



**T.C.**

**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMİNDE ÇİLEĞİN KURUTMA  
KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**EDA CANKURTARAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY**

**YOZGAT, 2018**



T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 7110916007 numaralı öğrencisi Eda CANKURTARAN'ın hazırladığı “**Güneş Enerjili Kurutma Sisteminde Çileğin Kurutma Karakteristiğinin Belirlenmesi**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 04/01/2019 Cuma günü saat 11.00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

**Başkan** : Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN



**Jüri Üyesi (Danışman)** : Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY



**Jüri Üyesi** : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ASKER



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 14.../02.../19 tarih ve 9... sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

14.02.2019

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI  
Müdür



## ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sırasında, yardımlarını, desteğini ve fikirlerini esirgemeyen ve çalışmamın her aşamasında destek olan, anlayış gösteren ve bilgilerini paylaşarak bana yol gösteren tez danışmanım ve değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY 'a

Bunun yanında bütün eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve yüreklendiren aileme tüm içtenliğimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eda CANKURTARAN  
YOZGAT, 2018

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iv
SİMGE LİSTESİ .....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.1.1 Güneş Enerjisinin Avantajları .....	2
1.1.2 Güneş Enerjisinin Dezavantajları .....	2
1.2 Tezin Amacı.....	9
2. MATERYAL VE METOD .....	11
2.1 Kurutma .....	11
2.1.1 Kurutma İşleminin Gıda Maddelerine Uygulanmasındaki Amaçlar .....	11
2.2 Kurutma Esnasında Isı Ve Kütle Geçişi .....	11
2.3 Kurutma Teorisi .....	12
2.3.1 Denge Bağlı Nemi.....	12
2.3.2 Bağlı Nem.....	13
2.3.3 Kurutma Hızı .....	14
2.3.4 Kurutma Statiği.....	15
2.3.5 Kurumanın Kinetiği .....	15
2.4 Kurutma yöntemleri.....	17
2.4.1 Kurutucu Tipleri .....	17
2.4.1.1 Tepsili Kurutucular .....	17
2.4.1.2 Tünel Kurutucular .....	17
2.4.1.3 Konveyör (Bantlı) Kurutucular .....	18
2.4.1.4 Akışkan Yataklı Kurutucular .....	18
2.4.1.5 Püskürtmeli Kurutucular .....	19
2.4.1.6 Valsli Kurutucular .....	19
2.5 Kurutma İşleminde Güneş Enerjisi .....	20
2.6 Güneş Enerjili Kurutucular .....	21
2.6.1 Direkt Kurutucular .....	22
2.6.2 İndirekt Kurutucular .....	23
2.6.3 Karışık (Kombine) Kurutucular .....	23
2.6.4 Pasif Kurutucular (Doğal Taşınım).....	25
2.6.5 Aktif Kurutucular (Zorlamalı Taşınım).....	26
2.6.6 Sera Güneş Kurutucular .....	30
2.6.7 Dolaylı Tip Solar Kurutucu .....	31

2.6.8 Kabin Tipi Güneş Kurutucular .....	31
2.6.9 Güneş Enerjili Raflı Kurutucu .....	32
2.6.10 Tünel Tipi Güneş Kurutucular .....	33
2.7 Çilek(Fragaria Ananassa).....	34
2.8 Parafin ve Özellikleri.....	37
2.8.1 Proje Kapsamında Enerji Depolama Malzemesi Olarak Parafin Kullanılmasının Sebebi .....	38
<b>3. GÜNEŞ ENERJİLİ VE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLİ KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI .....</b>	<b>40</b>
3.1 Kurutma Sisteminin Seçimi .....	40
3.2 Kurutma Kabini.....	40
3.3 Güneş Enerjili ve Enerji Depolama Sistemli Zırai Ürün Kurutma Sistemi.....	41
3.4 Güneş Toplayıcı Sistem.....	44
3.5. Güneş Enerjili Kurutucu Enerji Depolama Sistemi.....	45
3.6. Test Cihazları ve Ekipmanları.....	46
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....</b>	<b>51</b>
4.1 Kurutma İşlemi Öncesi Yapılan İşlemler .....	52
4.1.1. Kurutulmuş Çileğin Fiziksel Özellikleri .....	54
4.2. Kurutma Deney Sonuçları.....	55
4.2.1.1. Gün Kurutma Deney Sonuçları.....	55
4.2.2 2. Gün Kurutma Deneyi Sonuçları.....	59
4.4 Kurutma Modelinin Oluşturulması.....	63
4.5 Enerji Depolama Sistemi ile İlgili Deneysel Çalışmalar .....	66
4.5.1.1. Gün Enerji Depolama Sistemi Deneyi Sonuçları.....	67
4.5.2.2. Gün Enerji Depolama Sistemi Deneyi Sonuçları.....	70
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>73</b>
<b>6. KAYNAKÇA .....</b>	<b>77</b>
<b>EK A .....</b>	<b>84</b>
1. Gün Yapılan Kurutma Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları .....	84
2. Gün Yapılan Kurutma Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları .....	88
<b>EK B.....</b>	<b>92</b>
1. Gün Yapılan Enerji Depolama Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları.....	92
2. Gün Yapılan Enerji Depolama Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları.....	95
<b>EK C.....</b>	<b>98</b>

## SİMGE LİSTESİ

$Dq/Dt$ : Isı Aktarımı (kj/s),

$H$ : Konvektif Isı Transfer Katsayısı (kj/m<sup>2</sup>.s.°C),

$A$ : Kurutma Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>),

$T_a$ : Havanın Sıcaklığı (°C),

$T_s$ : Yüzeyin Sıcaklığı (°C).

$Dw/Dt$ : Kurutma Hızı (kg/s),

$K_g$ : Kütle Transfer Katsayısı (kg/m<sup>2</sup>. s)

$A$ : Kurutma Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>),

$H_s$ : Yüzeyin Nemi (kg Su / kg Kuru Hava)

$H_a$ : Havanın Nemi (kg Su / kg Kuru Hava)

$N=F(T)$ : Materyalin Nemi İle Kuruma Süresi

$Dn/Dt=F(N)$ : Kuruma Hızı İle Materyal Nemi

$Dn/Dt=F(T)$ : Kuruma Hızı İle Kuruma Süresi

$T=F(N)$ : Materyal Sıcaklığı İle Nemi

$a_w$ : Su Aktivitesi

$P_1$ : Kabin Girişi Basınç Değeri,

$P_2$ : Kabin Çıkışı Basınç Değeri,

$P_3$ : Isı Odası İç Kısmı Basınç Değeri,

$Dp_1$ : Parafin Yatağı Girişi Fark Basıncı Değeri,

$Dp_2$ : Parafin Yatağı Çıkışı Fark Basıncı Değeri

$W/m^2$ : Güneş Işınım Değerleri

## **KISALTMA LİSTESİ**

MR: Nem Oranı(kgH<sub>2</sub>O/H)

IE: Kuruma Başlangıcında Görülen Isınma Evresi

SHE: Sabit Hızla Kuruma Evresi

AHE: Azalan Hızla Kuruma Evresi





## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil: 2.1. Denge Bağlı Nem Eğrisi.....	13
Şekil: 2.2. Kurutma Hızı Eğrisi .....	14
Şekil: 2.3. Sorpsiyon Eğrisinin Kurutmanın Statüğü Açısından Anlamı .....	15
Şekil: 2.4. Kinetik Kuruma Eğrisi [Demir Ve Günhan 2002].....	16
Şekil: 2.5. Tepsili Kurutucu .....	17
Şekil: 2.6. Tünel Kurutucu .....	18
Şekil: 2.7. Konveyör (Bantlı) Kurutucular .....	18
Şekil: 2.8. Akışkan Yataklı Kurutucular .....	19
Şekil: 2.9. Püskürtmeli Kurutucular .....	19
Şekil: 2.10. Valsli Kurutucu .....	20
Şekil: 2.11. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneşlenme Süresinin Bölgelere Göre Dağılımı [Varınca ve Gönüllü, 2006] .....	21
Şekil: 2.12. Kombine Kurutucu.....	24
Şekil: 2.13. Karışık Tip 1 Kurutucu.....	24
Şekil: 2.14. Karışık Tip 2 Kurutucu.....	25
Şekil: 2.15. Çadır Tipi Bir Kurutucu .....	26
Şekil: 2.16.Fanlı Tip Güneş Enerjili Kurutucu.....	27
Şekil: 2.17.Oda Tipi Fanlı Kurutucu .....	27
Şekil: 2.18.Aktif Ve Pasif Kurutucu Tipleri .....	28
Şekil: 2.19.Sulu Tip Isı Deposuna Sahip Güneşle Kurutma Yapan Bir Kurutucu.....	29
Şekil: 2.20.Fotovoltaik Panel Destekli Zorlamalı Konveksiyonlu Kurutucu .....	30
Şekil: 2.21. Sera Tipi Güneş Enerjili Kurutucu.....	31
Şekil: 2.22. Kabin Tipi Güneş Kurutucu Sistemleri .....	32
Şekil: 2.23. Güneş Enerjili Rafli Kurutucu .....	33
Şekil: 2.24. Kurutma İşleminde Kullanılan Güneşli Tünel Kurutucu [Farhat Ve Ark. 2004] .....	34
Şekil: 2.25. Ülkemizde 2012–2016 Yılları Arasında Üretilen Çilek Miktarları .....	36
Şekil: 2.26. Enerji Depolama Malzemesi Olarak Kullanılan Parafin .....	37
Şekil: 2.27. Faz Değişim Grafiği .....	38
Şekil: 3.1. Kurutma Kabini Şematik Resmi .....	40
Şekil: 3.2. Kurutma Kabini Resmi.....	41
Şekil: 3.3. Güneş Enerjili Ve Enerji Depolama Sistemli Zirai Ürün Kurutma Sistemi Akış Şeması .....	41
Şekil: 3.4. Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi .....	42
Şekil: 3.5 Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi Resmi (Yandan Görünüşü).....	43
Şekil: 3.6. Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi Resmi (Arkadan Görünüşü).....	43
Şekil: 3.7. Güneş Toplayıcı Sistemin Şematik Resmi .....	44
Şekil: 3.8. Güneş Toplayıcı Sistem (Havalı Güneş Kolektörü) Resmi.....	44
Şekil: 3.9. Enerji Depolama Sistemi Akış Şeması.....	45
Şekil: 3.10. Enerji Depolama Sistemi Montaj Resmi(Açık Hali) .....	46
Şekil: 3.11. Enerji Depolama Sistemi Montaj Resmi(Kapalı Hali).....	46
Şekil: 3.12. Datalogger.....	47
Şekil: 3.13. Bağlı Nem Ölçüm Sensörü .....	47
Şekil: 3.14. Thermocouple Ve Datalogger Güç Kaynağı Resmi.....	48
Şekil: 3.15. Anemometre(Hava Hızı Ölçüm Cihazı) Resmi .....	48

Şekil: 3.16. Basınç Sensörü Resmi .....	48
Şekil: 3.17. Güneş Enerjisi Ölçme Sistemi (Pyranometre) .....	49
Şekil: 3.18. Hassas Terazî Resmi .....	49
Şekil: 4.1. Dilimlenerek Tepsilere Yerleştirilmiş Çilek Numuneleri .....	53
Şekil:4.2. Kurutma Kabinine Yerleştirilmiş Kurutma Tepsisi .....	53
Şekil:4.3. Kurutma İşlemi Sonrası Çilek Dilimlerinin Tepsideki Görünüşü .....	53
Şekil: 4.4. Kurutma Sisteminin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişim .....	55
Şekil: 4.5 Kurutma Kabini Giriş ve Çıkışındaki Bağıl Nem (%) Değerinin Zamana Göre Değişimi .....	56
Şekil: 4.6 Çileklerin Kütle Değişim Grafiği.....	56
Şekil: 4.7 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Nem İçeriği .....	57
Şekil: 4.8 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Yüzde.....	58
Şekil: 4.9 Çilek Numunelerinin Nem Oranının Zamana Göre Değişimi .....	58
Şekil: 4.10 Güneş Işınımı Değerlerinin Gün İçerisindeki Değişimi.....	59
Şekil: 4.11 Kurutma Sisteminin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişimi .....	60
Şekil: 4.12 Kurutma Kabini Giriş ve Çıkışındaki Bağıl Nem (%) Değerinin Zamana Göre Değişimi .....	60
Şekil: 4.13 Çileklerin Ağırlık Değişim Grafiği .....	61
Şekil: 4.14 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Nem İçeriği .....	61
Şekil: 4.15 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Yüzde Nem Değişimi.....	62
Şekil: 4.16 Çilek Dilimleri İçin Nem Oranının Zamana Göre Değişim .....	62
Şekil: 4.17 Güneş Işınımı Değerlerinin Gün İçerisindeki Değişimi.....	63
Şekil: 4.18 50°C sabit sıcaklık için matematiksel model ile difüzyon yaklaşımı modelinin karşılaştırılması .....	66
Şekil: 4.19 Kolektörlerden Enerji Depolama Sistemine Üflenen Havanın Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi .....	67
Şekil: 4.20 Enerji Depolama Sistemi İç Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi .....	68
Şekil: 4.21 Şarj Süresi Boyunca Enerji Depolama Sisteminde Depolanan Enerjinin Zamana Göre Değişimi .....	68
Şekil: 4.22 Deşarj Süresi Boyunca Kurutma Kabini İçindeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi .....	69
Şekil: 4.23 Şarj Süresi Boyunca Güneş Işınımının Zamana Göre Değişimi.....	69
Şekil: 4.24 Kolektörlerden Parafin Yatağına Üflenen Havanın Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi .....	70
Şekil: 4.25 Parafin Yatağı İç Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi.....	71
Şekil: 4.26 Şarj Süresi Boyunca Parafin Yatağında Depolanan Enerjinin Zamana Göre Değişimi .....	71
Şekil: 4.27 Deşarj Süresi Boyunca Kurutma Kabini İçindeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi .....	72
Şekil: 4.28 Şarj Süresi Boyunca Güneş Işınımının Zamana Göre Değişimi.....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge: 2.1 Türkiye'nin Kuru Meyve İhracatı Yaptığı İlk 10 Ülke Sıralaması .....	36
Çizelge: 2.2 Projede Kullanılan Parafinin Teknik Özellikleri .....	39
Çizelge: 3.1 Ölçüm ve Test Cihazlarının Özellikleri.....	50
Çizelge: 4.1 Çileğin Bazı Fiziksel Özellikleri.....	54
Çizelge: 4.2 Kurutulmuş Çilek Dilimlerinin Literatürde Yer Alan Farklı Kurutma Modellerine Göre Nem Oranının Değişimini Tahmin Etmek İçin Kullanılan Uygun Parametre Değerleri .....	64
Çizelge: 5.1 Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sistemi İçin Sabit Giderler.....	75
Çizelge: 5.2 Elektrikli Kurutma Sistemi İçin Sabit Giderler .....	75



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMİNDE ÇİLEĞİN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Eda CANKURTARAN

Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY

Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ASKER

Tarımsal ürünlerin kurutulması ülkemizde genellikle doğrudan güneş alan açık alanlara serilerek yapılmaktadır. Bu durumda afla toksin gibi mikroorganizma kaynaklı ve çevresel faktörlerin ürün kalitesini etkilemesi söz konusu olmaktadır. Böyle olumsuz faktörler göz önüne alındığında ürün kurutucular ürünün daha sağlıklı şartlar altında kurutulmasını sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi destekli kurutma sistemi kullanılarak, performansa etki eden faktörler deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca kurutma işleminin sürekliliğini sağlamak için faz değişim malzemeli bir enerji depolama sistemi geliştirilmiştir. Faz değişim malzemesi olarak ergime sıcaklığı 55-60°C arasında değişen parafin kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda  $3 \pm 2$  mm kalınlığındaki çilek dilimlerinin kuruma davranışları incelenmiştir. Deney süresince sistemin özellikle giriş ve çıkış noktalarına yerleştirilen sensörler ile sistem içerisindeki sıcaklık, bağıl nem, basınç ve hava hızı değerleri ölçülerek elde edilen veriler datalogger ile veri tabanına aktarılmıştır. Bununla birlikte 0,01 gr. hassasiyete sahip terazi ile de kurutulan ürünlerden alınan numunelerin ağırlık değişimleri 30 dakika ara ile ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar süresince kabin içerisindeki ortalama sıcaklık değeri ve ortalama kurutma süresi sırasıyla 51 °C ve 6 saat olarak belirlenmiştir. Kurutma kabini giriş ve çıkışı arasındaki bağıl nem farkı ise en yüksek %6 olarak tespit edilmiştir. Deney

numunelerinin bazıları renk, nem tayini ve su aktivitesi açısından teste tabi tutulmuş olup bu çalışmalar sonucunda kurutulan ilek dilimlerinin özelikle nem tayinlerinin %27'nin ve su aktivitesi değerlerinin de 0,7'nin altında çıkmasından dolayı kuru madde olarak kabul edilebileceği ve uzun süre bozulmadan kalabileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, enerji depolama sistemi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda ortalama 48 MJ ısıı enerji depolandığı ve bu enerjinin ilek kurutma işlemi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilen bu kurutma sisteminin düşük nem ve sıcaklık değerleri arasında çalışmasından dolayı kurutulan ürünün kalitesinde de olumlu etkisinin bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Güneş Enerjisi, ilek, Faz Değiştirme Malzemeli Enerji Depolama Sistemi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **DETERMINATION OF THE DRYING CHARACTERISTIC OF STRAWBERRY IN A SOLAR DRYER**

Eda CANKURTARAN

The Graduate School of Natural and Applied Science of Yozgat Bozok University

The Degree of Master of Science

In Mechanical Engineering

Advisor: Assis. Prof. Dr. Halil ATALAY

Jury

Assoc. Prof.Dr. Mevlüt ARSLAN

Assis. Prof.Dr. Halil ATALAY

Assis Prof. Dr. Mustafa ASKER

Drying of agricultural products is done in our country by spreading in open areas which are generally direct sunlight. In this case, microorganism-induced environmental factors such as aflatoxin affect product quality. Considering such negative factors, product dryers ensure that the product is dried under healthier conditions. In this study, the factors affecting the performance have been determined experimentally by using a solar dryer. In addition, an energy storage system with phase change material was developed to ensure the continuity of the drying process. Paraffin which has a melting temperature of 55-60°C was used as phase change material. In the experimental studies, the drying characteristic of strawberry was examined. In the experimental studies, the drying characteristic of strawberry ( $3 \pm 2\text{mm thick}$ ) was examined. The data obtained by measuring the temperature, relative humidity, pressure, and air velocity values inside the system with the sensors placed at the entrance and exit points of the system during the experiment were transferred to the database with the datalogger. However, the weight changes of the samples taken from the dried products were measured with the help of a precision

scale (having 0.01 gr sensitivity) every 30 min. During the experimental studies, the average temperature value and average drying time in the cabin were determined as 51°C and 6 hours, respectively. The relative humidity difference between the inlet and outlet of the drying cabin was detected as 6%. Some of the test samples were tested for color, moisture determination, and water activity, and as a result of these studies, it was determined that their moisture determinations are below 27%, and water activity values are below 0.7. As a result, the samples were accepted as a dried product. Also, it has been observed that average 48 MJ thermal energy was stored in the experimental studies carried out using energy storage system and this energy was sufficient for the strawberry drying process. As a result of these experimental studies, it has been determined that the drying system has a positive effect on the quality of the dried product due to its operation between low humidity and temperature values.

**Keywords:** Drying, Solar Energy, Strawberry, Phase Change Material Thermal Energy Storage Systems, Renewable Energy Resources

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

Günümüzde teknoloji ve bilgi toplumunun her alanda ihtiyaç duyduğu enerjinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en geçerli göstergelerden birisidir.

Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması sonucu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, doğada geri dönüşümü mümkün olmayan zararlara yol açmaktadır. Bu nedenle, küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan fosil kaynakların sınırlı ve yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Güneş enerjisinin de dâhil olduğu dalga, jeotermal, rüzgâr vb. yenilenebilir enerji kaynakları bu nedenle önem kazanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde ilk olarak aklımıza güneş gelmektedir. Güneş enerjisi; potansiyeli, kullanım kolaylığı, temizliği, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması gibi nedenler ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek durumdadır. Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek, üretim alanlarının ısıtılması, tarımsal ürünlerin kurutulması vb. durumlarda kullanılmaktadır.

Ülkemizin sahip olduğu ekonomik öğelerin başında tarım olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Tarım ile ilgili teknolojiler sürekli gelişmekte ve kendilerine yeterli uygulama alanı bulmaktadır. Özellikle zirai ürün kurutma ile ilgili olarak güneş enerjisinden beslenen sistemlerin birçok alanda kullanılmaya başlamasıyla birlikte, bu teknolojinin tarım alanında da kullanılmaya başlanması kaçınılmazdır.

Günümüzde zirai ürün kurutma sistemleri ve kurutulmuş ürünlerle ilgili birçok çalışma yapılmış olup bu konularla ilgili olarak hem deneysel hem de bazı metotlarla kurutma parametreleri incelenmektedir. Özellikle gıda maddelerinin kuruma



özelliklerinin birbirinde farklı olduğu göz önüne alınarak kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hızı ve ürüne göre akım yönü ile ısı ve kütle transfer olaylarının etkilerinin mutlaka bilinmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin, güneş kuşağı içinde yer alması dolayısıyla, güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi yüksek olmasına karşın, bu kaynak yalnız düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Sanayinin toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında %0,1 oranında güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları sadece güneş kolektörleri vasıtasıyla düşük sıcaklıkta sıcak su üretimi ile sınırlı kalmaktadır. Kurulu olan kolektör miktarı son tahminlere göre 12- 17 milyon m<sup>2</sup> civarındadır. Güneş enerjisi uygulamaları; sıcak su üretimi, bitkisel ürünlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, deniz suyunun damıtılması, elektrik üretimi, sulama suyunun pompalanması, endüstriyel işlem ısısı üretme, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

### **1.1.1 Güneş Enerjisinin Avantajları**

- Yakıt masrafı olmadığından işletme maliyetinin düşük olması,
- Proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi,
- Enerji kaynağının tükenmez oluşu ve en önemlisi çevreyi kirletmemesi olarak sıralana bilir.

### **1.1.2 Güneş Enerjisinin Dezavantajları**

- Geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması,
- Kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması,
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olması olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak nasıl elde edileceğini ve uygulanacağını öğrenmek için birçok araştırma yapılmıştır (Barlev ve ark. 2011). Bu araştırmalar kapsamında çeşitli sebze ve meyvelerin farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulması incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Bruijn ve Bórquez (2014), çalışmalarında, vakum mikrodalga kurutma (VMD), sıcak hava kurutma (AD), kombine konvektif hava kurutma ile vakum mikrodalga kurutma (AD-VMD) ve ozmotik dehidrasyon ve ardından vakum mikrodalga kurutma (OD-VMD) gibi farklı kurutma metotlarının çileklerde hem fizikokimyasal hem de yapısal değişiklikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kurutma sistemlerinin performansını kuruma oranı, nem içeriği ve su aktivitesi ile değerlendirilmişlerdir. Mikrodalga-destekli kurutma sistemi  $6,74 \times 10^{-4}$  kg su / (kg kuru madde) kurutma oranı ile maksimum kurutma etkinliği göstermiştir. AD-VMD ve OD-VMD kurutma sistemlerinin kurutma verimliliğini artırmadığını bildirmişlerdir.

Méndez-Lagunas ve ark. (2017), termal kurutma işleminin ( $50^{\circ}\text{C}$  ve  $60^{\circ}\text{C}$ ' de 1.5m/s hızda) çileklerde antioksidan aktivite, antosiyanin ve toplam fenolik madde içeriği gibi biyoaktif bileşikler üzerine etkisinin araştırdıkları çalışmada antioksidan aktivite, antosiyanin ve toplam fenolik madde içeriği için sırasıyla %74, 75 ve 78'e varan kayıplar belirlemişlerdir.

Gamboa-Santos ve ark. (2014), çileklerin kurutulması sırasında C vitamininde meydana gelen kayıp miktarını araştırmışlardır. Kurutma süresinin uzaması ve sıcaklığın etkisi ile C vitamini kaybının arttığı bildirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, örneklerin rehidrasyon kabiliyeti ve duyuşal özellikleri hakkında tamamlayıcı bir çalışma ile birlikte, konvektif kurutma sisteminin uygunluğuna işaret ederek, yüksek besleyici kalite ve biyoaktiviteye sahip kurutulmuş çilekler elde edileceğini ifade etmişlerdir.

Ceylan ve ark.(2006), güneş enerjili havalı kolektörü bir kurutma fırını kullanarak elma kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Kontrolsüz dış hava şartlarında gerçekleştirilen kurutma işleminin yerine ilk yatırım maliyeti düşük, enerji girdisi az olan havalı güneş kolektörü kurutma fırını ile yapılan kurutmada, kurutma süresinin kısaldığı ve kurutulmuş ürün kalitesinin arttığını bildirmişlerdir. Elmalar;  $40^{\circ}\text{C}$ 'de ortalama %20 bağıl nemde, 2,8 m/s hava hızında, 4,8 (g su / g kuru madde) su oranında 0.18 (g su / g kuru madde) su oranına kadar 3,5 saatte kurutulmuştur.

Aktaş ve ark. (2010), solar enerjiden faydalanılan bir çalışmada ısı borulu güneş kolektörü ve havadan havaya ısı pompası sistemi kullanılarak kırmızı biberlerin kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Başlangıç nem miktarından (10.81 g

su/g kuru madde) son nem miktarına (0.16 g su/g kuru madde) kadar kurutmuşlardır. Dene sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısını ( $COP_{wh}$ ) 2.24 ve özgül nem çekme oranını ( $SMER_{ws}$ ) 0.209 olarak hesaplamışlardır.

Öztekin ve Yelmen (2010), Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yetiştirilen kırmızıbiberlerin kurutulmasında plastik tünel sera kurutucusu kullanıldığı çalışmada kırmızıbiberlerin renk ve nem kaybını incelemişlerdir. Solar ve güneşte kuruma süreleri benzer olmasına rağmen ürün kalitesi ve güvenliğinin solar sistemde daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Solar kurutmada örneklerin nem kaybının %2-4 oranında daha fazla olduğu ve kurumuş örneklerin güneşte kurutulmuş örneklerden daha parlak renkli olduğu bildirmişlerdir.

Selçuk ve ark.(1974), raflı bir güneşli kurutucu imal ederek elma kurutma denemeleri yapmışlardır. Bu tasarımda çatı ahşap olup, örtü malzemesi olarak polietilen film seçmişlerdir. Güneş ışınımının emilmesi için iki kümes teli tabakasının arasına ince metal yongalardan yapılmış ısı toplayıcı kullanmışlardır. Bu araştırmada raflı kurutucu için ısı ve kütle transfer bağıntılarının matematiksel eşitliklerini sabit hava debisi için hesaplamışlardır. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin sıcaklık için 3 °C ve nem için de %8 farkla uyduğunu bildirmişlerdir.

Akpınar (2004), konvektif tip kurutucuda 55 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve 1,5 m/s hava hızında kırmızıbiber kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Termodinamiğin I. kanunu kullanılarak enerji analizi ve termodinamiğin II. kanunu uygulanarak ekserji analizi yapmıştır.

Koç ve ark, (2004),kırmızıbiber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucunun performansı üzerine bir inceleme yapmışlardır. Açıkta kurutulan biberlerin toplam 37 saatte ilk ağırlıklarının %14'üne, buna karşın kurutucu içerisinde kurutulan biberlerin ilk ağırlığının %20'sinin altına düşmesinin 46 saat sürdüğünü hesaplamışlardır. Açık havada hızlı kurutma olmasına karşın, laskorbik asit (C vitamini) ve renk seviyeleri incelendiğinde kurutucu ile kurutulan biberlerde elde edilen değerler açıkta kurutulan biberlerden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Madhlopa ve ark. (2001), geliştirdikleri bir güneş enerjili kurutucuda mango kurutmuşlardır. Güneş enerjili bir kurutucunun kolektörü içerisine iki tane absorbe edici plaka yerleştirmişler ve bu plakaları hareket ettirerek havanın sıcaklığının

ayarlanabileceğini belirtmişlerdir. Kurutulan mangoyu nem miktarı, pH ve askorbik asit yönünde karşılaştırmışlardır. Kurutma sonunda nem oranının %85'ten %13'e düştüğünü ve askorbik asit miktarının %74'ünün korunduğunu belirtmişlerdir.

Lee ve Kim (2009), çalışmalarında ince dilimlenmiş beyaz turpu ısı pompalı kurutucuda kurutmuşlardır. Ayrıca karşılaştırma için sıcak havalı ısıtıcı ile de kurutma denemesi yapmışlardır. Isı pompasında özgül nem alma oranı 3,4 kg/kW değerine ulaştığını, sıcak havalı kurutmaya göre 1-1,5 kat uzun sürmesine karşın ısı pompalı kurutucunun enerji kazancının yaklaşık üç kat daha iyi olduğu ifade etmişlerdir. Çalışmada ayrıca kurutma havası sıcaklığı artığında bağıl nemin düştüğü ve nem alma oranı ile özgül nem çekme oranı değerlerinin arttığını görmüşlerdir. Çalışmada ayrıca ısı pompalı kurutmanın, sıcak havalı kurutmaya göre %58,9- 69,5 oranında enerji tasarrufu sağladığını bildirmişlerdir.

Chen ve ark. (2004), fotovoltaik (güneş pili) bir sistem ile kapalı tip bir kurutucu geliştirmişler. Direk güneş ışığının yansımalarını azaltmak için geçirgenliği yüksek cam ile kurutma kabini dizayn etmişlerdir. Ayrıca kurutma esnasında ham materyal üzerine ekstra direk solar ısıtma yapmışlardır. Gözetim esnasında yedek batarya yetersiz kalması durumunda, paralel kablolar ile elektriksel bir sistem ile elektrik vermesini planlamışlar ve deneyde limon dilimleri kapalı tip solar kurutucuda ve 60 C° sıcak havada kurutmuşlardır. Kapalı tip güneş enerjisi kurutucu kullanarak kurutulan limon dilimleri duyuşal parametreleri bakımında en iyi kalite seviyesinde olduğunu bildirmişlerdir.

Tris ve ark. (1996), gıda ürünlerini kurutmak için kuruma bölümü ve solar hava ısıtıcısından oluşan yeni bir güneş enerjili kurutucu geliştirmişlerdir. Geliştirilen kurutma sisteminde sultan üzümü, yeşil fasulye ve kırmızıbiber kullanarak başarılı bir şekilde test etmişlerdir. Geleneksel güneşte kurutma ve güneş enerjisi ile kurutma deneyleri karşılaştırmışlardır ve güneş enerjisi ile kurutmanın bu tip ürünlerde kurutma süresini önemli ölçüde azalttığını ve daha kaliteli bir ürün ortaya çıkardığını gözlemlemişlerdir.

Sallam ve ark.(2015) nane bitkisi kurutmak için iki tip aynı çapta prototip kurutucunun kullanıldığı bir çalışmada her iki prototip de doğal ve zorlanmış konveksiyon ile çalıştırmışlardır. Ortam havası, 4,2m /s 'lik hız ile kurutucuya girmiş

ve tüm nanelerin kuruma hızını akış tipi ve güneş enerjisi ile kurutucu tipine göre incelenmişlerdir. Elde edilen veriler zorlanmış konveksiyon altındaki kuruma oranının doğal konveksiyon altında kuruma oranından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Nane kurutmak için etkili difüzyon kat sayısının  $1,2 \times 10^{-11}$  ve  $1,33 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Shalaby ve Bek (2014), enerji depolama ortamı olarak faz değişim materyali (PCM) kullanılan yeni bir dolaylı solar kurutucu (ISD) tasarımını deneysel olarak incelemişlerdir. Sistem iki özdeş güneş hava ısıtıcısı, kurutma bölmesi, PCM depolama üniteleri ve bir üfleyiciden oluşturulmuştur. ISD 'yi herhangi bir yük ve PCM olmadan çok çeşitli kütle akış oranlarında test etmişler ve PCM 'yi kullandıktan sonra kurutma havasının sıcaklığının en az 5 saat boyunca günbatımından sonraki ortam sıcaklığından (2,5- 7,5 derece) daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yeni tasarımın, yedi saat boyunca istenen sıcaklığı koruduğu ve bu durumun fesleğen ve Thevetia Neriifolia'nın son nem içeriğine sırasıyla 12 ve 18 saat sonra ulaşılabildiğini bildirmişlerdir.

V oluklu emiş plakaları ile düz plakalı güneş hava kolektörü, yalıtımlı kurutma odası ve egzoz havası için bacadan oluşan endirekt tipte bir solar kurutucunun tasarlandığı ve tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmak üzere geliştirildiği bir başka çalışmada muz kurutulmuştur. Kolektörün toplam alanı  $2 \text{ m}^2$  ve kurutma kabinin boyutu 1m genişliğinde 0,4m derinliğinde ve 1m yüksekliğinde yapılmıştır. Muzun başlangıç nem içeriğini %35,60(db.) iken 1. tepsi de nem içeriği %16,3292, 2. tepsi de %19,4736, 3. tepsi de %21,1592 ve 4. tepside de %31,1582 olarak ölçmüşlerdir. Açık havada kurutulan muzun nem içeriğini %42,3748 olarak ölçmüşlerdir. Kolektörlerin ortalama toplam verimini %31,50 ve kurutma kabinin verimini %22,38 olarak hesaplamışlardır. Kurutma süresince kurutma sıcaklığının en etkili ve en önemli faktör olduğunu ve kurutma oranını iyileştirmek için hava hızının da önemli olduğunu tespit etmişlerdir (Lingayat ve ark. 2017).

Moradi ve ark. (2017), güneş enerjili hava ısıtıcı (SAH) ile faz değişim materyali (PMC) nin enerji depolamasını incelemişler, Parafini, emici plakanın altına PMC olarak yerleştirmişlerdir. Parafinin termal iletkenliği, parafin miktarı ve hava kütle oranı gibi SAH'ın performansı üzerine farklı parametrelerin etkilerini çalışmak için Ansys Fluent 17 kullanmışlardır. SAH'ın performansı, aynı anda iki hedef göz

önünde bulundurularak optimize edilmiştir ve bu da termal enerji verimliliğini ve SAH'ın giriş ve çıkışı arasındaki maksimum sıcaklık farkını ortaya çıkarmıştır. Sayısal modeli doğrulamak için 2 cm parafin tabakalı bir SAH'ı sayısal modelde aynı boyutlarda oluşturularak test etmişlerdir. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçları ile iyi bir uyum gösterdiğini bildirmişlerdir.

