
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KAPALI HAVA ÇEVRİMLİ BİR ISI POMPALI KURUTUCUNUN PERFORMANS ANALİZİ

Gökhan ÜNLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2016

Gökhan ÜNLÜ tarafından hazırlanan "KAPALI HAVA ÇEVRİMLİ BİR ISI POMPALI KURUTUCUNUN PERFORMANS ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Başkan : Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Üye : Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makina Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Tez Savunma Tarihi: 25/11/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

…….…….

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

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

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

Gökhan ÜNLÜ

25/11/2016

KAPALI HAVA ÇEVRİMLİ BİR ISI POMPALI KURUTUCUNUN PERFORMANS ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gökhan ÜNLÜ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2016

ÖZET

Bu tez çalışmasında, kapalı hava çevrimli-infrared enerjili ve ısı pompalı bir kurutucuda kabak çekirdeği ve ayva dilimleri kurutulmuştur. Kabak çekirdeği ve ayva dilimleri sırasıyla 0.470 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$, 3.960 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$ başlangıç nem miktarından, 0.055 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$, 0.798 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$ son nem miktarına 1.5 saatte ve 6 saat 20 dakikada düşürülmüştür. Kurutmayı etkileyen üç önemli unsur (hava hızı, bağıl nemi ve sıcaklık) programlanabilir mantıksal kontrol (PLC) ekranından ayarlanmış ve set değerlerine göre kontrol edilmiştir. Deney düzeneğinde nem alma ünitesi kullanılarak kurutma havası bağıl nemi % 25 değerinde tutulmuştur. Deney süresince kurutma havası hızı 1 m/s ve sıcaklığı 45 °C'ye set edilmiştir. Isı pompası performans katsayısı (COP_{ip}) ve tüm sistemin ısı pompası performans katsayısı (COP_{ts}) sırasıyla ayva dilimi kurutma için 4.82, 1.7 ve kabak çekirdeği kurutma için 5.22, 1.513 olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 92807
Anahtar Kelimeler : Kurutma, ısı pompası, kabak çekirdeği, ayva, infrared enerji
Sayfa Adedi : 64
Danışman : Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

PERFORMANCE ANALYSIS OF A CLOSED AIR CYCLE HEAT PUMP DRYER

(M. Sc. Thesis)

Gökhan ÜNLÜ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2016

ABSTRACT

In this thesis, pumpkin seeds and quince slices were dried in a closed air cycle-infrared energy and heat pump dryer. Pumpkin seeds and quince slices were dried from the initial moisture contents of 0.470 $g_{water}/g_{dry\ matter}$, 3.96 $g_{water}/g_{dry\ matter}$ to final moisture content of 0.055 $g_{water}/g_{dry\ matter,}$ 0.798 $g_{water}/g_{dry\ matter}$, in 1.5 hour and in 6 hour 20 minutes, respectively. Three important factors (air velocity, relative humidity and temperature) affecting drying were adjusted from the programmable logic control (PLC) display screen and controlled according to the set data. Drying air relative humidity value was kept at 25 % by using dehumidifying unit in the experimental setup. During the experiment, the drying air velocity and the temperature were set at 1 m/s and 45 °C, respectively. The coefficient of performance of heat pump (COP_{ip}) and coefficient of performance of whole system (COP_{ws}) were calculated as 4.82, 1.7 for quince slices drying and 5.22, 1.513 for pumpkin seeds drying, respectively.

Science Code : 92807
Key Words : Drying, heat pump, pumpkin seeds, quince, infrared energy
Page Number : 64
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince üstün bilgilerinden faydalandığım, her zaman bilgisi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam ve danışmanım Doç. Dr. Kurtuluş BORAN'a, tez çalışmaları süresince öneri ve yardımlarından yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince benden desteğini esirgemeyen aileme, arkadaşlarıma, konu ile ilgili destek veren Fatih CELLEK'e, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sayın Göksun ÜNLÜ, Onur BAŞARAN ve Oğuz ÇETİN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. KABAK ÇEKİRDEĞİ VE AYVA 7

3.1. Kabak Çekirdeği 7

3.1.1. Kabak çekirdeğinin ülkemizde üretim potansiyeli 8

3.1.2. Ülkemiz için çekirdek kabağı yetiştiriciliğinin avantajı 8

3.2. Ayva 9

3.2.1. Ayva çeşitleri 10

4. KURUTMA 11

4.1. Kurutma Çeşitleri 12

4.1.1. Doğal kurutma yöntemleri 12

4.1.2. Yapay kurutma yöntemleri 13

4.2. Kurutma Sistemi Seçimi 18

4.3. Kurutmaya Etki Eden Faktörler 19

4.4. Kurutmanın İç ve Dış Şartları 20

Sayfa

4.5. İnfrared Teknolojisi……..... 20

4.5.1. Elektromanyetik spektrom.……... 20

4.5.2. Kızılötesi ışınım çeşitleri…….. 22

4.5.3. Kızılötesi ışınları özellikleri……. 22

4.5.4. Kızılötesi ışınların kullanım alanı…… 23

4.5.5. Kızılötesi ışınım ile kurutma…… 23

4.5.6. Kızıl ötesi ısıtma ile kurutmanın faydaları……... 23

5. ISI POMPASI……..…….. 25

5.1. Buhar Sıkıştırmalı Isı Pompası Sistemi…….. 26

5.2. Absorbsiyonlu Isı Pompası Sistemi…… 28

5.3. Gaz Çevrimli Isı Pompası…….. 28

5.4. Adsorpsiyonlu Isı Pompası……. 29

5.5. Isı Pompası Kaynakları…….. 29

5.5.1. Hava kaynaklı sistemler…….. 29

5.5.2. Yüzey suyu kaynaklı sistemler…… 30

5.5.3. Yer altı suyu kaynaklı sistemler…….. 31

5.5.4. Toprak kaynaklı sistemler…… 31

5.5.5. Güneş kaynaklı sistemler…….. 32

6. TEORİK ANALİZ…… 33

7. MATERYAL VE METOT…… 37

7.1. Materyal…… 37

7.2. Kurutma Sistemi Düzeneği…….. 37

8. DENEYLER…… 41

8.1. Ayva ve Kabak Çekirdeği Kuru Madde Miktarının Tespiti……. 41

Sayfa

8.2. Ayva ve Kabak Çekirdeğinin Kurutulması……. 41

9. DENEY SONUÇLARI……... 43

10. SONUÇ VE ÖNERİLER 53

10.1. Sonuç 53

10.2. Öneriler..... 53

KAYNAKLAR 55

EKLER..... 59

EK-1. Kurutma deney düzeneği ile ilgili resimler 60

ÖZGEÇMİŞ 64

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Yaş ve kavrulmuş çekirdek kabaklarının nem, protein, toplam yağ ve yağ asitleri kompozisyonu ile E vitamini ve mineral madde içerikleri……. 7

Çizelge 3.2. En çok çerezlik kabak yetiştirilen iller, üretim alanları (1000 m^2) ve üretim miktarları (ton)..... 8

Çizelge 3.3. Ayva meyvesinin 100 g yenilebilir kısmındaki besin ve vitamin değerleri. 10

Çizelge 7.1. Ölçüm cihazlarının özellikleri……. 39

Çizelge 9.1. Deney verileri sonucu…….. 51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.1. Kabin tip kurutucu 14

Şekil 4.2. Sprey tip kurutucu..... 14

Şekil 4.3. Akışkan yataklı kurutma tipi 15

Şekil 4.4. İletim ile kurutma sistemi 16

Şekil 4.5. Mikrodalga kurutma sistemi 17

Şekil 4.6. İnfrared enerjili kurutma sistemi 18

Şekil 4.7. Elektromanyetik spektrum ve bazı ışınım türlerinin tayf üzerindeki yaklaşık yerlerini gösteren illüstrasyon..... 21

Şekil 5.1. Isı pompası ve soğutma makinesi 25

Şekil 5.2. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi..... 27

Şekil 5.3. Absorbsiyonlu ısı pompası sistemi 28

Şekil 5.4. Adsorpsiyonlu ısı pompası 29

Şekil 6.1. Isı pompası sisteminin log P-h diyagramı 33

Şekil 7.1. İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü kurutma sistemi..... 38

Şekil 7.2. Hava akış şeması..... 40

Şekil 9.1. Nem miktarının kurutma süresine bağlı olarak değişimi..... 44

Şekil 9.2. Zamana göre nem oranının değişimi 46

Şekil 9.3. Zamana göre kuruma hızının değişimi 48

Şekil 9.4. Ekipmanların enerji tüketim ve yüzdeleri..... 49

Şekil 9.5. Kurutma süresince tüketilen enerjinin zamana göre değişimi 50

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Rüzgara ve güneşe tabii doğal kurutma yöntemi 13

Resim 5.1. Hava kaynaklı sistem. 30

Resim 5.2. Toprak kaynaklı sistem 32

Resim 8.1. Etüv fırını 41

Resim 8.2. PLC ekranı 42

Resim 8.3. Kabak çekirdeği ve ayva dilimleri kurutma öncesi ve sonrası resimleri…. 42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur

Simgeler	Açıklamalar
c	Havanın özgül ısısı [kJ/kg°C]
h	Entalpi [kJ/kg]
KA	Kurutma sonrası numune kütlesi [g]
$\dot{m}$	Havanın kütlesel debisi [kg/s]
$\dot{V}$	Kurutma havasının hacimsel debisi [m^3/s]
T_{ia}	Yoğuşturucudan çıkan havanın sıcaklığı [°C]
T_{iaa}	Yoğuşturucuya giren havanın sıcaklığı [°C]
$\dot{Q}$	Birim zamanda harcanan enerji [kW]
$\dot{Q}_c$	Kompresör gücü [kJ/s]
$\dot{Q}_f$	Fan gücü [kJ/s]
$\dot{Q}_p$	Pompa gücü [kJ/s]
SO_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
SO_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
$\dot{w}$	Birim zamanda yapılan iş [kJ/s]
YA	Kurutma öncesi numune kütlesi, [g]
DR	Kurutma hızı ($g_{su}/g_{kuru\ madde.dakika}$)
MC_{ts}	"t" anındaki nem miktarı ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$)
MC_{tb}	"t" anındaki başlangıç nem miktarı ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$)
M_e	Denge nemi
M_o	Başlangıçtaki ürün kütlesi [g]

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ÇBN	Çevre havası bağıl nemi (%)
KA	Ürünün kurutulduktan sonraki kütlesi (g)
SMER	Kurutma fırını tüm sistemin özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
SO_{KA}	Kuru esasa göre başlangıç nem miktarı ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$)
SO_{YA}	Yaş esasa göre başlangıç nem miktarı ($g_{su}/g_{kuru\ madde}$)
YA	Ürünün kurutulmadan önceki kütlesi (g)

1. GİRİŞ

Tarım ürünleri hasat zamanından belirli süre sonra depolanmakta veya hemen tüketiciye sunulmaktadır. Kısa sürede bozulma niteliğine sahip olan tarım ürünleri tüketiciye istenilen tazelikte, besin ve aroma değerlerini muhafaza etmiş ve raf ömrü uzun olacak şekilde ulaştırılmalıdır. Dolayısıyla son ürünün istenilen kalite ve depolama kriterlerine sahip olabilmesi için kurutmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kurutma eskiden günümüze gelen gıda saklama yöntemidir. İlk çağlarda insanlar tarım ürünlerinin kurutulması için güneşe ve rüzgâra tabii açıkta kurutma gerçekleştirmiştir. Açıkta tabii kurutmada değişkenler (nem, hız, sıcaklık vb.) kontrol altında tutulmadığı gibi yılın on iki ayı ve geceleri kurutma imkânı sağlamamaktadır. Açıkta ürün kurutma, ürün kalitesinde düşüklük ve uzun zamanda kurumasına sebep olmaktadır. Bu durum daha teknik metotlarda kurutma yöntemlerinin geliştirilmesini gerektirmiştir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumdan dolayı tarım ürünleri yetiştiriciliğinde dünyada önde gelen ülkelerden biri olmaktadır. Bu nedenle yetiştirdiği birçok tarım ürünlerini ihraç etmektedir. Tarım ürünlerinin tüketiciye ulaşmadan önceki depolama sürecinde tazelik ve kalitesini koruması büyük önem arz etmektedir. Bu durum ülkemizde kurutma endüstrisinin gelişmesine yönelik çalışmalar yapılmasını gerek duyurmaktadır.

Günümüzde insan nüfusunun artması ve buna bağlı olarak gıda ürünlerindeki tüketim artmaktadır. Dünyada enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve daha kaliteli son ürün elde edilmesi için modern endüstriyel kurutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kabak, salatalık, karpuz, acur ve kavun gibi ürünler ile beraber kabakgiller (Cucurbitaceae familyası) familyasını oluştururlar. Kabaklar kullanımına göre meyve ve sebze grubuna da girmektedir. Bal kabağı yemekte kullanıldığı zaman sebze, tatlısı yapıldığı zaman ise meyve niteliğini taşır [1].

Kabak çekirdeği içerdiği yağ, mineral ve aminoasitler bakımından oldukça zengindir. İçerisinde yüksek oranda K vitamini bulundurmaktadır. Kemik yapısının güçlenmesinde, kansızlık, hücre yenilenmesinde ve sinir, kas sisteminin güçlenmesinde büyük etkiye

sahiptir. Kabak çekirdeği sanayide hammadde olarak da kullanılır. Yağının haricinde çekirdekleri ekmek, pasta sosu, şekerleme olarak farklı endüstri kollarında (ilâç, gıda, kozmetik), hayvan beslemelerinde kullanılabildiği gibi tohumları ise süs eşyası olarak da kullanılabilmektedir. Türkiye'de kabuklu ile kabuksuz kabak çekirdeklerinden yağ üretilmektedir. Dünya kabak üretiminde; 7.000.000 ton ile Çin listenin başında yer bulurken, bunu 4.900.000 ton ile Hindistan, 1.080.845 ton ile Rusya takip etmektedir. Türkiye ise; 395.986 ton üretim yaparak dünya sıralama listesinde 11. sırada yer bulmaktadır [FAO, 2012]. Kabak Türkiye'de çerezlik olarak da yetiştirilmektedir. Türkiye de yaygın olarak kabak çekirdeği yetiştiriciliğinin İç Anadolu da yapıldığı bilinmektedir [2].

Türkiye'de birçok çeşidi yetişen ayva, 139.311 ton üretimi ile dünyada ilk sırada yer almaktadır. Bu üretimi Çin, Özbekistan, Afrika ve Fas ülkeleri takip etmektedir [3].

Ayva insanlık tarafından bilinen en eski meyve türüdür. Ayvanın milattan önceki yıllarda, Anadolu'dan Yunanistan ve Roma'ya geçtiği ve 650'li yıllarda Yunanistan'da kültürü yapıldığı ve Kuzey Amerika'ya geçişinin ise muhtemelen 18. yüzyılın başlarına rastladığı bildirilmektedir. Merkezi kesin olarak bilinmemekle beraber İran, Türkmenistan ve daha sonrada batıda Anadolu ve Yunanistan olduğu bilinmektedir [3]. Ayva sofralık tüketim haricinde meyve suyu, jel, marmelat ve reçel yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca pektin ve tanen açısından endüstri alanında da kullanılmaktadır.

Gülgiller familyasından olan ayva C vitamini bakımından zengin bir meyvedir. Lifli yapısıyla birlikte besin değeri yüksek olan ayva demir, kalsiyum, potasyum, A vitamini bakımından da oldukça yüksektir. Zengin mineral ve vitamine sahip olması kalp, ciğer, mide, bağırsak ve sindirim sistemi rahatsızlıklarında son derece faydalıdır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kurutma konusunda günümüze kadar yapılan çalışmalarda sistem için gerekli enerji ısı pompası, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi vb. ile sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda harcanan enerjinin ve kurutma şartlarının detaylı incelemesi gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca, daha düşük enerjide kısa sürede kurutma gerçekleştirilen teknolojik kurutma sistemlerinin kullanılması gerektiği görülmüştür.

Hawlader ve Jahangeer yaptıkları bir çalışmalarında güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucunun ve su ısıtıcının performansını incelemişlerdir. Bu sistem ile ilgili bir simülasyon programı çalışması yapmışlardır. Kurutma kabinindeki mevcut yüklerin, kompresör hızının ve güneş ışınlarındaki radyasyonun kurutma sistemi performansını etkileyen faktörler olduğunu saptamışlarıdır [4].

Akpınar ve Biçer yaptıkları çalışmada 60, 70 ve 80 °C olmak üzere üç farklı hava sıcaklığı değeri ve iki farklı 1 ve 1.5 m/s hava hızı değerinde, 35 mm çap ve 5 mm kalınlık boyutlarında kesilmiş kabak dilimlerini siklon tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre kuruma hız-nem içeriği değişim eğrileri regrasyon analizi kullanılarak modellenmiştir. Farklı sıcaklık ve hızlarda kurutulan ürünlerde kuruma süresinde hava hızından çok, sıcaklığın etkisinin olduğu anlaşılmıştır [5].

Lahsasni, Kouhila, Mahrouz ve Jaouhari yaptıkları çalışmada Frenk incirinin konvektif bir güneş enerjili kurutma sisteminde kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Deneyleri 50, 55 ve 60 °C değerinde değişik hava sıcaklığında, 0.0227, 0.0556 ve 0.0833 m^3/s hava debisinde ve 0.5667, 1.133 ve 1.7 m/s hava hızlarında yapılmıştır. İncirleri kurutma işleminden önce 1 g ağırlığında ve 0.5 cm çap ve 2 cm yüksekliğinde dilimlemişlerdir. Elde edilen eğriler sonucunda hava hızı ve sıcaklığının kurutmaya etki eden en önemli faktörler olduğunu belirtmişleridir [6].

