER'in birimi, kg/kWh şeklindedir (Fudholi vd., 2014; Vijayan vd., 2016):

$$SMER = \frac{m_{loss}}{Q_T} \quad (2.16)$$

burada,  $m_{loss}$  uzaklaştırılan su kütlesi (kg) ve  $Q_T$  toplam enerji tüketimi (kWh) şeklindedir.

#### 2.4.4. Özgül enerji tüketimi

SMER'in tersi ifade ise özgül enerji tüketimi (SEC) şeklindedir (Fudholi vd.,2014; Vijayan vd., 2016; Vijayan vd., 2017):

$$SEC = \frac{Q_T}{m_{loss}} \quad (2.17)$$

#### 2.4.5. Buharlaşan su kütlesi miktarı

Buharlaşan su kütlesi ( $m_{rw}$ ) şu şekilde hesaplanabilir:

$$m_{rw} = \frac{m_i(MC_i - MC_f)}{100 - MC_f} \quad (2.18)$$

burada,  $m_i$  suyun uzaklaştırıldığı ilk kütle (kg),  $MC_i$  ve  $MC_f$  sırasıyla ilk ve son nem içerikleri (%) şeklindedir.

## 2.5. Kurtucunun performans göstergeleri

Bir kurutucuyu değerlendirmek için kullanılan başka performans göstergeleri de bulunmaktadır (Prakash vd. 2016; Chauhan ve Kumar 2016; Vijayan vd., 2017).

### 2.5.1. Isı Kullanım faktörü

Isı kullanım faktörü (HUF), kurutma sırasında havanın kaybettiği sıcaklığın, ısıtma sırasında havanın kazandığı sıcaklığa oranıdır (Chauhan ve Kumar, 2016; Vijayan vd., 2017):

$$HUF = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_a} \quad (2.19)$$

burada,  $T_1$  kurutucudan atılan hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_2$  kurutucu sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $T_a$  ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) şeklindedir.

### 2.5.2. Performans katsayısı

Performans katsayısı (COP), faydalı ısı enerjisinin kullanılan işe oranıdır. Esas olarak ısı pompalı kurutucuların performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Prakash vd., 2016, Vijayan vd., 2017):

$$COP = \frac{Q}{W} = \frac{T_2 - T_a}{T_1 - T_a} \quad (2.20)$$

HUF ve COP aşağıdaki gibi ilişkilidir:

$$HUF = 1 - COP \quad (2.21)$$

### 2.5.3. Kurutma etkinliği

Kurutma etkinliği (DE), kurutma işlemi sırasında çıkış bağıl neminin giriş bağıl nem oranına denilmektedir (Chauhan ve Kumar 2016; Vijayan vd., 2017). Kurutma temelde bir nemlendirme işlemidir ve kurutmada daha yüksek kurutma etkinliği istenmektedir:

$$DE = \frac{RH_o}{RH_i} \quad (2.22)$$

burada,  $RH_i$  girişteki havanın bağıl nemi (%) ve  $RH_o$  çıkıştaki havanın bağıl nemi (%) şeklinde-dir.

Sistemlerdeki ısı kayıpları azaltılarak kurutma ünitelerinin performansı iyileştirilebilmektedir. Belirli bir uygulama için uygun bir kurutma nitesi tasarlamaktır en önemli adımdır. Isıtıcı, kurutma odası, üfleyici veya fan, geçitler, konveyörler gibi diğer bileşenlerin doğru seçilmesi de enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olacaktır. Enerji tasarrufu için genellikle benimsenen yöntemler aşağıda listelenmektedir (Kemp, 2005):

- (a) Kurutma için enerji gereksiniminin azaltılması
- (b) Daha iyi ısı (termal) yalıtımlar kullanarak ısı kayıplarının önlenmesi
- (c) Uygun ısı geri kazanım yöntemlerinin benimsenmesi
- (d) Düşük maliyetli ısı kaynakları kullanılması
- (e) Atık ısıyı geri kazanmak için ısı pompalarının kullanılması

Sistemin enerji verimliliğini artırmanın ana yöntemi ısı geri kazanımıdır. Endüstrilerde yaygın olarak kullanılan ısı geri kazanım yöntemleri, kurutucu çıkışından ısı geri kazanımı ve ısı pompalarının kullanılması enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Vijayan vd., 2017).

### 2.5.4. Kurutma hızı

Kurutma hızı güneş radyasyonu ve güneşlenme süresine değiştiği için gerek gün içerisinde güneşin geliş açısı ve bulutlanma gibi etmenlerden dolayı ortalama kurutma

hızını hesaplamak gerekecektir. Buna göre ortalama kurutma hızı,  $\dot{m}_{dr}$  (kg/h) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{dr} = \frac{m_{loss}}{dt} \quad (2.23)$$

burada,  $m_{loss}$  atılan su kütlesi (kg) ve  $dt$  kurutma için geçen süre (h) şeklindedir.

## 2.6. Güneş kurutma sistemleri

Güneş altında açık havada kurutma, gıda muhafazası için güneş enerjisini kullanmanın en tarihsel yöntemlerinden biridir. Tarih öncesi çağlardan beri, insanlar güneş ışınlarını termal enerji kaynağı olarak çok çeşitli yiyecekleri, toprak tuğlaları gibi inşaat malzemelerini ve giyinmek için hayvan derilerini kurutmak için kullanmışlardır (Belessiotis ve Delyannis, 2011; Banout, 2017). Fransa'da en eski kurutma tesislerinden biri (MÖ 8000) keşfedildi. Mahsullerin kurutulması için taş döşeli bir yüzey kullanılmıştır. Rüzgârla kurutma, kurutma sürecini iyileştirmek için güneş radyasyonu ile birleştirilmiştir (Belessiotis ve Delyannis, 2011; Banout, 2017).

Açık güneşte kurutma, çoğu gelişmekte olan ülkede hala yaygın olarak uygulanmaktadır. Çoğunlukla gelişmekte olan ülkelerde kullanılan geleneksel kurutma yöntemlerinde, ürünler yerde, betonda ve hatta güneş altındaki yollarda kurutulur ve bunlar toz ve böceklerle kirlenir ve kemirgenler, kuşlar ve diğer hayvanlar tarafından yağmalanmaktadır. (Janjai ve Bala, 2012; Banout, 2017). Banout, 2017). Gelişmekte olan ülkelerde, toplam hasat sonrası kayıpların %20 ile %50 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Tembo vd., 2008) ve hasat edilen mahsullerin tedarik zinciri boyunca hasat sonrası kayıplar nedeniyle neredeyse %10 ile %40'ının asla nihai tüketicilere ulaşmadığı tahmin edilmektedir (Esper ve Muhlbauer, 1998; Banout, 2017).

Güneşte kurutma, birincil enerji kaynağı olarak güneşe dayanmaktadır. Güneşte kurutmada, güneşe maruz kalma etkisini arttırmak için bazı düzeneklerin kullanılması gerekmektedir. Güneş kurutucularının avantajları, daha önce literatürde birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Karathanos ve Belessiotis, 1997; Bala vd., 2003; Hossain ve Bala, 2007; Banou, 2017). Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerin çoğu, dünya ortalaması olan  $3,82 \text{ kWhm}^{-2}$  olan güneş radyasyonundan yararlanabilmektedir (Banout ve Ehl, 2010; Banout, 2017). Gelişmekte olan ülkelerin birçok kırsal alanında, elektrik şebekesi ve diğer geleneksel enerji kaynaklarının tedariki sınırlı veya pahalıdır. Bu

nedenle, bu tür alanlarda, motorlu vantilatörlü ve/veya elektrikli ısıtılmalı mahsul kurutma sistemleri uygun değildir. Fosil yakıtlarla çalıştırılan geleneksel kurutma sistemlerinin yüksek yatırımları ve işletme maliyetleri, küçük ölçekli çiftçiler tarafından benimsenmemelerinin ana nedenleridir (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017).Çoğu solar kurutucunun küçük ölçekli tasarımı, gıdanın %80'inden fazlası küçük çiftlikler tarafından üretildiğinden, gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçilerin ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir (Murthy, 2009; Banout, 2017). Güneş enerjili kurutucular, daha yüksek kurutma sıcaklıkları ve daha düşük bağıl nem üretebilmektedir. Bu da geleneksel açık güneşte kurutmaya kıyasla daha yüksek kurutma hızları ve kurutulmuş ürünlerin daha düşük son nem içerikleri ile sonuçlanmaktadır (Belessiotis ve Delyannis, 2011; Banout, 2017). Son ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve hasat kayıplarının azaltılması, uygun kurutma tekniği ile sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, çiftçiler tarafından geliştirilmiş güneş enerjili kurutma sistemlerinin daha fazla kabul edilmesinin ana nedeni, birçok yerel pazarda, yüksek ve düşük kaliteli ürünlerin fiyatlarında hiç fark olmaması veya çok az fark olmasıdır (Janjai ve Bala, 2012; Banou, 2017).

### **2.6.1. Güneş kurutucunun özellikleri**

Güneş enerjisi ile kurutma sistemlerinde, güneş enerjisi ya tek ısı kaynağı olarak ya da ek bir ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Hava akışı, doğal konveksiyon veya fanlar gibi ek donanımlarla sağlanan zorlanmış konveksiyon ile üretilmektedir. Kurutma işlemi, önceden ısıtılmış havanın üründen kapalı ve karanlık bir odada geçişini veya ürünün doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakılmasıyla veya her ikisinin bir kombinasyonu ile geçmesini içerebilir (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017).

Güneş radyasyonu doğrudan kurutma sırasında materyale nüfuz ettiğinde, kurutulmuş ürünün içinde ve yüzeyinde ısı üretmekte ve ısı transferini artırmaktadır. Doğrudan güneş enerjisiyle kurutma, ürünün güneş ışınması soğurmasıdır. Çoğu tarımsal ürün, kurutma işlemi boyunca değişebilen nispeten yüksek emiciliğe sahip olmaktadır. Ürünün ısı iletkenliği, özellikle parçacıklar arasında ısı iletimini gerektiren derin tabaka kurutma durumunda önemli bir faktördür. Farklı gıdalar kurutulurken ürünün kalitatif özelliklerini olumsuz etkileyebilecek aşırı sıcaklıktan kaçınılması gerekmektedir (Banout, 2017).

## 2.6.2. Güneş enerjili kurutucular sınıflandırması

Tarımda gıda kurutma için kullanılan güneş kurutucuları, enerji tasarrufu açısından faydalı cihazlardır. Buna ek olarak, enerji haricinde, kurutma için gereken zamandan tasarruf sağlamaktalar, kurutma alanını azaltmalar, ürün kalitesini ve proses verimliliğini iyileştirmekteler ve nihayet çevreyi korumaktalar. Isı kaynakları çeşitlendirildiğinde, yapay kurutma sistemlerini desteklemek için kullanılabilirler ve bu sayede gerekli toplam yakıt enerjisi miktarını azaltabilmektedirler (Vijaya Venkata Raman vd., 2012; Banout, 2017).

Farklı bölgelerde farklı tipte güneş kurutucuları tasarlanmış, geliştirilmiş ve test edilmiştir (Bala ve Janjai 2012). Güneş enerjisi ile kurutma işleminde, güneş enerjisi birincil kaynak veya ek ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kurutma hava akışı, doğal veya zorlamalı konveksiyonla çalıştırılabilmektedir ve önceden ısıtılmış hava, doğrudan güneş ışığına maruz kalmadan veya doğrudan güneş ışığına maruz bırakılarak üründen geçirilebilmektedir. Her iki yöntemin kombinasyonu da mümkün olmaktadır (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017). Ürünün kurutma özellikleri, kalite gereksinimleri ve kurutma giderleri gibi çeşitli ölçütler, bir güneş kurutucunun son seçimini etkilemektedir (Augustus Leon vd., 2002; Purohit vd., 2006).

Güneş kurutucular iki ana kategoriye ayrılabilir:

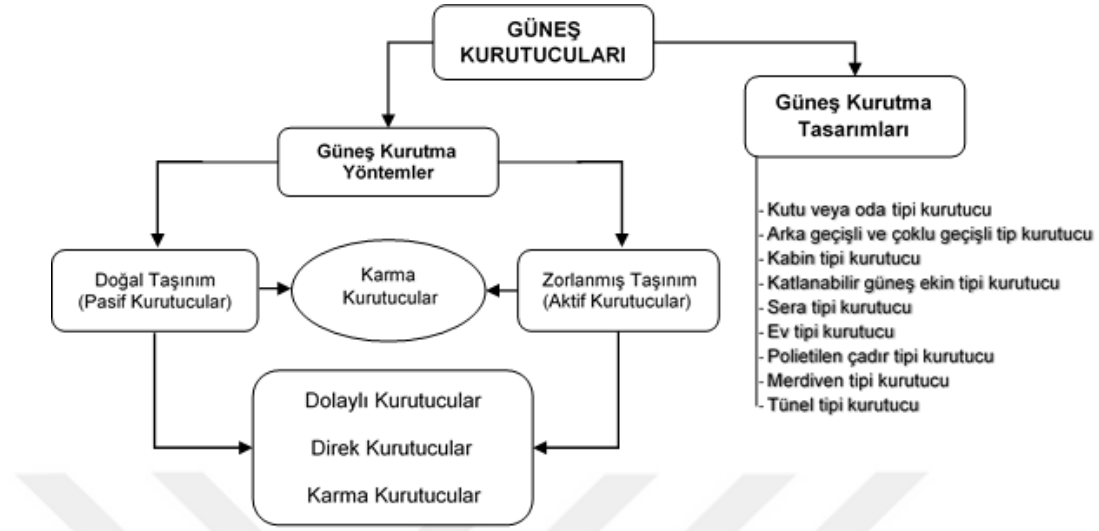
- 1- Pasif güneş kurutma sistemleri
- 2- Aktif güneş kurutma sistemleri

Ekechukwu ve Norton'a (1999) göre, aktif veya pasif güneş kurutma sistemlerinin üç farklı alt sınıfı bulunmaktadır. Esas olarak sistem bileşenlerinin tasarım düzenlemesi ve güneş ısısının kullanım şekli bakımından farklılık göstermektedirler. Bu alt sınıflar şunlardır:

- 1- Entegre tip güneş kurutucular
- 2- Dağıtılmış tip güneş kurutucular
- 3- Karma yöntemli güneş kurutucular

Son kullanıcı ihtiyaçlarına ve mevcut teknoloji düzeyine dayalı olarak tarım ürünlerini kurutmanın farklı amaçları için geliştirilmiş birçok kurutucu tasarımı bulunmaktadır.

Güneş enerjisi ile kurutma sistemlerinin genel sınıflandırması Şekil 2.2'de gösterilmektedir (Banout, 2017).



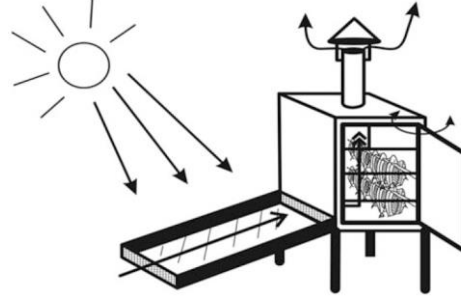
Şekil 2.2. Güneş enerjisi ile kurutma sistemlerinin sınıflandırılması (Banout, 2017)

#### a) Doğal taşınımlı (konveksiyonlu) güneş kurutucuları

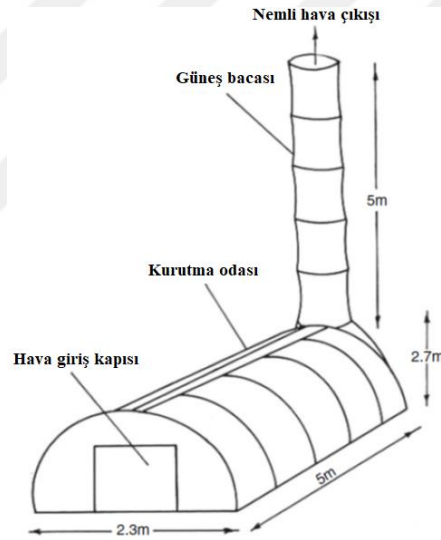
Doğal konveksiyonlu (pasif) solar kurutucularda hava, kaldırma kuvvetiyle veya rüzgâr basıncının bir sonucu olarak veya her ikisinin birleşimiyle doğal olarak ısıtılır ve dolaştırılır. Tipik bir doğal konveksiyonlu güneş enerjisi kurutucusu (Şekil 2.3) aşağıdaki ana ünitelerden meydana gelmektedir: hava-ısıtma güneş kolektörü, kurutma odası ve baca şeklinde dört ana bileşenden meydana gelmektedir. Ekinlerin pasif kurutulması, birçok tropikal bölgede ve/veya gelişmekte olan ülkelerde özellikle küçük tarım çiftliklerinde yaygın bir uygulamadır. Kurutma süresi, açık havada kurutma ve ürüne kıyasla daha yüksek verimle daha kısa olmaktadır ve bu nedenle daha yüksek miktarda ve kalitede kurutulmuş mahsul elde edilmesi mümkündür (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017).

Çok sayıda pasif güneş kurutucu tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu kurutucular, verim kapasitelerine ve teknik performansa göre değişmektedir. Fudholi ve ark. (2010), en basit pasif güneş kabinli kurutucular üzerine çalışmışlardır. Öte yandan Ekechukwu ve Norton (1999), farklı mahsullerin kurutulması için uygun olan doğal bir konveksiyonlu güneş kurutucu üzerine çalışmışlardır. Tasarım, tipik bir sera tipi doğal konveksiyonlu güneş enerjisi kurutucusundan oluşmaktadır (Şekil 2.4). Kurutucu, emici

olarak kullanılan bir yüzeyi olan silindirik bir polietilen hazneye sahip çelik bir çerçeve ile inşa edilmiştir (Banout, 2017).



Şekil 2.3. Doğal konveksiyonlu güneş kurutucu (Banou, 2017).

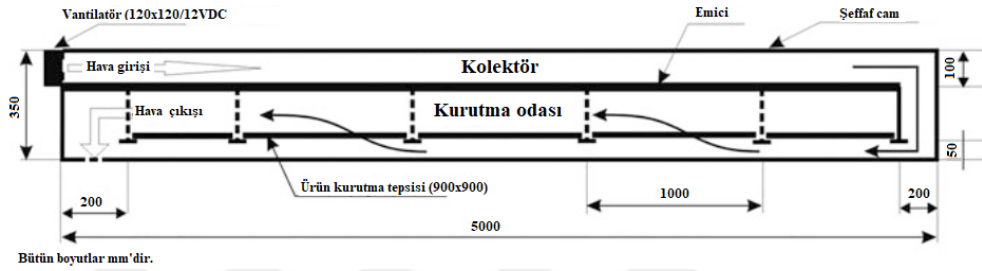


Şekil 2.4. Sera tipi doğal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucusu (Ekechukwu ve Norton, 1999).

#### b) Zorlanmış taşınım (konveksiyonlu) güneş enerjili kurutucular

Tipik bir zorlanmış konveksiyonlu (aktif) güneş enerjili kurutucu, birincil ısı kaynağı olarak güneş enerjisine bağlıdır ve kurutma bölgesindeki havanın dolaşımını sağlamak için vantilatörler kullanılmaktadır. Bir fan eklemeye hava akışını iyileştirilebilmekte ve doğal konveksiyonlu kurutucularla elde edilenlere kıyasla çok daha yüksek kurutma oranları sağlamaktadır. Gerekli hava akışı, örneğin bir elektrikli

fan ile sağlanabilmektedir. (Banout vd., 2011). Tipik bir cebri konveksiyonlu solar kurutucu (Şekil 2.5) aşağıdaki gibi temel kısımlardan meydana gelmektedir: hava ile ısıtan bir güneş enerjisi toplayıcısı, bir kurutma odası ve kurutma hava sirkülasyonunu sağlamak için bir fan. Aktif güneş kurutucular, genel enerji tüketimini ve kurutma maliyetlerini önemli ölçüde azaltabildikleri için geleneksel fosil yakıt kurutma sistemleriyle birlikte çalışma potansiyeline sahip oldukları büyük ölçekli kurutma işlemleri ve ticari amaçlar için kullanılmaktadır (Banout, 2017).



**Şekil 2.5.** Cebri konveksiyonlu güneş kurutucu (Banout vd., 2012).

Aktif güneş kurutucular, daha yüksek nem içerikli tarım ürünlerini kurutmak için uygundur. Ticari zorlamalı konveksiyonlu güneş enerjili kurutucular, güvenli kurutma sıcaklık seviyelerini korumak için genellikle sıcaklık kontrol cihazlarıyla donatılmışlardır (Janjai ve Bala, 2012; Banout, 2017). Janjai ve Bala (2012), cebri konveksiyonlu kurutucunun günlük veriminin, sırasıyla doğal konveksiyon ve açık havada kurutmaya göre 3 kat ve 14 kat daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. (Banout, 2017).

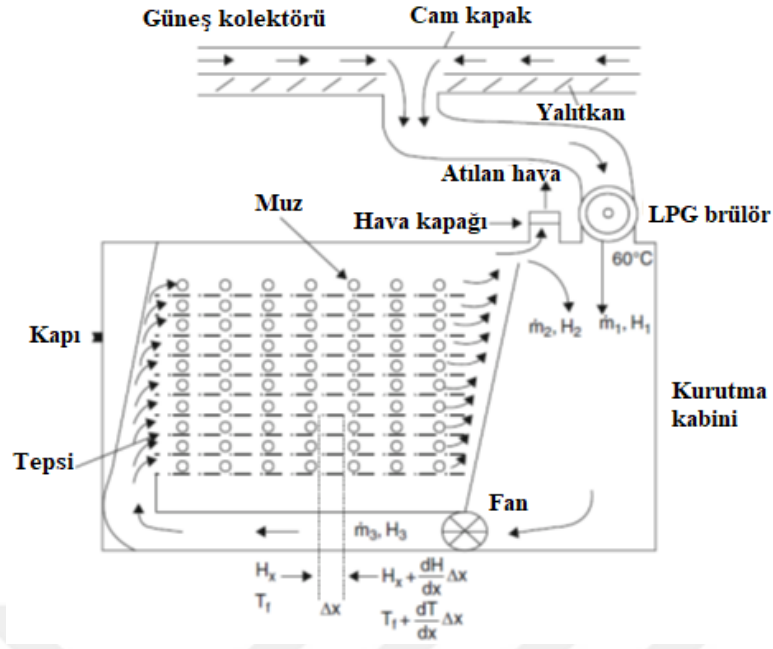
Cebri konveksiyonlu kurutucuların genel verimliliği, pasif solar kurutuculardan genel olarak daha yüksektir. Banout ve ark. (2011), kurutma sistem performansını kırmızıbiber ile test ettikleri zaman cebri konveksiyon ve doğal konveksiyonlu güneş kurutucu için toplam kurutma verimliliği sırasıyla %24.04 ve % 11.52 olarak tespit etmişlerdir. Bu, zorlanmış konveksiyonlu kurutucunun verimliliğinin doğal konveksiyonludan iki kattan fazla olduğu anlamına gelmektedir (Banout, 2017).

### **c) Hibrit (karma) güneş enerjili kurutucular**

Hibrit güneş kurutma sistemleri, güneş enerjisinin kurutma havasını ısıtmak için kullanılan birden daha fazla enerji kaynağından yararlanan kurutuculardır. Hava dolaşımını sağlamak için ilaveten elektrik veya fosil yakıt esaslı ısıtma sistemleri ve vantilatörlerle birlikte güneş enerjisi kullanmaktadırlar. Genellikle hibrit güneş kurutucular, zorlamalı konveksiyon durumunda çalışmaktadırlar. Fosil yakıtlar aslında destekleyici ısı enerjisi kaynağıdır. Fosil yakıt sistemi, gerekli kurutma koşullarını sağlamak için otomatik olarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017). Diğer yandan, tipik bir hibrit kurutucu, güneş kollektörü, kurutma odası, hava sirkülasyonunu sağlamak için fan ve Şekil 2.6'da görülebileceği gibi genellikle LPG gibi geleneksel enerji kaynağı tarafından çalıştırılan yardımcı ısı kaynağından meydana gelmektedir (Fudholi vd. 2010; Banout, 2017).