Hindistan'da asma üzümü ve kudret narının kurutulması üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma için termal depolama malzemesi olarak kum yatağı, taş yatağı ve alüminyum kaplamalar kullanılmıştır. Örneklerin dehidrasyonunda etkinliğin kontrol edilmesi için kurutucu ile (termal depolama malzemelerinin uygulanması ile ve uygulama olmadan) açık güneşte kurutma arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Güneş kurutucu tüneli kullandıklarında kuruma zamanında azalmanın yanı sıra nem oranında da düşüş tespit etmişlerdir. Termal depo materyali kullanılan güneş tüneli kurutucusunda yaklaşık %2-3 kadar daha fazla verim elde etmişlerdir. Termal depo materyali arasında en yüksek verimin kumda olduğu belirlenmiştir(Natarajan ve ark. 2017).

Aktaş ve ark. (2012), güneş enerji destekli bir kurutucu tasarlamış ve deneysel olarak incelemişlerdir. Geliştirilen bu sistemde domates kurutulmuştur. Sıcak su hazırlama kolektörü, ısı deposu ve fotovoltaik piller kullanılarak tasarlanan kurutma sisteminde domates dilimlerinin başlangıç nem miktarı 16,39g su/ g kuru madde ve son nem miktarı 0,21 g su/g kuru madde miktarına kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi için ihtiyaç duyulan enerji güneş enerjisi ve fotovoltaik piller tarafında sağlanmıştır. Kurutma suresince kurutma hava sıcaklığı 50°C, 45°C, 40°C,olarak seçilmiş ve ortalama 0,2 m/s hava hızında domatesler sırasıyla 6, 7, 8,5 saat kurutularak istenilen nem miktarı seviyesine ulaştığı bildirilmiştir.

Saçılık ve ark.(2005),ekolojik şartlar altında güneşli tünel kurutucu kullanarak organik domates kurutma denemeleri yapmışlardır. Kuruma sonunda organik domateste nem değeri %93,35 başlangıç neminden %11,50 son nem düzeyine düşmüştür. Tünel kurutucuda dört günde kurutulan domates ile açık sergide beş günde kurutulan domates karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre kurutma eğrilerini oluşturmak için on farklı matematiksel modelden yararlanılmıştır. Kurutma hava sıcaklığı ve bağıl nem ilişkisi grafiklerle açıklanmıştır. Ürünler tünel tipi kurutucuda dış etkenlerden uzak olarak daha temiz kurumuşlardır.

Akın (2006), güneş enerjili kurutucunun tasarım parametrelerinin araştırılması konulu çalışmasında birbirine seri hâlinde bağlanmış iki güneş enerjili toplayıcıdan geçen kurutma havasını kapalı bir ortama vererek kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Ürün olarak çarliston biber kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle başlangıç nem değerleri belirlenmiş olan ürünün denge nem içerikleri bulunmuştur. Bu nedenle sorpsiyon izotermi oluşturulmuştur. Sorpsiyon izoterm diyagramı, nem içeriğine karşılık su aktivitesi alınarak çizilmiştir ve su aktivitesinin fonksiyonu olan sorpsiyonların davranışını belirleyen uygun matematik modeller  $30^{\circ}\text{C}$  ve  $60^{\circ}\text{C}$  için lineer olmayan regresyon metodundan yararlanılarak belirlenmiştir.

Mutlu ve Öztürk (2004), incirin güneş enerjisi kullanarak kurutulmasının esaslarını incelemişlerdir. Değerlendirdikleri parametreler güneş ışınımı, kurutma havasının kütleli debisi, sıcaklığı ve nem oranıdır. Güneş enerjisi kullanarak yapılacak kurutma işleminin ilk yatırım maliyetinin ve enerji giderlerinin çok düşük olduğunu belirlemişlerdir. Fakat kurutma işlemi uzun zaman aldığından ürünün kurutma alanına yerleştirilmesi ve boşaltılması gibi işlemler için gerekli olan işçilik giderleri yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Akpınar ve Biçer (2003), siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışını incelemişlerdir. Çalışmada kabağın kuruma davranışı, siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelenmiştir. Deneyselerde  $60$ ,  $70$  ve  $80^{\circ}\text{C}$ 'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken,  $1$  ve  $1,5$  m/s 'lik kurutma havası hızları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hız-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Deneysel sonuçlarına göre en yüksek kuruma hızı  $80^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ve  $1,5$  m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında ve  $1$  m/s kurutma havası hızında gerçekleştiğini hesaplamışlardır.

Toğrul ve Pehlivan (2002), İnce tabaka halinde kayısının güneşli kurutulmasının matematiksel modellenmesini incelemişlerdir. Çalışmada zorlamalı akımlı güneş enerjili kurutucu, bir ısı pompası ve kurutma kabininden oluşmuştur. Kurutucuda sıcak hava için ısı pompası kullanılmıştır. Kayıların kütledeki değişiklik ve kuruma parametreleri her bir test gününde sürekli olarak kayıt altında tutulmuştur. Bu veriler ile elde edilen değerler, çeşitli matematiksel modellere uygulanmış ve hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nemin model katsayılarına ve sabitlerine etkisi

çoklu regresyon yöntemi ile araştırılarak, literatürde geçen matematiksel modeller ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak logaritmik model, 0,994 korelasyon katsayısı ile zorlamalı akımlı güneş enerjili kurutucuda, kayısının kuruma davranışını en iyi açıklayan model olmuştur.

Koyuncu ve Pınar (2001), kırmızıbiberin kurutulmasında kullanılacak doğal akışlı, güneş enerjili kabin tipinde bir kurutucu tasarlamışlardır. Bu kurutucu, kuruma süresince çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini son derece azaltmakta ve kaliteyi yükseltmektedir. Ayrıca kurutucunun kullanılmasıyla, 1 kg ürün için gerekli kuruma süresinin 3,5 saatten 1,28 saate düşürülerek 2,73 kat azaltılabileceği belirlemişlerdir.

Yaldız ve ark.(2001), çekirdeksiz üzümün ince tabaka hâlinde kurutulmasının matematiksel modellenmesini incelemişlerdir. Güneş enerjili kurutucu, güneş enerjili hava ısıtıcısı ve kurutma odasından oluşmaktadır. Kurutma havası, güneş enerjili hava ısıtıcı yardımıyla ısıtılmış ve kurutma odasında bulunan rafın üzerindeki ürünün içerisinden geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine kurutma havası hızının etkisini belirlemek amacıyla hava hızı, fanın giriş ağzında bulunan klape yardımıyla 0,5, 1,0, 1,5 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının etkisi ise, denemelerin farklı zamanlarda tekrarlanması ile belirlenmiştir. Dış ortam ve kurutucuya giren havanın sıcaklığı, bağıl nemi ve güneş ışınım değerleri ölçülmüştür.

## **1.2 Tezin Amacı**

Güneşin en büyük enerji kaynağı olarak kullanılması yolunda ilgili araştırmalar ve teknolojik gelişmeler artarak devam etmektedir. Özellikle güneş enerjisi esas alınarak oluşturulan sistemlerin işletme ve bakım masraflarının düşük olması ve bu sistemlerden yüksek verimli yeni sistemler elde edilmesi, bu sistemlerin kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Kurutma işlemleri temel olarak; kurutulacak ürün, ürünün bulunduğu ortam ve bu ortamda kurutma işlemi sağlayacak enerjinin üretildiği birimlerden oluşmaktadır. Kurutulacak ürün için; ürünün boyutu, kurutucuya yükleme ve boşaltma şekli, kurutucuya giriş ve çıkıştaki su içeriği, ısıya karşı duyarlılığı ve kurutucu tipinin belirlenmesi kurutma süreçlerini belirlemede etkili olmaktadır. Bitkisel ürünlerin besin kaybının daha az olması ve sağlıklı bir şekilde ve



düşük maliyetlerle kurutulması, gıda sektörünün öncelikli amaçları arasında yer almaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için güneş enerjisinden yararlanmak enerji maliyetlerini önemli ölçüde düşürülebilecek bir süreçtir. Bunun için güneş enerjisinden sadece gündüz saatlerinde yararlanıldığı için gece ya da güneş ışığının yeterli olmadığı durumlarda güneş enerjisinin depolanması ve kurutmanın sürekli olması hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında özellikle, meyve ve sebze üreticileri ve endüstrisi, çiftçiler, tarımsal şirketler, kuru tarımsal ürün pazarlayıcıları vb. hedef grupları için güneş enerjisini kullanarak, faz değiştirme malzemeli enerji depolama sistemi ile depolayarak düşük maliyetlerde sürekli kurutma işleminin gerçekleştirilmesi ve bu sayede zirai ürün kurutma sürecinde meydana gelebilecek problemlerin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Tez çalışması boyunca, çilek kurutma işlemi yapılarak ürünün kuruma aşamalarının belirlenmesi, kurutma havası çevriminin ısıl analizi ve çilek kurutulmasına ilişkin matematiksel bir model oluşturulması da bu çalışmanın temel amaçları arasında yer almaktadır.

## **2. MATERYAL VE METOD**

### **2.1 Kurutma**

Gıdaların kurutularak dayanıklı hâle getirilmesi, insanın doğadan öğrendiği çok eski bir yöntemdir. Bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmaktadır. Kurutmada amaç, kontrollü şartlar altında ısının uygulanması ile gıdada var olan suyun direkt buharlaşması ve gıdanın su aktivitesini indirerek raf ömrünü uzatmaktır. Ancak suyun tamamının uzaklaştırılması mümkün değildir. Çünkü koloidal maddeler ve şekerler serbest suyu bağlama özelliğine sahiptir. Bu sayede mikrobiyal büyüme ve enzim aktivitesi engellenmiş olur. Gıda ağırlığındaki azalma dağıtım ve depolama maliyetini düşürür. Bazı tip gıdalar için kurutma işlemi tüketici için daha uygun ürün, gıda işleyicileri içinse daha kolay içerik hazırlama gibi katkılar sağlamaktadır.

#### **2.1.1 Kurutma İşleminin Gıda Maddelerine Uygulanmasındaki Amaçlar**

- 1) Uzun süre depolamalarda ürünün bozulmasını önlemek (bu amaca, ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli düzeye düşürmek suretiyle ulaşılır.)
- 2) Ürünün kuruma süresini azaltarak daha kısa surede daha fazla ürün kurutmak,
- 3) Ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmaktır.

### **2.2 Kurutma Esnasında Isı Ve Kütle Geçişi**

Gıdanın sıcak hava ile kurutulmasında havadan gıdaya ısı enerjisi, karşıt yönde gıdadan havaya su buharı transfer olmaktadır. Nemin kurutulması ısı ve kütle transferinin aynı anda gözlemlendiği bir süreçtir. Kurutma sırasında kurutulacak maddenin içindeki suyu buhar haline getirip sonra da bu buharı uzaklaştırmak için, buharlaştırma gizli ısı kadar bir ısı vermek gerekir. Konveksiyonla kurutulacak ürüne ısı geçişi, sıcaklık ürünün dışından hücrelere doğru olurken, buharlaşma hücreden dışa doğrudur. Kurutma esnasında iki geçiş işlemi aynı anda gerçekleşir. Bunlardan birincisi dış çevreden kurutulacak ürünün yüzeyine ısı geçişi ile birlikte madde içine ısı iletimidir. İkincisi ise, ürünün içinden yüzeye doğru olan ve yüzeye gelen nemin ürünü çevreleyen çevreye yayılması ile devam eden kütle geçişidir.

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_0 - T_s) \quad (2.1)$$

Denklemden;

$dQ/dt$ : Isı aktarımı (KJ/s),

$h$ : Konvektif ısı transfer katsayısı (KJ/m<sup>2</sup>.s.°C),

$A$ : Kurutma yüzey alanı (m<sup>2</sup>),

$T_a$ : Havanın sıcaklığı (°C),

$T_s$ : Yüzeyin sıcaklığıdır (°C).

$$\frac{dW}{dt} = K_g \cdot A \cdot (H_s - H_a) \quad (2.2)$$

Denklemden;

$dW/dt$ : Kurutma hızı (kg/s),

$K_g$ : Kütle transfer katsayısı (kg/m<sup>2</sup>. s),

$A$ : Kurutma yüzey alanı (m<sup>2</sup>),

$H_s$ : Yüzeyin nemi (kg su/kg kuru hava),

$H_a$ : Havanın nemi (kg su/kg kuru hava) olarak ifade edilmektedir.

### 2.3 Kurutma Teorisi

Kurutulan ürünün istenilen kalitede olması için ürünün denge bağıl nemi ve kurutma hızının belirlenmesi gerekir.

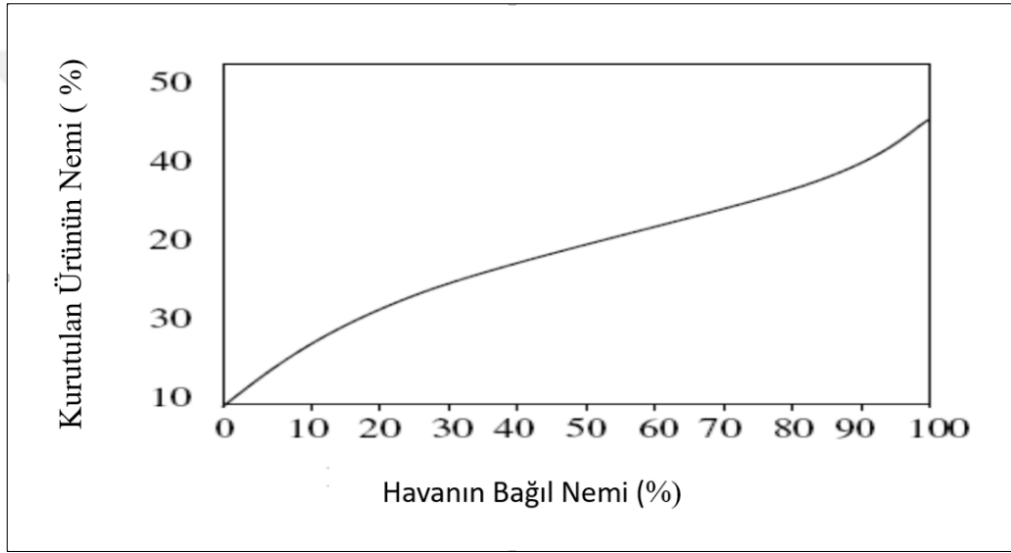
#### 2.3.1 Denge Bağıl Nemi

Su aktivitesi gıda maddesinin içerdiği suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır.

- Su aktivitesi gıdanın bileşimi ve sıcaklıkla değişir.
- Gıda maddesi içinde bulunduğu havanın neminden etkilenir.

Gıdanın içinde bulunduğu havanın buhar basıncı, gıdanın içerdiği suyun buhar basıncından büyükse gıda nem alır, küçükse, gıda su kaybederek nemi azalır (kuruma). Bu nem alışverişi havadaki suyun buhar basıncı, gıdanın içerdiği suyun buhar basıncına eşit olana dek devam eder. Bu duruma “denge hali”, denge halinde gıdanın içinde bulunduğu havanın bağıl nemine de “denge bağıl nemi” denir.

Hava nemi ile su aktivitesi arasındaki ilişki Su aktivitesi, gıdanın içinde bulunduğu atmosfer havasıyla nem alışverişinin durduğu “denge halinde” ölçülür. Denge halinde gıdanın içinde bulunduğu havanın bağıl nemi “denge bağıl nemi” ile su aktivitesi arasında aşağıdaki ilişki vardır.



Şekil: 2.1. Denge Bağıl Nem Eğrisi

### 2.3.2 Bağıl Nem

Mutlak nemin maksimum neme oranı havanın neme doyma oranını verir. Bu orana bağıl nem denir. Yüzde (%) olarak ifade edilir.

Bağıl nem ile sıcaklık ters orantılıdır. Sıcaklık düştükçe maksimum nem azalacağından, bağıl nem yükselir. Sıcaklık değerleri yükseldikçe, maksimum nem artacağından bağıl nem düşer.

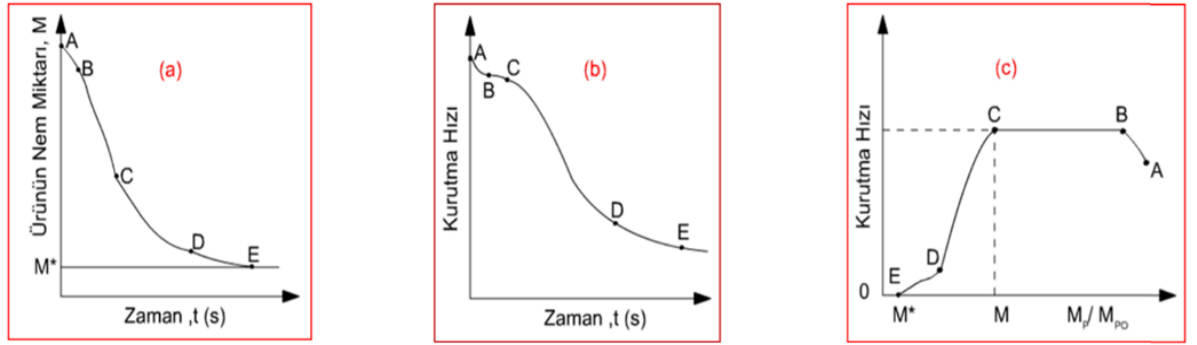
$$\text{Bağıl Nem} = \frac{\text{Mutlak Nem}}{\text{Maksimum Nem}} \times 100 \quad (2.3)$$

### 2.3.3 Kurutma Hızı

Kurutma işleminde rol oynayan en önemli etken, kurutulacak maddenin üzerinden geçen havanın (veya gazın) nem (buhar) taşıma yeteneğidir. Havanın buhar taşıma yeteneği kurutma hızını belirleyen ana faktördür.

Bir kurutma işleminde başlıca araştırma konuları:

- Suyun difüzyon hızı,
- Kuru ürünün kalitesidir.
- Suyun yüzeyden havaya difüzyonu (statik veya konveksiyon) (Madde yüzeyinde ölçülen su buhar basıncı ile içinde bulunduğu havanın buhar basıncı arasındaki fark).



Şekil: 2.2. Kurutma Hızı Eğrisi

**A-B** bölgesinde ürün yüzeyi ile kurutma havasının dengeye geldiği bölümdür. Ürünün ısınma evresidir.

**B-C** bölgesinde ise kuruma sabit hızla sürdüğü bölümdür. Bu periyotta buharlaşma hızı aynı şartlar altında bulunan bir sıvının yüzeyinde meydana gelen buharlaşma debisine eşittir. **C** noktasında kuruma hızı düşmeye başlamaktadır.

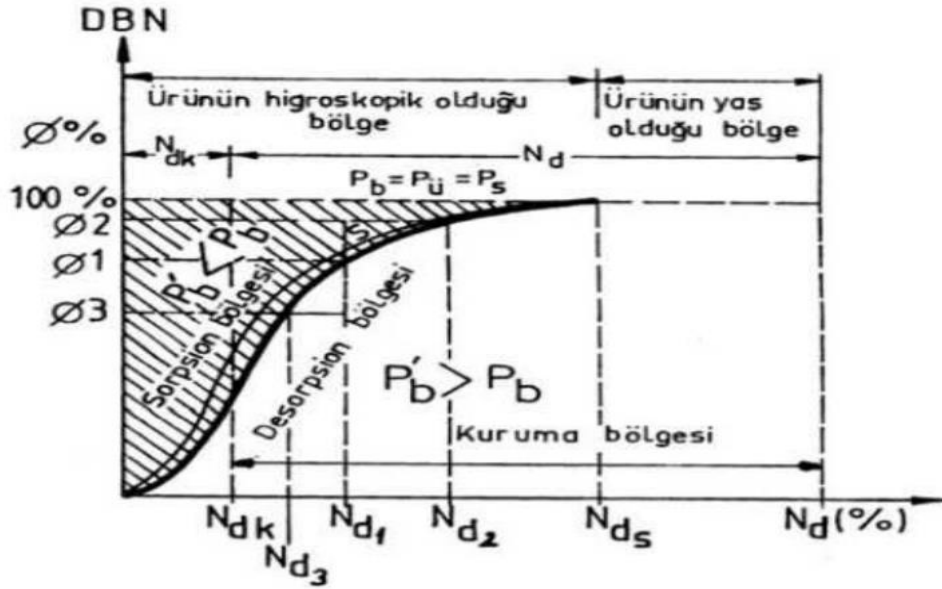
**C** noktasında gıda maddesinin kritik nem olarak adlandırılmaktadır.

**C-E** bölgesinde kurutma hızı azalarak devam etmektedir. Gıda maddesinin iç kısımlarından yüzeye doğru nemin taşınma hızı giderek düşmektedir. Azalan hızla kurutma periyodunda genellikle kurutma olaylarında iki bölümde seyretmektedir.

**C-D** birinci azalan hızla kurutma periyodu ve **E-D** ikinci azalan kurutma periyodu.

### 2.3.4 Kurutma Statiği

Statik açıdan kurumanın incelenmesi sırasında, hava ile materyal arasındaki nem dengesi, zaman dikkate alınmadan irdelenir. Denge, materyalin çevre havasına nem vermesi (desorpsiyon) veya çevreden nem alması (sorpsiyon) sonucunda oluşur. Denge olduğunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı birbirine eşittir (Yağcıoğlu, 1999).

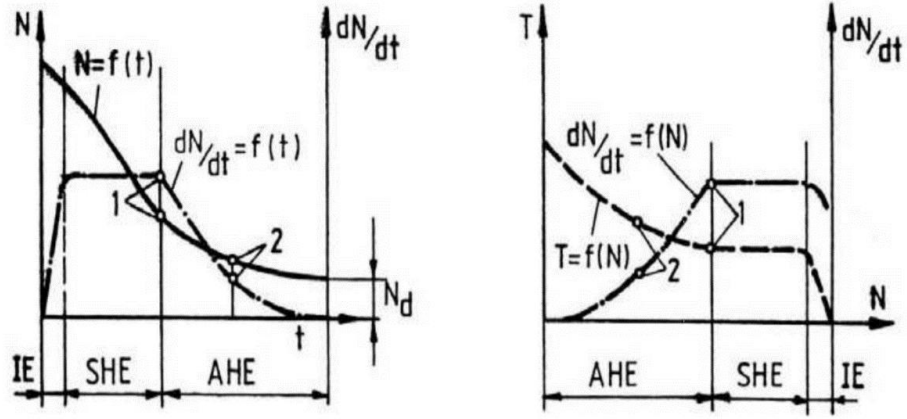


Şekil: 2.3. Sorpsiyon Eğrisinin Kurutmanın Statiği Açısından Anlamı

[Yağcıoğlu,1999]

### 2.3.5 Kurumanın Kinetiği

Kurumanın kinetik açıdan incelenmesi sırasında, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma süresince geçen zaman da dikkate alınarak irdelenir. Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken, materyalin nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile materyal nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi ve materyal sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süreci içinde üç karakteristik evreyle karşılaşılmaktadır. Bu evreler, materyalin ısınma evresi (IE), sabit hızla kuruma evresi (SHE) ve azalan hızla kuruma evresi (AHE) şeklinde adlandırılabilir (Yağcıoğlu, 1999).



Şekil: 2.4. Kinetik Kuruma Eğrisi [Demir Ve Günhan 2002]

Ürün kuruma kinetiği açısından incelendiğinde aşağıdaki ilişkiler dikkate alınır (Yağcıoğlu, 1999):

- Materyalin nemi ile kuruma süresi:  $N=f(t)$
- Kuruma hızı ile materyal nemi:  $dN/dt=f(N)$
- Kuruma hızı ile kuruma süresi:  $dN/dt=f(t)$
- Materyal sıcaklığı ile nemi:  $T=f(N)$

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE) sırasında materyalin yüzey sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar. Ve bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşır. Tüm kuruma süresi ile kıyaslandığında, IE süresinin çok kısa olduğu anlaşılır. IE' nin sona erdiği andan itibaren sabit hızla kuruma evresi başlar (SHE). Bu evrede kuruma hızı, IE sonunda ulaştığı en yüksek değerini, SHE süresince de korur. Kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı evre, azalan hızla kuruma evresi (AHE) olarak tanımlanır. Bu evrede sıcaklık artışı hızlanırken, kuruma hızı ve nem azalması yavaşlar. Bu evrenin başında SHE' de olduğu gibi dış etkenler daha önemlidir. Kurumanın ileri safhalarında ise iç etkenler daha baskın olmaya başlarlar.

Örneğin, bu evrenin başlarında hava hızı, kuruma hızı üzerinde etkiliyken, daha sonraları bu etkisini kaybeder (Yağcıoğlu, 1999).

## 2.4 Kurutma yöntemleri

Gıda sanayinde kurutulacak ürüne göre ve uygulanacak sürece göre farklı tipte kurutma yöntemleri mevcuttur. Bu kurutma yöntemleri; güneşe maruz bırakarak kurutulma, dondurularak kurutma, sıcak hava ile sirkülasyonu sağlanan fırınlarda kurutma olarak sıralanabilir (Yağcıoğlu,1999). Kurutucu tipleri ise, ortam koşulları, istenilen kurutma zamanı ve gıdaya göre seçilir.

### 2.4.1 Kurutucu Tipleri

#### 2.4.1.1 Tepsili Kurutucular

Bu tip kurutucular sıvı ürünler için kullanılmaz. Dilimlenmiş katı ürünlerin tepsilere konularak, ısıtılmış havanın bir fan yardımı ile tepsideki ürünle muamele edilmesi prensibine dayanır (Yağcıoğlu,1999).



Şekil: 2.5. Tepsili Kurutucu

#### 2.4.1.2 Tünel Kurutucular

Bu kurutucular ile yüksek kapasitede ve nispeten kısa zamanda kurutma işlemi yapılır. Ürün tünele girişten çıkışa kadar maruz kaldığı sıcak hava ile kurutulur. Bu tip kurutucularda enerji verimliliği yüksek, işgücü maliyeti düşük ve ürün kalitesi yüksektir (Yağcıoğlu,1999).





**Şekil: 2.6.** Tünel Kurutucu

#### **2.4.1.3 Konveyör (Bantlı) Kurutucular**

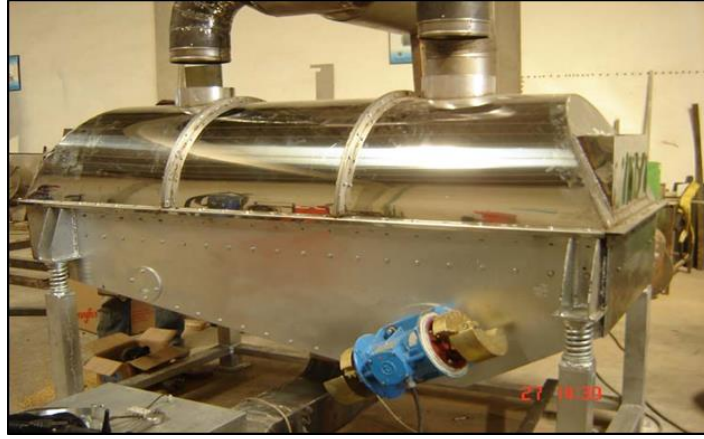
Bu tip kurutucularda ürünler bir veya daha fazla bant ile ilerlerken alttan veya üstten fanlar yardımıyla gönderilen sıcak hava ile muamele edilirler. Böylece istenilen özellikte ürünler elde edilir (Yağcıoğlu,1999).



**Şekil: 2.7.** Konveyör (Bantlı) Kurutucular

#### **2.4.1.4 Akışkan Yataklı Kurutucular**

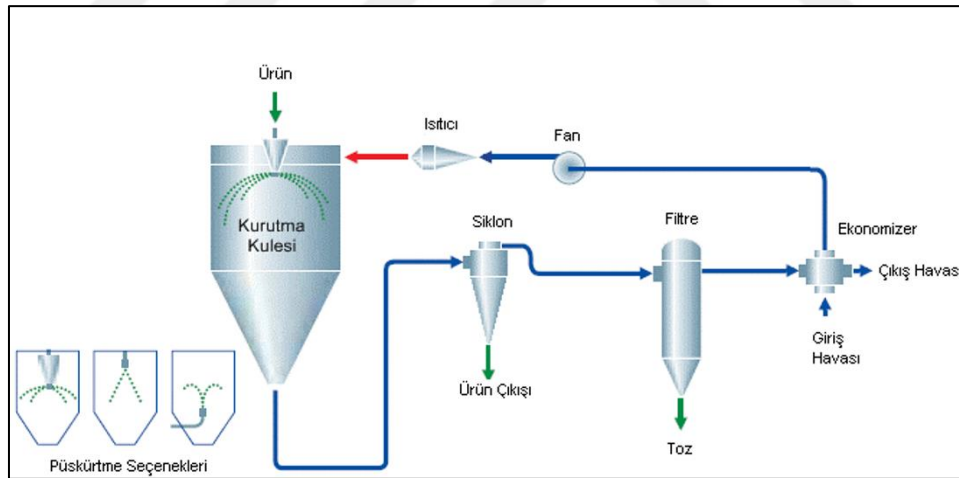
Bu tip kurutucuların avantajı sirküler ettirilen sıcak havanın kurutulmak istenen ürünün yüzeyinin her noktasına teması ile kurutmanın gerçekleştirilmesidir. Bunun yanında dezavantajı olarak ise bu tip kurutucuların sadece akışkanlaşabilme özelliğinde olan yani hava içinde hareket edip askıda kalabilen küçük boyutlu gıdalar için uygunluğu verilebilir (Yağcıoğlu,1999).



**Şekil: 2.8.** Akışkan Yataklı Kurutucular

#### 2.4.1.5 Püskürtmeli Kurutucular

Bu kurutucularda diğerlerinde olduğu gibi ısıtılan hava atomizer yardımı ile çok küçük partiküllere ayrılan ürünle muamele edilerek kurutma işlemi sağlanır ve kurutulmuş ürün hava karışımı siklon separatör yardımı ile ayrılır. Bu işlem daha çok toz ürün eldesi için gıda sanayinde kullanılır (Yağcıoğlu,1999).

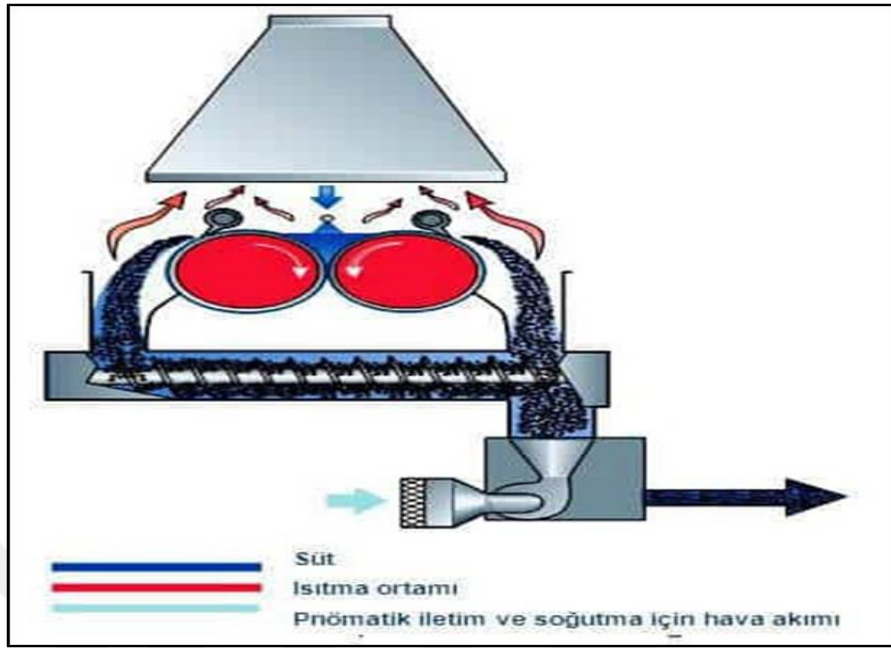


**Şekil: 2.9.** Püskürtmeli Kurutucular

#### 2.4.1.6 Valsli Kurutucular

Bu kurutucularda ilke içten buhar, sıcak su ya da ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılır. Daha sonra eksen etrafında belirli bir hızla dönmekte olan dökme demirden yapılmış bir silindirin sıcak yüzeyine ince bir katman halinde sıvı gıda yayılır. Yayılan sıvı gıda maddesinin silindirin dönüşü esnasında yüzeyde kuruması ve buradan kazanıp

alınması olarak özetlenebilir. Çift ve tek valsli olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Yağcıoğlu,1999).



Şekil: 2.10. Valsli Kurutucu

## 2.5 Kurutma İşleminde Güneş Enerjisi

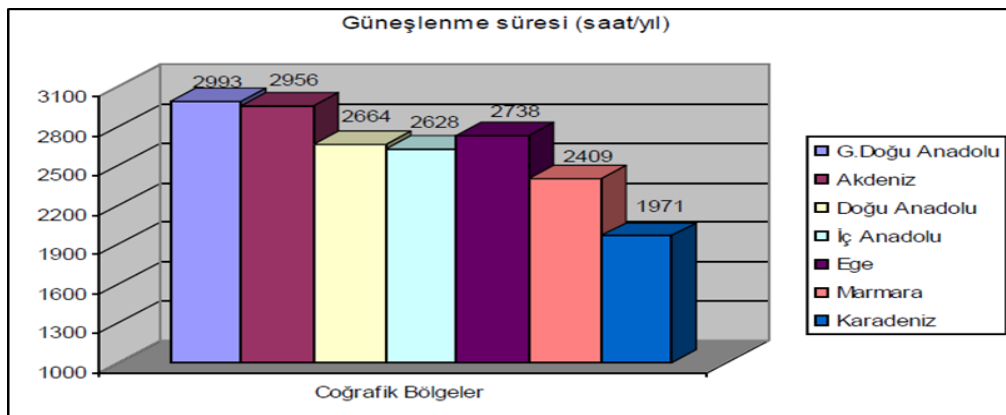
Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %15'i yetersiz beslenme problemi yaşamaktadır. Artan dünya nüfusunun bu oranı daha da yükselmeye başlayacağı öngörülmektedir. Gıda temininin artırılması ve nüfus artışının sınırlandırılmasının yanı sıra, gıda üretimi, hasat, hasat sonrası ve pazarlama boyunca meydana gelen gıda kayıplarını büyük ölçüde azaltmak, uygulanabilir bir çözüm seçeneği gibi görünmektedir. Gıda kayıplarının azaltılması özellikle gıdaların %80'inden fazlasını üreten gelişmekte olan ülkelerdeki küçük çiftçiler için bir problemdir. Açık havada güneş enerjisinden yararlanarak kurutma işlemi ilk çağlardan beri uygulanan bir süreçtir ve geleneksel güneşte kurutma yavaş bir süreç olup böceklenme, enzim atık reaksiyonlar, mikroorganizma gelişimi ve mikotoksin oluşumu gibi kalite kayıplarına karşı korumasızdır. Bununla birlikte yağmur, rüzgâr, nem ve toz gibi olumsuz iklim koşullarına, kuş ve hayvanlara bağlı malzeme kaybına, malzemenin bozulmasına, böcek istilası ve küf gelişimi gibi bozulmalara bağlı olarak çeşitli dezavantajlara sahiptir. Ayrıca süreç yoğun emek, fazla zaman ve geniş bir alan gerektirmektedir. Bu dezavantajlar endüstriyel gelişim ile yapay mekanik kurutucuları hayatımıza dâhil

etmiş olup yüksek enerji tüketimleri ve pahalı prosesler olmaları sebebiyle çözüm yolları aramalarına devam edilmiştir. Böylece doğal kurutma ve yapay mekanik kurutmadaki tüm olumsuzluklara bir çözüm olarak solar kurutma en iyi alternatif olarak gösterilmiştir.