Le ve Kim yaptıkları bu çalışmada ince olarak dilimledikleri kırmızı turpu ısı pompalı kurutucu ve sıcak havalı ısıtıcı ile ayrı ayrı kurutup karşılaştırma yapmışlardır. Isı pompasında özgül nem çekme oranı (SMER) 3.4 kg/kWh olarak hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucu, sıcak havalı kurutmaya göre 1-1.5 kat daha uzun sürmesine rağmen ısı

pompalı sistemin enerji kazancı yaklaşık üç kat daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kurutma havası sıcaklığını arttırdıklarında bağıl nemin azaldığı ve MER ve SMER değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Isı pompalı kurutma sisteminin sıcak havalı kurutmaya göre % 58.9 - % 69.5 oranında enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür [7].

Aktaş ve Gönen yaptıkları çalışmada kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda defne yaprağı kurutmuşlardır. Kurutma sisteminde kurutma havası sıcaklık değerlerini 40, 45 ve 50 °C olarak kurutma havası hız değerlerini ise 1 ve 1.5 m/s olarak belirlemişlerdir. Kurutma işlemi sonunda elde edilen deney verilerine göre tüm sistem için en yüksek COP_{ts} değeri 45 °C ve 1.5 m/s için 3.02 olarak hesaplamışlardır. Kurutulmuş defne yapraklarının su aktivitesi değerleri 0.49 - 0.55 aralığında ölçülmüştür. Yaptıkları çalışmada enerji verimliliği bakımından defne yaprağı kurutulmasındaki en ideal değerin 45 °C olduğu kurutma hava hızının ise 1.5 m/s olduğu tespit etmişlerdir [8].

Hebbar, Vishwanathan ve Ramesh sebzelerin kurutulması için infrared ve sıcak havalı kombine olarak çalışan kurutucu tasarlamışlardır. Bu çalışmada kombine kurutmada kurutma havası sıcaklığının 80 °C ve kurutma hava hızının 1 m/s olduğu değerde kurutma süresinin % 48 azaldığı ve aynı zamanda enerji tasarrufunun diğer koşullara göre % 63 azaldığı görülmüştür [9].

Nowak ve Lewicki eşit etki değerine sahip konveksiyonel ve infrared kurutucu kullanarak elma dilimlerinin kurutma karakteristikleri incelemişlerdir. Bu çalışmada kurutma kinetiğinin infrared kaynağının mesafesine ve hava hızına bağlı olduğu görülmüştür [10].

Kocabıyık ve Tezer havuç dilimlerini bir infrared kurutucuda 8.52 $kg_{su}/kg_{kuru\ madde}$ başlangıç nem içeriğinden 0.11 $kg_{su}/kg_{kuru\ madde}$ nem içeriğine kadar kurutmuşlardır. Denemeleri üç farklı infrared gücünde ve üç farklı hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Kuruma zamanının 1.0 - 2.0 m/s hava hızlarında, 300 - 500 W infrared gücünde sırasıyla 252 - 277 dakika, 205 - 236 dakika, 145 - 155 dakika arasında değiştiğini bulmuşlardır. Kuruma hızının infrared gücünün artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir.Özgül enerji tüketimi değerlerinin bütün kurutma şartları için 12.220 - 14.580 MJ/(kg - buharlaşan su) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca rehidrasyon oranı ve renk parametrelerinin kurutma şartlarından etkilendiğini belirlemişlerdir [11].

Queiroz, Gabas ve Telis yaptıkları çalışmada ısı pompalı ve elektrik rezistanslı olmak üzere iki farklı kurutucu kullanarak domatesi kurutarak kurutucuların performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada paralel ve karşıt akış kurutma havası kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada matematiksel modelleme yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda ısı pompası COP değerini 2.56 - 2.68 arasında hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucunun elektrikli rezistansa göre enerji bakımından % 40 daha ekonomik olduğunu belirlemişlerdir [12].

Phani ve Greg yaptıkları çalışmada kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli bir kurutma sistemini test etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 30 - 35 °C sıcaklık değeri arasındaki kurutulan bitkileri kurutmuşlardır. Yaptıkları teorik analizde özgül nem çekme oranı (SMER) 0.006 - 0.61 kg/kWh değerleri arasında bulmuşlardır [13].

Özdemir ve Özkaya yaptıkları çalışmada bir odayı ısıtmak ve soğutmak için düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası kurmuşlardır. Isıtma mevsimine göre ısı pompasının performans katsayısı $COP_{ıp}$ ve tüm sistemin performans katsayısı COP_{ts} değerleri sırasıyla 3.85 ve 3.45 değerinde hesaplamışlardır. Bunun haricinde ısı pompası ünite olarak ekserji verimi % 77, sistem bazında % 71 değerinde hesaplamışlardır. Soğutma mevsimine göre ısı pompasının performans katsayısı $COP_{ıp}$ ve sistemin COP_{ts} değerleri ise sırasıyla 3.12 ve 2.81 değerinde hesaplamışlardır. Bunun dışında ısı pompası ünite olarak ekserji verimi % 78.6, sistem bazında % 70.8 hesaplamışlardır [14].

Şevik, Doğan ve Aktaş yaptıkları çalışmada ısı pompası ve güneş enerjili destekli ısıtma ve kurutma prosesi modellemişlerdir. Sistemin enerji analizini yapmışlardır [15].

Oktay ısı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkileyen unsurları araştırmıştır. İncelemelerde by-pass hava oranı, toplam hava debisi ve egzoz debisi; sistemin performansına etkiyen anahtar parametreler olduğunu belirlemiştir [16].

Baran ve Ülger yaptıkları çalışmada kabak çekirdeğinin doğal şartlarda ve farklı zeminlerde (beton ve polyetilen zemin ve oda koşullarında) kurutulması ve bölgede kabak çekirdeğinin kurutma işlemlerinin çiftçi tarafından nasıl yapıldığını belirlemişlerdir. Ayrıca kurutulan ürünün nem ve zamana göre kuruma eğrileri saptamışlar ve hangisinin depolamada gerekli olan neme kaç günde ulaştığı tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarında

hanım tırnağı kabak çekirdeği türü kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda depolama için gerekli olan ideal nem'e beton ve polyetilen zeminde ikinci gün (32 saat), oda koşullarında ise beşinci gün (104 saat) sonunda ulaşmışlardır. Bu deney sonuçlarına göre beton ve polyetilen zeminde kurutma daha iyi sonuçlar daha kısa sürede elde ettiklerini görmüşlerdir [17].

Aktaş, Aktekeli, Doğan ve Ceylan yaptıkları çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucuda kırmızıbiber kurutmuşlardır. Kurutma işleminde 24 saat boyunca ısı pompası desteği ile kurutma gerçekleştirmişlerdir. Kırmızıbiberi 50 °C sıcaklıkta ve ortalama 0,4 m/s hava hızında 210 dakika süre ile kurutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısı (COP_{WH}) 2,24 ve özgül nem çekme oranı ($SMER_{WS}$) 0,209 olarak hesaplamışlardır [18].

Demir yaptığı çalışmada güneş enerjili ısı borulu kurutucu ile güneş enerjili sera tipi kurutucuda eşit şartlarda defne yaprağı kurutulması ve kurutma parametrelerinin karşılaştırılması hedeflemiştir. Sistemler aynı şartlarda ve aynı özelliklere sahip, eşit ağırlıklarda ürünler yerleştirilerek kurutma deneyi yapmıştır. Sistemlerde kurutulan ürünlerin son nem miktarları incelendiğinde güneş enerjili sera tipi kurutucu, güneş enerjili ısı borulu kurutucuya göre daha kısa sürede kurutma standartlarına daha yakın bir kuruma sağladığını görmüştür. Sistemlerin günlük ortalama ısıl verimleri incelendiğinde güneş enerjili sera tipi kurutucuda % 47,34, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda % 44,67 olarak hesaplamıştır [19].

Aktaş ve Kara yaptıkları çalışmada güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutucu tasarlanmış, imal edilmiş ve kivi kurutmuşlardır. Kiviler, 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C kurutma havası sıcaklığında ve değişken hava hızlarında (0,1-1,0 m/s) ve sırasıyla 8,5 saat, 7,5 saat, 7,5 saat ve 6,5 saatte kurutmuşlardır. Isı pompası performans katsayısı (COP_{ip}) ve tüm sistemin ısı pompası performans katsayısı (COP_{ts}) bütün deneyler için ortalama olarak sırasıyla 2,90 ve 2,27 olarak hesaplamışlardır [20].

Güngör yaptığı çalışmada tasarlamış ve imal etmiş olduğu elektrik ısıtmalı bir kurutucu ile çekirdeksiz üzümlerin değişken parametrelerde sabit hız ile kurutma işlemini yapmıştır. Yaptığı teorik çalışmalar ile deneysel verileri karşılaştırmıştır [21].

3. KABAK ÇEKİRDEĞİ VE AYVA

3.1. Kabak Çekirdeği

Kabakgiller familyasından olan kabaklar helvacı kabağı, balkabağı ve sakızkabağı gibi çeşitleri bulunur. Kabağın bu türlerden elde edilen tohumlar başta ülkemiz olmak üzere dünyanın farklı yerlerinde kuruyemiş olarak tüketilmektedir.

Kabak çekirdeği yağının bileşimleri incelendiğinde doymamış yağ asitlerinden olan Oleik ve Linoleik yüksek asit içerdiği, Palmitik ve Sitrik gibi doymuş yağların daha düşük düzeyde asit içerdiği görülmektedir. Hayvan ve bitkilerden üretilen yağların yüksek kalitede olması için E vitamini ile Linoleik asit değeri düşük olmaması gerekmektedir. Çizelge 3.1'de verilen değerlere bakıldığında 100 gram kurutulmamış kabak çekirdeği içerisinde 3.8-4.5 mg E vitamini bulunurken, kurutma sonrası E vitamini değeri 13-18 mg'a yükselmektedir. E vitamini gibi kurutma sonrası yağ asitleri değerlerinde de artış görülmektedir. Kabak çekirdeğinde, zeytin ve kılıç balığında mevcut olan kolesterol düşürücü bir hidrakarbon olan Squalene'in kabak çekirdeğininde sahip olduğu bilinmektedir.

Çizelge 3.1. Yaş ve kavrulmuş çekirdek kabaklarının nem, protein, toplam yağ ve yağ asitleri kompozisyonu ile E vitamini ve mineral madde içerikleri

Bileşim	Nem (%)	Protein (%)	Toplam Yağ (%)	Doymamış Yağ Asitleri (%)		Doymuş Yağ Asitleri (%)		E Vitamini (mg/100 g)
				Linoleik Asit	Oleik Asit	Stearik Asit	Palmitik Asit	
Yaş	5-6	33-36	37-46	30-40	41-49	5,2-6,1	12,1-13,9	3,8-4,5
Kavrulmuş	2-4	35-38	38-47	33-40	39-48	5,4-5,9	12,5-14,4	13-18

Kabak çekirdeği sanayide farklı ürünlerde hammadde olarak kullanılmaktadır. Yağları haricinde çekirdekleri ekmek, pasta sosu, şekerleme gibi gıda endüstrisinde, ilâç, kozmetik sektöründe, hayvan beslenmesinde ve tohumları süs eşyası olarak da kullanılmaktadır. Türkiye'de kabuklu ve kabuksuz kabak çekirdeklerinden yağ üretilmektedir. Üretim miktarı hakkında veri mevcut değildir.

3.1.1. Kabak çekirdeğinin ülkemizde üretim potansiyeli

Türkiye'de 2004 yılı kabak çekirdeği üretimi gerçekleştiren il sayısı 16 iken 2013 yılında 23 ilde çerezlik kabak üretilmiştir. 2004 yılı verilerine bakıldığında en fazla üretim alanına mevcut iller Kayseri, Aksaray, Nevşehir, Sakarya ve Edirne iken, 2013 yılı il sıralaması Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Konya ve Eskişehir olmaktadır. Son 9 yıl süresince üretim alanında yükselişin olduğu iller Kayseri, Nevşehir, Eskişehir ve Yozgat olmuştur. Buna karşılık Sakarya, Edirne, Karaman, Kırklareli ve Konya'da azalma olmuştur. Türkiye'de en fazla çerezlik kabak yetiştiriciliği yapılan iller, ekim alanları ve üretim miktarları Çizelge 3.2'de verilmiştir [2].

Çizelge 3.2. En çok çerezlik kabak yetiştirilen iller, üretim alanları (1 000 m^2) ve üretim miktarları (ton)

İller	Ekili alan (1 000 m^2)	Üretim (ton)
Kayseri	246,557	13,761
Nevşehir	160,614	11,810
Aksaray	38,870	3,216
Konya	12,965	1,642
Eskişehir	11,300	1,175

3.1.2. Ülkemiz için çekirdek kabağı yetiştiriciliğinin avantajı

Kabak çekirdeği üretimi son 20 yıl süresince ciddi bir sektör durumuna kavuşmuştur. Yaygın olarak orta bölgelerde alternatif ürün olarak kullanılmakta ve üretim miktarında yükselme görülmektedir. Kabak çekirdeği üretim miktarının artma sebepleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [2].

- Kabak çekirdeği sulama imkânı kısıtlı olan bölgelerde ekonomik ve avantajlı bir üründür.
- Çekirdek kabaklarından elde edilen tohumların uygun koşullarda depolanmak koşulu ile 1-2 sene saklanma şansı vardır.
- Kabak çekirdeği üretimi mekanizasyona uygundur. Tohum ekiminden hasadına ve tohum işlemesine kadar olan her aşamada mekanizasyon kullanılabilmektedir.

- İç bölgelerde tarla bitkileri ile ekim nöbetine girebilmektedir. Özellikle kıraç alanlarda buğday, yem ve baklagil bitkileri ile ekim nöbeti şansı vardır.
- Çerezlik olarak kullanılmasının yanı sıra gıda sektörü için hammadde konumundadır.
- Kabak çekirdekleri yağ yönünden zengindir. Bu nedenle çekirdeklerinden çıkarılan yağ doğrudan veya salata soslarına eklenerek değerlendirilebilmektedir. Yağ üretimi dışında yağ tesislerinden çıkan posa ve hasat sonu atıkların hayvan yemi ve organik gübre olarak kullanılabilme şansına sahiptir.
- Çekirdek kabağı üreticisi pazarlamada şu anda bir sıkıntı görülmemektedir. Ürünün dış pazar şansı mevcuttur.

3.2. Ayva

Doğal olarak Asya'nın güneyinde yetişen ve buradan bütün dünyaya yayılan ayva (Cydonia oblonga), günümüzde Avrupa'nın güneyi, Afrika, Uzak Doğu, Avusturalya ve Güney Amerika'da yetiştirilmektedir [22].

Ayva kültürü çok eski çağlardan gelen ve M.Ö. Anadolu dan Avrupa'ya geçtiği bilinmektedir. Ülkemiz ayva üretiminde dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Türkiye de 2015 TÜİK verilerine göre 112,900 ton ayva üretilmiştir. Dünyada ise 2013 FAO verilerine göre ülkemizde 139,311 ton dünyada ise 596,532 ton ayva üretilmiştir ve üretimdeki payımız % 23 tür [23].

Ayva, sarı renkli güzel görünümlü hoş kokuludur. Kabukları ve etli kısımları serttir. Sıcak ülkelerde yapılan yetiştiriciliklerde kabukları daha yumuşak olup, taze olarak yenilebilir ve ağızda mayhoş bir tat bırakır. Pişirildiğinde çiğ yenildiğinden daha lezzetli ve hoştur. Meyve olgunlaştıkça rengi yeşilden sarıya döner ve kokulu olur. Uygun muhafaza koşullarında 2-3 ay saklanabilir. Ayva, çok ağır, aşırı kireçli ve fazla geçirgen olmayan toprakların dışında kalan birçok toprak tipinde düzenli sulama yapıldığı takdirde yetiştirilebilir. Toprak pH değeri 6–7 civarında olması arzu edilir. Aşırı kumlu ve nemsiz topraklarda yetiştirilen ağaçların meyveleri kuru ve boğucu, ağaçlar ise kısa ömürlü olurlar [24]. Çizelge 3.3'de Aynanın 100 gram yenilebilir kısmındaki besin ve vitamin değerleri verilmiştir [25].

Çizelge 3.3. Ayva meyvesinin 100 g yenilebilir kısmındaki besin ve vitamin değerleri

Besin ve vitamin	Oranlar
Su	% 83,3
Kalsiyum (mg)	197
Kalori (K.kal)	57
Protein	0,4
Yağ (g)	0,1
Karbonhidrat (g)	15,3
Vitamin	40
Vitamin B1 (mg)	0,02
Niacin B-Vitamin (mg)	0,2
Vitamin C (mg)	15
Ca (mg)	11
P (mg)	17
Fe (mg)	0,7
Na (mg)	4

Ayva vitamin ve mineral açısından oldukça zengin besleyici bir meyvedir. Meyvesi taze olarak da tüketilir. C vitamini yönünden oldukça zengindir. Sindirim sistemi için faydalıdır. Mide ve bağırsakları çalıştırır, hazmetmeyi kolaylaştırır, ishali keser, incebağırsak iltihabını giderir ve dizanteri hastalığının tedavisinde kullanılır. Ayrıca kanı temizler, karaciğerin çalışmasını düzenler, safra salgısını arttırır. Kurutulmuş ayvanın suda bekletilmesiyle elde edilen suyla yapılan gargaranın boğaz iltihabına iyi geldiği ağız kokusunu giderdiği, ses kısılmasını ve öksürüğü önlediği ayvanın bilinen diğer özellikleridir. Beyni dinlendirdiği, kalp çarpıntısını önlediği ve de cilt bakımı için kullanıldığı literatürde ayrıca ifade edilmektedir [26].