### **d) Doğrudan güneş enerjili kurutucular**

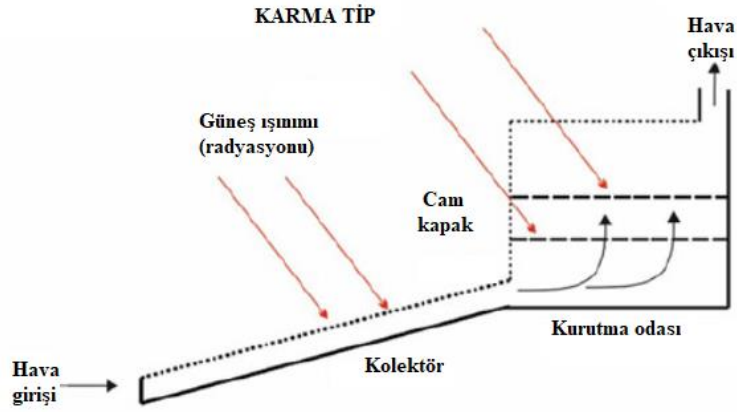
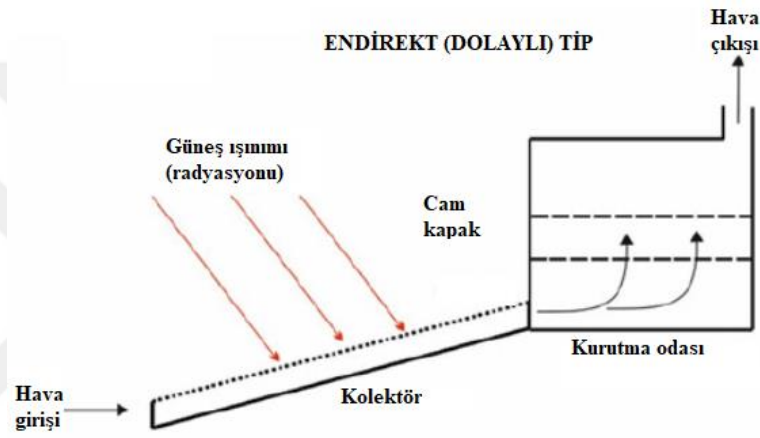
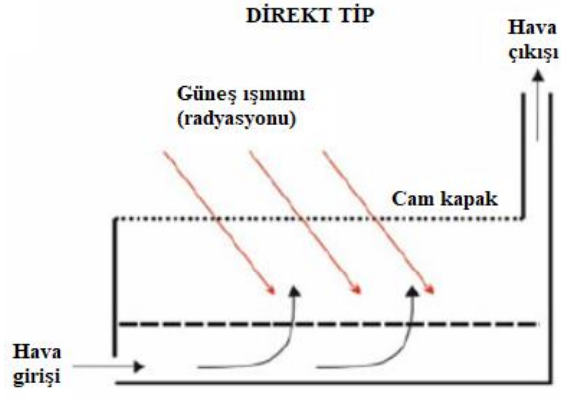
Doğrudan güneş enerjili kurutucularda mahsuller şeffaf bir kurutma bölmesine veya kurutma işlemi sırasında güneş ışınımının iletilmesine izin veren en azından şeffaf bir örtü içine yerleştirilmektedir. Böylece, güneş radyasyonu doğrudan kurutulan ürüne çarpmaktadır. Isı, kurutucu havanın bağıl nemini düşürmekte ve bu da nem kapasitesinin artmasına neden olmakta ve üründeki suyu buharlaştırmaktadır. Ayrıca, kurutma odasındaki havanın genişlemesini sağlayarak sıcak hava ile birlikte dolaşımını ve nemin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017). Doğrudan güneş enerjili kurutucuların çalışma prensibi Şekil 2.7 (a)'da gösterilmektedir. Doğrudan güneş enerjili kurutma ile doğal konveksiyon prensibinin kombinasyonu durumunda, bir güneş bacası kullanılabilir. Güneş bacası, hava akımının kaldırma kuvvetini artırabilir ve daha hızlı kuruma hızıyla sonuçlanan daha büyük bir hava akışı hızı sağlayabilmektedir (Banout, 2017).



Şekil 2.6. Hibrit güneş kurutucunun tipik yapısı (Fudholi vd. 2010).

Sharma vd., (2009), doğrudan güneş kurutucu sisteminin dezavantajları:

- Doğrudan güneş ışığına maruz kalma nedeniyle mahsulün renginin değişmesi,
- Cam kapakların içinde bazen nem yoğunlaşması meydana gelmesinden dolayı geçirgenliğin azalması,
- Nemi uzaklaştırmaya sebep olan sıcaklığın bazen yetersiz olması,
- Emici plaka üzerinde seçici kaplamanın sınırlı kullanımı.



**Şekil 2.7.** a) Doğrudan, b) dolaylı ve c) karma güneş kurutucularının çalışma prensibi (Çizim: J. Banout).

### **e) Dolaylı güneş kurutucular**

Dolaylı güneş kurutucularında, mahsul, tepsilerde veya raflarda kapalı, şeffaf olmayan bir kurutma odası içinde yer almaktadır ve dolaşıma giren kurutma havası bir güneş kolektörü ısıtılmaktadır (Ekechukwu ve Norton 1999). Dolaylı güneş kurutucu sistemin çalışma prensibi Şekil 2.7 (b)'de gösterilmektedir. Mahsul doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmadığından, bu yöntem sırasında mahsulün yüzeyinde daha az renk değişikliği ve çatlama meydana gelmektedir (Sharma vd., 2009). Bu nedenle, doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmasından dolayı C vitamini içeriğinin ürünün olumsuz etkilenebileceği bitkiler, baharatlar ve meyveler gibi nispeten hassas ürünler için tavsiye edilmektedirler. Dolaylı güneş enerjili kurutucular genellikle daha fazla yatırım gerektirmekte ve daha fazla karmaşık yapıdadırlar. Bu yüzden daha fazla bakım maliyetleri vardır (Ekechukwu ve Norton 1997; Banout, 2017).

### **f) Karma tip güneş kurutucular**

Karma tip güneş kurutucular, doğrudan ve dolaylı tip güneş kurutucuların özelliklerinin birleşimidir. Kurutma işlemi için ürün üzerine gelen güneş radyasyonu ile güneş kolektöründe ön ısıtmaya tabi tutulmuş havanın bileşimini kullanmaktadır. Tipik bir karma tip güneş kurutucu, dolaylı kurutma sistemindeki elemanlara sahiptir. Bir hava ısıtmalı güneş kolektörü (toplayıcı), bir kurutma odası ve bir bacaya sahip olan bu tip kurutucusunun kurutma odasının duvarları şeffaftır (Şekil 2.7. (b)). Bu nedenle doğrudan kurutucularda olduğu gibi ürün güneş radyasyonu doğrudan maruz bırakılır (Ekechukwu ve Norton 1999). Kolektörden çıkan havanın sıcaklıklarındaki değişimlerden kaynaklanan dezavantaja sahiptir. Bu nedenle, kurutma odası içinde sabit çalışma koşullarını korumak, özellikle pasif güneş kurutucular olarak tasarlandıklarında zorlaşmaktadır (VijayaVenkataRaman vd., 2012; Banout, 2017).

## **2.7. Tarımda Kullanılan Kurutucular**

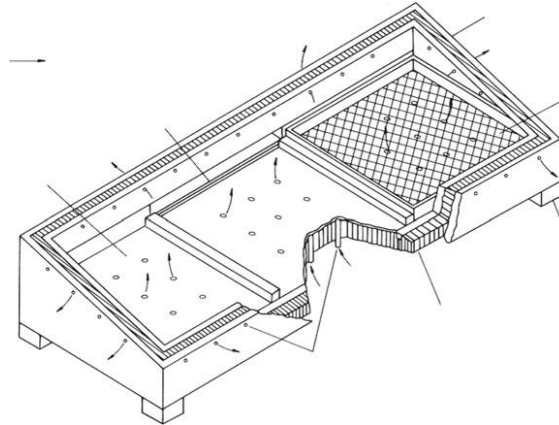
### **2.7.1. Arka (Geriye doğru) geçişli ve çok geçişli güneş enerjili kurutucular**

Bu grup güneş kurutucuları genellikle çift geçişli güneş kolektörlerinin (toplayıcı) çalışma prensibine dayanmaktadır. Güneş enerjisi ile kurutma sisteminde

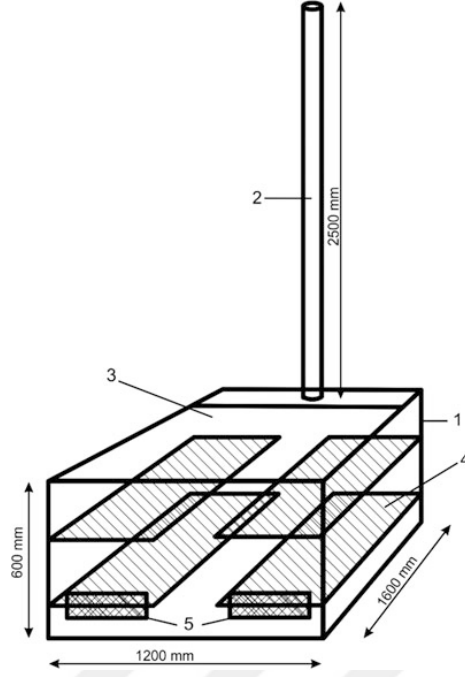
kullanıma uygun temel sıcak hava güneş kolektörleri, ön kanallı tek geçişli kolektörler, çift kanallı tek geçişli ve çift geçişli güneş hava kolektörleridir. Çift geçişli güneş hava kolektörleri, geleneksel tek geçişli olanlara göre daha etkilidir ve iki geçişli tasarımların, tek geçişli hava ısıtıcılarına göre kolektör ısı verimini % 10-15 artırdığı bildirilmiştir (Sopian ve ark. 2007).

### 2.7.2. Dolap (Kabin) ve kutu tipi kurutucular

Dolap ve kutu tipi kurutucular genellikle meyve, sebze, balık ve etin evlerde veya küçük çiftlik miktarlarında korunması için tasarlanmış küçük ünitelerdir. Genellikle, dolap duvarlarının taban ve üst kısımlarında sırlı kapaklı ve delikli yalıtımlı kutulardır. Güneş radyasyonu, şeffaf kapak aracılığıyla iletilmektedir. Mat siyaha boyanmış ışın yutucu yüzeyin yanı sıra ürün üzerinden güneş radyasyonu yutulmaktadır. Üst açıklıklardan çıkan sıcak hava, kaldırma kuvvetleri ile dolaşımı sağlamakta ve tabandan gelen soğuk hava çıkan sıcak havanın yerini almaktadır (Ekechukwu ve Norton 1999). Kabin (dolap) tipi kurutucular basit ve ucuzdurlar. Tarım ürünlerini, baharatları, bitkileri vb. kurutmak için uygundurlar. Normalde 1-2 m<sup>2</sup> kurutma alanı ve 10-20 kg kapasitelerde inşa edilirler (Belessiotis ve Delyannis 2011). Kabin kurutucularının en bilinen tasarımlarından biri Kanada'daki Brace Araştırma Enstitüsü tarafından bildirilmiştir (Şekil 2.8). Kurutucu, hem tabanından hem de yanlarından izole edilmiş ve çift katmanlı şeffaf bir kapak ile örtülmüş bir kabinden oluşmaktadır. Kurutucu için yaklaşık 80°C'yi aşan kurutma sıcaklıkları rapor edilmiştir (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017).



**Şekil 2.8.** Tipik bir doğal konveksiyonlu kabin kurutucu tasarımı (Ekechukwu ve Norton 1999).

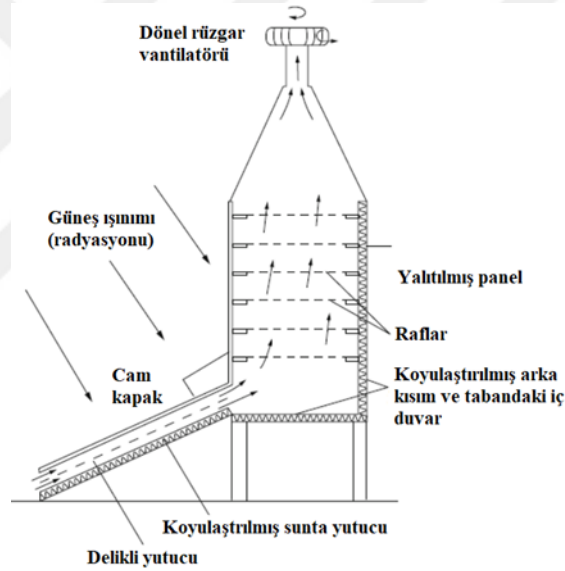


**Şekil 2.9.** Kutu tipi güneş kurutucunun şematik çizimi. (1) Kurutma odası. (2) Yeterli hava akışını sağlamak için baca. (3) Şeffaf erişim kapağı. (4) Plastik ağ tepsiler. (5) Hava girişi (Banout vd., 2008).

Kabin (dolap) tipi kurutucunun çeşitli yiyeceklerin kurutulmasında faydalı olması nedeniyle tavsiye edilmektedir. Dolap kurutuculara çok benzer tasarım, kutu tipi bir güneş kurutucudur. Kutu tipi güneş kurutucular genellikle doğrudan güneş enerjili kurutucular olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.9). Dörtgen kutu, şeffaf kapak ve ürün için tepsilerden meydana gelmiştir. Güneş radyasyonu şeffaf kapaktan iletilmekte ve siyah boyalı bir iç soğurucu üzerinde emilmektedir. Kurutucunun içindeki sıcaklık enerji birikmesinden dolayı artmaktadır. Kurutucu içerisindeki sıcaklık yükseldikçe soğuk hava ön paneldeki girişlerden kurutucuya girmekte ve sıcaklık farkından oluşan hava akımı nedeniyle kurutucu çıkışlarından dışarı çıkmaktadır. Böylece kurutucuda bulunan ürün üzerinde sürekli bir hava akışı sağlanmaktadır. Bu tip güneş kurutucuları, 10 ila 15 kg arası küçük miktarlarda meyve ve sebzeler için tasarlanmıştır (Janjai ve Bala 2012; Banout, 2017).

### 2.7.3. Kurutma odalı kurutucular

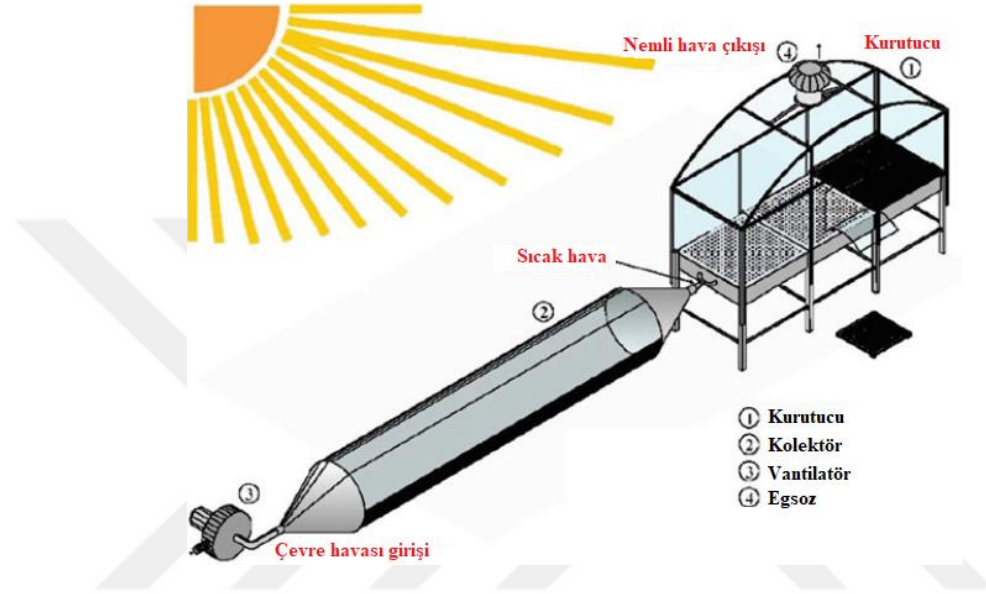
Kurutma odalı kurutucular, güneş kurutucuları arasında oldukça geniş bir yer tutarlar. Bu tip kurutucularda, kurutma odası ve güneş kolektör (toplayıcı) bir birinden ayrı bir şekilde tasarlanmıştır. Bu tip kurutucular genellikle dolaylı ve/veya karma tip güneş kurutucular olarak sınıflandırılmaktadırlar. Küçükten büyük ölçekli ünitelere kadar geniş bir kapasite yelpazesine sahip pasif veya aktif kurutucular olarak inşa edilebilmektedirler. Küçük ölçekli uygulamaya örnek olarak, güneş ve rüzgârla havalandırılan karma tip bir güneş kurutucu Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Kurutma havası, bacanın tepesine yerleştirilen rüzgâr enerjili dönel vantilatör ile kurutma odasından çekilmektedir. Damper, kurutma sıcaklığını ve hava akış hızını kontrol etmek için kullanılmaktadır (Banout, 2017).



**Şekil 2.10.** Rüzgarla havalandırılan bölmeli güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton 1999).

Döner raflı kurutma odası olan bir güneş kurutma sistemi Fudholi ve ark. (2015) geliştirmişlerdir. Bu kurutma sistemi, cebri konveksiyonlu dolaylı tip olarak sınıflandırılmaktadır. Güneş kurutucu, bir yardımcı ısıtıcı, hava üfleyiciler, döner raflı kurutma odası ve geri geçişli V-oluklu güneş kolektöründen meydana gelmektedir. Bu kurutucu, 24 kg kırmızıbiber üzerinde test edilmiştir (Banout, 2017).

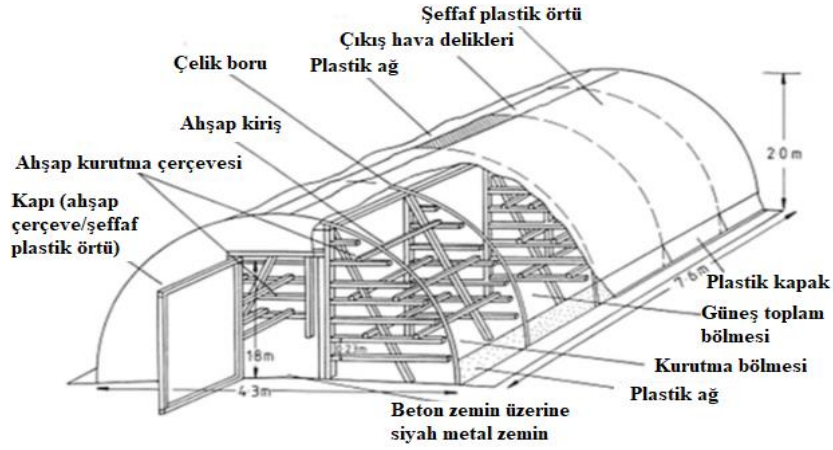
Bir başka oda tipi kurutucu, Weiss ve Buchinger (2005) tarafından tasarlanmıştır. Bu kurutucu, zorlanmış hava çalışmaktadır. Bu kurutucu tipi Brezilya'da muzun kurutulması için kullanılmaktaydı. Kurutucu, silindirik şekilde esnek PVC toplayıcıya sahiptir. Kolektör, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi şeffaf kurutma odasına bağlanmaktadır (Banout, 2017).



Şekil 2.11. PVC folyo toplayıcı ve şeffaf hazneli Brezilya muz kurutucusu (Weiss ve Buchinger, 2005).

#### 2.7.4. Sera tipi kurutucular

Sera tipi kurutucuları ya doğrudan güneş enerjili kurutucular ya da bazen karma tip kurutucular olarak sınıflandırılabilirler. Sera tipi kurutucuları düşük maliyetli, imalatı kolay ve tasarımı basittir. Bu, dünyanın herhangi bir yerinde uygulanabilmektedir. Hava dolaşımı durumuna bağlı olarak, sera kurutucuları iki tipe sınıflandırılmaktadır: (i) pasif durumda sera kurutucu (doğal konveksiyon) ve (ii) aktif durumda sera kurutucu (zorunlu konveksiyon) (Prakash ve Kumar 2014; Banout, 2017).



**Şekil 2.12.** Doğal sirkülyasyonlu sera kurutucusu (Ekechukwu ve Norton 1999).

Sera tipi kurutucusunun tipik tasarımı Şekil 2.12'de gösterilmektedir. Orijinal sera yapılandırması, zeminde siyah galvanizli demir levha emiciye, kurutucusunun her iki tarafının tüm uzunluğu boyunca hava girişlerine ve kurutucusunun üst kısmı boyunca hava çıkışlarına izin verecek şekilde düzenlenmiştir. Ürünü böceklere ve toza karşı korumak için her iki çıkış da ince plastik ağı ile donatılmıştır (Banout, 2017).

Şeffaf polikarbonat ile kaplanmış bir başka tür zorlanmış dolaşimli sera kurutucusu Şekil 2.13'da görülmektedir. Bu tip kurutucularda, ahşap odaya yerleştirilen tepsilerden ısınan hava geçmektedir. Tepsilerden düzenli bir hava akışı sağlamak için yığın bölmesinin arka tarafına bir üfleyici fanlar yerleştirilmektedir (Banout, 2017).



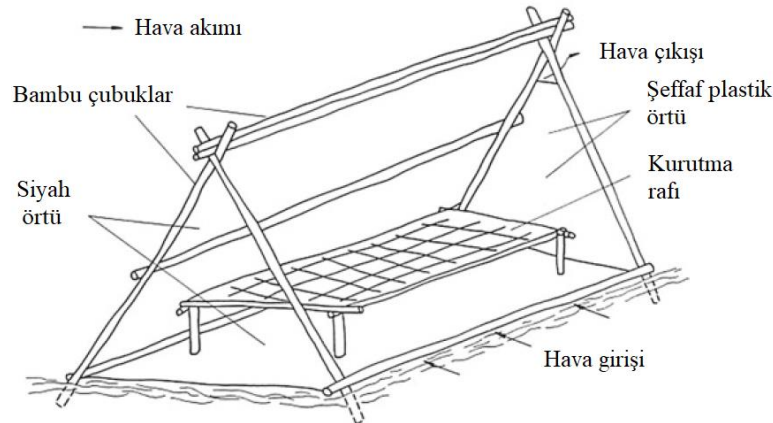
**Şekil 2.13.** Kamboçya'daki Kraliyet Tarım Üniversitesi'ne kurulan güneş enerjisi sera kurutucusu (Fotoğraf: J. Banout).

Sürekli üretim, ürün işleme kısmen mekanize edildiğinden daha düşük işçilik maliyeti, sabit bir termal verimlilik sağlamak için kolayca takılabilen geleneksel bir ısıtıcı kullanma imkânı sunması bu tip kurutucunun ana avantajlarıdır. Ayrıca kurutucu olarak kullanılmadığında küçük üretimler için sera olarak kullanılabilir bir kurulumdur (Banout, 2017).

Yapılan çalışmalarda tek ve çift odacıklı sistem olmak üzere iki tür zorlanmış hava dolaşımı sera kurutucularının buharlaşma oranını araştırılmıştır. Aynı kurutma alanı için, çift odalı sera kurutucunun üretkenliği, tek odalı kurutucuya kıyasla %87 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. (Condori ve Saravia, 1998; Banout, 2017).

### 2.7.5. Polietilen çadır kurutucular

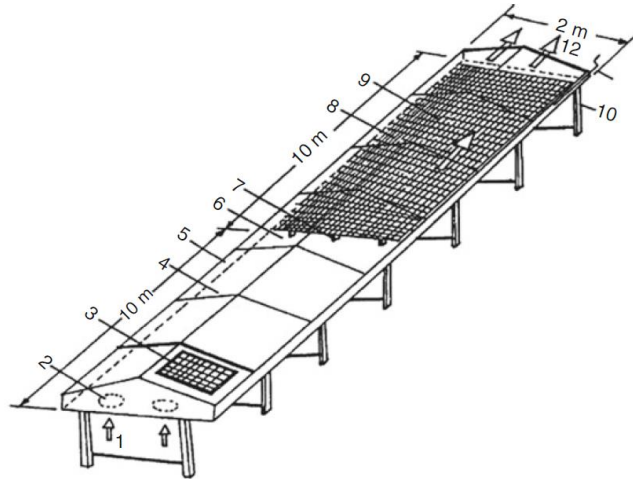
Bir yönüyle polietilen çadır kurutucular, pasif güneş kurutucularının en ilkel yapılarını temsil etmektedirler. Yerel olarak mevcut malzemelerden inşa edilmeleri kolaydır, düşük maliyetlidir ve genişlemezler. Verimliliği, zorlanmış hava dolaşımı kurutucularına göre sınırlıdır. Polietilen çadır kurutucu Şekil 2.14'te gösterilmektedir. Kurutucu, güneşe bakan tarafında şeffaf polietilen örtü ile kaplı basit bir bambu çerçeveden oluşmaktadır. Geri kalan taraflar, güneş radyasyonunun emilimini artıran siyah polietilen levha ile kaplıdır. Bölmedeki hava akışını kontrol etmek için, ön tarafın altındaki şeffaf plastik kapak bir bambu çubuğun etrafına sarılmıştır ve bu ayarlanabilmektedir. Uçların tepesindeki açıklıklar, nemli egzoz havası için çıkış görevi görmektedir (Ekechukwu ve Norton 1999; Banout, 2017).



Şekil 2.14. Polietilen çadır pasif güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton, 1999).

## 2.7.6. Tünel tipi kurutucular

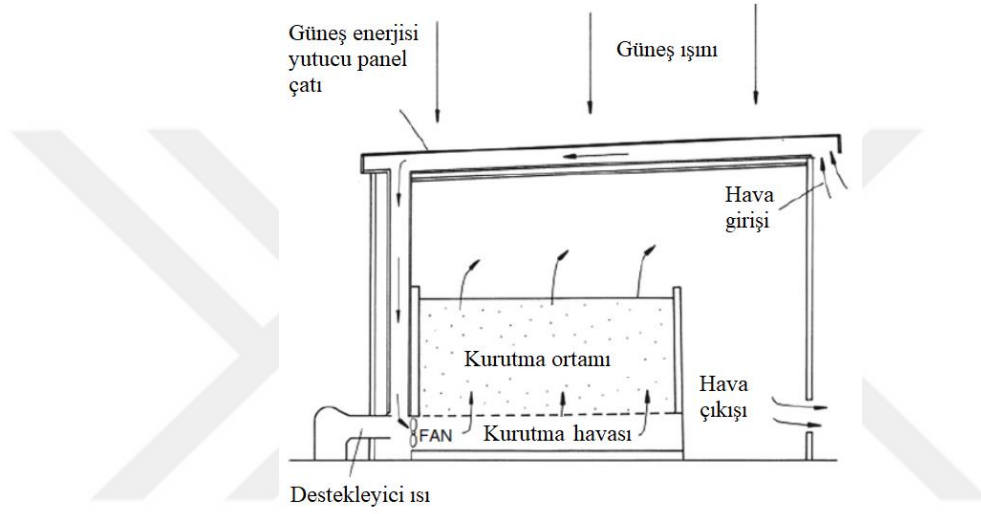
Tünel tipi kurutucu, düz plakalı bir hava ısıtmalı toplayıcı, bir tünel kurutma odası ve kurutulmuş ürün üzerinde düzenli bir hava akışı sağlamak için küçük fanlardan meydana gelmektedir (Schirmer vd.,1996). Bu donanımlar, Şekil 2.15'te gösterildiği gibi seri bağlanmıştır. Şeffaf plastik levha hem toplayıcıyı hem de kurutma bölmesini kapatmak için kullanılmaktadır. Kolektör kısmındaki yutucu siyaha boyanmıştır. Kurutulacak ürünler, tünel kurutucunun haznesindeki plastik tepsiler üzerine ince bir tabaka halinde yerleştirilmiştir. Kurutucudan ısı kaybını azaltmak için yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Tünel kurutucunun tamamı, yükseltilmiş bir platforma yatay olarak kurulmuştur. Gerekli akış hızındaki hava, bir fotovoltaiik panel tarafından çalıştırılan iki DC fan tarafından sağlanmaktadır. Şeffaf kapak, yağmurlu havalarda kurutucunun içine su girişini önlemek için eğimli çatı olarak tasarlanmıştır. Güneş radyasyonu doğrudan kolektörün şeffaf polietilen tabakasından geçmekte ve soğurucuyu ısıtmaktadır. Ortam havası kolektörden geçmeye zorlanmaktadır. Kolektör kısmındaki yutucudan iletilen ısı, hazne içerisindeki ürün üzerinden geçerek, kurumuş malzemeden nemi emmektedir. (Balavd., 2003). Kurutucu, ananas, muz, balıketi ve diğerleri gibi geniş tarım ürünlerinin kurutulması için kullanılmaktadır (Banout, 2017).