## 2.6 Güneş Enerjili Kurutucular

Güneş enerjisi, rezervi bitmeyen temiz bir enerji kaynağı olup kolayca ısı enerjisine çevrilebilme özelliğinden dolayı dünya genelinde ve güneş kuşağı içerisinde yer alan ülkemizde zirai ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden kurutmada tarımsal ürünlerin sergi yerlerine yayılarak açık havada kurutulması şeklinde yararlanılmaktadır. Kurutma işlemi uzun sürede tamamlanmakta ve elde edilen kurutulmuş ürünlerin kalitesi düşük olmaktadır. Ayrıca yağışlar, rüzgâr tarafından tozların ürün üzerine taşınması, böcekler ve kuşlar tarafından ürünlerin tüketilmesi sergi yerlerinde açık havada kurutulan ürünlerin sağlıklı olmasını sınırlamaktadır. Bu sebeple ülkemizde ticari amaçlı sebze ve meyvelerin kaliteli ve hızlı kurutulması için güneş enerjili kurutuculara ihtiyaç vardır (Tarhan ve ark. 2007).

Şekil 2.11 'de görüldüğü üzere en çok güneşlenme süresi 2993 saat/yıl ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndedir. Bunu 2956 saat/yıl ile Akdeniz ve 2738 saat/yıl ile Ege Bölgesi takip etmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen bu potansiyeli yeterince etkin kullanamamaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006).



**Şekil: 2.11.** Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneşlenme Süresinin Bölgelere Göre Dağılımı [Varınca ve Gönüllü, 2006]

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında güvenilir kurutma havası sıcaklığı 35–77°C arasında değişmektedir. Bu da kurulan güneş enerji sistemlerinin dizaynında önemli bir nokta olmaktadır (Yağcıoğlu,1999).

Bir güneşli kurutucu, yapı bakımından güneş enerjisinin toplandığı ısıtıcı ve kurutulacak materyalin konulduğu depo bölümlerinden oluşmaktadır. Bazı kurutucularda ısıtıcı ve depo bir bütün olarak yapılmaktaysa da çoğunlukla birbirlerinden ayırırlar. Ancak hangi tip olursa olsun, kurutulacak materyal bütünüyle dış ortamdan izole edilmiş bulunmakta ve kuruma kapalı yerlerde sağlanmaktadır. Güneş ışınımından doğrudan yararlanan kurutucularda duvarlar cam veya geçirgen plastik örtülerden yapılmaktadır. Yazları atıl durumda bulunan seralar kurutma işleminde kullanılabilirler ki, bunlar güneş enerjisinden doğrudan yararlanan kurutucular olarak değerlendirilebilirler (Yağcıoğlu,1999).

Kabin kurutucular; meyve, sebze ve diğer tarımsal ürünlerin bir tabla içinde kurutulduğu ısı kutusu şeklindedir. Üst yüzeyi güneş ışınımını geçiren saydam örtüyle kaplanmaktadır. Hava kurutucuya genellikle alttan girmekte, rafların altından, üstünden ve arasından geçerek üstten çıkmaktadır. Güneşli kurutucularda aranan en büyük özellik işletme giderinin az olması, yerel malzeme ve işçilikle yapılabilmesidir. Kuruma süresini azaltması ve sürekli çalışabilirliği yani kapasitesinin yüksek olarak tasarlanabilmesi istenen diğer özelliklerdir (Yağcıoğlu,1999)

### **2.6.1 Direkt Kurutucular**

Geniş bir kullanım alanına sahip taşınımlı (convective dryers) kurutucu olarak bilinilmektedir. Isıl veriminin düşük olmasının sebebi egzoz havasındaki gizli enerjinin tekrar kazanılmasının zor olmasıdır. Ancak endüstride %85 oranında tercih bu kurutucudan yanadır.

Doğrudan tip kurutucularda güneş ışınları direkt olarak ürün üzerine gelmesi sağlanmaktadır. Kurutma gaz sıcaklığı 40°C ile 500°C arasında değişmektedir. Kurutulacak ürünün niteliğine göre sıcaklık belirlenir. Kurutulacak ürünün sıcaklığa olan duyarlılığı yüksekse nem alma (dehumidifier) yöntemi kullanılmalıdır.

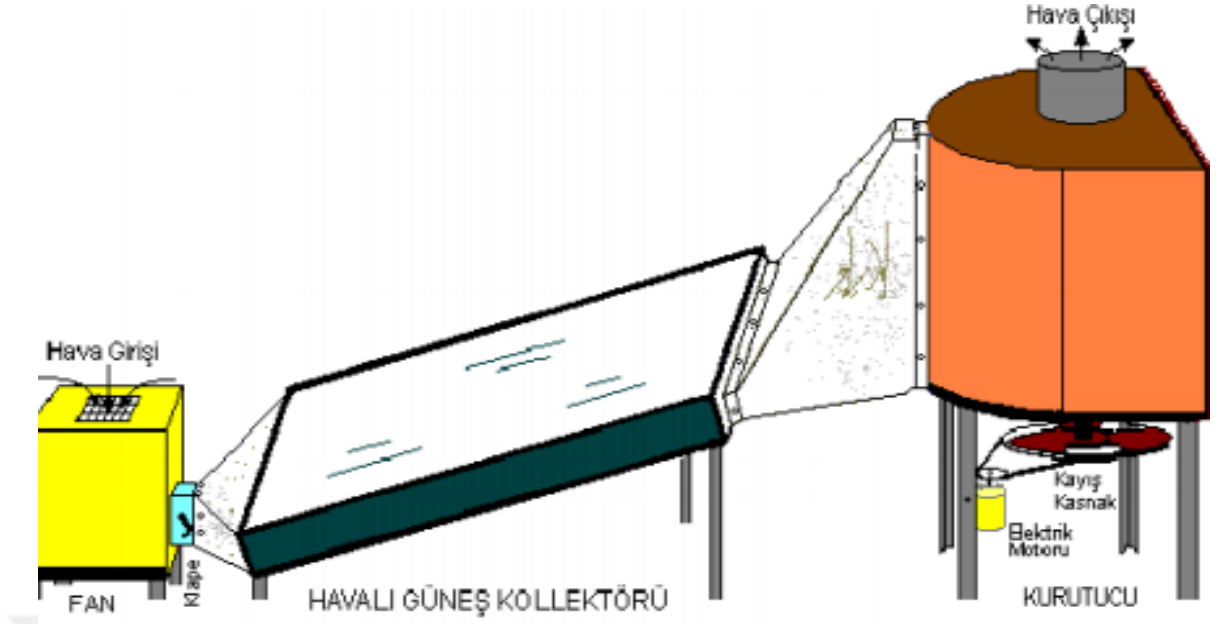
Kurutulacak malzeme ortamı için inert gazları (azot vb.) kullanıldığında dolayı patlama ve parlama gibi durumları önlemek içinde uygun bir kurutma şekli olacaktır (Hawlder ve ark. 2003).

### **2.6.2 İndirekt Kurutucular**

Ürünün kurutulmasında direkt temas yerine ısı transfer ortamından yararlanılarak yapılan kurutma şeklidir. Isı transferi sıcak gazlar, buhar, ısıl akışkanlar vb. maddelerin kurutulacak ürünle temas etmesiyle sağlanmaktadır. Kurutulacak ortamın gaz akızsız olması sebebiyle nemin doymuş duruma gelmemesi için vakum uygulaması yapılması gerekmektedir. Bu yöntemle kurutulacak ürünlerde ısı transfer yüzeyinin – 40°C de dondurarak kurutmak için veya 300°C arasında ısıtarak kurutma uygulaması yapılmaktadır. Kurutulacak malzemeye vakum uygulaması yapıldığı için patlama ve parlama olmamaktadır.

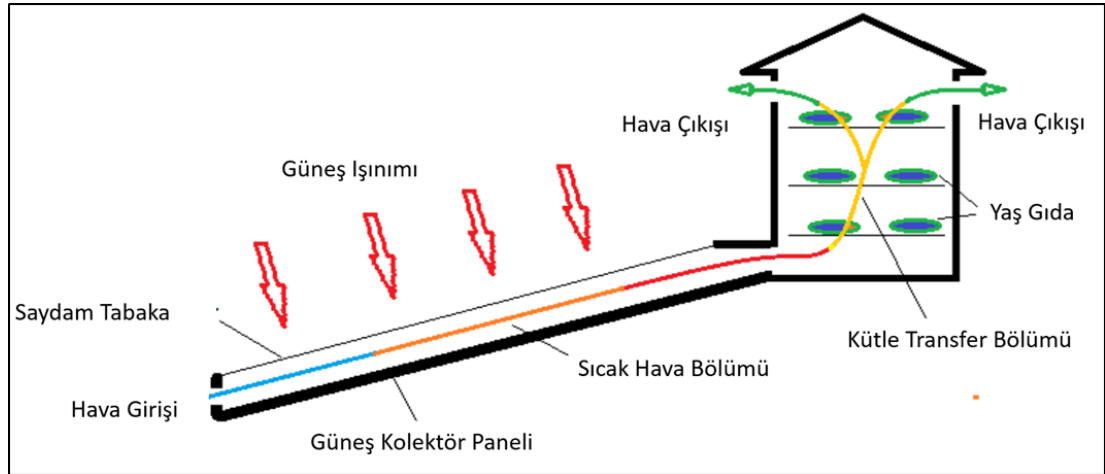
### **2.6.3 Karışık (Kombine) Kurutucular**

Kombine Kurutma: Güneş enerjisi ve çeşitli yakıtlardan yararlanarak yapılan kurutmadır. Güneşli mevsimlerde güneş enerjisinden, güneş enerjisinin yeterli olmadığı günlerde ise katı, sıvı veya gaz yakıtla sıcak hava elde edilmektedir. Bu kurutucular küçük kapasiteli olduklarında köy tipi kurutucular olarak da isimlendirilmektedir. Fazla yatırım gerektirmediği ve kaliteli ürün elde etme imkânı olduğu için özellikle güneşte kurutmanın yerine tavsiye edilmektedir (Anonim, 2018). Şekil 2.12 'de kombine kurutucu resmi verilmiştir.



**Şekil: 2.12.** Kombine Kurutucu

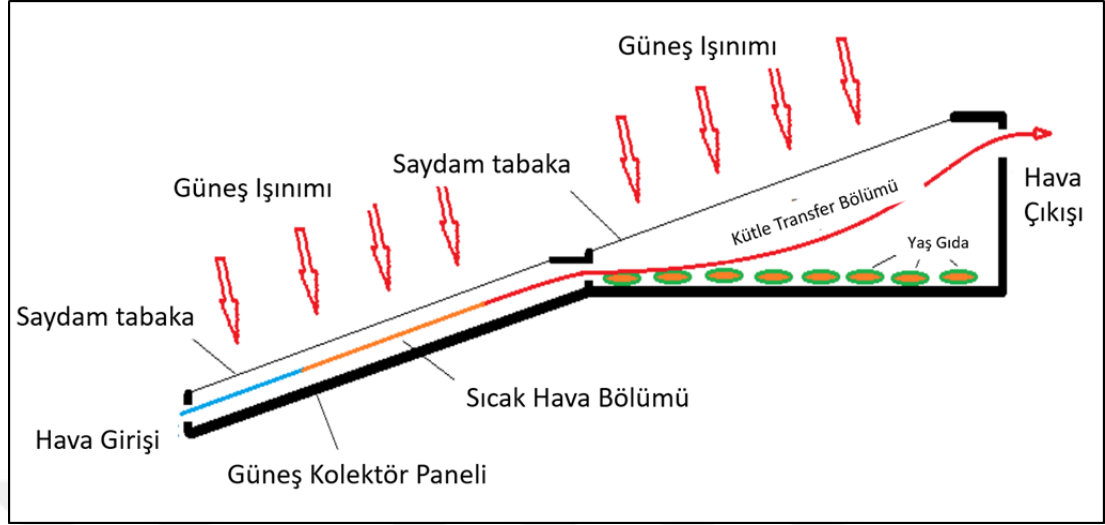
Doğrudan olmayan tip kurutucularda ise güneş ışınları düz yüzeyli havalı güneş toplayıcılarında tutulan kurutma havasının kurutma odasına aktarılmasıyla olmaktadır. Karışık tip kurutucularda güneş ışınları hem toplaçlar tarafından tutulmakta hem de saydam örtü ile kaplanmış kurutma odalarında tutulmaktadır.



**Şekil: 2.13.** Karışık Tip 1 Kurutucu

Karışık tip kurutucular birim alandan güneş enerjisinden en etkin faydalanma imkânı sağlarken direk tip kurutucular daha sabit yapıya sahip oldukları için yapım masrafları daha düşük olmaktadır. Diğer taraftan, güneş ısılarının ürün kalitesini

olumsuz yönde etkilediği durumlarda (ürün renginin açılması, dokusunun bozulması gibi) direk olmayan tip kurutucular tercih edilmektedir.



Şekil: 2.14. Karışık Tip 2 Kurutucu

Kurutucudan geçen kurutma havasının akışı; pasif veya aktif biçiminde gerçekleşmektedir. Pasif yani doğal taşınım, ısınan havanın yükselmesi ile oluşurken, aktif yani zorlanmış taşınım da bir fan aracılığı ile basınç farkı oluşturarak sağlanmaktadır (Ertekin ve Yıldız, 2001).

#### 2.6.4 Pasif Kurutucular (Doğal Taşınım)

Bu tip kurutucularda yalnızca güneş enerjisinden yararlanır. Herhangi bir yardımcı enerji kaynağı yoktur. Bu şekilde yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklık kontrol edilemez fakat yatırım maliyetleri düşüktür. Pasif tipli kurutucular;

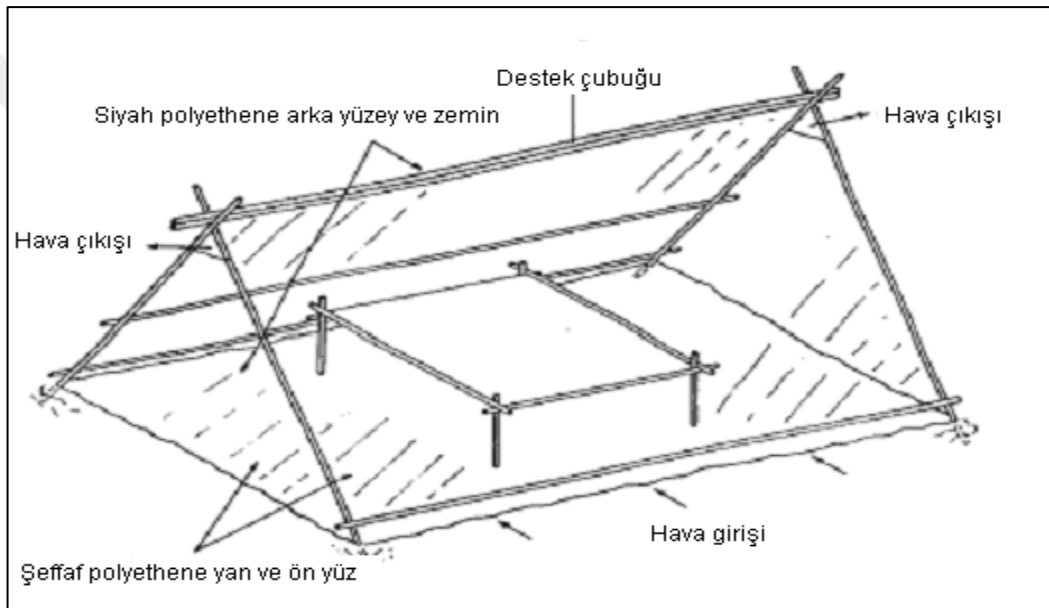
- Güneş kabinleri,
- Çadır veya seralar ve
- Baca tipi kurutuculardır.

Kabin tipi kurutucular, en basit yapıli kurutuculardan bir tanesidir. Genelde kabin tipi kurutucular, tek veya iki kat saydam örtüyle kaplanmış, belirli bir eğimle kapanan bir kapak ile yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal sacdan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan kabinden oluşmaktadır. Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılır. Kurutucunun iç



yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmalıdır. Kurutucu içinde hava hareketi; tabanda ve ön kenarda bulunan deliklerden çevre havasının içeri girmesiyle ve ısınmış ve nemli havanın arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle meydana gelmektedir. (Tarhan ve ark. 2007).

Çadır tipi kurutucuların özelliği kolektör ile kurutma çemberinin birleştirilmiş olmasıdır. Bu sistem çok düşük bir maliyet gerektirir. Kullanılan çadırın amacı ürünü toz, yağmur ve rüzgârdan korumaktır. Kullanılan ürünler ise genellikle meyve, balık ve kahve gibi ürünlerdir. Çadır tipi bir kurutucu Şekil 2.15’de gösterilmiştir (Yağcıoğlu, 1999).



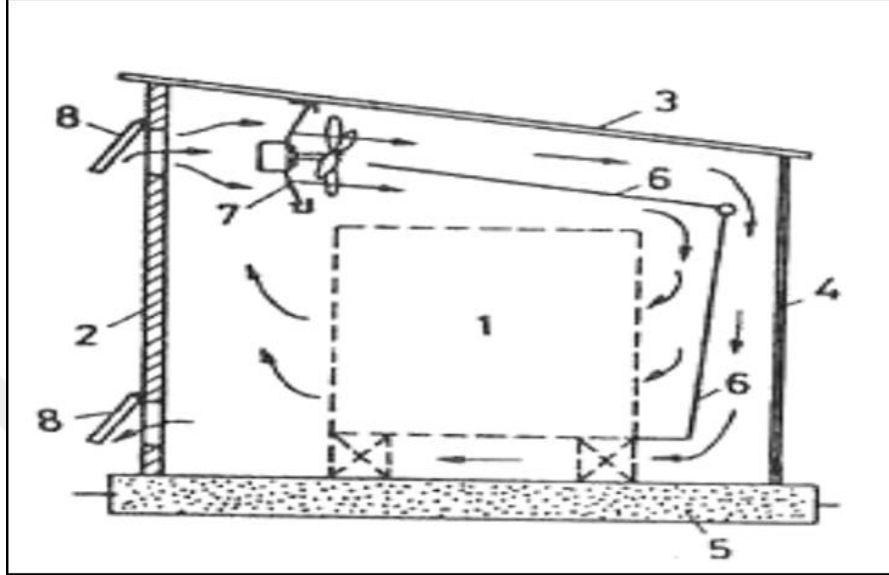
**Şekil: 2.15. Çadır Tipi Bir Kurutucu**

### 2.6.5 Aktif Kurutucular (Zorlamalı Taşınım)

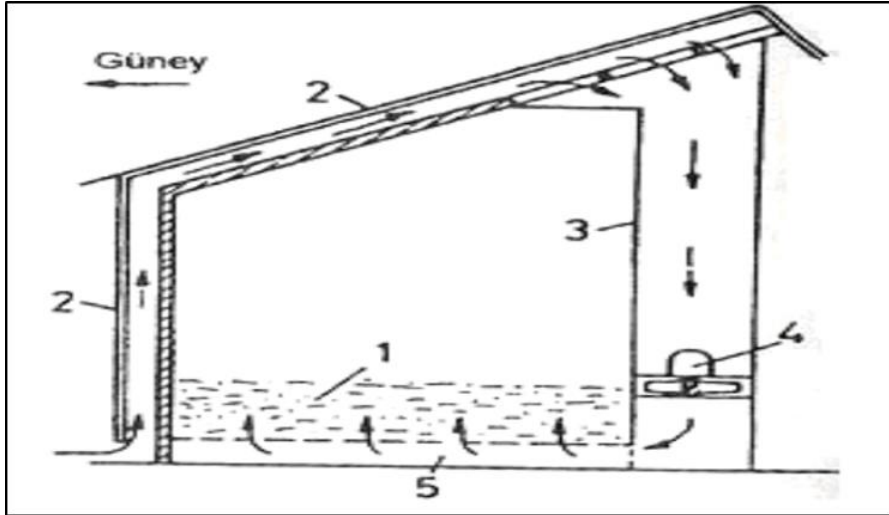
Ürünü kurutmak için kullanılan havanın kurutucu içinde dolaşımının bir fan yardımı ile sağlandığı bu kurutucularda hava giriş ve çıkışları kontrol edilerek kurutucunun ısıl etkinliği bir ölçüye kadar ayarlanabilir. Şekil 2.16’da ve 2.17’de aktif kurutuculara örnek verilmiştir

Şekil 2.16’da görülen fanlı tip güneş enerjili kurutucu beton taban (5) üzerine kurulmuştur. 3 ve 4 numara ile görülen ışık geçirebilen bir malzeme ile örtülü yüzeylerden giren güneş ışınları toplaç görevi yapan siyaha boyalı alüminyum

yüzeyleri (6) ısıtır. Bir fanla (7) üflenene hava bu yüzeylerin her iki tarafından geçirilerek ısıtılır ve kurutulacak ürünlerin bulunduğu ortamdan geçirilir. Şekilde bulunan 8 numaralı hava giriş ve çıkış damperleri ve alüminyum yüzeylerin eğimleri değiştirilerek dış havanın ürün yüzeyine doğrudan yönelmesi ya da içerideki havanın dolaşımı sağlanır (Yağcıoğlu, 1999).



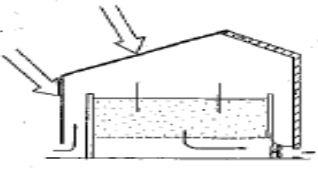
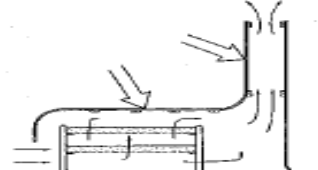
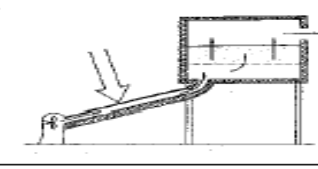
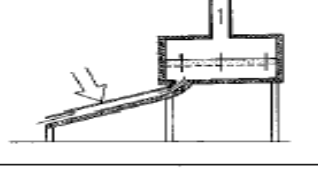
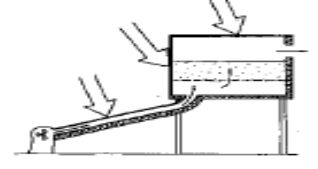
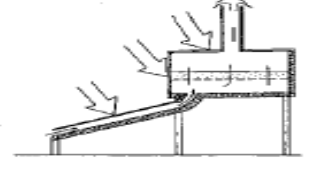
Şekil: 2.16.Fanlı Tip Güneş Enerjili Kurutucu



Şekil: 2.17.Oda Tipi Fanlı Kurutucu

Şekil 2.17’de görülen oda tipi fanlı kurutucuda yapının güneye bakan duvarı (2) ve çatı yüzeyleri (2) ışık geçiren bir örtü ile kaplanmıştır. Isı yalıtımı yapılmış ve siyaha boyanmış yüzey ile örtü arasındaki bölgede bulunan ısıtılmış hava bir fan yardımı (4) ile emilerek 3 numaralı kanaldan geçer ve delikli döşeme üstüne yığılı ürünün

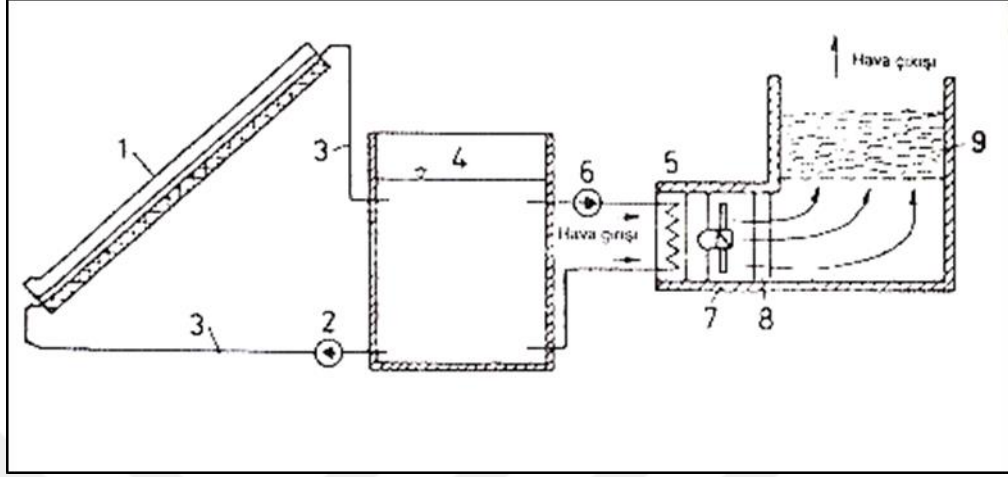
içinden geçerek ürünü kurutur (Yağcıoğlu, 1999). Aktif ve pasif kurutucular, güneşten etkileşimlerine ve havanın akışına göre sınıflandırılabilirler. Şekil 2.18 'de hava akımına göre sınıflandırılmış aktif ve pasif kurutucular gösterilmiştir.

	<b>Aktif</b>	<b>Pasif</b>
<b>Doğrudan Etkileşimli</b>		
<b>Dolaylı</b>		
<b>Birleşik</b>		

**Şekil: 2.18.**Aktif Ve Pasif Kurutucu Tipleri

Şekil 2.18 'de görüldüğü gibi hava akımları zorlamalı konveksiyonlarda fanlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Doğal konveksiyon ise hava çıkışlarına kurulan bacalar aracılığı ile oluşmaktadır. Doğrudan etkileşimli sistemlerde kurutma ortamı güneş toplayıcıları altında kalmakta, sera etkisi ile de ısınan hava kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Dolaylı güneş enerjili kurutucularda ise kurutma kabini güneş ışığının altında tutulmayarak yalıtım ile sistemden ayrılmakta, hava yalnızca güneş panellerinde ısıtılarak sisteme aktarılmaktadır. Birleşik tip kurutucularda ise hava hem güneş panellerinde ısıtılmakta hem de kurutucu kabini güneş altında tutularak kurutma yapılmaktadır. Güneş enerjili fanlı kurutucularda ısı depolarından da yararlanır. Güneş enerjisinin yeterli olduğu dönemlerde toplanan ısının bir bölümü ısı depolarında depolanır ve gereksinim duyulduğunda, depolanan bu ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılır. Isı depolama malzemesi olarak genellikle su, taş havuzları ve sentetik bazı materyaller kullanılır. Bu ısı depolarının yararları ise; güneş enerjisinin olmadığı ya da yetersiz olduğu zamanlarda da kurutma yapılabilmesi ve güneş enerjisinin çok yoğun olduğu dönemlerde bu enerjinin bir bölümü depolandığında ürünün aşırı sıcak havada zarar görmesinin önlenmesidir. Isı

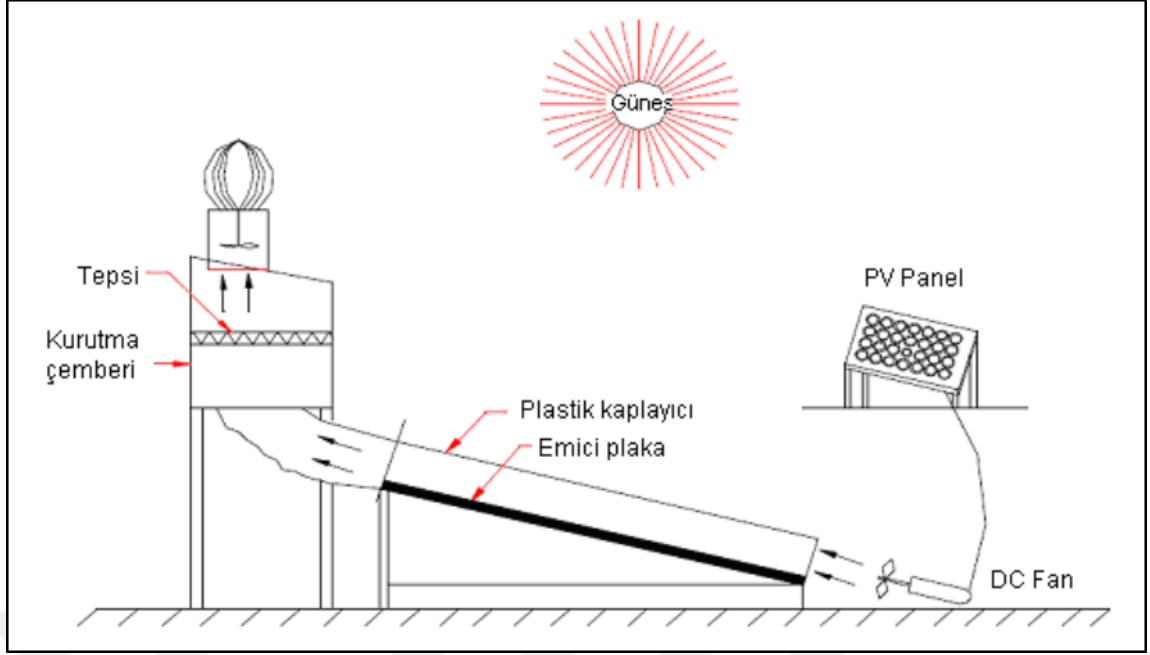
depoları pahalı bir yatırım oldukları için karar vermeden önce çok iyi bir teknik ve ekonomik analiz yapılmalıdır (Yağcıoğlu, 1999). Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucunun ana unsurları Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



**Şekil: 2.19.**Sulu Tip Isı Deposuna Sahip Güneşle Kurutma Yapan Bir Kurutucu

Isı deposundaki (4) su bir pompa (2) ve boru sistemi (3) ile toplaktan (1) geçirilerek ısıtılır. Depodaki sıcak su başka bir pompa ile (6) emilerek ısı değiştiriciye gönderilir (5). Kurutma havası bir fan (7) yardımı ile emilir ve kurutulacak ürüne alttan verilir. Eğer bu hava yeterince ısıtılmadıysa 8 numaralı ek ısıtıcı ile ısıtılır (doğal gaz, LPG, elektrik) (Yağcıoğlu, 1999).

Zorlamalı konveksiyonlu kurutuculara bir örnek de tünel tipi kurutuculardır. Bu tip kurutucular güneş enerjili bir ısıtıcı ve kurutma odasından oluşmaktadır. Hava, fan aracılığı ile ısıtıcının yutucu yüzeyinin üstünden veya altından geçirilmekte ve kurutma odasına gönderilmektedir. Isıtıcı kısım izole edilerek ısı korunumu sağlanmaktadır. İstenilen sıcaklığa göre vantilatörün debisi ayarlanabilmektedir. Isıtıcının ve kurutma odasının uzunluğu kapasiteye göre değişmektedir. Isıtıcı ve kurutma odasının üst yüzeyi geçirgen örtü ile kaplanmıştır. Kakao, kahve ve hindistan cevizi kurutulmasında sererek kurutmaya göre kurutma süresi %40 oranında azaltılmıştır. Üzüm, banya, domates, patates ve fesleğende bu azalma %40–70 oranındadır (Yağcıoğlu, 1999).

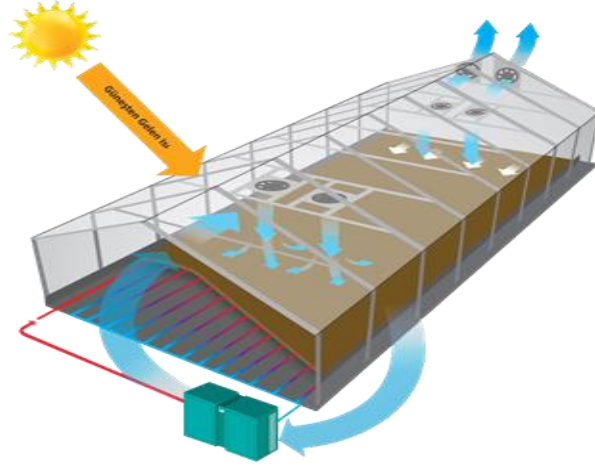


**Şekil: 2.20.**Fotovoltaik Panel Destekli Zorlamalı Konveksiyonlu Kurutucu

Zorlamalı konveksiyonun bir diğer kullanımı ise fotovoltaik panel destekli kurutucu sistemidir. Bu tip kurutucular plastikle kaplanmış düz kolektörlerden, kurutma çemberinden ve DC fandan oluşmaktadır. Bu sistemde havanın maksimum sıcaklık artışı 30 derece civarındadır. PV panelde elde edilen enerji 20 W olup bu da 12 Voltluk DC fanı çalıştırmak için kullanılır. Bu sistem Şekil 2.20’de gösterilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

### 2.6.6 Sera Güneş Kurutucular

Bitkisel üretim için kullanılan seraların kurutma amacına uygun olarak değiştirilmiş biçimleridir (Trim ve Ko, 1998; Condori ve ark. 2001; Tarhan ve ark. 2007). Kontrol imkânları daha geniş olup kurutulacak ürün miktarının çok olduğu durumlarda tercih edilmektedirler. Seranın dış örtüsü UV ışınlarına dayanıklı olmalıdır. Isı tutumunu artırmak için sera tabanının siyaha boyanmış beton veya metal yüzeyle kaplanması gerekmektedir. Sera içerisinde havanın düzgün dağılımını ve yeterli hava akışını sağlamak için, seranın uzun kenarları boyunca ve tabanında, çevre havası girişi için açıklıklar bırakılmalıdır. Nemli sera havasının dışarı atılması için sera tavanında açıklık bırakılmalıdır.