3.2.1. Ayva çeşitleri

Ayva çeşit sayısı diğer türlerde olduğu kadar zengin değildir. Bunun nedeni ise dünyanın birçok ülkesinde ayvanın meyvesi için değil de anaç olarak yetiştirilmesi gösterilebilir. Bazı ayva çeşitleri eşme, ekmek, şeker gevrek, altın, tekkeş ve limondur.

4. KURUTMA

Kurutma bir ısı ve kütle geçişi olayıdır. Belli bir zamanda maddenin kuruma şartlarını sağlayan ve farklı birimlerden oluşan ünitelerin (yoğuşma, ısıtma, nem alma ve verme vb.) tümüne kurutma sistemi denir. Günümüzde özellikle yaygın olarak gıda ürünlerini kurutmak için kullanılan kurutma sistemleri farklı birçok sanayi kolunda da (deri, kağıt, çimento, kimya) kullanılmaktadır.

Tarım ürünlerine uygulanan kurutma işleminin çok yönlü amacı vardır ve bunların en önemlisi, uzun süreli depolamalarda ürün kalitesinin bozulmasını engellemektir. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını, ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diger reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak ürünün nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminin diger amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmaktır [27].

Kurutma endüstrisinde amaç, ürünü istenilen kuru özelliğe getirmek için en düşük düzeyde enerji kullanarak yüksek düzeyde sıvıyı uzaklaştırmaktır. Gelişmiş ülkelerde ulusal enerjinin büyük bir kısmı kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Kurutmanın kullanıldığı üretim sektörlerinde toplam maliyetin büyük bir kısmını kurutma maliyeti oluşturmaktadır. Bundan dolayı, enerji tasarrufu dünya ekonomisi için büyük bir önem arz etmektedir ve böyle olmaya da devam edecektir [28].

Endüstride, kurutulacak maddenin niteliklerine ve miktarlarına bağlı olarak farklı türden kurutucular kullanılmaktadır. Bunlar kurutulacak maddenin boyutlarına ve miktarlarına göre tepsili kurutucular, bantlı kurutucular, pasta ve çamur durumundaki yaş maddeler için tambur ve püskürtücü kurutucular sayılabilir. Bütün kurutma sistemlerinde maddeden sıvının buharlaşması için gizli ısının verilmesidir. Bu nedenle kurutma işlemlerinde olabildiğince yüksek enerjiye gereksinim duyarlar. Günümüzde enerji maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar giderek büyük oranda önem kaz anmaktadır [29].

Sanayide birçok farklı kurutma ürünleri mevcuttur. Bunların içinde en önemlisi tarım ürünlerinden olan meyve ve sebzedir. Ülkemiz meyve ve sebzeler yönünden büyük bir üretim alanına sahip olması ve ihracat ürünleri olmasından dolayı depolama, nakil ve kalite yönünden kurutma işlemi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlayan ve tüketim miktarı yüksek olan kuru meyve ve sebzeler için kurutma işlemi büyük önem taşımaktadır.

Kurutma işlemlerinde basit olan fırınlar üreticiler tarafından daha çok tercih edilmektedir. Aynı zamanda sıcaklık, ağırlık ve nem kontrolünün daha basit ve ucuz olduğu sistemler daha çok tercih edilmektedir. Ürünün sisteme yüklenmesinin ve sistemden boşaltılmasının da kolay olması tercih nedenlerindendir. Ürün kurutulurken harcanan enerji miktarı da son derece önemli olup, bu enerjinin elde edilmesi de, kullanılması da kolay olmalıdır. Yani ürünün kurutma maliyeti mümkün olduğu kadar düşük olmalı ve aynı zamanda kontrollü ve kaliteli bir kurutma yapılmalıdır [27].

4.1. Kurutma Çeşitleri

Ürünlerde doğal ve yapay olmak üzere iki tip kurutma yöntemi vardır. Güneş ve rüzgardan faydalanılarak doğal kurutma gerçekleştirilir. Ürünlerin özelliklerine göre endüstride farklı tip kurutucular tasarlanıp kullanılmaktadır.

4.1.1. Doğal kurutma yöntemleri

Güneş enerjisinden yararlanılarak ürünün yapısındaki sıvı oranının azaltılması için uygulanan basit yönteme "doğal kurutma" denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, önemli dezavantajlardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir [30]. Resim 4.1'de ürünlerin zemine serilerek güneşe tabii ve askıya alınarak rüzgardan yararlanılmış doğal kurutma yöntemi vardır.



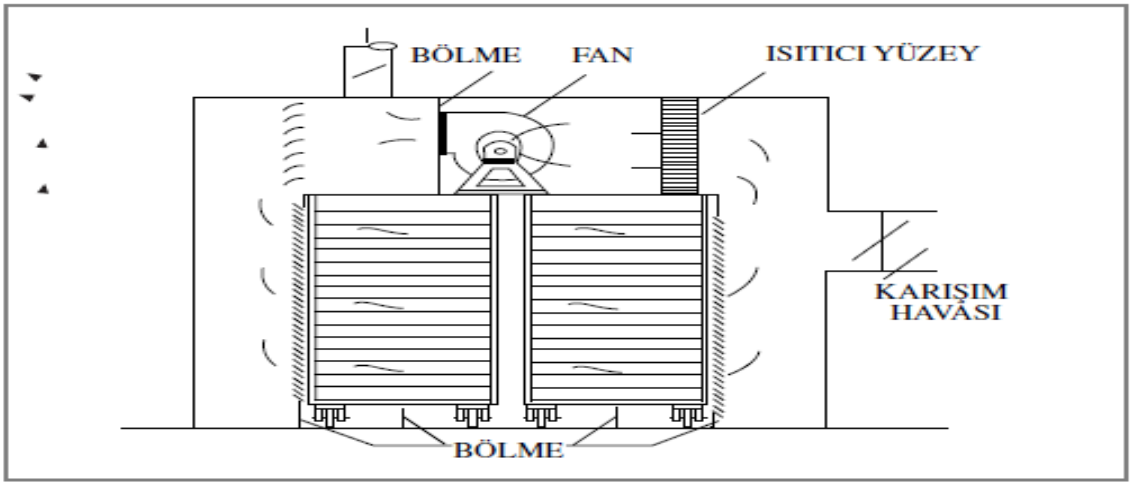
Resim 4.1. Rüzgara ve güneşe tabii doğal kurutma yöntemi

4.1.2. Yapay kurutma yöntemleri

Doğal kurutmanın dezavantajlarının getirdiği problemlerden dolayı ve gelişen teknolojiyle beraber farklı tip kurutma metotları ortaya çıkmıştır. Yapay kurutmada ürünleri kontrol edilebilir şekilde kurutma imkânı ortaya çıkmaktadır. Aşağıda endüstride kullanılan bazı yapay kurutma tipleri anlatılmıştır.

Kabin tip kurutucular

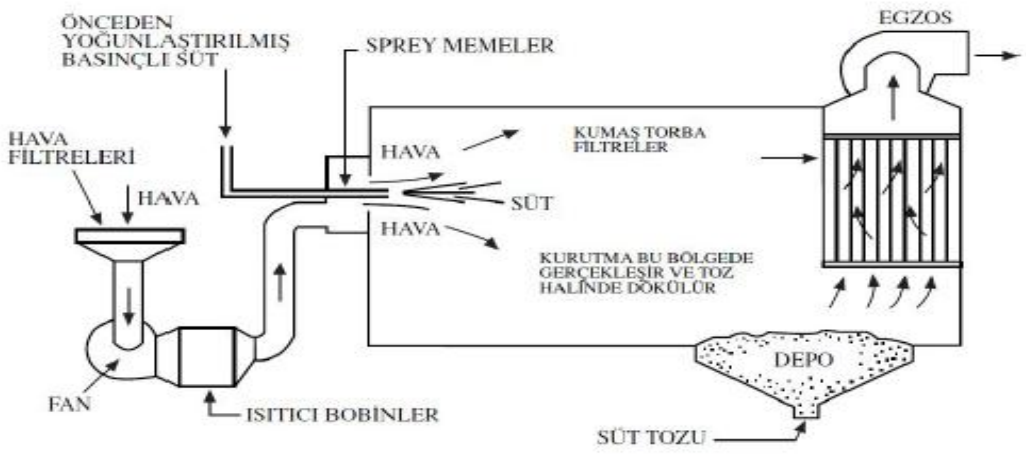
Bu tip kurutucular dilimlenmiş ve çok taneli ürünlerin tepsi veya ısıya dayanıklı plakalara konularak izole edilmiş kabinde raflara yerleştirilerek kurutulmasıdır. Bir fan yardımıyla ısınmış havanın malzeme yüzeyine temas etmesi ile kurutma işlemi yapılarak ürünün kısa sürede kurumasını sağlar. Şekil 4.1'de kabin tipi kurutma sistemi görülmektedir.



Şekil 4.1. Kabin tip kurutucu [32]

Sprey (püskürtmeli) tip kurutucular

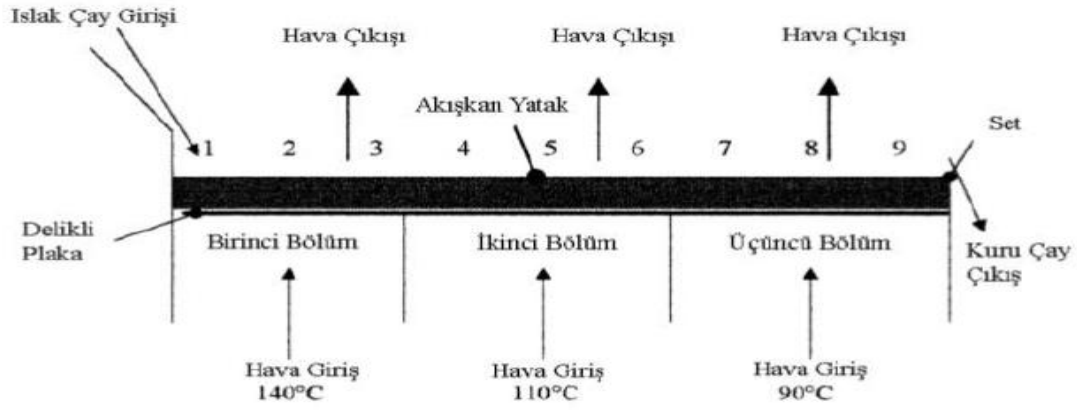
Bu tip kurutucular çoğunlukla süttozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır. Zira kurutulmuş malzeme damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kuruma işlemi kısa sürmektedir. Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, sprey kurutucular yüksek üretim miktarlarında çalışabilir. Sprey, iki akışkanlı meme, yüksek basıncı meme veya dönen disk şeklinde olabilir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında değişirken, yüksek sıcaklıklar için ısıya dayanıklı malzemeler kullanılır. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısıl verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kuruma zamanı sayesinde kurutulabilir. Şekil 4.2'de sprey tip kurutma sistemi görülmektedir.



Şekil 4.2. Sprey tip kurutucu [32]

Akışkan yataklı kurutma sistemi

Bu tip kurutma sistemlerinde katı parçacıklar halinde olan ürünler hava hızıyla beraber kurutulmaktadır. Ürün tanecikleri ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu ya da tanecikli ürün ile akışkan ortasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar. Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere örnek olarak kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler verilebilir [27]. Şekil 4.3'de bir akışkan yataklı kurutma sisteminde çay kurutulması gösterilmiştir.



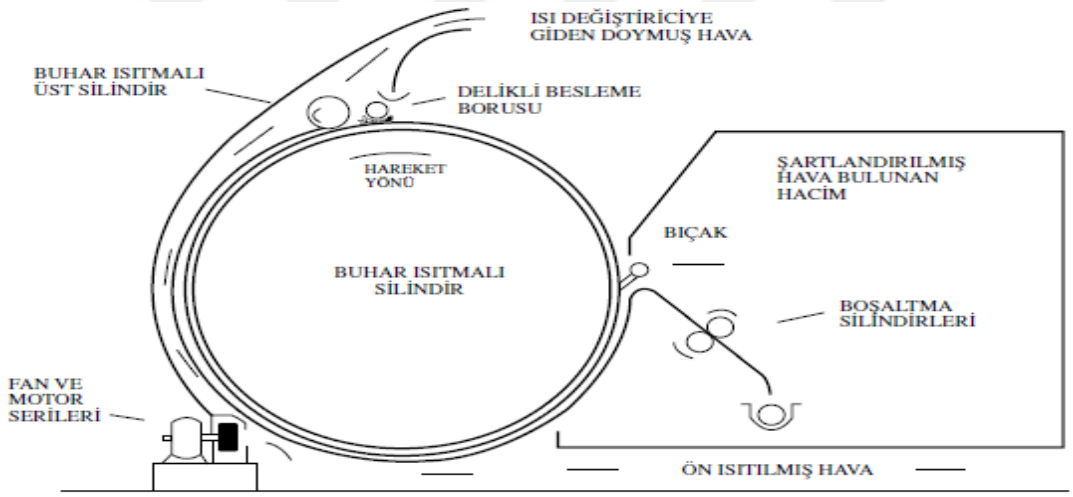
Şekil 4.3. Akışkan yataklı kurutma tipi [27]

Vakumlu kurutma sistemi

Vakumlu kurutma sisteminde kurutulacak ürün vakumlanarak havası alınmış kabin içine konularak kurtulur. Vakumlanmış ortamda basınç düştüğünden ürün içindeki sıvının daha düşük sıcaklıkta buharlaşmasına sebep olur. Bu kurutma sistemi özellikle meyve gibi geç kuruyan ürünler için kullanılan kurutma yöntemidir. Vakumlu kurutma sisteminin en önemli avantajlarından biri sıvının üründen uzaklaşması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon oluşumunu azaltmaktadır. Son ürün olarak renk, aroma gibi kaliteyi etkileyecek faktörler korunabilmektedir.

İletim ile kurutma sistemi

Kurutma silindiri ya da topları, düz yüzeyler, açık kazanlar ve daldırma ısıtıcılar iletim ile kurutmaya örnek gösterilebilir. Isıtma yüzeyi, kurutulacak ürün ile direk temas durumunda olmalıdır. Bu tip kurutma sistemlerinde nem düzeyi fazla ısınmayı engellemektedir. İletim ile kurutma sistemleri yaygın olarak kağıt ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. İletim ile kurutmada; yüksek kurutma hızı ve sabit bir ısı ve kütle transferi koşulları sağlanamaz, ağ boyunca zayıf bir nem profili oluşur, sistem istenildiği gibi kontrol edilemez, işletim maliyeti genelde yüksektir, makine çevresinde istenmeyen çalışma durumları oluşur [32]. Şekil 4.4'de iletim ile kurutma sistemi görülmektedir.



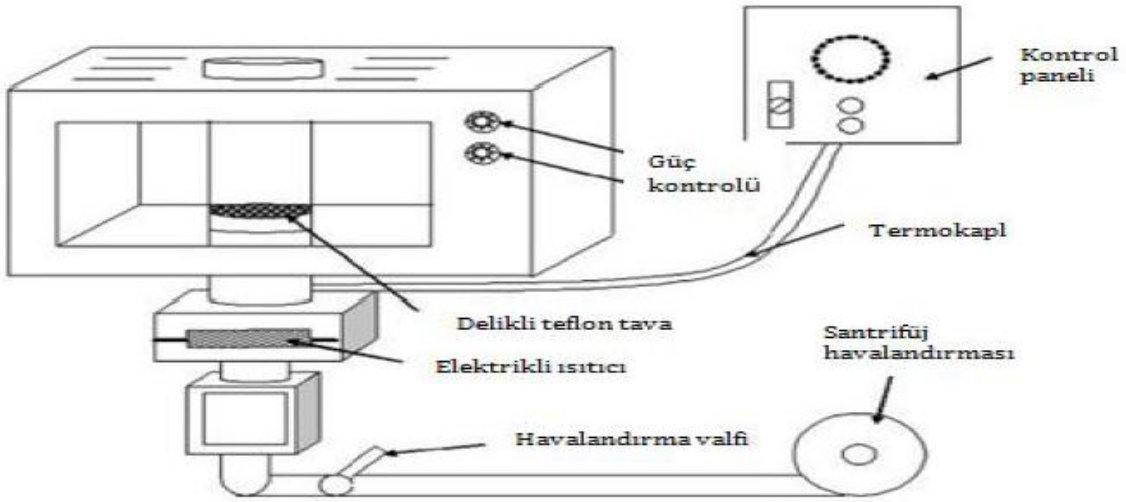
Şekil 4.4. İletim ile kurutma sistemi [32]

Taşınım ile kurutma

Genellikle bütün kurutma sistemlerinde ürün kurutulurken taşınım ile kurutma gerçekleştirilmektedir. Sistemde dolaştırılan hava veya diğer gazlar temel ısı kaynağı olarak kullanılırlar. Tünel kurutucular (ürünün hareket ettiği hava akışlı), kabinli ve bölmeli kurutucular (tepsilere sererek sıcak havanın ürün üzerine gönderildiği) ve döner kurutucular (ürünün sıcak hava akımı içerisine gönderildiği), taşınım ile yapılan kurutma işleminde kullanılan kurutma tipleridir [27].