**Şekil 2.15.** Tünel tipi kurutucu: (1) hava girişi, (2) fan, (3) güneş modülü, (4) güneş kolektörü, (5) yan metal çerçeve, (6) kolektör çıkışı, (7) ahşap destek , (8) plastik ağ, (9) plastik kapağı desteklemek için çatı yapısı, (10) tünel kurutucuyu desteklemek için taban yapısı, (11) haddemeleme çubuğu, (12) kurutma tüneli çıkışı (Bala vd., 2003).

### 2.7.7. Ev tipi kurutucular

Ev tipi güneş kurutucular, genellikle yüksek kapasiteli tarım ürünlerinin kurutulmasının yanı sıra kerestenin kurutulması için büyük ölçekli olarak inşa edilir. Bu tasarımlarda, güneş ışını kollektörü çoğu zaman kurutma odasının çatısının ve/veya duvarının ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Ev tipi güneş kurutucunun tipik tasarımı, bir güneş kollektörlü çatı kurutucusu Şekil 2.16'de gösterilmektedir (Banout, 2017).



Şekil 2.16. Çatı kollektörlü aktif güneş kurutucu (Ekechukwu ve Norton 1999).

### 3. MATERYAL VE METOT

Kurutma cihazı meyve ve sebzelerin güneş enerjisiyle kurutulması için tasarlanmıştır. Ancak sistemin kurutma performansını değerlendirmek için yurdumuza ait yöresel lezzetlerimizden damak tadı güzel olan sağlığımız için oldukça faydalı Mürdüm erik meyvesini kurutma materyali olarak kullanılmıştır.

#### 3.1. Kurutma Sıcaklığı ve Numuneden Dışarı Atılan Nem Miktarı

##### 3.1.1. İlk nem içeriğinin tayini

Tasarımın bu aşamasında kurutma materyali olarak seçilen erik türlerinden olan Mürdüm erik meyvesinin etüv cihazı yardımıyla yaş esaslı nem içeriğini bilmemiz gerekmektedir. Etüv cihazında kurutma işlemi ile erik meyvesinin nem içeriğini hesaplayabilmek için aşağıdaki işlem sırası şu şekildedir:

- 1) Mürdüm erik meyvesi yıkanır, kurulanır, ikiye bölünür ve çekirdeği çıkarılır.
- 2) İlk kütle olarak 50g kurutma numunesi olarak alınır.
- 3) Numuneler bir metal bir kap ile yerleştirilir.
- 4) Kap ile birlikte etüv cihazına yerleştirilir.
- 5) Etüv işlemi 100°C sıcaklıkta gerçekleştirilir (Gail, 1996).

Etüv cihazında kurutma işlemi ile erik meyvesinin ilk kütlesi 50 gram iken son kütlesi 7,5 gram olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu veriler ile materyalin yaş bazdaki nem içeriği aşağıda hesaplanmıştır. Şekil 3.1 (a)'da kurutulan numunelerin ilk hali ve (b)'de ise son hali gösterilmektedir.



Şekil 3.1. (a) Etüv cihazında kurutulmuş numunelerin ilk hali, (b) Etüv cihazında kurutulmuş numunelerin son hali.

### 3.1.2. Etüvde kurutma sonuçlarının analizi

Etüv cihazında kurutulmuş numunenin ilk kütlesi,  $m_i = 50g$  ve son kütlesi,  $m_f = 10,7g$  şeklindedir.

#### a) Etüvde işleminde numunenin nem veya su kaybı

Buna göre etüv cihazında kurutma yoluyla atılan su kütlesi,  $m_{p,w}$  (kg) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$m_w = m_i - m_f \quad (3.1)$$

$$m_{p,w} = m_i - m_f = 50g - 10,7g = 39,3g$$

#### b) Etüv işleminde numunenin nem içeriği

Etüvde kullanılan numunenin yaş baza göre nem içeriği Eşitlik 3.5'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$MC_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_{dp}} = \frac{m_w}{m_t} 100 = \frac{39,3}{50} \times 100 = \%78,6$$

Mürdüm yaş erik meyvesinin literatürdeki yaş bazda %78,3 nem içeriği ile etüv cihazında yapılan kurutma işleminde elde edilen yaş bazda %78,6 nem içeriğinin çok az bir farkla uyumlu olduğu görülmektedir.

Kuru baza göre nem içeriği Eşitlik 3.6'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$MC_{db} = \frac{m_w}{m_{dp}} = \frac{39,3}{10,7} = 3,67$$

## 3.2. Kurutma Modeli

### 3.2.1. Tasarım koşulları

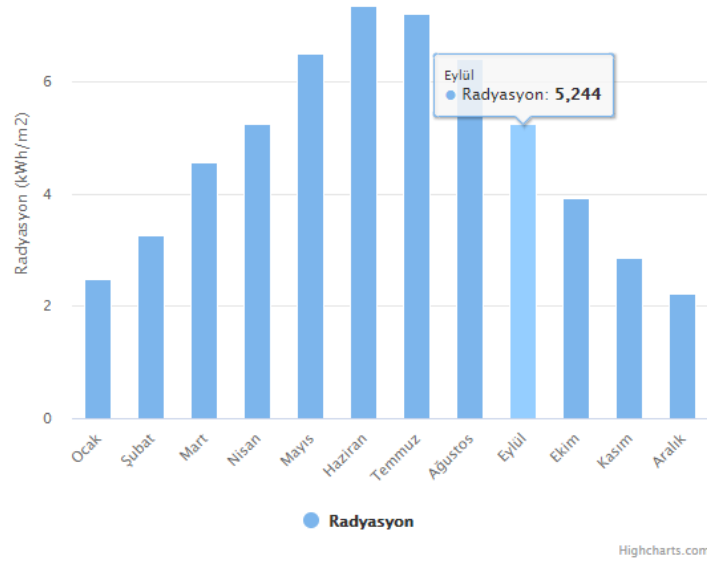
Güneş enerjili kurutma işleminin performans değerlendirmesi Adana ilinde (Türkiye) bir binanın teras katında (37° 2' 3.98" N 35°17'37" E) çevresi 120 cm duvar ile çevrelenmiş yarı korunaklı yerden 110m rakımlı yerde açık havada yapılması tasarlanmıştır. Deneysel çalışmaların yapıldığı yerden yaklaşık olarak 5,608 km uzaklıktaki Adana ili Adana ili Yüreğir ilçesi, 17351 nolu günlük klima ölçümü yapan meteoroloji istasyonunun (37°0'14.39" N 35°20' 38.3"E) meteorolojik verilerinden faydalanılmıştır (Meteoroloji, 2020).

Adana ilinde güneş 2020 yılında Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ölçülen ortalama radyasyon değerleri sırasıyla 6,479 kWh/m<sup>2</sup>, 7,331 kWh/m<sup>2</sup>, 7,191 kWh/m<sup>2</sup>, 6,399 kWh/m<sup>2</sup> ve 5,244 kWh/m<sup>2</sup> şeklindedir (Meteoroloji, 2020). Ölçülen en yüksek değeri Haziranda olmakla birlikte. Kurutulacak materyal olan Mürdüm erik meyvesinin hasadı Ağustos ayının ikinci haftasında başlayıp Eylül ayının ilk haftasına kadar devam etmektedir (Anadolu Haber, 2019). Kurutma ön işlemleri ve gerekli hazırlıkların tamamlanması için kurutma işlemi Eylül (2020) ayında yapılacak şekilde tasarım yapılmıştır. 2020 yılı Eylül ayına ait güneş radyasyonu (Şekil 3.2) kuru termometre hava sıcaklıkları (Şekil 3.3) ve bağıl nemleri (Şekil 3.4) üzerinden kurutma sistemi tasarımı yapılacaktır. Ancak deney düzeneği bir apartmanın üzerinde açık havada yapılacağı için verilere göre tahmini ortalama değerler seçilecektir.

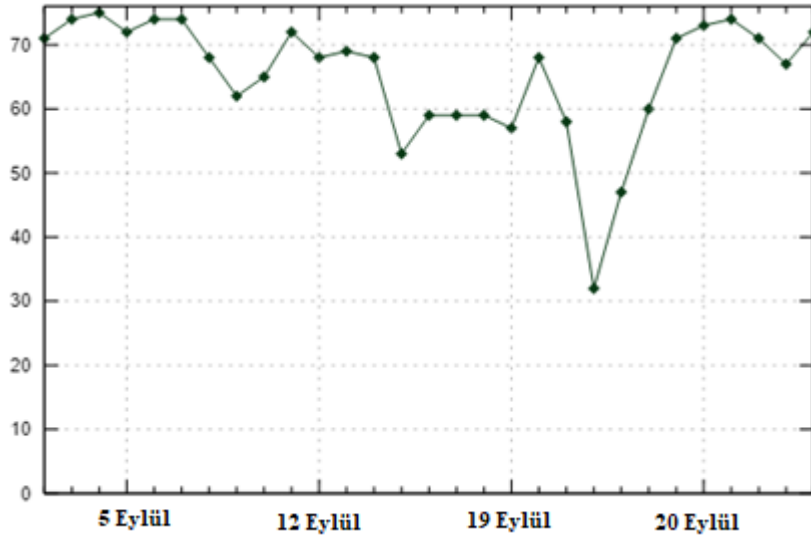
Belirtilen mevsimin başta güneş radyasyon değerleri olmak üzere kurutma için biraz daha yetersiz hale geldiğinden dolayı kurutmadan sonra yaş bazdaki nem içeriği yüksek olacağından dolayı kurutulan ürünün hazır tüketilecek (yemeye hazır yaş) yiyecek vasfında olacak bir şekilde tasarım yapılacaktır (Uysal Seçkin ve Taşeri, 2015). Buna göre kurtulmuş (kuru) erik meyvesinin yaş bazda %45 neme sahip olacak şekilde sistem tasarımı yapılmıştır. Tablo 3.1'de tasarım koşulları ve kabuller verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Tasarım koşulları ve kabuller.

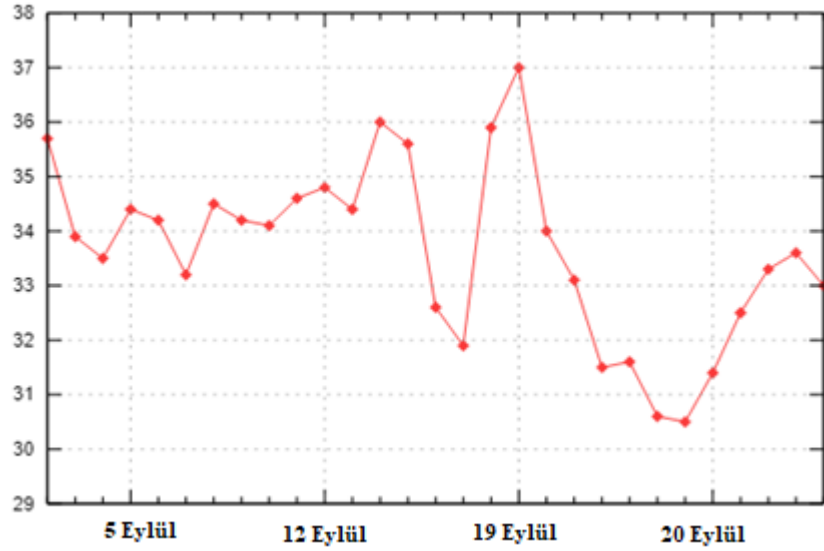
Açıklama	Birim	Koşullar ve kabuller
Konum		Adana (37.03444°N 35.29361°E)
Ürün		Erik (Mürdüm, Prunus domestica L.)
Kurutma dönemi		Ağustos-Eylül
Parti başına yükleme hızı, $m_{ü,i}$	kg	3
İlk nem içeriği, $MC_{yb,i}$	%	78,6
Son nem içeriği, $MC_{yb,f}$	%	45
Ortam (çevre) sıcaklığı, $T_{ort}$	°C	30
Ortam bağıl nemi, $RH_{ort}$	%	50
En fazla sıcaklık, $T_{max}$	°C	55
Kabin sıcaklığı, $T_{kabin}$	°C	37,5
Kabin bağıl nemi, $RH_{kabin}$	%	60
Kurutma süresi (güneşlenme), $t_k$	h	10
Gelen güneş radyasyonu, $I_T$	MJ/m <sup>2</sup> /gün	5244
Ortalama rüzgâr hızı, $V_{rüz,ort}$	m/s	1,56
Kolektör etkinliği, $\eta_e$	%	80
Ortalama ürün kalınlığı, $k_{ü}$	mm	15
Kolektör eğim açısı, $\beta$	°	0



Şekil 3.2. Adana ili 2004-2018 yılları arasında radyasyon değerleri (Meteoroloji, 2020).



Şekil 3.3. Adana ili 2019 yılı Eylül ayı günlük bağıl nem ortalamaları (weatheronline, 2020).



**Şekil 3.4.** Adana ili 2019 yılı Eylül ayı günlük kuru termometre hava sıcaklıkları (weatheronline, 2020).

### 3.2.2. Denge bağıl nemi

Sorpsiyon izoterm eşitliğine göre denge bağıl nem,  $RH_e$  (%) değerini hesaplamak için ilk önce su aktivasyonu ( $a_w$ ) değerini aşağıdaki gibi Eşitlik 3.2'e göre hesaplanmaktadır (Toniu, 2014):

$$a_w = 1 - \exp[-\exp(0.914 + 0.5639MC_{db,f})] \quad (3.2)$$

$$a_w = 1 - \exp[-\exp(0.914 + 0.5639 \times 0,8182)]$$

$$a_w = 0,9791$$

$RH_e$  değeri Eşitlik 3.3'e göre hesaplanabilmektedir:

$$RH_e = 100a_w \quad (3.3)$$

$$\%RH_e = 100 \times 0,9197 = 91,97$$

### 3.2.3. Kurutma İçin Gerekli Hava Miktarı

Higroskopik (nemçeker) malzemeler, kapalı kılcallarda hapsolmuş su, meyve sularının su bileşeni veya yüzey kuvvetleri tarafından emilen suya (serbest su) ve ayrıca suyun kendisinin yüzey gerilimi tarafından malzeme içinde tutulan bağlanmamış su şeklinde

bağlı neme (bağlı su) sahiptir. Suyun bir yüzeyden çıkarılması için suyun gizli buharlaşma ısısına eşit miktarda ısıya ve ayrıca üretilen su buharını uzaklaştırmak için yüzeyden geçen bir hava akımına gereksinim vardır.

Hesaplamalarda kabin sıcaklık değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Kabin sıcaklığı hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması kabul edebiliriz (Ali ve El-Sharabasy, 2012).

Kabinde kurutulan ürün sıcaklığı,  $T_c$  (°C) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$T_c = (T_{c,i} - T_{c,f})/2 \quad (3.4)$$

burada,  $T_{c,i}$  ve  $T_{c,f}$  sırasıyla kabin giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C) şeklindedir.

Ürün kurutma sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra su buharlaşmaya başladığında, buharlaşması için gereken ısı,  $Q_{vap,w}$  (kJ) aşağıda gibi yazılabilir:

$$Q_{vap,w} = m_{loss}L_{vap,w} \quad (3.5)$$

burada, sırasıyla  $m_{loss}$ , üründen buharlaşan suyun kütlesi (kg) ve  $L_{vap,w}$  serbest suyun buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg) şeklindedir.

Buharlaşma ısı havanın duyulur ısınmasında artışa neden olmaktadır. Havanın duyulur ısı,  $Q_a$  (kJ) artışı aşağıdaki ifade edilir:

$$Q_a = \rho_a V_a C_{p,a} (T_{c,o} - T_c) \quad (3.6)$$

burada, sırasıyla  $\rho_a$ , havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),  $V_a$ , ürünün üzerinden geçirilen havanın hacmi (m<sup>3</sup>),  $C_{p,a}$ , havanın özgül ısısı (kJ/kgK),  $T_c$ , kabin havasının ve  $T_{c,o}$ , çıkan havanın sıcaklığı (°C) şeklindedir (Sharma vd., 1986).

Havanın kütlesi Eşitlik 3.4'e göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q_a = m_a C_{p,a} (T_{c,o} - T_c) \quad (3.7)$$

burada,  $m_a$ , ürünün üzerinden geçirilen havanın kütlesi (kg) şeklindedir.

Suyun buharlaşması için gereken enerji miktarı ile havanın duyulur ısı miktarı birbirine eşit olacaktır. Buna göre;

$$Q_{vap,w} = Q_a \quad (3.8)$$

$$m_{su,l}L_{su,l} = m_i C_p (T_{c,o} - T_c) \quad (3.9)$$

Suyun buharlaşması için gerekli olan hava miktarı,  $m_a$  (kg) aşağıdaki gibidir:

$$m_a = \frac{C_{p,a}(T_{c,o} - T_c)}{m_{loss}L_{vap,w}} \quad (3.10)$$

İdeal gaz denklemi kullanarak gerekli hava debisinin bulunması mümkündür:

$$P_a V_a = m_a R_a T_a \quad (3.11)$$

burada, sırasıyla  $P_a$  havanın basıncı (kPa),  $V_a$  havanın hacmi ( $m^3$ ),  $m_a$  havanın kütlesi (kg),  $R_a$  havanın gaz sabiti (kJ/kgK) ve  $T_a$  havanın mutlak sıcaklığı (K) şeklindedir.

İdeal gaz denklemini aşağıdaki gibi yazmak mümkündür:

$$V_a/m_{loss} = m_a/m_{loss} R_a T_a/P_a \quad (3.12)$$

$m_{loss}$ , psikrometrik tablolardan veya diyagramdan nem oranı okunabilmektedir.

Kurutma sistemine ait kurutma kabini sera gibi güneş ışınlarına maruz bırakılıyor ve havalandırması yapılıyor. Kurutulacak materyallerin ovalimsi bir şekle sahiptir. Taşıyıcı bant beyaz renktedir. Konveyör bant üzerine temas halinde yerleştirilmiştir. Kesilmiş yarım erik geometrisinden dolayı az bir yüzey alanı boş kalmaktadır. Güneş ışığına maruz kalan erik meyvesinin gerek yüzey koşullarından dolayı güneş ışınlarını soğurma oranı daha düşük olacaktır. Aşağıdaki verilere göre gerekli olan havanın kütlesi ve hacmini hesaplamamız gerekir.

$$m_{loss} = 0,611kg/kg_{y,\ddot{u}}$$

$$L_{vap,w} \cong 2412kJ/kg \text{ (Termik dengedeki kabin hava sıcaklığına göre alınmıştır)}$$

Eşitlik 5.10'a göre gerekli hava kütlesi,  $m_a$  (kg) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$m_a = \frac{m_{loss}L_{vap,w}}{C_{p,a}(T_{c,f} - T_{c,i})} = \frac{(0,611kg/kg_{wp})(2412kJ/kg)}{(1,005kJ/kgK)(45^\circ C - 30^\circ C)}$$

$$m_a = 97,76 kg_{da}$$

olarak bulunur.

İlk önce Eşitlik 3.4'e göre kabin sıcaklığını aşağıdaki gibi hesaplamamız gerekir:

$$T_c = \frac{T_{c,i} - T_{c,f}}{2} = \frac{45 - 30}{2} = 37.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_c = 273,15 + 37,5 = 310,65\text{K}$$

olarak bulunur.

Birim kütle başına kurutma için gerekli olan hava miktarı,  $V_a$  ( $\text{m}^3$ ) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$V_a = \frac{m_a R_a T_{c,a}}{P_a} = \frac{(97,76\text{kg}) \times (0,291\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}) \times (310,65\text{K})}{101,325} \cong 87,22\text{m}^3/\text{kg}_{wp}$$

Higroskopik malzemedeki bağlı suyun buhar basıncı doygunluktan daha düşük olduğu için, bağlı suyun etkisi de hesaba katılmalıdır. Ayrıca, gizli ısı değeri çok düşük buhar basıncına karşılık gelecek şekilde seçilmelidir.

Her iki yöntem ile birim kütle başına gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Buna göre;

$$m_i = 3\text{kg} \text{ ise}$$

buharlaştırma miktarına göre gerekli olan hacimsel hava debisi  $\dot{V}_a$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ):

$$V_a = 23,357\text{m}^3/\text{kg}_{wp}$$

olduğuna göre toplam hava hacmi  $V_{a,t}$  ( $\text{m}^3$ ):

$$V_{a,t} = 3\text{kg}_{wp} \times 23,357\text{m}^3/\text{kg}_{wp} = 70,071\text{m}^3 \text{ (da)}$$

Kurutma zamanı  $t_{dr}$  (h),

$$t_{dr} = 30 \text{ h}$$

Eşitlik 5.15'e göre gerekli olan hava debisi:

$$\dot{V}_a = \frac{V_{a,t}}{t_{dr}} = \frac{70,071\text{m}^3}{(30\text{h} \times 3600)\text{s}} = 6,488 \times 10^{-4}(\text{m}^3/\text{s})$$

Her iki hacimsel hava debisi ile kurutma kabininin çok amaçlı yapılmasından dolayı hacimsel debisi standart olan fan seçimi aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Standart aksiyel fan:

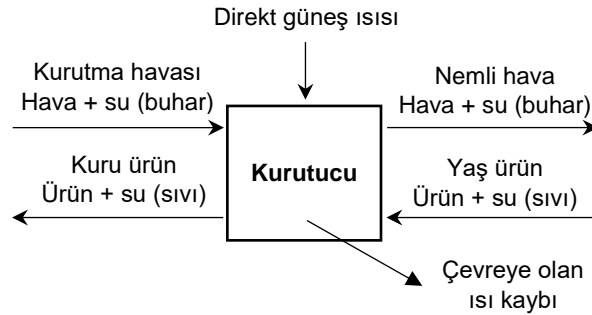
$$\dot{V}_{a,fan} = 100 \text{ m}^3/h$$

$$\dot{V}_{a,fan} = 100(\text{m}^3/h)/3600(\text{s}) = 0,0278\text{m}^3/\text{s}$$

Bu hava debisine göre fan seçilmiştir.

### 3.2.4. Kurutma için gerekli ısı enerjisi

Tasarlanan güneş enerjili kurutma sisteminde tek enerji giriş kaynağı olarak güneş radyasyonu (ışınım) tasarlanmıştır. Buna göre tasarım için enerji ve kütle deneğe denklemlerini ile enerji ve kütle hesabı yapmamız gerekmektedir. Buna göre güneş ışınımı sera tipinde kabinli kurutucunun üst kısmında cam mevcuttur. Dolayısıyla güneş ışınimleri camdan girerken, bir kısmı camdan yansırken, bir kısmı da kabin içinden geriye doğru yansımalar olacaktır. Bu gibi faydalanılamayan ışınım verimlilik hesabında değerlendirilecektir. Ayrıca güneşin etkisiyle kabin gövdesi de ısınacaktır. Kabin ısı yalıtımıyla da direk bağlantılı olan bu durum karşısında kabin iletim, taşınım ve ışınım yoluyla ısı kaybedecektir. Kurutma için gerekli olan hava bir aksiyel fan yardımıyla sağlanacaktır. Dış ortamdan alınan hava kendine ait termodinamik özellikler ile birlikte kabin içine emilecek ve burada kuruyan materyalden difüzyon yoluyla atılan su buharıyla birlikte dışarıya fan yardımıyla atılacaktır. Bütün bu işlemlerin tasarım için modellenmesi gerekmektedir. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi hesaplamalarda kurulacak kütle ve enerji denklemleri için şematik güneş kurutma sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Kurutma sisteminin kütle ve enerji giriş ve çıkışlarını gösteren şematik şekli.

Enerji balansı, kazanılan toplam ısının, güneş kolektörünün ısı soğurucusu tarafından kaybedilen toplam ısıya eşitlenmesi ile elde edilir. Bu nedenle,

$$AG = Q_{yarar} + Q_{iletim} + Q_{taşınım} + Q_{ışınım} \quad (3.13)$$

burada, sırasıyla  $A$  kurutucunun üstten kesit alanı ( $m^2$ ),  $G$  güneşten gelen ışınım yoğunluğu ( $MJ/m^2gün$ ),  $t$  zaman (gün),  $Q_{yarar}$  hava tarafından toplanan yararlı enerji,  $Q_{ışınım}$  soğurucudan gelen yeniden ışınım (kJ),  $Q_{iletim}$  ve  $Q_{taşınım}$  soğurucudan gelen iletim ve taşınım kaybı (kJ) şeklindedir.