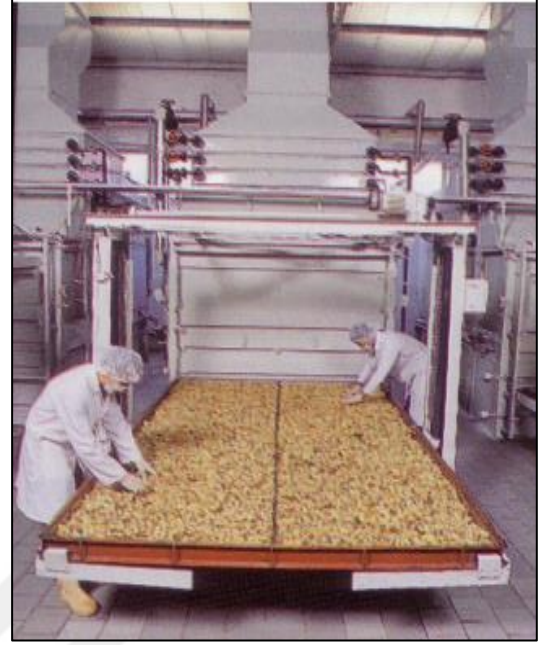
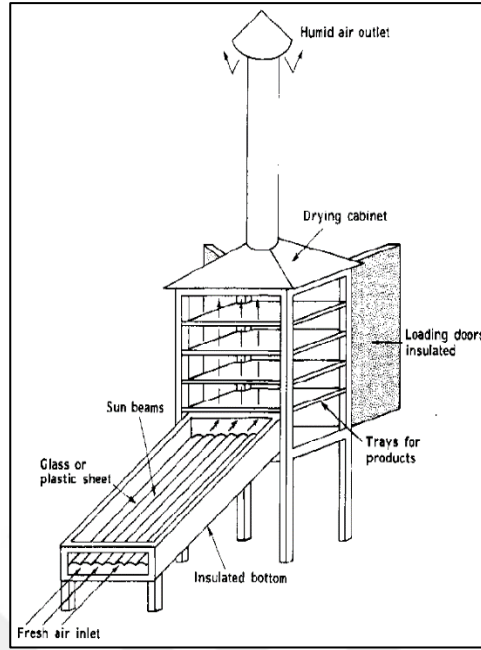
**Şekil: 2.21.**Sera Tipi Güneş Enerjili Kurutucu

### 2.6.7 Dolaylı Tip Solar Kurutucu

Sistem, kaliteli ürünler üretebilen ve gerekli olan düşük yatırım nedeniyle, güneş enerjisi kurutma makinesi küçük üreticiler için önerilmektedir (Sharma ve ark. 1993). Dolaylı tipte doğal konveksiyonlu solar kurutucu, El-Sebaai ve ark. (2012) tarafından kurutma işleminin iyileştirilmesi amacıyla, emici plaka altında çeşitli depolama malzemeleri eklenerek tasarlanmıştır. Kurutma deneyleri, çekirdeksiz üzüm, incir ve elmalar gibi farklı küresel meyvelerin yanı sıra yeşil bezelye, domates ve soğan gibi sebzeler için depolama materyalleri ile birlikte veya depolama materyali olmadan yürütülmüştür.

### 2.6.8 Kabin Tipi Güneş Kurutucular

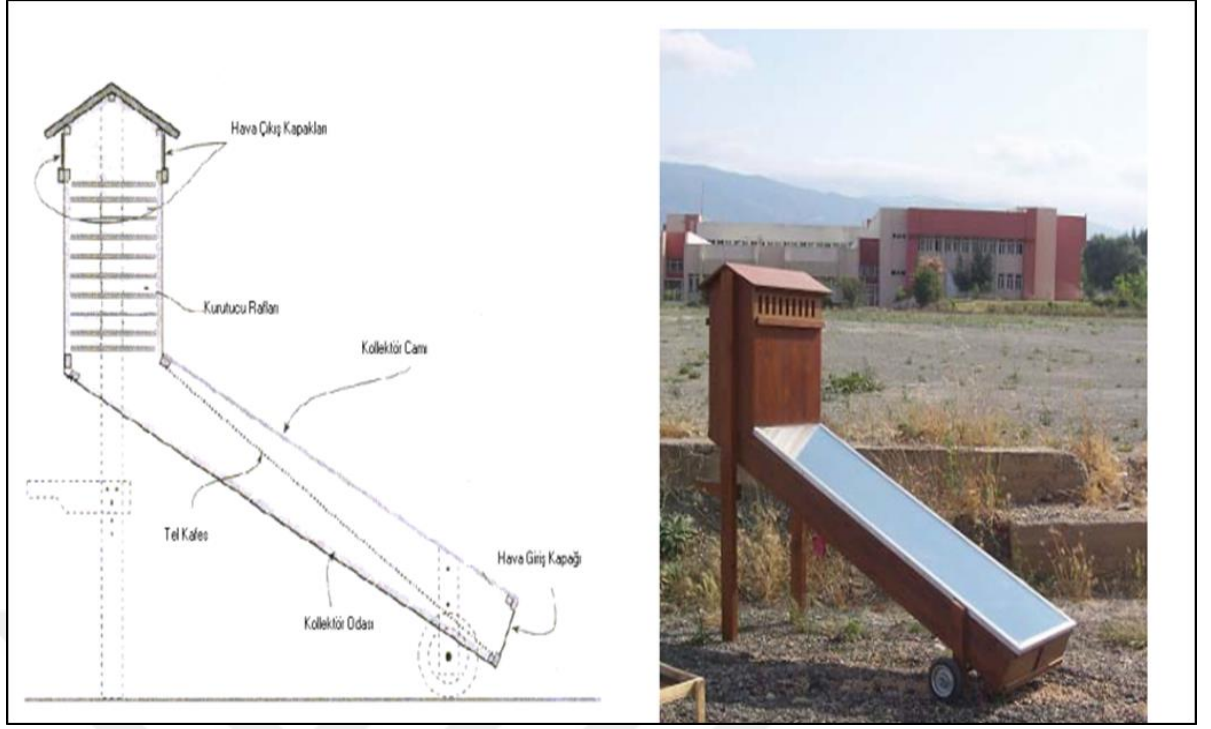
En basit kurutuculardan bir tanesidir. Bu kurutucuya ait genel görünüş Şekil 2.22’de verilmiştir. Kurutucu, tek veya iki kat saydam örtüyle kaplanmış, belirli bir eğimle kapanan bir kapak ile yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal saçtan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan kabinden oluşmaktadır (Ampratwum, 1998). Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılmıştır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmalıdır. Kurutucu içinde hava hareketi; tabanda ve ön kenarda bulunan deliklerden çevre havasının içeri girmesiyle ve ısınmış ve nemli havanın arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle meydana gelmektedir.



**Şekil: 2.22.**Kabin Tipi Güneş Kurutucu Sistemleri

### 2.6.9 Güneş Enerjili Raflı Kurutucu

Güneş enerjili raflı kurutucu; havalı güneş toplayıcı (kolektör), kurutma odası ve güneş bacasından meydana gelmiştir (Pangavhane ve ark. 2002). Bu kurutucuya ait genel görünüş Şekil 2.23’de verilmiştir. Güneş enerjili kabin kurutucuların geliştirilmiş tipidir. Havalı güneş toplacının üzerine gelen gün ışınlarını tutarak ısı enerjisine çevirmekte ve kurutma havasına aktarmaktır. Toplaç içinde ısınan hava termal kuvvet etkisiyle kurutma odasına girer; raflar halinde yerleştirilmiş kurutma tepsilerinden geçerek ürünün nemini alır ve bacadan dışarı çıkar. Bu tip kurutucuların kapasitelerini, maliyetlerini ve verimleri etkileyen başlıca tasarım parametreleri; toplaç tipi ve boyutları, kurutma odası tipi ve boyutları, rafların yerleştirme şekli ve sıklığıdır. Havalı güneş toplaçları; genelde düz yüzeyli olup, ışığı geçirebilen saydam örtü (tercihen cam örtü) güneş ışığını yutan, siyaha boyanmış ve metalden yapılmış (tercihen bakır) bir yutucu plaka, tabanı ve yan yüzeyleri içeriden yalıtılmış metal veya ahşaptan yapılmış bir kasadan meydana gelmektedir. Kurutma tepsileri mümkün olduğunca hava akışına dirençleri en az olacak şekilde tabanında deliklere sahip saç malzemedan yapılmalı veya tel örgü ile kaplanmalıdır.

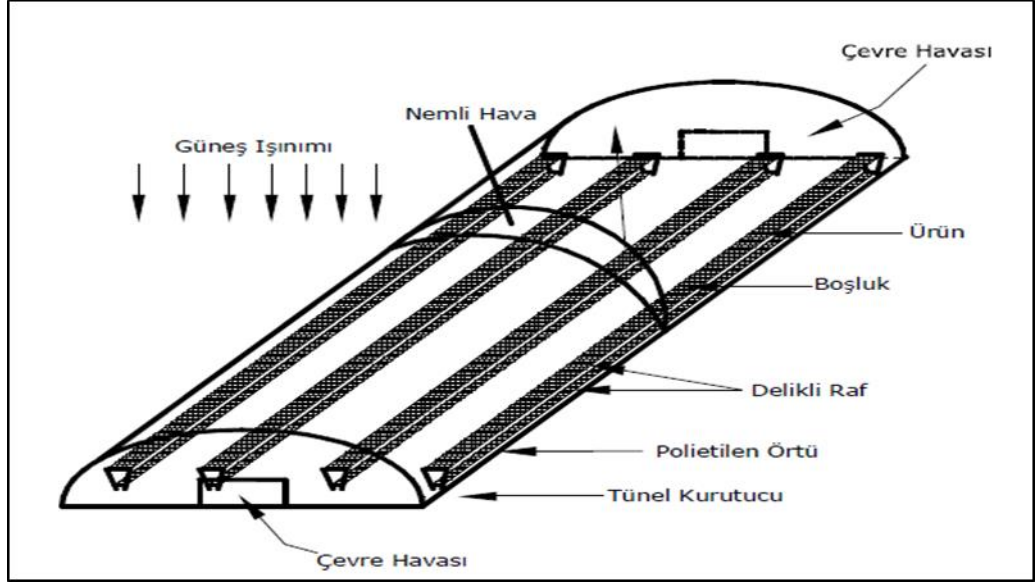


Şekil: 2.23. Güneş Enerjili Rafli Kurutucu

### 2.6.10 Tünel Tipi Güneş Kurutucular

Tüneli tipi solar kurutucular, kırsal sektöre ve elektriğin az olduğu ve düzenli olarak ürün tedarik edilen diğer alanlar için uygun bir alternatiftir. Proses süresinde meydana ürün kayıplarını azaltır, kurutulmuş ürünün kalitesini önemli ölçüde artırır ve geleneksel kurutma yöntemlerine göre ekonomik olarak fayda sağlamaktadır (Elçin ve Saçılık, 2005). Başlangıçta kurak bölgelerde kullanılmak üzere geliştirilen küçük bir santrifüj üfleyici, bir kolektör ve bir tünel kurutma odasından oluşan çok amaçlı bir güneş tüneli kurutucusu, Amir ve arkadaşları tarafından, tropik hava koşullarında çalışmayı sağlamak için, bulutlu ve yağmurlu günlerde kurutma havasını ısıtmak için bir güneş enerjisi kurutma sistemine entegre edilmiş bir biokütle fırını ve ısı eşanjörü ile modifiye edilmiştir. Sonuçlar, doğal güneşte kurutma ile karşılaştırıldığında, kakao, kahve ve Hindistan cevizi kurutma süresinin %40'a kadar azaltılabileceğini gösterdi ve araştırmalar, yağmur mevsimi sırasında bile ürünlerin nihai neme kurutulmasının mümkün olduğunu göstermiştir.





Şekil: 2.24. Kurutma İşleminde Kullanılan Güneşli Tünel Kurutucu [Farhat Ve Ark. 2004]

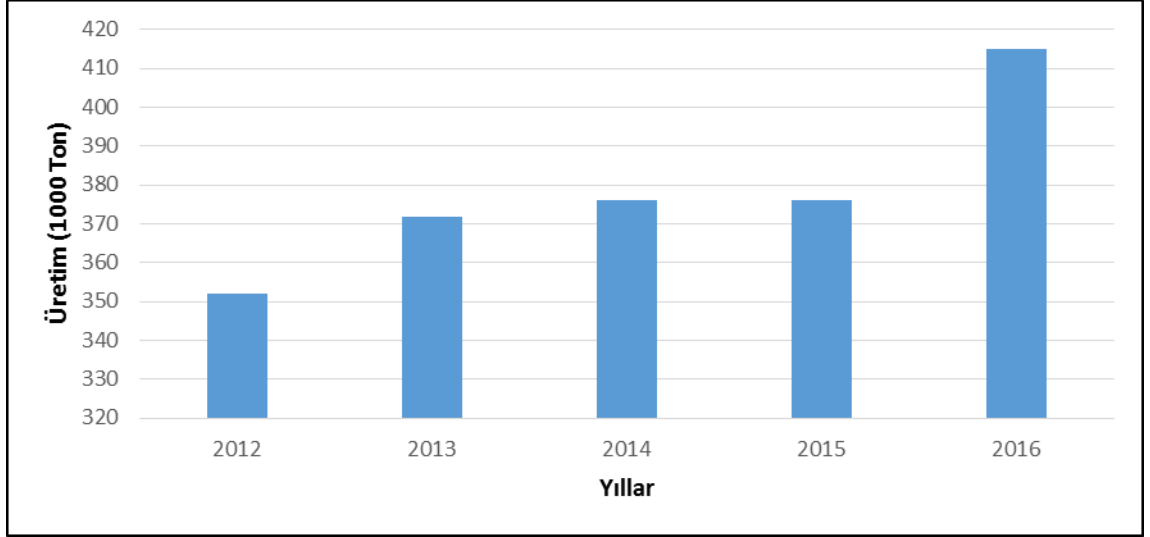
## 2.7 Çilek (*Fragaria Ananassa*)

Dünya ya Güney Amerika-Şili den yayılan çileğin, M.S. 1300 yıllarında Avrupa'da yetiştirildiği bilinmektedir. Günümüzde çileğin en yaygın yetiştirildiği yer kuzey yarımküredir bununla birlikte tarıma elverişli yerlerde de yetiştirilmektedir. Kültür çileği (*Fragaria x ananassa* Duch.), oktoploid *F. Chiloensis*(L.) Duch. Ve *F. virginiana* Duch. Türlerinin doğal melezlemesi sonucunda 18. yüzyılda meydana gelmiştir (Kargı ve Sarıdaş 2012). Kültüre alınmış çilekler (*Fragaria ananassa* L.), üzüksü meyveler grubuna dâhil üyelerinden biridir. Çilek, hoş organoleptik özellikleri ve besleyici değeri, C vitamini (taze ağırlıkta 60 mg / 100 g) içeriği ile dünyada en yaygın tüketilen meyvelerden biridir (Proteggente ve ark. 2002).

100 gr. taze çileğin içerdiği besin değerleri şunlardır: 37 kalori; 0,7 gr. protein; 8,4 gr. karbonhidrat; 0 kolesterol; 0,5 gr. yağ; 1,3 gr. lif- 21 mgr. Fosfor; 21 mgr. Kalsiyum; 1 mgr. Demir; 1 mgr. Sodyum; 164 mgr. Potasyum; 12 mgr. Magnezyum; 60 IU A vitamini; 0,03 mgr. B1 vitamini; 0,07 mgr. B2 vitamini; 0,6 mgr. B3 vitamini; 0,055 mgr. B6 vitamini; 4,6 mcgr. Folik asit; 77 mgr. C vitamini ve 0,2 mgr. E vitamini.

Son yıllarda yapılan bir dizi çalışmada, çilek tüketiminin antioksidan, anti kanserojen, anti-inflamatuar ve anti-nörodejeneratif özellikleri nedeniyle insan sağlığına yararları ortaya konmuştur (Basu ve ark. 2010; Hannum, 2004). Diğer meyve ve sebzelerde olduğu gibi, mevsimsel hasat ve kısa raf ömrü sayesinde taze çilek mevcudiyeti sınırlıdır. Bu nedenle, çilek, doğrudan tüketilebilen veya kurabiye, tahıl, enerji çubukları, süt ürünleri, içecekler, reçeller ve jöleler gibi çok çeşitli gıda maddelerinde içerik olarak kullanılabilen bir dizi ürün elde etmek için farklı endüstriyel işlemlere (donma, kurutma vb.) tabi tutulur. Farklı işleme teknikleri arasında, kurutma ile meyvelerin dehidrasyonu en popüler olanlarından biridir. Nemin uzaklaştırılması, mikroorganizmaların büyümesini önler ve depolama sırasında ürünü bozabilecek enzimlerin aktivitesini inhibe eder. Ayrıca, kurutma işlemi meyveyi farklı özelliklere sahip işlenmiş bir ürüne dönüştürür. Bununla birlikte, bu koruma yönteminin uygulanmasında seçilen işlem koşulları (sıcaklık, hava hızı, nem ve zaman), fiziksel olarak (büzülme ve sertlik) ve kimyasal olarak dehidrasyon ürününün kalitesini doğrudan etkileyen değişimlere yol açabilir (Asami ve ark. 2003).

Farklı iklim koşullarına kolay adapte olabilen çilek, dünyanın farklı iklim şartlarında yetiştirildiği gibi ülkemizde hemen her bölgesinde yetiştirilebilmektedir (Geçer ve Yılmaz 2011). Yıllar itibariyle dünyada çilek üretimi artış göstermiş ve 2014 yılında 8,1 milyon tona ulaşmıştır (FAO, 2014). Ülkeler bazında dünya çilek ihracatına bakıldığında, dünyanın en büyük ihracatçı ülkesi olan İspanya'nın 2016 yılında 645,4 milyon dolar seviyesinde ihracat gerçekleştirdiği görülmektedir. Aynı yıl İspanya'nın ardından ABD 2. sırada ve üçüncü sırada Meksika yer almaktadır (Anonymous, 2012). Ülkemizde ise, çoğunlukla Akdeniz ve Ege bölgelerinde çilek üretimi yapılmakta olup, Şekil 2.25' de ülkemizde 2012–2016 yılları arasında üretilen çilek miktarları verilmiştir.



**Şekil: 2.25.** Ülkemizde 2012–2016 Yılları Arasında Üretilen Çilek Miktarları

Türkiye'nin kuru meyve ihracatı yaptığı ilk 10 ülkeye bakıldığında ise AB ülkeleri öne çıkmaktadır. Irak ve Suudi Arabistan pazarlarının ise yükseliş trendine giren pazarlar olduğu görülmektedir.

**Çizelge: 2.1.** Türkiye'nin Kuru Meyve İhracatı Yaptığı İlk 10 Ülke Sıralaması

[E-birlik.net]

ÜLKELER	ŞUBAT			
	2017	2018	Değ.	Pay (%)
ALMANYA	9.813	13.315	35,69%	12,33%
BİRLEŞİK KRALLIK	10.900	10.920	0,18%	10,11%
FRANSA	6.946	9.106	31,10%	8,43%
BİRLEŞİK DEVLETLER	6.753	5.880	-12,94%	5,45%
HOLLANDA	4.367	5.553	27,16%	5,14%
İTALYA	4.234	4.960	17,12%	4,59%
IRAK	5.435	3.660	-32,66%	3,39%
AVUSTRALYA	3.312	3.641	9,92%	3,37%
KANADA	1.993	3.255	63,35%	3,02%
SUUDİ ARABİSTAN	4.266	3.208	-24,82%	2,97%
<b>İLK 10 ÜLKE TOPLAM</b>	<b>58.020</b>	<b>63.498</b>	<b>9,44%</b>	<b>58,81%</b>
<b>DİĞER ÜLKELER</b>	<b>32.310</b>	<b>44.471</b>	<b>37,64%</b>	<b>41,19%</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>90.330</b>	<b>107.969</b>	<b>19,53%</b>	<b>100,00%</b>

## 2.8 Parafin ve Özellikleri

Parafin mumu, petrolden elde edilen renksiz, kokusuz bir mum çeşidi olup 1829 yılında Carl Reichenbach tarafından ilk olarak odun katranından elde edilmiş. Parafin Latince "*Parum afinis*" reaksiyonlara az yatkın tabirinden adını almış olup,  $C_nH_{2n+2}$  genel formülünde petrolerin önemli bir bileşenidir. Ortalama 15°C 'lik oda sıcaklığında katı olan, düz zincirli doymuş hidrokarbonların  $C_{23}H_{48}$  ile  $C_{35}H_{72}$  arası karışımlarından ibarettir. (Genellikle %97'den daha çok hidrokarbon ihtiva eder. Karbon muhteviyatı %83-87, hidrojen ise %11-14'tur. Kalan elementler ise O, N ve S' dir), (Akkayan ve Özden, 1988). Ham petrolerin parafin miktarı kökenlerine göre değişebilmektedir. Bunlarla birlikte parafin genel özellikleri;

- Toksik etki taşımaz
- Su geçirgenliği yoktur
- Renksizdir
- Yakıt olarak kullanılabilir (Anonim, 2015)

Erime noktası; karbon atomu sayısına göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak düşüktür. Nitekim en düşük molekül ağırlığına sahip parafinin erime noktası 30°C kadardır. Ancak bütün parafin türlerinin erime noktaları (43–65°C) arasında değişmektedir. Çalışmamızda kullandığımız parafinin erime sıcaklığı 57 °C olarak belirlenmiştir (Akkaya ve Özden, 1988). Şekil 2.26'da parafin, görülmektedir. Parafinin ticari değeri erime noktasının yükselmesi ile artmaktadır.



**Şekil: 2.26.** Enerji Depolama Malzemesi Olarak Kullanılan Parafin

## 2.8.1 Proje Kapsamında Enerji Depolama Malzemesi Olarak Parafin Kullanılmasının Sebebi

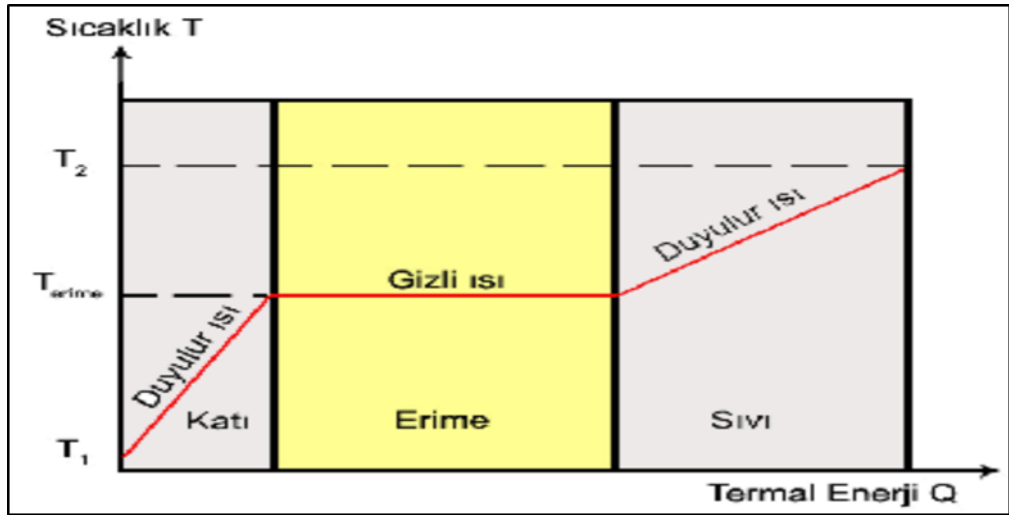
Isıl enerjiyi depolamada Faz Değiştiren Maddelerin (FDM) kullanımı en verimli yöntemlerden biridir termal enerjinin depolanması için iki ana yöntem vardır: duyulur ısı ve gizli ısıdır.

### Duyulur Isı

Maddenin sıcaklığını değiştirmek için gereken ısı miktarıdır. Maddenin sıcaklığında farklılık yaratır, ama halini değiştirmez.

### Gizli Isı

Maddenin fiziksel halini değiştirmesine rağmen, sıcaklığında fark oluşturmaz.



Şekil:2.27. Faz Değişim Grafiği

Faz değiştiren maddeleri kullanan gizli ısı depolama, yüksek enerji depolama yoğunluğu ve ergime ve katılaşma esnasındaki izotermal çalışma karakteristikleri nedeniyle en etkin termal enerji depolama şeklidir. Değişken aralıklı erime/katılaşma sıcaklığına ve ortalama ısı depolama yoğunluğuna sahip ticari parafin ısı enerji depolamada en çok incelenen FDM'lerin başında gelir. Kullanım alanına göre FDM'lerin avantaj ve dezavantajları vardır. Organik bir FDM türü olan parafin, gizil ısı miktarının istenilen aralıkta olması, kimyasal kararlılığı, faz ayrımının olmaması ve ticari olarak bulunurluğu sebebiyle enerji depolamada kullanılan FDM'lerin

başında gelmektedir. Bu malzemelerin bir diğer avantajı ise düşük maliyetli olmalarıdır.

**Çizelge: 2.2.** Projede Kullanılan Parafinin Teknik Özellikleri

[Merwax MRB-F 1591]

	<b>Standart</b>	<b>Method</b>
<b>Damlama Noktası (°C)</b>	56-58 °C	<b>ASTM D-127</b>
<b>Donma Noktası (°C)</b>	55-57 °C	<b>ASTM D-938</b>
<b>Yağ Miktarı (%)</b>	0,5-1,5%	<b>ASTM D-721</b>
<b>Penetrasyon</b>	16-19	<b>ASTM D-1321</b>
<b>Renk</b>	0,1 - White	<b>ASTM D-1500</b>
	+30	<b>ASTM D-156</b>

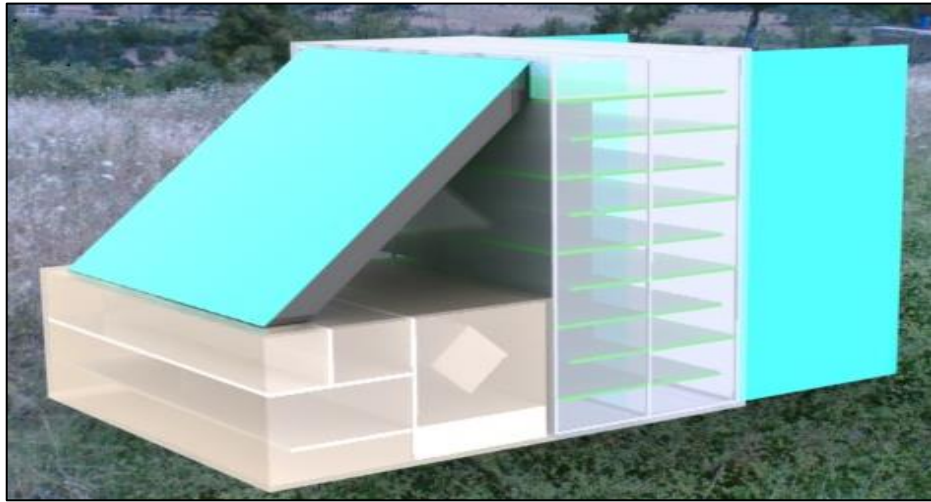
### 3. GÜNEŞ ENERJİLİ VE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLİ KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI

#### 3.1 Kurutma Sisteminin Seçimi

Kurutma sisteminin seçimi ürünü istenilen kalitede kurutulabilmesi için oldukça önemlidir. Kurutma konusunda son yapılan araştırmalara bakıldığında kurutucu sistemlerin enerji kaynakları olarak büyük oranda güneş enerjisinin kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında kullanacağımız kurutma kabini daha önce yapılan ‘‘Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sisteminde Elma Kurutulmasının İncelenmesi’’ tez çalışması için dizayn edilmiştir.

#### 3.2 Kurutma Kabini

Proje kapsamında yer alan kurutma kabini dizaynında polimer veya sac malzeme kullanılmıştır. Güneşi toplayacak olan seçici yüzey veya seçici boya ile boyanmış metal (alüminyum veya sac) hariç tüm sistem polimer yapıdadır. Temel kabin malzemesi izoboard, taşıyıcı çerçeve alüminyum yapıdadır. Göreceli küçük boyutlardaki kabin tipi kurutucularda hiçbir boru bağlantısı yoktur, tüm akış birbirinden ayrılmış odacıklar halindeki yapının içinde yer almaktadır. Kurutma kabininde seri bir akış mekanizması bulunmaktadır. Kurutma kabininin şematik resmi Şekil 3,1’ de, çalışmada kullanılan kurutma kabinini Şekil 3,2’de verilmiştir.



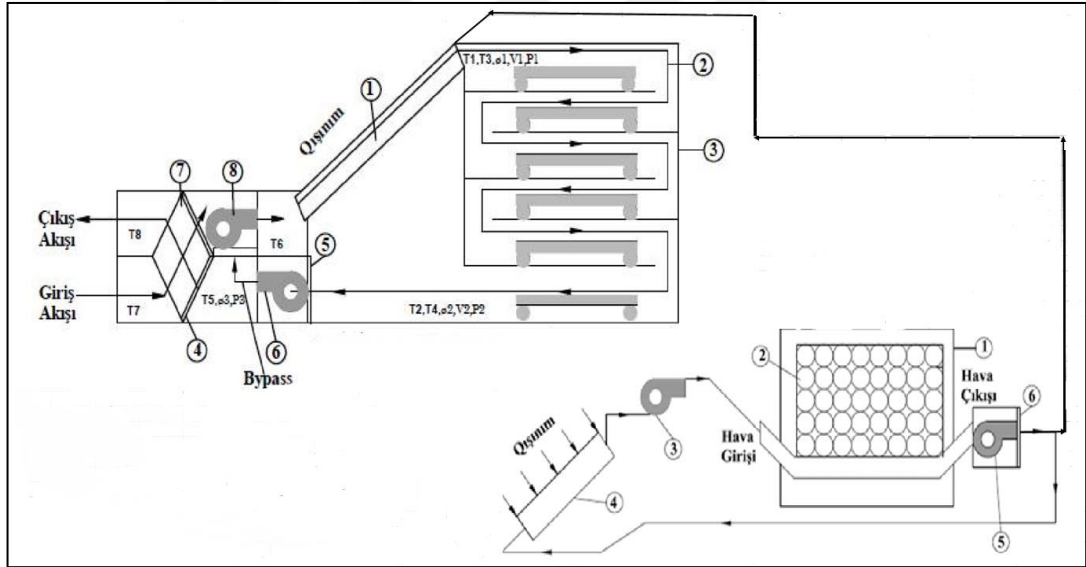
Şekil: 3.1. Kurutma Kabini Şematik Resmi



Şekil: 3.2. Kurutma Kabini Resmi

### 3.3 Güneş Enerjili ve Enerji Depolama Sistemli Zirai Ürün Kurutma Sistemi

Bu çalışma kapsamında kullanılan güneş enerjili ve enerji depolama sistemli zirai ürün kurutma sistemi deney düzeneğine ait akış şeması Şekil 3,3'te gösterilmiştir.



1. Güneş Toplayıcı	6. Üfleme Fanı	11. Emiş Fanı
2. Kurutma Çekmecesesi	7. Isı Değiştirici	12. Güneş Toplayıcı
3. Kurutma Kabini	8. Emiş Fanı	13. Üfleme Fanı
4. Açılır Kapanır Panjur	9. İzolasyon	14. Filtre
5. Filtre	10. Faz Değiştirme Malzemesi	

Şekil: 3.3. Güneş Enerjili Ve Enerji Depolama Sistemli Zirai Ürün Kurutma Sistemi Akış Şeması



Şekil 3,3'te akış şeması verilen Şekil 3,4'te, Şekil 3,5'de ve Şekil 3,6'da resmi gösterilen kurutma sisteminin deney düzeneğinin çalışma prensibi kısaca aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Şekil 3,3'te görüldüğü gibi güneş toplayıcısına gelen enerji, fan yardımıyla kurutma kabine girmekte ve üstten alta doğru dolaşarak kurutma kabini içerisindeki tepelerde yer alan ürünlerin nemini ısı ile buharlaştırmakta ve kurutma havasına karışmasını sağlamaktadır. Nem miktarı artan kurutma havasının zamanla nem alma yeteneği azalmaktadır. Ayrıca, deney düzeneğinden bağımsız olan hassas terazi ile her raftan alınan çilek dilimi numunelerinin ağırlıkları 30 dakikada bir ölçülerek ağırlık değişimleri gözlemlenmektedir. Buna ek olarak güneş ışığının olmadığı zamanlarda kurutma işleminin sürekliliğini sağlamak için parafin enerji depolama ünitesi sistemden bağımsız olarak çalışmıştır. Enerji depolama sisteminin hava çıkışı noktasından bir fan yardımıyla bünyesinde depoladığı enerjiyi kurutma kabine aktarmaktadır. Faz değiştirme malzemesinin depoladığı ısıyı mümkün olduğunca küresel ve ısı transferi için uygun bir ortamda depolama sağlanarak bir enerji transfer sistemi oluşturulmuştur. Akış şeması üzerinde yer alan T,Q, V ve P simgeleri sırasıyla sistem üzerinde ölçüm alınan sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve hava basıncı değerlerini ifade etmektedir.



**Şekil: 3.4.** Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi  
(Önden Görünüş)



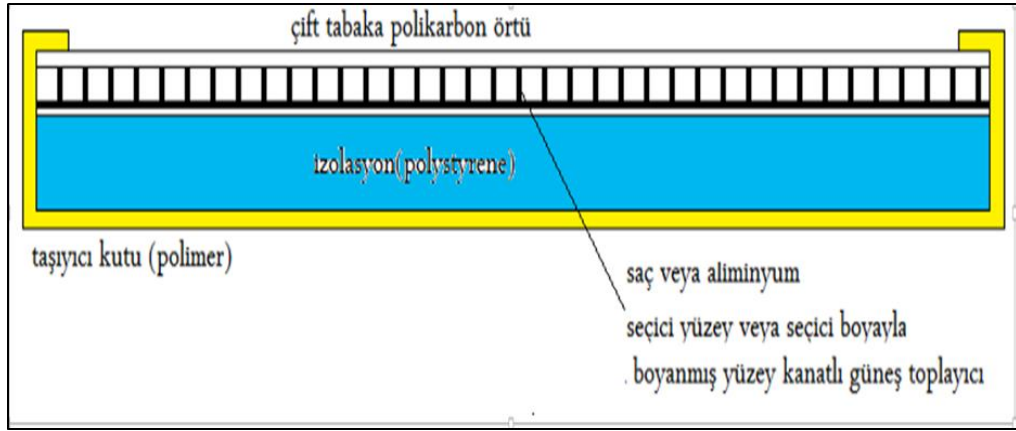
**Şekil: 3.5.** Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi Resmi (Yandan Görünüşü)



**Şekil: 3.6.** Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Ürün Kurutma Sistemi Resmi (Arkadan Görünüşü)

Deney düzeneğinde, güneş toplayıcı olarak havalı kolektör sistemi, içerisinde faz değiştirme malzemesi bulunan enerji depolama sistemi, kurutma kabini, düzenek içindeki hava akışını sağlayan fan sistemi ve test ekipmanlarından oluşmaktadır.