Mikrodalga ile kurutma

Mikrodalga ile kurutma sürecinde, ürüne gönderilen mikrodalgalar ilk olarak ürün içindeki su molekülleri tarafından emilir. Kurutulacak ürüne mikrodalgalar gönderilmeden önce su moleküllerindeki negatif ve pozitif yükler ürün içerisinde rastgele dağılmışlardır. Ancak mikrodalgaları emen moleküller, bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilirler. Elektrik alan saniyede milyonlarca defa salınır ve gıda içindeki molekülleri uyararak konumlarını değiştirir. Bu hızlı molekül salınımları ısı oluşturarak gıda maddesinin ısınmasını sağlarlar. Bu yöntemin diğer yöntemlerden en büyük farkı ve avantajı ısıyı doğrudan gıda maddesinin içinde oluşturmasıdır. Gıda içindeki su molekülleri, diğer yöntemlerle yapılan ısıtma işlemlerinden çok daha kısa sürede, aynı derecede ısınır ve gıda maddesinden uzaklaşır [33]. Resim 4.2'de mikrodalga kurutma fırını görülmektedir.

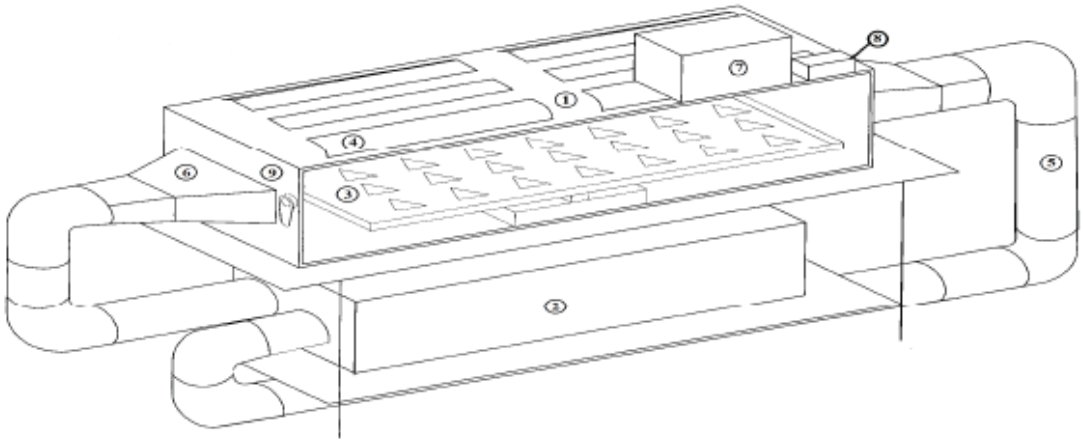


Resim 4.5. Mikrodalga kurutma sistemi [34]

İnfrared enerjisi ile kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur [35]. Kızılötesi ışınım ısı transfer özelliği, ürüne direkt nüfuz etme ve hızlı proses kontrolü özellikleri sayesinde diğer kurutuculardan ayrılarak ideal enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. İlk kurulum ve işletme maliyetinin düşük olması çevreye zarar vermeyişi

ve kullanımında mevsim değişikliklerinden etkilenmemesi özellikleri sayesinde kurutma alanında tercih edilebilir [36]. Şekil 4.5'de infrared enerjili kurutma sistemi görülmektedir.



Şekil 4.6. İnfrared enerjili kurutma sistemi [36]

Dondurarak kurutma

Ürün özelliklerini taze forma en yakın şekilde korumayı başaran bir kurutma metodu olan dondurarak kurutma, dondurulmuş üründe bulunan suyun sublimasyon ile uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır [37]. Dondurarak kurutma sisteminde ürünlerde sıvı olmaması ve ürünün düşük sıcaklıkta olması mikrobiyal ve ürün bozulmalarına yüksek oranda engel olunduğu için yüksek ürün kalitesi oluşmaktadır. Dondurarak kurutma genelde eczacılık, kimyasal ve biyolojik madde, bakteriyel ve gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılır.

4.2. Kurutma Sistemi Seçimi

Enerji maliyetinin yüksek olması ve ürünlerin niteliklerine göre kurutma sistemi seçimi büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden bir kurutma sistemi seçiminde izlenecek yol aşağıdaki gibi olmalıdır [38].

- Uygun kurutucuların incelenmesi,
- Değişik tiplerin ön maliyetlerinin tahmin edilmesi,
- Yatırım maliyeti,
- İşletme maliyeti,

- Prototip veya laboratuar ünitesinde kurutma testi davranışları en uygun cihazın tipini belirleyebilir. Bazen bir örnek tesiste bu doğrulanabilir,
- Kurutma deneylerinde kurutulan ürünlerin örnek ve kalitelerinin belirlenmesi.

4.3. Kurutmaya Etki Eden Faktörler

Kurutmaya, ürünün kimyasal bileşimi ve boyutları, sıcaklık, havanın hızı ve kuruluğu, kurutma ortam basıncı ve bağıl nemi gibi temel hususlar etki eder [39].

- Ürünün kimyasal bileşimi ve boyutları: Ürünün kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişir. Tuz, şeker gibi küçük molekülleri içeren ürünler, içermeyen ürünlere göre daha zor kururlar. Ortamda yağ bulunması da kuruma hızını sınırlar. Kuruma hızı, parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Bu sebeple kurutulan parçacıkların yüzey alanının fazla, kalınlığının az olması kuruma hızını olumlu yönde etkiler.
- Sıcaklık: Kurutma ortamının sıcaklığı ve gıdanın kurutulmadan önceki sıcaklığı önemlidir. Gıdanın sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olur. Ayrıca ortamdaki havanın sıcak oluşu su tutma kapasitesini artırır.
- Havanın hızı ve kuruluğu: Havadaki hareket varlığı ve bu hareketin hızlı oluşu kurutmayı olumlu yönde etkiler. Havanın nisbi nemi, aynı zamanda kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin eder. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder.
- Ortam basıncı: Basınç, kurumaya etki eden en önemli faktörlerden biridir. Basıncın düşük olması kuruma hızını arttırmaktadır.
- Kurutma işlemi üründe bazı değişikliklere nedeni olabilir. Bunlar;

a. Mikrobiyel değişimi
b. Enzimatik ve Kimyasal reaksiyonlar,
c. Fiziksel ve yapısal değişiklikler (aroma, renk ve tat değişimi ile hacimsel değişiklikler.

4.4. Kurutmanın İç ve Dış Şartları

Bir ürünün kurutulması sırasında aynı anda iki temel prensip birden oluşur:

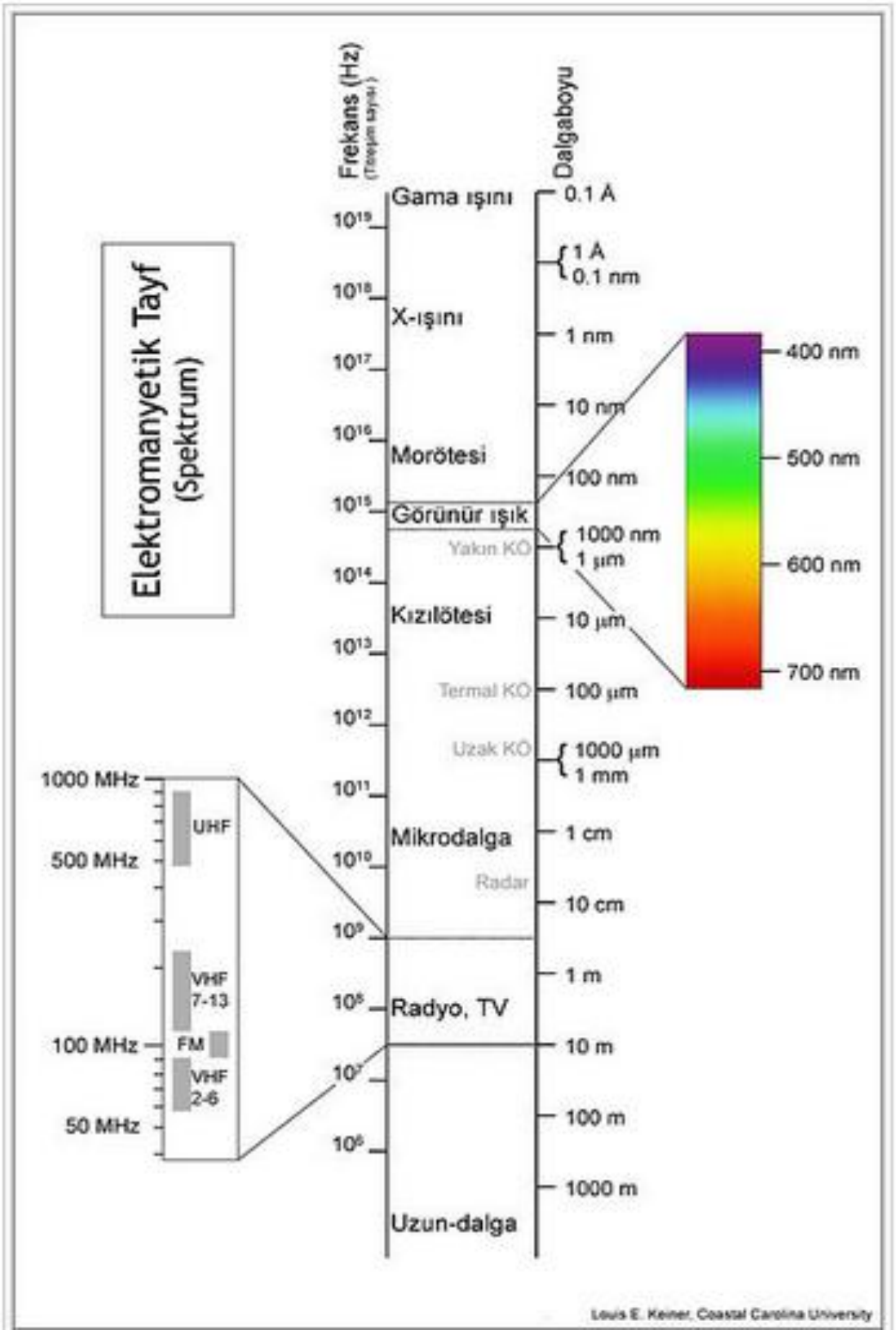
- Sıcak gazdan, kurutulacak ürün bünyesinden buharlasan sıvıya doğru ısı transferi.
- Kurutulacak ürünün iç kısımlarından dış yüzeyine doğru, sıvı ya da buhar olarak, dış yüzeyden sıcak gaz içine doğru ise; kütle transferi işlemleridir.
- Bu işlemleri belirleyen şartlar aynı zamanda kurutma işlemlerini de belirleyen şartlardır. Bunlar iki kısımda incelenir:
- Katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi sürecinde olusan, iç difüzyon, kılcallık gibi iç şartlar.
- Kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın hızı, sıcaklığı ve nemi gibi dış şartlardır.

4.5. İnfrared Teknolojisi

Kızılötesi (kızılaltı, IR veya infrared) ışınım, dalga boyu görünür ışıktan uzun ve mikrodalgalardan daha kısa olan elektromanyetik ışınımdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan infrared ışınların kelime anlamı Latince'ye dayanmaktadır. Latince aşağı anlamına gelen infra ve ingilizce kırmızı anlamına gelen red kelimelerinden oluşmakta ve kırmızı altı anlamına gelmektedir. Kızılötesi ışınımın keşfi genellikle 19. yüzyılda yaşamış bir gökbilimci olan William Herschel'a ithaf edilir.

4.5.1. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum (tayf), evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışınım türevlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki rölatif yerlerini ifade eden kavramdır. Şekil 4.6'da Elektromanyetik spektrum ve bazı ışınım türlerinin tayf üzerindeki yaklaşık yerlerini gösteren illüstrasyon. Kırmızı, görünür ışığın en uzun dalga boyuna sahip rengidir. Kızılötesi ışınımın dalga boyu 750 nanometre ile 1 mikrometre arasındadır.



Şekil 4.7. Elektromanyetik spektrum ve bazı ışınım türlerinin tayf üzerindeki yaklaşık yerlerini gösteren illüstrasyon

4.5.2. Kızılötesi ışınım çeşitleri

Kızılötesi radyasyon yaklaşık olarak 300 GHz ile 400 THz frekansları ve 1 mm ile 750 nm arasındaki dalga boylarını kapsamaktadır ve şu şekilde incelenebilir:

- Yakın kızılötesi: 0.75-1.4 μm dalga boyları arasındadır. Düşük kayıp miktarı yüzünden genellikle fiber optik iletişimde kullanılmaktadır. Gece görüş ekipmanları da genellikle bu dalga boyunu kullanır.
- Orta dalga kızılötesi: 3-8 μm dalga boyları arasındadır. Güdümlü füze teknolojisinde kullanılmaktadır.
- Uzun dalga Kızılötesi: 8–15 μm dalga boyları arasındadır. Dışarıdan bir ışınım kaynağına gerek duymadan sadece nesnelerin yaydığı ısıyla çalışan termal görüntüleme cihazları bu bandı kullanır.
- Uzak kızılötesi: 15-1,000 μm arası dalga boyundadırlar. Bu radyasyon tipik olarak spin yapan gaz molekülleri, sıvılarda moleküler akışkanlık ve katılarda fotonlar tarafından emilir.

4.5.3. Kızılötesi ışınları özellikleri

- IR enerjisi elektromanyetik enerjinin bir formudur. Dalgalar hakinde iletilir ve ısıya dönüştürülür,
- IR dalgaları materyale çarptığında enerji absorplanır, titreşimler değişir ve enerji ısıya dönüşür.
- IR radyasyonunun dalga boyu ise kaynağın sıcaklığına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda kısa dalga boyları üretilir ve bu dalgaların nüfuz etme derinlikleri daha fazladır.
- IR radyasyon doğrudan materyale nüfuz eder ve materyalin yüzeyini yakmadan enerji akısının artışını mümkün kılar ve böylece geleneksel ısıtma metotlarında gerekli olan ısıtma süresi azalmış olur.
- Hızlı proses kontrolü ve çevredeki havayı ısıtmadan doğrudan ürünü ısıtma avantajı vardır. Yüksek ısı transfer kapasitesine sahiptir.

4.5.4. Kızılötesi ışınların kullanım alanı

Kızılötesi ışınları kullanım alanları oldukça fazladır. Bunların bazıları: Kızılötesi kameralar, gece görüş sistemleri, kızılötesi spektroskopi, meteoroloji, sağlık, gıda ve kurutma gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

4.5.5. Kızılötesi ışınım ile kurutma

Kızılötesi ısıtmanın en çok kullanıldığı alanlardan biri kurutmadır. Diğer yöntemlerle (konvektif kurutma, dondurarak kurutma) karşılaştırıldığında düşük maliyetle yüksek kalitede ürün elde etme olanağı sağladığı bildirilmektedir.

Infrared kurutucular ile ürün kurutulması işleminde IR ışınımlar sadece ürünün ısıtılması için kullanılmaktadır. Yani ürün üzerine kızılötesi ışınım gönderilerek bünyesindeki su moleküllerinin kinetik enerjileri arttırılır ve moleküller aralarındaki bağı koparark buharlaşır ve böylece üründen nem çekilmiş olunur.

Kızılötesi ısıtma ile kurutma işlemi pek çok avantajı olmasına karşın her kurutma işleminde kullanılamamaktadır. Gıdanın çeşidi, kalınlığı, kızılötesi ısıtma kaynağının nüfuz derinliği gibi faktörler bu yöntemin kullanılmasını kısıtlamaktadır. Bu nedenle tek başında değil de kombine kurutma sistemleri tasarlanmakta ve bu şekilde kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kısa dalga boylarında IR radyasyon üründe bulunan su tarafından taşınır fakat uzun dalga boylarında ürün yüzeyinde emilir. Buradan hareketle ince katmanlı ürünleri kurutmak için uzak kızılötesi ışını (25-100 μm) ve daha kalın ürünleri kurutmak içinse yakın kızılötesi radyasyon ışını (0,75-3,00 μm) yayan cihazların kullanılmasının daha verimli olacağı söylenebilir.

4.5.6 Kızılötesi ısıtma ile kurutmanın faydaları

Kızılötesi kurutma son yıllarda başarılı bir şekilde meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Aşağıdaki gibi bazı avantajlar sağlamaktadır.

- Kurutma süresinin kısalması,
- Alternatif enerji kaynağı olması,
- Yüksek enerji verimliliğine sahip olması,

- Kurutma sırasında ürün sıcaklığının düzgün dağılması,
- İşlem parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması,
- Kullanılan ekipman boyutu açısından yer tasarrufu sağlaması.

