



GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

Edanur KAYA

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE
DENEYSEL ANALİZİ**

Edanur KAYA

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Edanur KAYA tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Edanur KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTMA SİSTEMİN TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

Edanur KAYA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Haziran 2021, 72 sayfa

Bu çalışmada, kurutma işlemi esnasında gerekli olan enerji ihtiyacının azaltılmasına yönelik ısı borulu düzlemsel güneş kollektörlü ve ısı geri kazanımlı bir kurutma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kurutma sistemi; Karabük ili iklim şartlarında, sabit 1 m/s kurutma hızında, farklı ışınım değerlerinde, kuruma havası sıcaklığının değişimleri, ürün kütle kaybı ve kalitesi, ısı geri kazanımının sisteme katkısı deneysel olarak incelenmiş ve teorik analizleri yapılmıştır. Sistemde kapalı çevrimde içerisine ürün konulmadan yapılan deneyde sabit hava hızında ve ortalama 770 W/m^2 ışınım değerinde kurutucu sıcaklığının dış hava sıcaklık değerinin yaklaşık olarak %49'lük bir artışla ortalama $14.63 \text{ }^\circ\text{C}$ üzerine çıktığı belirlenmiştir. Kurutma sisteminde 5 mm'lik dilimlenmiş 200 g kivi kullanılmıştır.

Etüv fırınında kurutulan kivilerde yaş baza göre hesaplanan nem miktarı 0.83 g su/g yaş madde, kuru baza göre hesaplanan nem miktarı 4.94 g su/g kuru madde ve kuru

madde miktarı %16,8 olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemine, son üç ağırlık değeri eşit çıkana kadar devam edilmiş ve nem değeri 0.17 g su/g yaş madde olana kadar kurutma gerçekleştirilmiştir. Deneyle sonucunda ortalama 39.4 g değerine kadar kurumanın gerçekleştiği ve ürün ağırlığının %80 azaldığı belirlenmiştir. Sistemin genel verimi 4 Eylül saat 15:50'de 694,3 (W/m²) ışınım değerinde maksimum %39, ısı borulu kollektörün ortalama verimi %24 ısı geri kazanım ünitesinin verimi %28'dir. Kurutma işleminde harcanan enerjinin %27 sini ısı geri kazanım ünitesi, %73'ü de ısı borulu kollektör tarafında karşılanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, Isı borusu, Kurutma.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SOLAR HEAT PIPE DRYING SYSTEM

Edanur KAYA

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

June 2021, 72 pages

In this study, a heat recovery drying system with heat pipe, planar solar collector and heat recovery was designed to reduce the energy requirement during the drying process. Designed drying system; Changes in drying air temperature, product mass loss and quality, contribution of heat recovery to the system were experimentally examined and theoretical analyzes were made in Karabuk climatic conditions, constant drying rate of 1 m/s, different irradiation values. In the experiment, which was carried out in the closed cycle without putting the product inside the system, it was determined that the dryer temperature increased to an average of 14.63 °C with an increase of approximately 49%, at a constant air speed and an average irradiance value of 770 W/m². In the drying system, 200 g of 5 mm sliced kiwi was used. In the kiwis dried in the oven, the moisture content calculated according to the wet base was 0.83 g water/g wet matter, the moisture content calculated according to the dry basis was 4.94 g water/g dry matter and the dry matter amount was 16.8%. The

drying process was continued until the last three weight values were equal and drying was carried out until the moisture value was 0.17 g water/g wet matter. As a result of the experiments, it was determined that the average drying rate was 39.4 g and the product weight decreased by 80%. The overall efficiency of the system at 15:50 on September 4, at an irradiance value of 694.3 (W/ m²), is maximum 39%, the average efficiency of the heat pipe collector is 24%, and the efficiency of the heat recovery unit is 28%. 27% of the energy consumed in the drying process was met by the heat recovery unit and 73% by the heat pipe collector.

Key Word : Solar energy, Heat pipe, Drying.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması sürecinde tecrübelerini benden esirgemeyen, bilimsel bilgilerini tüm sabır ve anlayışıyla aktaran, gücümün yetmediği yerde atölye önlüğünü giyip benim için saatlerini harcayan, bana olan güvenini her zaman hissettiren ve bende olan saygısını satırlara sığdıramayacak olduğum kıymetli hocam Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Hayatın olumlu penceresinden bakmamı öğreten, güler yüzünü hiçbir zaman eksik etmeyen, manevi desteğini her zaman hissettiren çok kıymetli, hürmete değer bölüm başkanımız Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK hocama şükranlarımı sunarım.

Bölümümde olan tüm hocalarımın isimlerini buraya yazmam mümkün olmasa da hepsinin üzerimde olan emekleri için ayrıca müteşekkirim.

Atölyesini benimle paylaşan, çalışmam için gerekli olan her malzemeyi temin etmemde bana yardımcı olan, moral ve motivasyonumu yüksek tutan Teknisyen Adem HAYAT abime teşekkür ederim.

Hayatımın her anını benimle paylaşan, desteğini her konuda hissettiren, düştüğümde beni yerden kaldıran anneme minnet duygularımı sunarım. Tüm aileme bana olan güvenleri ve emekleri için çok teşekkür ederim. Her sıkıntımızı birlikte göğüsleyip üstesinden geldiğimiz kıymetli kardeşim Müh. Zeynep KAYA'ya ayrıca teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
LİTERATÜR TARAMASI.....	6
BÖLÜM 3	14
KURUTMA VE KURUTMA YÖNTEMLERİ.....	14
3.1. KURUTMA.....	14
3.2. KURUTMA YÖNTEMLERİ.....	15
3.2.1. Güneşte Kurutma.....	15
3.2.2. Döner Kurutma.....	15
3.2.3. Püskürtmeli (Sprey) Kurutma	16
3.2.4. Tünel Kurutma	17
3.2.5. Dielektik ve Mikrodalga Kurutma	17
3.2.6. Bantlı Kurutma	18
3.2.7. Kızılötesi (Radyant) Kurutma	18
3.2.8. Pnömatik (Flaş) Kurutma	18
3.2.9. Dondurarak Kurutma.....	19
3.2.10. Silindirik Kurutma.....	19

	<u>Sayfa</u>
3.2.11. Akışkan Yataklı Kurutma	19
3.3. KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI.....	20
3.3.1. Yüksek Sıcaklıklı Kurutucular	20
3.3.2. Düşük Sıcaklıklı Kurutucular	21
3.4. KURUTUCU SEÇİMİ	22
BÖLÜM 4	28
GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ VE GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA.....	28
4.1. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	29
4.1.1. Odaklanabilen Kollektörler	30
4.1.2. Sabit Kollektörler.....	30
4.1.2.1. Düzlemsel Kollektörler	30
4.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMLERİ	34
4.2.1. Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Çalışma Prensipleri	35
4.2.2. Güneş Enerjisi ile Kurutmanın Önemi	36
4.2.3. Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	36
4.2.3.1. Hava Dolaşımını Sağlama Türüne Göre Kurutucular.....	37
4.2.3.2. Güneş Işınlarnın Tutulma Şekline Göre Kurutucular	39
BÖLÜM 5	44
MATERYAL VE YÖNTEM	44
5.1. GÜNEŞ ENERJİLİ, ISI BORULU VE ISI GERİ KAZANIMLI KURUTMA SİSTEMİ	44
5.1.1. Isı Borulu Kollektör	45
5.1.2. Kurutma Odası.....	47
5.1.3. Isı Geri Kazanım Ünitesi	48
5.1.4. Kullanılan Ölçme ve Kontrol Cihazları.....	49
5.2. YÖNTEM.....	50
5.2.1. Kurutma Sisteminin Teorik Analizi.....	50
BÖLÜM 6	58
DENEYLER, BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	58

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	66
SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	3
Şekil 1.2. Türkiye'nin radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	3
Şekil 2.1. Kurutma sisteminin şematik gösterimi	7
Şekil 2.2. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi.	7
Şekil 2.3. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi.	8
Şekil 2.4. Konvektif kurutmanın şematik gösterimi.	9
Şekil 2.5. Mikrodalga kurutmanın şematik gösterimi	10
Şekil 2.6. Konvektif tip kurutucunun şematik gösterimi.	11
Şekil 2.7. Türkiye'nin radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	12
Şekil 2.8. Konvektif kurutucunun şematik gösterimi.	13
Şekil 3.1. Askı kurutucu	16
Şekil 3.2. Püskürtmeli tip kurutucunun süreç aşaması.	16
Şekil 3.3. Tünel tip kurutucularda vagonlarda malzeme akışı, hava akışı ve tekrar dolaşım uygulaması	17
Şekil 3.4. Bant tipi kurutucu.	18
Şekil 3.5. Kurutucuların sınıflandırılmasının şematik gösterimi.	22
Şekil 3.6. Kurutucu seçimlerinde izlenen işlem basamakları.	25
Şekil 4.1. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması	29
Şekil 4.2. Düzlemsel havalı güneş kolektör yapısı.	31
Şekil 4.3. Güneş enerjili kurutma sistemi diyagramı.	35
Şekil 4.4. Aktif ve pasif kurutucu şekilleri.	37
Şekil 4.5. Açıkta güneş enerjili kurutma.....	39
Şekil 4.6. Doğrudan güneş enerjili kabin kurutucu.	40
Şekil 4.7. Dolaylı güneş enerjili kurutucunun çalışma prensibi.	41
Şekil 5.1. Sistemin şematik görünüşü ve ölçüm alınan noktalar.	44
Şekil 5.2. Isı borulu güneş kolektörü.	45

Sayfa

Şekil 5.3. İmalatı tamamlanan ısı borulu kollektör.....	46
Şekil 5.4. Kurutma odasının şematik gösterimi.....	46
Şekil 5.5. Kurutma tavaları.....	47
Şekil 5.6. Isı geri kazanım ünitesi.....	47
Şekil 6.1. 28-29 Ağustos günlerine ait sıcaklık değişimleri	57
Şekil 6.2. 4 Eylül gününe ait ışıma bağlı sıcaklık değişim.....	58
Şekil 6.3. 4 Eylül açık çevrimli kurutmada ışıma ve zamana bağlı ağırlık ve bağlı nem değişimi..	59
Şekil 6.4. 4 Eylül 2019 açık çevrim sistem verimi ve enerji kazanım değerleri.	60
Şekil 6.5. Enerji kazançlarının yüzdeler dağılım değerleri.....	60
Şekil 6.6. Zamana bağlı nem içeriği değişimi.	61
Şekil 6.7. Zamana bağlı nem oranı değişimi.	62
Şekil 6.8. Kivi ürününün kurutmadan önceki ve sonraki görünüşleri.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kurutucu tipine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji	26
Çizelge 3.2. Bazı sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklıklarıyla kuruma süreleri	26
Çizelge 3.3. Gıdaların kurutulmasında kullanılan kurutucu tiplerinin özellikleri ve kullanıldığı alanlar	27
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri	48
Çizelge 5.2. Sistemin teorik analizlerinde kullanılan parametreler	54
Çizelge 5.3. Analitik sonuçlar	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

MC_{KA} : Kuru ağırlığa göre nem miktarı

MC_{YA} : Yaş ağırlığa göre nem miktarı

M_i : Ürünün ilk ağırlığı (g)

M_s : Ürünün son ağırlığı (g)

NO : Nem oranı

Y_A : Yaş ağırlık

K_A : Kuru ağırlık

SMER : Özgül nem çekme oranı (g/Wh)

\dot{m}_d : Saatlik kuruma miktarı

\dot{W}_f : Fan gücü (W)

Q_g : Sisteme giren enerji (W)

A : Yüzey alanı (m^2)

I : Işınım (W/m^2)

$Q_{ç1}$: Sistemden egzoz edilen enerji kaybı (W)

$Q_{ç2}$: İletimle gerçekleşen enerji kaybı (W)

\dot{m} : Kütleli debi (kg/s)

m_0 : Başlangıç nem içeriği (g su/g yaş madde)

m_t : Herhangi bir zamandaki nem miktarı (g su/g yaş madde)

m_e : Denge nem içeriği

a_w : Su aktivitesi

C_p : Havanın özgül ısısı (1.009 kJ/kg°C)

K : Isı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)

Δt : Sıcaklık farkı (°C)

η_t : Termal verim

v : Hava hızı (m/s)

- ρ_{hava} : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
- $C_{p,hava}$: Havanın özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
- Pr : Prandtl sayısı
- k_y : Yalıtım malzemesinin iletim katsayısı ($W/m.K$)
- k_s : Sunta malzemesinin iletim katsayısı ($W/m.K$)
- k_h : Ortalama 40° 'de havanın iletim katsayısı ($W/m.K$)
- h_i : Kanal içi ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- h_d : Kanal dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- L_y : Yalıtım malzemesinin kesit kalınlığı (m)
- L_s : Sunta malzemesi kesit kalınlığı (m)
- L : Sistemin düşeyde karakteristik uzunluğu (m)
- Ra : Rayleigh sayısı
- Re : Reynolds sayısı
- Nu : Nusselt sayısı
- Q_{ibk} : Isı borulu kollektörden kazanılan enerji (W)
- Q_{ig} : Isı geri kazanım cihazından kazanılan enerji (W)
- T_1 : Kollektör çıkış sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_2 : Fırın sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_3 : Kollektör giriş sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_4 : Dış hava sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_h : Taze hava sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_y : Yüzey sıcaklığı ($^\circ C$)
- T_∞ : Ortam sıcaklığı ($^\circ C$)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan talep her geçen gün daha fazla artmakta ve bu artış enerji kaynaklarının tükenmesi tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Birçok bilim insanını harekete geçiren neden yalnızca enerji kaynaklarının tükeniyor olması değil, aynı zamanda dünyanın gelecek nesillere bırakılacak miras olmasından dolayı çevre için temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir kaynak arayışıdır. Tüm bu etmenler değerlendirilecek olursa alternatif enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artmaktadır.

Alternatif enerji kaynakları olarak nitelendirilen kavramlar güneş, rüzgar, biyokütle, hidrojen, jeotermal enerji ve dalga enerjisinden oluşan su gücü enerjileri olarak sınıflandırılabilir. Bütün bu sıralanan enerji kaynakları, çevreye verdikleri zararın fosil yakıtlara göre daha az olmaları ve dünya için daha güvenilir olmaları sayılabilecek avantajlarındandır. Son yıllarda, en çok kullanılan ve elde edilen enerji miktarını arttırmaya yönelik üzerinde ar-ge çalışmaları yapılan enerji kaynağı şüphesiz güneştir.

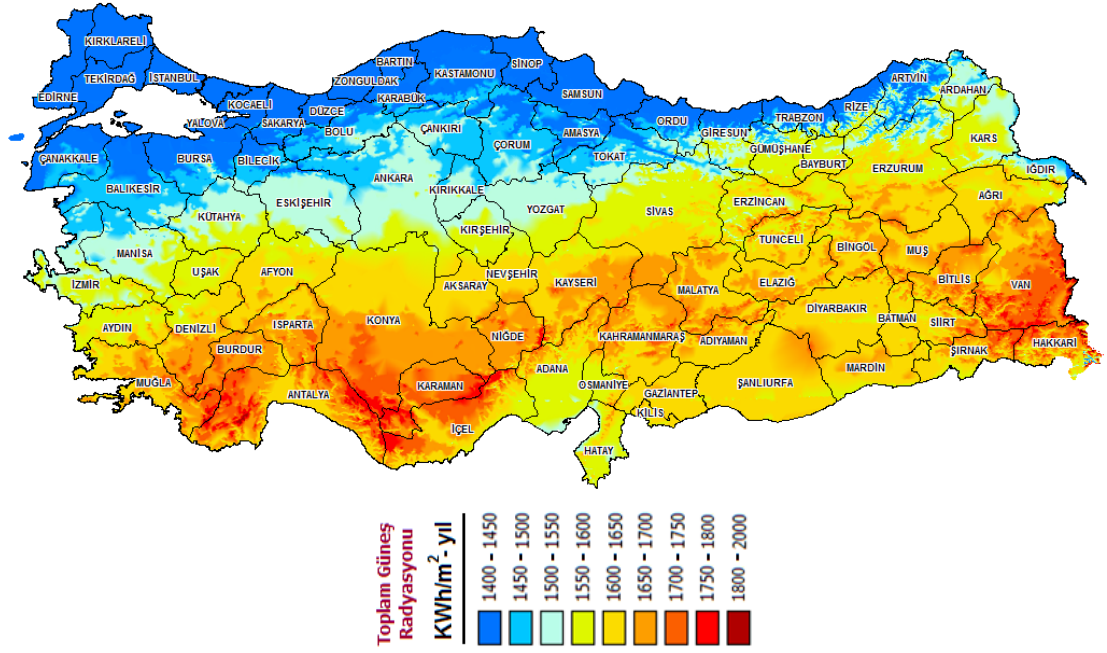
Güneş 1,4 milyon km çapıyla dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan 1,5x10¹¹ m uzaklıkta yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzeysel sıcaklığı yaklaşık 6.000 °K olup iç bölgelerindeki sıcaklığın 8x10⁶ °K ile 40x10⁶ °K arasında değiştiği tahmin edilmektedir [1].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji

tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [2].

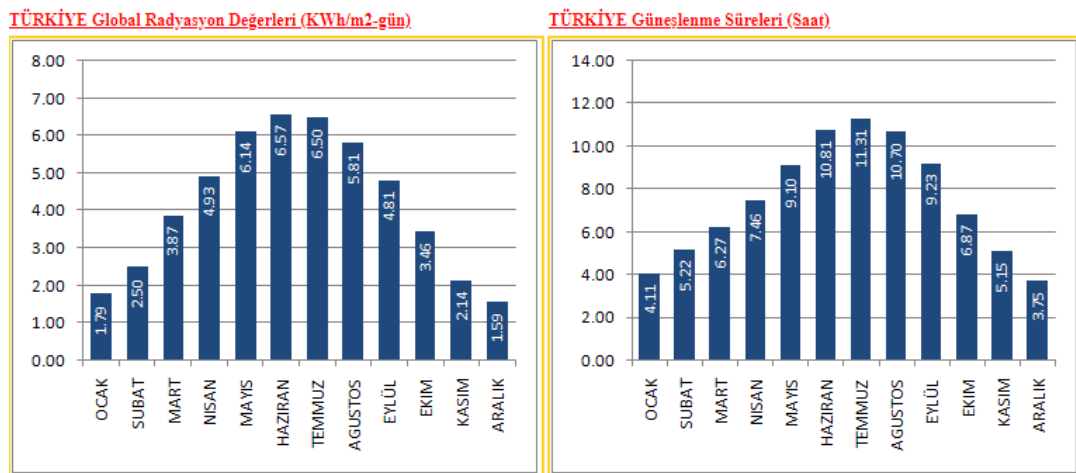
Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüşmesinde gizlidir. 4 hidrojen atomu 4,032 birim ağırlıkta, hâlbuki 1 Helyum atomu 4,003 birim ağırlıktadır. Bu olay sonucu 0,029 birim ağırlık Einstein'ın madde-enerji bağıntısı sonucu enerjiye dönüşmektedir. Yani güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Toplam enerji rezervi $1,785 \times 10^{47}$ J olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışınmasını sürdüreceğinden Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır [1] .

Türkiye güneş enerjisi haritası incelendiğinde (Şekil 1.1), tüm canlılar için temel enerji kaynağı olan güneşten endüstriyel olarak da fazlasıyla verim alınabileceği görülmektedir. Yapılan araştırmalara göre güneşin enerjisi önümüzdeki 5 milyar yıl daha aynı şekilde devam edecektir. Bu da insanoğlu için güneşin vazgeçilmez ve en sürdürülebilir kaynaklardan biri olduğunu göstermektedir [3].



Şekil 1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [2].

Türkiye’de illere göre güneşlenme süreleri incelendiğinde (Şekil 1.2) en fazla ve en az güneş alan ayların Temmuz ve Aralık ayları olduğu görülmektedir. İllere göre güneş ışınım değerleri göz önünde bulundurulduğunda Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1.100 kWh’lik enerji üretilebileceği gözlemlenmektedir. Türkiye’de yıllık toplam güneşli saat miktarı ise 2.640 saattir [3].



Şekil 1.2. Türkiye'nin radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri [2].

Güneydoğu bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.460 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.993 saattir. Akdeniz bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.390 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.956 saattir. Doğu Anadolu bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.365 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.664 saattir. İç Anadolu ise bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.314 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.628 saattir [3].

Ege bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.304 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.738 saattir. Marmara bölgesinde ise toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.168 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 2.409 saattir. Karadeniz bölgesinde toplam ortalama güneş enerjisi yılda 1.120 kWh/m² iken senede ortalama güneşlenme süresi 1.971 saattir [3].

Güneş enerjisi sistemlerinde ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması, Türkiye genelindeki illerde güneş ışınımının oldukça verimli olması, güneş enerjisinin çevreci ve bedava bir enerji kaynağı olması avantajlarıdır. Ancak güneş enerjisinin sürekli bir enerji olmayışı dezavantajı da vardır. Endüstriyel anlamda büyük sorunlara neden olabilecek bu durumdan dolayı güneş enerji sistemlerinin tek başına kullanımının birçok uygulama için yeterli olmayacağı görülmektedir. Bu gibi durumlarda, güneş enerjisi destek amaçlı ikincil enerji kaynağı olarak kullanılır [4]. Güneşin ikincil enerji olarak kullanıldığı farklı birçok alanlar sıralanabileceği gibi söz konusu bu çalışmada ele alınacak konu organik ürün kurutmasıdır.

Kurutmanın tarihsel gelişimine bakıldığında, ilk çağlardan beri insanoğlu gıdalarını daha uzun süre muhafaza edebilmenin yanında depolama alanlarında ki sorunları da ortadan kaldırmak amacıyla kurutma işlemine gereksinim duymuşlardır. Bu tür işlemlerinde daha çok güneşte kurutma yapmışlardır. Bugün ise gelişen teknolojiyle birlikte kurutma işlemi çok daha farklı yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni yalnızca kurutma amacına odaklanmak değil, aynı zamanda enerji ihtiyacını en aza indirip en verimli kurutmayı gerçekleştirebilmektir. Ekonomiklik açısından ve tükenen fosil yakıtlarına alternatiflik açısından güneş enerjisi desteğinin önemi göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Tasarlanıp imalatı yapılan bu çalışmayla, enerji tüketimine çözüm bulmanın yanında, kurutulacak ürünlerin fazla yer kaplamadan, kapalı ortamlarda ürünleri dış ortamın olumsuz etkilerine maruz bırakmadan daha hijyenik bir kurutma gerçekleştirmek amaçlanmıştır.