### 3.4 Güneş Toplayıcı Sistem



**Şekil: 3.7.** Güneş Toplayıcı Sistemin Şematik Resmi

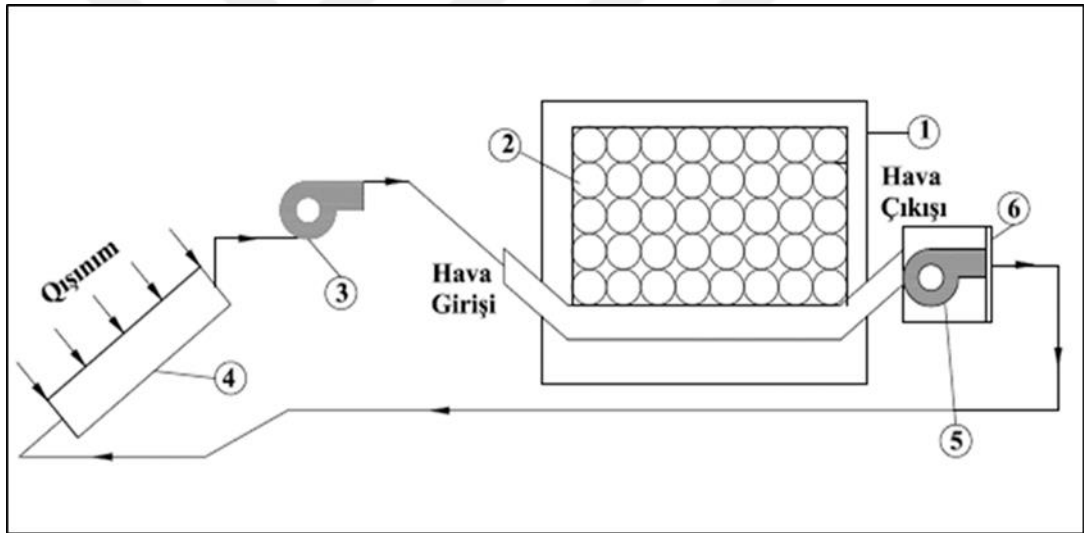
Proje kapsamında kullanılan güneş toplayıcı sistemine ilişkin şematik resim Şekil 3,7' de verilmiştir. Güneş toplayıcı olarak kullanılan havalı kolektör kanatlı bir yapıda olup temel olarak iki ucu tamamen açık olan toplayıcıların ana gövdesi polikarbon malzemeden kalıpta hazırlanmış bir ana parçanın içine yerleştirilen izolasyon (polystyrene), güneş toplayıcı levha ve iki katlı polikarbon tabakadan oluşan ve güneşi geçirecek olan tabakadan meydana gelmektedir. Bu çalışmada; 2 adet kurutma sisteminde, 3 adet de parafinli enerji depolama sisteminde olmak üzere toplamda 5 adet güneş toplayıcı sistem(havalı güneş kolektörü) kullanılmıştır.



**Şekil: 3.8.** Güneş Toplayıcı Sistem (Havalı Güneş Kolektörü) Resmi

### 3.5. Güneş Enerjili Kurutucu Enerji Depolama Sistemi

Güneş enerjisini depolamak için parafin enerji depolama sistemi kullanılmıştır. Parafin enerji depolama sistemi içerisindeki hava sıcaklığının ve yatak içindeki ortalama sıcaklığın değişimi, parafin yatağı içerisinde oluşan ısıl enerji ve kullanılabilir enerjinin değişimini, parafin yatağı içerisinde oluşabilecek basınç düşümü ve bu basınç düşümünü karşılayacak olan fan gücü geliştirilen simülasyon programı ile hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalardan yola çıkılarak kurutma sistemi için ihtiyaç duyulan ısıl enerji miktarı ve buna bağlı olarak bu ihtiyacı karşılayan parafin miktarı ve yatak boyutları belirlenerek tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9'da parafin enerji depolama sisteminin çalışma prensibine ait akış şeması, Şekil 3.10'da ise parafin enerji depolama sisteminin açık hali ve Şekil 3.11'de kapalı halinin resmi verilmiştir.



1. İzolasyon	4. Güneş Toplayıcı
2. Faz Değişirme Malzemesi	5. Emiş Fanı
3. Üfleme Fanı	6. Filtre

Şekil: 3.9. Enerji Depolama Sistemi Akış Şeması



**Şekil: 3.10.** Enerji Depolama Sistemi Montaj Resmi(Açık Hali)



**Şekil: 3.11.** Enerji Depolama Sistemi Montaj Resmi(Kapalı Hali)

### 3.6. Test Cihazları ve Ekipmanları

Güneş enerji sistemlerinin testlerinin yapılabilmesi amacıyla, kurutma test sistemi için gerekli olan ölçüm sistemleri sırasıyla, nem ölçme sistemleri, sıcaklık ölçme sistemleri, hava hızı ölçme sistemleri (pitot tüpü veya anemometre), basınç ölçme sistemleri, güneş enerjisi ölçme sistemleri (piranometre) vb. sistemlerdir. Bu sistemler kullanılarak güneşli hava ısıtıcılarının ve zirai ürün kurutucularının temel

performansları ölçülmektedir. Ölçümler datalogger üzerinden ölçülmüş olup veri tabanına aktarılarak oradan bilgisayara gönderilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ölçüm ve test cihazları Çizelge 3,1’de gösterilmiştir.



Şekil: 3.12. Datalogger



Şekil: 3.13. Bağlı Nem Ölçüm Sensörü



**Şekil: 3.14.** Thermocouple Ve Datalogger Güç Kaynağı Resmi



**Şekil: 3.15.** Anemometre ( Hava Hızı Ölçüm Cihazı) Resmi



**Şekil: 3.16.** Basınç Sensörü Resmi



**Şekil: 3.17.** Güneş Enerjisi Ölçme Sistemi (Piranometre)



**Şekil: 3.18.** Hassas Terazi Resmi



**Çizelge: 3.1.** Ölçüm ve Test Cihazlarının Özellikleri

Ölçüm Cihazı	Model	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Türü	Hassasiyeti
PLC Datalogger	VTPLC		Veri Aktarma Cihazı	Kalibre edilmiştir.
Anemometre	SIEMENS	(0-5) m/s	Hava Hızı	0,03 m/s
Sıcaklık Hissedici Eleman	PT1000	PT1000 (-40, +70°C) Sıcaklık, (%5- 95 RH) Nem	Sıcaklık, Nem	DIN IEC751'e göre Klas B.
Basınç Farkı Sensörü	MS-121	25.50.100Pa (0,1",0,5",0,5") 4-20 MA	Basınç Farkı	
Pronem	PMD-X-H0-T01-0 X	(-20, +800C) Sıcaklık, (0-100%RH) Nem	Sıcaklık ve Nem	±0.3°C ±%2RH
Basınç Transmitter	XMLP010BC21	0-10 Bar, 4-20 MA	Basınç	
Piranometre	APOGEE MP-200	Max.1750 W/m2	Güneş Enerjisi Ölçümü	±5%
Hassas Terazi	METTLER TOLEDO	Max. 3,2 kg	Ağırlık Ölçer	0.01r

Tez çalışması kapsamında kullanacağımız deney düzeneği güneş enerjili kurutucu test sistemi, güneş enerjili kurutucu enerji depolama sistemi, kurutma kabini, sisteme entegre edilecek ısı pompası sistemi, fan sistemi, hassas terazi ve PLC kontrol sisteminden oluşmuştur.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Bu çalışmada su içeriği yüksek mevsimsel olarak üretilen çileğin kurutulması üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada kurutulacak ürün olarak çilek seçilmiştir. TS çilek kurusu için standart değerler oluşturmuştur. Bu standartlarda (TS 13682) çilek kurusunun taşınması gereken özellikler verilmiştir. Çalışmada kurutmak için çileğin tercih edilmesinde etkili faktörlerin başında yüksek su içeriğine sahip ve raf ömrü oldukça kısa olan çilek ve çilek ürünlerinin geniş kitleler tarafından beğenilerek tüketilmesi nedeniyle market raflarında sürekli bulunmasını sağlamaktır.

Bu çalışmanın diğerlerinden farkı Güneş Enerjisi Destekli Ve Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sisteminde Çileğin Kurutma Karakteristiğinin Belirlenmesidir. Yapılan çalışmada, çileklerin kurutulması sırasında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarının imkânlarından faydalanılmış olup 3 kg çilek için kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında 2 adet kurutma tepsisi kullanılmıştır. Kurutma deneyleri sırasında çilek dilimlerinin kütle kaybı, kurutma sisteminin belirlenen noktalarından sıcaklık, bağıl nem ve güneş radyasyon değerlerinin ölçümü yapılmıştır.

Elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması; her 10 dakikada bir gerekli ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, kurutma sisteminin dışında yer alan ve 0.01 gr. hassasiyete sahip terazi ile her bir rafta belirlenen numunelerin 30 dakika arayla ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Üründeki nem değişimi ve yüzde nemlilik değerleri( $M_w$ ) sırasıyla eşitlik (4.1) ve (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ürünün Kütle Değişimi (gr/gr)} = \frac{\text{Ürünün Kuru Ağırlığı}}{\text{Ürünün Yaş Ağırlığı}} \quad (4.1)$$

$$M_w = \frac{\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık}}{\text{İlk Ağırlık}} \times 100 \quad (4.2)$$

Deneyler sırasında kurutma sisteminin 8 farklı noktasından sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca kurutma kabının giriş ve çıkış noktalarından bağıl nem, hava hızı ve basınç değişimi ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sırasında çevre havasına ait sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri de yapılmıştır. Akış şeması üzerinde ölçüm alınan noktaları kısaca aşağıdaki gibi açıklamak mümkündür:

Sıcaklık sensörlerinin yerleştirildiği noktalar aşağıda verilmiştir.

T<sub>1</sub>- Kabin giriş sıcaklık değeri (sağ kısım),

T<sub>2</sub>- Kabin çıkış sıcaklık değeri (sağ kısım),

T<sub>3</sub>- Kabin giriş sıcaklık değeri (sol kısım),

T<sub>4</sub>- Kabin çıkış sıcaklık değeri (sol kısım),

T<sub>5</sub>-Isı odası giriş sıcaklık değeri (sağ kısım),

T<sub>6</sub>-Isı odası çıkış sıcaklık değeri (sağ kısım),

T<sub>7</sub>-Isı odası giriş sıcaklık değeri (sol kısım),

T<sub>8</sub>-Isı odası çıkış sıcaklık değeri (sol kısım) verilmiştir.

Bağıl nem sensörlerinin yerleştirildiği noktalar aşağıda verilmiştir. - Kabin girişi bağıl nem değeri, -Kabin çıkışı bağıl nem değeri, -Isı odası iç kısmı bağıl nem değeri.

Basınç sensörlerinin yerleştirildiği noktalar aşağıda verilmiştir. P<sub>1</sub>-Kabin girişi basınç değeri, P<sub>2</sub>- Kabin çıkışı basınç değeri, P<sub>3</sub>- Isı odası iç kısmı basınç değeri, dP<sub>1</sub>- parafin yatağı girişi fark basıncı değeri, dP<sub>2</sub>-parafin yatağı çıkışı fark basıncı değeri.

#### **4.1 Kurutma İşlemi Öncesi Yapılan İşlemler**

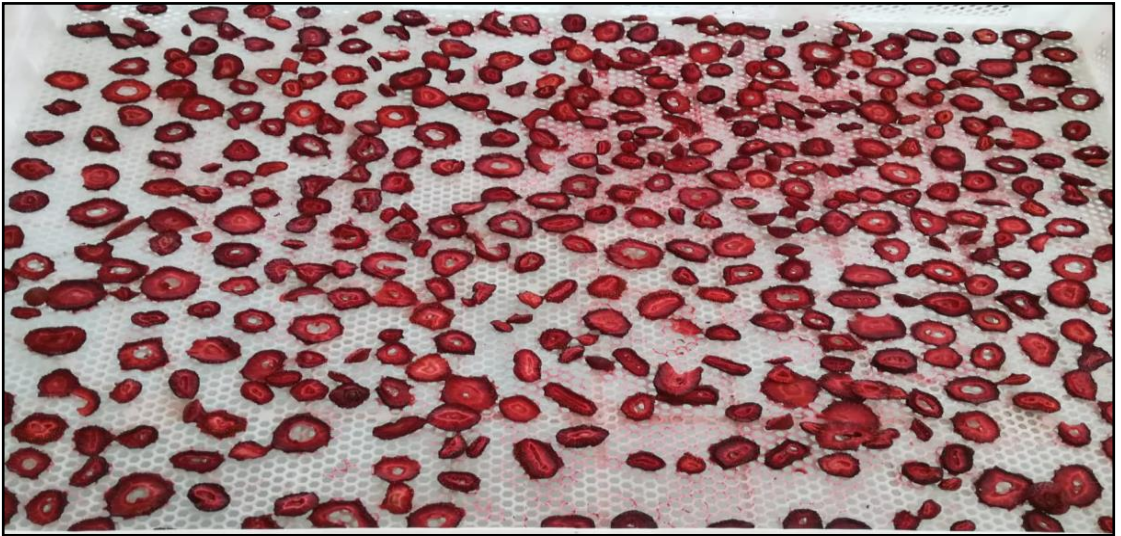
Çalışmada kullanılacak çilek meyveleri 4°C raf sıcaklığına sahip İzmir merkezde yer alan bir marketten çalışmanın yapılacağı gün temin edilerek, kullanılıncaya kadar güneş almayan mekânda oda sıcaklığında bekletilmiştir. Çilekler temizlenip yıkandıktan sonra ortalama 3 ± 2 mm kalınlığında dilimlenerek tepsilere dizilmiştir Şekil 4,1'de Her rafa konan çilek dilimleri kurutma öncesi ve sonrası tartılarak kurumanın her rafta eşit olup olmadığına bakılmıştır. Tepsilere dizilen çilek dilimlerinden belirlenen numuneler tartılarak her 30 dakika aralıklarla ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Böylece çileklerden uzaklaşan su miktarının belirlenmesi sağlanmıştır.



**Şekil: 4.1.** Dilimlenerek Tepsilere Yerleştirilmiş Çilek Numuneleri



**Şekil: 4.2.** Kurutma Kabinine Yerleştirilmiş Kurutma Tepsisi



**Şekil: 4.3.** Kurutma İşlemi Sonrası Çilek Dilimlerinin Tepsideki Görünüşü

#### 4.1.1. Kurutulmuş Çileğin Fiziksel Özellikleri

Çilek örneklerinin bazı fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.1 'de verilmiştir. Kurutulmuş çilek örneklerinin su aktivitesi 0,57 olarak belirlenmiştir. Gıdanın sahip olduğu ve mikroorganizmalar tarafından kullanılabilen su miktarına o gıdanın su aktivitesi ( $a_w$ ) olarak ifade edilmektedir. Gıdaların mikrobiyolojik kararlılığı su aktivitesine bağlı olup (Demirci, 2010) gıdalar, nem içerikleri açısından yüksek ( $a_w$  0.90-1.00), orta ( $a_w$  0.60-0.90) ve düşük nemli ( $a_w$  <0.60) olarak gruplandırılabilir (Özay ve ark. 1993). Üzümsü meyveler grubunda yer alan taze çilek orta nem içerikli gıdalar arasında yer almaktadır. Bruijn ve ark. (2015) çileklerin depolama stabilizesini arttırmak amacıyla vakum destekli mikrodalga kurutma işlemi ile taze çileklerin su aktivitesi 0.99'dan 0.64'e düşürülerek depolama stabilizelerinin sağlandığını bildirmiştir.

**Çizelge: 4.1.** Çileğin Bazı Fiziksel Özellikleri

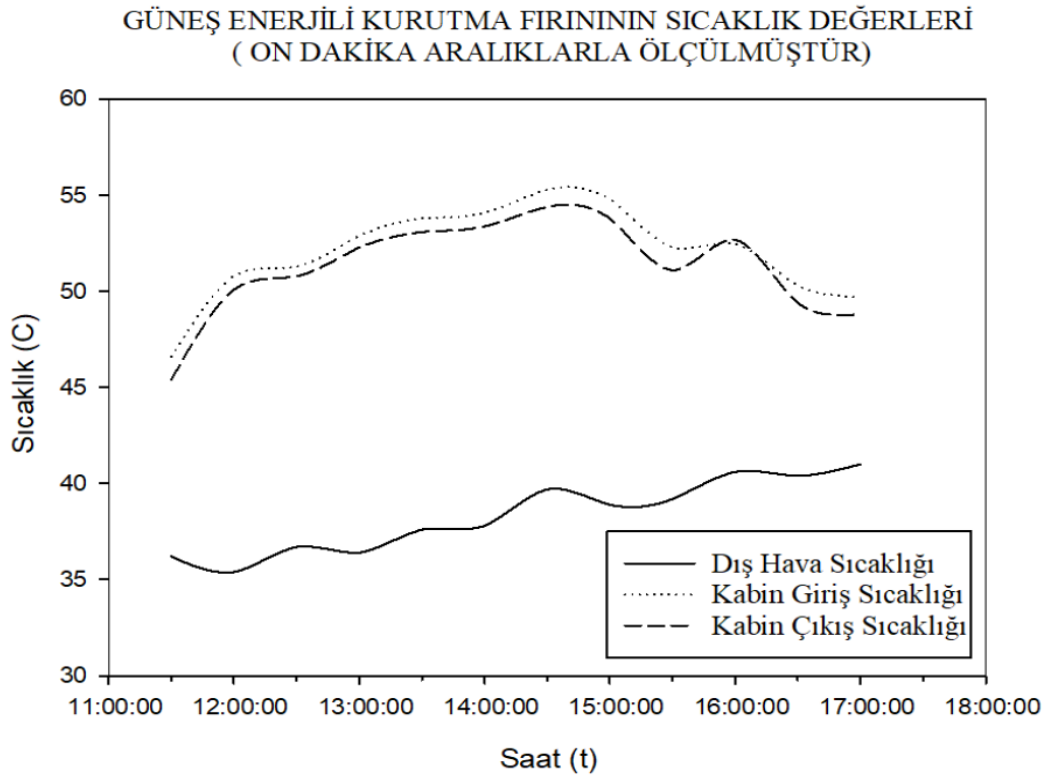
<b>Su aktivitesi (<math>a_w</math>)</b>	<b>Nem (%)</b>	<b>L</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Hue</b>	<b>SI</b>
0.57	27.71	36.36	18.63	8.51	23.65	20.54

Çilek içinde en önemli kalite kriterlerinden olan meyve rengi, meyvede bir albeni meydana getirerek meyveye olan ilgiyi artırmaktadır (Pılanalı ve Kaplan, 2002). Çilek meyve rengi, antosiyanin bileşenleri tarafından oluşturulmaktadır (Shaw, 1991). Çizelge 4,1'de görüldüğü gibi L, a\* ve b\* renk değerleri sırasıyla 36.36, 18.63 ve 8,81 olarak belirlenmiştir. Adak ve ark.(2016)'da yaptıkları çalışmalarında çileğin L renk değerini benzer şekilde bulduklarını bildirmişlerdir

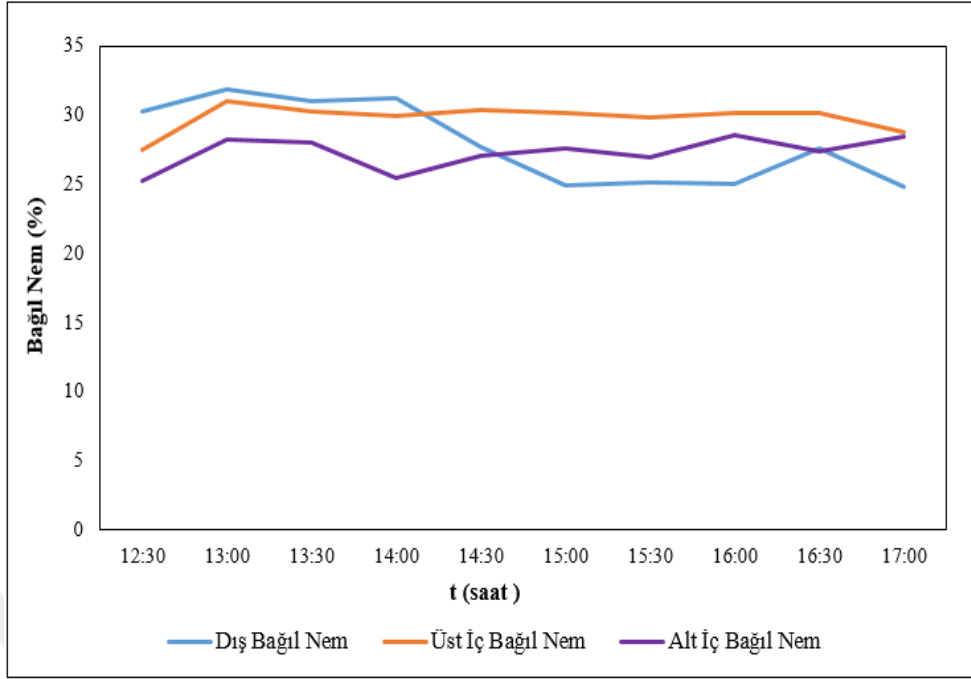
## 4.2. Kurutma Deney Sonuçları

### 4.2.1.1. Gün Kurutma Deney Sonuçları

Kurutma sisteminde 3 kg çilek  $3 \pm 2$  mm kalınlığında dilimlenerek kurutulmuştur. Sistemde kabin içindeki sıcaklık  $55,5^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemiş ve kabinin farklı noktalarından alınan sıcaklık değerleri birbirlerine yakın bir şekilde seyretmiştir. Aynı zamanda kurutma kabininin giriş ve çıkışındaki bağıl nem değerleri de birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Kurutma işlemi 6 saat (11.00-17.00) sonra tamamlanmış olup kurutma işlemi sonrasında çileklerin toplam ağırlığı 206 gr olarak ölçülmüş ve kurutulmuş çilek örneklerinin nem içeriği %27 olarak belirlenmiştir. Bu deney sırasında ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4,4 'de gösterilmiştir.

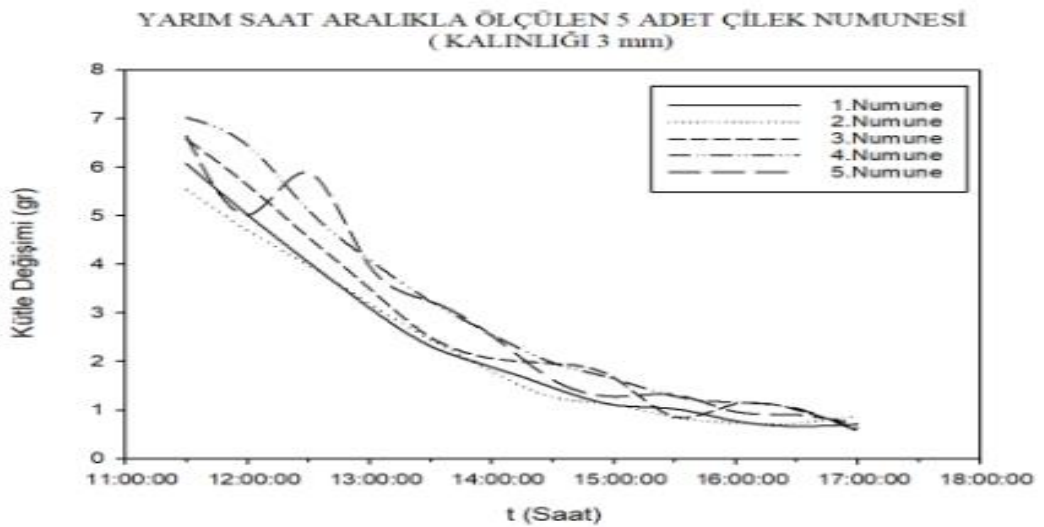


**Şekil: 4.4.** Kurutma Sisteminin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişim



**Şekil: 4.5.** Kurutma Kabini Giriş ve Çıkışındaki Bağlı Nem (%) Değerinin Zamana Göre Değişimi

Güneş enerjili kurutucuda rafa serilerek kurutulan çileklerin kütle kaybı 5 ayrı numune yardımıyla izlenmiştir. Numunelerin kütle değişimi Şekil: 4,6 'da gösterilmiştir.

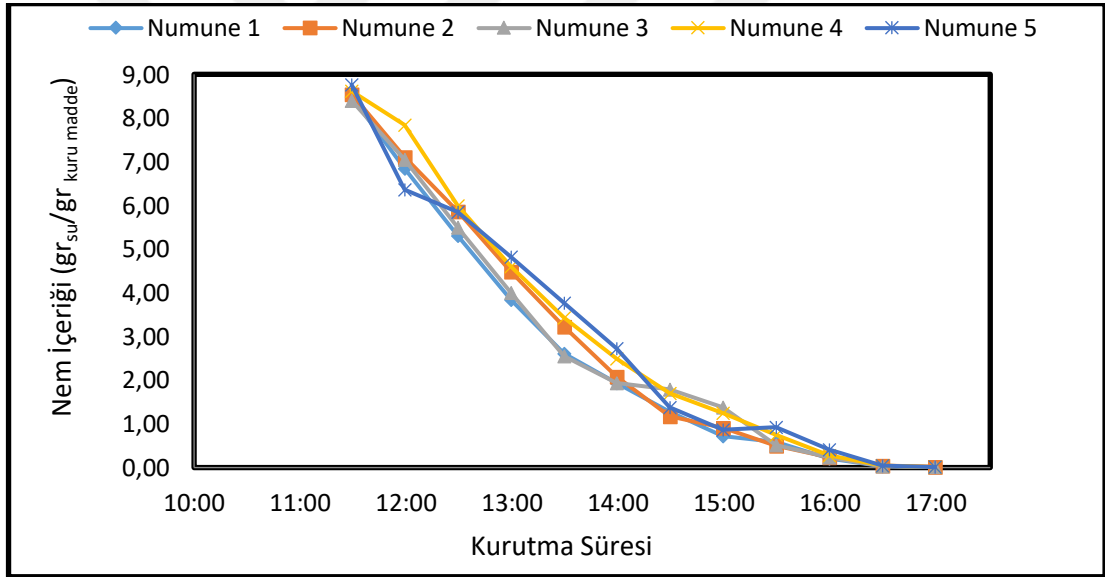


**Şekil: 4.6.** Çileklerin Kütle Değişim Grafiği

Şekil: 4,6.'da çilek kütlelerindeki azalmanın saat 11.30 ile 16.00 arasında çok hızlı olduğu görülmektedir. Bu aralık, sıcaklığın ve güneş ışınım şiddetinin en yüksek olduğu saatlerdir. Kütle kayıp hızı saat 17.00'de durma noktasına gelmiştir.

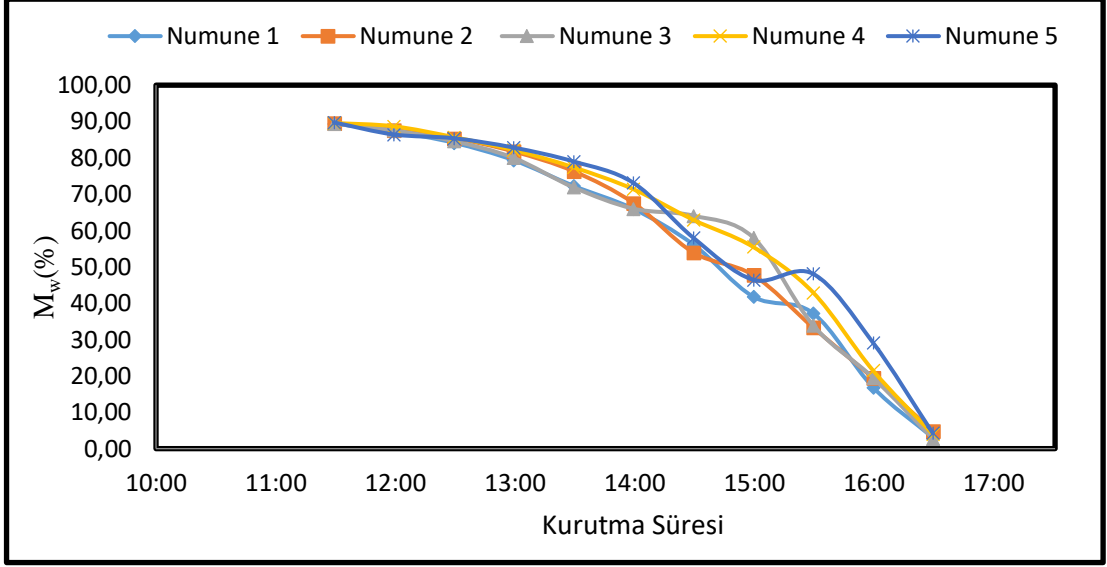
Apaydın (2007) yaptığı çalışmada, incir örneklerinin kütle kayıp hızının saat 11.30 ile 13:00 arasında çok yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu saatler hava sıcaklığının ve güneş ışınım şiddetinin en yüksek olduğu saatler olduğunu ve kütle kayıp hızı saat 15.30'dan sonra giderek azalıp ve durma noktasına geldiğini bildirmiştir.

Şekil: 4,7'de 3mm kalınlıklarındaki dilimlenmiş çilek numunelerinin üzerindeki nem içeriğini, Şekil: 4,8 'de çilek numunelerinin yüzdelik nem oranını, Şekil: 4,9'da 'çilek numunelerinin boyutsuz nem oranının zamana göre değişimi grafiği gösterilmiştir.

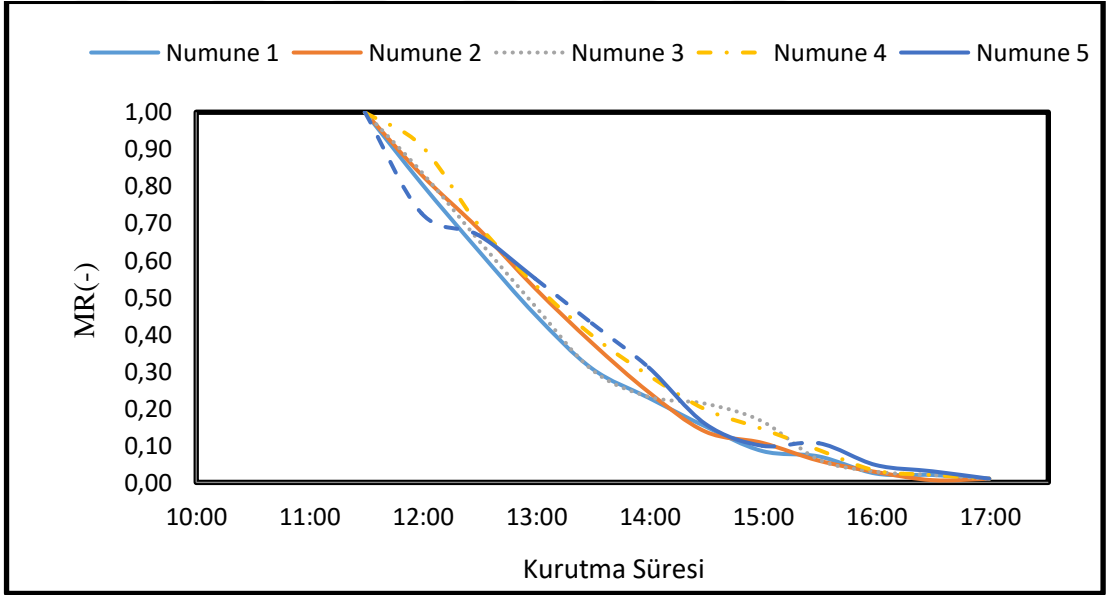


Şekil: 4.7. 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Nem İçeriği



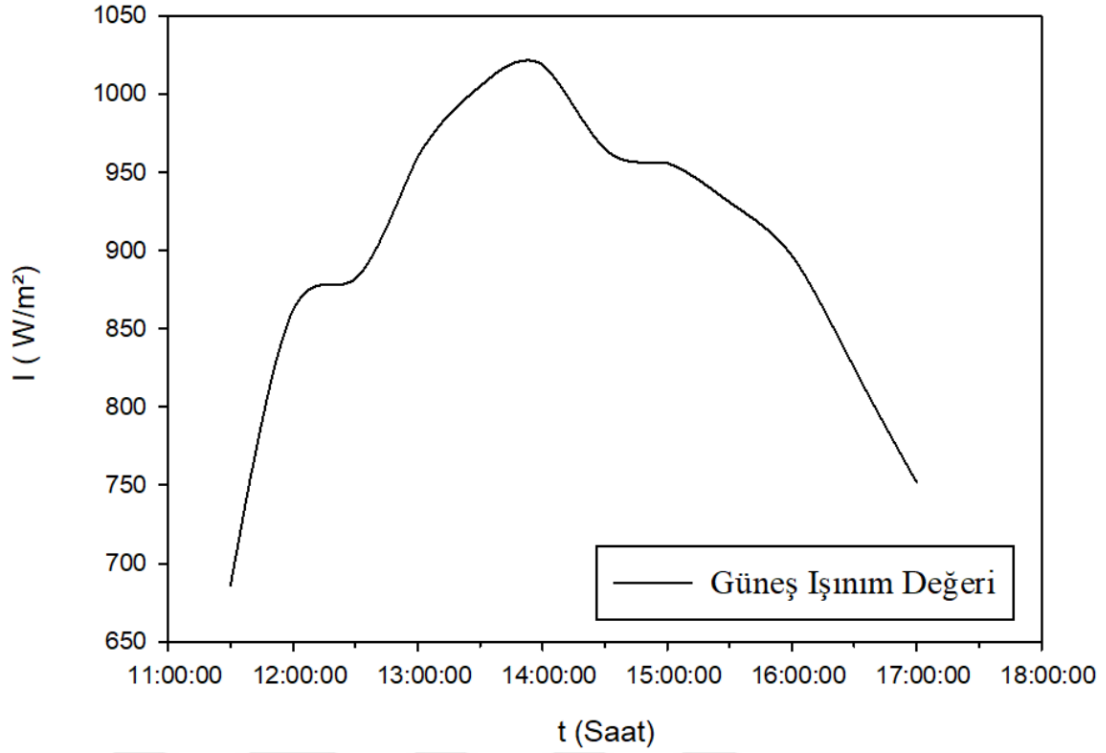


Şekil: 4.8. 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Yüzde



Şekil: 4.9. Çilek Numunelerinin Nem Oranının Zamana Göre Değişimi

Deneilerin yürütüldüğü zaman periyotları için piranometre ile ölçülen güneş ışınım şiddeti değerleri Şekil 4,10' da verilmiştir.