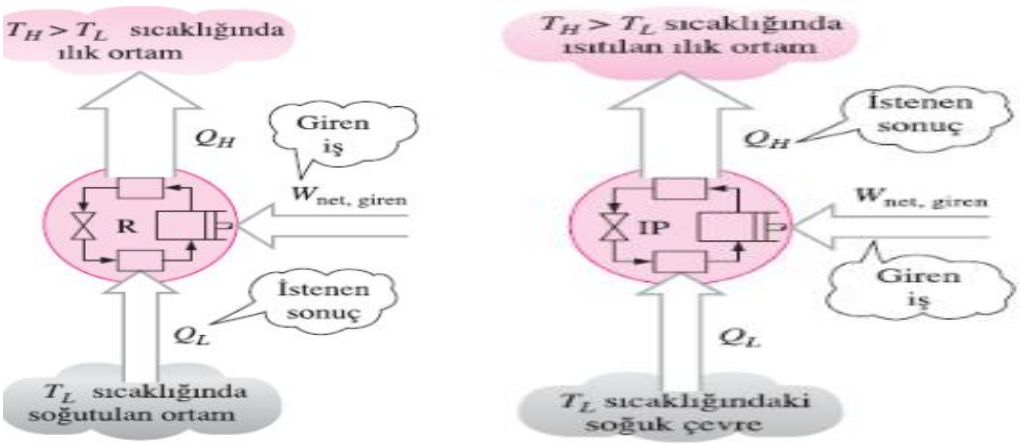
Kızılötesi kurutucuların pek çok avantajı bulunmasına rağmen seyrek dezavantajları görülmektedir. Sadece ısınma ve yemek pişirmek için kullanılmaktadır. Çünkü ileri teknoloji kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymaktadır ve ilk yatırım maliyeti diğer yöntemlere göre yüksektir. Her ne kadar maliyeti yüksekte olsa IR kurutucular ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

5. ISI POMPASI

Temel olarak bir soğutma çevrimi prensibine sahip olan ısı pompası, ilk olarak 1824 yılında Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından öne sürülmüştür. 1850 yılında ise Lord Kelvin'in soğutma cihazlarının ısıtma içinde kullanılabileceğini belirterek ısı pompası uygulamaya girmiştir. Bilim insanları ve mühendisler 2. Dünya savaşı başlamadan önce ısı pompasının gelişmesi için birçok araştırma ve çalışmalar yapmıştır. Fakat savaş döneminde endüstri, imkanları daha acil problemlere yönlendirdiği için önem verilemeyen ısı pompasına savaştan sonra tekrar araştırılması ivme kazandı.

Isı pompası endüstrisinin 1950'lerde sahip olduğu potansiyel, yüksek kuruluş maliyeti, doğalgaz ve petrole dayanan enerjinin ucuzlaması nedeniyle ısı pompasına olan güven 1960'lı yıllarda azaldı. Isı pompalarının bu duraklamadan sonra önem kazanması 1973'teki enerji krizinden sonra olmuş ve bu tarihten sonra birçok çalışma yapılmıştır.

Isı pompası, dışarıdan verilen bir enerji ile mekanik bir iş sarf ederek, düşük sıcaklıktaki ortamdan aldığı ısıyı, yüksek sıcaklıktaki ortama aktaran mekanik bir cihazdır. Kışın ısıtma maksatlı yazın da soğutma için kullanılabilir. Isı pompası ve soğutma makinesi şekilde görüldüğü gibi çevrim olarak aynıdır ancak kullanım amaçları farklıdır. Isı pompası düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposından ısıyı alarak, daha yüksek sıcaklıktaki ortama naklederek ortamı istenilen sıcaklıkta tutmamızı sağlar. Soğutma makinesi ise çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekerek ortamı düşük sıcaklıkta tutmak için kullanılır. Şekil 5.1'de soğutma makinesi ve ısı pompasının çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 5.1. Isı pompası ve soğutma makinesi [40]

Isının, soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına aktarılması çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Isının aktarılma şekline göre bazı ısı pompası tipleri aşağıdaki gibidir:

1. Buhar sıkıştırmalı ısı pompası
2. Absorbsiyonlu ısı pompası
3. Gaz çevrimli ısı pompası
4. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
5. Stirling çevrimli ısı pompası
6. Adsorbsiyonlu ısı pompası
7. Resorbsiyonlu ısı pompası

Genellikle buhar sıkıştırmalı ve absorbsiyonlu ısı pompası çeşitleri kullanımı daha yaygındır. Termal ısı pompaları arasında yer alan adsorbsiyon ve absorbsiyonlu ısı pompaları bu bağlamda avantajları olmakla birlikte bu tipin çalışma maddesine dayalı farklı sorunları bulunmaktadır ve verimleri buhar sıkıştırmalı ısı pompalarına nazaran oldukça düşüktür [41].

5.1. Buhar Sıkıştırmalı Isı Pompası Sistemi

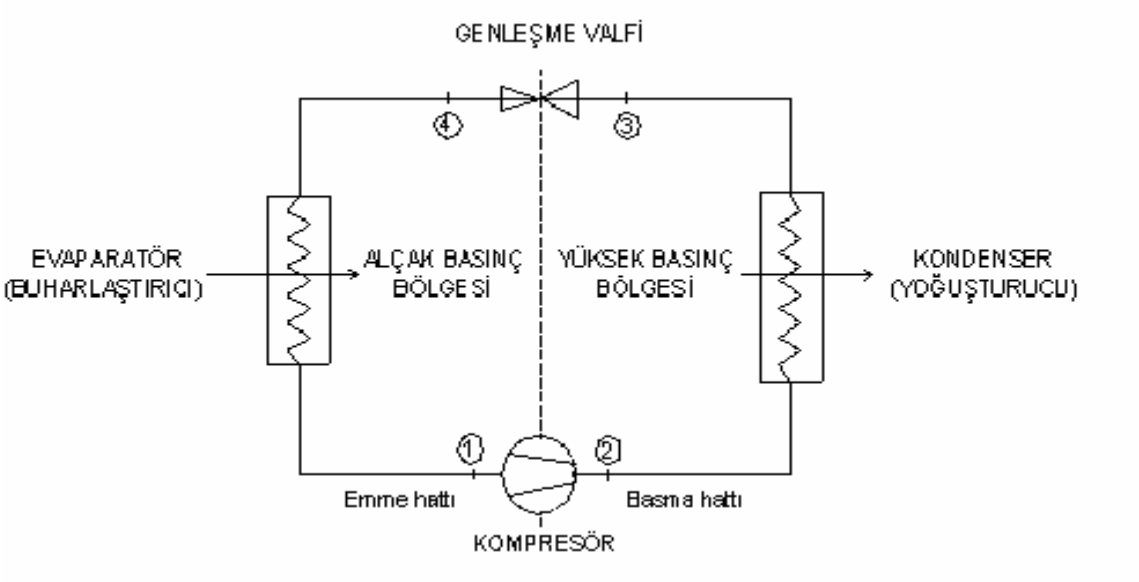
Kullanım amaçları farklı olmasına rağmen ısı pompası ve soğutma makinesi aynı çevrimi gerçekleştirirler. Isı pompasında ve soğutma sisteminde en çok kullanılan çevrim buhar sıkıştırmalı çevrimdir.

Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi şekilde görüldüğü gibi kompresör, kondenser (yoğuşturucu), evaporatör (buharlaştırıcı) ve genleşme valfı olmak üzere dört ana elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar birbirlerine boru ile bağlanırlar. Sistem vakumlanarak çalışma akışkanı sisteme enjekte edilir ve bu dört ana elemanda çevrimini tamamlar.

Evaporatör de ısı kaynağından daha düşük sıcaklıkta bulunan çalışma akışkanımız ısı kaynağından ısıyı çekerek buharlaşması sağlanır. Daha sonra genellikle elektrik motoru ile tahrik edilen kompresörde çalışma akışkanımız yüksek basınç ve sıcaklığa sıkıştırılır.

Kompresörden kondenser ünitesine nakledilen akışkan ısısını dışarı atarak yüksek basınçlı sıvı halde genleşme valfine girerek evaporatör basınç ve sıcaklığına getirilir. Böylece çevrim tamamlanmış olur.

Çevrimde iki farklı basınç ve iki farklı sıcaklık bölgesi bulunur (Şekil 5.2). Basınç bölgeleri, emme hattındaki buharlaşma basıncı ya da alçak basınç bölgesi ile basma hattındaki yoğunlaşma basıncı veya yüksek basınç bölgeleridir.



Şekil 5.2. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi [27]

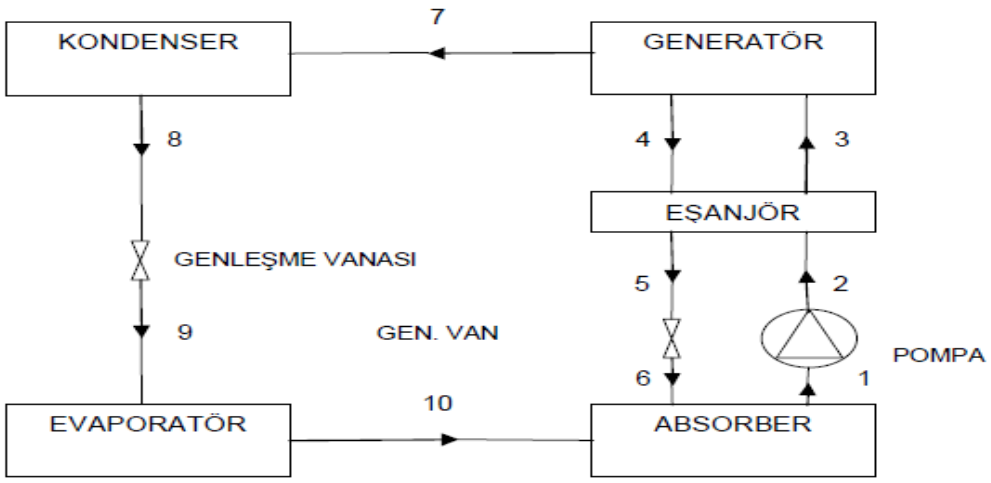
Şekil 5.2'de rakamlarla gösterilen bölgelerde gerçeklesen işlemler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

- 1–2 Doymuş buharın bir kompresör yardımıyla buharlaşma basıncından yoğuşma basıncına sıkıştırılması
- 2–3 Sabit basınçta soğutularak yoğuşma (doymuş sıvı haline kadar),
- 3–4 Isı ve iş alışverişi olmaksızın, akışa direnç gösteren bir genleşme vanasından geçirilerek, sıvının basıncının yoğuşma basıncından buharlaşma basıncına düşürülmesi,
- 4–1 Sabit basınçta soğutkanın buharlaştırılması ile ortamın soğutulması.

Yapılan tariflere göre bütün soğutma sistemleri aslında bir "ısı pompası" dır. Çünkü ısı pompaları düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekerler ve bunu daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama atarlar. Bu çevrim ısı pompasının tarifi olarak da bilinir [27].

5.2. Absorbsiyonlu Isı Pompası Sistemi

Şekil 5.3'de absorpsiyonlu sistemin temel hatları gösterilmektedir. Absorbsiyonlu sistemlerde çalışma akışkanı, genellikle iki farklı akışkandan (Amonyak-su, LiBr-su vb.) oluşmaktadır. Çalışma akışkanı yüksek basınç ve sıcaklıkta jeneratörde ısıtılmakta buharlaşma sıcaklığı düşük olan akışkan (Amonyak, LiBr...) buharlaştırılarak kondensere aktarılmaktadır. Kondenserde yoğuşan buhar, genleşme ventilinde genleştirilerek evaporatöre aktarılmakta ve burda düşük sıcaklık ve basınçta tekrar buharlaştırılmaktadır. Evaporatörde buharlaşan akışkan (Amonyak, LiBr...) absorberde jeneratörden gelen zayıf uçucu madde çözeltisi (örneğin, amonyakça fakir su çözeltisi) içinde absorplanmaktadır. Elde edilen kuvvetli çözelti ise jeneratöre geri pompalanmakta ve çevrim tamamlanmaktadır.



Şekil 5.3. Absorbsiyonlu ısı pompası sistemi [42]

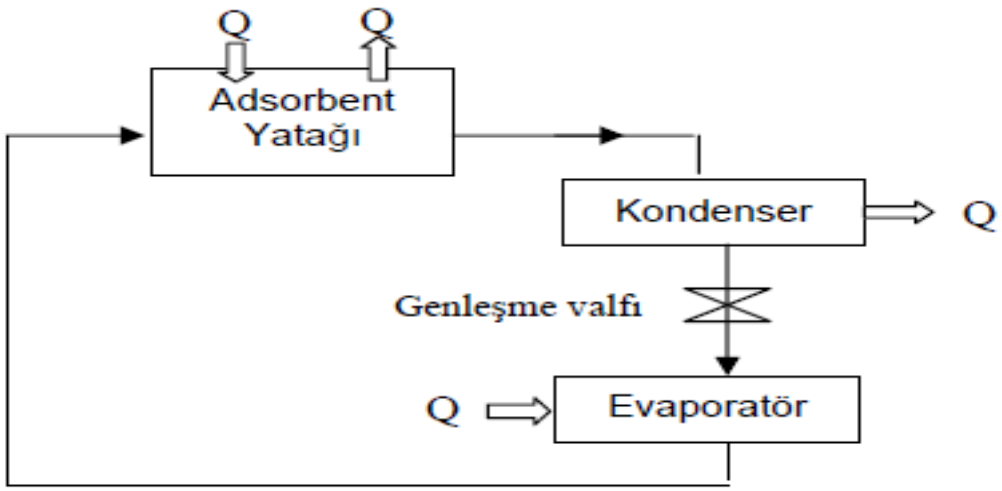
5.3. Gaz Çevrimli Isı Pompası

Bu sistemde kompresörü elektrik motoru yerine, gaz yakıtı ile çalışan içten yanmalı bir motor ile tahrik ederiz. Sistem genellikle buhar sıkıştırmalı çevrim ile çalışan ısı

pompasından oluşur. Çevrim Kompresör, kondenser, evaporatör, gaz motoru ve genleşme valfi olmak üzere beş ana elemandan oluşur.

5.4. Adsorpsiyonlu Isı Pompası

Adsorpsiyonlu ısı pompası bir gaz yada buhar/sıvı adsorpsiyonu katı veya sıvı haldeki başka bir maddenin yüzeyine kimyasal veya fiziksel etkileşme sonucunda tutunması olarak tanımlanmaktadır. Gaz fazdaki maddeye adsorbat, tutan katı veya sıvı haldeki maddeye de adsorbent denilmektedir. Şekil 5.4'de adsorpsiyonlu ısı pompası görülmektedir.



Şekil 5.4. Adsorpsiyonlu ısı pompası [42]

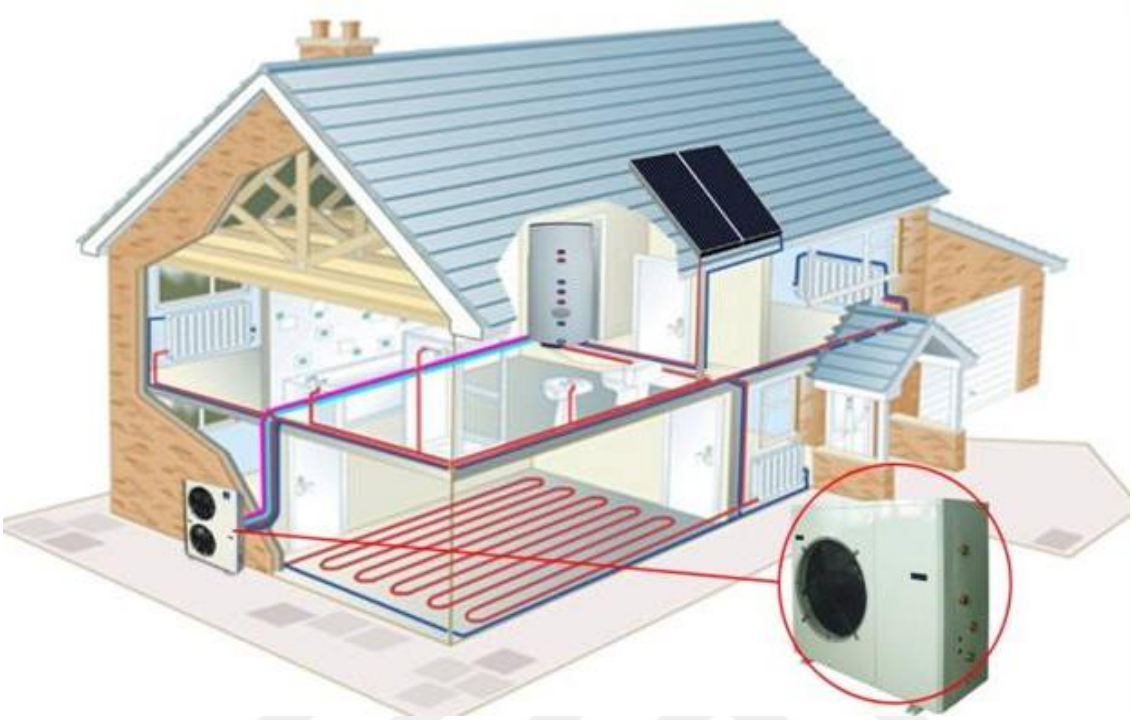
5.5. Isı Pompası Kaynakları

Isı pompasının performans katsayısı, sıcak ısı kaynağı ile soğuk ısı kaynağı arasındaki sıcaklık farkı ne kadar küçük olursa o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle ısı çekilecek kaynak olarak (soğuk ısı kaynağı) sıcaklığı en yüksek kaynağı seçmek gerekir [43].