Çalışmada; güneş enerjili, ısı borulu, ısı geri kazanımlı bir kurutma sistemi tasarlayarak imal etmek ve bu sistemde kivi meyvesi kurutulmasının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan kurutma sisteminde güneş kollektörü düzlemsel ısı borulu kollektör olup, ısı borularında akışkan olarak etanol kullanılmıştır. Kurutma havası sistemde kanal içerisinde ısıtılarak, kanal tipi fan ile kurutma kabineine gönderilmektedir. Fırın içerisinde hava hızı 1 m/s olarak sabit tutulacaktır.

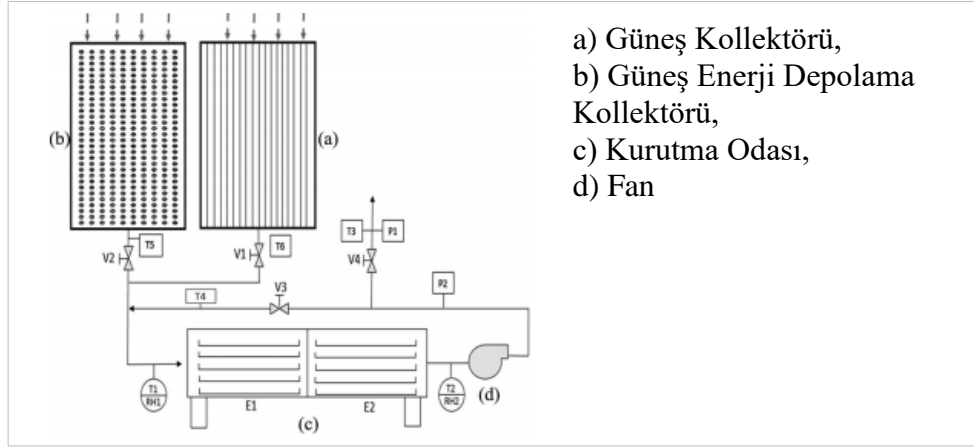
Çalışmanın kapsamında; Karabük ili iklim şartlarında, sabit kurutma hızında, değişen ışınım değerlerine bağlı (farklı günlerde), kuruma havası sıcaklığının değişimleri, ürün kalitesi ve ısı geri kazanımının sisteme katkısının deneysel olarak incelenmesi ve teorik analizleri yer alacaktır. Tasarlanan kurutma sistemi ile, enerji tasarrufunun yanında fazla yer kaplama sorunu olmadan, ürünlerin direkt güneş ışınımına maruz kalmadan kapalı ortamda, dış etkilerden koruyarak hijyenik bir kurutma gerçekleştirilecektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

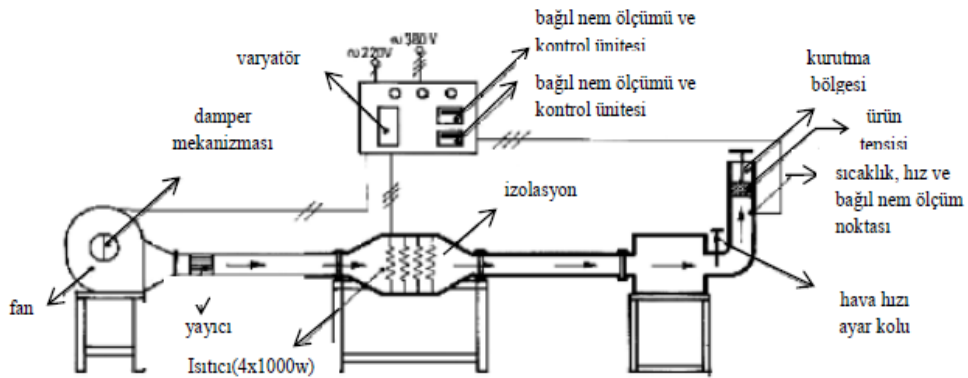
Literatür araştırmasında, güneş enerjisi destekli direkt doğal kurutma ve yapay kurutma olarak adlandırılan endirekt (doğrudan ışıma maruz kalmayan) kurutma sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Söz konusu çalışma doğrultusunda literatür taraması yapılırken öncelik endirekt yani doğrudan güneş ışımasına maruz bırakılmadan gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde kullanılan kurutucular olmuştur. Bu alanda yapılmış olan çalışmalardan bazıları incelenmiş ve aşağıda bu çalışmalara yer verilmiştir.

Reyes ve ark. (2019), güneş ışımasındaki değişimlerden dolayı kurutma işleminin süresini uzatabilmek için ek enerji kaynakları kullanılması gerektiğini düşünerek kontrol sistemli faz değiştirme yöntemiyle enerji depolayan bu çalışmayı yapmışlardır. Tasarladıkları sistemde (Şekil 2.1) güneş kolektörü ve güneş ışınlarını depo edecek kolektör kullanmışlardır. Güneş kolektörüyle kurutma işlemi gerçekleştirdiklerinde ışımanın yeterli olmadığı belirli bir süreden sonra kontrol sistemiyle depo edilmiş güneş enerjisi devreye girerek kurutma işleminin süresini uzatmışlardır. Kontrol sistemi kullanılmadan depo edilen enerjinin %43'ü kullanılmasına rağmen bu değer kontrol sistemiyle %10'dur. Yani bunun da kurutma işleminin süresini uzatacağını göstermişlerdir. Ayrıca bu çalışmayla kivilerin nem içeriği, toplam polifenoller ve antioksidan kapasitelerini değerlendirmişlerdir ve dondurularak kurutma ile karşılaştırmışlardır. Tasarladıkları kolektörlerin %56 ile 76 arasında verim hesaplamaları yapmışlardır. Kivi dilimlerinin kalınlıklarının da kurutmaya olan etkileri incelenmiş ve en yüksek kuruma oranının 4 mm kivi dilimlerinde olduğunu göstermişlerdir [5].



Şekil 2.1. Kurutma sisteminin şematik gösterimi [5].

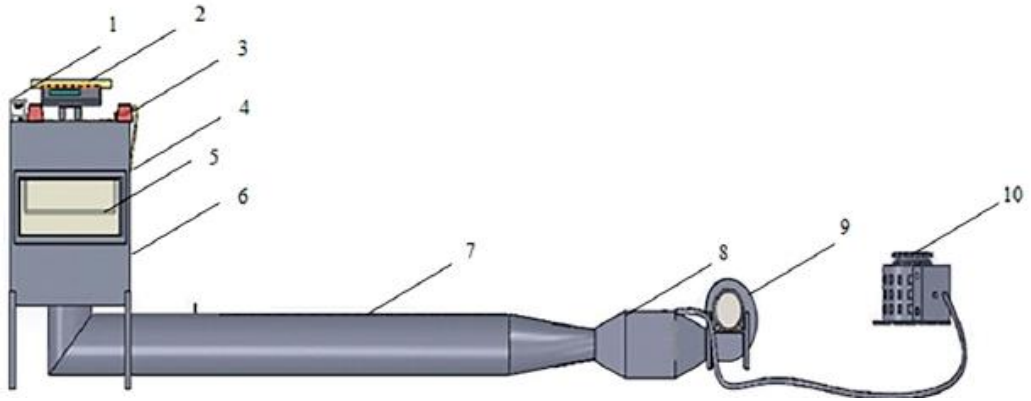
Mengeş ve ark. (2019), yaptıkları çalışmayla (Şekil 2.2) dilimlenmiş kivilerin kurumasına etki eden kurutma parametrelerinin kurutmaya olan etkilerini incelemişlerdir. İnceleme parametrelerini kolorimetrik farklar, antioksidan kapasitesi ve toplam fenollerini üzerine olmuştur. Kivilerin ilk nem içeriği % 83.57 iken % 20 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Yapılan çalışmada kivilerin dilimlenme kalınlıklarının, kurutma havası hızının da kurutmaya etki ettiğini gözlemlemişlerdir. Ölçümlerde 35-65 °C arasındaki sıcaklık artışlarıyla kuruma süresinin yaklaşık olarak % 62.5 azaldığını görmüşlerdir. Renklerinde olan değişimleri incelediklerinde ise kurutma işlemlerinde renk skalasındaki değerlerin sıcaklıktan etkilendiğini tespit etmişlerdir. Esmerleşme indeksine göre kurutma işlemi kivi meyvesinde daha kahverengi bileşiklere neden olduğunu belirlemişlerdir [6].



Şekil 2.2. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi [6].

Özgen ve Çelik (2018), yapmış oldukları bu çalışmayla kivi meyvesinin konvektif kurutucuda (Şekil 2.3) kurutulması işlemini deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Kurutma işleminde hız, kivi dilimlerinin kalınlığı ve kuruma süresini değişken parametreler olarak almışlardır. 45°C sıcaklık ve 0.5, 1 ve 1.5m/sn hava hızlarıyla 4mm ve 8mm kalınlıklarındaki kivilerle deneyler gerçekleştirilmiştir. Kurutma hızının ve ürünün nem içeriğinin ürünün kalınlığından etkilendiğini tespit etmişlerdir. Kurutma havası hızının artırılmasıyla ve dilim kalınlıklarının düşürülmesiyle kuruma süresinin azaldığını gözlemlemişlerdir. En düşük kurutma süresinin 4 mm'lik dilimlerle ve 1.5 m/sn'de 225 dakika olduğunu belirlemişlerdir.

En yüksek kurutma süresini ise 8 mm kalınlıklardaki 0.5 m/sn kurutma havası hızında 750 dakika olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca kurutma havası hızlarının ürünlerin parlaklığını ve renk kalitesini koruması açısından da avantajlı olduğunu ileri sürmüşlerdir [7].



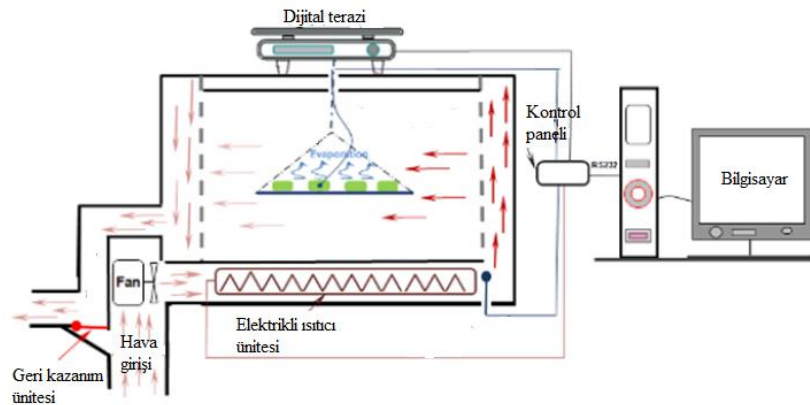
1. Nem ölçüm cihazı [HTC-1], 2.Hassas terazi (AVERY BERKEL, Model CC061), 3.Termometre – Anemometre [KIMO], 4.Çıkış, 5.Ürün tepsisi, 6.Kurutma odası, 7.Hava kanalı, 8.İsıtma sistemi, 9.Fan [SB908AN-22-3], 10.Variyak

Şekil 2.3. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi [7].

Variyenli (2018),bu çalışmasıyla düz ve hapsedici yüzeyli emici plakalı kurutma fırınları tasarlayıp imal etmiş ve performanslarını deneysel olarak karşılaştırmıştır. Güneş enerjisi destekli düz ve hapsedici yüzeyli kurutma fırınlarının performanslarının karşılaştırmasını kivi kurutarak yapmıştır. Deneylerini, 2.5, 3.0 ve 3.5 m/sn hava hızlarında gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu deneylerde; düz yüzeyli

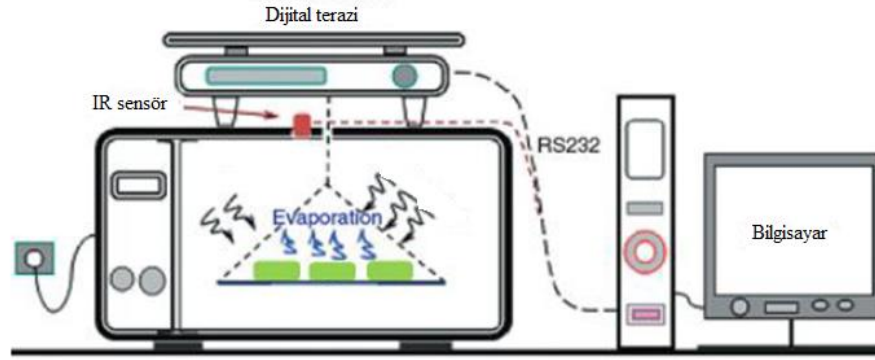
kurutma fırınının kurutma odası ortalama sıcaklığı 41.6 °C olurken, hapsedici yüzeyli kurutma fırınının kurutma odası sıcaklığını ortalama 44.1 °C olarak belirlemiştir. Yapmış olduğu kurutma işlemini üç farklı hız değerleri ile denedikten sonra düz yüzeyli kurutma fırınında olan kurutma süresini 390 dakika olarak belirlemiştir. Hapsedici yüzeyli kurutma fırınında yapılan ölçümlerde ise 2.5 m/sn'de kurutma süresi 390 dakika, 3.0 m/sn'de kurutma süresi 360 dakika ve 3.5 m/sn'de kurutma süresinin 330 dakika sürdüğünü tespit etmiştir. Deneyler sonucunda hapsedici yüzeyli kurutma fırınının düz yüzeyli kurutma fırınına göre ortalama 30 dakika daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirdiği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca yapmış olduğu duyusal analizler sonucunda, her bir kurutma havası sıcaklığında kurutulan ürünlerin kurutma işleminin ardından tadında ve renginde bir fark olmadığını tespit etmiştir [8].

Darvishi ve ark. (2018), yapmış oldukları bu çalışmayla kivi dilimlerinin farklı kurutma koşullarında kütle transferi üzerine olan özelliklerini incelemiştir. Deneyler, 0.5 – 1 m/sn hava hızında 50-80°C sıcaklıklarında konvektif kurutma için (Şekil 2.4) ve mikrodalga kurutmalar için gerçekleştirilmiştir. Konvektif kurutma için 200-500 W mikrodalga aralığında güçle 3, 6 ve 9 mm kalınlıklarında dilimlenmiş kivilerin tek sıra halinde kurutulmasıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Aldıkları sonuçlara göre kurutma işlemlerinde kütle transferi, güce bağlı olduğunu göstermişlerdir [9].



Şekil 2.4. Konvektif kurutmanın şematik gösterimi [9].

Mikrodalga kurutma için yapılan deneylerde ise 230V, 50 Hz ve 1000 W teknik özelliklere sahip dijital mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 2.5). 200, 300, 400 ve 500 W güç seviyelerinde 3, 6 ve 9 mm dilimli kalınlıklarda kiviler kullanılmıştır. Deney sistemi ortam mikrodalga kurutma için yapılan deneylerde ise 230V, 50 Hz ve 1000 W teknik özelliklere sahip dijital mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 2.5). 200, 300, 400 ve 500 W güç seviyelerinde 3, 6 ve 9 mm dilimli kalınlıklarda kiviler kullanılmıştır. Deney sistemi ortam koşullarında çalıştırılmıştır (19 °C ve %39 bağıl nem). Sonuçlar mikrodalga gücünün, hava sıcaklığının ve dilimlerin kalınlığının kurutma hızı sabitinin üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [9].

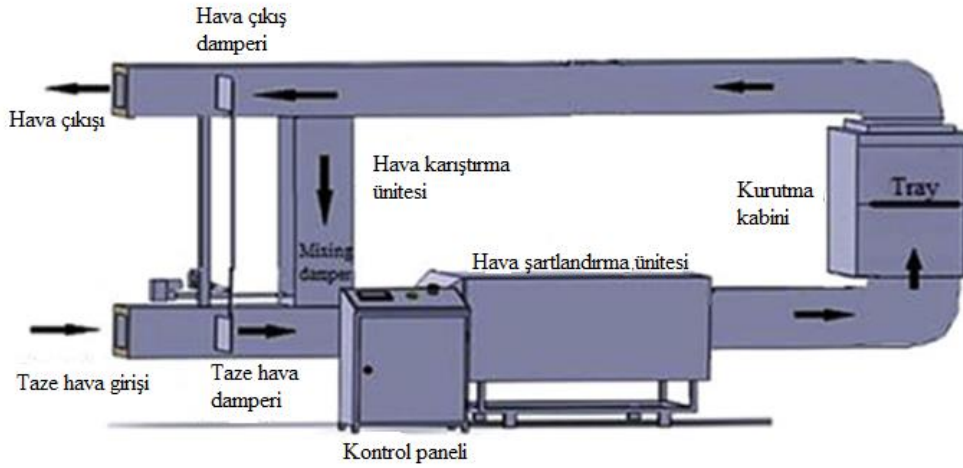


Şekil 2.5. Mikrodalga kurutmanın şematik gösterimi [9].

Sonuçlar göstermiştir ki kivi dilimlerinin kurumasında mikrodalga da kurutma konvektif kurutma hızından 16-54 kat daha yüksektir. Bu çalışmada beklenen, kurutma havasındaki sıcaklık artışı veya mikrodalga gücü ve dilimlerin kalınlığındaki azalmanın kurutma süresindeki azalmayı gözlemlemektir. Elde edilen sonuçlara göre bu veriler tutarlı olmuştur [9].

Mahjoorian ve ark.(2016), kivi kurutma da kivi dilimlerinin modellenmesini ve duyusal olarak değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarıyla kivi dilimlerinin tek tabakalı kurutulması laboratuvar ölçeğinde simüle edilmiştir. Kurutma işlemi üç farklı sıcaklık değerlerinde (50, 60 ve 70°C) gerçekleştirilmiştir. Görünüm kabulü 50, 60 ve 70°C'de kurutulmuş dilimleri arasında önemli bir fark olmadığını göstermiştir. Bu farklı sıcaklık değerleri arasında doku gevrekliği kabulü ile ilgili (çiğneme), sonuçlarında önemli bir fark olmadığını göstermişlerdir [10].

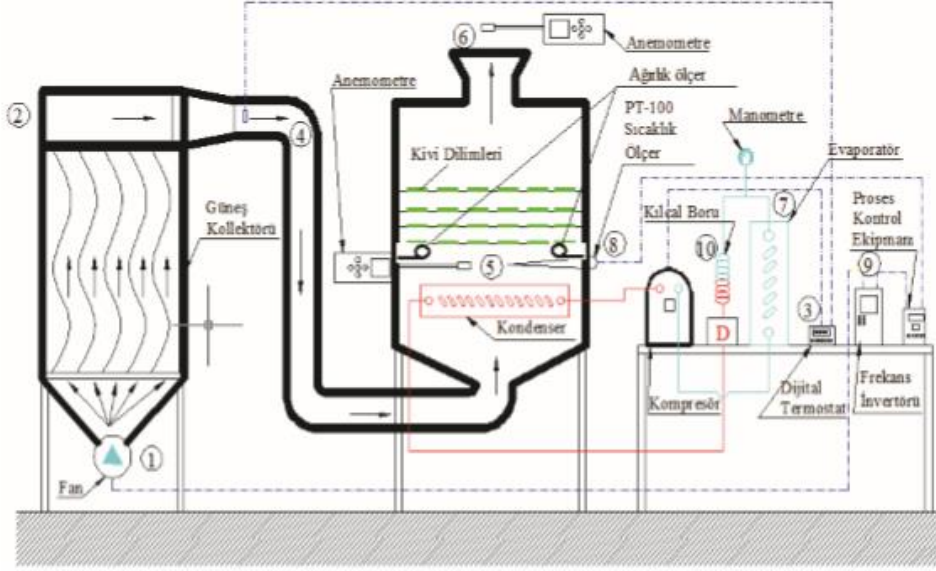
Darıcı ve Şen (2015), konvektif kivi kurutma işlemini farklı koşullar altında deneysel olarak incelemiştir (Şekil 2.6). Hava sıcaklığı, hız ve nem değerlerini kivi kurutma özellikleri için inlemiştir. 4 mm ve 6 mm'lik iki farklı kivi dilim kalınlıklarını 50-80°C aralığındaki sıcaklıklarda, 0.5-2.0 m/sn aralığındaki hızlarında deneysel işlemlere tabii tutmuşlardır. Aldıkları sonuçlarla sıcaklık artışıyla ısı transferi ve dolayısıyla da nem aktarım hızının arttığını ve kuruma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca hava kurutma hızlarının da belli bir dereceye kadar arttığını, daha yüksek hız değerlerinin kuruma süresine etki etmediğini göstermişlerdir [11].



Şekil 2.6. Konvektif tip kurutucunun şematik gösterimi [11].

Aktaş ve Kara (2013), güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutucu tasarlayarak imal etmişler ve deneysel olarak incelemek üzere kivi kurutmuşlardır (Şekil 2.7). Kivileri 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve değişken hava hızlarında kurutma işlemlerine tabii tutmuşlar ve kurutma analizleri yapmışlardır. Analizler yapılırken, güneş kollektörü verimi ve yoğuşturucudan atılan ısı hesabında ortalama hava hızı değerlerine göre hesaplamalar yapmışlardır. En yüksek ortalama kollektör verimini 35 °C'de yapılan deneyde gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Kollektörde elde edilen hava sıcaklığı azaldıkça çevreye olan ısı kayıplarının azaldığını ve bunun yanında hava debisinin artması dolayısıyla ısı taşınımının artması ile de 35 °C'de güneş kollektörü veriminin en yüksek değere ulaştığını gözlemlemiştir. Kivi kurutulmasında kurutma süresine etki eden en önemli

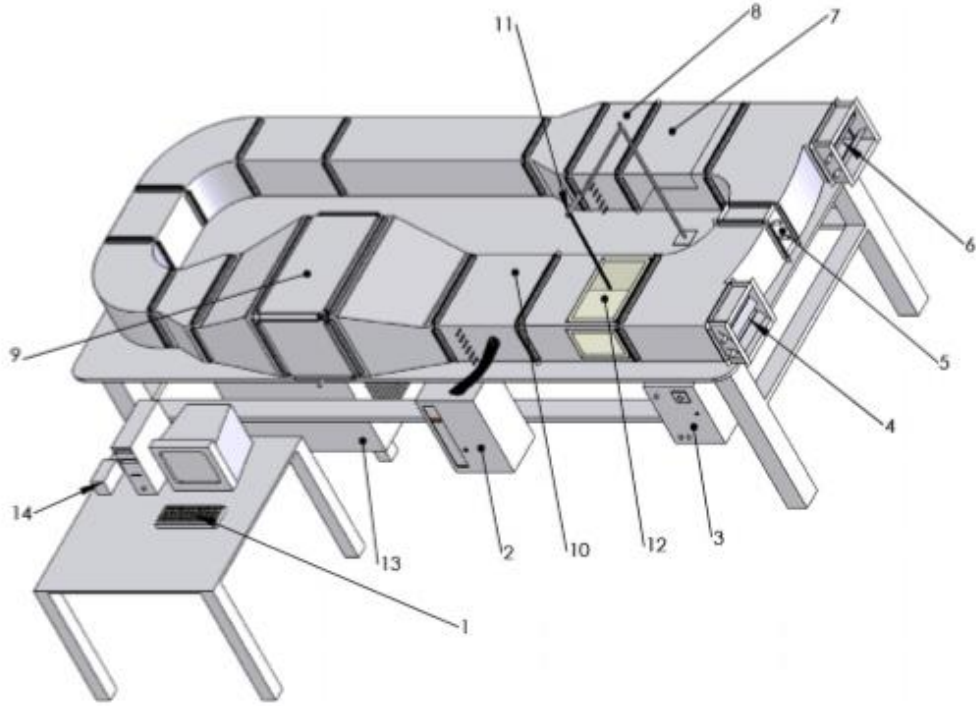
parametrenin kurutma havası sıcaklığı olduğunu ve bu sıcaklığı da kivi kurutulması için en ideal değer olan 50 °C olduğunu tespit etmişlerdir [12].