Kayıp enerji,  $Q_{kayıp}$  (W) iletim, taşınım ve ışınım yoluyla kaybedilen toplam enerjidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q_{kayıp} = Q_{iletim} + Q_{taşınım} + Q_{ışınım} \quad (3.14)$$

burada,  $Q_{iletim}$  iletim ile kaybedilen ısı miktarı (kJ),  $Q_{taşınım}$  taşınım ile kaybedilen ısı miktarı (kJ) ve  $Q_{ışınım}$  ışınım yoluyla kaybedilen ısı miktarı (kJ) şeklindedir.

İletim ve taşınım ile oluşan ısı transferini aynı ifadede toplamak mümkündür. Buna göre ısı transferi,  $Q_{trans}$  (kJ) aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$Q_{trans} = Q_{iletim} + Q_{taşınım} \quad (3.15)$$

Kabinin yan duvarları ve tabanından ısı kaybı:

#### a) Isı transferi yoluyla

Yüzeylerin toplam ısıl direnci,  $R$  ( $^{\circ}C/W$ ) aşağıdaki hesaplanır:

$$\sum R = \Delta T / \left( \frac{1}{h} A + \frac{b}{k} A \right) \quad (3.16)$$

burada,  $\Delta T$  kabin ve ortam arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ ),  $h$  yüzey ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2^{\circ}C$ ),  $A$  yüzey alanı ( $m^2$ ),  $b$  duvar kalınlığı (m) ve  $k$  çeperin ısı iletim katsayısı ( $W/m^{\circ}C$ ) şeklindedir.

Kabin ve ortam veya kabin giriş sıcaklığı arasındaki fark,  $\Delta T$  aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\Delta T = T_{c,s} - T_{c,i} \quad (3.17)$$

burada,  $T_{c,s}$  ve  $T_{c,i}$  sırasıyla kabin yüzey alanı ve kabin giriş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) şeklindedir.

Yukarıdaki denklemleri yan ve taban çeperlerine ait değerlerini yerine koyarsak, yan yüzey ve taban ısı transferi,  $Q_{trans}$  (W) kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q_{trans} = \frac{\Delta T_{yan}}{\sum R_{yan}} + \frac{\Delta T_{taban}}{\sum R_{taban}} \quad (3.18)$$

burada,  $\Delta T_{yan}$  ve  $\Delta T_{taban}$  yan yüzey ve taban çeperlerinin sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\sum R_{yan}$  ve  $\sum R_{taban}$  yan yüzey ve taban çeperlerinin toplam ısı dirençleri ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) şeklindedir.

### b) Işınım yoluyla

Yan ve taban yüzeyinden ışıınım yoluyla ısı kaybı,  $Q_{ışıınım}$  (W) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{ışıınım} = \varepsilon \sigma (A_{c,yan} + A_{c,taban}) (T_{c,s}^4 - T_{amb}^4) \quad (3.19)$$

burada,  $\varepsilon$  yüzeyin yayma katsayısı,  $\sigma$  Stefan-Boltzman sabit ( $5.670 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$ ),  $A_{kabin,yan}$  ve  $A_{c,yan}$  kabin yan ve taban yüzey alanı ( $\text{m}^2$ ),  $T_{yüzey}$  ve  $T_{amb}$  yüzey ve çevre sıcaklığı (K) şeklindedir.

Yukarıdaki hesaplamalardan sonra ısı transferi ve ışıınım yoluyla oluşan kayıplar aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$Q_{kayıp} = Q_{trans} + Q_{ışıınım} \quad (3.20)$$

Bu tasarım aşamasında kurutma sistemin küçük seçileceğinden ve yalıtımın iyi olduğu kabulünden dolayı kabinden oluşacak ısı transferleri ve ışıınım dikkate alınmayacak ve hesaba katılmayacaktır.

Yararlı ısı ürünün ısınma ısısı ve suyun buharlaşma ısısı şeklinde iki ısı yüküne sahiptir.

Ürünün ısınma ısısı,  $Q_p$  (kJ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_p = m_{wp} C_p \Delta T \quad (3.21)$$

burada,  $m_{wp}$  kurutulacak yaş ürünün kütlesi (kg),  $C_p$ , yaş ürünün özgül ısısı (kJ/kgK) ve  $\Delta T$  (Eşitlik 3.17) üründeki sıcaklık yükselmesi ( $^{\circ}C$ ) şeklindedir.

Buharlaştırma ısısı,  $Q_{vap,w}$  (kJ) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Q_{vap,w} = m_{loss}L_{vap,w}$$

Yaralı ısı,  $Q_u$  (kJ) aşağıdaki gibi ürün ve kurutma ısısının toplamına eşittir.

$$Q_u = Q_{pr} + Q_{vap,w} \quad (3.22)$$

$$Q_u = m_{wp}C_p\Delta T + m_{loss}L_{vap,w} \quad (3.23)$$

### 3.2.5. Kolektör yüzey eğim açısı ve toplam ışıma

Fotovoltaik modül performansı kadar güneş kolektörü kadar yatay düzleme olan eğim açısı ( $\beta$ ) önemli bir faktördür. Çünkü eğim açısı, modüllerin yüzeyinden alınan güneş enerjisi miktarını değiştirmektedir (Nguimdo ve Noumegnie, 2020).

Eğimli yüzey üzerine karşılık gelen toplam ışıma ( $I_T$ ) Eşitlik 3.24'de verilmiştir:

$$I_T = R_T I \quad (3.24)$$

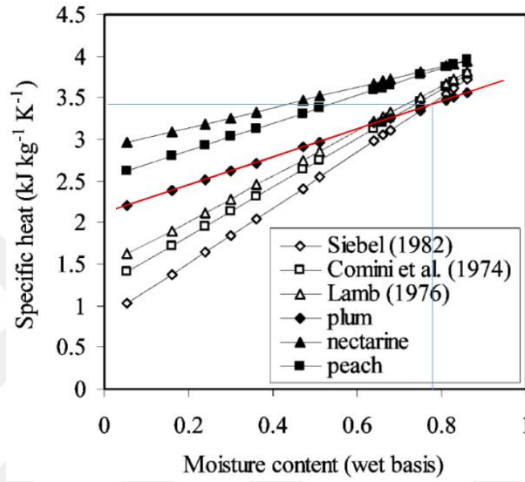
burada,  $R_T$  radyasyon dönüşüm faktörü (1.0172) ve  $I$  yatay yüzeydeki güneş ışınımı ( $W/m^2$ ) şeklindedir.

### 3.2.6. Kolektör (yutucu yüzey) alanının hesabı

Belirli miktarda taze erik meyvesini kurutmak amacıyla yeterli güneş enerjisi toplamak için gereken alanı hesaplamamız gerekirse, buharlaşacak su kütlesini ve suyun belirli gizli buharlaştırma ısını bilmemiz gerekmektedir. Günlük üniteye düşen küresel güneş radyasyonu miktarı ve kurutma ünitesinin verimliliği kavramını iyi bilmemiz gerekecektir.

1 kg yaş erikten uzaklaştırılan su miktarı  $m_{loss} = 0,611kg$  olduğu hesaplamıştık. Ancak burada birim kütle yerine toplam kütle ile hesaplama yapmamız

gerekmektedir. Tasarlanan kurutma ünitesi 3 kg kapasitelidir. Buna göre toplam buharlaştırılacak su kütlesi  $m_{loss,t} = 0,611kg/kg_{wp} \times 3,0 kg_{wp} = 1,833kg_w$  olacaktır. Ayrıca kabin içi sıcaklığının giderek artan değerde olduğunu düşünürsek kabin içi sıcaklığı ortalama  $37,5^\circ C$  kabul edebiliriz. Bu sıcaklığa göre  $L_{vap,w} = 2412kJ/kg$  olduğuna göre üründen kurutma suretiyle atılan bu suyun uzaklaştırılması için gerekli ısı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:



Şekil 3.6. Çekirdekli meyvelerin kıyaslamalı özgül ısıları.

Şekil 3.6'ye göre yaş bazda ürünün nem içeriği,  $MC_{wb} = 0,786$  olduğu için ürün özgül ısı,  $C_p = 3,4 kJ/kgK$  olarak alınmıştır (Struckmann, 2008).

Eşitlik 5.26'ya göre yararalı ısı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$Q_u = m_{wp}C_p\Delta T + m_{loss}L_{vap,w}$$

$$Q_u = 3kg_{wp} \times 3,4 kJ/kgK \times (37,5 - 30)^\circ C + 1,833kg \times 2412kJ/kg$$

$$Q_u = 76,5kJ + 4.421,2kJ \cong 4.500kJ$$

Kurutulacak üründeki sıcaklık artışı,  $\Delta T$  ( $^\circ C$ ) termik dengeye geldiği kabul edilerek, kabin giriş ve kabin sıcaklığı farkı olarak alınmıştır.

Eylül ayı ortalama güneş radyasyonu 5,244 kWh/m<sup>2</sup> değerindedir. Güneşlenme saati gün doğumundan gün batımına kadar yaklaşık 13 saattir. Dolayısıyla ortalama güneş radyasyonu yaklaşık 400 Wh/m<sup>2</sup> alınabilmektedir. Ancak kolektörün güneş görme (güneşin kolektör geliş açısı, bulutlanma ve yağmur) durumları da dikkate alındığında günlük ortalama küresel radyasyonunu 300 ile 320 Wh/m<sup>2</sup> değerleri arasında almayı uygun gördük. Tasarlanan kabin tipi güneş kurutucusu havalı güneş kolektör şeklinde bir çalışma şekline sahiptir. Bununla birlikte kabin üst camı yeryüzüne paralel olduğu için eğimli olan güneş kurutma sistemlerine göre 1,0172 radyasyon çevirme katsayısı da dikkate alınmamıştır ve dolayısıyla etkisi daha az olmaktadır. Bu çalışmada güneş kurutma ünitesinin verimliliğini %80 olarak öngörülmüştür (Onat ve Binark, 2003). Kurutma süresi 30 saat ve günde 8 saat güneş enerjisi alınacağını öngörülmektedir. Buna göre günlük ortalama 8 saate 3000 Wh/m<sup>2</sup> alınabileceği düşünülmüştür. 30 saat kurutma için günde 8 saat kurutma yapılırsa toplam 3 günde kurutmayı tamamlamamız gerekmektedir.

Kurutma için gerekli ısı miktarı ve güneş radyasyonuna göre kolektör yüzey alanını aşağıdaki Eşitlik (3.25) ile hesaplayabilmekteyiz:

$$Q_R = (\tau\alpha)TA_{col} \quad (3.25)$$

burada,  $Q_R$  suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarı (kJ),  $(\tau\alpha)$  kolektör verimlilik katsayıları ve  $A_{col}$  kolektör yüzey alanı (m<sup>2</sup>) şeklindedir.

Güneş radyasyon değerinin gün içerisinde değişiklik göstereceği için Eşitlik (3.26) kullanarak kolektör yüzey alanını hesaplırsak;

$$A_{col} = \frac{Q_R}{(\alpha\tau)I_T} \quad (3.26)$$

$$A_{col} = \frac{Q_R}{(\alpha\tau)I_T} = \frac{(4500kJ/3,6)Wh}{0,8 \times 3 \times 8 \times 320Wh/m^2} \cong 0,203 m^2$$

şeklinde bulunmaktadır.

Burada ürünlerin arasındaki dizilişten dolayı oluşan boşluklar ve başka ürünlerin de kurutulması için geliştirilen bu prototipin kolektör alanı  $A_{col} = 0,5 m^2$  alınmıştır.

### 3.2.7. Kolektörün boyutlandırılması

Kolektör yüzey alanı,  $A_{col}$  Eşitlik 3.26'a göre daha önceden hesaplanmıştır. Ayrıca kolektör taşıyıcı konveyör bant ile cam kaplama arasındaki,  $h_c = 150$  mm ve

kolektör genişliği,  $b_c = 550$  mm şeklinde alınmıştır. Buna göre kurutma kabini içindeki hava geçişi kesit (havalandırma) alanı,  $A_v$  ( $m^2$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A_v = b_c h_c \quad (3.27)$$

burada,  $b_c$  kolektör genişliği (m) ve  $h_c$  kolektör derinliği (m) şeklindedir.

Eşitlik 5.30'a göre kolektör havalandırma alanı:

$$A_v = b_c h_c = 0.55 \times 0.015 = 8.25 \times 10^{-3} m^2$$

olacaktır.

Kolektörün boyu,  $L_c = 1000$  mm alınmıştır.

Eşitlik 3.28'e göre seçilen kolektörün yüzey alanı,  $A_{col}$  ( $m^2$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A_{col} = b_c L_c \quad (3.28)$$

Burada,  $L_c$  kolektör boyu (m) şeklinde alınmıştır.

Eşitlik 3.28'e göre kolektör alanı:

$$A_{col} = b_c L_c = 0,55m \times 1 m = 0,55 m^2 \text{ alınmıştır.}$$

### 3.3. Kurutma Süreçleri

#### 3.3.1. Kurutma süresi

Kurutucularda ısı, sıcak havadan kurtulan materyalin yüzeyine taşınım yoluyla transfer edilmektedir. Yüzeydeki ısı materyale nüfuz etmektedir. Materyalin içindeki sıvının transferi, homojen katılarda difüzyon, granürel ve gözenekli katılarda kılcal akış, büzülmenin neden olduğu akış ve basınç gradyanları gibi çeşitli mekanizmalar ile gerçekleşmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi ısı transferi ve kütle (sıvı) transferi kurutma hızını belirlemektedir. Nem içeriği (% kuru bazda) ile işlem için gereken süre (saat) karşılaştırılarak bir kurutma eğrisi elde edilmektedir. Her kurutulan materyal kendi kurutma koşullarına göre kurutma işleminde farklılık göstermekte ve birbirinden farklı grafiksel eğrilere sahip olmaktadır. Bu eğriler ile kurutma işlemi birbirinden ayırt

edilmektedir. Kurutma hızı, kurutma işlemlerinin grafiksel olarak çizilen eğrilerinden bulunmaktadır. Diğer yandan, belirli bir ortalama son nem içeriği için, kurutma süresi, ( $t_{DT}$ ) (saat) aşağıdaki denklem ile tasarım amacıyla kolayca bulunabilmektedir:

$$L_{vap,w} \dot{m}_{wp} (MC_{db,i} - MC_{db,f}) = C p_a \dot{m}_a (T_{db,i} - T_{db,den}) t_{DT} \quad (3.29)$$

burada,  $L_{vap,w}$  buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg),  $\dot{m}_{wp}$  kurutulan materyalin kütleli debisi (kg/s),  $MC_{db,i}$  ve  $MC_{db,f}$  kuru bazdaki ürünün ilk ve son nem içeriği (%),  $C p_a$  sabit basınçta kurutma havasının özgül ısısı (kJ/kgK),  $\dot{m}_a$  kurutma havasının kütleli debisi (kg/s),  $T_{db,i}$  ve  $T_{db,den}$  kurutma havasının ilk ve denge kuru hazne sıcaklığı (°C) ve  $t_{dr}$  kurutma süresi için geçen zaman (s) şeklindedir.

$$t_{dr} = \frac{L_{vap,w} \dot{m}_{wp} (MC_{db,i} - MC_{db,f})}{\dot{m}_a C p_a (T_{db,i} - T_{db,den})} \quad (3.30)$$

Kurutma süresi için geçen zaman,  $t$  tahliye edilen kurutma havasının sıcaklığı ile denge kuru hazne sıcaklığı birbirine eşit olduğu zaman minimum olacaktır, ancak bu pratikte böyle olmamaktadır. Bu çalışmada kurutma süresi 30 saat daha önce de bahsedilen nedenlerden dolayı alınmıştır.

### 3.3.2. Özgül nem uzaklaştırma hızı

Eşitlik 2.16'a göre özgül nem uzaklaştırma, SMER (kg/kWh) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SMER = \frac{m_{loss}}{Q_T} = \frac{1,833kg}{1,25kWh} = 1,4667 kg/kWh \text{ olarak bulunur.}$$

### 3.3.3. Özgül enerji tüketimi

Eşitlik 2.17'a göre özgü enerji tüketimi, SEC (kWh/kg) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SEC = \frac{Q_T}{m_{loss}} = \frac{1,25kWh}{1,833kg} = 0,682 kWh/kg \text{ olarak bulunur.}$$

### 3.3.4. Isı kullanım faktörü

Eşitlik 2.19'ye göre sırasıyla giriş (ortam), kabin ve çıkış sıcaklıkları,  $T_{amb} = 30$  °C,  $T_c = 37,5$  °C ve  $T_o = 45$  °C olduğuna göre;

$$HUF = \frac{T_o - T_c}{T_c - T_{amb}} = \frac{45 - 37,5}{37,5 - 30} = 1 \quad \text{olarak bulunur.}$$

### 3.3.5. Performans katsayısı

Eşitlik 2.20'e göre sırasıyla giriş (ortam), kabin ve çıkış sıcaklıkları,  $T_{amb} = 30$  °C,  $T_c = 37,5$  °C ve  $T_o = 45$  °C olduğuna göre;

$$COP = \frac{Q}{W} = \frac{T_c - T_{amb}}{T_o - T_{amb}} = \frac{37,5 - 30}{45 - 30} = 0,5 \quad \text{olarak bulunur.}$$

### 3.3.6. Kurutma etkinliği

Eşitlik 2.22'e göre kurutma etkinliği giriş havası sırasıyla giriş ve çıkış bağıl nemi  $\varphi_i = 0,50$  ve  $\varphi_o = 0,60$  olduğuna göre;

$$DE = \frac{\varphi_o}{\varphi_i} = \frac{0,6}{0,5} = 1,2 \quad \text{olarak bulunur.}$$

### 3.3.7. Kurutma hızı

Kurutma hızı güneş radyasyonu ve güneşlenme süresine değiştiği için gerek gün içerisinde güneşin geliş açısı ve bulutlanma gibi etmenlerden dolayı ortalama kurutma hızını hesaplamak gerekecektir. Eşitlik 2.23'ya göre kurutma hızı:

$$\dot{m}_{dr} = \frac{m_{rw}}{dt} = \frac{1,833}{30} = 0,0611 \text{ kg}_w/h \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Tasarım hesaplamalarının genel değerlendirmemiz gerekirse, tasarım parametreleri ve hesaplama sonucu elde edilen değerler Tablo 3.'de listelenmiştir.

**Tablo 3.2.** Tasarım parametreleri.

Parametreler	Birim	Eşitlik	Değer	Kaynak
İlk nem oranı, $w_i$	kg <sub>su</sub> /kg <sub>kh</sub>	$T_{ort}, RH_{ort}$	0,013488	Psikrometrik kart
İlk entalpi, $h_i$	kJ/kg <sub>kh</sub>	$T_{ort}, RH_{ort}$	64,667	Psikrometrik kart
Denge bağıl nem, $ERH_f$	%	$MC_f$	0,80	
Son entalpi, $h_f$	kJ/kg <sub>kh</sub>	$MC_i$ ve $T_f$	102,127	Psikrometrik kart
Son nem oranı, $w_f$	kg <sub>su</sub> /kg <sub>kh</sub>	$RH_f, h_f$	0,025	Psikrometrik kart
Buharlaşan su kütlesi, $m_{su,l}$	kg	Eş. (3.6)	1,833 kg	
Ortalama kurutma hızı, $\dot{m}_{dr}$	kg <sub>su</sub> /h	Eş. (3.36)	0,0611	
Kütleli hava debisi, $\dot{m}_a$	kg/h		9,776	
Hacimsel hava debisi, $\dot{V}_{a,f}$	m <sup>3</sup> /h	Eş. (5.15)	8,722	
Toplam yararlı enerji, $Q_u$	MJ	Eş. (5.26)	4,574	
Güneş kolektör alanı, $A_c$	m <sup>2</sup>	Eş. (5.29)	0,5	
Havalandırma alanı, $A_v$	m <sup>2</sup>	Eş. (5.30)	8,23x10 <sup>3</sup>	
Basınç düşümü, $\Delta p$	Pa	Eş. (5.33)	12	Bütün sistem
Havalandırma uzunluğu, $L_v$	m	Spesifikasyon	0,7	
Havalandırma genişliği, $B_v$	m	Spesifikasyon	0,55	
Özgül nem uzaklaştırma hızı, $SMER$	kg/kWh	Eş. (3.6)	1,4667	
Özgül enerji tüketimi, $SEC$	kWh/kg	Eş. (3.30)	0,682	
Isı kullanım faktörü, $HUF$	-	Eş. (3.32)	1	
Performans katsayısı, $COP$	-	Eş. (3.33)	0,5	
Kurutma etkinliği, $DE$	-	Eş. (3.35)	1,2	

### 3.4 Kurutma Sisteminin Yapısı ve Tasarım Prosedürü

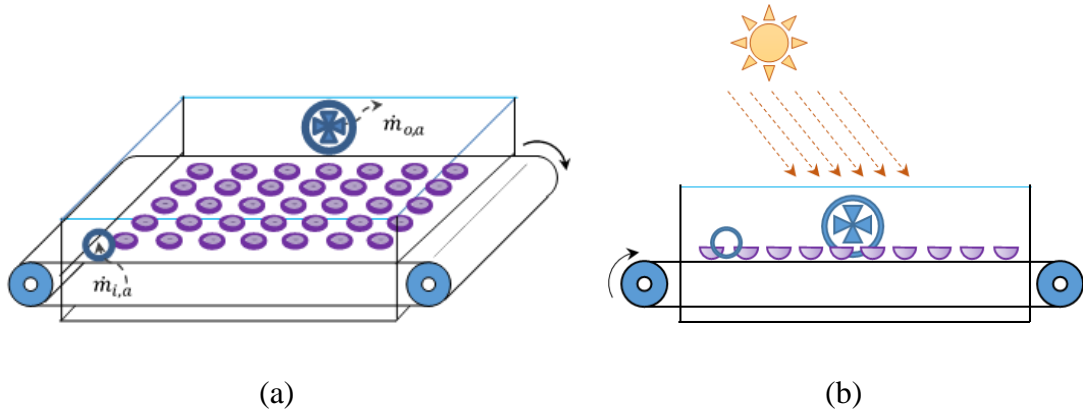
Bu çalışma, Mürdüm eriğinin olarak bilinen Japon eriği (*Prunus domestica* L.) meyvesinin fizyolojik kalitesini koruyarak kurutma işlem performansının analizi,

kurutma parametreleri açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Numune eriklerin 50 mm ortalama çapındadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kurutma numunesi olan erik ve sahip olduğu çap değeri.

Kurutma sistem temel olarak dikdörtgen prizma şeklinde bir kurutma kabini olarak tasarlanmıştır. Kurtulacak materyalin direkt güneş ışınlarına maruz bırakılması için kurutma kabininin üzeri şeffaf materyal ile kapatılmıştır (Şekil 3.8 (a) ve (b)). Kabin içerisinde gıda materyallerinin üzerine direkt olarak ulaşan güneş ışınları sayesinde ürünlerin neminin uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır.

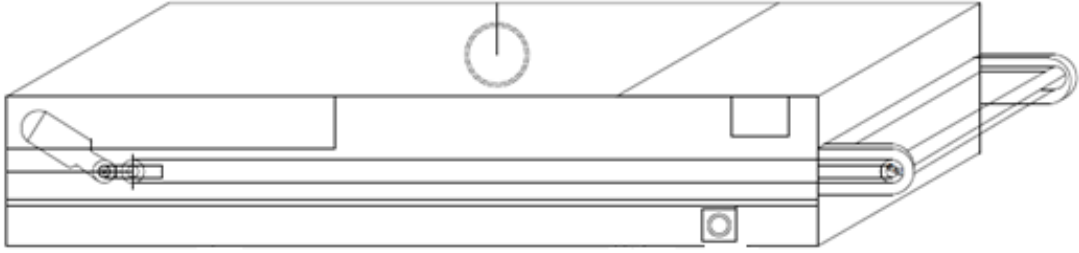


Şekil 3.8. Kurutma kabininin (a) perspektif (b) önden görünümü ( $\dot{m}_{i,a}$ :giren havanın kütleli debisi,  $\dot{m}_{o,a}$ : çıkan havanın kütleli debisi).

Ayrıca kurutulacak materyalin kurutma kabine yüklenmesi ve boşaltılması işleminin yanı sıra belli hızda taşıyıcı konveyör bandın ilerlemesine olanak sağladığı

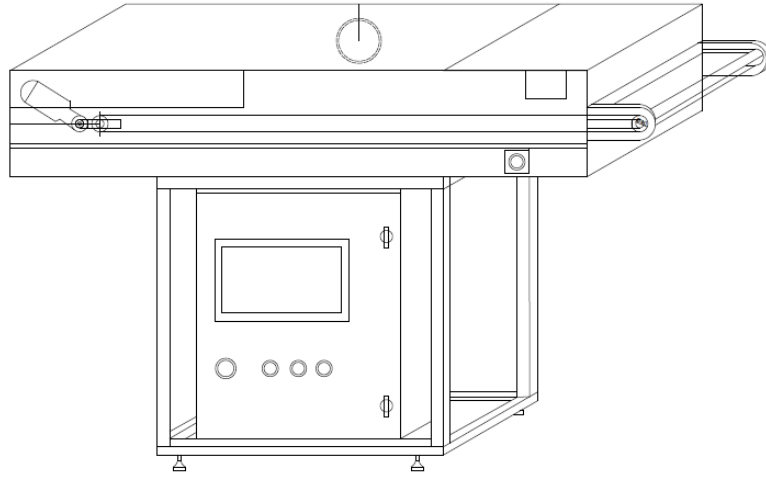
için tünel tipi kurutucularda olduğu gibi belli hızda ilerleyerek kurutma yapılması için otomasyon sistemi kurutma sistemine dâhil edilmiştir.

Etüv işleminden sonra tasarım için hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçları Tablo 3.2’de listelenmiştir. Tasarım verilerine göre kurutma sisteminin imalat ve montaj resimleri çizilmiştir. Kabine ait montaj resmi Şekil 3.9’de görünmektedir.