5.5.1. Hava kaynaklı sistemler

Hava her yerde bulunması, ekonomik ve kolay kullanımından dolayı en çok tercih edilen ısı pompası kaynağıdır. Ancak hava kararlı bir sıcaklığa sahip olmaması ve sıcaklığının ani düşmesi nedeniyle ısı pompasının kapasite ve performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarının kurulum maliyeti diğer ısı kaynaklarına

göre düşüktür. Ayrıca ısı pompası üniteleri arasına ısı geri kazanımına imkân vermemektedir. Resim 5.1'de hava kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.



Resim 5.1. Hava kaynaklı sistem

5.5.2. Yüzey suyu kaynaklı sistemler

Yüzey suyu kaynaklı sistemler deniz, göl, gölet vb büyük su kütlelerini ısı kaynağı olarak kullanırlar. Deniz ve göl suyu sıcaklıkları mevsimlere göre değişmesine rağmen hava ve toprağa kıyasla fazla bir değişiklik göstermez. Bu ısı kaynaklarının en büyük dezavantajı kışın sıcaklıklarının yaklaşık 0 °C'ye kadar düşmesidir. Nehir ve göl suyu, ısı pompalarında tıpkı yeraltı sularında olduğu gibi açık ve kapalı devre olarak kullanılmaktadır. Açık devre sistemlerde buharlaştırıcının ve sistem elemanlarının donma ve kirlenme riski olup, sistem tasarımında bunlara dikkat edilmelidir. Kapalı devre sistemlerde bu problemlerin önüne geçilmektedir. Nehir ve göl suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım maliyeti toprak kaynaklı ısı pompalarından daha düşüktür.

5.5.3. Yer altı suyu kaynaklı sistemler

Bu sistemlerde ısı kaynağı olarak kullanılacak suyun uygun derinlikte, yeterli miktarda ve kalitede olması gerekmektedir. Yer altı sularının en büyük avantajı 10 metre ve daha fazla derinliklerde sıcaklığının yüksek olması ve neredeyse değişken olmamasıdır. Suyun sıcaklığı çıkarıldığı derinliğe, bölgenin iklim ve jeolojik yapısına bağlıdır. Bu ısı kaynağından yararlanmak için açık ya da kapalı sistemler kullanılmaktadır. Açık sistemlerde yer altı suyu ısı pompasına pompalanır, ısısı alınır ve daha sonra ayrı bir kuyuya veya yüzey suyuna geri gönderilir. Kapalı sistemler ise direkt genleşmeli tip (soğutkan yer altı ısı değiştiricide buharlaşmaktadır) veya salamura çevrimli tip olabilir.

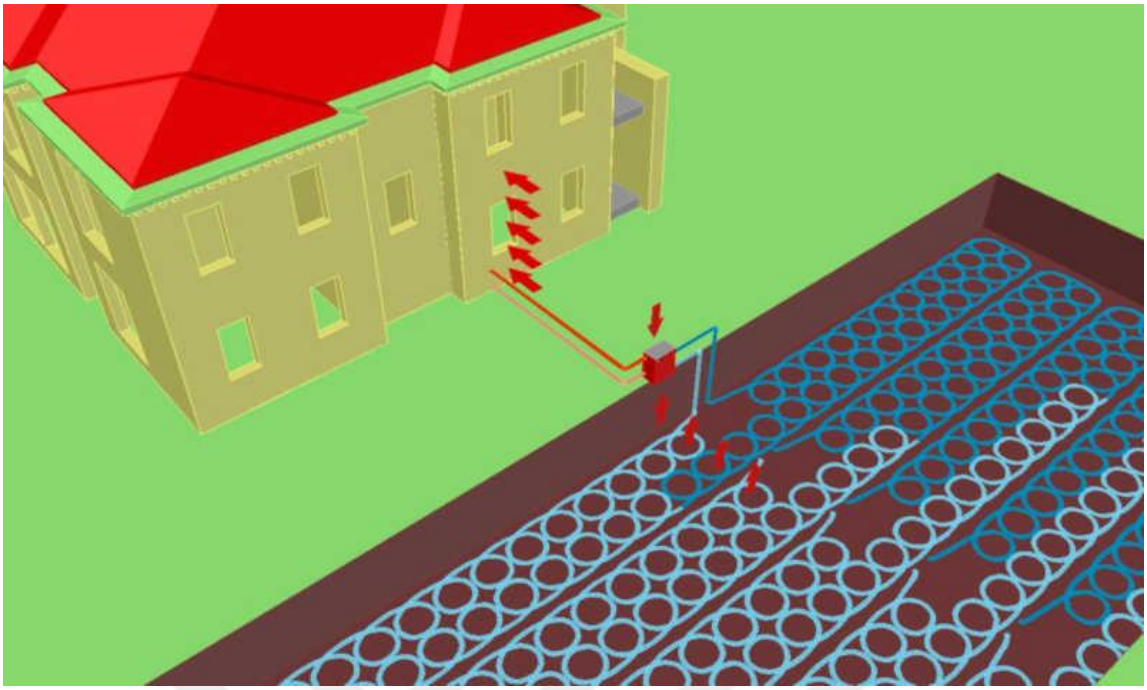
Yer altı su kaynaklı sistemlerde kapalı devre kullanılması iyi bir tasarım uygulamasıdır. Bu sayede;

- Bina devresinde bulunan ısı pompaları arasında dahili ısı geri kazanımı oluşmasına imkan sağlanır.
- Pompa boyunca statik basınç farkı düşürülerek devrede bulunan pompanın enerji ihtiyacı azaltılır.
- Tortu ve çamur oluşumu azaltılır ve temizlik kolaylaşır.

5.5.4. Toprak kaynaklı sistemler

Yer altı suyu sistemlerinden farklı olarak toprak kaynaklı sistemler doğrudan yeraltı suyu kullanmazlar bunun yerine toprak altına gömülü bir ısı değiştirici vasıtasıyla toprağın ısısını alırlar.

Yıl boyunca güneşin yeryüzüne sağladığı ve toprağın depoladığı enerji, ısı kaynağı olarak kullanılır. Toprak sıcaklığının hava sıcaklığına kıyasla yıl içinde fazla değişmemesi ve kısın uygun sıcaklık seviyesinde olması toprak kaynaklı sistemlerin özellikle karasal iklimlerde kullanımına imkân sağlamaktadır. Toprak kaynaklı sistemler evlerde ve ticari/kurumsal binalarda kullanılmakta olup yeraltı suyu kaynaklı sistemlere benzer avantajlar sunmaktadırlar. Resim 5.2'de toprak kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.



Resim 5.2. Toprak kaynaklı sistem

5.5.5. Güneş kaynaklı sistemler

Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompaları güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olmak üzere 2 şekilde yararlanmaktadırlar. Güneş enerjisini doğrudan kullanan sistemlerde kollektör, buharlaştırıcı görevi yapmakta ve soğutucu akışkan güneş enerjisi ile doğrudan buharlaştırılmaktadır. Dolaylı sistemlerde ise kollektör içerisinden geçirilen su veya hava ısı taşıyıcı olarak kullanılmakta ve buharlaştırıcıda ısısını soğutucu akışkana vermektedir. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompalarının en büyük avantajı buharlaştırıcıda daha yüksek sıcaklık, dolayısıyla daha yüksek ısıtma etki katsayısı elde edilmesidir. Ancak dış hava sıcaklığının düşük olduğu, yani ısınma ihtiyacının fazla olduğu günlerde güneş enerjisi de az olduğundan ek ısıtma sistemine gerek duyulur. Bu durum ise zaten yüksek olan maliyetin artmasına neden olur.

6. TEORİK ANALİZ

Deneye başlamadan önce kesilmiş balkabağından çıkartılan kabak çekirdeği ve dilimlenmiş ayvaların kuru ağırlığı belirlenmiştir. Etüv fırınında 100 ± 2 °C' de kurutulmuştur. Bu işlem süresince kabak çekirdeği ve ayva dilimleri hassas dijital terazide saatte bir tartılmış ve iki ölçüm arasındaki fark % 1 den az olduğunda kabak çekirdeği ve ayva dilimleri kuru kabul edilmiştir.

Ayva ve kabak çekirdeğinin kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

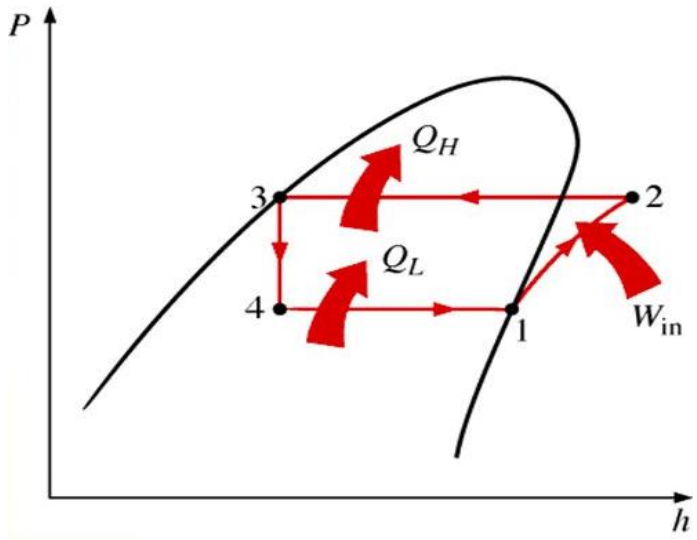
$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \tag{6.1}$$

eşitliği kullanılır.

Ayva ve kabak çekirdeğinin yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \tag{6.2}$$

eşitliği kullanılır [20].



Şekil 6.1. Isı pompası sisteminin log P-h diyagramı

Kullanılan log P-h diyagramında;

h_1-h_2 : Kompresör giriş-çıkış,

h_2-h_3 : Kondenser giriş-çıkış,

h_3=h_4 : Kılcal boru giriş-çıkış.

Eşitliklerde kullanılan "$\dot{m}$" sistemde ki akışkanın kütlesel debisidir.

Sistemde yoğuşturucudan havaya atılan ısı miktarı $(\dot{Q}_y)$ şekil 6.1.'de gösterilen log P-h diyagramından yararlanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_y = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \tag{6.3}$$

Sistemde buharlaştırıcı kapasitesi ise;

$$\dot{Q}_b = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \tag{6.4}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Sistemde kompresör gücü log P-h diyagramından yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \tag{6.5}$$

Kurutma sisteminde ısı pompası performans katsayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_{ia} \cdot c_p \cdot (T_{ia} - T_{iaa}) \tag{6.6}$$

$$\dot{m}_{ia} = g_{ia} \cdot \dot{V}_i \tag{6.7}$$

Eşitlikte "$\dot{m}_{ia}$", kurutma havasının kütlesel debisi, "c_p", kurutma havasının özgül ısınma ısısı, "$\dot{V}_i$", kurutma havasının hacimsel debisi, " g_{ia}", kurutma havasının yoğunluğu, *"T_{ia}* ve *T_{iaa}"* ise sırasıyla yoğuşturucu çıkan ve yoğuşturucu giren havanın sıcaklığıdır.

$$COP_{ıp} = \frac{\dot{Q}_y}{\dot{Q}_c} \tag{6.8}$$

Kurutma sisteminde ısı pompası için tüm sistemin performans katsayısını (COP_{ts}) belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır [8].

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_c + \dot{Q}_f + \dot{Q}_p + \dot{Q}_i} \tag{6.9}$$

Tüm sistem için özgül nem çekme oranı ($SMER_{ts}$), üründen buharlaştırılan 1 kg nem için harcanan toplam enerji miktarına oranı olarak tanımlanıp eşitlik 10 ile verilmiştir [8].

$$SMER_{ts} = \frac{\dot{m}_{su}}{\dot{W}_c + \dot{W}_f + \dot{W}_p + \dot{W}_i} \tag{6.10}$$

1 kg nem kaldırmak için harcanan enerji eşitlik 11 ile hesaplanır.

$$SMER = \frac{\dot{m}_s}{\dot{W}_c} \tag{6.11}$$

Üründeki nem oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \tag{6.12}$$

Deney verilerine göre kurutma hızı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{d_t} \tag{6.13}$$

Sistemde ısıtma tesir katsayısı Carnot çevrimi kullanılarak aşağıdaki eşitlik 14 kullanarak hesaplanır. T_K yoğuşturucu sıcaklığı ve T_E buharlaştırıcı sıcaklığı olmaktadır.

$$Cop_{ip} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \tag{6.14}$$

7. MATERYAL VE METOT

7.1. Materyal

Sistemde yaş ürün olarak, Türkiye'de üretimi ve ihracatı yapılmakta olan, farklı sanayi kollarında hammadde olarak kullanılan, zengin vitamin ve minerallerle sahip kabak çekirdeği ve ayva seçilmiştir. Balkabağı türü kabaklar ve ayvalar dilimlenerek içinden çekirdekleri çıkartılıp kurutulma süresine kadar özelliğini kaybetmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir.

7.2. Kurutma Sistemi Düzeneği

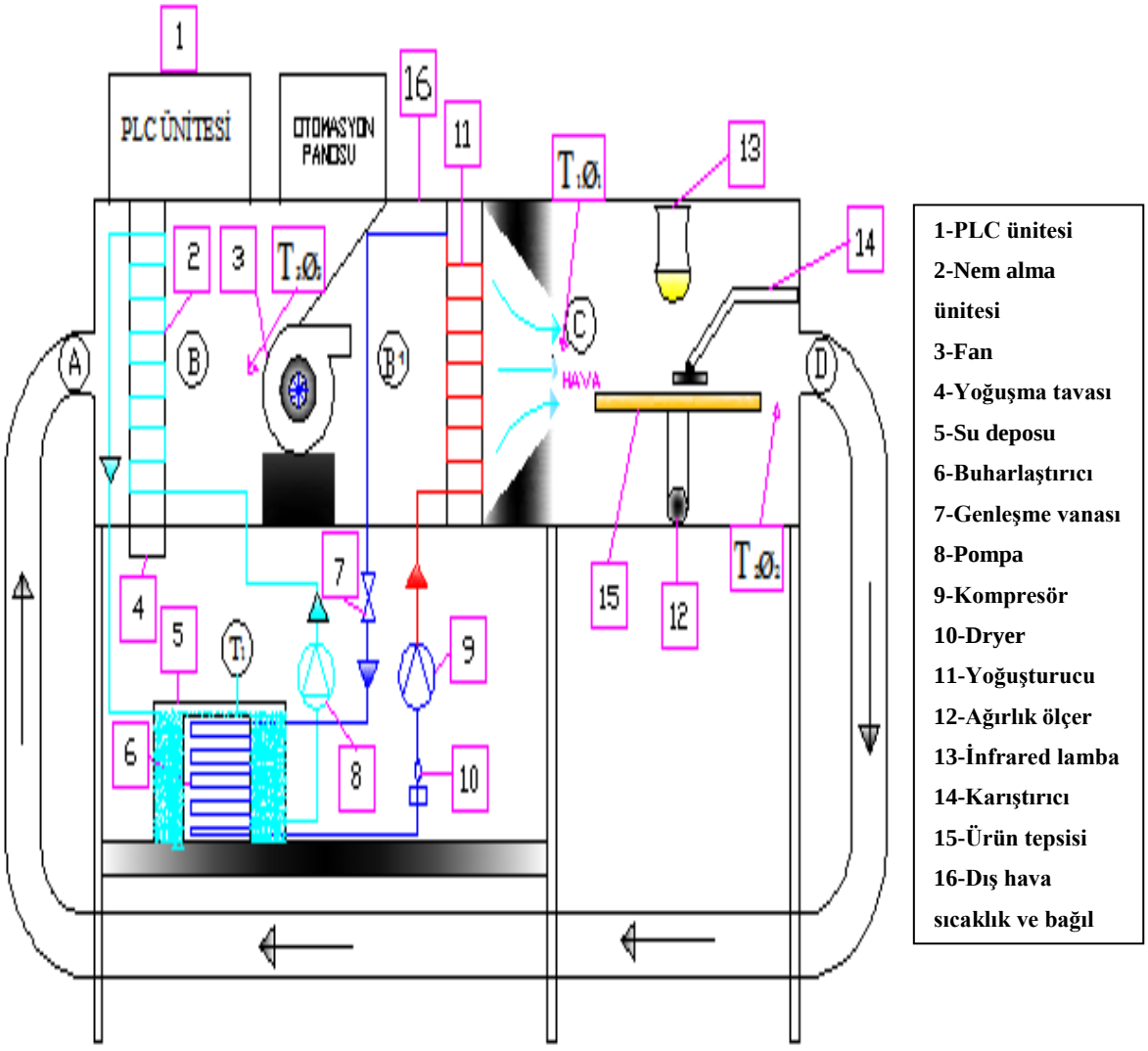
Kurutma havası sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi istenilen şartlarda tutularak infrared enerjili, ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi ile deney yapılması amaçlanmıştır. Sıcaklık, hız ve bağıl nemin hassas kontrol edilmesi ürün kalitesini olumlu etkileyecektir. Aynı zamanda yüksek bağıl nemde yapılan kurutma ürünün kuruma süresinin uzamasına sebebiyet vermektedir. Yine yüksek sıcaklık ya da yüksek hava hızında yapılan kurutma da ürünün aromasının bozulmasına sebebiyet vermektedir. Düşük hava hızında yapılacak kurutma işlemi ile de kurutma süresi uzamaktadır. Bu sebepler göz önüne alınarak daha önceki çalışmalar ve sonuçları analiz edilerek infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırını tasarlanıp imal edilmiştir.