Şekil 2.7. Türkiye'nin radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri [2].

Kaya ve ark. (2008), bu çalışmalarında Hayward kivi meyvelerinin kurutulması sırasında ısı ve kütle transferinin deneysel ve sayısal olarak incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmında, çeşitli kurutma koşullarının hava hızı, sıcaklık ve bağıl nem bakımından kivi meyvelerinin kurutma üzerindeki etkileri incelemişlerdir (Şekil 2.8). Sayısal kısmında ise dış akış ve sıcaklık alanları CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile analiz etmişler ve deney verilerini kaydetmeye başlamadan önce cihazın kurutma havası için istenen koşullara gelebilmesi için sistem yaklaşık bir saat boyunca çalıştırılmıştır. Kivi meyvelerinin başlangıçtaki nem içeriği ölçülmüş ve ağırlıkça %81 civarında bulmuşlardır. 25, 30, 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarında; 0.3, 0.6 ve 0.9 m/sn hızlarında; %25, %40, %55 ve %70 bağıl nem değerleriyle ölçümler yapmışlardır. Kurutma işlemini, nem dengeleninceye kadar devam edip elde edilen sonuçları doğrulamak için deneyleri en az üç kez tekrarlamışlardır. Ayrıca farklı durumlar için zamana bağlı sıcaklık ve nem dağılımları meyvelerin içindeki ısı ve kütle transfer yönlerini araştırmak için geliştirilen kodu kullanılarak elde etmişlerdir. Elde edilen sayısal bulgular daha sonra deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Kurutma koşullarının sıcaklık, hız ve kuruma havasının bağıl nemi açısından değişen değerleri için kuruma süresi ile nem

içeriğinin değişimleri belirlenmiştir. Kurutma havasının hızındaki bir artış, kurutma havası ve meyve arasında artan konvektif ısı ve kütle transfer katsayılarının bir sonucu olarak kuruma sürelerinin azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi kurutma havasının sıcaklığının artırılmasıyla ısı transfer hızı arttığından toplam kurutma süresinin azaldığını belirlemişlerdir [13].



1) Bilgisayar, 2) Nemlendirici, 3) Kontrol Paneli, 4) Hava çıkış damperi, 5) Karışım havası damperi, 6) Taze hava damperi, 7) Fan, 8) Isıtıcı, 9) Kondenser, 10) Isıtıcı, 11) Yük hücresi, 12) Test bölümü, 13) Kondenser ünitesi (kompresör, fan), 14) Veri toplama sistemi

Şekil 2.8. Konvektif kurutucunun şematik gösterimi [13].

BÖLÜM 3

KURUTMA VE KURUTMA YÖNTEMLERİ

3.1. KURUTMA

Kurutma işlemi gıdalar üzerinden açıklanacak olur ise, meyve ve sebzelerin bünyesinde barındırdıkları suyun uzaklaştırılması ya da en az orana indirilerek kimyasal bozulmalara sebebiyet veren enzim etkinliklerini durdurma işlemi olarak tanımlanabilir. İlk çağlardan beri insanlar gıdalarını daha uzun süre muhafaza edebilmek ve depolamada sorun yaşamamak için kurutma yöntemini kullanmışlardır. Bu işlemler içinde en fazla güneşte kurutma yapmışlardır. Başka bir ifade ile kurutma, meyve ve sebzelerin içindeki suyun %80-90 oranındaki su değerlerinin %10-20 oranlarına düşürülerek mikroorganizmaların gelişmesinin önlenmesi ve uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir [14].

Ürünler kurutma işleminden geçtikten sonra renk, görünüş, tat ve özellikle besin değerleri gibi özellikleri değişecek olsa dahi bu en aza indirgenmeli. Kurutulduktan sonra herhangi bir pişirilme durumu söz konusu olacaksa ürünlerin taze oldukları zaman içerdikleri suyun miktarına yakın değerdeki suyu bünyesine alabilmelidir. Kurutma işlemlerinde nem içeriğinin düşmesiyle birlikte hacmi azalan ve kuru madde oranı artan ürünlerin depolama ve taşıma maliyetleri azaltılır. Bozulmalara sebebiyet veren enzim etkinliğinin durdurulmasıyla mikroorganizma etkinliği en az düzeye indirilerek raf ömrü uzatılmış olur. Mevsimi olmayan ürünlerin mevsimi dışında tüketilmesine olanak tanır ve kâr oranı arttırılmış olur. Kurutma işlemleri fazla işçilik gerektirmediğinden ürünlerin saklanması için kullanılan yöntemlerden en ekonomik olan yöntemdir. Bu yöntemlerle gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde farklı tasarımlarda ve özelliklerinde kurutuculardan yararlanır. Bu kurutucularda kurutulacak ürünün özellikleri, miktarı, kurutma süresi, istif şekli ve kullanılan enerji türü vb. parametreler etkili olarak birbirlerinden farklı kurutucular tasarlanmıştır.

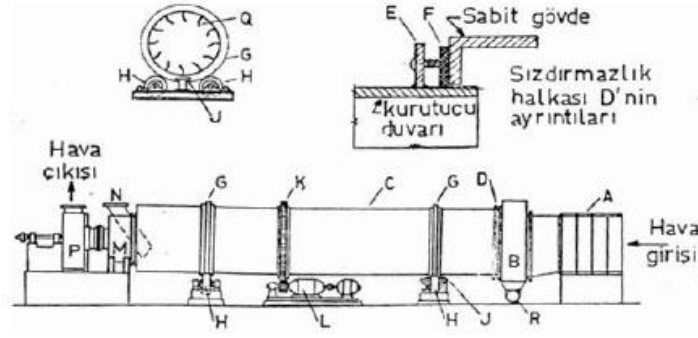
3.2. KURUTMA YÖNTEMLERİ

3.2.1. Güneşte Kurutma

Bilinen en eski yöntemlerden olan bu kurutma yönteminde, ürün doğrudan güneşin ısı etkisine maruz bırakılarak kurutma gerçekleştirilir. Bu şekilde yapılan kurutmada sebzeler ve meyveler iplere dizililerek asılır veyasergilere serilerek kurutmaya bırakılır. Bu kurutmada sıcaklık, hava hızı ve havanın bağıl nemi kurutma etkili parametrelerdir. Kurutulmuş ürünün yoğunluk gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini, renk görünümü olarak da bilinen optik özelliklerini, aroma, tat koku gibi duysal özellikleriyle birlikte su tutma kapasitesini de etkiler. Hiçbir özel donanımına ihtiyaç duymayan, enerji ve bakım masrafı gerektirmediğinden ucuz bir yöntemdir. Ancak bu avantajlarının yanında kurutma süresinin uzunluğu, nemli yerlerde sonuç alınamaması, böceklere ve tozlara karşı savunmasız oluşu, mahsul kayıplarının olması ve sürekli değişen meteorolojik koşullara bağlı olarak aynı kurutma kalitesinin elde edilememesi gibi dezavantajları da bulunur. Bu gibi sebeplerde dolaylı daha ekonomik, daha hijyenik ve verimleri daha yüksek olan güneş enerjisi destekli kurutucular desteklenmektedir [20,21].

3.2.2. Döner Kurutma

Bu tip kurutucular direkt ve endirekt tip kurutucuların birleşimidirler. Kurutma ürünü bu kurutucu içerisinde hem taşınır hem de serbest düşmeyle silindir alt yüzeyine düşer. Bu döngüde kurutma işlemi yapılırken kurutulacak ürün döner kutu içerisindeki kanatçıklar aracılığıyla giriş noktasından çıkış yerine doğru ilerlerken, kurutucu gaz akımı ise paralel olarak ya da zıt yönde katı ile temasa maruz bırakılarak katının üzerindeki nem uzaklaştırılır [18,22]. Sistemin yapısı Şekil 3.1’te gösterilmiştir.

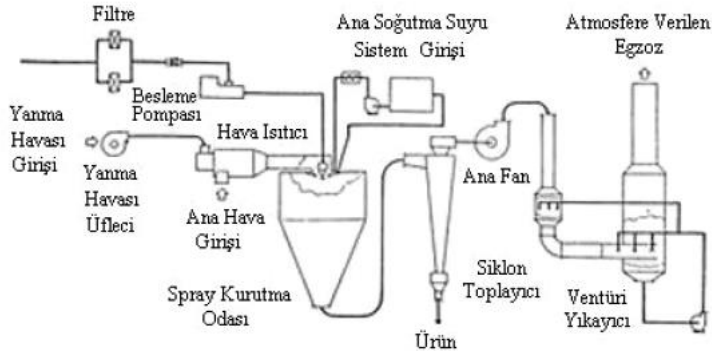


A, kurutucuya giren levha; B, askılar veya kolonlar; C, çapraz çubuklar; D, askı fanları; E, hava nozulu; F, levha çıkışı; G, ürün silindiri; H, vantilatörler; J yön değiştirme levhaları; K, ısıtıcılar; L, hava çıkışı; M, hava kontrol kapakları [18].

Şekil 3.1. Askı kurutucu.

3.2.3. Püskürtmeli (Sprey) Kurutma

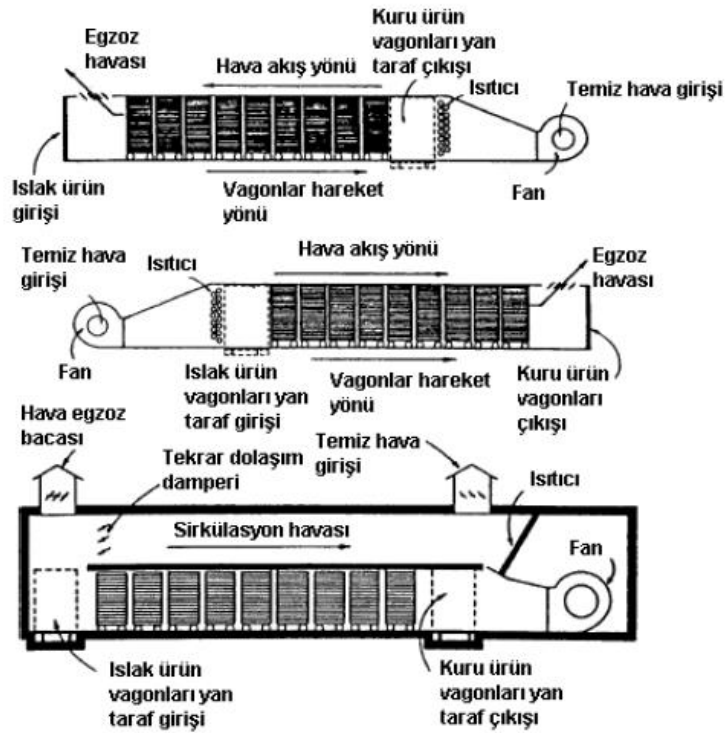
Genellikle sabun, deterjan, kahve ve süt tozu üretiminde kullanılırlar. Ürün içindeki nem yüksek sıcaklıklarda buharlaşır ve kurutmada kullanılan havayla sürüklenerek uzaklaştırılırken tanecikler halindeki kurutulmuş ürün başka bir yerde toplanır. Spray formundaki toz haline getirilen besleme ürünü özel olarak tasarlanmış bir kurutma haznesinde sıcak gazla temas eder. Atomizörün uygun tasarımı ve seçimi bu tip kurutma yöntemi için oldukça önemlidir (Şekil 3.2). Nedeni ise kurutucu besleme türü (viskozite), besleme ürününün aşındırıcı etkisi, besleme oranı, arzu edilen parçacık boyutu ve parçacık dağılımı ile paralel, karşıt ve karışık akım için kurutma haznesi ve akış türünün tasarlanması bu kurutucu şeklinin çalışmasını etkilemektedir. Kurutma süresini kısaltan bu kurutma yöntemiyle ısı işlemlerde üründe meydana gelen zararları en aza indirmektedir [18,22].



Şekil 3.2. Püskürtmeli tip kurutucunun süreç aşaması [18].

3.2.4. Tünel Kurutma

Tünel tipi kurutucularda (Şekil 3.3) ürün bir tünel içerisinde hareket eden kurutma vagonları içine uygun bir şekilde yerleştirilir. Bu sırada ürün sıcak gazlarla temas halindedir. Bu tip kurutucularda vagonların tünel içinden geçirilmesi, devamlı ya da kuruma işlemi tamamlanan bir vagon, tüneli terk ederken yeni yüklenmiş bir vagon tüneli girecek şekilde ayarlanır. Bu kurutucularda hava akımı zıt, paralel ya da vagonların takip ettikleri yola dik şekilde olabilir [18].



Şekil 3.3. Tünel tip kurutucularda vagonlarda malzeme akışı, hava akışı ve tekrar dolaşım uygulaması [18].

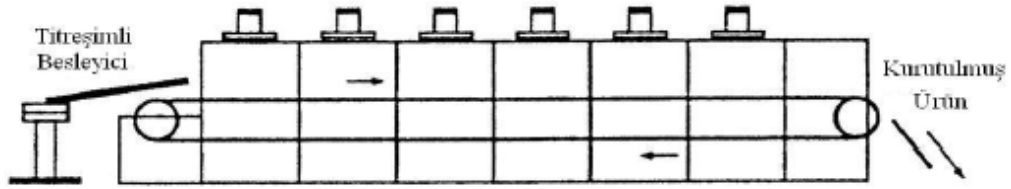
3.2.5. Dielektik ve Mikrodalga Kurutma

Kurutulacak ürüne elektromanyetik sinyaller gönderilmesi sonucu, ürün içindeki iyonların veya çift kutuplu maddelerin moleküllerinin hareket etmesi ve bunun sonucunda madde içinde ısı üretilmesi esasına dayanır. Elektromanyetik dalgalar, frekansları veya dalga boyları ile tanımlanırlar. Dielektik ısıtma 1-100 MHz frekanslarında yapılan elektromanyetik uygulamalar olurken, 300 MHz'den 300

GHz'e kadar yapılan uygulamalar, mikrodalga ısıtma olarak isimlendirilirler. Bu tip kurutma çeşitlerinde frekans ya da dalga boyu kurutma çeşidini belirler [23].

3.2.6. Bantlı Kurutma

Bantlı kurutma sistemlerinde (Şekil 3.4) ürün sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutucunun içinde hareket eder. Bu hareket sürecinde ürünler üzerine sıcak kurutma havası üflenir. Çok yönlü olan bu kurutucular aynı zamanda ısıya duyarlıdır. Ayrıca kırılğan formdaki yükleri taşıyabilmektedir. Ticari boyuttaki çok büyük boyutlardaki bu tip kurutucuların tasarlanmasında, havanın eşit bir şekilde dağılması ürünün dengeli bir neme sahip olması adına önemlidir [3].



Şekil 3.4. Bant tipi kurutucu [18].

3.2.7. Kızılötesi (Radyant) Kurutma

Bu tip kurutucularının çalışması, infrared ışınlarının üretimi, geçişi ve absorblanmasına bağlıdır. Metal malzemelerin üzerindeki boya tabakalarının kurutulması işlemlerinde kullanılır. Radyasyonun elde edilmesi kızılötesi ışın veren lambalarla sağlanır ve kurutma, bir sıra lambanın yer aldığı bir tünel kurutucuda yapılır. Bu kurutma işlemi yalnızca metal yüzey üzerindeki ince boya filmleri için uygundur. U tip kurutma işlemleri oldukça pahalı sistemlerdir [18].

3.2.8. Pnömatik (Flaş) Kurutma

Yüzeylerinde yayılımın kolay olduğu veya serbest nemin hızla hareket etmesinden dolayı hızla kuruyan veya kurutulması uygun olan ürünler için tercih edilen kurutma yöntemidir. Kurutma işlemi birkaç saniye içerisinde gerçekleşir. Islak malzeme, ısıtılan hava ya da başka bir gaz akımı katıyı kurutma bölgesi boyunca taşır. Bu

süreçte yüksek ısı ve kütle geçiş katsayısı sayesinde kurutulacak ürün hızlı bir şekilde kurutulur. Öyle ki, tanecikli malzeme dağıtılı, hava akımına karışır ve havayla taşınır. Bu kurutma tipi ısıya duyarlı olan ve çabuk kurutulması gereken ürünler için uygundur. Yağlı ve yapışkan maddeler bu sistemle kurutma için uygun değildir [24].

3.2.9. Dondurarak Kurutma

Kurutulmak istenen ürün önce dondurulur, daha sonra derin vakum işlemi uygulanır. Bu derin vakum haznesi derin soğutma kondenserine ya da kimyasal nem alıcıya bağlıdır. Sonrasında vakum haznesi yavaş yavaş ısıtılır ve genellikle ıslaklığı veren madde olarak su, ani olarak donmuş halden buhar haline geçip kondenserde ya da kimyevi nem alıcıda yeniden yoğuşturulur ve atılır. Çoğu dondurarak kurutma işlemleri -40 ile -10°C arasındaki sıcaklıkta ve birkaç yüz mikron vakum altında yapılır. Bu kurutma işlemi yavaş olmasının yanında aynı zamanda da pahalı bir uygulamadır. Ancak ısıya karşı duyarlı hassas ürünler için oldukça yararlıdır. Kullanım alanlarına örnek olarak kan plazması, ilaçlar, serum, bakteriyel maddeler, aşılar, meyve suları, kahve ve çay özü, deniz ürünleri, et ve süt ürünleri gibi ürünlerin kurutulması verilebilir [17].

3.2.10. Silindirik Kurutma

Bu kurutucular devamlı tabaka halinde olan ürünlerin kurutulmasında tercih edilirler. Bunlar birçok sayıda olan buharla ısıtılan silindirlerden meydana gelmiş olup, kurutulacak olan ürün bu silindirlerin üzerinden sürekli olarak geçer ve böylelikle kurutma işlemi sağlanmış olunur [18].

3.2.11. Akışkan Yataklı Kurutma

Akışkanlı yatak sisteminde tanecikli yapısındaki maddeler arasından gaz akımı geçirilir. Çok iyi ayarlanması gerek gaz hızı kurutmada önemli bir faktördür. Taneli ve toz yapıdaki kurutulmuş ürün ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğu için, tanecikler ile kurutma havası arasında olan ısı transferi de en verimli şekilde

gerçekleşir. Bu sistem ile yüksek sıcaklık farkları sorunları olmaksızın ürünlerin kurutulmasını mümkün kılar. Bu sistemlerin en büyük avantajları kurutma işleminin kısa sürede gerçekleşmesidir [25].

3.3. KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI

Başarılı bir kurutma işlemi, ürün kalitesi ve işletmenin kararlılığı açısından uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her ürünün kendine özgü kurutulma koşullarının olması tek bir tip kurutucu tipini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle kurutulacak ürünün kurutma işlemine en uygun kurutma yöntemi ve kurutucu tipinin doğru şekilde belirlenmesi büyük öneme sahiptir.

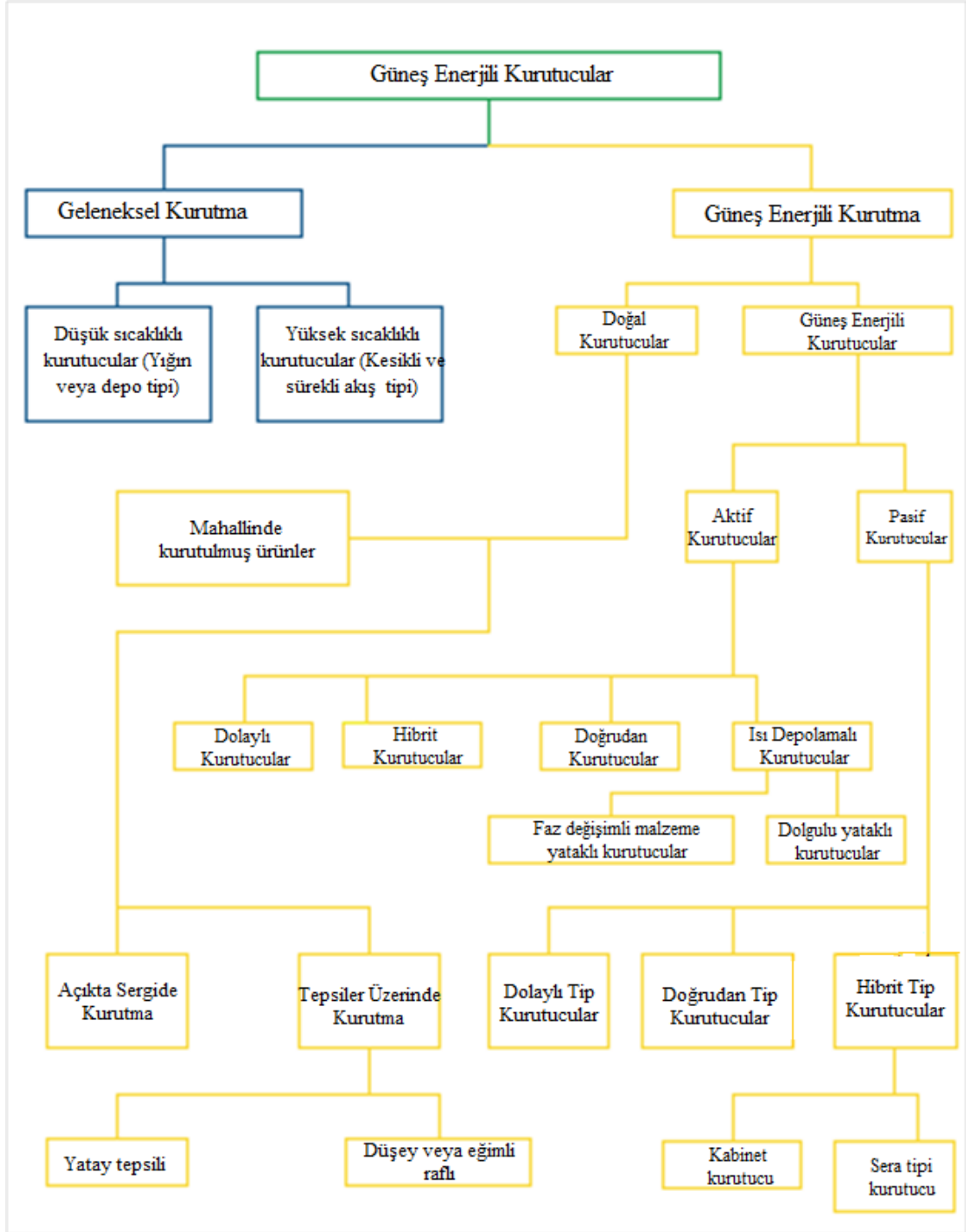
Kurutucular kullandıkları ısı aralıklarına göre yüksek sıcaklıklı ve düşük sıcaklıklı kurutucular olmak üzere ikiye ayrılırlar. Genel olarak kurutucular yaygın olarak kullandıkları ısının kaynağına göre klasik kurutucular olarak da bilinen fosil yakıtlı kurutucular ve güneş enerjili kurutucular olarak sınıflandırılırlar. Uygulamada yüksek sıcaklıklı kurutucu tasarımları fosil yakıtlı, düşük sıcaklıklı kurutucular fosil yakıt veya güneş enerjisi bazlı çalışan sistemlerdir [15].