**Şekil 3.9.** Kurutma sisteminin kabinine ait perspektif resmi.

Kurutma sistemi gerekli tasarım verilerine göre kurutma sisteminin montaj edilmiş hali Şekil 3.10’de görünmektedir.



**Şekil 3.10.** İmalatı yapılan kurutma sisteminin perspektif resmi.

Kurutma sistemi tasarımının en önemli parçası olan kurutma kabini 2 mm sac levhalar kullanılarak imal edilmiştir. Üst tarafı kurutulacak gıdaların direkt güneş ışığına maruz kalması için şeffaf malzeme ile kaplanmıştır. Kurutma kabini ölçüleri 141

cm uzunluk, 55 cm genişlik, 15 cm yükselti olacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Kurutma ünitesi tabanına konveyör bant yerleştirilmiştir. Konveyör bandın görevi gıdaların ilk yerleşiminde ve kurutma işlemi sonunda gıda ürünlerinin tahliye işlemini kolaylaştırmaktır. Ayrıca kurutma kabini içerisindeki sıcaklık ve nem değerlerinin algılanması için iki adet sıcaklık algılayıcı ve 1 adet nem algılayıcı kullanılmıştır (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** Kurutma kabininin üstten görünüşü. (A ve B: kabin içi sıcaklık algılayıcıları, C: kabin içi nem algılayıcı, E: emiş fanı ve D: hava deliği).

Konveyör sistemi ve otomasyon üniteleri platform üzerine montajlanmıştır. Sistem üzerinde konveyör sisteminin yönüne göre sol taraftan meyveler yerleştirip sağ taraftan ise kurutulmuş meyveler tahliye edilecektir. Kurutma sisteminin ana kaidesinin imalatı için metal sac ve profiller kullanılmıştır.

Sistemde kurutulan materyalin ağırlıklarının sürekli kayıt altına alınabilmesi için özel olarak tasarlanmış bir tartım platformu tasarlanmıştır. Tartım platformu 50cm x 60cm ebatlarında olup 12 cm yüksekliğe sahiptir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ana kaidenin altında bulunan tartım ünitesin merkezine bir adet ağırlık ölçer (loadcell ünitesi) yerleştirilmiştir. Kurutma süresi boyunca kurutulan numunelerin ağırlık verilerini kaydetmek için kullanılmıştır.



**Şekil 3.12.** Tartım platformu ve ağırlık ölçerin montaj edilmiş görünümü.

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi kurutma sisteminin arka kısmında ortam havasının nemini ölçen nemölçer ve emiş fanı bulunmaktadır.



**Şekil 3.13.** Kurutma sisteminin arkasında nemölçer ve emiş fanı ile birlikte arkadan görünüşü.

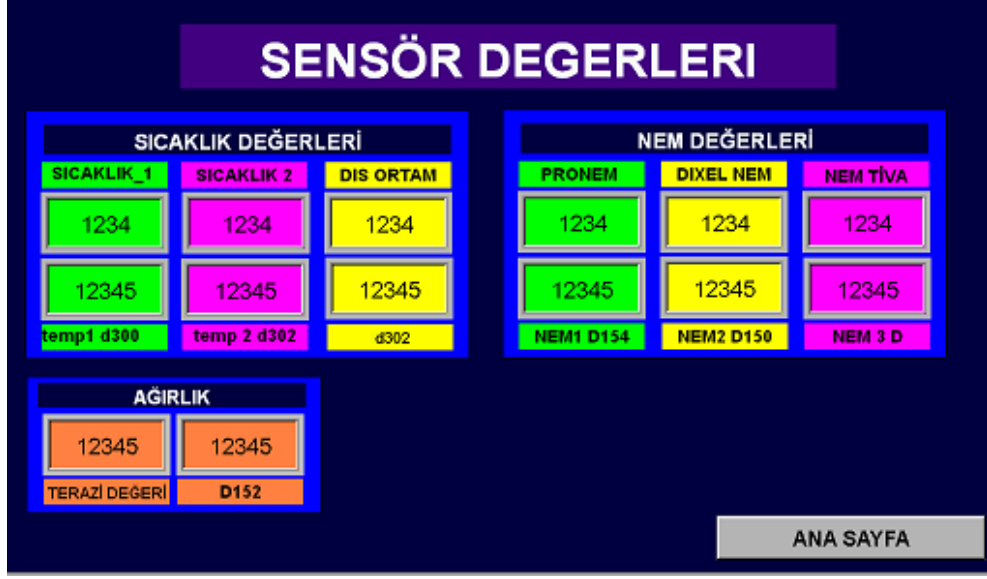
Kurutma sisteminin imalatının yapılmış hali Şekil 3.14’da görüldüğü gibi kurutma işleminin takibini yapmak için bir izleme ekranı sistem kaidesine yerleştirilmiştir. Sistemin dış ve içi sıcaklıkları ölçmek için algılayıcılar kabin içine yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.14.** Kurutma sisteminin genel görünümü.

Sistem deneysel çalışmalarında nemölçerler, sıcaklık algılayıcılar ve ağırlık ölçerler kullanılarak kurutma süresince ortamdaki tüm fiziksel değişiklikler algılanmıştır. Algılanan fiziksel değişiklikler PLC tabanlı kontrol cihazları kullanılarak 1 saniye periyodlar ile kayıt altına alınmıştır. Bu sayede kurutma işlemi boyunca tüm sıcaklık değişimleri nem ve ağırlık bilgileri izlenebildiğinden sistem çalışma performansı zamana ve çevresel faktörlere göre değişimi grafiksel olarak ifade edilebilmiştir.

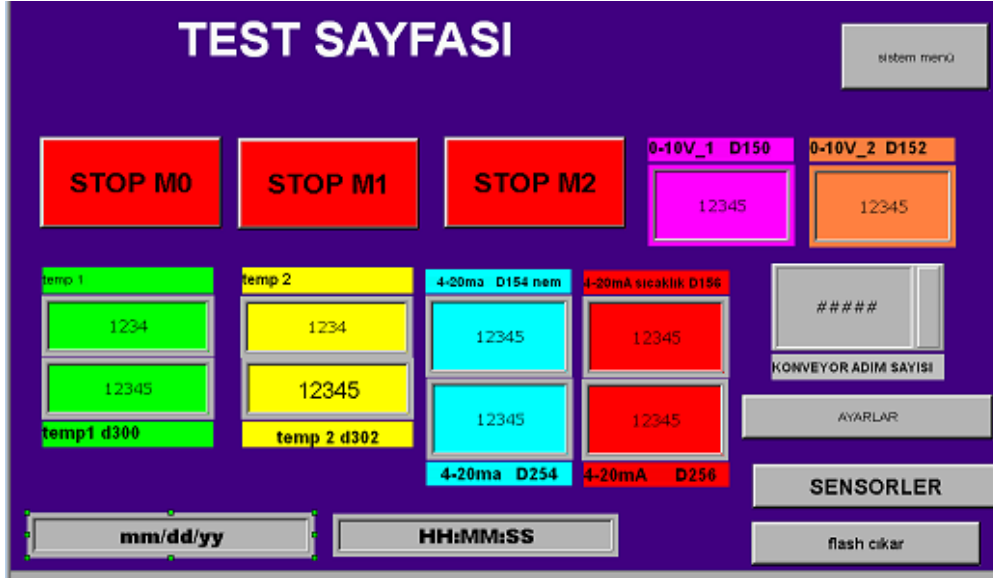
Sistemin kontrolü için kullanılan operatör panelinde sistemin verilerini takip etmek için “Sensör Değerlerme” sayfası bulunmaktadır (Şekil 3.15). Bu sayfa aracılığıyla ölçülen anlık veriler gözlenmene imkânı sunmaktadır. Gözlemlenen veriler aynı zamanda kaydedilmektedir.



Şekil 3.15. Operatör panelinin sensör değerleri sayfasının görünümü.

Operatör paneli ekranında algılayıcı değerlerinin gözlemlenmesi için kullanılmıştır. Sıcaklık\_1 ve sıcaklık\_2 algılayıcıları kurutma ünitesi iç sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Ayrıca dış ortam sıcaklık algılayıcısı ile dış ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Sistemde iki adet bağıl nemölçer kullanılmıştır. Bunlardan biri dış ortam, diğeri ise kabin içi bağıl nem değeri ölçülmektedir. Kurutma işlemlerinin gerçekleştirildiği süre içerisinde aksiyal fan sürekli çalıştırılmış ve algılayıcılar ve ölçerler aracılığı ile sıcaklık, bağıl nem ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Yapılacak testin verikayırlarının tutuabilmek için bir arayüz yazılımı kullanılmıştır. Arayüz yazılımının Şekil 3.16'de görünen test sayfası aracılığı ile kurutma işleminin izlenmesi ve ayarlanması için kullanılmıştır. Ekran üzerinde bulunan konveyör adım sayısı ise konveyör bant üzerinde bulunan encoderin adım sayısı değeri belirlemek için kullanılır. Konveyör üzerindeki encoder meyvelerin yüklenmesi yada kurutulan ürünlerin tahliyesinde konveyörün ileri yönde hareket değerinin istenilen değerde hassas olarak ayarlanması amacı ile kullanılmaktadır.



Şekil 3.16. Kırıtma sisteminin izlenmesi ve kontrol edilmesi için test sayfasının görünümü.

Kurutma işlemine başlamadan önce kabin içine yarım erik materyalleri konveyör bant üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.17). Bir birine temas etmeksizin yerleştirilmiş erik materyali güneşin olduğu saatlerde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.17. Kurulacak olan erik numunelerinin kabin içinde yerleşim şekli.

Kurutma işlemi güneşlenmenin olduğu ve yağmurun yağmadığı saatlerde yapılmıştır. Deneyle günlük ortalama 8 saat olmak üzere 7 gün sürmüştür. Erik numunelerinin kurutma işlemi sonunda Şekil 3.18’de görülmektedir.



**Şekil 3.18.** Numunelerin kurutma işlemi sonundaki görünümü.

### 3.5. Sistem Tasarımında Kullanılan Algılayıcılar ve Ekipmanların Tanıtımı

#### 3.5.1. Ağırlık ölçer

Ağırlık ölçer olarak loadcell kullanılmıştır. Loadcell'in teknik özellikleri Tablo 3.3'de listelenmiştir.

**Tablo 3.3.** Ağırlık ölçerin (loadcell) teknik özellikleri.

Kapasite	50 kg	İzolasyon Direnci	$\leq 5000 \text{ M}\Omega$ (100VDC)
Doğruluk Sınıfı	C3	Kompanze Edilmiş Çalışma Sıcaklığı	=-10 +40
Minimum Yük	0kg	Çalışma Sıcaklık Aralığı	-30 ~ + 70 °C
Maksimum Bölüntü Sayısı	3000	Tavsiye Edilen Uyarma Gerilimi	10 VDC
Minimum Ölçüm Aralığı	10000	Maksimum Uyarma Gerilimi (U <sub>max</sub> )	15 VDC
Toplam Hata	0,02 %FS ±2.00	Aşırı Yükleme Kapasitesi	120 % FS
Çıkış Kazancı	0.01mV/V	Kırılma Yüğü	200 % FS
Sıfır Balansı	± 1 %FS 400 $\Omega \pm 20$	Koruma Sınıfı	IP 65
Giriş Direnci	$\Omega$	Yük Hücresi Malzemesi	Alüminyum
Çıkış Direnci	352 $\Omega \pm 3 \Omega$	Kablo	4x022mm <sup>2</sup>

### 3.5.2. Kullanılan algılayıcılar

Kurutma sisteminin sıcaklıklarının ölçümü için 3 adet sıcaklık algılayıcı kullanılmıştır. Sıcaklık algılayıcılarının iki tanesi kabin içerisinde bir tanesi de dış ortam sıcaklık değerini ölçmek sisteme yerleştirilmiştir. Algılayıcılar bayonet j tipi thermocuplar şeklinde seçilmiştir. Tablo 3.4’se sıcaklık algılayıcılarının teknik özellikleri listelenmiştir.



Şekil 3.19. Sıcaklık algılayıcısı.

Tablo 3.4. Sıcaklık algılayıcıların teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Maksimum çalışma sıcaklığı	Çelik örgü kablo için 400°C Cam elyaf + cam elyaf + çelik örgü, 2x
Standart kablo türleri	0,22mm
Sensor tipi	DIN/IEC-584 “J” FeCu-Ni E= J,
Koruyucu kılıf malzemesi	Nikel kaplı prinç
Konektörü	1/4 x 19”

### 3.5.3. Nemölçerler

#### a) Pronem nemölçeri

Sistem üzerinde iki adet farklı özelliklerde bağıl nemölçer kullanılmıştır. Nem algılayıcılarından bir tanesi dış ortam bağıl nem değerini ölçmek için diğeri ise kabin içerisindeki kurutulacak gıdaların bulunduğu ortamın bağıl nem değerini ölçmek amacı ile kullanılmıştır. Nemölçerler buldukları ortamdaki bağıl nem değerlerini analog

sinyallere dönüştürürler. Elektriksel çıkış olarak 0-10V ya da 4-20mA çıkış verebilmektedirler. Şekil 3.20’de nemölçerin görünümü bulunmaktadır.



**Şekil 3.20.** Pronem Nemölçer.

**Tablo 3.5.** Pronem nemölçerin teknik bilgileri.

Özellikler	Açıklamalar
Ölçüm Aralığı (RH)	0...100 %RH
Ölçüm Aralığı (T)	-20...+80 °C
Doğruluk (RH)	+/- 2 %RH (Typ) at 23 °C
Doğruluk (T)	+/- 0,3 °C (Typ) at 23 °C
Kararlılık (RH)	<0,5 %RH/yıl (Typ)
Kararlılık (T)	<0,04 °C /yıl (Typ)
Analog Çıkış Sinyali Doğruluğu (Gerilim)	+/- % 0,1
Analog Çıkış Sinyali Doğruluğu (Akım)	+/- %0,5
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40°C...+85°C
Yükseklik	2000m. ye kadar

#### b) Dixel Nemölçer

Bu tip nemölçerler (Şekil 3.21) bulunduğu ortamdaki bağıl nem değerini 0-10V ya da 4-20mA analog sinyallere dönüştürmektedir.



**Şekil 3.21.** Dixel nemölçer.

**Tablo 3.6.** Dixel Nemölçerin teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Güç kaynağı	9-18Vdc veya 15-35Vdc / 12-24Vac
Çıktı	4-20mA veya 0-10Vdc
Doğruluk	$\pm\% 3$
Çalışma sıcaklığı	0-70 ° C (32-158 ° F)
Ölçüm aralığı	% 0-99 bağıl nem

### 3.5.4. Kullanılan otomasyon malzemeleri

#### a) Operatör Paneli

Sistem üzerinde kullanılan Şekil 6.29’da görünen operatör dokunmatik paneli ekran üzerinden sistemin izlenmesi, konveyör bandın çalıştırılması, sıcaklık, nem değerleri ve kütle bilgilerinin belirli periyodlar ile kayıt altına alınması için kullanılmaktadır. Operatör paneli sayesinde anlık olarak sistem üzerinde bulunan tüm algılayıcı değerleri ekran üzerinden anlık olarak izlenebilmektedir. Tablo 3.22’de dokunmatik panelin teknik özellikleri listelenmiştir.



**Şekil 3.22.** Operatör dokunmatik paneli.

**Tablo 3.7.** Dokunmatik panelin teknik özellikleri.

Özellik	Açıklama
Ebat	10,1" (1024 x 600 piksel) TFT LCD 65536 renk
Bağlantı noktası	3 set COM bağlantı noktası, destek RS232 / RS422 / RS485
Koruma	Dokunmatik ekran IP65 ile uyumludur
Kullanım yönü	Yatay / dikey ekranı destekler
Arayüz programı	Düzenleme yazılımını destekler, DOPSoft işletim sistemleriyle uyumludur: Windows XP, Windows Vista, Windows 7
Besleme gerilimi	24 VDC

#### **b) PLC cihazı**

Sistemin kontrolü için 16 giriş 12 çıkışlı PLC cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.23). PLC cihazı kurutma cihazı üzerinde bulunan konveyör bandın hareketini sağlamak, cihaza bağlanan algılayıcıların değerlerinin elektriksel olarak işlenmesi ve operatör bandına verilerin aktarılması amacı ile kullanılmıştır. Kullanılan PLC cihazının (Delta 28SV11t) teknik özellikleri Tablo 6.6'da listelenmiştir.



**Şekil 3.23.** PLC cihazı.

**Tablo 3.8.** PLC cihazının teknik özellikleri.

<b>Çalışma kontrol metodu</b>	<b>Saklı program, saykıl tarama sistemi</b>
Giriş Sayısı	16
Çıkış Sayısı	12
Program Kapasitesi	15872 Step
Besleme Voltajı	24VDC
Tımer	256
Sayıcılı 16bit	256

### c) Analog giriş modülü

PLC cihazları sıcaklık ve nemölçerlerden gelen elektriksel sinyalleri direkt olarak işleyemezler. Algılayıcıların değerlerinin elektriksel olarak işlenmesi için PLC cihazlarının analog sinyal işleyicilerine 1 adet 4 kanal analog giriş modülü (Delta dvp04-ad2) kullanılmıştır (Şekil 3.24). Analog giriş modülleri girişlerine bağlanan 0-10V ya da 4-20mA çıkışlı algılayıcıların PLC ile iletişimini sağlayarak PLC cihazının algılayıcılarından gelen bilgileri okumasını sağlarlar. Tablo 3.9'de analog giriş modülüne ait teknik özellikler listelenmektedir.



**Şekil 3.24.** Analog giriş modülü.

**Tablo 3.9.** Analog giriş modülünün teknik özellikleri.

<b>Analog/ Dijital (4A/D)</b>		
<b>modül</b>	<b>Voltaj giriş</b>	<b>Akım giriş</b>
	24 VDC(20.4VDC~28.8VDC)	
Güç Kaynağı Voltajı	( -15% ~ +20%)	
Analog giriş aralığı	±10V	±20 mA
Dijital dönüşün aralığı	±8000	±4000
Çözünürlük	14 bit(1LSB=1.25 mV)	13 bit (1LSB=5 µA)
Giriş Empedansı	200 KΩ	250Ω
		±1% tam skala 0~55
Doğruluk	±0.5% tam skala 25 (77 ),	(32~131
Cevap Zamanı	3 ms × kanal	
İzolasyon Metodu	Dijital ve Analog devreler arası izolasyon. Kanallar arası izolasyon yok.	
Mutlak Giriş Aralığı	±15 V	±32 mA
Haberleşme Modu	(RS-485) MODBUS ASCII/RTU Mod. Haberleşme hızı 4800 / 9600 / 19200 / 38400 / 57600 / 115200.	

#### **d) Tartım İndikatörü**

Şekil 3.25’de görünen tartım indikatörü (Kobastar B60) PLC cihazı ile tartım platformu arasındaki elektriksel ilişkiyi sağlamaktadır. Tartım platformları üzerinde bulunan loadcell cihazları ürettikleri sinyaller direkt olarak plc cihazına bağlanamazlar. Plc cihazları ile tartım platformları arasındaki elektriksel uyumu sağlamak için tartım

indikatörleri kullanılır. Tartım indikatörü platformdan gelen sinyalleri işleyerek PLC'ye göndermektedir. Tablo 3.10'de tartım indikatörünün teknik özellikleri listelenmiştir.



**Şekil 3.25.** Tartım indikatörü.

**Tablo 3.10.** Tartım indikatörü özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Doğruluk	0,03%
Statik tartım hassasiyeti	% 0,2 ~ % 0,5.
Gösterge	5 digit kırmızı led
Tartım görüntüleme aralığı	-9.999 ~ + 99.999
Tartım kapasitesi aralığı	1 ~ 99.999
Ekran çözünürlüğü	1 / 50.000.
Ekran yenileme hızı	0.01 ~ 1.00s
Seçilebilir yük hücresi sinyali:	mV, V ve mA
Sinyal giriş aralığı	0 ~ 19.5mV
Örnekleme frekansı	1280Hz.
Çalışma gerilimi	DC24V ±% 20
Koruma	IP65

#### e) PID kontrol cihazı

Şekil 3.26'de sıcaklık kontrol cihazı olarak kullanılan kontrol ünitesi görülmektedir. Tablo 3.11'da kontrol ünitesinin teknik özellikleri listelenmiştir. Kontrol ünitesinin besleme gerilimi 24VDC şeklinde olup sıcaklık algılama için j tipi thermocouple kullanılmıştır.



**Şekil 3.26.** Kontrol cihazı.

**Tablo 3.11.** Kontrol cihazının teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Sensor Girişi	Termokupl / PT100 / 0~5V / 0~10V / 0~20mA / 4~20mA / 0~50mV
Kontrol Çıkışı	Röle + Röle / 4~20mA / 0~10V / SSR (Voltaj Pulse)
Kontrol Tipi	ON-OFF / PID / Manuel / PID Program Kontrol
Haberleşme	Dahili RS485 Modbus ASCII / RTU

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Taşıyıcı konveyör bantlı kabin tipi direkt pasif güneş enerjili kurutma sistemi önerilmiş ve bu öneriye uygun tasarım yapılmıştır. Elde edilen tasarım şartlarına uygun bir güneş enerjili kurutma sistemi imalatı yapılmıştır. Kurutma sistemi genel sebze ve meyve kurutma amaçlı bir prototiptir. Kurutma sisteminin performansı, Ağustos ve Eylül aylarında hasat edilen halk arasında Mürdüm eriğinin olarak bilinen Japon eriği (*Prunus domestica L.*) kurutulması suretiyle yapılmıştır. Kurutma prosesi 22-28 Eylül 2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Hava ve güneşlenme durumuna göre kurutma işlemi 7 gün içerisinde sonlandırılmıştır. Kurutma işlemi kesikli yapıldığı için ertesi gün denge nem içeriği koşullarından dolayı yarı kurutulmuş erik meyvesinde kütleli bir miktar artış görülmüştür. Eylül ayı koşullarında güneşlenme şiddeti ve güneşlenme oranı azaldığı için kurutma işleminde önemsenmeyecek azalma görüldüğü için kurutma 7'inci gün sonunda sonlandırılmıştır. Gerçekte erik meyvesinin kurutma süresi 30 saat civarında olması önerildiği için güneş şiddetinin ve güneşlenmenin azaldığı mevsimlerde nispeten daha ucuz olan ve çevreye daha az zarar veren doğalgaz gibi destekleyici enerjilerin kaynaklarının kullanılması gerektiği bu çalışmada anlaşılmıştır.

### 4.1. Tasarlanan Sistemin Teknik Spesifikasyonları

Kurutma sistemi tasarımı ve yapımı için gerekli literatür taraması yapılmış ve bunlardan öne çıkanların kısa özetleri sunulmuştur. Tasarım aşamalarında performans değerlendirmesi yapılacak ürün de dikkate alınarak yapılmıştır. Kapasite olarak yaklaşık 3 kilo erik kurutma üzerine tasarım yapılmıştır. İlk önce erik meyvesi ince tabakalar haline getirilmiş (Şekil 3.1(a)), 100°C'de etüv çalışması (fırında kurutma) yapılmış ve Şekil 3.1(b)'de görüldüğü gibi numuneler kurutulmuştur. Elde edilen kütleli verilerden kurutulan materyalin yaş esaslı nem içeriği ( $MC_{wb}$ ) hesaplanmıştır. Bu etüv çalışmasında,  $MC_{wb} = \%78,6$  elde edilmesine karşın literatürde elde edilen  $MC_{wb} = \%78,3$  ile karşılaştırılmıştır ve yapılan etüv çalışmasının diğer çalışmalar ile önemsenmeyecek farklı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Kurutma işleminin Adana ilinde yapılması tasarlandığı için 2004-2018 yılları arasına ait güneş radyasyonu verileri elde edilmiş ve incelenmiştir. Uzun bir periyodu

içeren radyasyon verilerinin ışığında 2019 yılına ait meteorolojik veriler üzerinden tasarım yapılmıştır. Tasarım oşulları ve kabuller Tablo 3.1’de verilmiştir. Tasarım çalışmasında farklı miktarda kurutma performansının hesaplanmasına müsaade eden birim kütle üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda birim kütle (1 kg) başına üründen uzaklaştırılan su miktarı ( $m_{loss}$ ) yaklaşık olarak 0,611  $kg_w/kg_{wp}$  elde edilmiştir. Tasarım için 3 kg erik kullanılacağı için toplam uzaklaştırılması gereken su miktarı ( $m_{loss,t}$ ) 1,833 olarak bulunmuştur. Bu veriye göre üründen uzaklaştırılan suyun buharlaşması için gerekli olan hava miktarını hesaplamaya yarayan iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi buharlaşma gizli ısı ile hesaplama yöntemidir. İkincisi ise psikrometrik verilerin değerlendirilmesi ile elde edilmektedir. Eş. (3.10) ve (3.11)’e göre yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuç psikrometrik verilere göre elde edilene göre daha yüksek çıkmıştır. Buna göre birim kütle başına gereken hava kütlesi ( $m_a$ ) 97,76  $kg_{da}$  ve hacmi ( $V_a$ ) 87,22  $m^3/kg_{wp}$  elde edilmiştir. Gerekli fan kapasitesi, 3 kg kütledeki erik için hacimsel hava debisi ( $\dot{V}_{a,fan}$ ) 0,0278  $m^3/s$  olarak bulunmuştur. Fan seçimi için piyasada hazır bulunan 100  $m^3/h$  kapasiteli aksiyal fan seçilmiştir.