PLC kontrol sistemi, kurutma sisteminde deney esnasında elde edilen verileri PC'ye aktaran, kurutma havası bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası debisi ve ürün ağırlığı değişimini gösteren sistemdir.

Şekil 7.1'de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi görünmektedir. Sistemde kompresör, pompa ve fan olmak üzere üç adet enerji tüketen mekanik sistem, bir adet enerji tüketen infrared lamba, iki adet ısı değiştirici (yoğuşturucu ve buharlaştırıcı), dryer, kılcal boru, su deposu, anemometre, sıcaklık ve bağıl nem sensörleri, nem alma ünitesi, kurutma kabini, ağırlık ölçer (load-cell), ürün tepsisi ve PLC kontrol cihazı vardır.

Sistemde kapalı devre olarak dolaşan kurutma havası üründe bulunan mevcut nemi bünyesine alarak nemlenmektedir. Buharlaştırıcı tarafından sıcaklığı düşürülen su, pompa ile nem alma bataryasına iletilir. Kurutma odası çıkışında nemlenen kurutma havasının nemi nem alma ünitesinin soğuk yüzeyinden geçirilerek alınır.

Kurutma sisteminde, PLC kontrol cihazında ayarlanan sıcaklık değeri ve bağıl nem değeri sıcaklık ve bağıl nem sensörü ile hava hızı anemometre ile ölçülmektedir. Kabak çekirdeği ve ayva yüzey sıcaklığı set değerine ulaştığında PLC sistemi infrared lambayı durdurmuştur. Bunun yanında istenilen kurutma havası set sıcaklığına ulaştığında kompresör durdurulmuştur.



Şekil 7.1. İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü kurutma sistemi

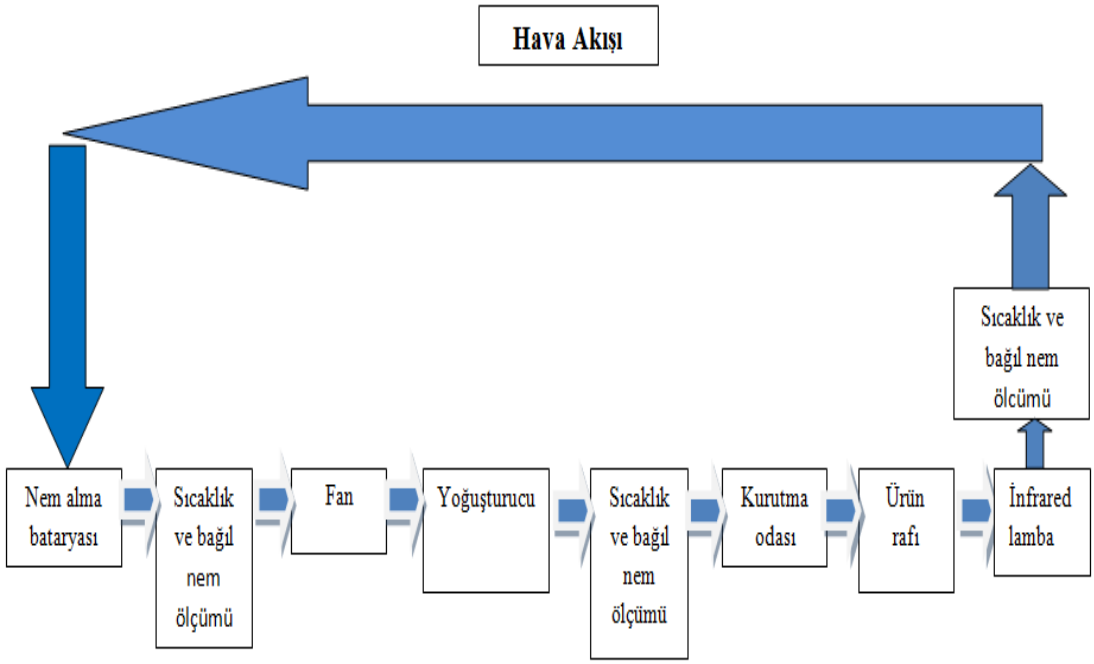
Kurutma havası nem alma ünitesinden geçerek ‘B’ şartlarında yoğuşturucu’da duyulur olarak ısıtılır ve sıcaklığı ΔT kadar yükseltilerek ‘C’ şartlarına getirilir. (B – B^1 fanın verdiği ısıdan dolayı, havanın sıcaklığı yükselmektedir). ‘C’ şartlarına gelen kurutma havası kurutma kabinine girer ve nem değeri bir miktar yükselmekte ve kuru termometre sıcaklığı da bir miktar azalmaktadır. Kurutma kabininden ‘D’ şartlarında çıkan hava izole edilmiş silindir kanaldan geçerek nem alma ünitesine gelir. Kurutma sisteminde PLC ekranına girilen bağıl nem değeri kurutma havasındaki nem değerinden düşük ise deney düzeneğinde bulunan nem alma bataryası devreye girerek sistemde dolaşan nemli havanın nemini soğuk yüzeyde çeker. “A” şartlarında bulunan kurutma havası tekrar “B” şartlarına getirilir.

İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırınında kullanılan cihazlar, teknik özellikleri ve ölçüm hassasiyetleri çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Ölçüm cihazlarının özellikleri

Kullanılan Cihaz	**Teknik Özellikleri**
Ağırlık Ölçer (Load-Cell)	5 kg kapasite, 40 ~ +80 °C, 5 ~ 12 (DC), hassasiyeti ± % 0,02
Bağıl nem ve sıcaklık transmitteri	% 0 - 100 bağıl nemde ± 2 % ölçüm hassasiyeti, - 40, + 120 °C sıcaklıkta ± 0,1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı -10 + 60 °C
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Sıcaklık - 20, + 70 °C, hız 0 - 20 m/s ölçüm hassasiyeti ± 0,01 m/s, ± 0,1 °C, NTC sensör
Isıl çift	Skala 0 - 70 °C, besleme 24 V - DC, çıkış 4 - 20 mA, hassasiyeti ± 0,1 °C
Dijital tartı	En yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti ± 0,01 g

Sistemde yapılan teorik analizler sonucunda optimum şartlarda kabak çekirdeği kurutma deneyi yapılmıştır. Kapalı devre kurutucuda hava akış şeması Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. Hava akışı şeması

8. DENEYLER

8.1. Ayva ve Kabak Çekirdeği Kuru Madde Miktarının Tespiti

Kurutma sistemi ürünü olarak seçilen ayva ve balkabağı çekirdekleri kurutulmak için hazırlanmıştır. Kesilip kabaktan ayrılmış çekirdekler ve dilimlenmiş ayvalar resim 8.1'de görülen etüv fırınında (100 ± 2 °C) kurutulmaya başlanmıştır. Yapılan ölçümler ile kuru madde miktarı belirlenerek ürünün başlangıç nem miktarı tespit edilmiştir.



Resim 8.1. Etüv fırını

8.2. Ayva ve Kabak Çekirdeğinin Kurutulması

Başlangıç nem miktarı belirlenmiş olan kabak çekirdeği ve ayva dilimleri infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminin kurutma kabininde bulunan rafa yerleştirilmiştir. 45 °C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s hava hızında deney yapılmıştır. Kurutma işlemi süresince ayva ve kabak çekirdeğinin ağırlıkları her 10 dakikada bir resim 8.2'de görülen PLC ekranından kontrol edilerek kayıt altına alınmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında kabak çekirdeği ve ayva dilimlerinin resimleri resim 8.3'de verilmiştir.



Resim 8.2. PLC ekranı



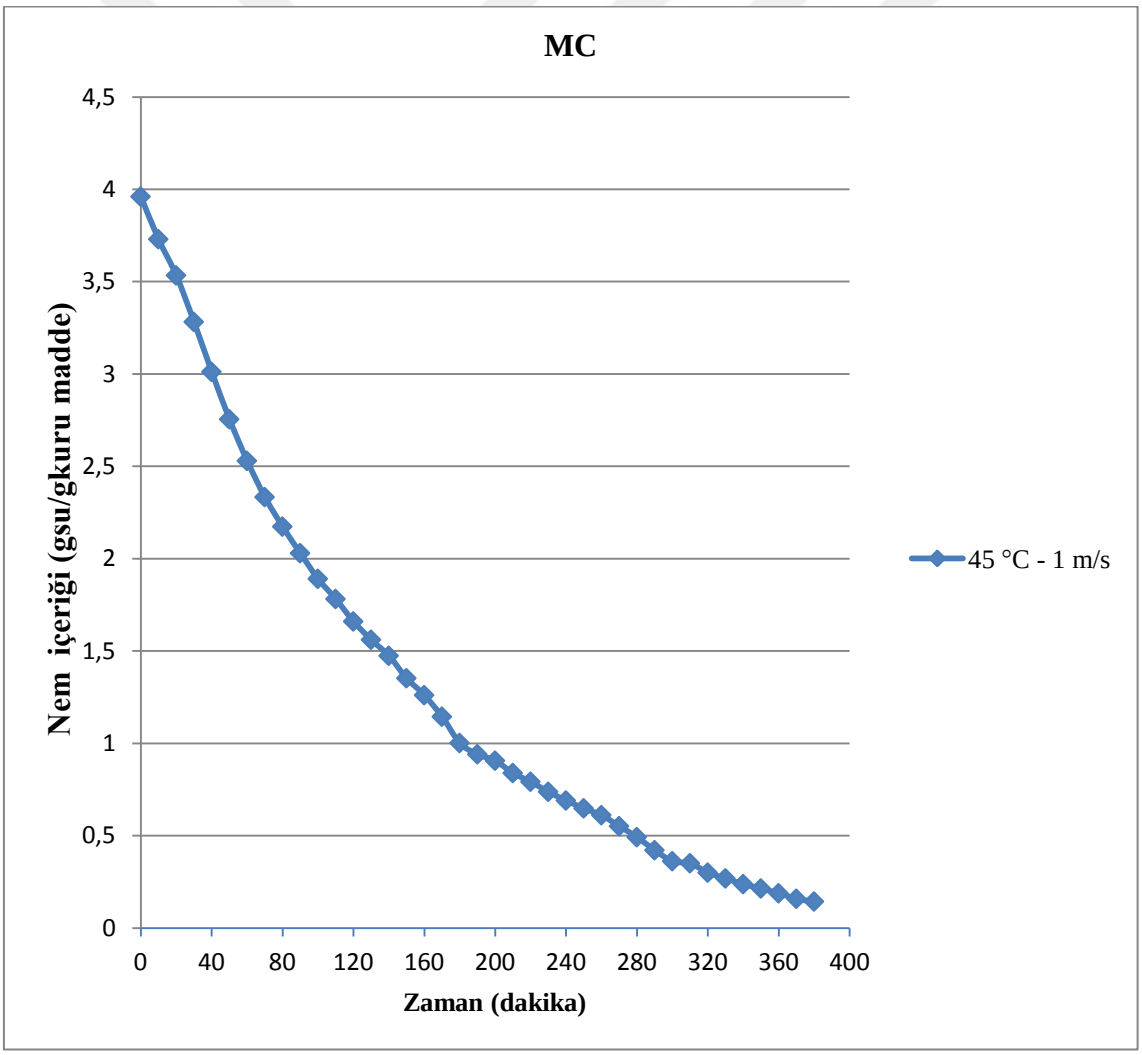
a) b)

Resim 8.3. Kabak çekirdeği ve ayva dilimleri kurutma öncesi ve sonrası resimleri (a) Kurutma öncesi (b) Kurutma sonrası

9. DENEY SONUÇLARI

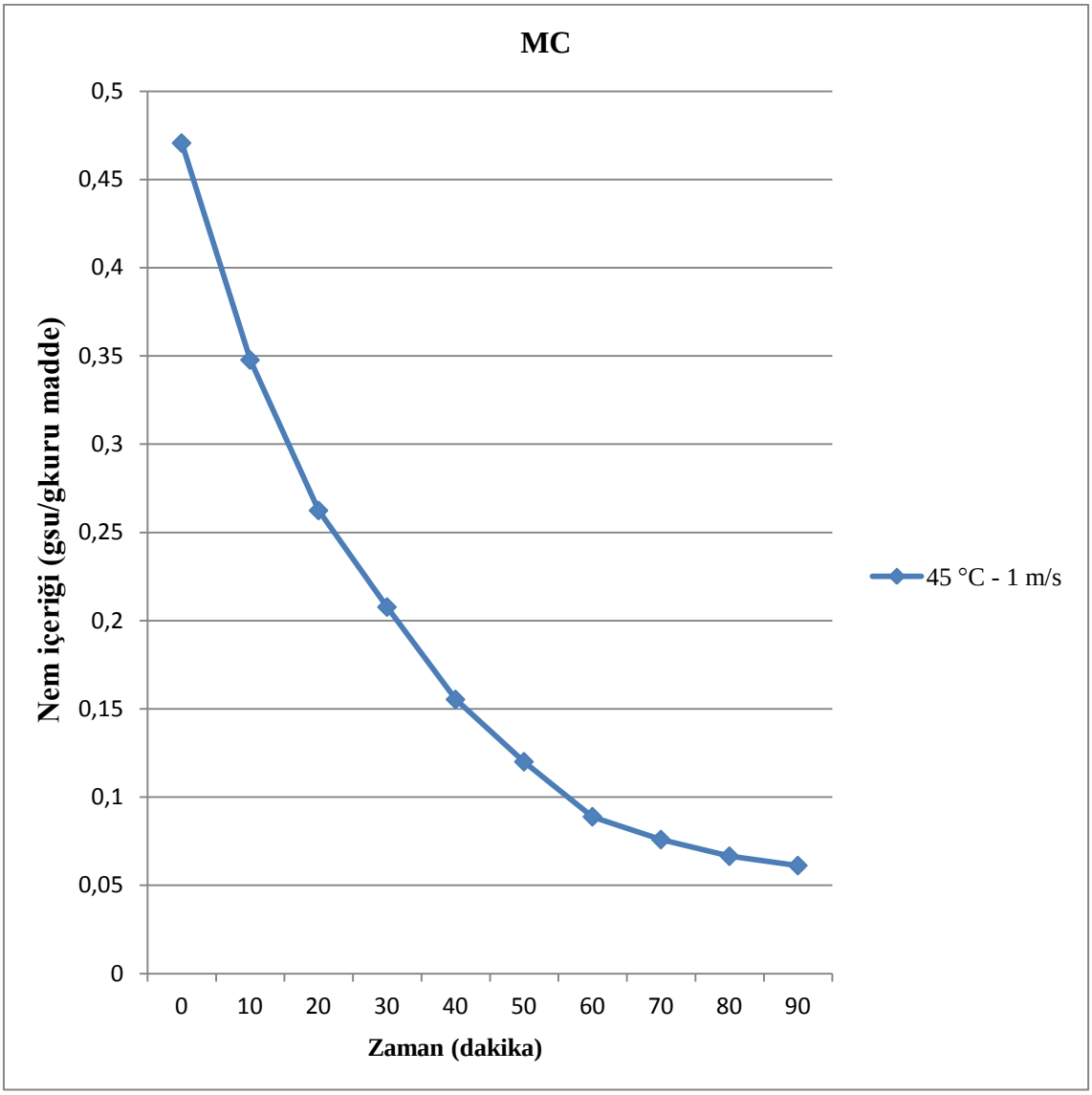
45 °C üfleme havası sıcaklığı, 45 °C ürün yüzey sıcaklık set değerlerinde 1 m/s hava hızında ve % 25 üfleme set bağıl nemde kabak çekirdeği 1.5 saatte, ayva dilimleri ise 6 saat 20 dakikada kurutulmuştur.

Şekil 9.1'de yapılan deneyler sonucunda ayva ve kabak çekirdeklerinin kuru esasa göre nem miktarı değişimi (MC) verilmiştir. 45 °C üfleme hava sıcaklığında ve 1 m/s hava hızında yapılan deneyde ayva 380 dakikada 0,143 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$ nem miktarına, kabak çekirdeği ise 90 dakikada 0,061 $g_{su}/g_{kuru\ madde}$ nem miktarına inmiştir.