3.3.1. Yüksek Sıcaklıklı Kurutucular

Yüksek sıcaklıklı kurutucular çok hızlı kurutma istendiği zaman gereklidir. Yüksek çalışma sıcaklıkları nedeniyle, eğer ki kurutma havası ürünle fazla temas halinde kalırsa üründe ciddi kuruma meydana gelir. Bu nedenle ürünler yalnızca gerekli nem içeriğine kadar kurutulur ve daha sonra soğumaya bırakılır. Yüksek sıcaklıklı kurutucular genellikle yığın kurutucular ve sürekli akış kurutucular olarak sınıflandırılırlar. Yığın kurutucular dediğimiz sistemlerde ürünler bir kutuda kurutulur ve daha sonra depoya taşınır. Sürekli akışlı kurutucular ise ısıtılmış kolonlardır. Ürün yerçekiminin etkisi altında açılarak sıcak havaya maruz bırakılır [15].

3.3.2. Düşük Sıcaklıklı Kurutucular

Düşük sıcaklıktaki kurutma sistemlerinde ürünün içerdığı nem seviyesi kurutma havasındaki nem seviyesine sürekli bir hava döngüsüyle sağlanır. Düşük sıcaklıktaki bu kurutma, mahsullerin toplu olarak kurutulmasını sağlayarak uzun süreli depolama sistemleri için uygun bir hal alır. Bu sistemler genellikle yığın veya depolama olarak bilinirler. Bu kurutucular güneş enerjisi uygulamaları için en uygun olanıdır [15].



Şekil 3.5. Kurutucuların sınıflandırılmasının şematik gösterimi [16].

3.4. KURUTUCU SEÇİMİ

Kurutma işlemlerinden önce ısıl yöntemlerin haricinde farklı yöntemlerle rijit maddeden suyun olabildiğince uzaklaştırılması daha ekonomik bir kurutma işlemidir.

Ürünlerin filtreleme, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi mekanik yöntemler olarak bilinen işlemlerle kurutulması daha az enerji gereksinimi ve kurutma ürününden uzaklaştırılan su için daha az maliyet gerektirmektedir. Kurutma ürünü olarak seçilen ürün mekanik işlemlerle kurutma yöntemlerine uygun değilse ürünler buharlaştırma yoluyla kurutma gerçekleştirilir. Bu buharlaştırma işlemi ise ürünlere gaz akımıyla ısı transferi uygulanarak elde edilir. Bu işlemde transferi gerçekleştirilen ısı, ürün içerisindeki nemin buharlaştırılmasına ve ortamdan uzaklaştırılması için tüketilir. Isı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşir ve kurutma işlemlerinde kurutma gazı olarak çoğunlukta hava kullanılır. Kurutma havasının sıcaklığının ve hızının artmasıyla kullanılan enerji miktarını da beraberinde artırır. Kurutulacak ürünün içerisindeki mevcut nemin buharlaştırılması için verilmesi gereken daha kısa sürede kurutma sistemine verilmesi ise kurutma süresini azaltır. Kurutma havasının sıcaklığı nemi belirlerken, kurutma ürününün içerisindeki nem de kuruma hızını belirler. Ayrıca kurutma havasının nemi ne kadar azaltılırsa, kurutma hızı da buna paralel artarak kurutma süresini kısaltacaktır [17].

Bu nedenle hem kurutma süresini kısaltmak hem de en uygun koşullarda ürünleri kurutabilmek için en doğru kurutucu seçiminin yapılması gerekir. Çünkü kurutma işlemlerinde verim elde edebilmek ve ürünün kalitesini koruyabilmek için uygun kurutucunun seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Her bir ürünün kendine göre kuruma koşulları bulunduğu için bütün kurutma işlemlerini tek başına karşılayacak bir kurutma sisteminin olmayışı, bizleri doğru kurutma yöntemine ve uygun bir kurutucu seçimine yönlendirmektedir. Doğru kurutucunun seçilmesinin yanında dikkat edilmesi gereken bir başka durum ise kurutucunun karakteristik özellikleridir. Çünkü aynı kurutucunun çalışma koşullarında yapacağımız herhangi bir değişiklik ürünün kalitesinde bir değişim meydana getirebilir. Bu nedenle kurutucu tiplerinin yanında en uygun olan kalite ve ısı nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını da seçmek ayrıca önemli olmaktadır [18].

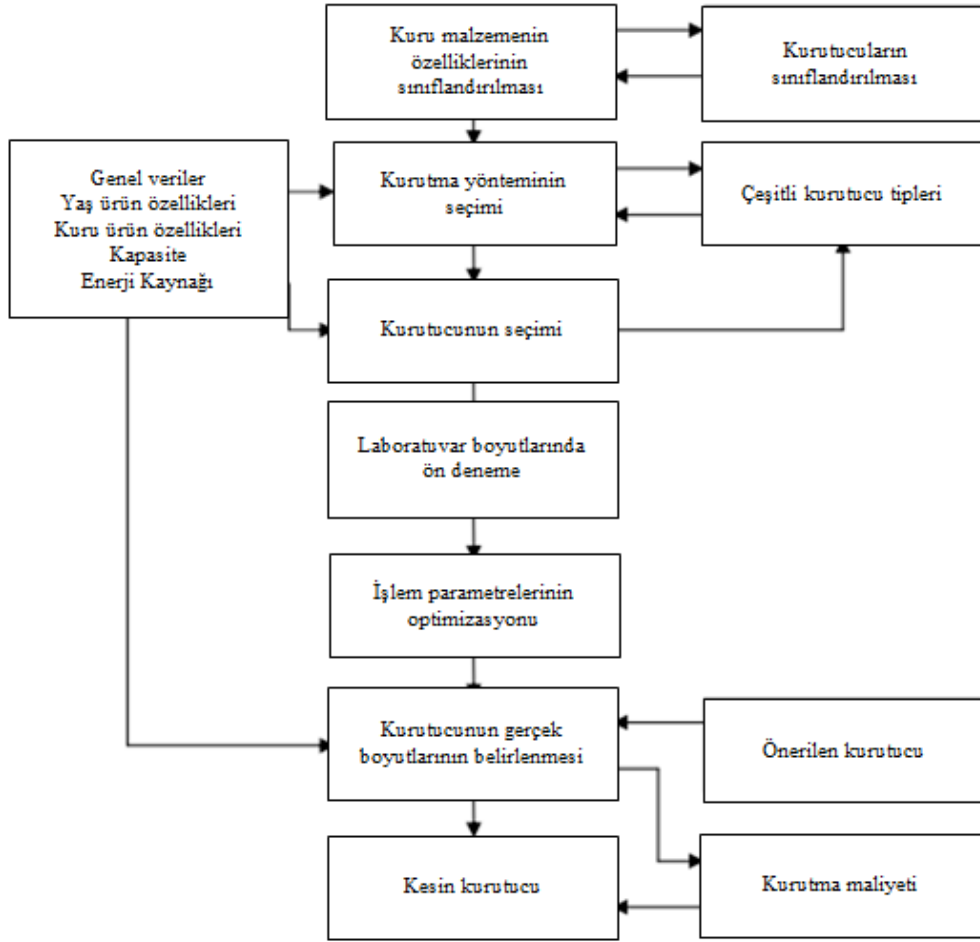
Kurutucu seçimi yapılırken bazı unsurlar vardır. Bunlar;

1. Kurutucuların ön seçimi: Islak malzeme ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipinin seçimi için ön seçim gerçekleştirilir. Kurutucularda aranan

ön koşul kurutucuların sürekliliği, istenen fiziksel özellikleri ve kalite özelliklerinin elde edilmesidir.

2. Kurutucuların ön karşılaştırılması: Ön seçilen kurutucularda elde edilen veriler doğrultusunda yaklaşık olarak maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırma yapılır. Bu aşamada verimlilik açısından uygun olmayan bunun yanında ekonomik değeri taşımayan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.
3. Kurutma denemeleri (testleri): Bu denemeler değerlendirmeye alınmış olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Yapılan bu testler en uygun çalışma koşullarını ve ürün özelliklerini belirler ve aynı zamanda cihaz satıcı firmaların aktardıkları bilgilerin doğruluğunun değerlendirilmesini sağlayacaktır.
4. Kurutucu seçiminde karar verme: Yapılan kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilir [18].

Kurutucu seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikler Şekil 3.6’da verilmiştir [19].



Şekil 3.6. Kurutucu seçimlerinde izlenen işlem basamakları [19].

Kurutma işlemlerinde kurutucunun seçilmesi kadar önemli bir diğer konu ise kurutucu tipine göre ürünlerden uzaklaştırılan su başına harcanan enerji (Çizelge 3.1) ve kurutulacak ürünlerin belirlenen ilk nem değerleri ve kurutma işleminin sonunda ulaşılabilecek nemlilik değerleridir. Aşağıdaki Çizelge 3.2’de çeşitli gıda ürünlerinin nem değerleri ve uygun kurutma sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kurutucu tipine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji [18].

Kurutucu Tipleri	MJ/kg Uzaklaştırılan Su
Isı Pompalı Kurutucu	0,5 - 0,8
Direkt Egzoz Gazları ile Çalışan Kurutucu	3,2 - 3,8
Hava ile Çalışan Kurutucu 70-100 °C	4,5 - 5,5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları ile Kurutma (400 °C)	5,0 - 6,0
Kazandan Alınan Egzoz Gazları ile Kurutma (200 °C)	9,0 - 12,5
Bantlı ve Tünel Kurutucular	
Ters Akışlı Tepsili-Bantlı	8,0 - 16,0
Ters Akışlı Rafli-Tünel	6,0 - 16,0
Arasından Akışlı Tepsili-Bantlı	5,0 - 12,0
Vakumlu Tepsili-Bantlı-Levhalı	3,5 - 8,0

Çizelge 3.2. Bazı sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklıklarıyla kuruma süreleri [18].

Sebze veya meyve cinsi	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (h)
Meyveler	55-80	6-24
Üzüm	60-65	24
Elma	I. Kademe 70-88 II. Kademe 74	8
Şeftali, Armut	68	24-30
Kabuksuz Hindistan cevizi	65-92	4-20
Sebzeler	50-65	2-18
Havuç	I. Kademe 70	14-24
Mantar	II. Kademe 65	
Soğan	I. Kademe 70-88 II. Kademe 55-60	10-15
Çay yaprakları (Fanaj veya ilk kurutma)	38	4-8
Çay yaprakları (kurutma)	70-110	1-2

Çizelge 3.3. Gıdaların kurutulmasında kullanılan kurutucu tiplerinin özellikleri ve kullanıldığı alanlar [18].

Kurutucu tipi	Yüklemeli/Sürekli	Katı/Sıvı	Başlangıç nem miktarı	Kuruma hızı	Tipik en çok buharlaşma kapasitesi(kg/h)	Kullanıldığı alanlar
Yığın	Yüklemeli	Katı	Düşük	Yavaş	-	Sebzeler
Kabin	Yüklemeli	Katı	Orta	Orta	55-75	Meyveler ve sebzeler
Konveyör/bantlı	Sürekli	Katı	Orta	Orta	1820	Kahvaltı tahılları,meyve ürünleri,şekerleme,sebze,bisküvi,findık
Drum	Sürekli	Katı	Orta	Orta	410	Çözelti,mısır şurubu,patates, jelatin
Foam-mat	Sürekli	Sıvı	-	Hızlı	-	Meyve suları
Akışkan yatak	Yüklemeli /Sürekli	Katı	Orta	Orta	910	Bezelye,doğranmış veya dilimlenmiş sebze,toz veya kalıplanmış gıdalar,meyveler, Hindistan cevizi, tıbbi bitkiler(otlar)
Kiln	Yüklemeli	Katı	Orta	Yavaş	-	Elma halkaları,şerbetçi otu
Mikrodalga-dielektrik	Yüklemeli /Sürekli	Katı	Düşük	Hızlı	-	Ekmek yapım ürünleri
Pnömatik/sirkülasyonlu	Sürekli	Katı	Düşük	Hızlı	15900	Nişastalar,sos veya çorba tozu,püre patates
Işınımlı	Sürekli	Katı	Düşük	Hızlı	-	Ekmek yapım ürünleri
Döner	Yüklemeli /Sürekli	Katı	Orta	Orta	1820-5450	Kakao tanesi,findık,posa,pişmiş tahıllar
Spin flaş	Sürekli	Sıvı	Orta	Hızlı	7800	Pastalar,kekler,çamurlar,viskoz sıvılar
Püskürtmeli	Sürekli	Katı	-	Hızlı	15900	Tozlar,hazır kahve,süt tozu
Güneş enerjili	Yüklemeli	Katı	Orta	Yavaş	-	Meyveler ve sebzeler
Arasından geçmeli(Trough)	Sürekli	Katı	Orta	Orta	-	Bezelye,doğranmış sebzeler
Tünel	Sürekli	Katı	Orta	Orta	-	Meyveler ve sebzeler
Vakum bantlı/raflı	Sürekli	Sıvı	-	Hızlı	18200	Et özleri,çikolata kırıntıları

BÖLÜM 4

GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ VE GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMLERİ

Güneş kollektörleri, güneşten yeryüzüne gelen enerji yüklü güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren araçlardır. Bu dönüşümün gerçekleşmesi için ışınlar kollektörün geçirgen yüzeyinden geçmeli ve kollektörün yutucu yüzeyi tarafından yutulmalıdır. Yutulan ısı, kollektör içerisinde kullanılan ve ısı transferini gerçekleştirecek olan akışkana aktarılır [26].

Kollektörler, esas olarak akışkanın geçmiş olduğu kanalları içinde bulunduran absorbe edici yüzey, üst cam örtü, sırt izolasyonu ve dış kasadan oluşmaktadır. Güneş radyasyonunu soğuran ve ısıyı akışkana ileten absorbe yüzey alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve özel plastik gibi kondüktivitesi yüksek bir malzemeden yapılmaktadır. Absorbe edici yüzeyin mat siyaha boyanması ya da ısı kaybının engellenmesi için selektif yüzeyle kaplanması gerekir. Absorbe edici yüzeyin arka kısmında meydana gelen iletimle ısı kayıplarını engellemek için sırt izolasyonu yapılmaktadır. Ön yüzeyde hava akımları aracılığı ile oluşan konveksiyonel ısı kayıplarını önlemek için, kısa dalgalı radyasyona karşı saydam, uzun dalgalı radyasyona karşı opak şekilde sera etkisi oluşturmak, siyah ön yüzeyi yağmur ve toz gibi dış etkilerden korumak için demirsiz (demir- oksit içermeyen) temperlenmiş cam örtü kullanılmaktadır. Bileşenleri tümü çoğunlukta kasa içerisinde yer alır [27].

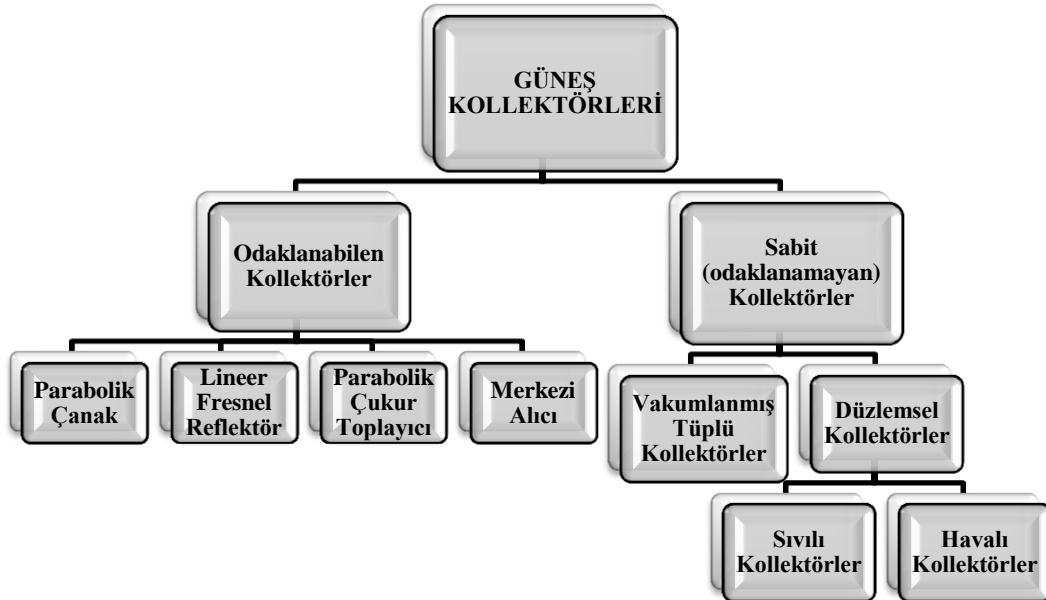
Güneş kollektörleri, güneş ışınlarını absorbe edici özelliğindeki yüzeyle tutarak, kollektör içerisinde dolaştırılan su, hava ya da soğutucu akışkana ileterek ısı enerjide dönüştüren güneş enerjisi destekli sistemlerin en önemli kısmıdır. Kullanım alanları genel olarak bina havası ısıtmalarında ve tarımsal ürün kurutma sistemlerinde kullanılırlar. Güneş kollektörleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalar; genel olarak kollektör tasarım ve yapıları, kollektör içerisinde dolaştırılan akışkanın akış şekli,

kollektörün bağlantı şekilleri, hibrit kollektörler (PV ve termal kollektörlerin kombinasyonu ile olan kollektör çeşidi) ve buharlaşma gizli ısısından faydalanılarak faz değişimli malzeme kullanılan güneş kollektörleri üzerine yapılmış çalışmalara örnek verilebilir [28].

Esas olarak sabit ve odaklanabilen ya da odaklanamayan olmak üzere iki tip güneş kollektörü vardır. Odaklanamayan güneş kollektörleri düz yüzeyli olup, güneş ışınlarını odaklayamazlar. Odaklayabilen kollektörler ise çoğunlukta içbükey bir yüzeye sahiptirler ve güneş ışınlarının merkezi, artan ışınım değişimleri nedeniyle çok küçük bir bölgede ışın radyasyonuna maruz kalır. Yalnızca direkt radyasyondan faydalanarak yüksek sıcaklık temin edebilirler. Çalışabilmelerinin şartı güneşi görebilmektir. Bu sebeple odaklamalı güneş kollektörleri, güneşlenme yönünden zengin yörelerde, daha verimli olarak kullanılırlar [29].

4.1. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması [30].

4.1.1. Odaklanabilen Kollektörler

Güneş enerjisi çalışmalarında daha yüksek sıcaklıklara çıkmayı hedefleyen sistemler için kullanılan kollektör tipidir. Genel yapı olarak düzlemsel tip kollektörler ile aynı özelliklere sahiptir. Düzlemsel tipten farkı ise odaklanabilen tip toplayıcılarda güneş ışınımı yutucu yüzeye gelmeden önce çok küçük bir alanda optik olarak yoğunlaştırılır [31]. Odaklanabilen kollektörler, güneş ışınlarını merkezi bir noktada birleştirirler. Böylece güneş ışınlarını merkezi tek bir noktaya odaklayarak ışınların geniş bir kısmı çok küçük bir bölge üzerinde yoğunlaşarak sıcaklığı arttırılabilirler[30]. Bu tip kollektörler doğrusal ve noktasal odaklamalı olarak ikiye ayrılır. Doğrusal tiplerde siyah bir yutucu boru kullanılır. Noktasal tiplerde ise iki eksende güneş takip edilerek odaklama bölgesinde yoğunlaştırılır [31].

4.1.2. Sabit Kollektörler

Düzlemsel kollektörler çoğunlukta sabit pozisyonludurlar ve güneşi takip etmezler. Bu kollektörler güneşin geliş açısına göre yönü kuzey yarım kürede güneye doğru, güney yarım küre de ise kuzeye doğru yönü belirlenir. Bu kollektörler sıvılı kollektörler ve havalı kollektörler olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılırlar [30].

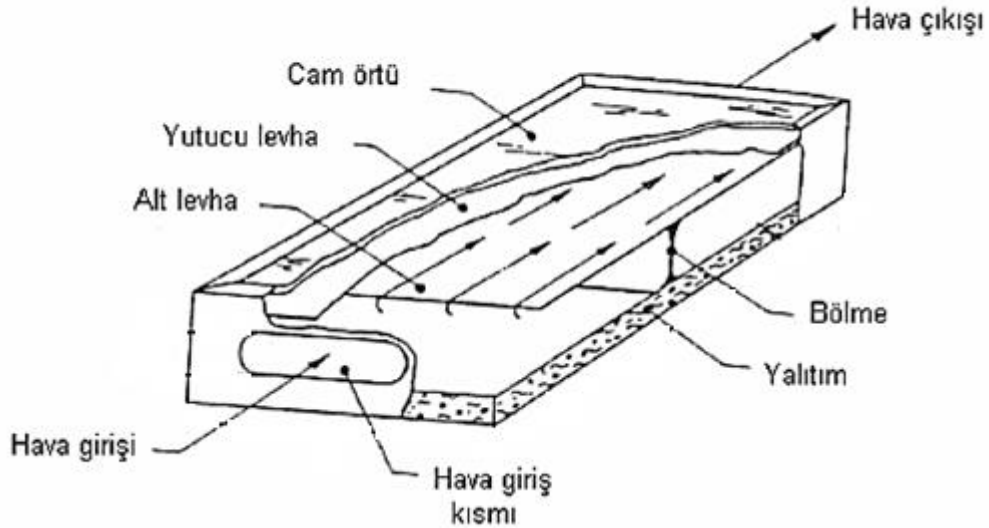
4.1.2.1. Düzlemsel Kollektörler

Güneş enerjisinden faydalanılmada en yaygın olarak kullanılan uygulamalar düzlemsel kollektörlerdir. Düzlemsel kollektörler küçük ısı yüklerde basit uygulamalarda kullanılan, ekonomikliğinin yanı sıra çevreye zararsız oluşuyla pratik bir şekilde uygulanan basit ısı değiştiricileridir. İmalatları için karmaşık teknolojiye gerek yoktur. Mahal sıcak su ve ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri, tarımsal ürünlerin kurutulması, yüzme havuzlarının ısıtılması ve sera ısıtılması gibi birçok uygulamada düz güneş kollektörlerinden yararlanılır.

Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürme prensibiyle gerçekleştirilen bu uygulamalarda dönüşüm şartı, güneş radyasyonunun siyah yüzeylerde absorbe edilmesi ve sıcaklığı artan siyah yüzeyden elde edilen ısının bir akışkana

aktarılmasıyla mümkündür. Burada kullanılan akışkan cinsine göre düzlemsel kollektörler sıvılı ve havalı olarak iki ana gruba ayrılırlar [32].

Sıradan bir düzlemsel havalı güneş kollektörün yapısı ve bölümleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Düzlemsel havalı güneş kollektör yapısı [36].

Güneş ışınları bir cam yüzeyden geçer, yüksek yutuculuğa sahip siyah yutucu yüzeye çarpar ve bu enerjinin büyük bir bölümü tabaka tarafından absorbe edilir. Daha sonra akışkan tüpüne depolanmak ya da kullanılmak amacıyla transfer edilir. Yutucu yüzeyin alt tarafı ve koruyucu bölgenin yan tarafı iletimle gerçekleşen ısı kayıplarını azaltmak için yalıtılmıştır. Akışkan tüpleri yutucu yüzeye kaynakla birleştirilir ya da yüzeyin gerekli bir bölgesinde olabilir. Geçirgen yüzey, yutucu yüzeyden iletimle ısı kayıplarını azaltmak için kullanılmıştır ve yutucu yüzey ile cam yüzey arasındadır [29].

Havalı Kollektörler

Havalı güneş kollektörleri, esas olarak depo edilen güneş enerjisini havaya aktaran ısı değiştiricileridir. Genel olarak yutucu plaka, saydam cam örtü, plakayla bütünleşmiş veya altına yerleştirilmiş kanallar, yalıtım malzemesi ve kasadan

oluşmaktadır. Çoğunlukla binaların iklimlendirilmesi, absorpsiyonlu soğutma yöntemi, tarım ve sanayi ürünlerinin kurutulması ve seraların ısıtılması için kullanılır. Kurutma uygulamalarında havalı kollektör tasarımlarının en önemli özelliği ekonomik oluşudur. Güneş enerjili kurutma sistemlerinde havalı kollektörlerin önemli bir yeri vardır. Bu sebeple havalı kollektör uygulamalarında en iyi performans için birçok yeni tasarım örneği geliştirilmektedir. Bu tip kollektörlerde ısı taşınım katsayısı düşük olduğu için ısının transfer edileceği yüzey oldukça önemlidir. Öyle ki, ısı transfer yüzeyinin artırılması, aktarılabilecek olan ısı enerjisini arttıracığı için verimi de olumlu yönde etkiler [31,34].

Havanın özgül ısısının düşük olmasından dolayı suya göre iyi bir ısı transfer akışkanı olmadığı için hava akışkanlığı güneş kollektörlerinin verimi sıvı akışkanlığı kollektörlerinin verimine oranla daha düşüktür. Ancak havalı güneş kollektörlerinin donma ve sızıntı tehlikesinin olmamasından dolayı sulu kollektörlere göre birçok avantajı da mevcuttur. Isı transferini sağlamak amacıyla kullanılan bu iki tip akışkanın termofiziksel özelliklerinin farklılığından dolayı kollektörlerde avantaj ve dezavantajlar oluşturmaktadır [26, 28].

Havalı kollektörlerin verimini artırma yönünde birçok çalışma devam ettirilmektedir. Kollektörlerin performansını arttırmak için kanatçık kullanımı ve ısı depolama malzemeleri kullanma gibi çeşitli yöntemlerin kullanılabileceği öngörülmüştür. Bunun yanında, yüzey pürüzlülüğünün artırılması kollektör performansı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Havalı kollektörlerin emici plakası üzerinde yapılan çeşitli konfigürasyonlar ve geometriler de kollektör verimini arttırdığı görülmüştür [28].

Performansını iyileştirmesi amacıyla yapılan havalı güneş kollektörü ile ilgili çalışmaları sıralanırsa;

1. Yapısına göre (düz kanatçıklı)
2. Yutucu plakaya göre (düz V oluklu, çapraz oluklu)
3. Kullanım alanına göre (ısıtma, kurutma, su arıtma)
4. Kollektör eklentisine göre (duyulu ısı depolamalı, gizli ısı depolamalı)

5. Hava akış şekline göre (paralel akış, ters akış, tek geçiş, çift geçiş)
6. Hibrit kollektörler (sulu-havalı-Bifacial PV/T)

olarak sınıflandırılabilir [28].

Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri

Vakum tüplü güneş kollektörleri esas olarak bakır borudan yapılmış U-borusu, sızdırmaz kapak, vakum tüpü, alüminyum levha kanatlar ve giriş,çıkış toplama hatlarından oluşur. Soğuk akışkan, dağıtım hattı aracılığı ile kollektöre dağıtılır. Güneş ışınımı ile ısınan kollektör içerisinde ilerleyen akışkan kollektör çıkışına kadar ısınarak çıkar. Seri ve paralel olmak üzere iki farklı şekilde sisteme bağlanabilir. Sistemlerde kollektörün dağıtım ve toplama hatları mevcuttur. Her bir vakum tüpünün girişi dağıtım hattından alınır ve çıkışları da toplama hattında birleşir. Bu şekilde birim zamanda daha fazla akışkan ısıtılabilir. Seri bağlı kollektörlerde U-borusu tek parça halinde ve kollektöre giren akışkan bütün boruları dolaşır. Bu şekilde paralel bağlantıya kıyasla daha fazla sıcaklık farkı oluşturur. Bazı çalışmalarda seri ve paralel bağlantı birlikte uygulanabilmektedir. Vakum tüplü kollektörler diğer sistemlerle mukayese edildiğinde avantajları gözlemlenmektedir. Bunlardan bazıları; vakum tüplü bir sistem soğuk iklim bölgelerinde rahatça kullanılması, diğer kollektörlere göre daha küçük absorber alanından aynı ısıyı çekebilmeleri, yatay ve dikey olarak rahatlıkla uygulanabilir olmaları olarak sıralanabilir. Verim açısından diğer sistemlerden biraz daha düşük olsa dahi, düşük yatırım maliyeti ve kolay bakım gibi nedenlerden dolayı fazla tercih edilmektedir [45].

Isı Borulu Güneş Kollektörleri

Isı boruları ısıyı bir noktadan başka bir noktaya aktaran cihazlardır. Bu cihazlarda ısı transfer işlemi buharlaşma ve yoğunlaşma esasına göre gerçekleşir. Bu yöntem ile yüksek miktarlarda ısı, dışarıdan bir güce ihtiyaç duymadan ve nerede ise adyabatik bir biçimde aktarılabilir. Esas olarak ısı boruları evaporator, kondenser ve adyabatik kısım olmak üzere üç kısımdan meydana gelmektedir. Evaporatör

bölgesinde dış ortamdan alınan ısı ile buharlaşan akışkan, oluşan buhar basıncı ile ilk olarak adyabatik kısma, sonrasında ise kondensere ilerler. Kondenserde ısınıp dış ortama bırakan akışkan yoğuşur. Yoğuşma işlemi sonrasında sıvı fazına geçen akışkan, yer çekimi etkisi veya fitil yardımı ile tekrar adyabatik kısma ardından evaporatöre döner ve böylece döngü tamamlanmış olur. Bu döngü ısı girdisi olduğu sürece devam eder [46].

4.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi, farklı birçok yenilenebilir enerji kaynağı arasında çok yüksek bir potansiyele sahiptir. Yaklaşık olarak, açık havalı bir günde kullanılabilir güneş enerjisi yaklaşık 1 kW/m^2 değerlerine ulaşabilir ve güneş batıncaya kadar bu enerjiden faydalanılabilir. Günümüzde güneş enerjili uygulamaların kullanıldığı alanlar, mahal ısıtmaları ve soğutmaları, sıcak su temini, hava ısıtıcıları, güneş ocakları ve kurutma sistemleri gibi birçok örnek vermek mümkündür. Örnekler arasında belirtilen hava ısıtma uygulamaları temelde kurutma uygulamalarında kullanılmaktadır [14,16].

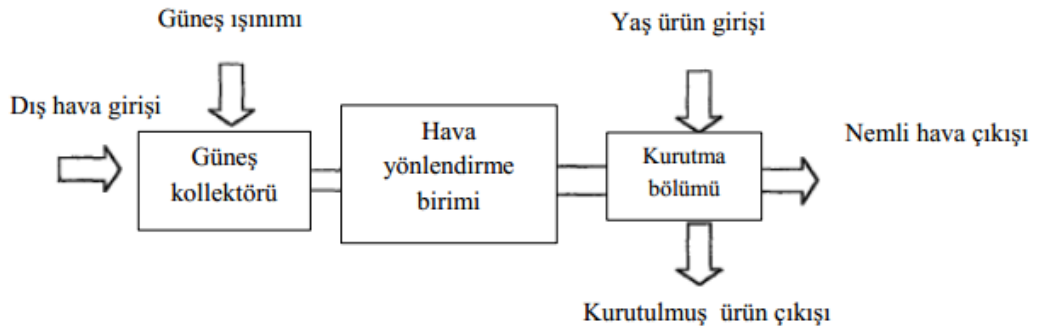
Güneş enerji destekli kurutma ile ilgili olarak birçok araştırma yapılmış ve farklı sistem tasarımlarıyla en iyi verimi elde etme yöntemleri araştırılmıştır. İnsanları bu uygulamalar hakkında daha fazla bilgi edinmeye ve uygulamalara gitmelerinin nedenleri arasında ekonomiklik ve doğaya karşı verdikleri zararların yanı sıra bir gün tükenecek olması gerçeğiyle yüzleşmek zorunda olduğumuz fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı en aza indirmektir. Bu nedenlerden dolayı da yenilenebilir enerji kaynakları artık bir alternatif olmaktadır. Birçok kaynak arasından güneş enerjisinin tercih sebebi ise güneşe olan erişimin kolaylığı, ekonomik oluşu, karmaşık sistemler gerektirmeden uygulamalara gidilmesi ve en önemlisi temiz bir enerji kaynağı olmasıyla çevreye zarar vermemesidir.

Güneş enerjisinin tercih edilmesinin ardından uygulamanın yöntemi ve tasarlanacak bir sistemle en uygun olanın belirlenmesi esastır. Çünkü güneş enerjisiyle kurutma yeni bir uygulama gibi gözüküyor olsa da esasında çok eski yıllardan beri insanların gıdalarını bozulmadan muhafaza etmek için kullandıkları bir yöntemdir. Ancak

herhangi bir sistem dahilinde olmadan güneş altında kurutma bazı olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Bunlar, kurutulan ürünlerde meydana gelen yüksek ürün kaybı, yeteri derecede kurumama, bakteriyel olumsuzluklar, böcekler ve kuşların ürünlere verdikleri zararlarının yanında doğa olayları da bu olumsuzluklara örnek olarak verilebilir. Bu nedenle güneş enerjili kurutucuların bu olumsuzlukları ortadan kaldıracak olmaları sebebiyle önem kazanmıştır.

4.2.1. Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

Güneş enerjili kurutucular uzun kurutma süresinde düşük sıcaklıkta da yüksek hava akış hızı kullanırlar. Kurutma, tarımsal ürünlerin içerisinde suyun uzaklaştırılması işlemidir. Güneş enerjili kurutma sistemi; hava ısıtma mekanizma, nem almayı gerçekleştirecek kurutma ünitesi ve hava yönlendirme ünitelerinden oluşmaktadır [18].



Şekil 4.3. Güneş enerjili kurutma sistemi diyagramı [18].

Dış havayı ısıtmak amacıyla kullanılan güneş kolektörlerinin farklı birçok tasarımı bulunur. Öncelikle dışarıdan alınan taze hava kolektör içinden geçirilerek hava işlem sıcaklığına kadar ısıtılabilir. Daha sonra hava yönlendirme ünitesi içerisinde bulunun fan ve kanallar aracılığıyla ısınan havayı alıp kurutma bölümü üzerinden geçirir. Kurutulan ürünlerden çekilen nemli hava ise sistemden atılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olunur.

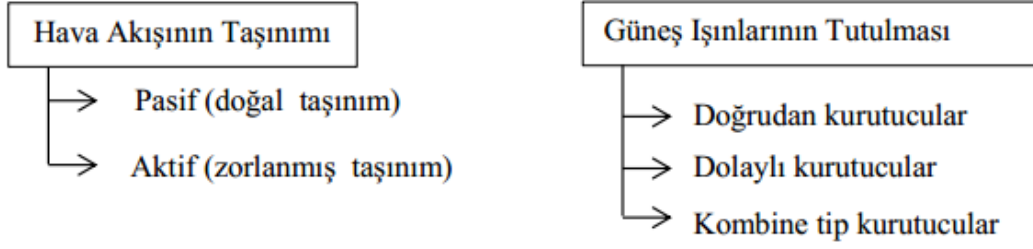
4.2.2. Güneş Enerjisi ile Kurutmanın Önemi

Ürünü kurutmanın olumsuz koşullarından arındırmak, istenilen sürede, istenilen oranda kurutma yapabilmek ve kaliteli bir ürün elde edebilmek amacıyla güneş enerjili kurutma sistemi kullanmak gerekir. Bu sistemlerin sağlayacağı yararlar aşağıdaki gibi sırlanabilir.

1. Kurutulacak ürünün yağmur, toz ve zararlı böcekler gibi dış etkilerden korunabilmesi
2. Kurutulacak ürünün, düzgün yerleştirme ve yeterli hava sirkülasyonu ile homojen kurutulmasının sağlanabilmesi
3. Kurutma havasının, ürünün zarar görmeyeceği en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilmesi
4. Kurutma ortamına giriş ve çıkış debileri ile kurutma hızlarının kontrol edilebilmesi
5. Kurutma süresinde önemli bir azalma meydana gelecek, bu da enerji tasarrufu sağlayacaktır.
6. Hasat periyodu kısılacak böylece diğer bitki için toprağın hazırlanmasına imkan tanınacaktır.
7. Ürünlerdeki kalite artışı sayesinde üreticiler daha yüksek gelir elde edeceklerdir [18].

4.2.3. Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Hava akışının taşınımı ve güneş ışınlarının tutulma biçimine göre güneş enerjili kurutucuları sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar da kendi aralarında farklı başlıklara ayrılırlar. Bunlar; hava akışının taşınımına göre pasif yani doğal taşınım ve bir diğeri aktif yani zorlanmış taşınım olarak iki kısımda, güneş ışınlarının tutulma şekline göre ise doğrudan, dolaylı ve kombine tip kurutucular olarak üç kısımda incelenirler [35].



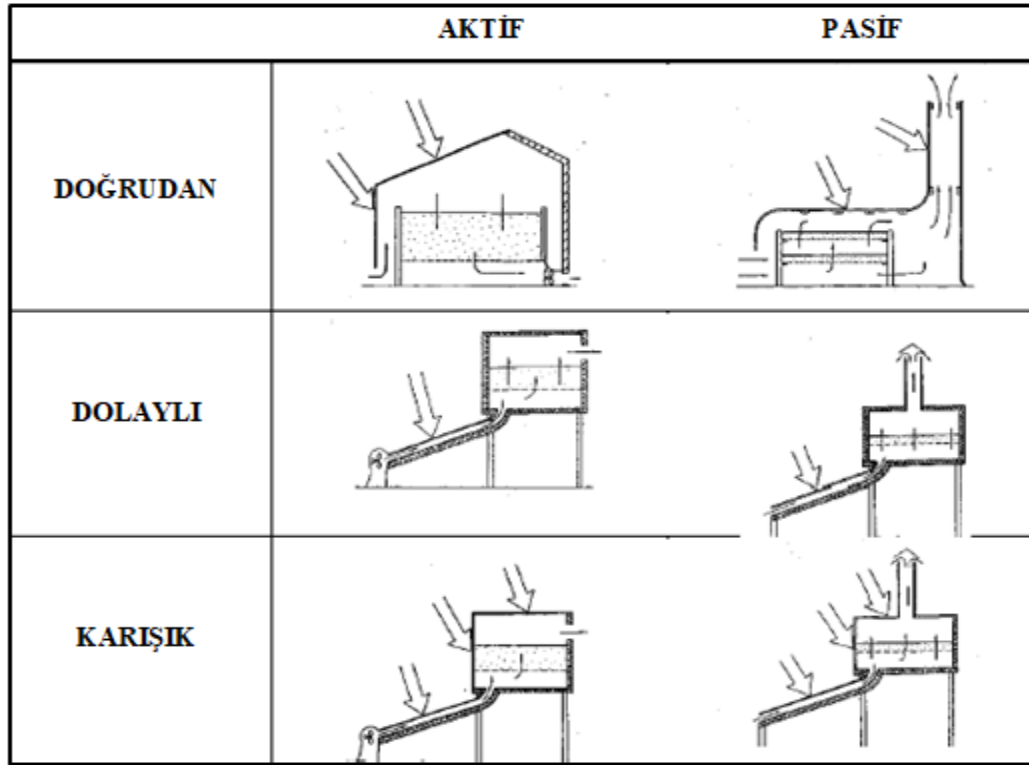
- Pasif güneş enerjili kurutma sistemi herhangi bir cihaz olmadan geleneksel yöntemlerle doğal sirkülasyonlu olarak gerçekleşen kurutma sistemleridir.
- Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri ise sirkülasyonun doğal olarak değil de yardımcı bir cihaz tarafından sağlanan hibrit sistemlerdir.

Aktif ve Pasif sistemlerin her biri güneş ışınlarının tutulma şekline göre doğrudan, dolaylı ve hibrit kurutucular olarak kategorize edilirler.

4.2.3.1. Hava Dolaşımını Sağlama Türüne Göre Kurutucular

Kurutma işlemi, kurutma odası içerisinde bulunan ürünler üzerinden geçirilen sıcak havanın sirkülasyonu ile ortamdaki nemli bünyesine alıp ürünün içerisinde barındırdığı mevcut suyu uzaklaştırmasıyla gerçekleşir. İşte burada güneş enerjisi destekli kurutucularda dolaşan havanın dolaşımını sağlama türüne göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma Pasif ve Aktif Kurutucular olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Bir diğer adı da doğal taşınım olan pasif kurutucularda ısınan havanın yükselmesi ilkesinden faydalanılırken, zorlanmış taşınımında yani aktif kurutucularda kurutma havasının sistem içerisinde dolaşımına yardımcı bir fan kullanılmaktadır [35].

Aktif ve pasif kurutucu örnekleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Aktif ve pasif kurutucu şekilleri [16].

Pasif (Doğal Taşınım) Kurutucular

Pasif tip kurutucular ek bir enerji kaynağı olmadan güneş enerjisi ile çalışan kurutuculardır. Bu tür kurutucularda hava doğal olarak ısıtılır ve dolaştırılır. Bu sistemlerde havanın dolaştırılması adına fan kullanılmadığı için “pasif” olarak nitelendirilirler. Fan kullanılmamasından dolayı hava akışını arttırmak için de baca veya rüzgar türbini kullanılabilir. Pasif kurutuculara örnek olarak güneş kabinleri, çadır, sera ve baca tipi kurutucular verilebilir. İlkel bir yöntem olmasıyla birlikte kurulum maliyeti düşüktür. Ancak kurutma havası sıcaklığı kontrol edilememektedir. Özellikle elektrik şebekesinden uzak yerlerde kullanılır. Bu kurutucularda, muz, ananas, mango, patates, havuç gibi küçük meyve ve sebzeleri kurutmak için en uygun kurutucu tipidir [16].

Aktif (Zorlanmış Taşınım) Kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutma havasının dolaşımı elektrikli bir fan aracılığıyla olmaktadır. Pasif kurutuculara kıyasla aktif kurutma da kuruma işlemi daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Tipik bir aktif güneş kurutucusu, sadece ısı kaynağı olarak güneş enerjisini kullanmaktadır. Özellikle geceleri güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda fosil yakıtlar kullanılarak kurutma işlemi kontrollü bir sıcaklıkta devam ettirilebilir. Fosil yakıtlı kurutucular da içeren bu sistemler “Hibrit Güneş Enerjili Kurutucu” olarak da adlandırılabilirler. Bu kurutucu tipleri geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Yüksek nem oranına sahip papaya, kivi meyveleri, patlıcan, lahana ve karnabahar dilimleri gibi gıda maddelerinin kurutulması işlemlerinde uygundur. Doğrudan, dolaylı ya da hibrit tip kurutucular olarak sınıflandırılabilen çeşitli aktif güneş enerjisi kurutucuları mevcuttur [16].

4.2.3.2. Güneş Işınlarnın Tutulma Şekline Göre Kurutucular

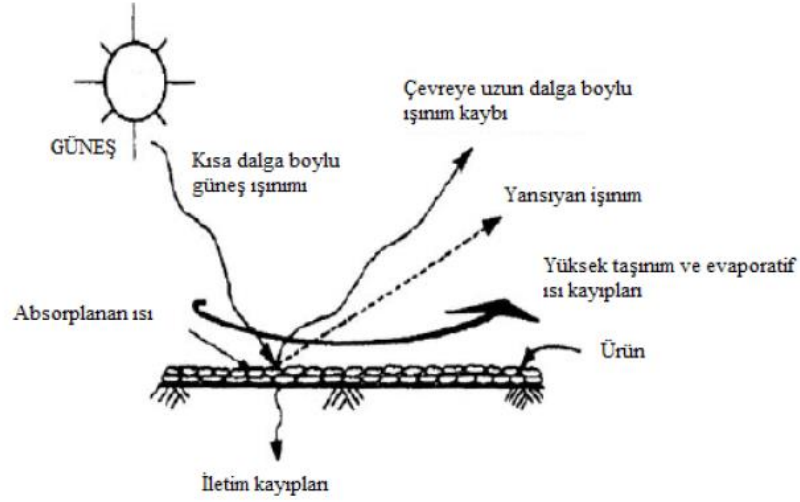
Kurutma işlemi teknolojinin gelişmediği dönemlerde dahi kullanılmıştır. Bugün hangi tür yeni teknikler ile ne gibi farklılıklarının olacağı merak edilen bir husustur. Basit bir konu olarak düşünülse de ayrıntılarla kaliteyi yakalayan bir olaydır. Bu nedenle güneş ışınlarını nasıl kullanıp ne şekilde değerlendirdiğiniz de çok önemlidir. Bu ışınları kullanım şekli kurutulacak ürünler açısından büyük bir öneme sahiptir.