Kurutma kabini hesaplamaları için enerji ve kütle denklemleri basitleştirilmiş modeller ile hesaplanmıştır. Kurutma sistemi performans değerlendirme ölçütlerinden olan yararlı ısı değeri ( $Q_u$ ) yaklaşık 4500 kJ olarak bulunmuştur. Eylül ayına ait küresel radyasyon miktarı 300-320 Wh arasında olduğu tespit edilmiş ve en düşük değer olan 300 Wh hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Bu değerler aracılığıyla kolektör alanı ( $A_{col}$ ) 0,23  $m^2$  bulunmuştur. Ancak prototip çok amaçlı olduğu için  $A_{col} = 0,5 m^2$  olarak tasarlanmıştır. Kolektör üzerinde cam kaplama ile taşıyıcı konveyör bat arasındaki mesafe (h) gerekli hava sirkülasyonu oluşması için 150mm olarak alınmıştır. Böylece kolektör hava geçiş alanı ( $A_v$ )  $7,85 \times 10^{-3} m^2$  olarak bulunmuştur. Emiş menfezi, hava geçiş alanı ve fan menfezi dikkate alındığında basınç kaybı ( $\Delta p$ ) 12 Pa olarak bulunmuştur. Kurutma süresi ( $t_{dr}$ ) çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmekle birlikte burada tavsiye edilen en fazla 30 saat üzerinden 3 güne 8 saat olarak kabul ederek 24 saatlik bir kurutma süresi öngörülmüştür.

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi diğer performans değerlendirme ölçütleri olan özgül nem uzaklaştırma hızı ( $SMER$ ) 1,46  $kg/kWh$ , özgül enerji tüketimi ( $SEC$ ) 0,682  $kWh/kg$ , ısı kullanım faktörü (HUF) 1, performans katsayısı ( $COP$ ) 0,5; kurutma etkenliği ( $DE$ ) 1,2, kurutma hızı ( $\dot{m}_{dr}$ ) 0,0763  $kg_w/h$  ve kurutma sistemi verimliliği ( $\eta_e$ ) %40,67 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar literatür çalışmalarıyla uyumludur.

## 4.2. Kurutma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi

Kurutma sistemi güneşe bağlı olduğu için gerekli kurutma süresi için bir gün yetmeyeceği için en az 3 veya dört gün süreceği öngörülmüş olmakla birlikte havanın durumuna göre kurutma performansı değişiklik göstermiştir. Gerek bulutlanma ve gerekse yağmur gibi dış etmenlerden dolayı kurutma süresi uzamıştır. Tasarım koşullarında da belirtildiği gibi kurutulmuş erik yemeye hazır gıda olarak tüketilmesi öngörüldüğü için  $MC_{wb} = \%45$  olarak yeterli görülmüştür. İstenilen değer altında kurutma için güneş radyasyonunun Eylül ayı sonlarına doğru yeterli olmamasından dolayı daha düşük  $MC_{wb}$  değerine ulaşılması pratikte de mümkün olmadığı görülmüştür. Uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta kurutma erik için önerilmediği için daha uzun kurutma deneyi uygun görülmemiştir. Şekil 4.1’de kurutma işlemine başlamadan önce kurutma kabini içerisinde istiflenmiş ikiye bölünmüş yarım erik materyali görülmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kurutulmuş erik numuneleri kurutma kabini içerisinde görülmektedir.



Şekil 4.1. Yaş erik numunelerinin kabin içine yerleştirilmesi.

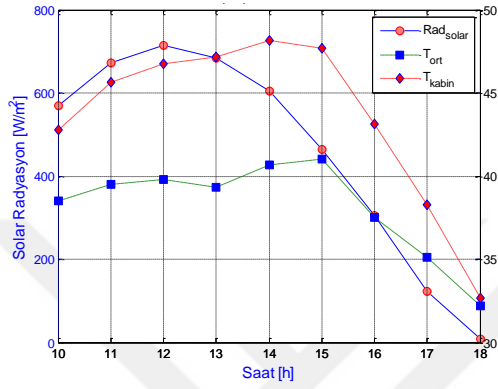


**Şekil 4.2.** Kurutulmuş numunelerin kabin içerisindeki görünümü.

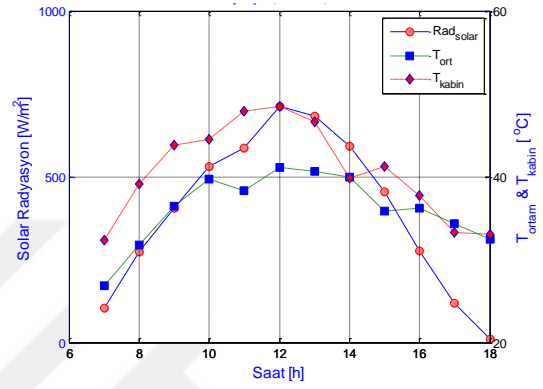
Her gün yapılan kurutma deneyi esnasında elde edilen veriler ile çizilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere güneş radyasyonu, ortam ve kabin sıcaklık arasında anlamlı bir ilişki vardır (Şekil 4.3) ve güneş radyasyonu etkisiyle ortam sıcaklığı ve kabin içi sıcaklığı değişmektedir. Deneyin yapıldığı yer bir binanın en üst katında ve deniz seviyesinde 110 m yüksekliktedir. Dolayısıyla yer ölçüm istasyonu meteorolojik verileri arasındaki değişiklikler kaçınılmazdır. Deney seti rüzgâra karşı korunaklı bir yerde olduğu için rüzgâr ile kabin sıcaklığı arasında çok anlamlı bir ilişki görülmediği için grafiksel olarak burada gösterilememiştir. Ayrıca Şekil 4.4’de yeryüzünün güneşlenme oranı ile güneş radyasyonu arasındaki bağıntıyı görmek mümkündür. Her gün için ayrı ayrı çizilmiş grafiklerde bulutlanmanın artmasıyla yatay yüzeye gelen radyasyon oranının azaldığı anlamlı olarak görülmektedir. Şekil 4.5’de dört boyutlu olarak bilinen radyasyonun şiddetini gösteren renkli dairesel çizim ve renkli dolgulu çizimlerde kabin giriş, çıkış, zaman ve radyasyon arasındaki bağıntılar her gün için gösterilmektedir. Güneş radyasyonu arttıkça kabin giriş ve çıkış sıcaklığı artmasından da anlaşılacağı üzere kurutma sistemi enerjiyi soğurma konusunda iyi tasarlanmış ve imalatı yeterli seviyede yapılmıştır.

Bunların yanı sıra yapılan deneysel çalışmaları esnasında gerekli nem ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem yardımıyla kurutma prosesinin her güne ait saat başına psikrometrik hesaplamaları MatLab’da oluşturulan model ile hesaplanmış ve diyagram üzerine çizimi yapılmıştır. Daha sık veri bulunmasına rağmen çizimin daha net görünmesi için saat başına veri kullanılmıştır. Burada A (kırmızı) ile gösterilen rakamlar kabin girişine ait çizimler iken B (mavi) kabin çıkışına ait çizimlerdir. A ve B harflerinin yanındaki 0 rakamı başlangıç

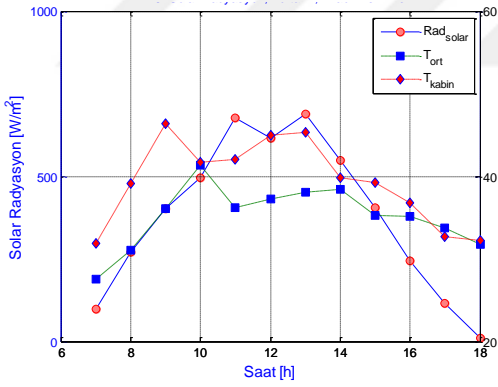
ölçümünü gösterirken diğer rakamlar ilerleyen saati temsil etmektedir. Her bir noktaya ait özgül entalpi, özgül nem, çiy nokta sıcaklığı ve havanın özgül hacmi verileri elde edilmektedir. Bu çalışmada sadece radyasyon ile psikrometrik veriler arasında kolerasyonun görünmesi için psikrometrik diyagram üzerinde çizim yapılmıştır (Şekil 4.6).



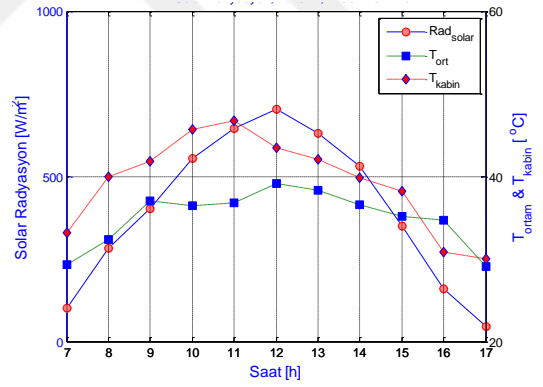
(a)



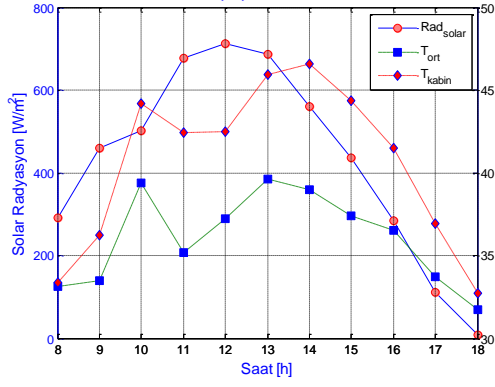
(b)



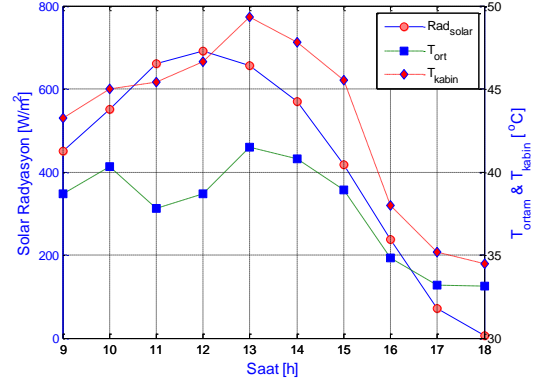
(c)



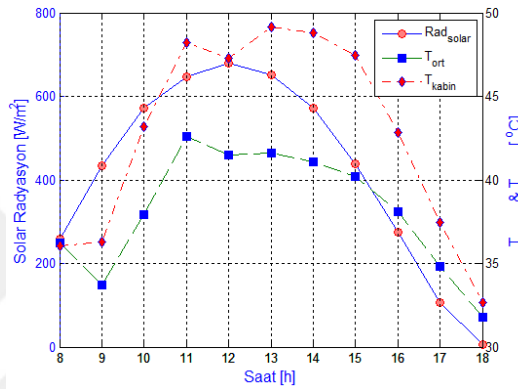
(d)



(e)

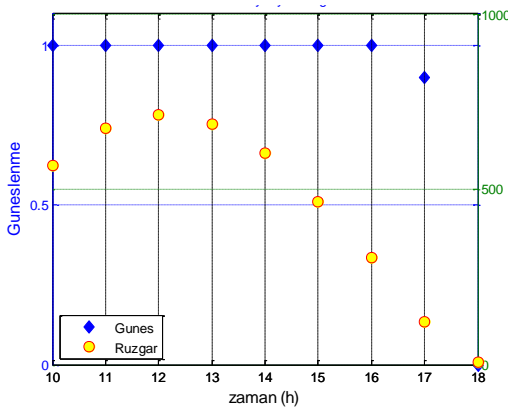


(f)

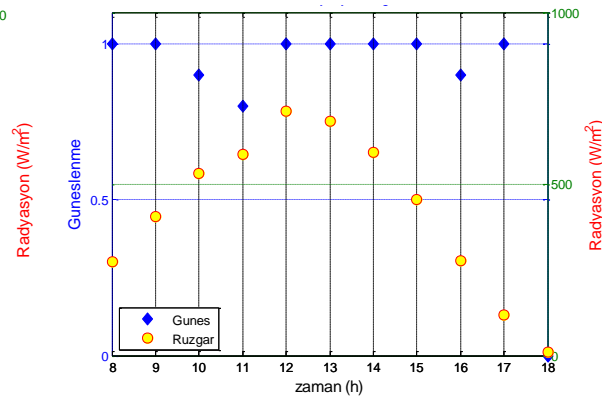


(g)

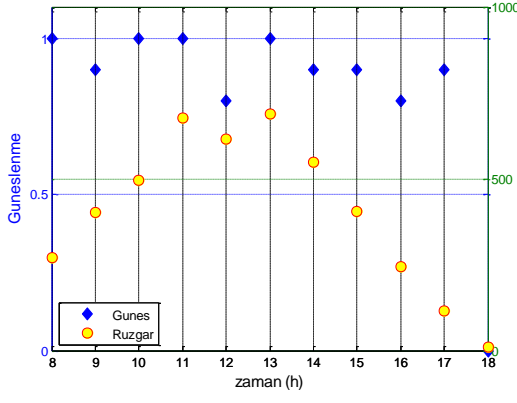
**Şekil 4.3.** Deney günlerine ait güneş radyasyonu, ortam ve kabin sıcaklık değerleri (a)22 Eylül, (b) 23 Eylül, (c) 24 Eylül, (d) 25 Eylül, (e) 26 Eylül, (f) 27 Eylül ve (g) 28 Eylül.



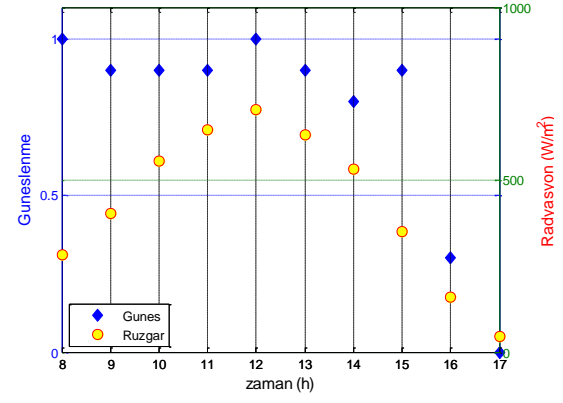
(a)



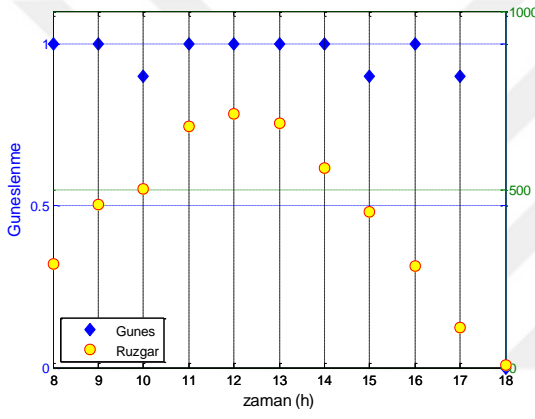
(b)



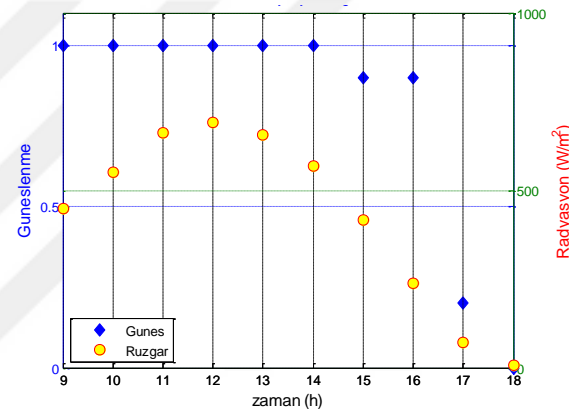
(c)



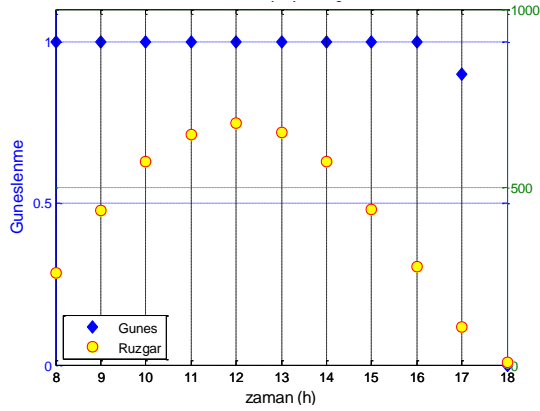
(d)



(e)

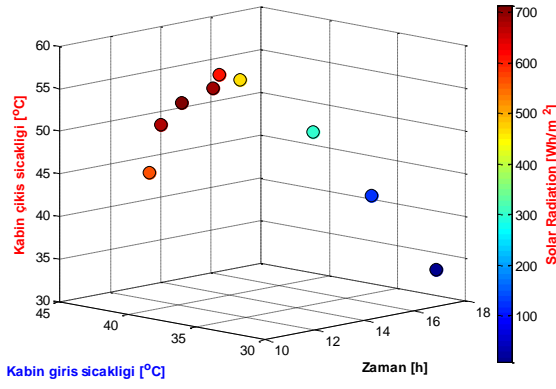


(f)

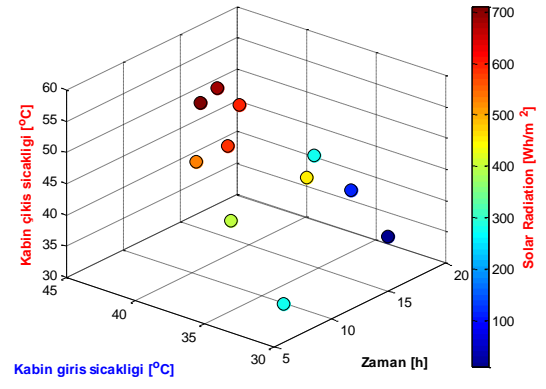


(g)

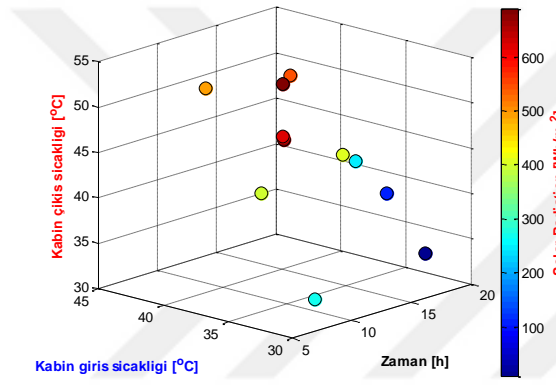
Şekil 4.4. Bulutlanma ile güneş radyasyonu arasındaki etkileşim. (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. Gün.



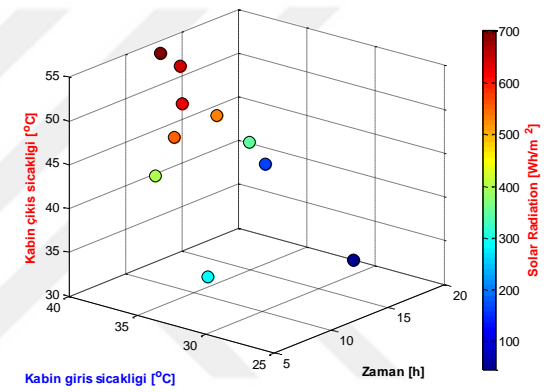
(a)



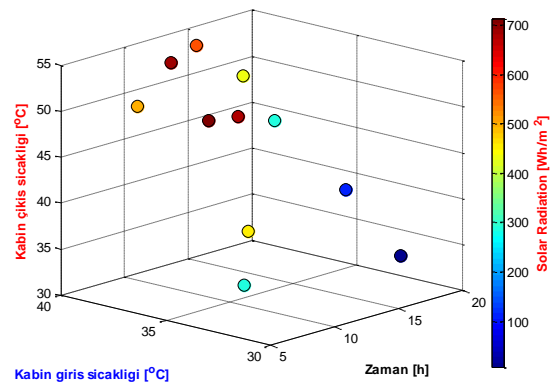
(b)



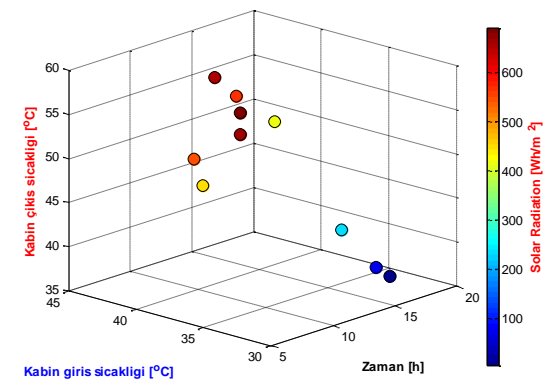
(c)



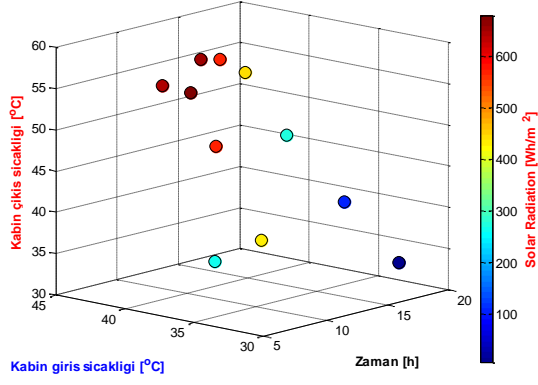
(d)



(e)

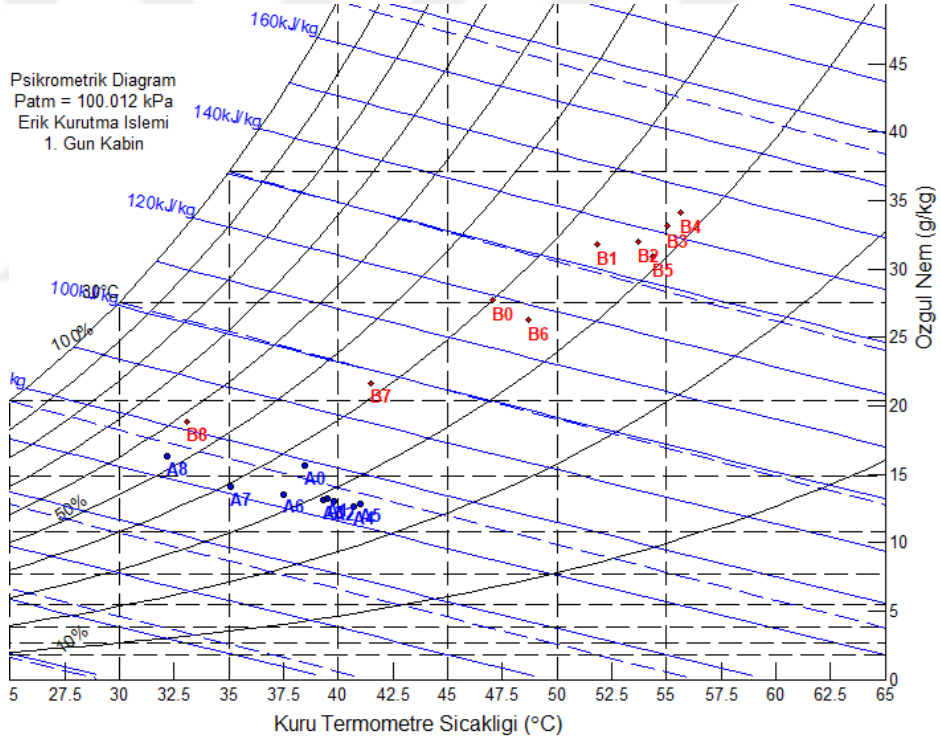


(f)

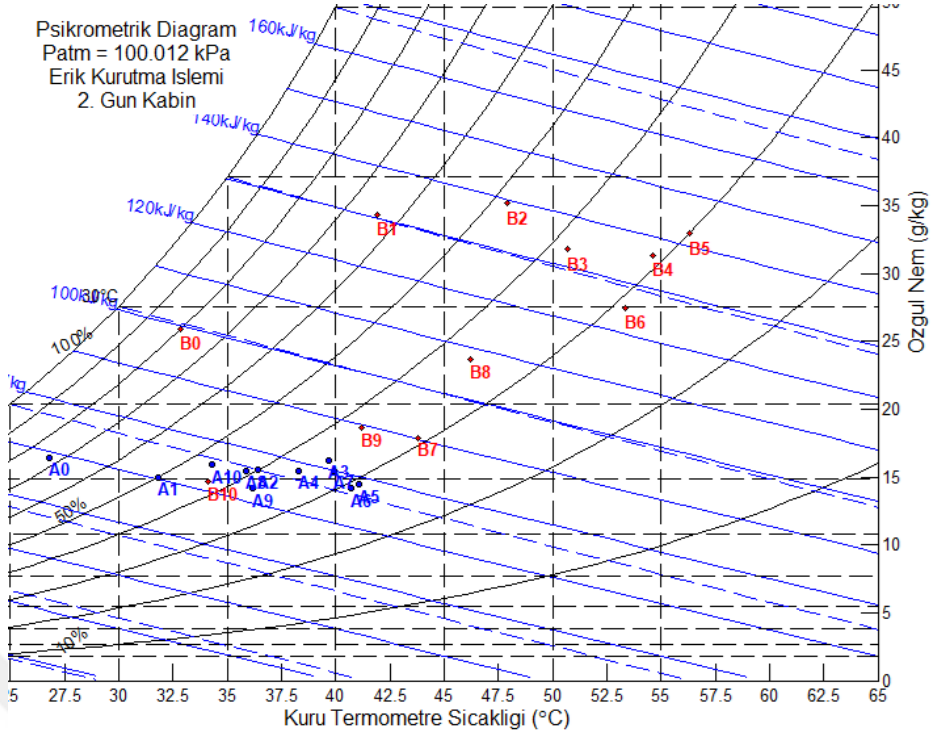


(g)

Şekil 4.5. Kabin giriş, çıkış, zaman ve radyasyon arasındaki bağıntılar. (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. Gün.