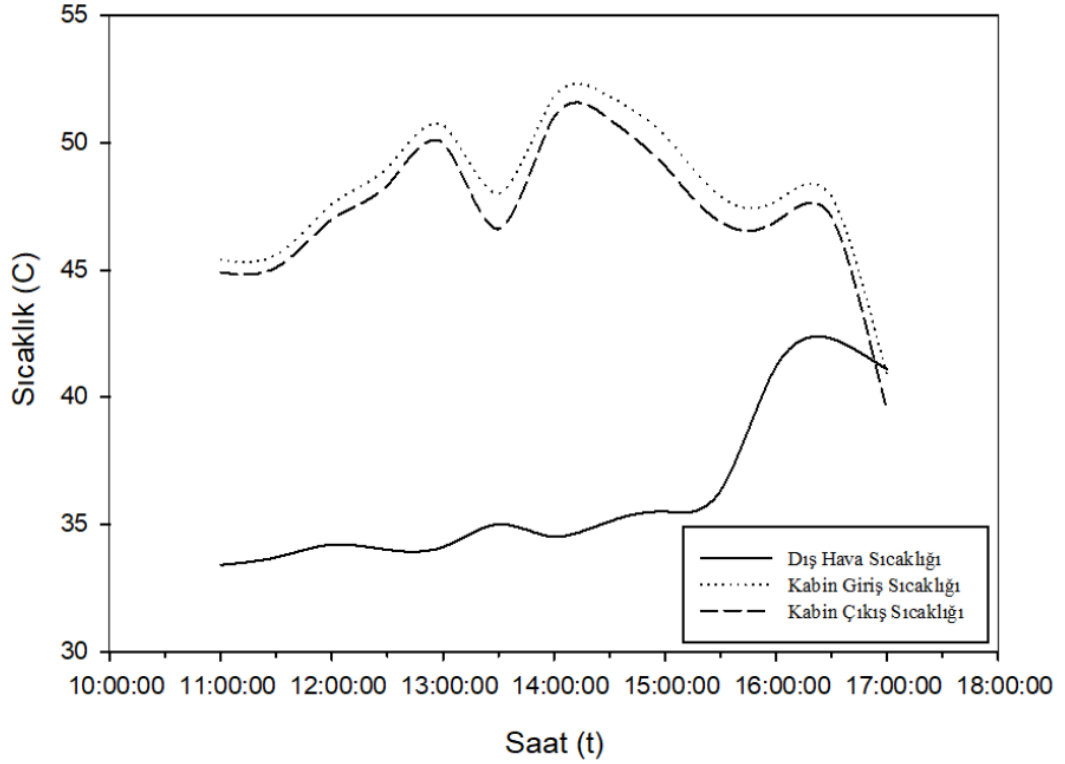
**Şekil: 4.10.** Güneş Işınımı Değerlerinin Gün İçerisindeki Değişimi

#### 4.2.2.2. Gün Kurutma Deneyi Sonuçları

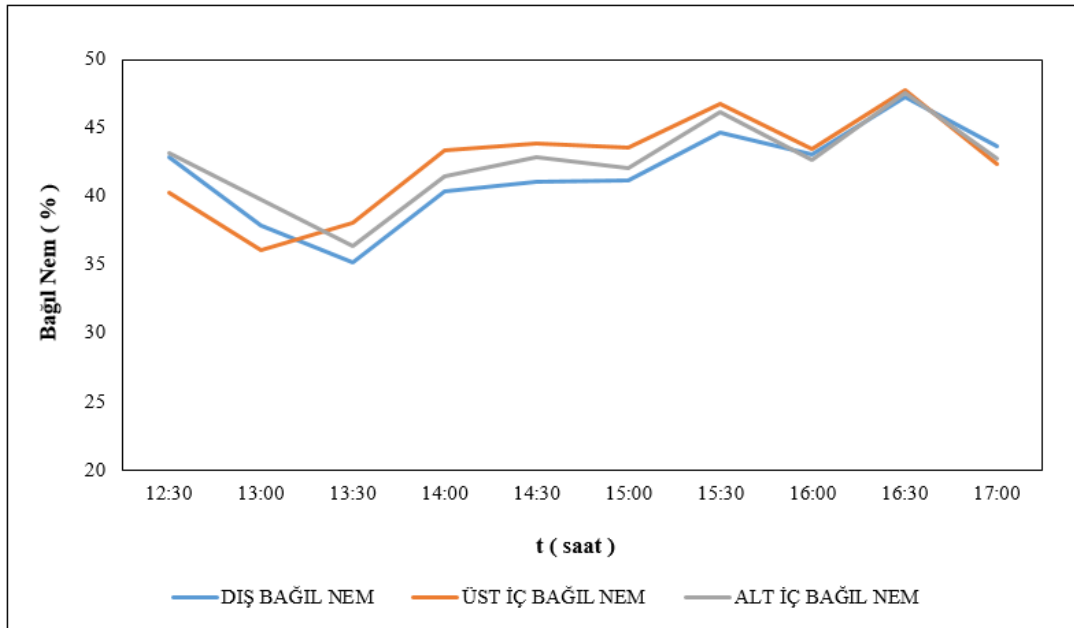
İkinci gün gerçekleştirilen deneylerde 3 kg çilek  $3 \pm 2$  mm kalınlıkta dilimlenerek kurutulmuştur. Kurutma kabini içindeki sıcaklık bir önceki günde olduğu gibi  $56,5^{\circ}\text{C}$ 'yi geçememiştir. Benzer şekilde kurutma kabini içerisindeki ürün miktarının az olmasından dolayı kabin giriş ve çıkışındaki bağıl nem değerleri de birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.

Kurutma işlemi beş buçuk saat sonra tamamlanmış olup kurutma işlemi sonrasında çileklerin toplam ağırlığı 206 gr olarak ölçülmüştür. Bu deney sırasında ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4,11' de, bağıl nem değerleri Şekil 4,12'de, çileklerin kütle değişimleri Şekil 4,13' de verilmiştir. Şekil 4.14'de 3mm kalınlıklarındaki dilimlenmiş çilek numunelerinin üzerindeki nem içeriğini, Şekil 4.15 'de çilek numunelerinin yüzdelik nem oranını, Şekil 4,16'da 'çilek dilimleri için boyutsuz nem oranının zamana göre değişimi grafiği verilmiştir ve piranometre ile ölçülen güneş enerjisi verileri Şekil 4.17'de verilen grafikte gösterilmiştir.

GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA FIRINININ SICAKLIK DEĞERLERİ  
( ON DAKİKA ARALIKLA ÖLÇÜLMÜŞTÜR)

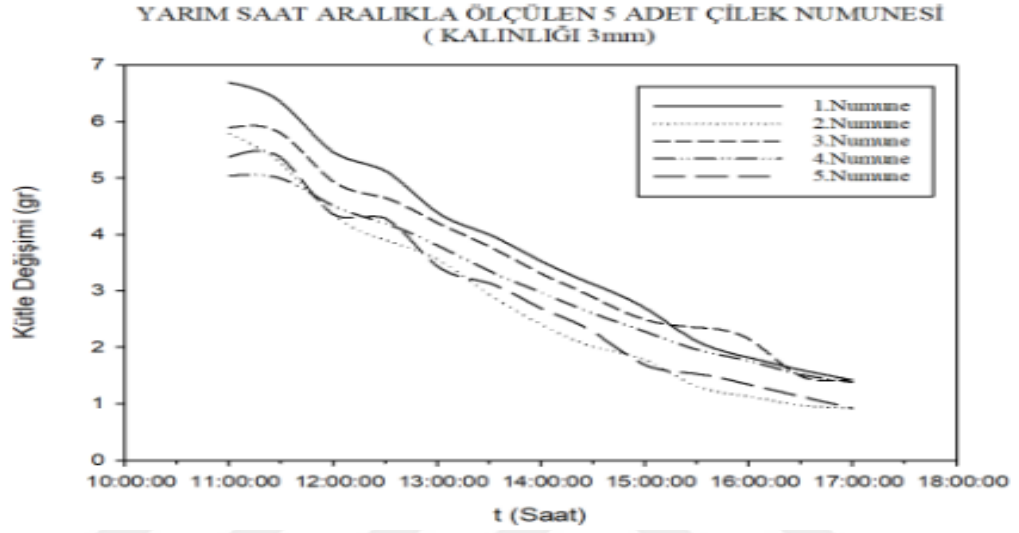


Şekil: 4.11. Kurutma Sisteminin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

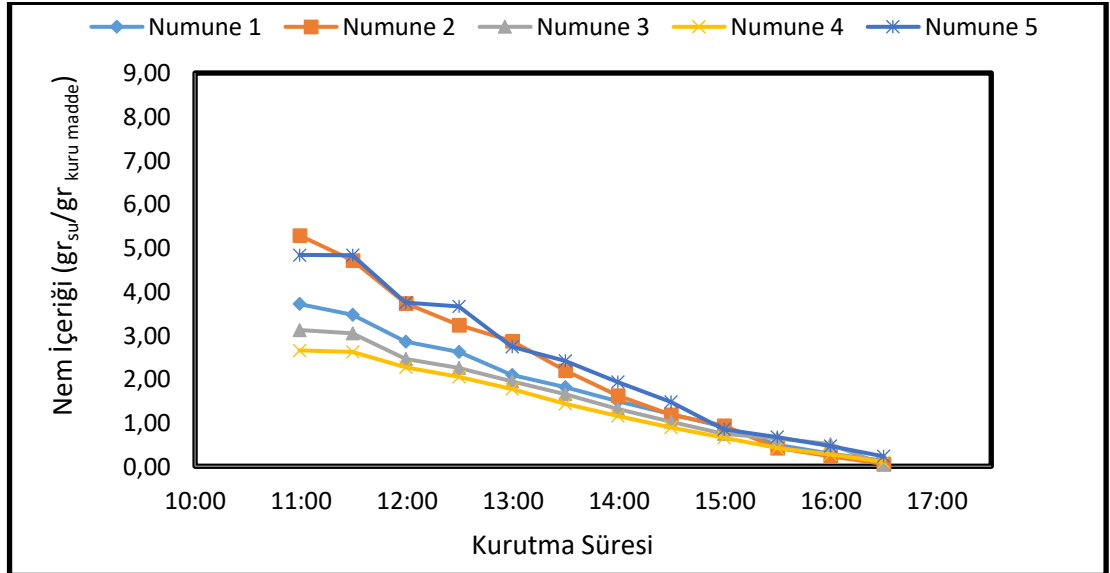


Şekil: 4.12. Kurutma Kabini Giriş ve Çıkışındaki Bağıl Nem (%) Değerinin Zamana Göre Değişimi

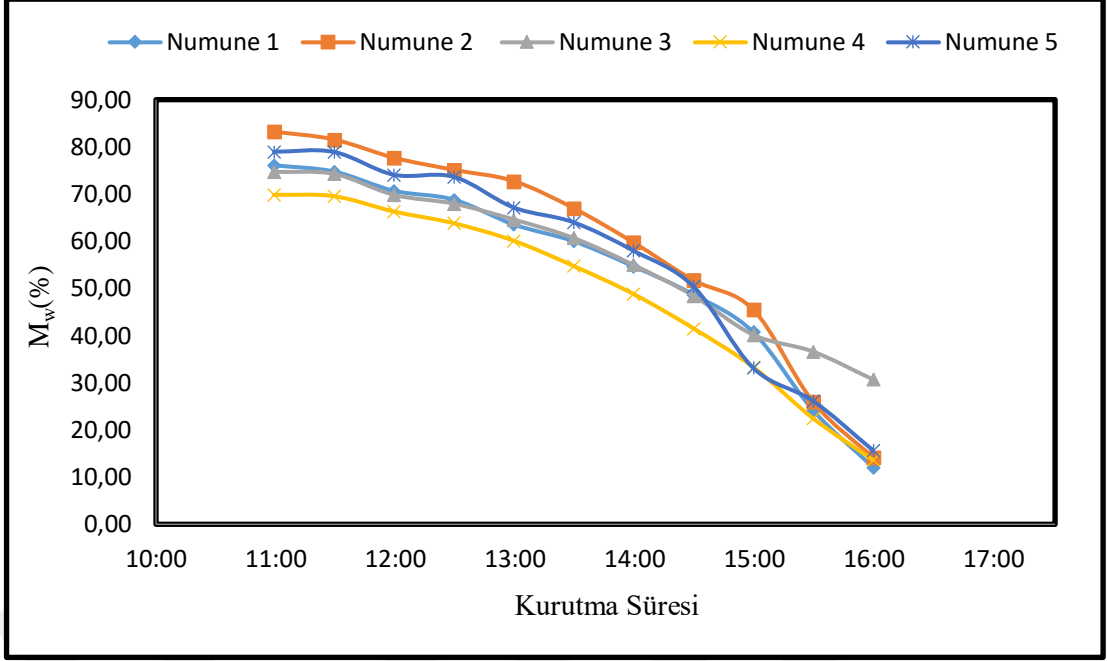
2. periyottaki çileklerin ağırlık değişimini gösteren Şekil4,13'deki değerler, sabah 11.00'de başlayıp akşam 17.00'a kadar 30 dakikada bir ölçülen kütle değerleridir. Çizelge, kütle kayıp hızının saat 09.00 ile 16.30 arasında çok yüksek olduğunu göstermektedir. Saat 09.00 ve 17.00 arası sıcaklığın ve güneş ışınım şiddetinin en yüksek olduğu saatlerdir. Kütle kaybı hızı saat 16.00'dan sonra da azalmış ancak bu azalma diğer periyotlara göre daha düşük olmuştur.



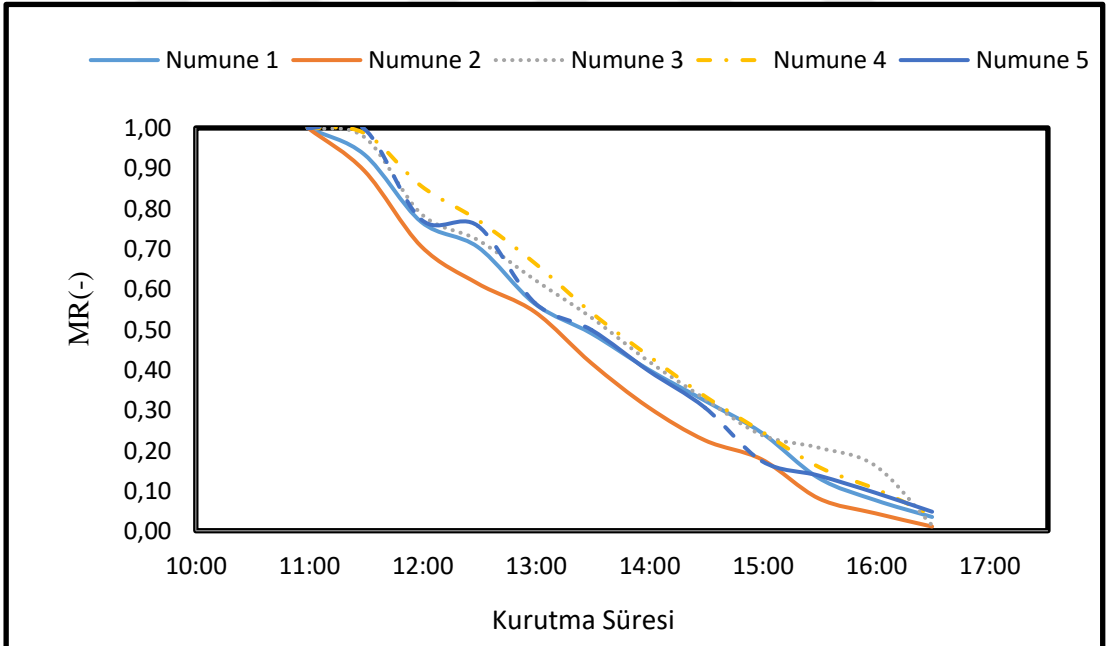
**Şekil: 4.13.** Çileklerin Ağırlık Değişim Grafiği



**Şekil: 4.14.** 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Nem İçeriği

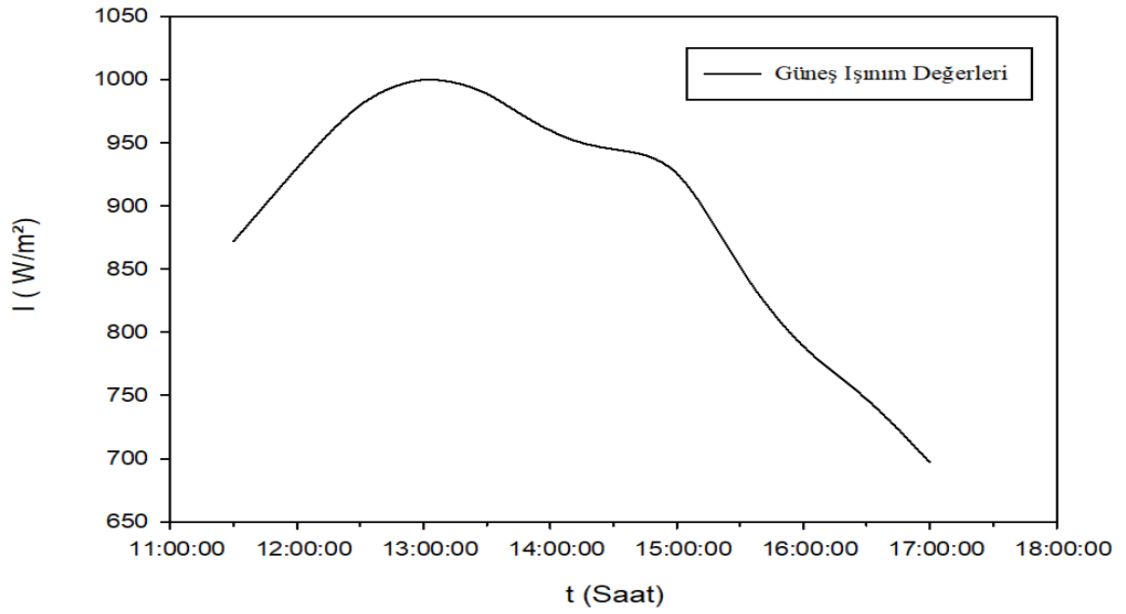


Şekil: 4.15. 3 mm Kalınlığında Dilimlenmiş Çilek Numuneleri Üzerindeki Yüzde Nem Değişimi



Şekil: 4.16. Çilek Dilimleri İçin Nem Oranının Zamana Göre Değişim

### GÜNEŞ RADYASYON ÖLÇÜM DEĞERLERİ (10 DK ARALIKLA ÖLÇÜLMÜŞTÜR)



Şekil: 4.17. Güneş Işınımı Değerlerinin Gün İçerisindeki Değişimi

#### 4.4 Kurutma Modelinin Oluşturulması

Ürünün kuruma zamanını önceden tahmin edebilmek adına kurutmanın matematiksel modellenmesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin bazı ürünlere uygulanması deneysel verilerle karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Ertekin ve Yıldız, 2004; Sacilik ve Elicin, 2006). Bu çalışmada, “Approximation of diffusion” kuruma modeli sabit sıcaklıkta ve tek sıra elma kurutulması için “Nelder-Mead En Küçük Kareler Metodu” kullanılarak Ek A'da verilen deneysel verilerden yola çıkılarak polinom denklemleri oluşturulmuştur (Çoban, 2008). Boyutsuz nem oranı (MR), yerine sadeleştirilerek ( $M_{d,t}/M_{d,0}$ ) şeklinde alınmıştır (Ertekin ve Yıldız, 2004; Qi-Long ve ark. 2008)

**Çizelge: 4.2.** Kurutulmuş Çilek Dilimlerinin Literatürde Yer Alan Farklı Kurutma Modellerine Göre Nem Oranının Değişimini Tahmin Etmek İçin Kullanılan Uygun Parametre Değerleri

Denklem	Model İsmi	Parametreleri	Referanslar
$MR = \exp(-kt)$	Lewis	$k=0.34174\text{min}^{-1}$	LewisWK. JIndEng Chem (1961)
$MR = a.\exp(kt)$	Herderson ve Pabis	$a=0,71658$ $k=0.0357\text{min}^{-1}$	Henderson SM, Pabis J Agric Eng Res (1961)
$MR = \exp(-kt^n)$	Page	$k=0.41801\text{min}^{-n}$ $n=0.71$	Page G. M.S.(1949)
$MR = a.\exp(-kt) + c$	Logarithmic	$a=1.558$ $k=0.0391\text{min}^{-1}$ $c= 0.83$	Sacilik K, Elicin AK(2006)
$MR = a.\exp(-k_1t) + b.\exp(-k_2t)$	İki terms	$a=15.432$ $k_1=0.00256\text{min}^{-1}$ $b=-15,56$ $k_2=0.00264\text{min}^{-1}$	Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. (1996)
$MR = a.\exp(-kt) + (1-a).\exp(-kat)$	Two Terms Exponential	$a=1.852$ $k=0.01342\text{min}^{-1}$	Ertekin C, Yıldız O. (2004)
$MR = a.\exp(-k_1t) + (1-a).\exp(-k_2t)$	Verma	$a=3.799$ $k_1=0.00285\text{min}^{-1}$ $k_2=0.0018\text{min}^{-1}$	Verma LR, Bucklin RA, Endan JB, Wratten FT. Trans ASAE (1985)
	Modified Henderson ve Pabis	$a=-4.541$ $k_1=0.0457\text{min}^{-1}$ $b=1.556$ $k_2=0.0529\text{min}^{-1}$ $c=3.865$ $k_3=0.0221\text{min}^{-1}$	Karathanos VT. J (1999)
$MR = \exp(-kt^n) + b.t$	Midilli	$a=0.952$ $k=0.00464\text{min}^{-1}$ $n=1.14$ $b=-0.00156\text{min}^{-1}$	Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. (2002)
$MR = 1 + a.t + b.t^2$	Wang ve Singh	$a=-0.00654\text{min}^{-1}$ $b=1.02 \times 10^{-5}\text{min}^{-2}$	Wang CY, Singh RP. ASAE (1978)

Difüzyon yaklaşımı (Approximation of diffusion) kurutma modeli kullanarak deney verileri ve nem oranının (MR) önceden tahmin edilen değerleri hesaplanabilmektedir. 3 mm kalınlığında çilek dilimleri için yapılan iki deneyde (1 ve 2. kurutma deneyi) belirlenen katsayılar birbirine yakın değerler çıkmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. 50°C sabit sıcaklık için geliştirilen matematiksel model ile difüzyon yaklaşımı modeline ilişkin nem oranının zamana bağlı değişimi Şekil 4.18'de gösterilmiş ve sonuçların birbiri ile uyum sağladığı tespit edilmiştir.

T= 45 °C, T= 50 °C ve T= 55 °C gibi üç farklı sabit sıcaklık kullanılarak geliştirilen matematiksel modelde difüzyon yaklaşım metodu ile elde edilen sonuçlar aşağıda denklemler halinde verilmiştir:

Difüzyon yaklaşımı metodu:

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) \quad (4.3)$$

T=45°C için:

$$MR_1 = 11.656 \exp(-0.416 * t) + (1 - 11.656) \exp(-0.416 * 1.012 * t) \quad (4.4)$$

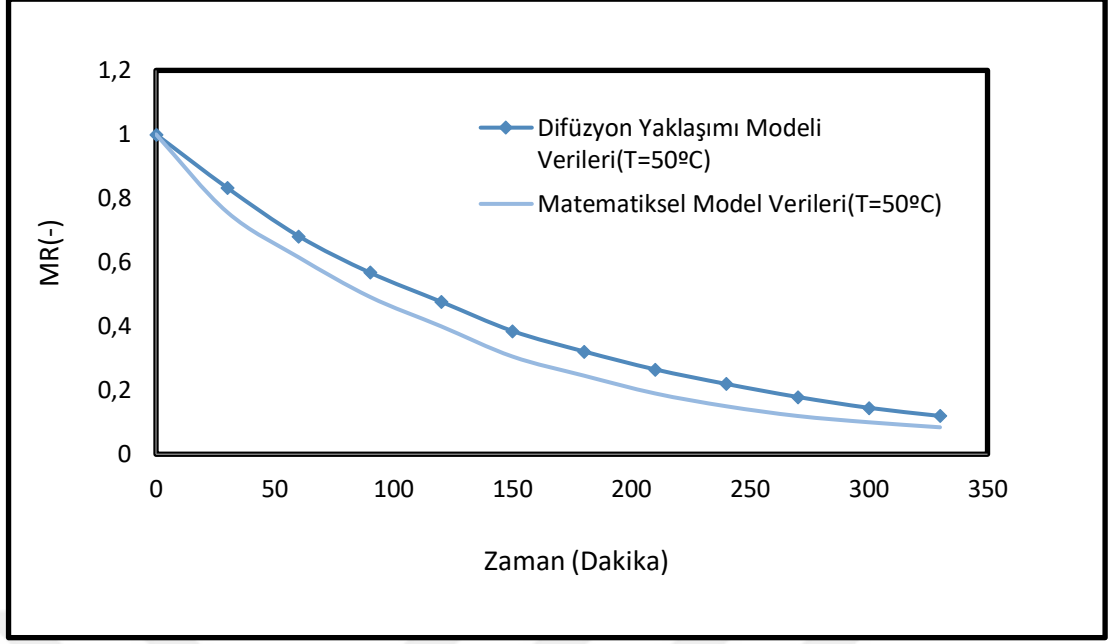
T=50°C için:

$$MR_2 = 13.982 \exp(-0.685 * t) + (1 - 13.982) \exp(-0.685 * 1.025 * t) \quad (4.5)$$

T=55°C için;

$$MR_3 = 15.432 \exp(-0.576 * t) + (1 - 15.432) \exp(-0.576 * 1.021 * t) \quad (4.6)$$





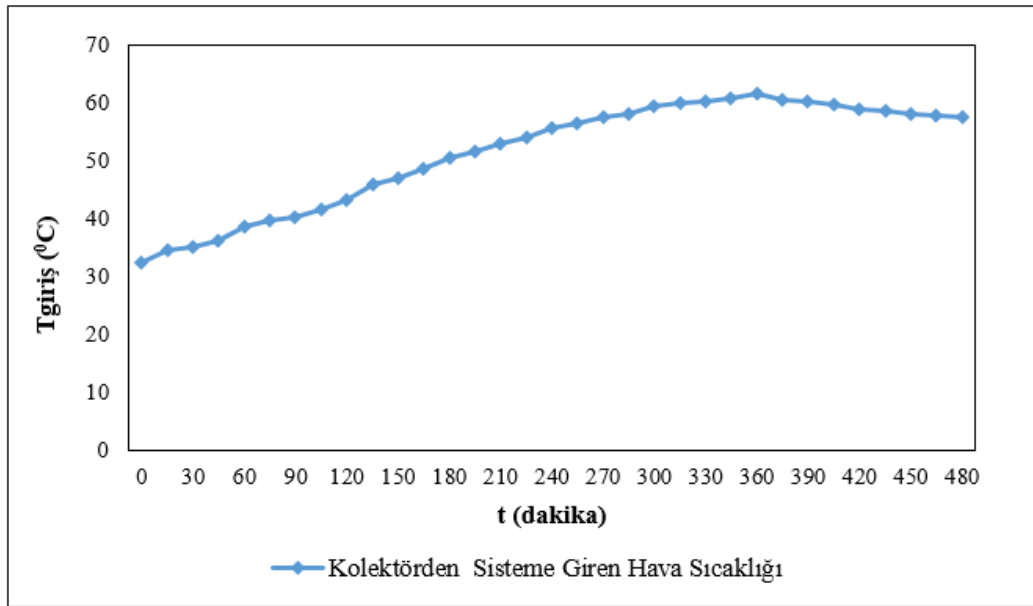
**Şekil: 4.18.** 50°C sabit sıcaklık için matematiksel model ile difüzyon yaklaşımı modelinin karşılaştırılması

#### 4.5 Enerji Depolama Sistemi ile İlgili Deneysel Çalışmalar

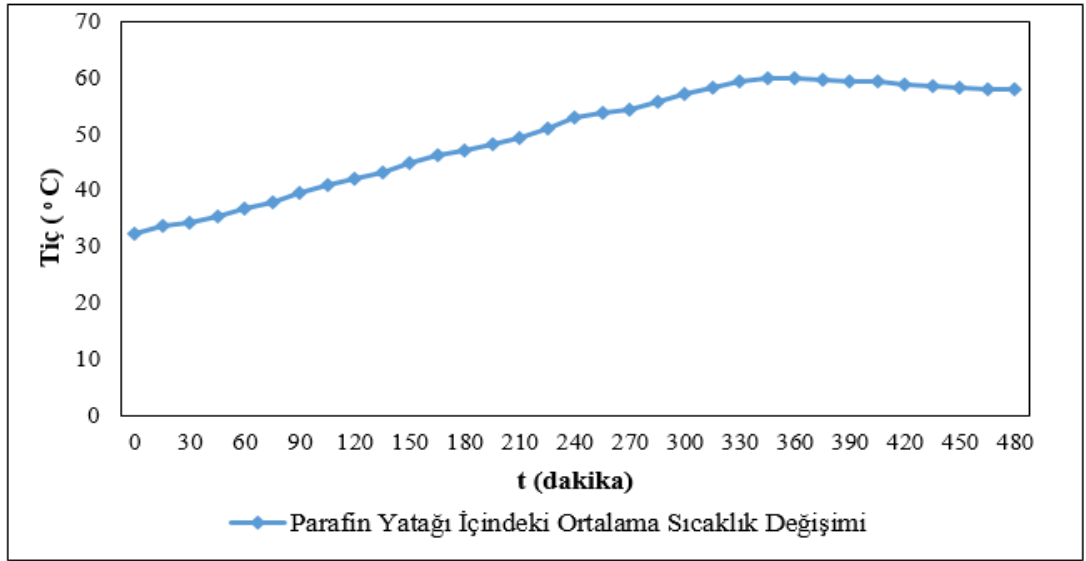
Faz değiştirme malzemesi olarak parafin seçilmiş ve 300 kg satın alınan parafin 6 eşit parçaya bölünüp paketlenerek enerji depolama sistemine yerleştirilmiştir. Kurutma sistemi ile ilgili deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi esnasında parafin enerji depolama sisteminin şarj süresi esnasında izolasyonlu parafin yatağı belirli noktalarına yerleştirilen termocouple'lar ile enerji depolama sistemi içerisindeki sıcaklık değişimleri ölçülmüş ve bu sayede depolanan ısı miktarı hesaplanabilmiştir. Enerji depolama sisteminde kullanılan parafin miktarı 300 kg'dır. Parafinin erime sıcaklığı 57-60 °C, erime ısısı 214,4 KJ/kg, katı haldeki yoğunluğu 850 kg/m<sup>3</sup>, sıvı haldeki yoğunluğu 775 kg/m<sup>3</sup> katı haldeki özgül ısı değeri 2940 J/kg °C ve sıvı haldeki özgül ısısı 3890 J/kg °C olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde genellikle 09.00-17.00 saatleri arasındaki sürede parafin enerji depolama sisteminin şarj edilmesi sağlanmış ve saat 17.00'den sonra parafin enerji depolama sistemi ile kurutma sisteminin birbirine bağlantısını sağlayan klape açılarak deşarj işlemi başlatılmıştır. Bu işlem ile parafin yatağında depolanan ısı enerjisinin kurutma sistemine aktarılması sağlanmış ve depolama sisteminin şarj işlemi öncesi sıcaklığına kadar düşmesi durumunda parafin yatağının enerjisinin tamamını kurutma sistemine aktardığı kabul edilmiş ve bu süre de deşarj süresi olarak belirlenmiştir.

#### 4.5.1.1. Gün Enerji Depolama Sistemi Deneyi Sonuçları

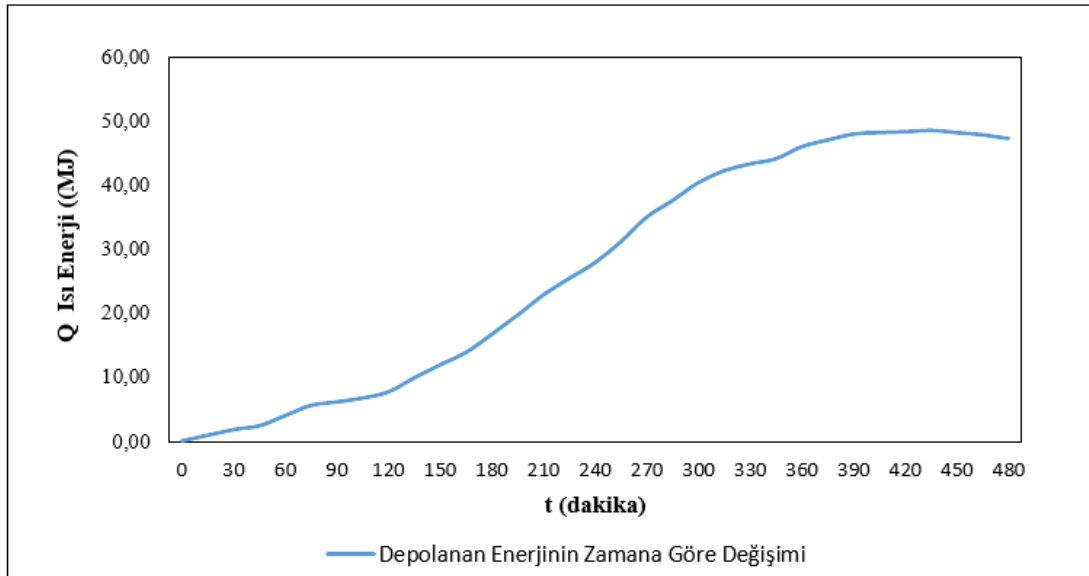
Parafin enerji depolama sistemi üzerinde yapılan ilk deneysel çalışmada parafin yatağı olarak adlandırılan sistem üzerindeki belirli noktalara yerleştirilen termocouple'lar ile parafin yatağı içindeki sıcaklık değişimleri belirlenerek depolanan ısı enerji miktarı hesaplanmıştır. Parafin enerji depolama sisteminde de ilk gün kolektörlerden sisteme üflenen havanın sıcaklığı en fazla 61,5 °C olarak ölçülmüştür. Sistem içindeki ortalama sıcaklık 51,3 °C olarak belirlenmiştir. Sistemde depolanan ısı enerji miktarı 48.7 MJ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.19'da kolektörlerden parafin yatağına üflenen havanın sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.20'de parafin yatağı iç sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.21'de şarj süresi boyunca parafin yatağında depolanan enerjinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.22'de deşarj süresi boyunca kurutma kabini içindeki sıcaklığın zamana göre değişimi verilmiştir. Şekil 4.23'de şarj süresi boyunca güneş ışınımının zamana göre değişimi gösterilmektedir.