Güneş ışınlarının tutulması şekline göre kurutmayı açıkta kurutma, dolaylı kurutma, doğrudan kurutma ve hibrit güneşli kurutma olarak ayrıntılarıyla ve görselleriyle birlikte dört ayrı başlık altında açıklanmaktadır.

Açıkta Güneş Enerjili Kurutma

Sadece güneş enerjisi kullanılarak açıkta gerçekleştirilen kurutma şeklidir. Geleneksel bir kurutma yöntemi olan bu işlem kurutulacak ürünlerin örtü üzerlerine, beton zemine ya da toprak üzerine yaydırılarak doğal yollarla hava akımına maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilir. Güneş enerjisinden başka herhangi bir kaynak

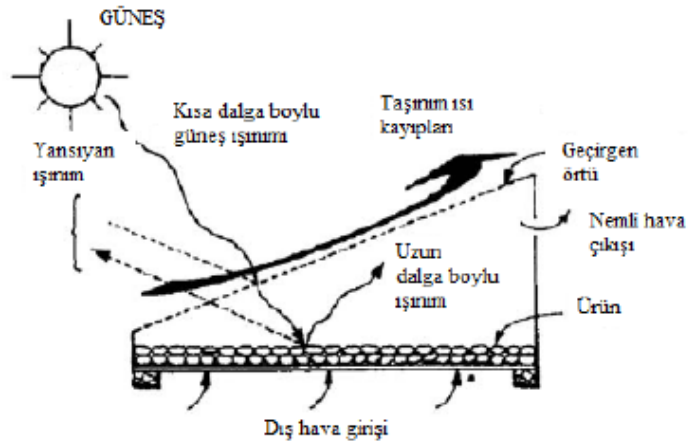
kullanılmamasından dolayı en basit ve en ucuz yöntemdir. Ancak ürün kalitesi, hijyen ve çevre koşullarının olumsuzlukları gibi dezavantajları da bulunmaktadır [16,19].



Şekil 4.5. Açıkta güneş enerjili kurutma [16].

Doğrudan (direkt) Güneş Enerjili Kurutma

Güneş enerjili kabin tipi kurutucu olarak da bilinen direkt güneş enerjili kurutma sistemleri Şekil 4.6’te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Doğrudan güneş enerjili kabin kurutucu [16].

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi taze hava kabine aşağıdan alınır. Bu hava ürünün içerisindeki nemi alır ve üst çıkıştan bu nemli havanın tahliyesi yapılarak sistemden uzaklaştırılır. Kabinet tipi bu sistemlerde cam örtüye gelen güneş ışınlarının bir kısmı cam yüzey sayesinde absorbe edilirken diğer bir kısmı ise yüzeyden atmosfere yansıtılır. Sistem içerisine geçen ışınların bir kısmı daha sonra kurutmaya bırakılan ürünlerin yüzeyinden geri yansır ve geri kalanı ürünler tarafından soğurur. Böylece bu durum sıcaklık artışına neden olurken aynı zamanda da cam örtü nedeniyle radyasyonun atmosfere geçişi engellenerek bu ışınlar tekrardan sistem içerisine yayılır. Bu sebeple kabin içerisindeki ürünlerin üzerlerindeki sıcaklık daha fazla olur. Tüm bu etkilerin sonucunda kabinet kurutucularında kullanılan cam örtü sistemin sıcaklığının arttırılmasında büyük rol oynar ve bunun yanında da sistemden ortama olan ısı kayıplarını önler [16,35].

Açık kurutmaya göre kıyaslanır ise doğrudan güneş enerjili kurutmanın bazı avantajları vardır. Bunlar;

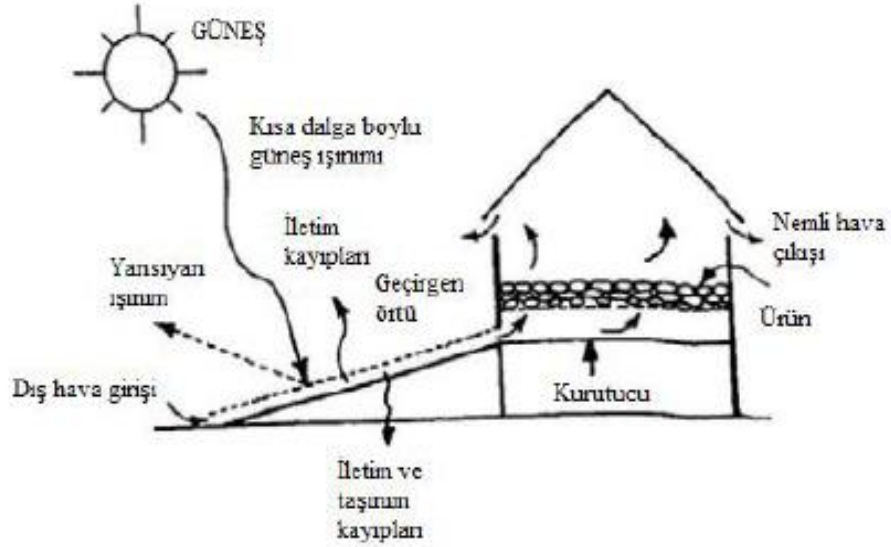
1. Aynı yükleme kapasitesi için endirekt (dolaylı) tipten daha basit ve ucuzdur.
2. Yağmur, çığ, toz gibi dış etkilerden koruma sağlama.

Doğrudan güneş enerjili kabinet tip kurutucunun aşağıdaki sınırlamaları vardır:

1. Ürünün zarar görmesine neden olacak yerel olarak aşırı ısınmaya neden olma.
2. Düşük buharlaşma hızları, nispeten yavaş toplam kurutma oranlarına (hızlarına) neden olur.
3. Küçük kapasitelidir, küçük ölçekli uygulamalarla sınırlı kalır.
4. Güneş ışığına doğrudan maruz kalması nedeniyle üründe renk bozulması.
5. Cam örtülerin iç yüzeylerindeki nem yoğunlaşması geçirgenliğini azaltır.
6. Ürün sıcaklığındaki yetersiz artış, nemin giderilmesini etkiler.
7. Absorber (soğurucu) üzerinde ve kabin kurutucusunun içinde seçici kaplamaların sınırlı kullanımı [16].

Dolaylı (Endirekt) Güneşli Kurutma

Bu tip kurutucular doğrudan kurutuculardan buharın uzaklaştırılması ve ısı transferi yönünden birbirlerinden farklıdır. Şekil 4.7 dolaylı kurutucuların çalışma prensiplerini göstermektedir.



Şekil 4.7. Dolaylı güneş enerjili kurutucunun çalışma prensibi [16].

Kurutulacak ürünler saydam olmayan opak bir kurutma odasında ayrı ayrı tepsilerde raflara yerleştirilir. Burada bulunan kollektör, hava akışlı toplayıcı şekilli olup sisteme giren havanın ısıtılarak kurutma ortamına gönderilmesini gerçekleştirir. Isınan hava nem içeriği yüksek olan kurutulacak ürünlerin üzerinden geçirilir. Bu geçiş esnasında üründen uzaklaştırılan nem konvektif (taşınım) ısı transferiyle gerçekleştirilir. Kurutma işleminin gerçekleşmesi yaş ürünün yüzeyini çevreleyen hava ile ürünün kuruması için sisteme gönderilen kurutma havası arasında ki nem yoğunluğundaki farklılık sebebiyle olur.

Dolaylı güneş kurutmanın avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. Kurutma işleminde daha iyi kontrolü sağlar ve kurutma sonucunda elde edilen ürün daha iyi kalitede olur.

2. Ürünler korunduğu için doğrudan radyasyona maruz kalmazlar ve bu da ürünler üzerinde meydana gelebilecek ısı hasarlarını ortadan kaldırır.
3. Derin tabaka kuruması için önerilen daha yüksek sıcaklık değerlerinde çalıştırılabilir.
4. Radyasyona doğrudan maruz kalmadığı için ışığa karşı hassas ürünler için tavsiye edilir.
5. Doğrudan güneş kurutma sistemleriyle mukayese edildiğinde daha fazla verime sahip olduğu görülür [16].

Tüm bu avantajlarının yanında görülmesi gereken dezavantajları ise ekipmanlar açısından daha fazla sermaye gerektirmesi ve doğrudan kurutma sistemlerine kıyasla daha büyük bakım maliyetleri gerektiren ayrıntılı yapılar olmasıdır [16].

Hibrit Güneşli Kurutma

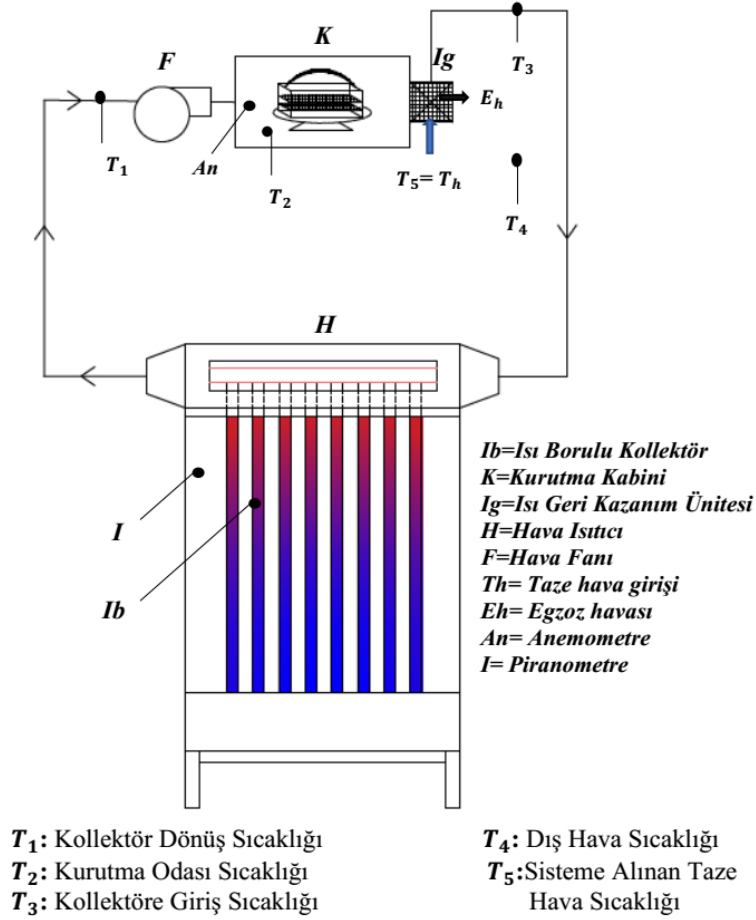
Karışık tip güneş enerjili kurutucular olarak da bilinen bu sistemlerde hem direkt hem de endirekt şekilde yararlanılmaktadır. Bu konu da farklı çalışmalarda bulunulmuştur. Ege Üniversitesi'nde tasarımı yapılarak kurutma çalışmalarında denenilen sistem tasarlanmıştır. 1974 yılında Selçuk ve arkadaşları tarafından rafli güneş enerji destekli karışık tip kurutucular tasarlanmış matematiksel ısı ve kütle transfer bağıntıları sabit hava debisi için hesaplanmıştır. Yabancı kaynaklara baktığımızda ise 2008 yılında Bolaji ve arkadaşı Olalusi tarafından patates kurutmak için hazırlanan karışık tip kurutucular geliştirilmiştir [16,35].

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. GÜNEŞ ENERJİLİ, ISI BORULU VE ISI GERİ KAZANIMLI KURUTMA SİSTEMİ

Bu çalışmada, düzlemsel kollektörlü, 40° eğimli, ısı borulu ve ısı geri kazanımlı güneş enerjili kurutma sistemi tasarlanarak, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği atölye ve laboratuvarında imal edilmiştir. İmal edilen sistemde ürün olarak kivi meyvesi kurutulmuştur. Sistemde konvansiyonel enerji kaynağı kullanmadan ürünlerin kurutulması amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda da ısı geri kazanım üniteli ve kanatçıklı ısı boruları kullanılmıştır. Dış ortamdan alınan soğuk ve kuru hava önce ısı borulu kollektörde ısıtılarak bir fan ile kurutma odasına (mahal) 1 m/s hızında gönderilmektedir. Kurutucuda uygun istif yöntemi ile yerleştirilmiş ürünlerin üzerinden geçirilerek nemi alınmakta ve işlem görmüş nemli hava ısı geri kazanım ünitesinden geçirilerek dışarı atılmaktadır. Böylece kurutma havası dışarıdan alınan taze havayla birbirine karışmamakta ve ısı geri kazanım cihazı aracılığıyla ile de enerji tasarrufu edilmektedir. Kurutma sistemi, elemanları ve ölçümlerin alındığı noktalar Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



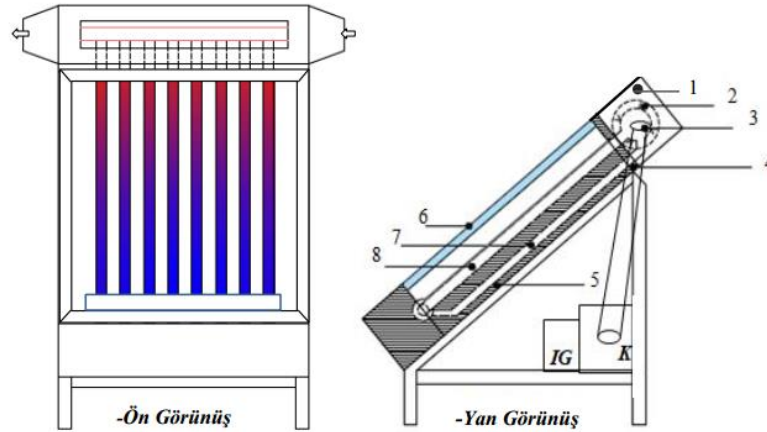
Şekil 5.1. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi ve ölçüm noktaları.

Sistemde sıcaklık ölçüm noktaları ile birlikte ağırlık ölçümü ve ışınlım ölçüm noktaları da gösterilmiştir. Kurutma odasında sıcaklık ölçümü ile birlikte havanın bağıl nem değeri de ölçülmüştür.

5.1.1. Isı Borulu Kollektör

Bu tip kollektörler, kurutma havası için gereken ısı enerjisinin sağlandığı ve elde edilen bu enerjiyi kurutma odasına aktaran sistemlerdir [1]. Isı borularının imalatında 12 mm çapında 8 adet bakır boru kullanılmıştır. Isı boruları manifold şeklinde düzenlenmiştir. Isı borularında kılcallığın sağlanarak yüzeysel buharlaşmayı hızlandırması için içerisine, alt kısmından başlayarak boruların boylarının %70'lik kısmını kapsayacak şekilde 100 mesh'lik pirinç malzemenen fitil yerleştirilmiştir. Bunun yanında manifold bölgesinde yoğunlaşan sıvının kolayca tekrar buharlaşma

bölgesine dönmesi için 15 mm'lik bakır borudan, geri dönüş hattı oluşturulmuştur. Yoğuşan ısı borusu akışkanının üst manifold borusundan dönüş borusuna toplanabilmesi için iki uçtan orta dönüş borusuna doğru % 2'lik bir eğim ile yerleştirilmiştir. Sistemde ısı borusu akışkanı olarak (C₂H₅OH) etanol kullanılmıştır. Isı borusu demetlerinden oluşan kollektöre etanol konulmadan önce vakum pompası ile vakumlama işlemi yapılmıştır. Isı transferini arttırmak için ise ısı borularının sabitlendiği üst manifold üzerine kanatçıklar yerleştirilmiştir. Bu kanatçıklı manifold üzerine 150 ×150×1000 mm kesitli hava kanalı yerleştirilmiştir. Dışarıdan alınan taze hava bu kanal içerisinden ve kanatçıklar üzerinden geçirilmektedir. Sistemde ısı borularının yerleştirildiği güneş kollektörü düzlemsel tip olup, net 1 m²'lik ışınım yüzey alanına sahiptir. Isı boruları siyah selektif bir yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Kollektör yan yüzeyleri 20 mm kalınlığında ahşap ve üzeri 20 mm kalınlığında cam yünü ile yalıtılmıştır. Kollektör tabanında 20 mm cam yünü ve üzerine kontraplak çakılarak onun üzeri de 0.35 mm saç malzeme ile kaplanmıştır. Isı boruların yerleşirildiği absorblama levhası (selektif yüzey) kasa içerisine yerleştirilerek üzerine 4 mm kalınlığında cam yerleştirilmiştir. Cam yüzeyde suya karşı sızdırmazlık için silikon conta kullanılmıştır (Şekil 5.2).



1. Isıtıcı hava kanalı, 2. Isı transfer kanatçıkları, 3. Üst manifold, 4. Kollektör ve üst manifoldun birleşim yeri, 5. Kollektör yalıtım malzemesi, 6. Cam, 7. Yoğuşan sıvının kollektöre dönüş hattı, 8. Isı borusu, K. Kurutma kabini, IG. Isı geri kazanım ünitesi.

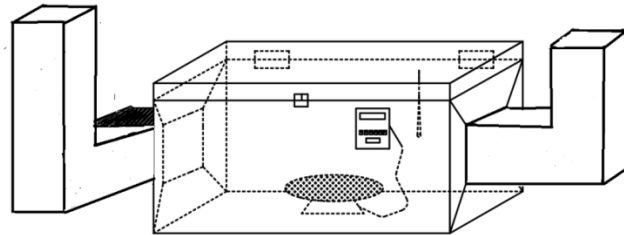
Şekil 5.2. Isı borulu güneş kollektörü.



Şekil 5.3. İmalatı tamamlanan ısıborulu kollektör.

5.1.2. Kurutma Odası

Kurutma odası, 26×23×60 cm ebatalarında 20 mm kalınlığında ahşap malzemedan dolap tipinde açılır kapanır kapaklı olarak imal edilmiştir (Şekil 5.4). Üzeri 20 mm cam yünü ile yalıtılmıştır . Yalıtım malzemesinin üzeri aliminyum folyo ile sarılarak suya ve neme karşı yalıtılmıştır. Yanlarına 150×150 mm ebatlarında kanallar açılarak bunun bir tarafına fan diğer tarafına ısı geri kazanım cihazı monte edilmiştir. Kurutma tavaşı kabin içerisinde ağırlık kaybının ölçülmesi için hassas bir terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutulacak ürünler için oda içerisine uygun istif ve teması sağlayacak gözenekli, iki katlı ve zikzaklı kurutma tavaları yerleştirilmiştir (Şekil 5.5).



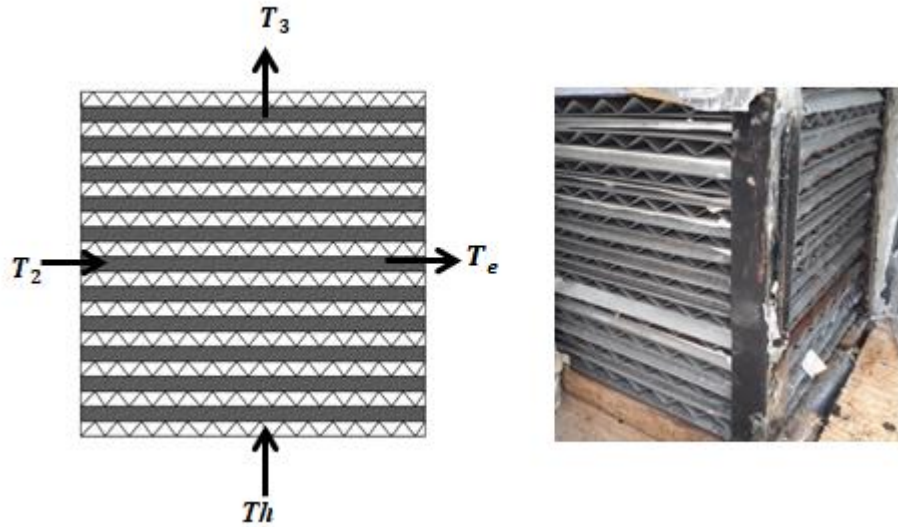
Şekil 5.4. Kurutma odasının şematik gösterimi.



Şekil 5.5. Kurutma tavaları.

5.1.3. Isı Geri Kazanım Ünitesi

Isı geri kazanım cihazı havanın birbirine karışmayacak şekilde çapraz geçişli olarak tasarlanmıştır. Isı transfer plakaları, 20×20 cm ebatlarında 24 adet 0.35 mm kalınlığında düz sac plakanın pres ile zikzaklı bükülmesi ile oluşturulmuştur. Elde edilen ısı geri kazanım ünitesinin toplam ısı transfer yüzey alanı (0.2 m×0.2 m×24) $A= 0.96 m^2$ 'dir.



Şekil 5.6. Isı geri kazanım ünitesi.

5.1.4. Kullanılan Ölçme ve Kontrol Cihazları

Kurutma sistemlerinde, belirlenen noktalarda uygun ölçme ve kontrol cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar ve özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.

Kullanılan Cihaz Adı	Özellikleri
Sıcaklık Ölçüm ve Kontrol cihazı	EVKB41 Dijital sıcaklık ölçer ve termostat (220 V-50/60 Hz) -6 kanallı seçme anahtarlı NTC problu -Ölçüm aralığı -40.....+110 °C -NTC prob hassasiyeti ±0,5 °C -Kontrol: Sıcaklığa bağlı termostatik control yapar.
Hava Hızı Ölçüm Cihazı (Anemometre)	Testo 435, Maksimum Hava Hızı 40m/sn, Doğruluk ±%1,5 + 0,2 m/s.
Nem Ölçer (Higrostat)	20-90/ RH arası ölçüm hassasiyetli
Işınım Ölçer (Solarmetre)	TES 1333R Solar Güç Ölçer, Aralık 2000 W/m ² , Doğruluk ± 10 W/m ² .
Dijital Hassas Terazı	6100 g, ± 0,01 g ölçüm hassasiyeti
Fan	Aksiyal Kanal Tipi Fan 220 V, 0,23 A, 2700 d ⁻¹ .

5.1.5. Kivi Meyvesi

Kivi, C Vitamini yönünden zengin, çok besleyici bir meyvedir. Nem içeriği %80’in üzerindedir. Yüksek nem içeriğine sahip olduğu için çabuk bozulan bir meyvedir. Bu nedenle raf ömrü kısadır. Raf ömrü, depolama ve taşıma koşulları ürünün toplam çözünür katı içeriğine bağlıdır. Üründen nemi uzaklaştırıp ağırlığını katı içeriğine indirmek için kurutma işlemi uygulanmaktadır. Kivi meyvesinin ideal kuru madde oranı %20’dir [39].