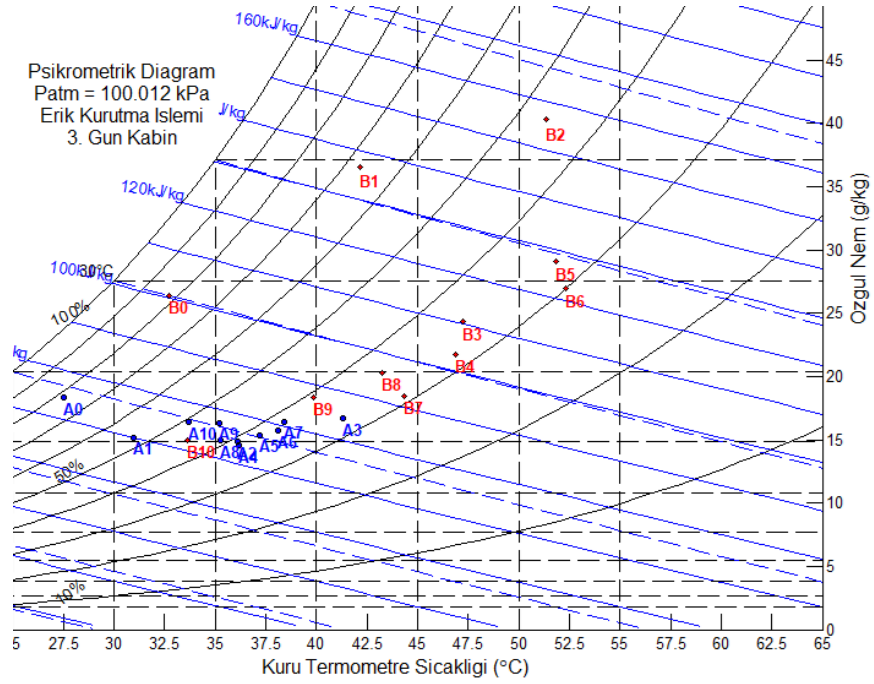


(a)

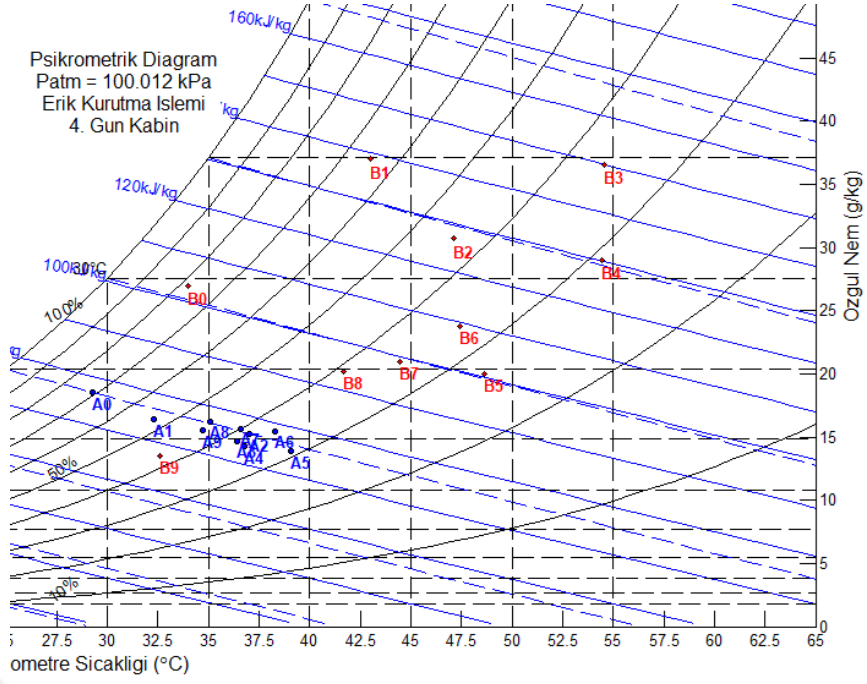


(b)

Şekil 4.6. (a) ve (b). Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları. (a) 1. gün (b) 2. gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).

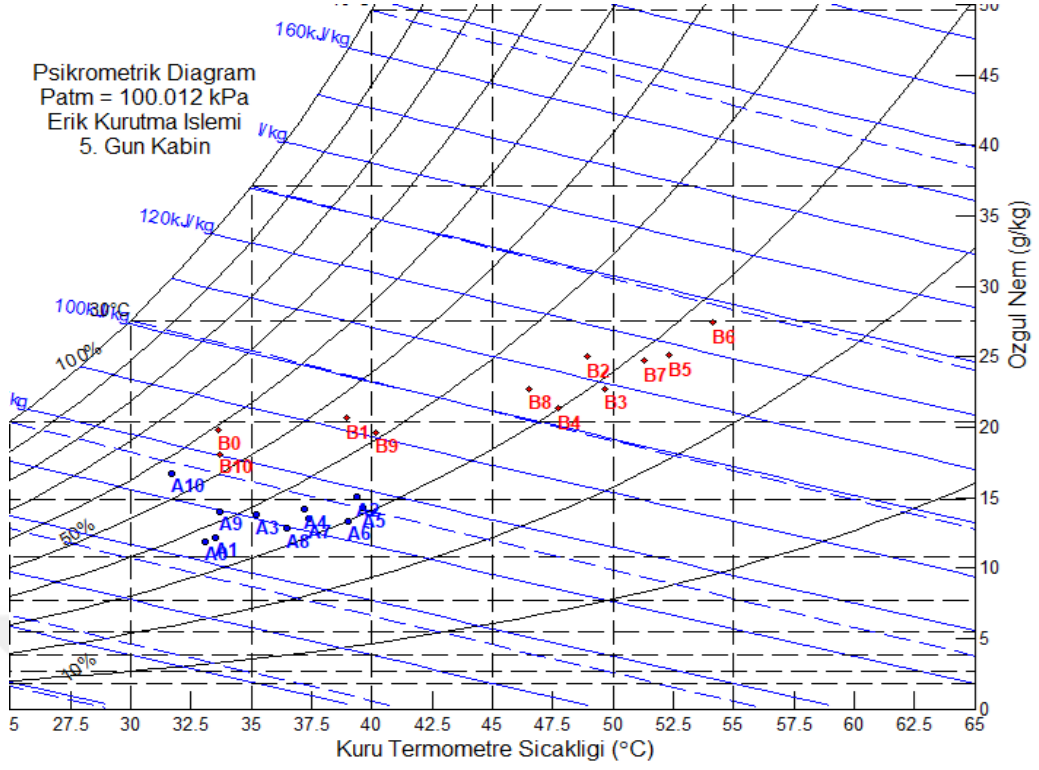


(c)

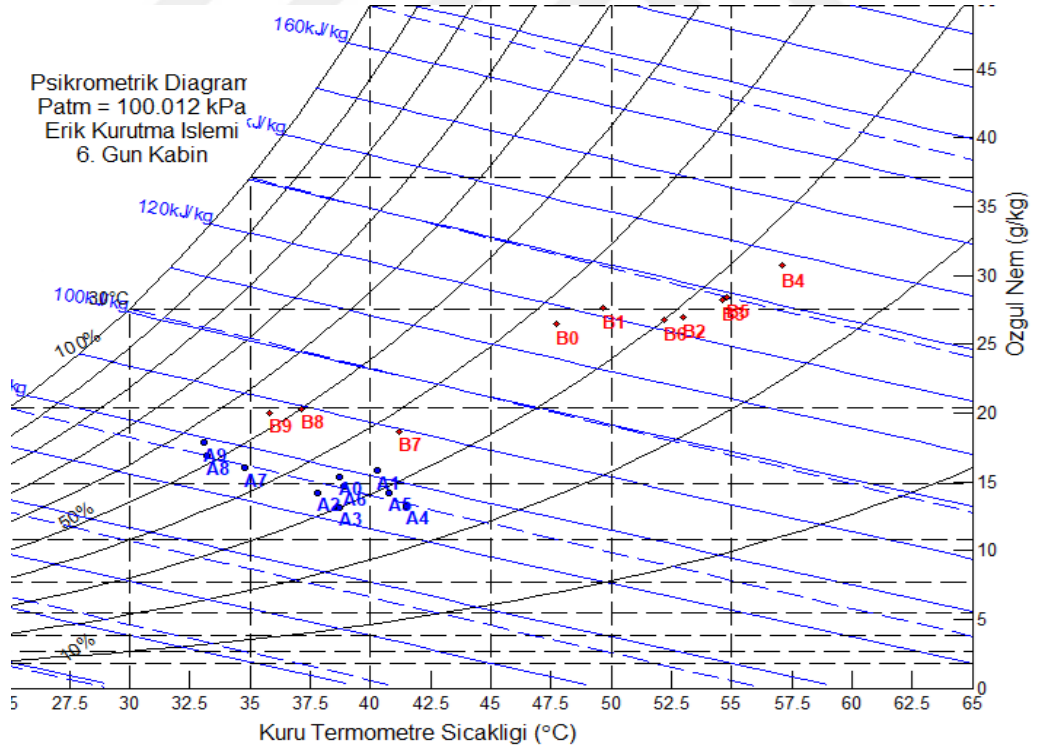


(d)

**Şekil 4.6. (Devamı)** (c) ve (d). Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları c) 3. gün (b) 4. Gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).

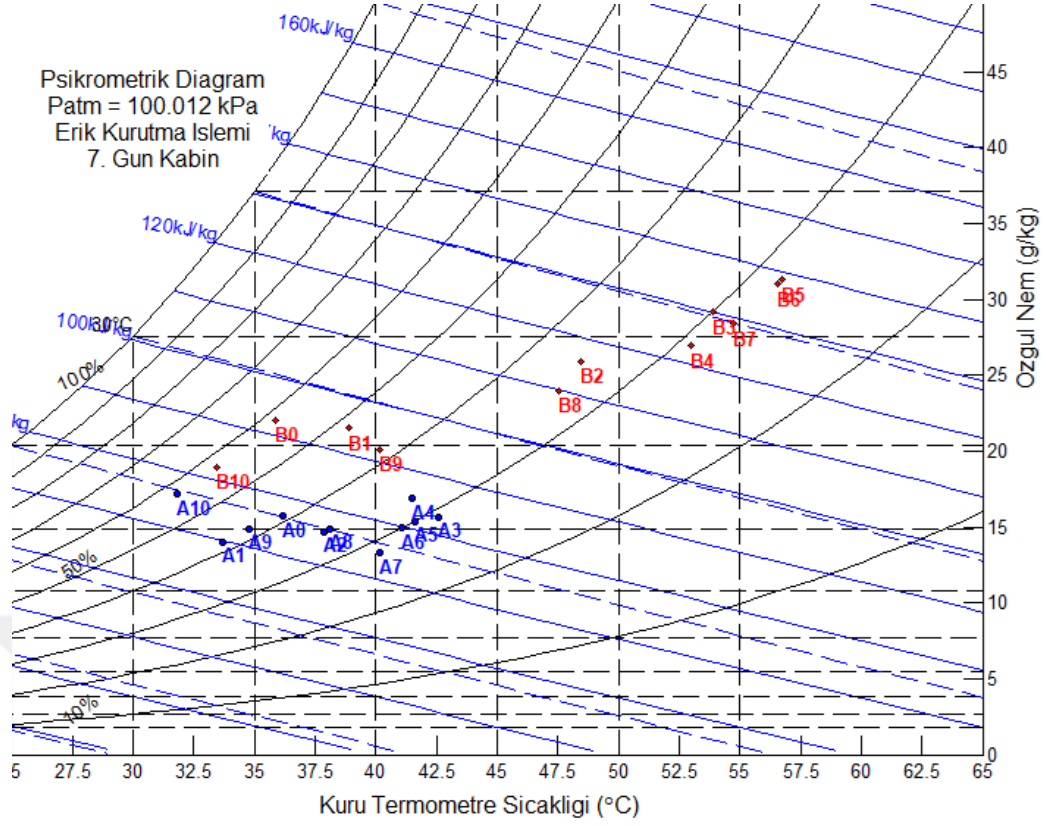


(e)



(f)

Şekil 4.6. (Devamı). (e) ve (f). Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları (c) 5. gün (b) 6. Gün (Not: A kabin girişi ve B kabin çıkışıdır.).



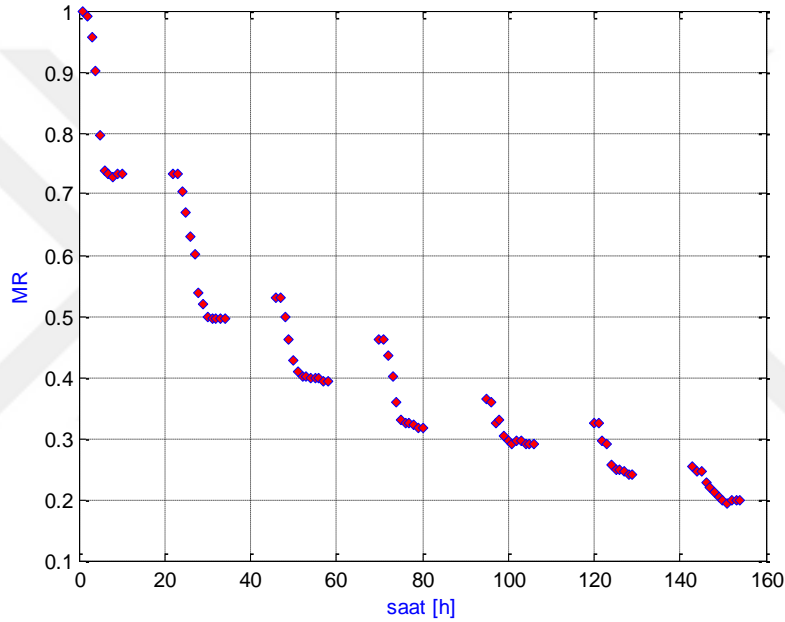
(g)

**Şekil 4.6.(Devamı).** (g). Kabin giriş ve çıkış verilerinin psikrometrik diyagramdaki konumları (g) 7. gün (Not: A sayıları kabin girişi ve B sayıları kabin çıkışıdır.).

Enerji hesaplamalarında kullanılan oldukça önemli veriler olduğu halde burada gerekli hesaplamalar daha basit ve anlaşılır eşitliklerle yapılmış olup ve Tablo 4.1’de listelenmiştir.

Kurutma sisteminin performansını değerlendirme ölçütlerinden biri olan kurutma oranları (*MR*) her gün için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kurutma için bir günlük sürenin yeterli olmamasından dolayı sadece güneş enerjisinden faydalanılacağı için aralıklı (kesikli) kurutma yapmak bir zorunluluktur. Ayrı ayrı grafiklerle kesikli kurutma oranlarını toplu olarak görmekte fayda olacağı için Şekil 4.7’de her güne ait *MR*’lerin toplu olarak çizimi görünmektedir. Ayrıca daha anlaşılır olması için her güne ait *MR* sonuçları saat başına Şekil 4.8’de çizilmiştir. Her iki Şekil 4.7 ve 4.8’den de anlaşılacağı üzere kurutma yapılan her günün sonunda kurutma hızı güneş

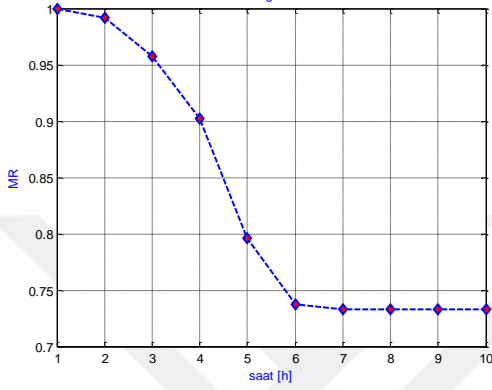
radyasyonuna bağı olarak anlamlı olarak azalmakta ve neredeyse hiç kurutma olmamaktadır. Eğer daha hassas bir ölçüm yapılabilseydi gerek az miktar radyasyonun ve hava akımının sayesinde biraz daha kurutmanın olduğu görülecektir. Her güne ait kurutma periyodunun ardından yapılan ölçümlerde yarı kurutulmuş materyalin kütlelerinde bazen az miktarda ya da daha fazla miktarda bir artışın gözlemlenmiştir. Bunun sebebi yarı kurutulmuş mamullerin denge nem içeriğine gelene kadar nem alabilmeleridir. Bunu önlemek için gerçek kurutma proseslerinde kurutma kabini ile dış ortam hava izolasyonunun iyi olarak yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.



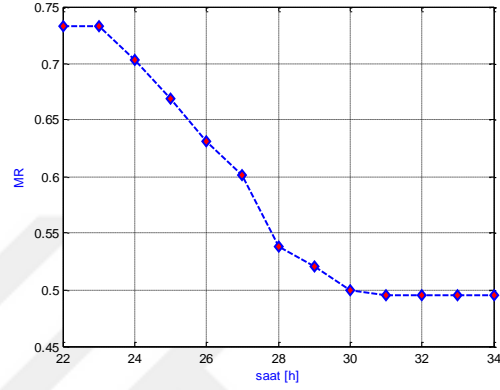
Şekil 4.7. Yedi günlük kurutma periyotlarının MR değerleri.

Kurutma sisteminin performansının hem radyasyona hem de dış ortam koşullarına bağı olduğu gibi iyi bir tasarıma da bağı olduğu bir gerçektir. Teoride bahsi geçen kurutmanın ilk başlangıcındaki yatay ilerlemenin daha kısa aralıklarda olduğu görülmektedir. Ayrıca gün sonunda enerjinin azalması durumunda kurutmanın da azaldığı, hatta durduğu görülmektedir. Son güne ait kurutma oranının (hızının) ise daha farklı gerekçelere dayandığının teorik bilgiler ışığında anlayabiliyoruz. Bunun nedeni hem enerjinin yeterli olmamasının yanı sıra hem de serbest suyun bittiğinin ve bağı suyun ise materyalden uzaklaştırmanın bu koşullarda mümkün olmadığıdır. Ancak kurutmada bağı suyun materyalden uzaklaştırılma gibi bir hedefi zaten bu çalışmanın

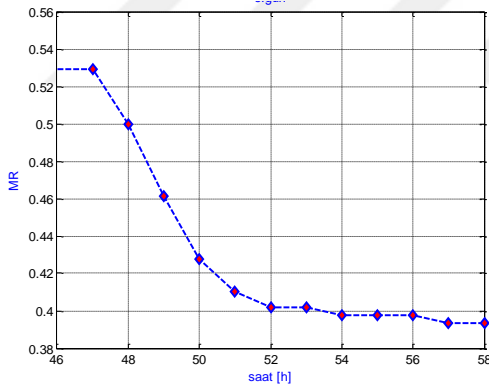
konusu değildir. Hatta tam tersi hazır yenecek nitelikte yarı kurutulmuş ticari bir mamulün elde edilmesi bu çalışmanın konusudur. Zaten kurutmada temel amaç kurutulan materyalin gıda içeriğinin de korunması ve daha az zarar görecektir metotların araştırılmasına konu olmuştur. Gıda değerlerinin en iyi bir şekilde korunduğu, ama raf ömrünün uzatılabildiği çalışmalar hâlâ popülerliğini korumaktadır.



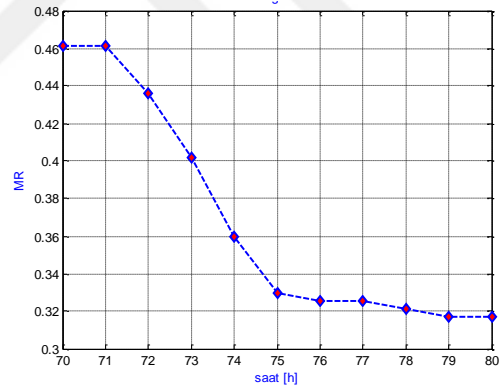
(a)



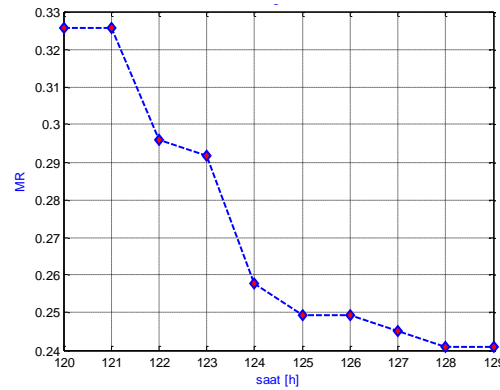
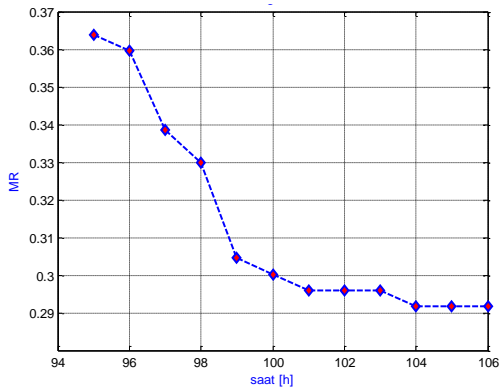
(b)



(c)

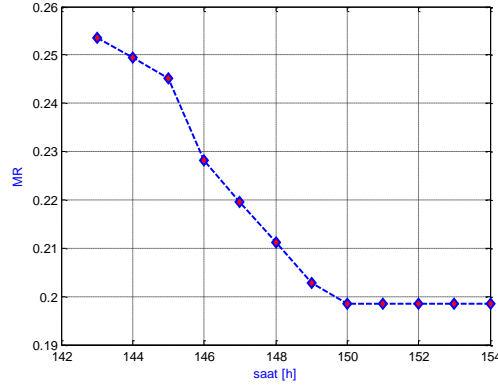


(d)



(e)

(f)



(g)

**Şekil 4.8.** Yedi günlük kurutma periyotlarının ayrı ayrı MR değerleri (a) 1. gün, (b) 2. gün, (c) 3. gün, (d) 4. gün, (e) 5. gün, (f) 6. gün ve (g) 7. gün.

Kurutma sisteminin performans ölçütleri Tablo 4.1’de listelenmiştir. Kurutulan yaş ürünün  $Q_{wp}$  ısınma ısı kurutmanın ilk gününde 56,61 kJ ile en yüksek iken son günde 21.11kJ ile en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Diğer yandan üründen uzaklaştırılması gereken suyun buharlaşması için gerekli enerji miktarı ( $Q_L$ ) yine ilk gün 1510,16 kJ ile en yüksek değerde iken son gün 263,77 ile en düşük değerde olduğu görülmektedir.  $Q_{wp}$  ve  $Q_L$  ısı enerjilerinin toplamı olan  $Q_u$  da aynı şekilde ilk gün 1566,77 kJ (455,21 Wh) ile en yüksek iken son gün 284,88 kJ (79,13 Wh) ile en düşük değere sahiptir. Güneşten yatay yüzeye gelen radyasyon (ışınım) 1774,73 Wh ile 5’inci gün en yüksek değerinde iken 1430,07 Wh ile en düşük değerde olduğu yine Tablo 4.1’den anlaşılmaktadır.

Tablo 4.1’e göre sistem performansını en iyi anlatan ölçüt olan kurutma sistemi verimliliği ( $\eta_e$ ) ilk gün %304,4 ile en yüksek değer sahipken son gün 0.045 ile en düşük değere sahip olmaktadır. Bunun nedeni üründeki serbest su miktarının azalmasıyla birlikte ürünün kurutulması gittikçe zorlamasındandır. Zaten son günkü kurutma işleminde oldukça az su üründen uzaklaştırılabildiği görülmüştür.

**Tablo 4.1.** Kurutma sisteminin performans ölçütlerinin listelenmesi.

Parametreler r	Birimi	Kurutma yapılan günler						
		1	2	3	4	5	6	7
$Q_{wp}$	kJ	56.61	38.32	30.56	29.67	25.56	25.67	21.11
$Q_L$	kJ	1510.1 6	1343.8 2	601.00	817.25	384.44	479.73	263.77
$Q_u$	kJ	1566.7 7	1382.1 5	631.56	846.93	410.00	505.41	284.88
$\dot{Q}_u$	Wh	435.21	383.93	175.43	235.26	113.89	140.39	79.13
$Q_R$	Wh	1430.0 7	1745.1 8	1680.2 7	1609.0 8	1774.7 3	1543.4 9	1751.56
$\eta_e$	%	30.4	22.0	10.4	14.6	6.4	9.1	0.045
SEC	kWh/kg	630.5	685.6	701.7	4732.6	11092. 1	7717.5	15923.3 2
SMER	kg/kWh	1.59	0.11	0.02	0.07	0.09	0.13	6.28E- 05
HUF		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
COP		0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.5
DE		1.307	1.141	1.064	1.062	1.100	1.082	1.144
$\dot{m}_{dr}$	kg/h	0.08	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02	0.011

Literatürde diğer kurutma sistemi performansı ölçütleri olan kg başına üründen suyun uzaklaştırılması için gerekli özgül enerji tüketim miktarı (*SEC*) için verilere bakarsak ilk gün kg başına harcanan gereken enerji miktarı 15923,32 kWh/kg ile en yüksek iken 630,5 kWh/kg ile en düşük değere sahiptir. Diğer yandan özgül nem uzaklaştırma oranı (*SMER*) için verilere bakarsak ilk gün 1,59 kg/kWh ile en yüksek değere sahipken son gün 6.28E-05 kg/kWh ile en düşük değere sahiptir. Isı kullanımı faktörü (*HUF*) ile performans katsayısı (*COP*) değerlerinde günlere bağlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Kurutma etkenliği (*DE*) ise 1.307 ile en yüksek değere sahipken 1,062 ile 4'üncü gün en düşük değere sahip olmuştur. Son olarak önemli performans ölçütlerinden olan kurutma hızı ( $\dot{m}_{dr}$ ) 0,8 kg/h ile en yüksek değere sahipken 0,11 kg/h ile en düşük değere sahip olmaktadır.

Son olarak, bütün bu veriler ışığından da anlaşılacağı üzere taşıyıcı konveyör bantlı aktif güneş enerjili pasif kabin tipi kurutma sistemi prototipi tasarlanması ve imalatı başarılı olmuştur. Geliştirilen kurutma sistemi literatürde elde edilen veriler ile uyumluluk göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek su içeriği ve gerekse su aktivasyonu bakımından çok yüksek değerlere sahip erik meyvesinin kurutulması için hasat işleminin yapıldığı ilk günler olan Ağustos ayında kurutma yapılmasının daha iyi olacağı bu çalışmadan anlaşılmıştır. Aynı sistemin diğer meyve ve sebzelerde bazı değişiklikler ile yapılması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceği bu çalışmadan anlaşılmaktadır.