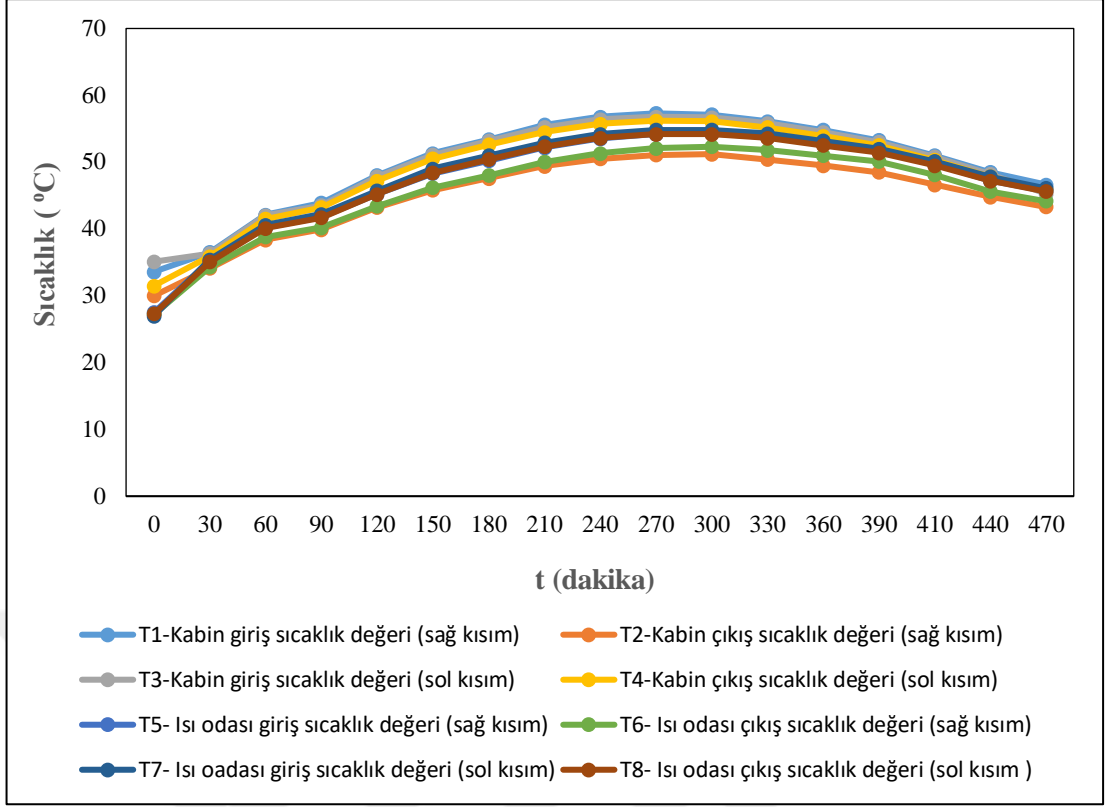
Şekil: 4.19. Kolektörlerden Enerji Depolama Sistemine Üflenen Havanın Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi



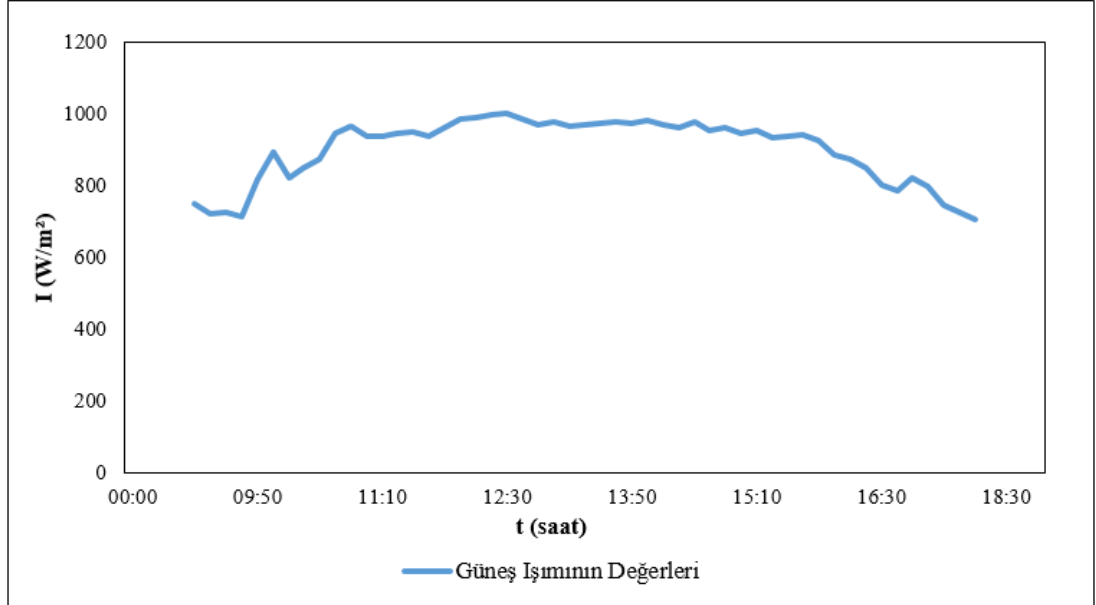
Şekil: 4.20. Enerji Depolama Sistemi İç Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi



Şekil: 4.21. Şarj Süresi Boyunca Enerji Depolama Sisteminde Depolanan Enerjinin Zamana Göre Değişimi



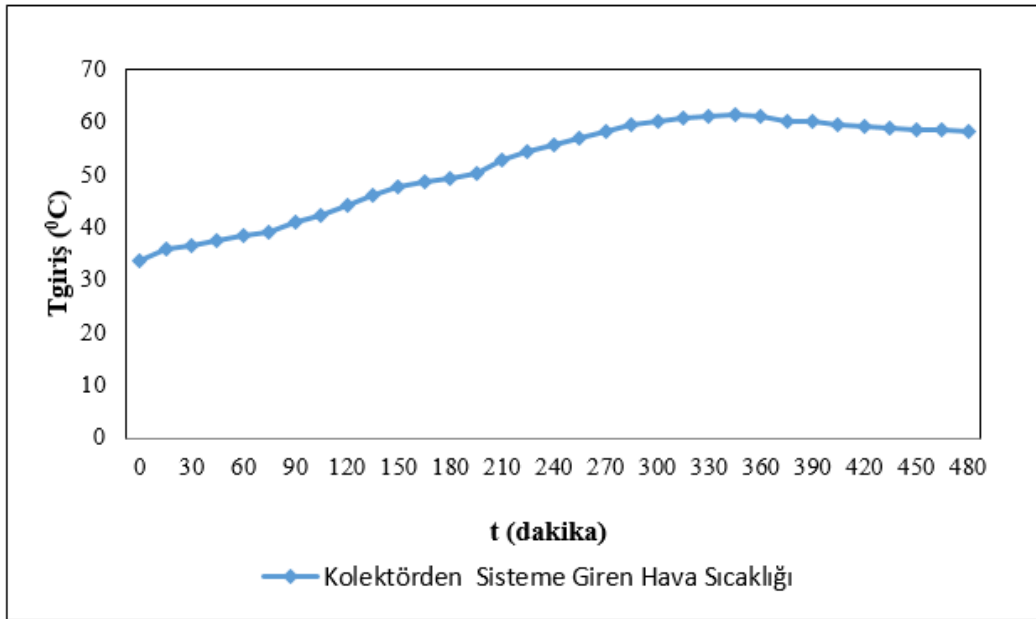
**Şekil: 4.22.** Deşarj Süresi Boyunca Kurutma Kabini İçindeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



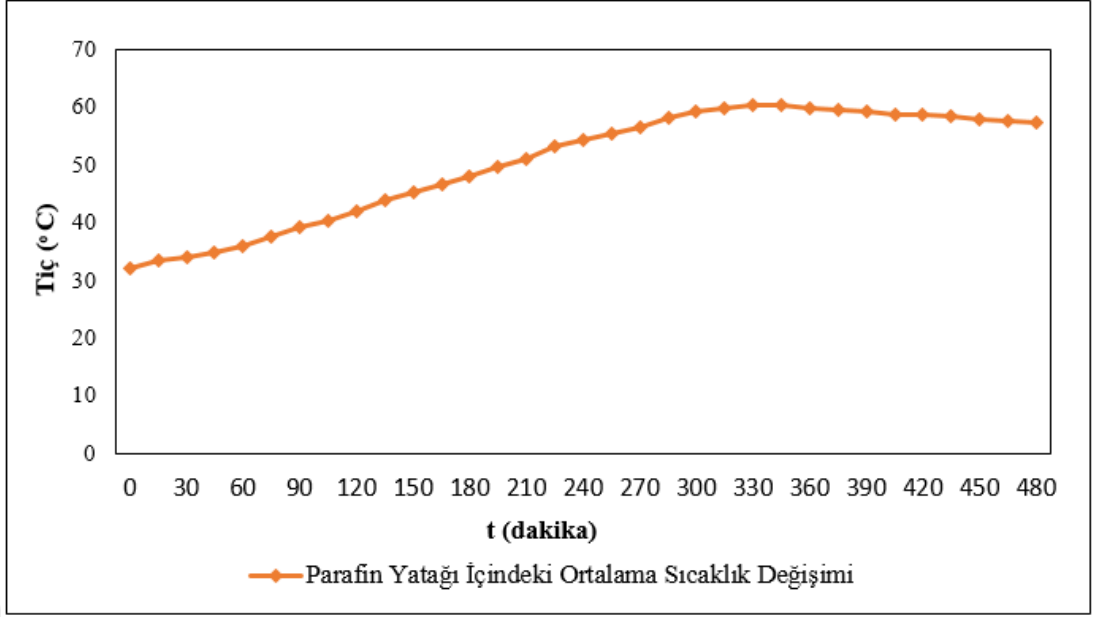
**Şekil: 4.23.** Şarj Süresi Boyunca Güneş Işımının Zamana Göre Değişimi

#### 4.5.2.2. Gün Enerji Depolama Sistemi Deneyi Sonuçları

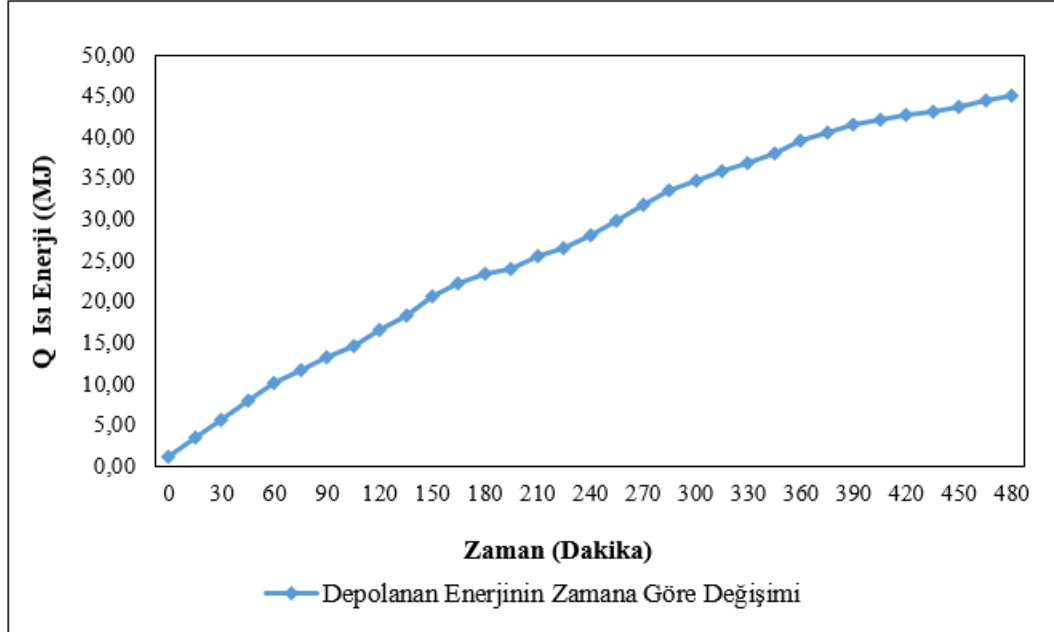
Parafin enerji depolama sistemi üzerinde yapılan deneysel çalışmaların ikinci gününde parafin yatağı içindeki sıcaklık değişimleri belirlenerek depolanan ısı enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Bu deney süresince kolektörlerden sisteme üflenen havanın sıcaklığı en fazla  $60,5^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Sistem içindeki ortalama sıcaklık  $51,70^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Deşarj süresinin başlatılmasından sonra kurutma kabini içindeki sıcaklık verileri kabin giriş noktalarında biraz daha yüksek değerlerde çıkmış diğer noktalarda ise birbirine yakın bir şekilde seyretmiştir. Sistemde depolanan ortalama ısı enerjisi miktarı  $45,10\text{ MJ}$  olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.24'de kolektörlerden parafin yatağına üflenen havanın sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.25'de parafin yatağı iç sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.26'da şarj süresi boyunca parafin yatağında depolanan enerjinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.27'de deşarj süresi boyunca kurutma kabini içindeki sıcaklığın zamana göre değişimi verilmiştir. Şekil 4.28'de şarj süresi boyunca güneş ışınımının zamana göre değişimi gösterilmektedir.



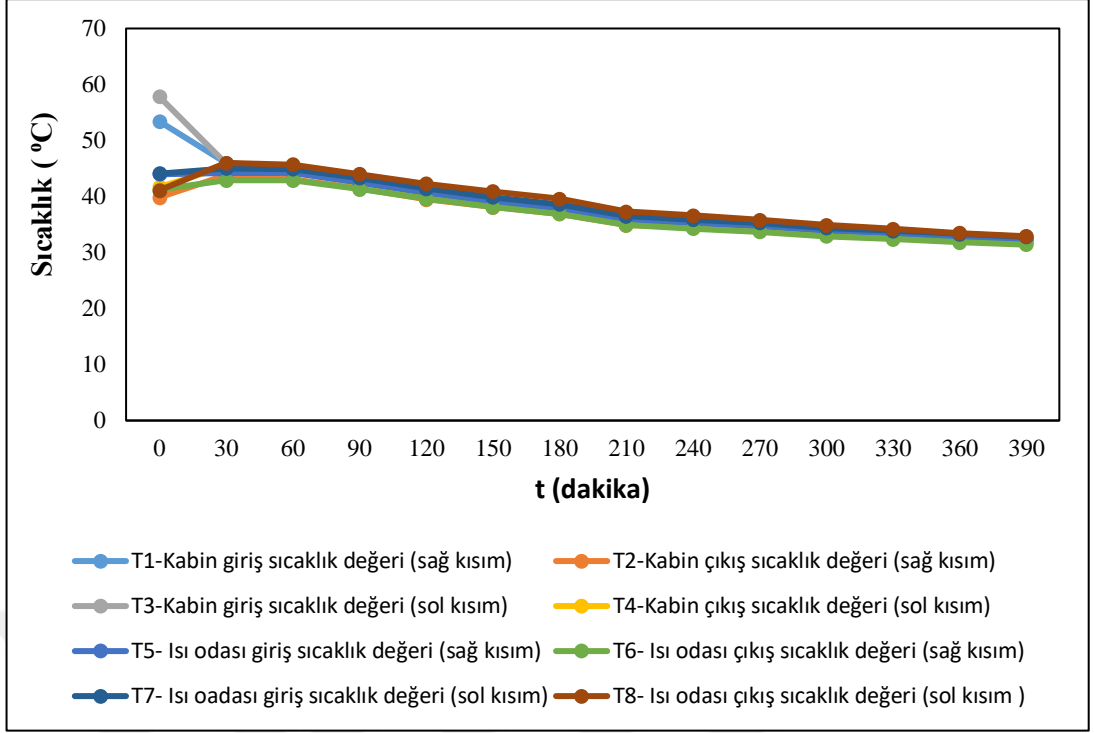
Şekil: 4.24. Kolektörlerden Parafin Yatağına Üflenen Havanın Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi



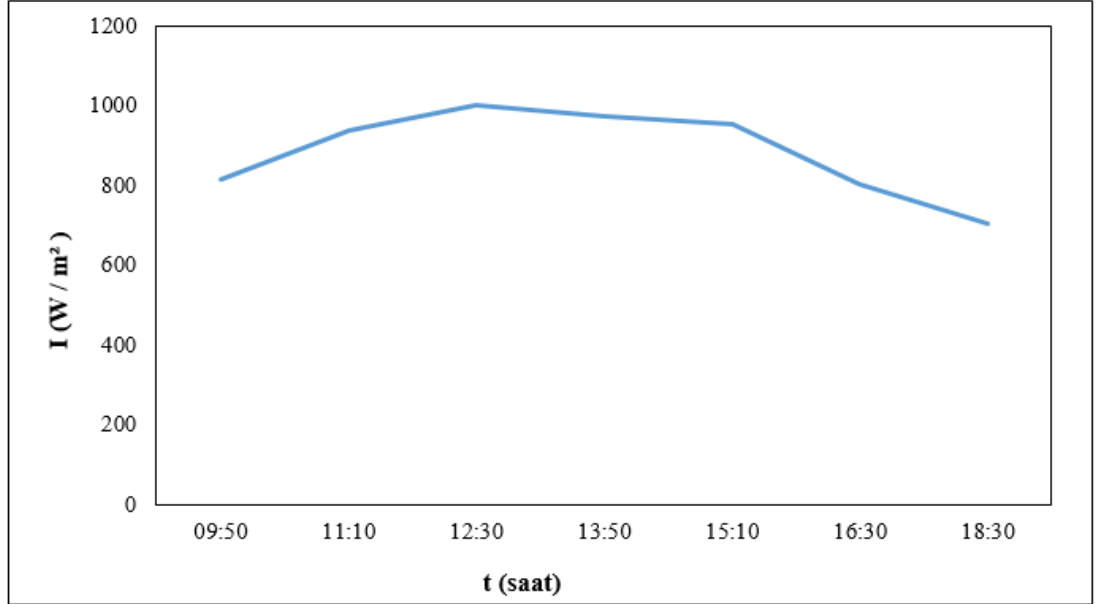
Şekil: 4.25. Parafin Yatağı İç Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi



Şekil: 4.26. Şarj Süresi Boyunca Parafin Yatağında Depolanan Enerjinin Zamana Göre Değişimi



Şekil: 4.27. Deşarj Süresi Boyunca Kurutma Kabini İçindeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



Şekil: 4.28. Şarj Süresi Boyunca Güneş Işınımının Zamana Göre Değişimi

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada güneş enerjisi destekli enerji depolama sitemli kurutma sisteminde çileğin kuruma parametreleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra kurutma işleminde güneş enerjisinden yararlanmak için güneş battıktan sonra kurutma işleminin devam etmesi ve enerji tasarrufu için faz değişim malzemesi olarak parafin kullanılmıştır. Bu sayede gündüz saatlerinde güneş ışığından enerjiyi depolayan parafin güneş ışığının olmadığı saatlerde depoladığı bu enerjiyi kurutma kabineine ileterek kurutma işlemine ara verilmeden devam edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada *Fragaria Ananassa* (kültür çileği) türüne ait çilekten 3 kg temin edilmiştir. Daha sonra bu çilekler saplarında temizlenerek yıkanmış ve  $3 \pm 2$  mm kalınlığında dilimlenerek tepsiye dizilmiş ve kurutma işlemine başlanmıştır. Kurutma denemeleri dilimlenmiş elmaların yaş baza göre %96 nem içeriğinden %27 nem içeriğine düşürülünceye kadar devam ettirilmiştir.

Gıda ürünlerinin kurutulmasında kurutmayı etkileyen faktörler kurutma havası sıcaklığı, nem içeriği ve kurutulacak ürünün fiziksel ve kimyasal özelliği önemli bir faktördür. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri düşük nemlilikte kurutma yaptığı bilinmektedir

Kurutma sürecine en önemli katkıyı kurutma hava sıcaklığı sağlamaktadır. Katıların kurutulmasında kurutulacak madde üzerine ısı enerjisi aktararak suyun buharlaşması sağlanır ve buharlaşan su maddenin yüzeyinden kurutucu hava içine geçerek uzaklaşır. Katıların kurutulmasını etkileyen dış faktörler sıcaklık, nem, hava akışı, katının karıştırılması, katının bulunduğu alan, sıcak ortam ve nemle katı arasındaki temastır. Bu çalışmada, bu etkilerin bazıları değiştirilebilir koşullardır. Çalışmada kurutma süresince deney sisteminin farklı noktalarından sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık-zaman grafiklerinden de görüleceği gibi sistemin sıcaklık verileri kurutma başladıktan çok kısa zaman sonra dengeye ulaşmakta ve kurutma süresince çok az değişmektedir.

Kurutma deneyleri sırasında çilek dilimlerinin kütle kaybı, kurutma sisteminin belirlenen noktalarından sıcaklık, bağıl nem, basınç ve hava hızı ölçümü yapılmıştır. Bunun dışında, kurutma sisteminden bağımsız olan pıranometre ile her 10 dakikada bir güneş ışınımı değeri ölçülmüştür. Ayrıca, kurutma sisteminin dışında yer alan ve



0,01 gr. hassasiyete sahip terazi ile her bir rafta belirlenen numunelerin 30 dakika arayla ağırlık değişimleri ölçülmüştür.

Gerçekleştirilen kurutma denemelerinde, kurutmanın başladığı andan itibaren, kurutma kabini giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkının hem sağ hem de sol kısımda deney süresince maksimum 2-4<sup>0</sup>C olduğu gözlemlenmiştir. Deneyin sonlarına doğru ise bu fark değeri 2-3 <sup>0</sup>C'ye kadar düşebilmektedir. Bu durum, kurutma kabini içerisindeki nem alma veriminin yüksek olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Çilek kurutma deneyindeki kuruma süreleri 3 mm kalınlığında dilimlenen çilekler için ortalama 51<sup>0</sup>C sıcaklıkta 6-8 saat arasında değişmiştir. Deney düzeneğinde gerçekleştirilen kurutma deneylerinde sistemin giriş ve çıkış bağıl nem değerleri arasındaki en yüksek fark yaklaşık %6 olarak belirlenmiştir.

Bu deneysel çalışma sonucunda güneş enerjisi destekli enerji depolama sistemli kurutma sisteminin, çalışma parametreleri incelenerek ticari boyutta tarımsal ürün kurutabileceği, sektöründe verimli bir şekilde kullanılabilceği ve aynı zamanda daha yüksek kalitede ürünlerin elde edilebileceği bir sistem olduğu saptanmıştır. Ayrıca geliştirilen bu sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin de düşük olması göz önüne alındığında kurutma sektöründe yaygın bir şekilde kullanılabilceği açıkça görülmektedir.

**Çizelge: 5.1.** Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sistemi İçin Sabit Giderler

<b>Yapım Maliyeti</b>	<b>15.830,24TL</b>
10 kg yaş çilek maliyeti	100 TL
Elektrik Tüketim Maliyeti(Tüketim günde 8,12 kWh) (0,446TL/ kWh)	3,63 TL
İşçilik Maliyeti	100 TL/Gün
Toplam İşletme Maliyeti(Gün)	203,63 TL
Toplam İşletme Maliyeti(Ay)	6108,90 TL
Toplam İşletme Maliyeti(Yıl)	73306,80 TL
Kuru Çilek Satış Fiyatı(kg)	220 TL
Günlük Toplam Satış*	293,33 TL
Yıllık Toplam Satış	105.598,80 TL

**Çizelge: 5.2.** Elektrikli Kurutma Sistemi İçin Sabit Giderler

<b>Yapım Maliyeti</b>	<b>27.580,48 TL</b>
10 kg yaş çilek maliyeti	100 TL
Elektrik Tüketim Maliyeti(Tüketim günde 35kWh)(0,446TL/ kWh)	15,7 TL
İşçilik Maliyeti	100 TL/Gün
Toplam İşletme Maliyeti(Gün)	215,17 TL
Toplam İşletme Maliyeti(Ay)	6455,10 TL
Toplam İşletme Maliyeti(Yıl)	77461,20 TL
Kuru Çilek Satış Fiyatı(kg)	220 TL
Günlük Toplam Satış*	293,33 TL
Yıllık Toplam Satış	105.598,80 TL

Yukarıdaki tabloda belirtilen rakamlar kuru çilek üretimi için yıllık kazanç; Elektrikli kurutma fırını kullanılması durumunda 556,80 TL iken güneş enerjili kurutma fırını kullanılması durumunda 16461,76 TL olarak şekillenmektedir. Bu rakamları

üzerinden Güneş Enerjisi Destekli Enerji Depolama Sistemli Kurutma Sistemi'nin kendi yatırım maliyetini 6.Ay itibariyle, benzer kapasiteye sahip elektrikli kurutma fırınının ise kendi yatırım maliyetini 13. ay itibariyle, karşılamaya başlayacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Kurutma sisteminde kullanılacak tüm enerji doğal enerji kaynağı olan güneşten temin edilmiştir. Sadece sitemde yer alan fanların çalıştırılması dışında ekstra bir enerji kaynağı kullanılmaması nedeniyle geliştirilen bu kurutma sisteminin diğer kurutma teknolojilerine göre yaklaşık %75 daha düşük enerji tüketimine olanak sağlamıştır. Güneş enerjisi ile çalışan bu ve benzeri makinelerin tarımda kullanılması, ürünlerimizin kalitesini yükseltecek ve uluslararası pazarlarda ülkemizin rekabet gücünü ve pazar payını arttıracaktır. Tarımda fosil yakıt tüketiminin azalması da ülke ekonomisine büyük bir katkıda bulunacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin uygulamalarının arttırılmasını sağlamak gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle doğru orantılıdır. Ülkemizin güneş kuşağı denilen iyi bir ışınım değerlerine sahip ülkelerin arasında bulunması bu araştırmaların uygulanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Sahip olunan avantajlı konumun hem tarımda hem de sanayide en iyi şekilde kullanılması büyük yarar sağlayacaktır. Böylelikle meyve sebzelerin bozulması yerine kurutularak raf ömrünün arttırılması hem israfın azaltılmasına hem de günümüz ekonomik koşulları göz önüne alındığında ülkemiz için de önemli bir gelir kaynağı oluşturmasına önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] Adak, N. Tetik, N. Güneş, E. Balkıç, R. Gübbük, H. & Kulcan, A. A. (2016). Değişik yetiştirme sistemlerinin çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.) meyvelerinin bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 29(2).
- [2] Akın, A. 2006. Güneş Enerjili Kurutucunun Tasarım Parametrelerinin Araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.
- [3] Akpınar E. K. (2004). Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer* 31(8): 1165-1176.
- [4] Akpınar, E. K. Ve Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16. sayı, cilt 1, 159-169s, Ankara.
- [5] Aktaş, M. Ceylan, İ. Doğan, H. & Aktekeli, Z. (2010). Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızıbiber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneyle. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 111-120.
- [6] Aktaş, M. Şevik, S, Doğan, H, & Öztürk, M. (2012). Drying of tomato in a photovoltaic and thermal solar-powered continuous dryer. *Journal of Agricultural Sciences (Turkey)*.
- [7] Ampratwum, D. B. (1998). Design of solar dryer for dates. *Agricultural Mechanization In Asia Africa And Latin Amerika*, 29, 59-62.
- [8] Arinze, E. A. Sokhansanj, S. & Schoenau, G. J. (1993). Simulation of natural and solar-heated air hay drying systems. *Computers and electronics in agriculture*, 8(4), 325-345.
- [9] Asamı D.K, Hong Y.J, Barrett D.M, Mitchell A.E, 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried Marion berry, strawberry, and corn using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 1237-1241.

- [10] Barlev D, Vidu R., & Stroeve P. (2011). Innovation in concentrated solar power. *Solar Energy Materials and solarCells*, 95(10), 2703-2725.
- [11] Basu A, Fu D. X., Wilkinson M., Simmons B. Wu M., Betts N. M., & Lyons T. J. (2010). Strawberries decrease at hero sclerotic markersin subjects with metabolic syndrome. *Nutrition research*, 30(7), 462-469.
- [12] Bruijn J., RivasF., Rodriguez Y., Loyola C, Flores A., Melin P., Borquez R. (2016). Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. *J Food Process Pres*, 40(5): 1104-1115, doi: 10,1111/jfpp.12691.
- [13] Cem Eroğlu B. 2004. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. cilt. ISBN 975-98578- 2-0.
- [14] Ceylan İ, Aktaş M. Ve Doğan H, (2006). Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması. *Politeknik Dergisi*, Cilt 9, Sayı 4: 289-294.
- [15] Condori, M&R, & Saravia, L. (2001). Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel green house drier. *Renewable energy*, 22(4), 447-460.
- [16] Bruijn J., RivasF., Rodriguez Y.,Loyola C.,Flores A., Melin P.& Borquez R. (2016). Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 1104-1115.
- [17] Demirci M. Gıda Kimyası, İstanbul, Türkiye, Gıda Teknolojisi Derneği, 2010.
- [18] Deuel C, & Plotto A. (2004). Strawberries and raspberries. *Book Chapter*, 531-561.
- [19] Doymaz İ. 2003. Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 61: 359–364.
- [20] Ekechukwu O.V, Norton B. (1999) Review of solar energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40.615-655.
- [21] Ekechukwu O. V, & Norton B. (1999). Review of solar-energy drying systems III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 657-667.

- [22] Elicin, A. K, & Sacilik K. (2005). An experimental study for solar tunnel drying of apple. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(2), 207-211.
- [23] El-Sebaai AA, Aboul-Enein S, Ramadan MRI, El-Gohary HG. Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. *Energy Convers Manage* 2002;43(16):2251–66.
- [24] El-Sebaai A. A.& Shalaby S. M. (2012). Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 37-43.
- [25] Ertekin C, Yıldız O. Drying of egg plant and selection of a suitable thin layer drying model. *J Food Eng* 2004; 63; 349-359.
- [26] Ertekin, C.&Yaldiz O. (1998). Estimation of global solar radiation on horizontal surface. In Sunday symposium and fair(pp. 19-21).
- [27] Fao, I. (2014). WFP (2014). *The state of food insecurity in the world*, 80.
- [28] Farhat, A.Koli, S. Kekreni, C.Maalej, M. Fadkel A., Belghith A. 2004. Validation of a Pepper Drying Model in a Polyethylene Tunnel Greenhouse, *International Journal of Thermal Sciences* 43: 53-58.
- [29] Gamboa-Santos, J. Montilla, A. Cárcel, J. A, Villamiel, M.& Garcia-Perez, J. V. (2014). Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 128, 132-139.
- [30] Geçer K.& Yılmaz, H. (2011). Determination of Fruit Yield Characteristics of Strawberry Runner Plants Produced in Van Ecological Conditions, Research Article, *Iğdır University J. Inst. Sci. &Tech. (Unpublished) pp, 17.*
- [31] Hannum S. M. (2004). Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(1), 1-17.
- [32] Heinonen, I. M.,Lehtonen P. J, & Hopia A. I. (1998).Antioxidant activity of berry and fruit wines and liquors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(1), 25-31.
- [33] Henderson SM, Pabis, S.(1961) Grain drying theory.I temperature effect on drying coefficient. *J Agric Eng Res* 1961; 6; 169-174.

- [34] Karathanos VT. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *J Food Eng.* 1999; 39; 337-344
- [35] Koyuncu T., Pınar Y.(2001) Kırmızı Biber İçin Bir Güneşli Kurutucu Tasarımı. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi.* (13–15 Eylül 2001), 423-430s, Şanlıurfa.
- [36] Lee K H & Kim O J (2009). Investigation on drying performance and energy savings of the batch- type heat pump dryer. *Drying Technology* 27: 565-573.
- [37] Leon, M.A, Kumar, S., Bhattacharya,S.C. (2002) A comprehensive procedure or performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6.367-393.
- [38] Lewis WK. The rate of drying solid materials. *J Ind Eng Chem* 1961; 13; 427-432.
- [39] Lingayat, A., Chandramohan, V. P.&Raju V. R. K. (2017). Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying. *Energy Procedia*, 109, 409-416.
- [40] Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. The thin layer drying characteristics of garlic slice *J Food Eng* 1996; 29; 75-97.
- [41] Madhlopa, A. Jones, S.A. Kalengasaka J. D. 2001. A Solar Air Heater with Composite – Absorber Systems for Food Dehydration. <http://www.elsevier.com/locate/renene> 24 Eylül, 2009.
- [42] Méndez-Lagunas L, Rodríguez-Ramírez J., Cruz-Gracida M.,Sandoval-Torres S.& Barriada-Bernal G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food chemistry*, 230, 174-181.
- [43] Midilli A, Küçük H, Yapar Z. A new model for single layer drying. *Drying Technology* 2002;20; 1503-1513.

- [44] Mutlu H.,Öztürk H. K. 2004. İncirin Güneş Enerjisi Kullanarak Kurutulmasının Esasları. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi. (26–28 Mayıs 2004), Kütahya.
- [45] Özay G, Pala M, Saygı B. “Bazı Gıdaların Su Aktivitesi (aw) Yönünden İncelenmesi”. Gıda, 18(6), 377-383, 1993.
- [46] Öztekin S.& Yelmen B. (2010). Red Chili Pepper Drying by Farm Scale Hothouse. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 6(1).
- [47] Page, G.E. Factor in fluencing the maximum rates of air drying shelled corn in layers. M.S. thesis: Purdue University; 1949.
- [48] Pangavhane, D. R, Sawhney, R. L, &Sarsavadia, P. N. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. Energy, 27(6), 579-590.
- [49] Pılanalı N. & Kaplan M. (2002). Çileğin meyve rengi ile farklı formlarda uygulanan humik asit ve toprağın bazı bitki besin maddesi kapsamları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 12(1), 1-5.
- [50] Proteggente A. R, Pannala A. S, Paganga G, Buren L. V, Wagner E, Wiseman S., & Rice-Evans C. A. (2002). The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free radical research*, 36(2), 217-233.
- [51] Ratti C. 2001. Hot-air and Freeze-drying of High Value Foods: A Review. Journal of Food Engineering, 49.311-319
- [52] Rice-Evans C. A.& Miller, N. J. (1996).Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food.
- [53] Sacılık, K, Keskin,R, Elicin, A.K, 2005. Mathematical Modelling Of Solar Tunnel Drying Of Thin Layer Organic Tomato, Journal of Food Engineering.
- [54] Sacilik, K, Elicin AK. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. J Food Eng 2006; 73; 323-328.