5.1.6. Deneyin Yapılışı

Gıdalarda toplam kuru madde miktarı gıdanın kuru madde ve su oranını belirlemenin yanında, gıdanın bileşimi, besin değeri ve kalitesi hakkında da bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır [40]. Deneylere başlamadan önce kividaki kuru ve yaş madde miktarını belirlemek için etüvde 105 °C sabit sıcaklıkta, tartılan ürün son üç ölçüm

değerinde ağırlık değişimin olmadığı işleme kadar krutmaya devam edilmiştir. Bu belirlenmelerden sonra kurutma sisteminde kapalı ve açık çevrimli kurutma deneylerine geçilmiştir. Açık ve kapalı çevrim deneyleri Karabük ili iklim şartlarında, sabit 1 m/s hava hızında, değişken ışıınım değerlerinde, 28-29 Ağustos ve 2, 3, 4 Eylül 2019 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. 28-29 Ağustos deneylerinde sistem, kurutma havası sıcaklığının ulaşabileceği değerleri belirlemek için kurutma kabine ürün konulmadan, hava damperleri kapatılarak kapalı çevrim olarak çalıştırılmıştır. 2, 3, 4 Eylül tarihlerindeki, açık çevrim deneylerinde ise eşit olarak dilimlenmiş kiviler tavalar üzerine dizilmiş ve hava damperleri açık tutulmuştur. Her yeni günde ayrı ayrı 200 g'lık 5 mm olarak dilimlenmiş kivi meyvesi kullanılmıştır. Kivilerin yerleştirildiği tavalar kurutma kabini içerisinde hassas bir terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma deneyi süresince her yarım saatte, sıcaklık, ışıınım, bağıl nem ve ağırlık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

5.2. YÖNTEM

5.2.1. Kurutma Sisteminin Teorik Analizi

Tasarlanan kurutma sistemi termodinamik açıdan analiz edilmiş ve analizde yapılan kabuller aşağıdaki gibidir;

1. Sisteme giren ve çıkan ısı miktarlarının ve verim hesaplamalarında sistem içerisinde zorlanmış taşınım şartları, sistemin dışında doğal taşınım durumunun olduğu kabul edilmiştir.
2. Hava hızı değerleri kurutma kabini içinde, ürün üzerinde 1 m/s olacak şekilde ayarlanmış ve sistemdeki ısı hesaplamalarda kabin ve kanallar içerisindeki hız değerleri bu değere eşdeğer alınmıştır.

Kurutulacak ürünlerin kuru kütlelerinin yani içerisinde ihtiva ettiği nem miktarının belirlenebilmesi için etüv fırınında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin ağırlıklarında meydana gelen değişime göre ürünün içerisindeki nem miktarının belirlenmesi adına tam olarak ürünlerin kuru ağırlıklarının belirlenmesi gereklidir. Ürünleri kurutmaya başlamadan evvel sıcaklığı 105 °C'de sabit tutulan etüv fırınında

5 mm kalınlıklarında dilimlenmiş 200 g ürün belirli aralıklarla ağırlık ölçümleri yapılarak veriler kaydedilir ve kurutma işlemine devam edilir. Etüv fırınında kurutulan ürünün ard arda alınan iki ölçüm değeri sonunda ağırlığın %1'den az olması durumunda kurutulan ürünlerin tam kuru ağırlığa ulaştığı kabul edilir. Ürünlerde ki kuru esasa ve yaş esasa göre hesaplanan su miktarları aşağıdaki Eşitlik (5.1) ve (5.2)'ye göre yapılabilir [37].

Kurutma yapılan ürünlerdeki kuru ağırlığa göre hesaplanan nem miktarı;

$$MC_{KA} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \quad (5.1)$$

Ürünlerdeki yaş ağırlık baz alınarak hesaplanan nem miktarı;

$$MC_{YA} = \frac{M_i - M_s}{M_i} \quad (5.2)$$

için eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitliklerde M_i ve M_s ürünün ilk ve son ağırlıkları ifade etmek için kullanılmıştır. Yapılan bu işlemde kurutulan kivi meyvesinin yaş baza göre hesaplanan başlangıçta içinde ihtiva ettiği nem miktarı Eşitlik (5.2)'ye göre 0,83 g su/g yaş madde olarak belirlenmiştir. Başlangıçtaki nem miktarı belirlenmiş olan kiviler yeniden 5'er mm'lik dilimler haline getirilerek kurutma odası içerisine özgün tasarımıyla oluşturulan tavalara dizilip yerleştirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Kabin içerisinde bulunan hassas terazinin dijital göstergesi kabin dışına bağlanarak kurutma odası açılmadan ağırlıkta meydana gelen değişim değerleri kaydedilmiştir. Günlük kurutma işleminde kivilerin son nem miktarları ve duyuşsal analizler sonucunda gerekli kontroller yapıldıktan sonra kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

Kuru madde miktarının tayini için etüv fırınında kurutma yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama için;

$$\% \text{Kuru Madde} = \frac{M_s}{M_i} \times 100 \quad \text{formülü kullanılmıştır.} \quad (5.3)$$

Kurutulan ürünlerdeki nem oranının değişimi;

Bu oran kurutma esnasında herhangi bir zamanda ürünün içerisinde kalan nem miktarının, başlangıçta ürünün içinde bulunduğu buharlaşabilecek tüm miktarına olan oranı belirlemek için kullanılan formül Eşitlik (5.4)'te verilmiştir [37].

$$NO = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (5.4)$$

Kivi diliminin denge nem içeriği konvektif kurutma sırasında sifıra eşit kabul edilmiştir. Bunun nedeni bir katıda ısı iletiminin ısı enerjisinin depolama hızına olan oranı ihmal edilebilecek kadar küçük ise bu denklem basitleştirilebilir [42,43]. Denklemin son hali Eşitlik (5.5)'te ki gibidir. Ürün içerisinde herhangi bir zamanda buharlaşabilecek nem miktarının, üründen başlangıç anında buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranı olarak tanımlanır.

$$NO = \frac{M_t}{M_o} \quad (5.5)$$

Özgül nem çekme oranı hesabı;

Literatürde SMER olarak geçen kurutma sistemlerinin en mühim verim etkinliği özgül nem çekme oranı, kurutma ürünlerinden 1 g nem uzaklaştırmak için tüketilmesi gereken enerjidir. Bu oranın bulunmasında kullanılan formül Eşitlik (5.6)'da verilmiştir [37]. Eşitlikte \dot{m}_d saatlik kuruma miktarını ifade ederken \dot{W}_f fan gücünü ifade etmektedir.

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_f} \quad (5.6)$$

Kivi meyvesinin su aktivitesinin hesaplanabilmesi için denge bağıl nemi ile olan ilişki incelenmelidir. İçinde bulunduğu hava ile denge halinde bulunan gıda

maddesinin içerdiği nem miktarına denge nemi denir. Denge halindeki gıda maddesini çevreleyen havanın bağıl nemine ise denge bağıl nemi denmektedir [41]. Buna bağlı olarak;

$$a_w = \frac{\text{Denge Bağıl Nemi}}{100} \quad \text{eşitliği ile hesaplanmaktadır.} \quad (5.7)$$

Sistemin enerji kazançları hesaplamalarında

Sisteme giren enerji;

$$Q_g = A \times I \quad (5.8)$$

Isı geri kazanım ünitesinden kazanılan enerji hesabında;

$$Q_{ig} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_3 - T_4) \quad (5.9)$$

Isı borulu kollektör ile elde edilen enerji;

$$Q_{ibk} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_3) \quad (5.10)$$

eşitlikleri kullanılmıştır.

Sistemin enerji kaybı hesaplamalarında;

$$\sum Q_{kayıp} = Q_{ç1} + Q_{ç2} \quad (5.11)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte verilen $Q_{ç1}$ dışarı atılan nemli egzoz havasından oluşan ısı kaybı, $Q_{ç2}$ ise sistem duvarlarından (kurutma odası, kanallar, vb.) dış ortama olan ısı kayıpları olup;

$$Q_{ç1} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_4) \quad (5.12)$$

$$Q_{\zeta 2} = K \cdot A \cdot (T_2 - T_4) \quad (5.13)$$

eşitlikleri ile bulunur. $Q_{\zeta 2}$ 'nin hesabında K toplam ısı transfer katsayısının bulunabilmesi için sistem içerisindeki zorlanmış (h_i) ve dışındaki doğal taşınım (h_d) katsayılarının hesaplanması gerekir. K ısı transfer katsayısı eşitlik (5.14) ile hesaplanmıştır.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_y}{k_y} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{1}{h_d}} \quad (5.14)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Fırın içerisindeki zorlanmış ısı taşınım katsayısı (h_i)'nin hesabında eşitlik (5.15) ve (5.16) dan yararlanılmıştır;

$$Nu = h_i \cdot L / k_h \quad (5.15)$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad \text{Dittus-Boelter Bağıntısı kullanılmıştır.} \quad (5.16)$$

Doğal ısı taşınım katsayısı (h_d)'nin hesabında;

$$Nu = h_d \cdot L / k_h \quad (5.17)$$

$$Nu = 0,54 \cdot Ra^{0,25} \quad (5.18)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (5.19)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_y - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \quad \text{eşitlikleri kullanılmıştır.} \quad (5.20)$$

Isı geri kazanım ünitesinin toplam U ısı transfer katsayısı hesabı için;

$$Q_{ig} = m_1 \cdot Cp_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot Cp_2 \cdot \Delta T_2 = U \cdot A \cdot \Delta Q_m \Rightarrow U = \frac{Q_{ig}}{A \cdot \Delta Q_m} \quad (5.21)$$

Eşitlik (5.21)'de $(m_1 \cdot Cp_1) = C1$, $(m_2 \cdot Cp_2) = C2$ akışkan değerleri birbirine eşittir. Isı geri kazanım cihazının ısı transfer alanı sabit olup ters akışlı logaritmik sıcaklık farkı eşitlik (5.22) ile hesaplanır.

$$\Delta Q_m = \frac{(\Delta Q_g - \Delta Q_\zeta)}{\ln(\Delta Q_g / \Delta Q_\zeta)} \quad (5.22)$$

$$\Delta Q_g = T_2 - T_3 \quad (5.23)$$

$$\Delta Q_\zeta = T_3 - T_4 \quad (5.24)$$

Havadan havaya ısı geçişli ısı geri kazanım ünitesinin verim hesabı için;

$$\eta_{lg} = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_2 - T_4)} \quad (5.25)$$

Isı borulu kollektör verim hesabı için;

$$\eta_{lbk} = \frac{Q_{lbk}}{Q_g} \quad (5.26)$$

eşitliği ile bulunmuştur. Sistemin termal verimi, ısı borulu kollektörden elde edilen enerji (Q_{lbk}) ile ısı geri kazanım ünitesinden kazanılan enerjinin toplamının (Q_{lg}) sisteme giren enerjiye oranı (Q_g) olup;

$$\eta_t = \frac{Q_{lbk} + Q_{lg}}{Q_g} \quad (5.27)$$

eşitliği yardımı ile hesaplanır.

Sistemin teorik analizinde kullanılan parametreler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Sistemin teorik analizlerinde kullanılan parametreler (4 Eylül 2019 tarihine ait).

Parametreler	Değer	Birim
Kollektör dönüş sıcaklığı, T_1	38.2	°C
Kurutma odası sıcaklığı, T_2	38.0	°C
Kollektöre giriş sıcaklığı, T_3	32.7	°C
Dış hava sıcaklığı, T_4	30.55	°C
Sisteme alınan taze hava sıcaklığı, T_h	30.55	°C
Yüzey sıcaklığı, T_y	33.65	°C
Ortam sıcaklığı, T_∞	32.3	°C
Fan gücü, W_f	50.6	W
Nemli ürün kütlesi	200	g
Kurutulduktan sonra ürün kütlesi	40	g
Kurutma havası hızı, v	1	m/s
Havanın yoğunluğu, ρ_{hava}	1.126	kg/m ³
Havanın özgül ısısı, $C_{p,hava}$	1.009	kJ/kg.K
40° hava için kinematik viskozite, ν_{hava}	16.97e-6	m ² /s
Havanın iletim katsayısı, k_h	0.0271	W/m.K
Prandtl sayısı, Pr	0.71	-
Kullanılan akışkan	etanol	-
Yalıtım malzemesinin iletim katsayısı, k_y	0.615	W/m.K
Sunta malzemesinin iletim katsayısı, k_s	0.040	W/m.K

Teorik ve deneysel analizler sonucu elde edilen analiz sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Analitik sonuçlar.

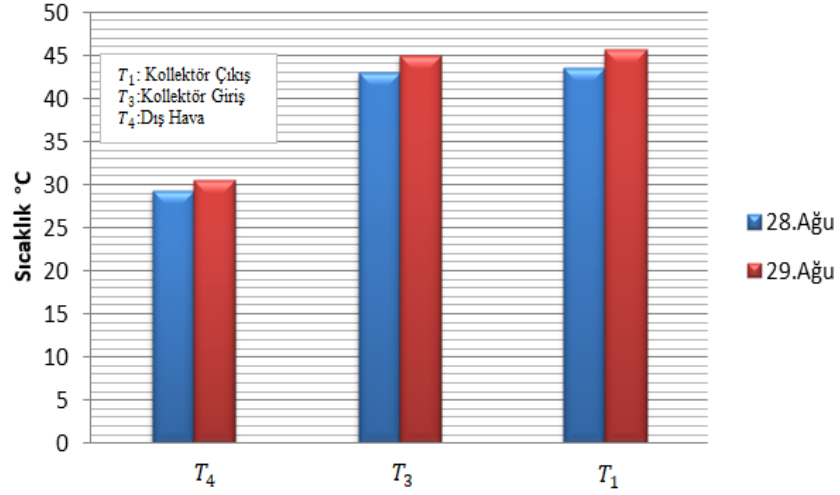
Parametreler	Değer	Birim
Kanal içi ısı taşınım katsayısı, h_i	5.17	W/m ² K
Kanal dış yüzey ısı taşınım katsayısı, h_d	1.69	W/m ² K
Yalıtım malzemesinin kesit kalınlığı, L_y	0.02	m
Sunta malzemesi kesit kalınlığı, L_s	0.02	m
Sistemin düşeyde karakteristik uzunluğu, L	1.5	m
Sistemde dolaşan hava debisi, \dot{m}	0.027	kg/s
Reynolds sayısı, Re	8839.13	-
Nusselt sayısı, Nu	28.63	-
İletim katsayısı, K	0.704	W/m.K
Kivinin yağ baza göre nem miktarı, MC_{YA}	0.83	g su/g
Kivinin kuru baza göre nem miktarı, MC_{KA}	4.94	g su/g
Kuru madde miktarı,	16.8	%
Isı geri kazanım ünitesi iletim katsayısı, K	12.38	W/m ² K
Sistemin arttırdığı sıcaklık, T	14.63	°C
Isı geri kazanım ünitesinden enerji kazanımı, Q_{ig}	60	W
Isı geri kazanım ünitesi verimi, η_{ig}	28	%
Isı borulu kollektör verimi, $\eta_{lök}$	24	%
Sistem termal verimi, η_t	39	%
Nem oranı, NO	0.17	-
Özgül nem çekme oranı, SMER	0.53	g/Wh
Rayleigh sayısı, Ra	5.7×10^7	-
Biot sayısı, β	3.2×10^3	-
Grashof sayısı, Gr	811614.08	-

BÖLÜM 6

DENEYLER, BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Deneyle Ağustos ve Eylül ayında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Sistemde kurutma havası sıcaklığının kapalı çevrimde nereye kadar çıkabileceğini görebilmek için ilk iki gün içerisinde ürün olmaksızın hava damperleri kapalı olarak deneyler yapılmıştır. Ardından dilimlenerek hazırlanan kurutulacak kiviler tavalar üzerine dizilmiş ve hava damperleri açık olacak şekilde yapılmıştır. Her yeni günde ayrı ayrı 200 g'lık kurutma ürünü kullanılmıştır. Tavalar üzerine dizilen yaklaşık 5 mm'lik kivi dilimleri dış ortamdan yalıtılmış kurutma odası içerisinde bulunan hassas terazi üzerine yerleştirilmiştir. Her yarım saatte bir deney düzeneği üzerine sabitlenen termokupllar yardımıyla dijital ekrandan okunan sıcaklık değerleri, piranometre ile eğimli kollektör cam yüzeyi üzerine düşen ışınım değerleri, hassas terazi ile ölçülen ağırlık değerleri ve kurutma odası içerisine yerleştirilmiş nem ölçerde okunan değerler kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular Origin Programı yardımıyla grafikler haline getirilerek değerlendirilmiştir.

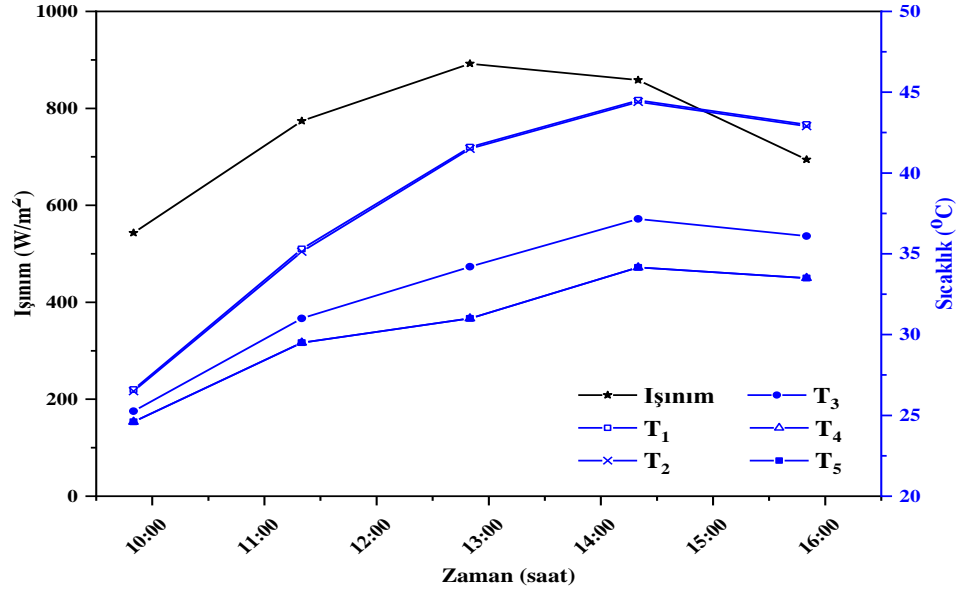
Deneysel çalışmalar, Ağustos 2019'da 2 gün ve Eylül 2019'da 3 gün olmak üzere 5 günde tamamlanmıştır. Sistem ilk iki gün kapalı çevrim olarak çalıştırılmıştır ve kurutma havası sıcaklığının ulaşacağı değerler belirlenmiştir ve Şekil 6.1'de iki günün ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 6.1. 28-29 Ağustos günlerine ait sıcaklık değişimleri.

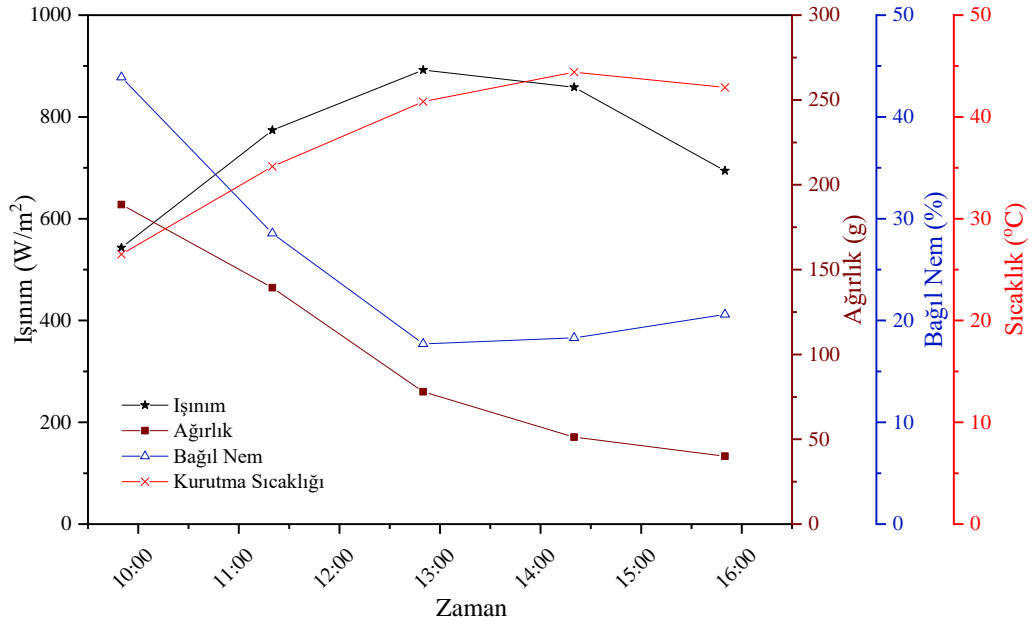
İçerisinde ürün olmaksızın çalıştırılan kapalı sistem, yaklaşık 30 °C olan dış hava sıcaklığını ısı borulu kollektörde gerçekleşen ısı kazancıyla ortalama 44 °C'ye yükseltmiştir. İki günün ortalama ışıınım değerlerinin sırasıyla 724.90 W/m² ve 813.17 W/m² olduğunda kollektör çıkış (T₁) ile kollektör giriş (T₃) sıcaklık değeri arasında sırasıyla 0.6 ve 0.62 °C'lik fark vardır. Bu sıcaklık farklarının düşük olmasının nedeni sistemin kapalı çevrim olarak çalışmasındandır. Sistem ışıınım değerine bağlı olarak ısıl olarak dengeye gelmektedir. Isıl dengeyi etkileyen faktörler ışıınım değeri ile sistemden iletimsel ve infiltrasyon olan ısı kayıplarıdır. Buradan sistemde kurutma sıcaklığının bu ışıınım değerlerinde 45 °C'ye kadar çıkabileceği belirlenmiştir.

2, 3 ve 4 Eylül 2019 tarihlerinde açık çevrim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Açık çevrim deneylerinde ışıınım değerleri en stabil olan 4 Eylül gününe ait değerler kullanılmıştır ve çalışmada bu değerler verilmiştir. 4 Eylül gününde elde edilen ışıınıma bağlı sıcaklık değişim grafikleri Şekil 6.2'de verilmiştir.