Bir binanın çatı katında gerçekleştirilen kurutma proseslerinden de anlaşılacağı üzere meteorolojik verilenden daha iyi bir kurutma ortamının elde edildiği yapılan ölçümlerden anlaşılmaktadır. Kurutma işlemi için en uygun çevresel koşullar daha kuru ortam ile daha yüksek rakımlı yerde kurutma yapılması kurutma sistemi performansını daha da artıracaktır. Ülkemizin coğrafi koşulları yüksek rakımlı yer alternatiflerini bizlere sunmaktadır. Kurutma çalışmalarını yapıldığı çoğu ülkelerde düz ovada hasat yapılmakta ve kurutma işlemleri aynı ortamda yapılması bir zorunluluk iken ülkemizin ovalarının yakınlarında bulunan tepeler ve dağlar kurutma işleminin yapılması alternatifi bulunmaktadır. Bunun için modüler kurutucuların tasarlanması önerilmektedir. Bilindiği gibi nispeten bağıl nemi daha düşük olan yüksek rakımlı ilçelerde bu kurutma işleminin yapılması durumunda sistem verimliliği anlamlı bir şekilde artacağı hesaplanan değerlerden anlaşılmaktadır. Bunun nedeni yüksek rakımlı yerlerde kurutma havasının nispi nemi daha düşük olmakla birlikte yatay yüzeye gelen güneş radyasyonunun daha fazla olmasıdır. Bundan dolayı kurutma işlemlerinin özellikle nemin yüksek olduğu yaz aylarında bağıl nemin nispeten daha düşük olduğu yüksek rakımlı yerlerde yapılmasının daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı yüksek rakımlı, düşük nemli ve yüksek radyasyonlu yerler önerilmektedir.

Diğer yandan yapılan bu çalışmanın önemli özelliklerinden olan konveyör taşıyıcı batın otomasyonu ile daha hijyenik koşullarda yükleme ve boşaltma yapılma imkanı sunulmaktadır. Ayrıca bant ilerleme hızının kontrolü sayesinde daha endüstriyel ölçekli harici enerji destekli hibrid kurutma sistemleri için daha iyi sonuç vereceği bilinen bir gerçektir. Önerdiğimiz gibi modüler bir sistemin tama otomasyonun yapılması durumunda profesyonel olmayan işgücü ile birlikte kurutma işleminin yapılması da mümkün olmaktadır.

Erik gibi yüksek nem içeriği olan ürünlerin daha kısa sürede ve orta sıcaklıkta kurutulması literatürde önerilmektedir. Bunun nedeni uzun süreli ve önerilenden yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemlerinde erik meyvesinin gıda içerikleri olumsuz yönde etkilenmesidir. Ayrıca sabit sıcaklıkta kurutma işlemlerinin daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bundan dolayı güneşlenmenin yeterli olmadığı saatlerde ve güneşin olmadığı saatlerde de kurutma imkânı sunan enerji depolayabilen materyaller ile güneş enerjisi gündüz gün ışında depolanabilmekte ve güneşlenmenin olmadığı saatlerde bu enerji kullanılabilir. Sıcaklığın değişkenliğini önlemek için doğalgaz destekli kurutma sistemi veya harici başka enerji kaynaklarının kullanılması durumunda stabil bir kurutma sıcaklığının elde edilmesi ile daha iyi sonuçlar alınacağı için hibrit kurutma sistemi önerilmektedir.

Son olarak kurutma işleminin direk güneş enerjisi ile yapılması yerine sıcak hava sağlayıcı havalı güneş kolektörü gibi havanın kabine girmeden ısıtılması bu çalışmada önerilmektedir. Bunun nedeni ise kurutma işlemini direkt güneş enerjisine maruz bırakırsak hava sıcaklığını kontrol edemediğimiz için önerilen sıcaklıkların üzerine çıktığı için kurutulan materyalde olumsuz sonuçlar alınabilmektedir. Otomasyona uygun hava giriş sıcaklığı kontrolü için aktif dolaylı hibrit sistemlerin kullanılması bu çalışmada şiddetle önerilmektedir.

.

## 6. KAYNAKLAR

Adelaja, A.O., and Babatope, B.I., (2013). Analysis and Testing of a Natural Convection Solar Dryer for the Tropics. *Journal of Energy*, 2013:1-8.

Augustus, L.M., Kumar, S., and Bhattacharya, S.C., (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renew Sust Energ Rev*, 6:367–393.

Akdeniz B., (2011). Geleneksel usullerde sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinin kurutulması, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1):13-22.

Ali, M. M. A., and El-Sharabasy, M. M. A., (2012). Manufacture a solar dryer for drying some agricultural products, *Misr J. Ag. Eng.*, 29 (4): 1295-1314.

Alonge, A. F. and Hammed, R. O., (2007). A direct passive solar dryer for tropical crops, *African Crop Science Conference Proceedings*, 8:1643-1646.

Alonge, A.F., and Omoniwa, A.O., (2012). Development and modification of a direct passive solar dryer. *Northeast Agricultural & Biological Engineering Conference*, Lakehead University, Orillia, Ontario, July 15-18, pp. 1-10.

Aviara, N. A., (2020). Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products (Chapter writer). (Erişim Tarihi: Haziran 2020) DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.87996>

Bala, B.K., Mondol, M.R.A., Biswas, B.K., Das, Choudhury, B.L., and Janjai, S., (2003). Solar drying of pineapple using solar tunnel dryer. *Renew Energy*, 28:183–190.

Belessiotis, V., and Delyannis, E., (2011). Solar drying. *Sol Energy*, 85:1665–1691.

Bennett, A. and Hudson, J.R., (1954). Determination of moisture in cereals: review of methods in common use. *J Inst Brew*, 60:29–34.

Banout, J., and Ehl, (2010) .Using a Double-pass solar dryer for drying of bamboo shoots. *J Agric Rural Dev Trop Subtrop*, 111(2):119–127.

Banout, J., (2017). *Solar Drying Systems*. ( O. Prakash and A. Kumar editörler) Springer Singapore, Singapore, 640s. Doi: 10.1007/978-981-10-3833-4.

Beuchat, L.R., (1981). Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Foods World*, 26(7):345–349.

Bezyma, L.A. and Kutovoy, V.A., (2005). Vacuum drying and hybrid technologies. *Stewart Post-harvest Rev.*, 4:6–13. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.4.7>

Bingöl G., (2010). Gıda işlemede kurutma teknolojilerinin temel ilkeleri. Kısaltılmış Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E., (1938). Adsorption of gases in multi-component layers. *Am Chem Soc J*, 60:309–319.

- Can, A., (2000). Drying kinetics of pumpkin seeds. *Int. J. Energy Res.*, 24:965–75. [https://doi.org/10.1002/1099-114X\(200009\)24:11<965::AID-ER635>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1099-114X(200009)24:11<965::AID-ER635>3.0.CO;2-W)
- Cengel, Y.A. and Cimbala, J.M., (2014). Akışkanlar mekaniği temel uygulamaları (Tahsin Engin Editör), Palme Yayınları, Çankaya, Ankara.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., ve Doğan, H., (2006). Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması. *Politeknik Dergisi*, 9(4):289-294.
- Chauhan, P.S. and Kumar, A., (2016). Performance analysis of greenhouse dryer by using insulated northwall under natural convection mode. *Energy Reports*, 2:107–116.
- Chirife, J. and Iglesias, H.A., (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods: part 1- a review. I. *J Food Technol*, 13:159–174.
- Condori M, Saravia L (1998) The performance of forced convection greenhouse dryers. *Renew Energy* 13(4):453–469.
- Çevik, İ., ve Bilişli, A., (2002). Bazı erik çeşitlerinin kurutmaya elverişliliği üzerinde araştırmalar, *Gıda*, 27(4):285-290.
- Doymaz, İ., (2004). Effect of dipping treatment on air drying of plums. *J. of Food Eng.*, 64:465–470.
- Ekechukwu, O.V., and Norton, B., (1997). Experimental studies of integral-type of natural-circulation solar energy tropical crop dryers. *Energy Convers Manag*, 38:1483–1500.
- Ekechukwu, O., and Norton, V., (1999). Review of Solar-Energy Drying Systems: An Overview of Solar Drying Technology. *Energy Conversion and Management*, 40:615-655. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00093-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00093-4)
- Ekechukwu, O.V., (1999). Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Convers Manag*, 40:593–613.
- Ekechukwu, O.V., and Norton, B., (1999). Review of solar-energy drying systems II an overview of solar drying technology. *Energy Convers Manag*, 40:615–655.
- Erbay, B., ve Küçüköner, E., (2008). Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*. Erzurum, 21-23 Mayıs, s.1045-1048.
- Erbay, Z. and Icier, F.A., (2009). Review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results, critical reviews. *Food Sci Nutr*, 50:441–464.
- Ertekin, C., Gozlekci, S., Kabas, O., Sonmez, S., and Akinci, I., (2006). Some physical, pomological and nutritional properties of two plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. *J. Food Eng.*, 75(4):508-514.

- Esper, A., and Muhlbauer, W., (1998). Solar drying-an effective means of food preservation. *Renew Energy*, 15:95-100. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00143-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00143-8)
- Figiel, A. and Michalska, A., (2016). Overall quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves. *Int J Mol Sci.*, 71:1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms18010071>
- Fontaine, J. and Ratti, C., (1999). Lumped-parameter approach for prediction of drying kinetics in foods. *J Food Process Eng*, 22:287–305.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M.H., Ruslan, M.H., Gabbasa, M. and Kazem, H.A., (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili. *Sol Energy*, 99:47–54.
- Furlan, G., Mancini, N.A., and Sayigh, A.A.M., (1983). A view of non-conventional energy sources. Miramare-Trieste, Italy.
- Gail, M., Newman, William, E.P., and Lawrence A. W., (1996). Factors influencing the drying of prunes 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying. *Food Chemistry*, 57(2):241-244.
- Güngör A., (2013). Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan, pp.43-63.
- Güngör, G.M., (2017). Mürdüm Eriği Nedir? Faydaları ve Zararları Nelerdir? Beslenme bilimini geleceği (Erişim 12 Haziran 2020) <https://www.birbes.com/murdum-erigi-nedir-faydalari-ve-zararlari-nelerdir-18047/>
- Gürel A. E., Ceylan İ., ve Aktaş M., (2016) Meyve ve sebzelerin kurutma parametrelerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C*, 4(4):267-273.
- Hedayatzadeh, M., and Chaji, H., (2016). A review on plum drying, *Renew. Sust. Energ. Rev*, 56:362–367.
- Holdsworth, S.D., (1971). Dehydration of food products a review. *Int J Food Sci Technol*, 6:331–370.
- Hong, J., Chen, R., Zeng, X-A., and Han, Z., (2016). Effect of pulsed electric fields assisted acetylation on morphological, structural and functional characteristics of potato starch. *Food Chem.*, 192:15–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.058>
- Hossain, M.A., and Bala, B.K., (2007). Drying of hot chilli using solar tunnel dryer. *Sol Energy*, 81:85–92.
- Hussein, J.B., Hassan, M.A., Kareem, S.A., and Filli, K.B., (2017). Design, construction and testing of a hybrid photovoltaic (PV) solar dryer. *International Journal of Engineering Research & Science*, 3(5):1-14.

İsaeva J., (2007). Kayısı Kurutmasının Deneysel Ve Teorik Olarak Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 96s.

Janjai, S., and Bala, B.K., (2012). Solar drying technology. *Food Eng Rev*, 4:16–54.

Jayas, D.S., Cenkowski, S., Pabis, S. and Muir, W.E., (1991). Review of thin-layer drying and wetting equations. *Dry Technol*, 9(3):551–588.

Kamer M.S., Şahin H E., Sönmez K., Muharrem İmal ve Ahmet Kaya A., (2016). Kabak ve patlıcan dilimlerinin kuruma davranışının deneysel incelenmesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2):1.

Karathanos, V. T., and Belessiotis, V. G., (1997). Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 31:35–46.  
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00050-7)

Karataş, N., (2014). Farklı kurutma yöntemlerinin bazı kayısı çeşitlerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 155s.

Kayran, S., (2019), Kayısı ve atıklarının kurutma karakteristiklerinin incelenmesi ve kalite parametrelerinin belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 188s.

Kemp, I.C., (2005). Reducing dryer energy use by process integration and pinch analysis. *Dry Technol*, 23:2089–2104.

Kudra, T., (2012). Energy performance of convective dryers. *Dry Technol*, 30:1190–1198.

Kumar, A., Singh, R., Prakash, O., and Ashutosh, (2014). Review on global solar drying status, *Agric Eng Int.*, 16(4):161-177.

Kurmanov, N., Shingissov, A., Kantureyeva, G., Nurseitova, Z., Tolysbaev, B., and Shingisova, G., (2015). CBU International Conference on Innovation, Technology Transfer and Education, March 25-27, Prague, Czech Republic, pp.494-498.  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1560311>

Labuza, T.P., (1977). The properties of water in relationship to water binding in foods. A review. *J Food Process Preserv*, 1:176–190.

Langmuir, I., (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J Am Chem Soc*, 40:1361–1402.

Leistner, L., (1992). Food preservation by combined methods. *Food Res Int*, 25:151–158.

Scott, W.J., (1957). Water relations of food spoilage microorganisms. *Adv Food Res*, 7:83–127.

Muhammad, J.Y., Abdullahı, A.Y., Abdulhamid, I.B., Abdulkadir, A.B., Ibrahim, I.U., Maikudi, M.M., and Aliyu, M.A., (2020). Design, construction and performance assessment of a hybrid solar dryer using forced convection principle. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 5(1-2):11-26.

Mujumdar, A. S., (2007). An overview of innovation in industrial drying: Current status and R&D needs. *Transport Porous Media*, 66(1-2):3-18.

Murthy, M.V.R., (2009). A review of new technologies, models and experimental investigations of solar dryers. *Renew Sust Energ Rev*, 13:835–844.

Myhara, R. M., and Sablani, S., (2001). Unification of fruit water sorption isotherms using artificial neural networks. *Drying Technology*, 19(8):1543-1554.

Nguimdo, L. A., and Noumegnie, V.A.K., (2020). Design and implementation of an automatic indirect hybrid solar dryer for households and small industries. *International journal of renewable energy research*, 10(3):1415-1425.

Nonhebel, M.A. ve Moss, A.H. (1971). *Drying of solids in the chemical industry*, CRC Press, Ohio, USA.

Nwakuba, N.R., Asoegwu, S.N., Nwaigwe, K.N., and Chukwuezie, C.O., (2017). Design and development of a hybrid solar-electric dryer for sliced vegetable crops. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 23(2):48-64.

Ohanwe, C. N., Ogunlowo, A. S., Agbetoye, L. A. S., and Ohanwe, C.U., (2015). Development of an indirect active solar dryer for cowpea and pre-storage pest control. *International Journal of Applied Research and Technology*, 4(2):28-38.

Onat A., İnan T.A., ve Gül Z., (2003) Farklı geometrik yapıdaki kırmızı biberlerin PLC kontrollu güneş enerjili-gizli ısı depolamalı kurutucuda kurutulması. *Politeknik Dergisi*, 6(1):379-384.

Onat, A., ve Binark, A.K., (2003). Güneş enerji destekli karşıt akışlı -taşınım tipli kırmızıbiber kurutucusunun ısı analizi. *Politeknik Dergisi*, 6(2):475-481.

Özdemir M.B., ve Yatarkalkmaz M.M., (2018). Kayısı kurutma için düz ve hapsedici yüzeyli güneş destekli kurutma sistemlerinin mukayese edilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi GU J Sci, Part C*, 6(4):803-813. <https://doi.org/10.29109/gujsc.424823>

Özkaya, M.G., Kırbaş, İ., ve İncili, V., (2007). Havalı Güneş Kolektörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 10(3):253-256. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/479894>

Pala A., (2018). Üzümün kabin tipi kurutucuda güneş enerjisi ile kurutulması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 100s.

Parlar, İ., (2017). Mürdüm. <https://www.parlarfidan.com/murdum/> (Erişim 12 Haziran 2020)

- Parakash, S., Jha, S. K., and Datta, N., (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different dryers. *Journal of food engineering*, 62:305-313. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00244-9)
- Phomkong, W., Srzednicki, G., and Driscoll, R.H., (2006). Thermophysical properties of stone fruit, *Drying Technology*, 24(2):195-200. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930600559100>
- Prakash, O., and Kumar, A., (2013). Historical review and recent trends in solar drying systems, *International Journal of Green Energy*, 10, (7), 690-738. Doi: 10.1080/15435075.2012.727113
- Prakash, O., and Kumar, A., (2014). Solar greenhouse drying: a review. *Renew Sust Energ Rev*, 29:905–910.
- Prakash, O., Kumar, A. and Laguri, V., (2016). Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage. *Energy Rep*, 2:155–162.
- Prakash, O. and Kumar, A., *Solar Drying technology, concept, design, testing, modeling, economics, and environment. Green Energy and Technology*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017.
- Prakash, O. and Kumar, A., (2017). *Solar Drying Technology: Concept, Design, Testing, Modeling, Economics, and Environment*. Springer Singapore, Singapore, 640s Doi: 10.1007/978-981-10-3833-4.
- Polatçı, H., (2012). Farklı kurutma yöntemlerinin AVG (aminoethoxyvinylglycine) uygulaması yapılmış black beauty (*Prunus Salicina L.*) erik çeşidinde kuruma süresi ve kalitesine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2):171-178.
- Rahaman, A., Siddeeg, A., Manzoor, M.F., Zeng, X.A., Ali, S., Baloch, Z., Li, J., and Wen, Q.H., (2019). Impact of pulsed electric field treatment on drying kinetics, mass transfer, colour parameters and microstructure of plum. *J Food Sci Technol*, 56(5):2670–2678. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03755-0>
- Ratti C., (2001). Hot-air and Frezee-drying of High Value Foods: A Review. *Journal of Food Engineering*, 49:311-319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)
- Schiavone, D.F., (2011). Development and evaluation of a natural-convection solar dryer for mango in rural Haitian communities. University of Florida, Partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, Florida, 205p.
- Schiavone, D.F., (2011). Development and evaluation of a natural-convection solar dryer for mango in rural Haitian communities, MSc, University of Florida, Florida, USA.
- Shafiur Rahman, M., and Labuza T. P., (2007). *Handbook of food preservation*, Chapter 20: Water Activity and Food Preservation. Taylor & Francis Group, CRC Press. pp. 447-477. 1088 pages

Sharma, V.K., Sharma, S., Ray, R.A., and Garg, H.P., (1986). Design and performance studies of a solar dryer suitable for rural applications. *Energy Convers. Mgmt*, 26(1):111-119.

Sharma, A., Chen, C.R., and Vu Lan, N., (2009). Solar-energy drying systems: a review. *Renew Sust Energ Rev*,13:1185–1210.

Schirmer, P., Janjai, S., Esper, A., Smitabhindu, R., Muhlbauer, W., (1996). Experimental investigation of the performance of the solar dryer for drying bananas. *Renew Energy*, 7(2):119–129.

Struckmann, F., (2008). Analysis of a flat-plate solar collector. Project Report. Heat and Mass Transport. May 08, Lund, Sweden.

Şener, M., (2013). Etkin bir havalı güneş kolektörünün tasarımı ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.

Tembo, L., Chiteka, Z.A., Kadzere, I., Akinnifesi, F.K., and Tagwira, F., (2008). Blanching and drying period affect moisture loss and vitamin C content in Ziziphus mauritiana (Lamk.) *Afr J Biotechnol*, 7(8):3100–3106.

Turan, A., (2017). Fındıkta kurutma yöntemlerinin meyve kalitesi ve muhafazası üzerine etkileri, Ordu Üniv. Doktora Tezi, Ordu, 231s.

Tonui, K.S., Mutai, E.B.K., Mutuli, D.A., Mbugu, D.O., and Too, K.V., (2014), Design and Evaluation of Solar Grain Dryer with a Back-up Heater, *Research Journal of Applied Sciences*, 7(15): 3036-3043.

Tosun, N.; Bayındır, H.; Aydın, H., (2009). Diyarbakır ilinde çok fonksiyonlu güneş enerjili kurutma sistemi oluşturulması üzerine bir araştırma, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 18-19 Haziran, pp. 84-89.

Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., Müller, J., (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268:110730. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>

Uysal Seçkin, G. ve Taşeri, L., (2015). Yarı-Kurutulmuş Meyve ve Sebzeler (Semi-Dried Fruits and Vegetables), Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg., 21(9):414-420.

Ünal Savaş, Ö., ve Akgün Ş., (2016). Erik-Badem Hastalıklar ve zararlılarla mücadele. Bitki Sağlığı ve Karantina Daire Başkanlığı, Tarım Bakanlığı, Eğitim Yayın ve Yayınlar Dairesi Başkanlığı Matbaası.

VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., and Goic, R., (2012). A review of solar drying technologies. *Renew Sustain Energy Rev*, 16:2652–2670.

Vijayan, S., Arjunan, T.V. and Kumar, A., (2016). Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter melon in sensible storage based indirect solar dryer. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 36:59–67.

Vijayan, S., Arjunan, T.V. and Kumar, A., (2017). Fundamental Concepts of Drying.( O. Prakash and A. Kumar editörler) Springer Singapore, Singapore, 640s  
Doi: 10.1007/978-981-10-3833-4.

Weitz, D. A., Luque, E. A., and Piacentini, R. D., (1990). Solar drying simulation of prunes arranged in thin layers. *Drying Technology*, 8(2):287–303.  
<https://doi.org/10.1080/07373939008959884>

Weiss, W., and Buchinger, J., (2005). Solar drying – Austrian Development Cooperation. AEE INTEC, Gleisdorf, p.110.

Yaldiz, O., Ertekin, C., and Uzun, H.I., (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26:457–65. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00018-4)

Yıldız O., and Ertekin C., (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19:583–597.

Yıldız, Z., ve Gökayaz, L., (2019a). Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu, *Çukurova J. Agric. Food Sci.*, 34(2):100-108. <https://doi.org/10.36846/CJAFS.2019.2>

Yıldız, Z., ve Gökayaz, L., (2019b). Elma dilimlerinin farklı güneş kurutma yöntemleri ile kurutulması. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 22:29-36.

Yıldız, Z., ve Gökayaz, L., (2020a). Çok Rafli Güneş Enerjili Kurutucuda Elmanın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(1):27-36.

Yıldız, Z., ve Gökayaz, L., (2020b). Rafli doğal konvektif güneş enerjili kurutucuda elma kuruma kinetiğinin incelenmesi. *Engineering Sciences*, 15(1):34-42.  
<https://doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0449>.

Yılmaz, G.M., (2015). The effect of ultrasound pretreatment on drying characteristics of apple slices. Istanbul Technical University, M.Sc. Thesis, Istanbul. 63p.

<https://www.birbes.com/murdum-erigi-nedir-faydalari-ve-zararlari-nelerdir-18047/>  
(06 Aralık 2020)

ANONYMOUS <https://www.atlasbig.com/tr/ulkelerin-erik-uretimi> (22 Aralık 2020).

Anonymous, Latent heat of vapor of water

[https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d\\_1573.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)

(Erişim : Haziran 2020)

<http://www.tarim.gov.tr/GKGM>

(Erişim 12 Haziran 2020)

Linda <https://www.dehydratorblog.com> (erişim tarihi 2020 içinde olsun)

Anonymous [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx)

Erişim (Temmuz 2020)

Anadolu Haber, 22/08/2019

<http://www.habernadolu.org/birton-murdum-eriginin-hasadi-basladi/1165/>

weatheronline, Adana İli 2020 yılı Eylül ayı günlük bağıl nem ortalamaları

<https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city>

(Erişim Tarihi: Haziran 2020)



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı :** Orçun KÜÇÜKATAY

**Doğum Tarihi :**

**E-mail :**

### Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Elektronik Öğretmenliği	Fırat Üniversitesi	2002

### Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Öğretmen	Hadim Endüstri meslek Lisesi	1
Öğretmen (Atölye Şefi)	İmkb Endüstri Meslek Lisesi	9
Öğretmen (Atölye Şefi)	Çukurova Elektrik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	5

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Şimşek E., Bilgili M., **Küçükataı O.**, "Programlanabilen Mantıksal Denetleyici (Plc) İle Çalışan Split Klima Tasarımı", Mühendis Ve Makina Dergisi, cilt.57, ss.30-40, 2016.
2. Şimşek E., **Küçükataı O.**, "Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Eğitim Simülatörü Geliştirilmesi", Ç. Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt.31, ss.405-419, 2016.

3. Karaçayli İ., **Küçükataş O.**, Şimşek E., " Development of an applied automation systems simulator", 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, ADANA, TÜRKİYE, 26-28 Ekim 2016.
4. Şimşek E., Karaçayli İ., **Küçükataş O.**, "Sıcaklık ve Basınç kontrollü, Operatör Paneli PLC İle Çalışan Split Klima Eğitim Simülatörü Geliştirilmesi", 1st International Conference on Engeneering Technology and Applied Sciences, Afyon, Türkiye, 21-22 Nisan 2016, pp.1433-1440.
5. Şimşek E., Bilgili M., **Küçükataş O.**, "Programlanabilen Mantıksal Denetleyici (Plc) İle Çalışan Split Klima Tasarımı", 1.Endüstriyel Otomasyon Kongre Ve Sergisi , Adana, Türkiye, 14-16 Mayıs 2015, cilt.1, no.E/MMO/642, ss.143-156.
6. **Küçükataş O.**, Köse E., Yıldız Z., "Plc Kontrollü Kurutucu Konveyör Tasarımı", Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(1), ss. 249-260, Mart 2021