- [55] Sallam Y.I, Aly M.H, Nassar A.F. and Mohamed E.A., 2015, Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection, *Journal of Advanced Research*, 6, 171-178.
- [56] Selçuk, K.M., Ersoy,O., Akyurt,M. 1974. Development, Theoretical Analysis and Performance Evaluation of Shelf Type Solar Driers. *Solar Energy* vol.16: 81-88.
- [57] Sethi,VP,Arora,S.,Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection. *Solar Energy* 2009;83(9):1472–84.
- [58] Shalaby,S. M.& Bek, M. A. (2014).Experimental investigation of a novel indirect solar dryer implementing PCM as energy storage medium. *Energy Conversion and Management*, 83, 1-8.
- [59] Sharma V. K., Colangelo A& Spagna G. (1993).Experimental performance of an indirect type solar fruit and vegetable dryer. *Energy Conversion and Management*, 34(4), 293-308.
- [60] Shaw, D.V. 1991. Variation for Objective and Subjective Measures of FreshFruit Color in Strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(5):894-898.
- [61] Tarhan, S. Ergüneş, G. Güneş, M. ve Mutlu, A. 2009. Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2): 1-6.
- [62] Toğrul, İ.T, Pehlivan, D. 2002. Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers. *Journal of Food Engineering*. Doi: 10,1016/S0260-8774(02)00065-1
- [63] Trim, D.S., Ko, H.Y. (1982) Development of a forced convection solar dryer for red peppers. *Trop. Agric. (Trinidad)* 59(4):319-323.
- [64] Verma, L.R, Bucklin RA, Endan, JB, Wratten FT. Effects of drying air parameters on rice drying models. *Trans ASAE* 1985; 28; 296-301.
- [65] Vijaya Venkata Raman, S. Iniyan, S, & Goic R. (2012). A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652-2670.

- [66] Wang CY, Singh RP. A single layer drying equation for rough rice. ASAE 1978; Paper no:78-3001.
- [67] Wang, H. Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. Journal of agricultural and food chemistry, 44(3), 701-705.
- [68] Wang, S. Y., & Lin H. S. (2000). Antioxidant activity in fruit and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. Journal of agricultural and food chemistry, 48(2), 140-146.
- [69] Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:536. İzmir.
- [70] Yıldız O., Ertekin C., Uzun H. İ. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy. Doi:10.1016/S0360-5442(01)00018-4.
- [71] Yıldız O, Ertekin C. 2001. Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables. Drying Technology, 19: 583–597.
- [72] Zabetakis I, & Holden M.A.(1997). Strawberry flavour: analysis and biosynthesis. Journal of the Science of Food and Agriculture, 74(4), 421-434.
- [73] Demir V., Günhan T., 2002, Tarım ürünlerinin kurutma tekniği çalışmaları Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü çalışmaları dizisi no 1, İzmir.
- [74] Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, İzmir.

## EK A

### 1. Gün Yapılan Kurutma Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları

**Çizelge 1.** Kurutma Kabinin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

Saat	Dış Hava Sıcaklığı	Kabin Giriş Sıcaklığı	Kabin Çıkış Sıcaklığı
11.30	36,2	46,6	45,4
12.00	35,4	50,8	50,1
12.30	36,7	51,3	50,8
13.00	36,4	52,9	52,3
13.30	37,6	53,8	53,1
14.00	37,8	54,1	53,4
14.30	39,7	55,3	54,4
15.00	38,9	54,8	53,8
15.30	39,2	52,3	51,1
16.00	40,6	52,5	52,7
16.30	40,4	50,3	49,4
17.00	41	49,7	48,8

**Çizelge 2.** Denemenin Yürütüldüğü Zaman Periyotları İçin Dış Bağlı Nem, Üst İç Bağlı Nem ve Alt İç Bağlı Nem Değerleri

Saat	Dış Bağlı Nem	Üst İç Bağlı Nem	Alt İç Bağlı Nem
12.30	30,2	27,5	25,2
13.00	31,8	31	28,2
13.30	34,7	30,02	28
14.00	36,6	29,9	25,4
14.30	27,7	30,4	27
15.00	24,9	30,1	27,6
15.30	25,1	29,8	26,9
16.00	25	30,1	28,5
16.30	27,6	30,1	27,4
17.00	24,8	28,8	28,4

**Çizelge 3.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Ağırlık Değişimi

Zaman (Saat)	1.Gün çilek numunelerinin kütleleri (gr)					Ort.
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	
11.30	6,07	5,54	6,58	7,02	6,64	6,37
12.00	5,02	4,7	5,63	6,45	5,01	5,362
12.30	4,04	3,98	4,55	5,11	5,9	4,716
13.00	3,1	3,18	3,5	4,09	3,96	3,566
13.30	2,31	2,45	2,49	3,23	3,24	2,744
14.00	1,88	1,79	2,06	2,55	2,53	2,162
14.30	1,46	1,26	1,95	1,97	1,62	1,652
15.00	1,1	1,11	1,67	1,64	1,27	1,358
15.30	1,02	0,84	0,86	1,28	1,31	1,062
16.00	0,77	0,73	1,12	1,15	0,96	0,946
16.30	0,66	0,72	1	1,03	0,9	0,862
17.00	0,7	0,88	0,62	0,56	0,71	0,694

**Çizelge 4.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Kütle Değişimi

Numune 1 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 2 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 3 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 4 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 5 Nem İçeriği (gr/gr)
8,48	8,55	8,40	8,62	8,76
6,84	7,10	7,04	7,84	6,37
5,31	5,86	5,50	6,00	5,85
3,84	4,48	4,00	4,60	4,82
2,61	3,22	2,56	3,42	3,76
1,94	2,09	1,94	2,49	2,72
1,28	1,17	1,79	1,70	1,38
0,72	0,91	1,39	1,25	0,87
0,59	0,50	0,51	0,75	0,93
0,20	0,24	0,24	0,27	0,41
0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
0,01	0,02	0,01	0,01	0,01

**Çizelge 5.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Yüzde Nemlilik Oranı

Numune 1 Nemlilik(%Mw)	Numune 2 Nemlilik(%Mw)	Numune 3 Nemlilik(%Mw)	Numune 4 Nemlilik(%Mw)	Numune 5 Nemlilik(%Mw)
89,46	89,53	89,36	89,60	89,76
87,25	87,66	87,57	88,68	86,43
84,16	85,43	84,62	85,71	85,41
79,35	81,76	80,00	82,15	82,83
72,29	76,33	71,89	77,40	79,01
65,96	67,60	66,02	71,37	73,12
56,16	53,97	64,10	62,94	58,02
41,82	47,75	58,08	55,49	46,46
37,25	33,33	33,96	42,97	48,09
16,88	19,44	19,54	21,51	29,17
3,03	4,92	2,78	3,95	4,23

**Çizelge 6.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Boyutsal Nem Değişimi

<b>Numune 1</b>	<b>Numune 2</b>	<b>Numune 3</b>	<b>Numune 4</b>	<b>Numune 5</b>
<b>Nem Oranı (MR)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,81	0,83	0,84	0,91	0,73
0,63	0,69	0,65	0,70	0,67
0,45	0,52	0,48	0,53	0,55
0,31	0,38	0,30	0,40	0,43
0,23	0,24	0,23	0,29	0,31
0,15	0,14	0,21	0,20	0,16
0,08	0,11	0,16	0,14	0,10
0,07	0,06	0,06	0,09	0,11
0,02	0,03	0,03	0,03	0,05
0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

**Çizelge 7.** Kurutma İşlemi Süresince Güneş Işınım Değeri

<b>Zaman (Saat)</b>	<b>Güneş Işınım Değeri</b>
11:30	686
12:00	862
12:30	882
13:00	960
13:30	1005
14:00	1019
14:30	965
15:00	956
15:30	931
16:00	897
16:30	825
17:00	752

## 2. Gün Yapılan Kurutma Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları

**Çizelge 8.** Kurutma Kabinin Farklı Noktalarından Alınan Sıcaklık Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

Saat	Dış Hava Sıcaklığı	Kabin Giriş Sıcaklığı	Kabin Çıkış Sıcaklığı
11:00	33,4	45,4	44,9
11:30	33,7	45,6	45,1
12:00	34,2	47,6	47
12:30	34	49	48,3
13:00	34,1	50,7	50
13:30	35	48	46,6
14:00	34,5	51,8	51
14:30	35,1	51,8	50,9
15:00	35,5	50,3	49,1
15:30	36,3	47,9	46,9
16:00	41,2	47,7	46,9
16:30	42,3	47,9	47,1
17:00	41,1	40,9	39,5

**Çizelge 9.** Denemenin Yürütüldüğü Zaman Periyotları İçin Dış Bağlı Nem, Üst İç Bağlı Nem ve Alt İç Bağlı Nem Değerleri

Saat	Dış Bağlı Nem	Üst İç Bağlı Nem	Alt İç Bağlı Nem
11:00	44,8	46,5	50,3
11:30	44,6	46,1	50
12:00	32,6	32,2	34,3
12:30	42,9	40,3	43,2
13:00	37,9	36,1	39,8
13:30	35,2	38,1	36,4
14:00	40,4	43,4	41,5
14:30	41,1	43,9	42,9
15:00	41,2	43,6	42,1
15:30	44,7	46,8	46,2
16:00	43,1	43,5	42,7
16:30	47,3	47,8	47,6
17:00	43,7	42,4	42,8

**Çizelge 10.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Ağırlık Değişimi

Zaman (Saat)	2.Gün çilek numunelerinin ağırlıkları (gr)					Ort.
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	
11:00	6,69	5,78	5,89	5,04	5,37	5,754
11:30	6,34	5,26	5,79	4,99	5,36	5,548
12:00	5,46	4,35	4,94	4,51	4,36	4,724
12:30	5,13	3,9	4,65	4,2	4,29	4,434
13:00	4,39	3,56	4,21	3,81	3,44	3,882
13:30	4	2,94	3,79	3,36	3,14	3,446
14:00	3,53	2,41	3,31	2,97	2,69	2,982
14:30	3,12	2,01	2,89	2,6	2,28	2,58
15:00	2,7	1,78	2,49	2,28	1,69	2,188
15:30	2,11	1,31	2,35	1,96	1,53	1,852
16:00	1,82	1,13	2,15	1,76	1,34	1,64
16:30	1,6	0,97	1,49	1,52	1,13	1,342
17:00	1,42	0,92	1,43	1,38	0,92	1,214



**Çizelge 11.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Nem İçeriği

Numune 1 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 2 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 3 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 4 Nem İçeriği (gr/gr)	Numune 5 Nem İçeriği (gr/gr)
3,71	5,28	3,12	2,65	4,84
3,46	4,72	3,05	2,62	4,83
2,85	3,73	2,45	2,27	3,74
2,61	3,24	2,25	2,04	3,66
2,09	2,87	1,94	1,76	2,74
1,82	2,20	1,65	1,43	2,41
1,49	1,62	1,31	1,15	1,92
1,20	1,18	1,02	0,88	1,48
0,90	0,93	0,74	0,65	0,84
0,49	0,42	0,64	0,42	0,66
0,28	0,23	0,50	0,28	0,46
0,13	0,05	0,04	0,10	0,23

**Çizelge 12.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Yüzde Nemlilik Oranı

Numune 1 Nemlilik(%Mw)	Numune 2 Nemlilik(%Mw)	Numune 3 Nemlilik(%Mw)	Numune 4 Nemlilik(%Mw)	Numune 5 Nemlilik(%Mw)
76,08	83,22	74,70	69,84	78,96
74,76	81,56	74,27	69,54	78,92
70,70	77,70	69,84	66,30	74,08
68,81	75,13	67,96	63,81	73,66
63,55	72,75	64,61	60,10	67,15
60,00	67,01	60,69	54,76	64,01
54,67	59,75	54,98	48,82	57,99
48,72	51,74	48,44	41,54	50,44
40,74	45,51	40,16	33,33	33,14
24,17	25,95	36,60	22,45	26,14
12,09	14,16	30,70	13,64	15,67

**Çizelge 13.** Kurutma İşlemi Süresince Numunelerdeki Nem Oranı Değişimi

Numune 1 Nem Oranı (MR)	Numune 2 Nem Oranı (MR)	Numune 3 Nem Oranı (MR)	Numune 4 Nem Oranı (MR)	Numune 5 Nem Oranı (MR)
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,93	0,89	0,98	0,99	1,00
0,77	0,71	0,79	0,86	0,77
0,70	0,61	0,72	0,77	0,76
0,56	0,54	0,62	0,66	0,57
0,49	0,42	0,53	0,54	0,50
0,40	0,31	0,42	0,43	0,40
0,32	0,22	0,33	0,33	0,31
0,24	0,18	0,24	0,25	0,17
0,13	0,08	0,21	0,16	0,14
0,08	0,04	0,16	0,10	0,09
0,03	0,01	0,01	0,04	0,05

**Çizelge 14.** Kurutma İşlemi Süresince Güneş Işınım Değeri

Zaman (saat)	Güneş Işınım Değerleri(W/m <sup>2</sup> )
11.30	872
12.00	930
12.30	980
13.00	1000
13.30	989
14.00	960
14.30	945
15.00	926
15.30	852
16.00	789
16.30	747
17.00	697

## EK B

### 1. Gün Yapılan Enerji Depolama Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları

Çizelge 1. Depolama Sistemi Ölçümleri

Zaman (dakika)	Parafin Yatağı İç Sıcaklığı	Hava Giriş Sıcaklığı	Q Isı Enerjisi
0	32,2	32,4	0,18
15	33,6	34,6	1,06
30	34,2	35,2	1,94
45	35,5	36,2	2,56
60	36,9	38,7	4,15
75	38	39,8	5,73
90	39,7	40,3	6,26
105	40,9	41,6	6,88
120	42,1	43,2	7,85
135	43,3	45,8	10,05
150	44,8	47,1	12,08
165	46,3	48,5	14,02
180	47,2	50,4	16,85
195	48,3	51,7	19,85
210	49,4	53	23,02
225	51,1	54	25,58
240	52,9	55,7	28,05
255	53,7	56,5	31,32
270	54,3	57,6	35,17
285	55,9	58,1	37,73
300	57,1	59,5	40,53
315	58,3	59,9	42,40
330	59,3	60,2	43,45
345	60,1	60,8	44,27
360	59,9	61,5	46,14
375	59,7	60,6	47,19
390	59,5	60,3	48,12
405	59,4	59,6	48,35
420	58,9	59	48,47
435	58,5	58,7	48,70
450	58,3	58	48,35
465	58,1	57,8	48,00
480	57,9	57,4	47,42

**Çizelge 2.** Kurutma İşlemi Süresince Kabin içi sıcaklık değerleri

<b>Zaman (dakika)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
0	33,6	30	35,1	31,5	27,5	27,2	27	27,3
30	36,5	34,1	36,3	35,9	35,2	34,3	35,4	35,1
60	42,1	38,4	42	41,5	40,2	38,8	40,6	40,1
90	43,9	39,9	43,5	43,2	41,8	40,2	42,2	41,7
120	48	43,2	47,8	47,2	45,2	43,4	45,7	45,2
150	51,3	45,8	51,1	50,5	48,3	46,2	49	48,4
180	53,4	47,6	53,2	52,6	50,2	48	51	50,4
210	55,6	49,4	55,2	54,5	52,2	50	52,9	52,3
240	56,8	50,5	56,4	55,7	53,5	51,3	54,2	53,6
270	57,3	51,1	56,8	56,2	54,2	52,1	54,8	54,2
300	57,1	51,2	56,7	56,1	54,3	52,3	54,8	54,2
330	56,1	50,4	55,8	55,2	53,7	51,8	54,3	53,6
360	54,8	49,5	54,5	53,9	52,7	51	53,2	52,5
390	53,3	48,5	53	52,5	51,6	50,1	52	51,4
410	51	46,6	50,8	50,3	49,7	48,1	50,1	49,5
440	48,5	44,8	48,2	47,8	47,2	45,6	47,8	47,2
470	46,6	43,3	40,3	45,9	45,7	44,2	46,1	45,6

**Çizelge 3.** Kurutma İşlemi Süresince Güneş Işınım Değerleri

Zaman (dakika)	I (W/m <sup>2</sup> )
09:10	752
09:20	723
09:30	725
09:40	715
09:50	818
10:00	894
10:10	824
10:20	850
10:30	875
10:40	948
10:50	968
11:00	939
11:10	940
11:20	946
11:30	953
11:40	940
11:50	965
12:00	987
12:10	992
12:20	1001
12:30	1004
12:40	986
12:50	970
13:00	980
13:10	967
13:20	973
13:30	975
13:40	979
13:50	974
14:00	983
14:10	971
14:20	965
14:30	978
14:40	957
14:50	965
15:00	949
15:10	957
15:20	937
15:30	938
15:40	943
15:50	926
16:00	887
16:10	874
16:20	852
16:30	803
16:40	787
16:50	822
17:00	798
17:10	747
17:20	726

## 2. Gün Yapılan Enerji Depolama Deneylerine İlişkin Deney Sonuçları

Çizelge 4. Depolama Sistemi Ölçümleri

Zaman (dakika)	Parafin Yatağı İç Sıcaklığı	Hava Giriş Sıcaklığı	Q Isı Enerjisi
0	32,2	33,6	1,23
15	33,4	35,9	3,44
30	34	36,5	5,64
45	34,8	37,4	7,94
60	36,1	38,6	10,14
75	37,5	39,2	11,64
90	39,2	41	13,23
105	40,5	42,2	14,73
120	42,1	44,2	16,58
135	43,9	46	18,43
150	45,3	47,8	20,64
165	46,7	48,6	22,31
180	48	49,3	23,46
195	49,7	50,4	24,08
210	51,1	52,8	25,58
225	53,4	54,5	26,55
240	54,3	55,6	28,07
255	55,5	57,1	29,93
270	56,7	58,3	31,80
285	58,1	59,6	33,55
300	59,2	60,3	34,83
315	59,9	60,9	36,00
330	60,5	61,2	36,82
345	60,3	61,3	37,98
360	59,8	61,2	39,62
375	59,5	60,3	40,55
390	59,2	60	41,49
405	58,9	59,5	42,19
420	58,7	59,1	42,65
435	58,4	58,8	43,12
450	58	58,5	43,70
465	57,8	58,4	44,40
480	57,5	58,1	45,10

**Çizelge 5.** Kurutma İşlemi Süresince Kabin İçi Sıcaklık Değerleri

<b>Zaman(dakika)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
0	53,4	39,8	57,8	41,7	44	41,2	44,1	41,1
30	46	43,8	45,9	45,4	44,2	42,9	45	46
60	45,1	43,1	44,7	44,4	44,2	42,9	44,9	45,7
90	43,1	41,4	42,7	42,4	42,5	41,3	43,3	44
120	40,9	39,5	40,5	40,3	40,6	39,6	41,4	42,3
150	39,1	38,1	38,9	38,7	39,1	38,1	39,9	40,9
180	37,8	36,9	37,6	37,4	37,9	36,9	38,6	39,6
210	35,7	34,9	35,4	35,3	35,8	34,9	36,5	37,3
240	35,2	34,5	34,9	34,8	35,3	34,3	35,9	36,6
270	34,6	33,9	34,3	34,2	34,7	33,7	35,3	35,8
300	33,8	33,1	33,5	33,4	33,9	32,9	34,4	34,9
330	33,3	32,7	33	32,9	33,4	32,4	33,9	34,2
360	32,7	32,2	32,5	32,4	32,8	31,8	33,3	33,5
390	32,3	31,8	32	31,9	32,4	31,4	32,8	32,9

**Çizelge 6.** Kurutma İşlemi Süresince Güneş Işınım Değerleri

<b>Zaman (dakika)</b>	<b>I (W/m<sup>2</sup>)</b>
9:00	705
9:10	736
9:20	771
9:30	797
9:40	808
9:50	831
10:00	861
10:10	824
10:20	867
10:30	898
10:40	897
10:50	900
11:00	938
11:10	919
11:20	933
11:30	902
11:40	908
11:50	933
12:00	952
12:10	949
12:20	963
12:30	961
12:40	954
12:50	962
13:00	955
13:10	959
13:20	972
13:30	980
13:40	987
13:50	975
14:00	990
14:10	995
14:20	990
14:30	981
14:40	976
14:50	983
15:00	961
15:10	954
15:20	943
15:30	930
15:40	939
15:50	933
16:00	925
16:10	918
16:20	903
16:30	884
16:40	863
16:50	833
17:00	815
17:10	806
17:20	785
18:30	760



## EK C

3 mm kalınlıktaki çilek dilimlerinin deney sonuçları için Nelder ve Mead metodu (simpleks arama metodu) ile Java programlama dili kullanılarak geliştirilen matematiksel model kodları

```
import java.io.*;

import javax.swing.*;

import java.io.*;

import java.util.*;

import javax.swing.*;

class fxa extends JFrame {

    double xi[]; // m independent variable data set

    double yi[]; // dependent variable data set

    double a[]; // fit function coefficient set

    int n; // number of data

    public fxa(String filename, double ia[])

    {

        // read the data to curve fit

        // last column is treated as independent data set

        // get the data file and initial fit coefficient when class is defined

        int n = ia.length;

        a = new double[n];

        seta(ia);

        double b[][] = Text.readDoubleT(filename);
```

```

        //System.out.println("m="+m);

xi=b[0];

yi=b[1];

nn=yi.length;

        //System.out.println("xi=\n"+Matrix.toString(xi));

        //System.out.println("yi=\n"+Matrix.toString(yi));

nn=yi.length;

a=ia;
    }

publicvoidseta(doubleia[])
    {
        //assign new fit coefficient set
        for(int ii=0;ii<nn;ii++)

a[ii]=ia[ii];
    }

    publicdouble[] geta()
    {
        // return fit coefficient set

return a;
    }

publicdoublePs(double t)

```

```

        { //ilk tanım Ps formülü

double T=t+273.15;

double ln10=Math.log(10.0);

double A[]={40.69889*ln10,-2.36254e3*ln10,-13.06883,7.616005e-
3*ln10,0.2342564,3.761111e2};

double p1=A[0]+A[1]/T+A[2]*Math.log(T)+A[3]*T+A[4]*((A[5]-
T)/T)*Math.log(A[5]-T);

return Math.exp(p1);

    }

public double PsdT(double t)
    {

double T=t+273.15;

double ln10=Math.log(10.0);

double A[]={40.69889*ln10,-2.36254e3*ln10,-13.06883,7.616005e-
3*ln10,0.2342564,3.761111e2};

double p1=A[0]+A[1]/T+A[2]*Math.log(T)+A[3]*T+A[4]*((A[5]-
T)/T)*Math.log(A[5]-T);

p1=Math.exp(p1);

double p2=-A[1]/(T*T)+A[2]/T+A[3]-A[4]/T-A[4]*(-A[5]/(T*T)-1)*Math.log(A[5]-
T);

p2=p2*p1;

return p2;

    }

public double ortalama(double x[])

    { //ortalama değerleri hesaplar

int N=x.length;

```

```

double tot=0;

for(int i=0;i<N;i++) tot+=x[i];

return tot/N;

}

public double s(double x[],int j,int m)

    { // j çevresinde +/- m/2 veri bölgesinde

        // yerel standart sapma değerlerini hesaplar

        int N=x.length;

        int m1,m2,m3,m4;

        m1=m/2;

        m2=j-m1;

        m3=j+m1;

        if(m2<0) { m2=0;m3=m;if(m3>N){ m3=N;}}

        elseif(m3>N) { m3=N;m2=m3-m;if(m2<0){ m2=0;}}

        double tot=0;

        m4=m3-m2;

        double y[]=new double[m];

        for(int i=m2;i<m3;i++) { y[i-m2]=x[i];}

        double yort=ortalama(y);

        double yi=0;

        for(int i=0;i<m;i++)

            { yi=y[i]-yort;

            tot+=yi*yi;

            }

```

```
return Math.sqrt(tot/(m-1));
}
```

```
public double W(int i, int m)
```

```
{ //weightfunction
```

```
double dd = s(xi, i, m) + dPsdT(xi[i]) * s(yi, i, m);
```

```
return 1/(dd*dd);
```

```
}
```

```
double Ps(double t, double ai[])
```

```
{
```

```
    // t derece C
```

```
    // samplespecificfunction m dimensional independent variable
```

```
    // independent variables : x[0], x[1]...x[m-1]
```

```
double T = t + 273.15;
```

```
double b0 = ai[0];
```

```
double b1 = ai[1];
```

```
double a4 = ai[2];
```

```
double a5 = ai[3];
```

```
double a6 = ai[4];
```

```
double a7 = ai[5];
```

```
double Tc = 374.23;
```

```
double Tt = 169.861;
```

```
double Pt = 0.42; //kPa
```

```

double Pc=4056;

double A=(Tc-Tt)/Tt;

double tt=(T-Tt)/(Tc-Tt);

double R=8.314471;

double s=b0/R;

double r=b1/(R*Tt)-s;

double q=(1+A*tt);

double rat=A*r*tt/q;

//System.out.println("R="+R+"s="+s+"r="+r+"q="+q+"rat="+rat);

double P0=1.0-Pt/(Pc-Pt)*(1-Math.pow(q,s)*Math.exp(rat));

double tf=1-tt;

double teta=0.199;

double P1=2-a4*tf+a5*Math.pow(tf,(2.0-teta))+ a6*tf*tf*tf+a7*tf*tf*tf*tf;

double N=87.0*Tt/Tc;

double pi=Math.pow((Math.pow(P0,N)+Math.pow(P1,N)),(1.0/N));

//System.out.println("P0="+P0+"P1="+P1+"pi="+pi+"N="+N);

return (pi-1.0)*(Pc-Pt)+Pt; //kPa

}

public double func(double ai[])

{

double ff=0;

double dP;

double yy;

double xx[]=new double[xi.length];

```

```

double Wi;

for(int i=0;i<nn;i++)
    {
        dP=Ps(xi[i],ai);
        yy=yi[i];
        //System.out.println("t="+xi[i]+"dP="+dP+"yy="+yy+"Pst="+Ps(xi[i]));
        dP-=yy;
        Wi=W(i,30);
        ff+=Wi*dP*dP;
        //System.out.println("x="+xi[i]+"yy="+yy+"dP="+dP+"ff="+ff+"Wi="+Wi);
    }
return ff;
}
}

```

```

public class SCO11H1
{
    public static double[] nelder(f_xjfnelder, double a[], double
    da[], int maxiteration, double tolerance, int printlist)
    {
        double x[][]=new double[a.length+1][a.length];
        for(int i=0;i<x.length;i++)
            {for(int j=0;j<x[0].length;j++)
                {if(i==j){x[i][j]=a[j]+da[j];}
                else {x[i][j]=a[j]; }
            }
    }
}

```

```

}

// Nelder mead çok boyutlu simplexminimizasyon metodu

// Nelder& Mead 1965 Computer J, v.7, 308-313.

// Giriş değişkenleri tanımlaması

// fnelder :abstract çok boyutlu fonksiyon f(x)

// x : for n boyutlu n+1 simplex noktasını içerir bağımsız değişken seti

// maxiteration : maximum iterasyon sayısı

// tolerance :

int NDIMS = x.length-1;

int NPTS = x.length;

int FUNC = NDIMS;

intncalls = 0;

//////// başlangıç simplexini oluştur //////////

double p[][]=new double[NPTS][NPTS]; // [row][col] = [whichvx][coord,FUNC]

double z[]=new double[NDIMS];

doublebest = 1E99;

////////// ilk fonksiyon değerlerini hesapla //////////

for (int i=0; i<NPTS; i++)

{

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

{p[i][j] = x[i][j];}

p[i][NDIMS] = fnelder.func(p[i]);

}

```



```

int iter=0;

for (iter=1; iter<maxiteration; iter++)

    {

        //////////// lo, nhi, hi noktalarını tanımla ////////////

        intilo=0, ihi=0, inhi = -1; // -1 meansmissing

        doubleflo = p[0][FUNC];

        doublefhi = flo;

        doublepavg,sterr;

        for (int i=1; i<NPTS; i++)

            {

                if (p[i][FUNC] <flo)

                    {flo=p[i][FUNC]; ilo=i;}

                if (p[i][FUNC] >fhi)

                    {fhi=p[i][FUNC]; ihi=i;}

            }

        doublefnhi = flo;

        inhi = ilo;

        for (int i=0; i<NPTS; i++)

            if ((i != ihi) && (p[i][FUNC] >fnhi))

                {fnhi=p[i][FUNC]; inhi=i;}

                //////////// çıkış kriteri ////////////

            if ((iter % 4*NDIMS) == 0)

                {

                    //yi nin standart hata kriteri set değerinden (tolerance)

```

```

        // küçük olmalı

        // ortalama değeri hesapla (en büyük değer de dahil olmak üzere)

pavg=0;

for(int i=0;i<NPTS;i++)

pavg+=p[i][FUNC];

pavg/=NPTS;

doubletot=0;

if(printlist!=0)

{ System.out.print(iter);

for (int j=0; j<=NDIMS; j++)

{ System.out.print(p[ilo][j]+" ");}

System.out.println("");

}

for(int i=0;i<NPTS;i++)

{ tot=(p[i][FUNC]-pavg)*(p[i][FUNC]-pavg);}

sterr=Math.sqrt(tot/NPTS);

        //if(sterr<tolerance)

{ for (int j=0; j<NDIMS; j++)

{ z[j]=p[ilo][j];

        //break;

}

best = p[ilo][FUNC];

}

```

```
///// ave[] vektorünü en büyük değeri hariç tutarak hesapla /////
```

```
doubleave[] = new double[NDIMS];

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

ave[j] = 0;

for (int i=0; i<NPTS; i++)

if (i != ihi)

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

ave[j] += p[i][j];

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

ave[j] /= (NPTS-1);

////////// yansıt ////////////

double r[] = new double[NDIMS];

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

r[j] = 2*ave[j] - p[ihi][j];

doublefr = fnelder.func(r);

if ((flo<= fr) && (fr<fnhi)) // in zone: accept

{

for (int j=0; j<NDIMS; j++)

p[ihi][j] = r[j];

p[ihi][FUNC] = fr;

continue;

}
```

```
if (fr<flo) //// genişlet, else kabul et
```

```
{
```

```
double e[] = new double[NDIMS];
```

```
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
```

```
e[j] = 3*ave[j] - 2*p[ihi][j];
```

```
double fe = fnelder.func(e);
```

```
if (fe <fr)
```

```
{
```

```
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
```

```
p[ihi][j] = e[j];
```

```
p[ihi][FUNC] = fe;
```

```
continue;
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
```

```
p[ihi][j] = r[j];
```

```
p[ihi][FUNC] = fr;
```

```
continue;
```

```
}
```

```
}
```

```
////////// daralt:
```

```

if (fr<fhi)
    {
double c[] = new double[NDIMS];
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
c[j] = 1.5*ave[j] - 0.5*p[ihi][j];
doublefc = fnelder.func(c);
if (fc<= fr)
    {
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
p[ihi][j] = c[j];
p[ihi][FUNC] = fc;
continue;
    }
else /////// daralt
    {
for (int i=0; i<NPTS; i++)
if (i != ilo)
    {
for (int j=0; j<NDIMS; j++)
p[i][j] = 0.5*p[ilo][j] + 0.5*p[i][j];
p[i][FUNC] = fnelder.func(p[i]);
    }
continue;

```

```

        }
    }

    if (fr >= fhi) ///
        {

        double cc[] = new double[NDIMS];

        for (int j=0; j<NDIMS; j++)

        cc[j] = 0.5*ave[j] + 0.5*p[ihi][j];

        double fcc = fnelder.func(cc);

        if (fcc < fhi)
            {

            for (int j=0; j<NDIMS; j++)

            p[ihi][j] = cc[j];

            p[ihi][FUNC] = fcc;

            continue;

            }

        else ///////////////

            {

            for (int i=0; i<NPTS; i++)

            if (i != ilo)

                {

                for (int j=0; j<NDIMS; j++)

                p[i][j] = 0.5*p[ilo][j] + 0.5*p[i][j];

                p[i][FUNC] = fnelder.func(p[i]);

```

```

        }
    }
}

return z;

}

publicstaticdouble[] nelder(f_xjfnelder,double a[],double da[],doubletolerance)
    {returnnelder(fnelder,a,da,300,tolerance,0);}

publicstaticdouble[] nelder(f_xjfnelder,double a[],double da[])
    {returnnelder(fnelder,a,da,5000,1.0e-20,0);}

    publicstaticvoid main(Stringargs[]) throwsIOException
    {
        //Stringin_name=JOptionPane.showInputDialog(" veri dosyasının isminigiriniz :
        ");
        Stringin_name="R134a_Ps.txt";

        double a[];

        a=new double[6];

        a[0] = 50;//-45.37032;

        a[1] = 26233.885;

        a[2] = 4.164859;

        double a4=a[2];

        a[3] = -0.11599104+0.29506258*a4*a4-0.00021222*a4*a4*a4*a4;

        a[4] = -0.01546028+0.0897816*a4*a4-0.05322199*a4*a4*a4;
    }
}

```

```

a[5] = -0.05725757-0.06817687*a4+0.00047188*a4*a4*a4*a4*a4;

double da[];

da=new double[6];

da[0] =100;

da[1] =100000;

da[2] =100;

da[3] =100;

da[4] =100;

da[5] =100;

fxa f=new fxa(in_name,a);

int i=0;

double t=100;

System.out.println("t="+t+"p="+f.Ps(t,a)+"F="+f.func(a));

double p[]=nelder(f,a,da,2000,1e-30,1);

String s1=" optimizasyon değeri : \n"+Matrix.toStringT(p)+"\n";

s1+="orijinal fonksiyon değeri = "+f.func(a)+"\n";

s1+="fonksiyon değeri = "+f.func(p);

String s2="Nelder-Mead en küçük kareler lineer olmayan eğri uydurma : ";

JOptionPane.showMessageDialog(null,s1,s2,JOptionPane.PLAIN_MESSAGE);

}

}

```