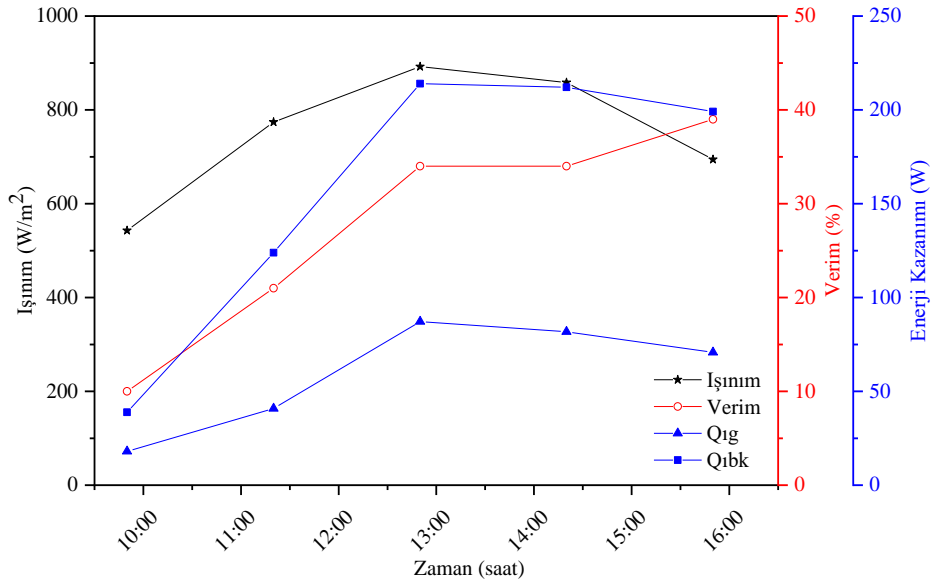
Şekil 6.2. 4 Eylül 2019 gününe ait ışınlıma bağılı sıcaklık değişimi.

Işınım değerinin artmasıyla birlikte kurutma havası sıcaklığı da artış göstermiştir. Açık çevrim olarak çalıştırılan sistem, ürünlerin eklenmesiyle birlikte Şekil 6.2’de görüldüğü üzere kollektör çıkış (T_1) ile kollektör giriş (T_3) sıcaklık değeri arasındaki fark artmıştır ve yaklaşık olarak 6 °C olarak belirlenmiştir. Ortalama 32 °C’lik dış hava sıcaklığı ile 40 °C olan kollektör çıkış sıcaklığı egzoz edilirken, ısı geri kazanım cihazında gerçekleştirdikleri ısı transferi ile kollektör giriş sıcaklığı yaklaşık olarak 34 °C’ye yükselmiştir. Böylece ısı geri kazanım cihazında yaklaşık 2 derecelik sıcaklık artışı sağlanmıştır. Ürünlerde ortalama 39.4 g değerine kadar kurutma gerçekleşmiştir. Yaklaşık olarak ürünlerin ağırlıkları %80 azalmıştır. 4 Eylül 2019 tarihli ölçümlerin ışınlıma bağılı ağırlık ve bağılı nem değişimleri Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



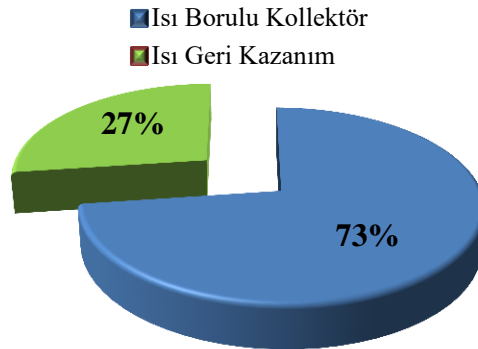
Şekil 6.3. 4 Eylül 2019 gününe ait, ışınım ve zamana bağlı ağırlık, bağıl nem ve sıcaklık değişimleri.

Işınım değerinin ve kurutma havası sıcaklığının artmasına bağlı olarak üründe ağırlık azalması gerçekleşmiştir. Başlangıçta, 200 g ağırlığındaki ürün 3 saat sonunda 13:00' da yaklaşık 75 g'a düşerken, daha sonraki 3 saatlik zaman dilimindeki ağırlık azalması daha yavaş gerçekleşmiştir. Ürünlerde ortalama 39,4 g değerine kadar kurutma gerçekleşmiştir. Yaklaşık olarak ürünlerin ağırlıkları %80 azalmıştır. Deney süresince ürünü çevreleyen havanın bağıl nem değerleri %44 ile %18,3 arasında ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişmiştir. Kurutulan ürün için su aktivitesi değeri, nem içeriği değerlerine de bakıldığında kuru meyveler için önerilen aralıkta ($a_w = 0,60-0,65$) olduğu görülmüştür [44]. 4 Eylül 2019 gününe ait kurutma deneyinde, zamana ve ışınım değerlerine bağlı enerji kazanım değerleri Eşitlik (5.9) ve (5.10) ile, termal verim değerleri ise Eşitlik (5.27) ile hesaplanmıştır ve Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. 4 Eylül 2019 gününe ait, zamana bağlı sistem verimi ve enerji kazanım değişimleri.

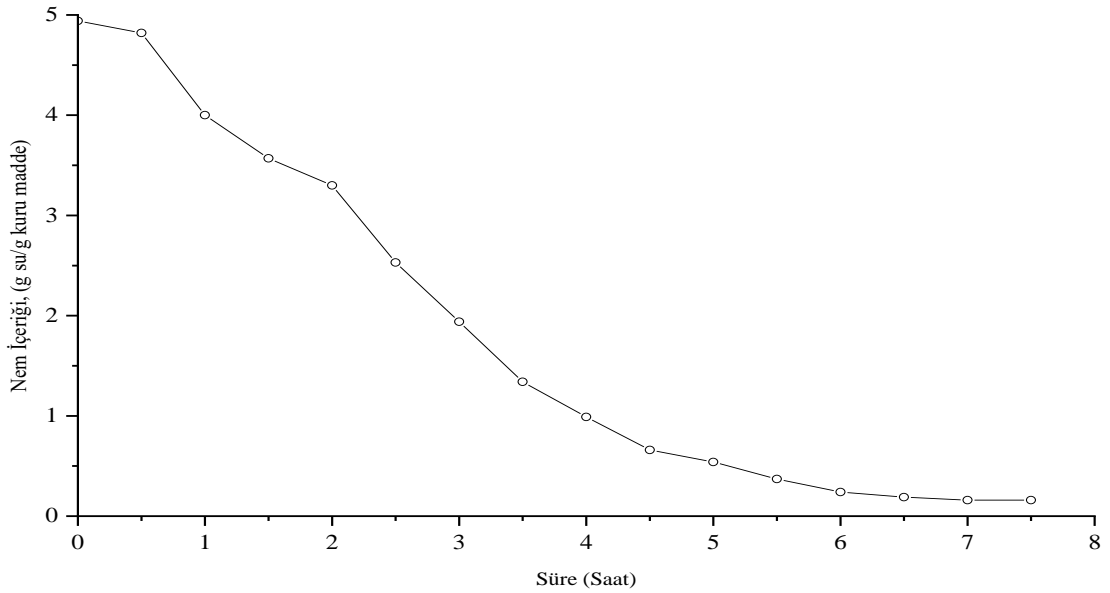
4 Eylül açık çevrim deneyi sonucunda elde edilen sistem verimi en yüksek ışınım değerinde (892W/m^2) öğlen saat 13:00'de %34 olarak bulunmuştur. Sistem veriminin ışınım düştükçe azalması beklenirken ısı ataletten dolayı sistem verimi saat 16:00'da %39 olmuştur. Sistemde ısı borulu kollektörden elde edilen enerji öğlen saat 13:00'da ışınımın en yüksek olduğu değerde 214 W, aynı ışınım değerinde ısı geri kazanım ünitesinden elde edilen enerji ise 87 W olarak belirlenmiştir. Şekil 6.5'te kurutma sürecinde kazanılam enerjinin yüzdelerik dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.5. Enerji kazançlarının yüzdelerik dağılım değerleri.

Sistemde kullanılan ısı geri kazanım cihazı ile yaklaşık ortalama 60 W'lık enerji kazanımı sağlanmıştır. Kurutma işlemi esnasında sistemden elde edilen enerjinin %73'ü ısı borulu kolektör, %27'si ısı geri kazanım cihazından sağlanmıştır. Isı geri kazanım cihazından elde edilen enerji kurutma işlemi için gerekli toplam enerjinin dörtte birini karşılamaktadır ve bu değer azımsanmayacak kadar önemli bir miktardır.

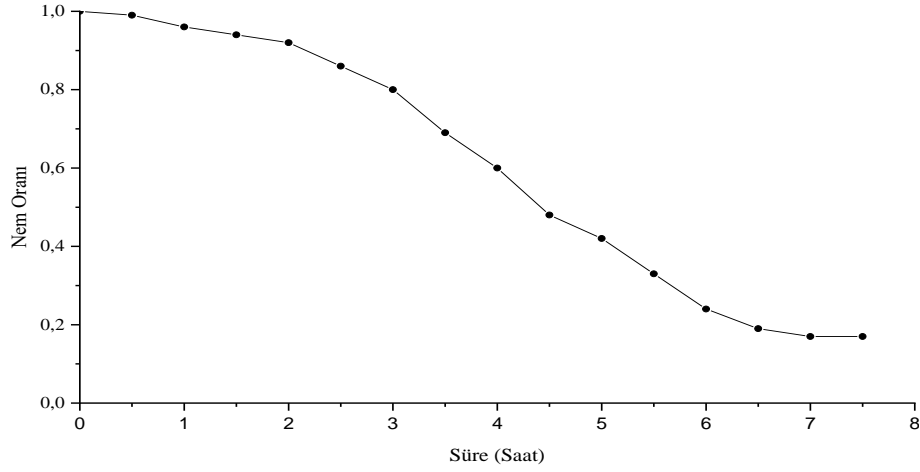
Kuru baza göre ürünlerde meydana gelen nem içeriği değişimi Eşitlik (5.1)'den hesaplanmış ve Şekil 6.6'te grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.6. Zamana bağlı olarak nem içeriği değişimi.

Şekil 6.6'da kurutma işleminde kivi için zaman bağlı nem içeriği değişimi görülmektedir. Deney süresine bağlı olarak ürünlerdeki ağırlık azalması ve nem içeriği düşüşü 1. kuruma evresi olarak bilinen evrede hızlı gerçekleşmektedir. Daha sonra 2. kuruma evresinde ürünlerdeki ağırlık azalması ve nem içeriği daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu durumun ürünlerin higroskopik yapılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Başlangıçta 4,94 g su/g kuru madde nem içeriğine sahip ürünler, özellikle ilk beş saat aralığında hızlı bir düşme eğilimi göstermiştir. Nem içeriği kurutma süresinin sonunda 0,16 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir. Ürünlerin nem oranı, kurutma esnasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, başlangıçta üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına olan oranıdır.

Hesaplamalarda Eşitlik (5.5) kullanılmıştır ve Şekil 6.7’de grafiksel olarak değişim gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Zamana bağlı olarak nem oranı değişimi.

Yaş baza göre ürünlerin sahip olduğu 0,83 g su/g yaş madde değerinin başlangıçta sahip olduğu nem oranı 1’dir. Bu oran ölçümler sonunda Şekil 6.7’de de görüldüğü gibi 0,17’ye kadar düşmektedir.

Deneysel çalışma için hazırlanan dilimlenmiş kivilerin kurutmadan önceki ve sonraki görünümleri Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Kivi ürününün kurutmadan önceki ve sonraki görünümleri.

Duyusal analizler ve hesaplanan ağırlık değişimlerine göre kurutma işlemi başarılı olduğu görülmüştür. Duyusal analizi yapılan kivilerin istenilen kurulukta ve esneklikte olduğu gözlenmiş, renginde bozulma meydana gelmemiştir. Su aktivitesi

değeri kuru meyveler için önerilen aralıkta olduğundan kurutulan üründe bozulma ve kf oluşumu gözlemlenmemiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmadan elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıdaki gibidir.

1. Açık çevrim deneyinde sistemde kivi meyvesinin kurutulması için 1 m/s hava hızında maksimum 44,4 °C sıcaklık değerine ulaşılmıştır.
2. Deneylerdeki ölçümler sonucunda kivi meyvesinin başlangıçta yaş ağırlığı baz alınarak hesaplanan nem miktarı 0,83 g su/g, kuru bazda ise 4,94 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Bu değer literatür araştırmalarında yaş bazda 0,83, kuru bazda 4,88 g su/g kuru madde olduğu görülmüştür. Çalışmanın literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.
3. Kurutulan ürünlerin nem oranı 0.17'e kadar düşmüştür.
4. Ürünlerden 1 g nem uzaklaştırmak için tüketilen enerji (SMER) 0,53 g/Wh olarak bulunmuştur.
5. Kurutulan ürün için su aktivitesi değeri, nem içeriği değerlerine de bakıldığında kuru meyveler için önerilen aralıkta ($a_w = 0,60-0,65$) olduğu görülmüştür. Su aktivitesi değeri kuru meyveler için önerilen aralıkta olduğundan kurutulan üründe bozulma ve küf oluşumu gözlemlenmemiştir.
6. Sistemin genel verimi 4 Eylül saat 15:50'de 694,3 (W/m^2) ışıyım değerinde maksimum %39, ısı borulu kollektörün ortalama verimi %24 ısı geri kazanım ünitesinin verimi %28'dir.
7. Kurutma işleminde harcanan enerjinin %27 sini ısı geri kazanım ünitesi, %73'ü de ısı borulu kollektör tarafında karşılanmıştır.
8. Ürünlerde %80 oranında ağırlık azalması saptanmıştır. Enerji tasarrufu sağlamanın yanında, ürünler yer kaplamadan kapalı ortamda kurutulmuştur.

9. Dış ortamın olumsuz etkilerine maruz kalmadan hijyenik bir kurutma gerçekleşmiştir.
10. Duyusal analizler ve hesaplanan ağırlık değişimlerine göre kurutma işlemi başarılı olmuştur. Duyusal analiz olarak kurutulan kivilerin ikiye katlandığında esnek yapıda olduğundan kırılmamış ve renginde bir bozulma olmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada ısı borulu kollektör ile hava ısıtmasında daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılması gerekir. Burada ısı borularının manifold şeklinde düzenlenmesi ısı borulu kollektörün verimini düşürmüştür. Isı borulu kollektörün verimini artırabilmek için ısı borularının tek tek bağımsız tasarlanması ve farklı akışkanlarla denenmesi önerilir. Ayrıca sistemde kullanılan ısı geri kazanım ünitesinin giriş çıkışları damperlerle desteklenip kısmi kapalı kısmi açık olacak şekilde çalıştırılarak sistemin enerji kayıpları da azaltılmış olacaktır. Sistem içerisinde farklı ürünler için farklı kurutma tavaları kullanılarak değişik kurutma hızlarında yeni kurutma deneyleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Varınca, K. B., Gönüllü, M. T., Abuşka, M., Koç, E., Şenel, M. C., Yılmaz, M., Kılıç, F. Ç., Atılgan, I., Aksungur, K. M., Kurban, M., Fıllık, Ü. B., Bedeloğlu, A., DemİR, A., and Bozkurt, Y., "Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Arastırma", *Muhendis Ve Makina*, 4 (42): 33–54 (2012).
2. "T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı", <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> .
3. Internet: Ekolojist, "Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı ve Potansiyel Değeri",<http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-kullanimi-potansiyel-degeri/> .
4. Kapluhan, E., "Enerji Coğrafiyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya’ Daki Ve Türkiye’deki Kullanım Durumu”, Research", *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 29: (2014).
5. Reyes, A., Vásquez, J., Pailahueque, N., and Mahn, A., "Effect of drying using solar energy and phase change material on kiwifruit properties", *Drying Technology*, 37 (2): 232–244 (2019).
6. Mengeş, H. O., Ünver, A., Özcan, M. M., and Ertekin, C., "The Effects of Drying Parameters on Drying Characteristics, Colorimetric Differences, Antioxidant Capacity and Total Phenols of Sliced Kiwifruit", *Erwerbs-Obstbau*, 195–207 (2019).
7. Ozgen, F. and Celik, N., "Evaluation of design parameters on drying of kiwi fruit", *Applied Sciences (Switzerland)*, 9 (1): (2018).
8. Variyenli, H. İ., "Güneş Enerjisi Destekli Düz Ve Hapsedici Yüzeyle Kurutma Fırınlarının Performanslarının Kivi Kurutarak Karşılaştırılması", *Journal Of Polytechnic*, 0900 (3): 723–729 (2018).
9. Darvishi, H., Mohammadi, P., Azadbakht, M., and Farhudi, Z., "Effect of different drying conditions on the mass transfer characteristics of kiwi slices", *Journal Of Agricultural Science And Technology*, 20 (2): 249–264 (2018).

10. Mahjoorian, A., Mokhtarian, M., Fayyaz, N., Rahmati, F., Sayyadi, S., and Ariaai, P., "Modeling of drying kiwi slices and its sensory evaluation", *Food Science And Nutrition*, 5 (3): 466–473 (2017).
11. Darıcı, S. and Şen, S., "Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions", *Heat And Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 51 (8): 1167–1176 (2015).
12. Ş, M. A. and Ça, M., "Güneş Enerjisi Ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (4): 0 (2013).
13. Kaya, A., Aydın, O., and Dincer, I., "Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch)", *Journal Of Food Engineering*, 88 (3): 323–330 (2008).
14. M.E.B, "Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma", 20 (2012).
15. Ekechukwu, O. V and Norton, B., "99/02111 Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology", *Fuel And Energy Abstracts*, 40 (3): 216 (1999).
16. Güngör, A. and Özbalta, N., "Güneş Enerjili Kurutma Teknolojileri Ve Uygulamalarda Gelişmeler", *Makine Mühendisleri Odası*, İzmir,(2010)
17. Sakin, M., Balkir, P., ve Kaymak, F., "Yoğurt Tozu İşleme Teknolojisi, Depolama ve Kullanım Alanları", *Gıda Dergisi*, 34 (4): 245-250, (2009).
18. Güngör, A., "Sebze Ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular Ve Kurutma Teknolojileri", *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 17/20 Nisan 2013/İzmir* (2013).
19. Aktaş, M., "Isi Pompası Destekli Fındık Kurutma Firininin Tasarımı, İmalatı Ve Deneysel İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
20. Top, V., Tontul, İ., and Türker, S., "Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology", 7 (8): 1100–1112 (2019).
21. **Internet: <https://prezi.com/pqtpwgrj6scj/guneste-kurutma/> (1BC).**
22. Yokuş, B., "Farkli Ön İşlemlerin Ve Uygulanan Farkli Kurutma Yöntemlerinin Elmada Toplam Fenol Miktarı Ve Antioksidan Aktivite Üzerine Etkileri", *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi*, (2014).
23. Gürel, A. E., "Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Akışkan Yataklı Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı Ve Deneysel Analizi", *Karabük Üniversitesi*, (2015).
24. Erçetin, Ü., "Tanecikli gıda maddelerinin akışkan yatakta kurutulması", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, (2007).

25. Karagüzel, İ., "Tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutulmasının ekserji analizi", *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi*, (2009).
26. Üçler, K., "Güneş Enerjisinin Mekân Isıtması Amacıyla Duyulur Isı Depolama Malzemelerinde Ve Faz Değiştiren Maddelerde Depolanmasının İncelenmesi", *Kocaeli Üniversitesi*, (2019).
27. Baydaş, A., Tatlı, H., "An Applied Research To Determine The Perception And Attitudes Of Manufacturing and Service Firms Related To Renewable Energy", *BJSS Balkan Journal of SocialScience*, Cilt:7, Sayı 14, (2018).
28. Sancar, İ., "Yeni Nesil Havalı Güneş Kollektörleri State-Of-The- Art Studies Of Solar Air Collectors ", 1–24 (2019).
29. Özgen, F., "Yutucu Plakası Silindirik Teneke Kutulardan Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması", *Firat Üniversitesi*, (2007).
30. Bayrak, F., "İçerisinde Gözenekli Engeller Bulunan Hava Isıtılmalı Güneş Kollektörünün Performans Analizi", *Firat Üniversitesi*, (2011).
31. Kiliç, A., "Yeni Bir Havalı Güneş Kollektörünün Geliştirilmesi, Performans Analizi Ve Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında Uygulanması", *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
32. Taze, G., "Düz Güneş Kollektörü Verimini Etkileyen Bazı Parametrelerin Deneysel İncelenmesi", *Kirikkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2010).
33. **İnternet: <https://www.enerjiportali.com/gunes-kollektoru-nedir/> (1BC).**
34. Şener, M., "Etkin Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı Ve Optimizasyonu", *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2013).
35. Mujumdar, A. S., "Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying", (2000).
36. Yıldız, A., "Bir Düzlemsel Havalı Güneş Kolektörünün Matematiksel Modellemesi" *Mathematical Modeling Of A Flat-Plate Solar Air Collector*", 13–22 (2007).
37. Gürel, A. E., "Güneş Enerjili, Isı Borulu , Nem Kontrollü Krutucuda Aromatik Ürünlerin (Nane, Maydanoz, Biberiye) Kurutulması" *Yüksek Lisans Tezi*, (2010).
38. Halıcı, F., "Örneklerle Isı Geçiş Transferi", İstanbul, (2010).
39. **İnternet:<https://organicgroup.eu/?249/detay/kivinin-bitkisel-ozellikleri-ve-yetistiricilik>, (2018).**

40. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Gidalarda Nem Ve Kuru Madde Tayini”, 541G10082, Ankara, (2011).
41. Evranuz, Ö., “ Gıda Maddelerinin Kurutulması Sirasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler Ve Kalite Üzerine Etkileri”, *TÜBİTAK-MAE Beslenme ve Gıda Tek. Araştırma Böl.*, 13-1 Kocaeli, (1988).
42. Toriki-Harchegani, M., Ghanbarian, D. and Sadeghi, M. “Estimation of Whole Lemon Mass Transfer Parameters during Hot Air Drying Using Different Modelling Methods”, *Heat Mass Transfer*, 51: 1121-1129, (2015).
43. Ceylan, I.; Aktas , M. “Modeling of a hazelnut dryer assisted heat pump by using artificial neural networks”. *Applied Energy*, 85, 841–854, (2008).
44. **İnternet:**<http://www.bosforsnappy.com/gidalarda-su-aktivitesi/>
45. Galip,M., “Vakum Tüplü U-Borulu Güneş Kollektörlerinde VerimArtırma Yöntemlerinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2017).
46. **İnternet:** Makine Mühendisleri Odası, “Isı Borulu Güneş Enerjisi Sistemleri ve Uygulamaları”, <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/14%2>, (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Edanur KAYA, ilk öğrenimini Gölcük Cahit Külebi İlköğretim Okulu'nda, orta öğretimini Gebze Cumhuriyet İlköğretim Okulu ve Körfez Anadolu İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Körfez Milangaz Hacer Demirören Çok Programlı Lisesi'nde Fen Bilimleri alanında tamamladı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi'nde bir yıl İngilizce hazırlık eğitimi aldıktan sonra Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne başlayıp 2018 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D'da Yüksek Lisans eğitimine başladı.