(a)

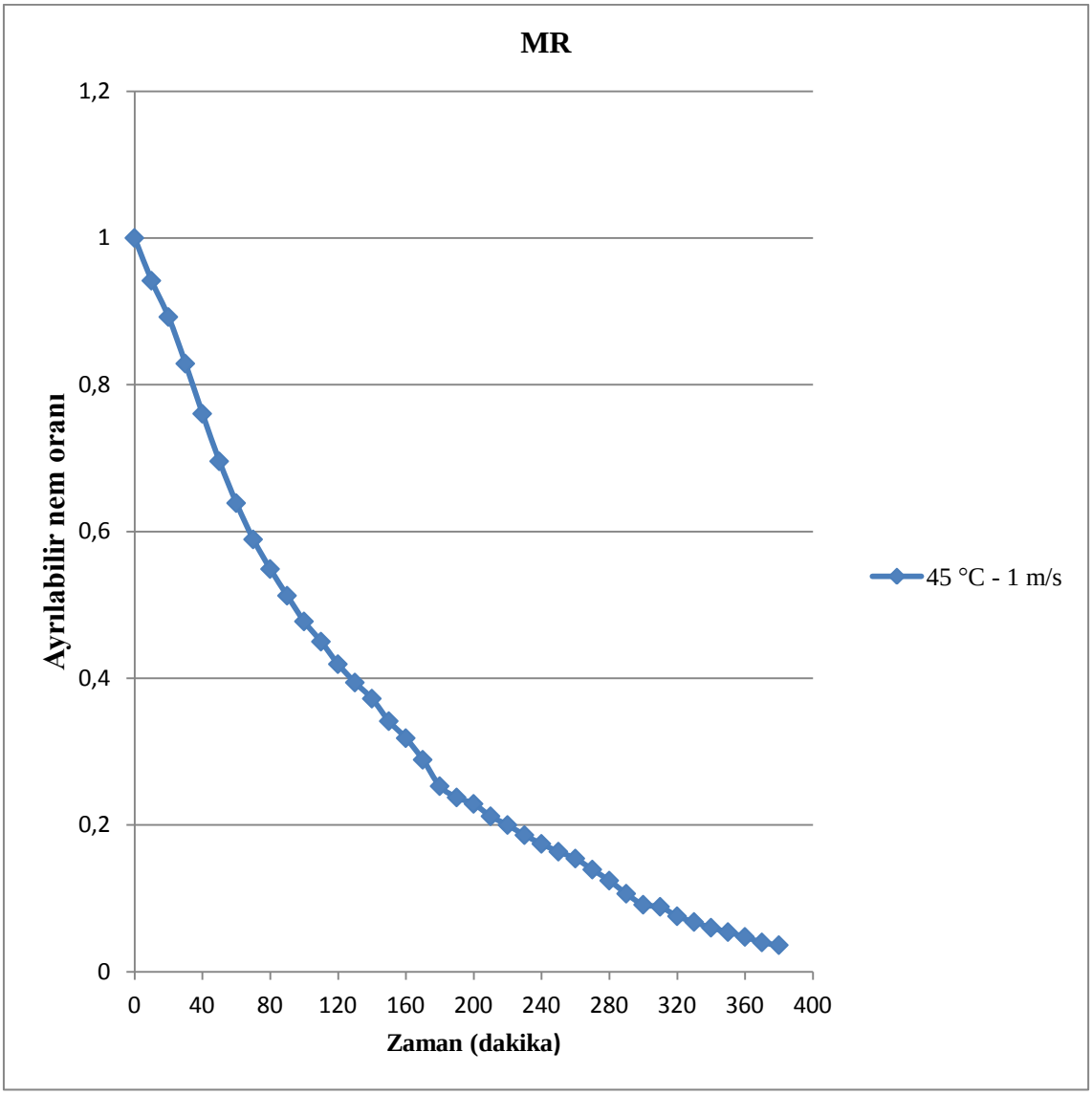
Şekil 9.1. Nem miktarının kurutma süresine bağlı olarak değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği



b)

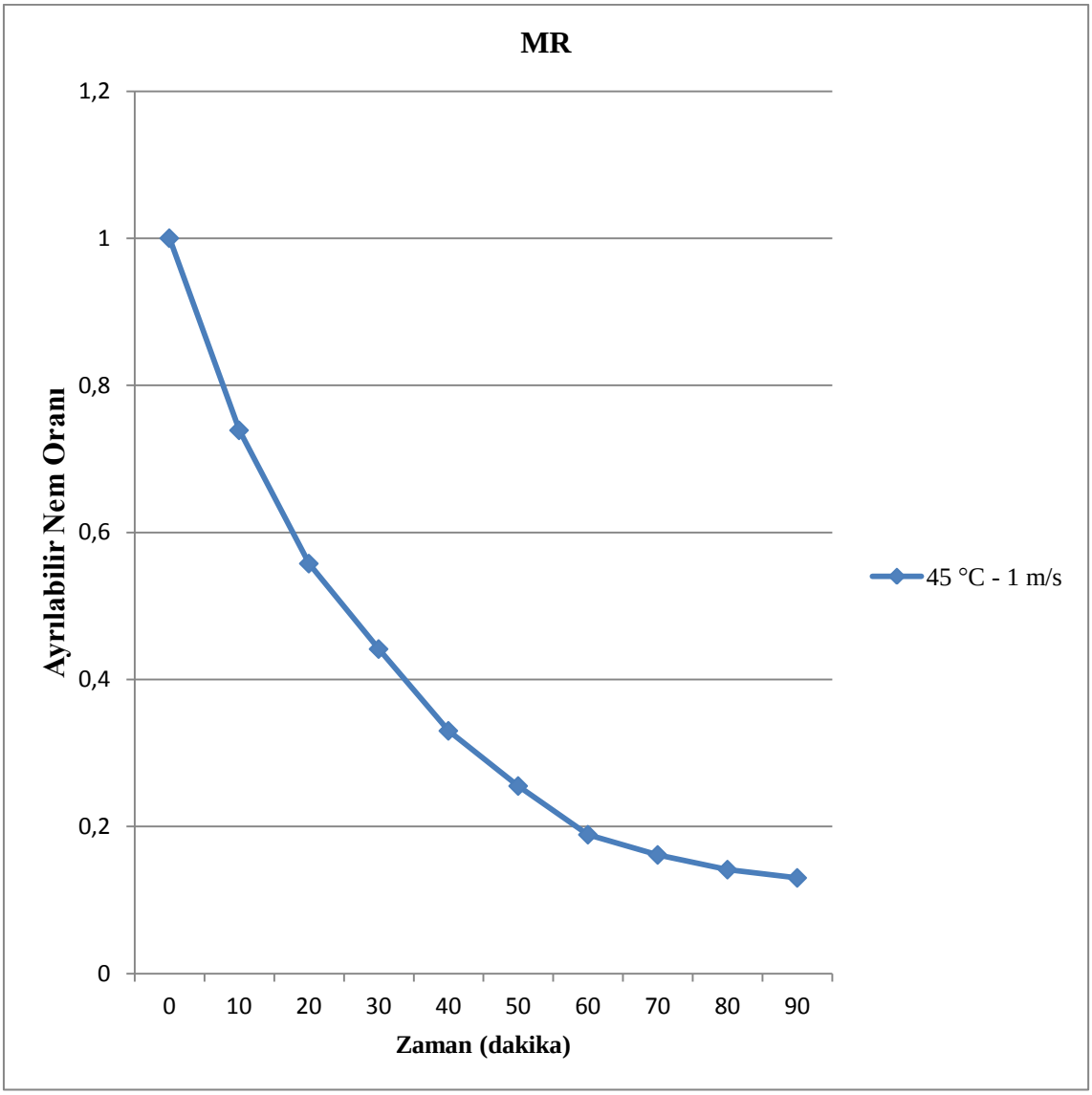
Şekil 9.1. (devam) Nem miktarının kurutma süresine bağlı olarak değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği

Şekil 9.2'de yapılan deneyler sonucunda ayva ve kabak çekirdeklerinin nem oranı değişimi (MR) verilmiştir. Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanan nem oranı ayva kurutma işleminde 240. dakikadan sonra, kabak çekirdeği kurutma işleminde 60. dakikadan sonra şekilde görüldüğü gibi kuruma hızı miktarı azalmıştır.



a)

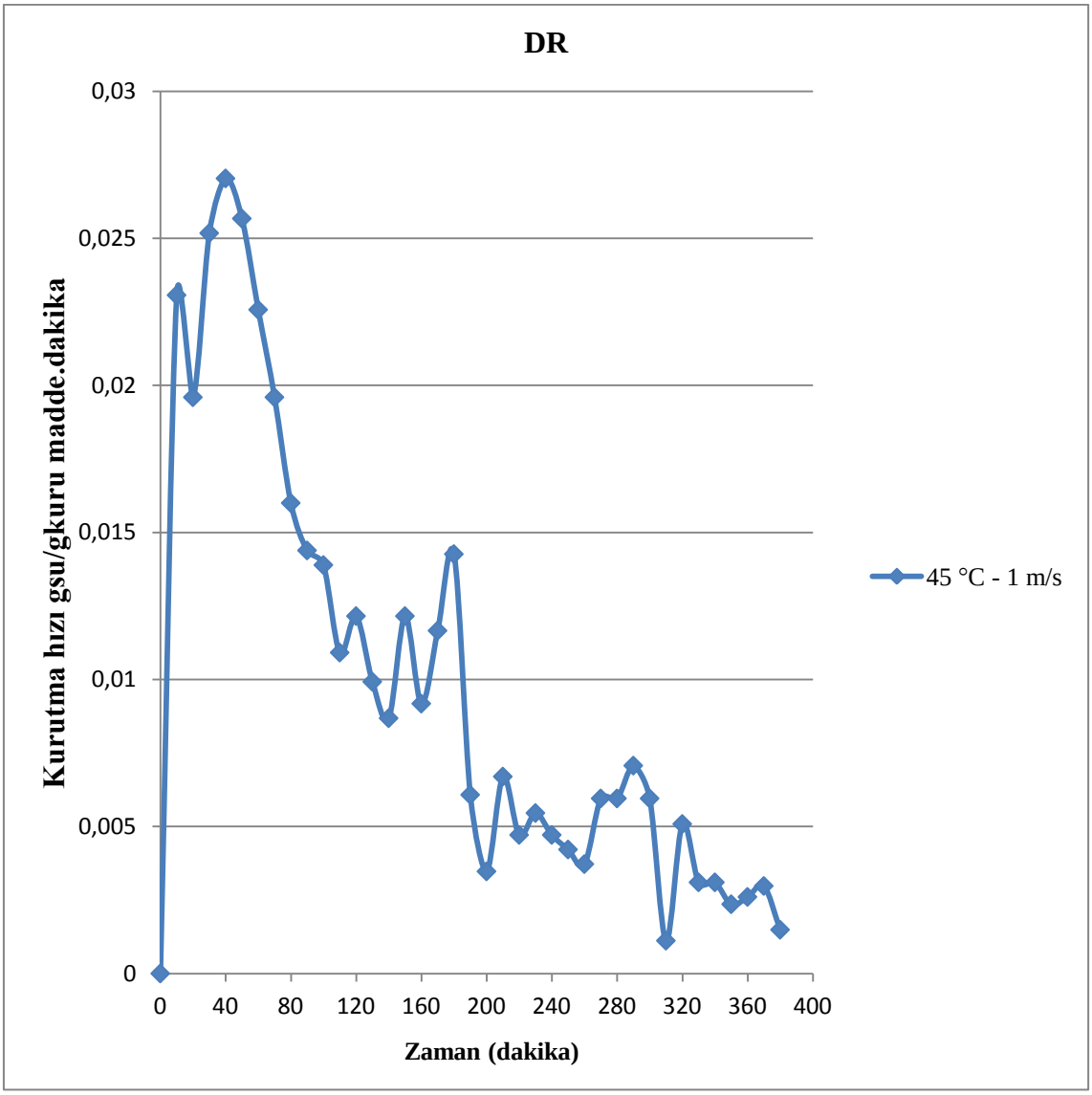
Şekil 9.2. Zamana göre nem oranının değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği



b)

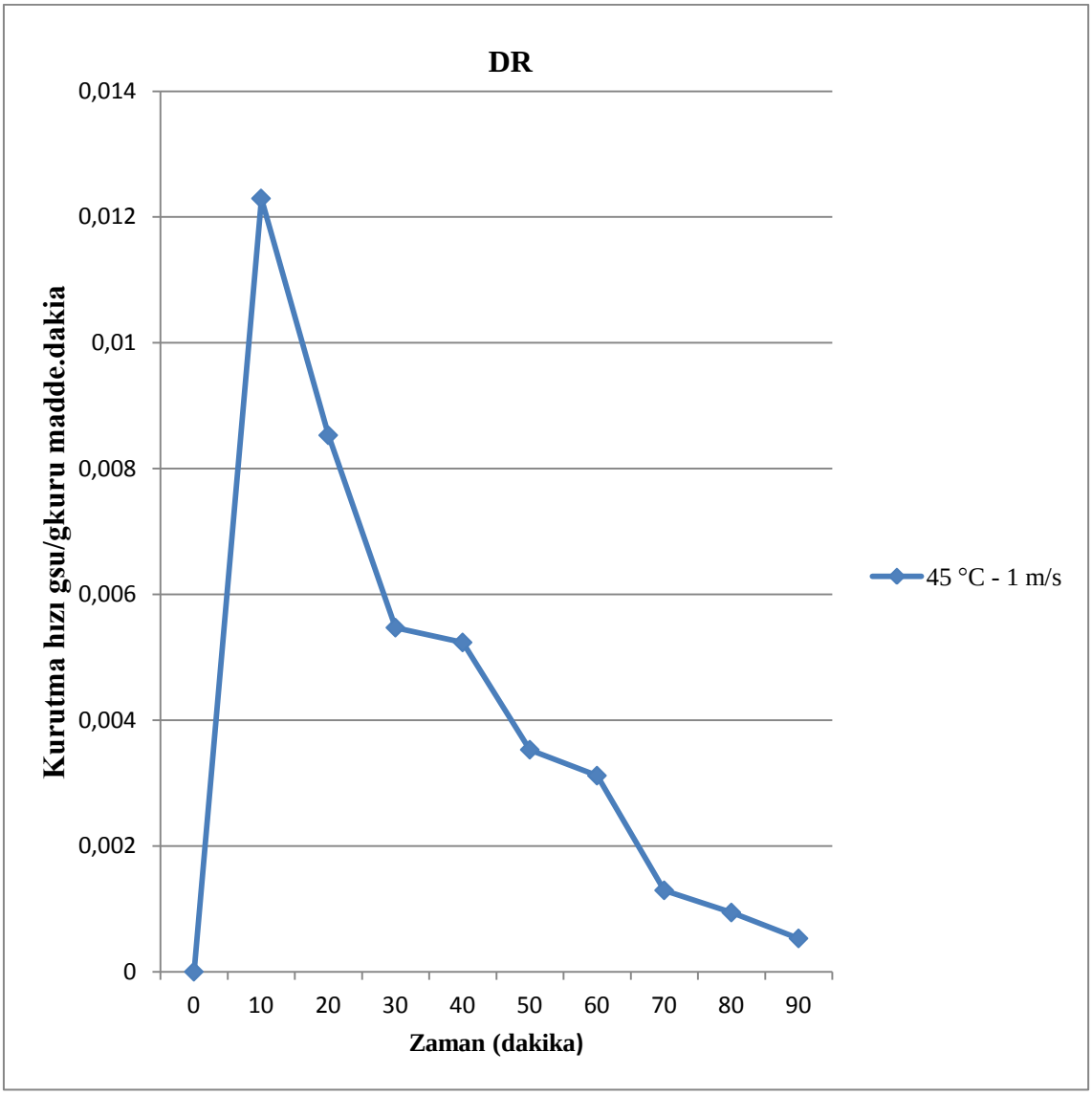
Şekil 9.2. (devam) Zamana göre nem oranının değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği

Şekil 9.3'te ayva ve kabak çekirdeğinin zamana göre kuruma hızının değişimi verilmiştir. Bağıl nem kontrolünden dolayı kuruma hızlarında dalgalanmalar görülmektedir.



a)

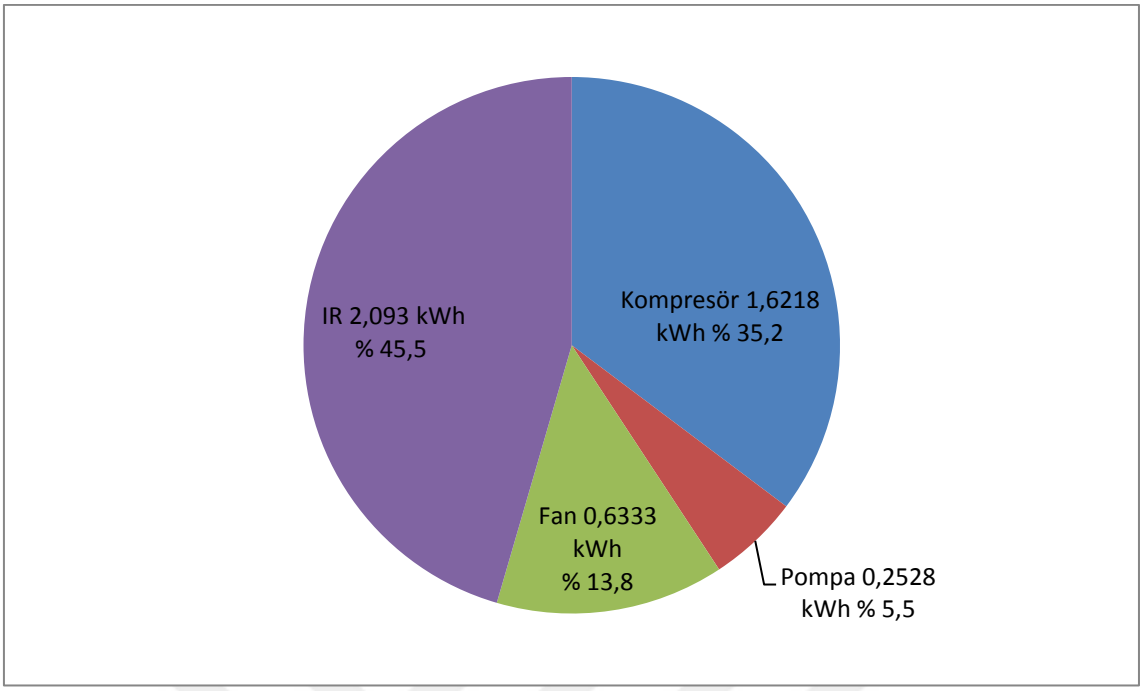
Şekil 9.3. Zamana göre kuruma hızının değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği



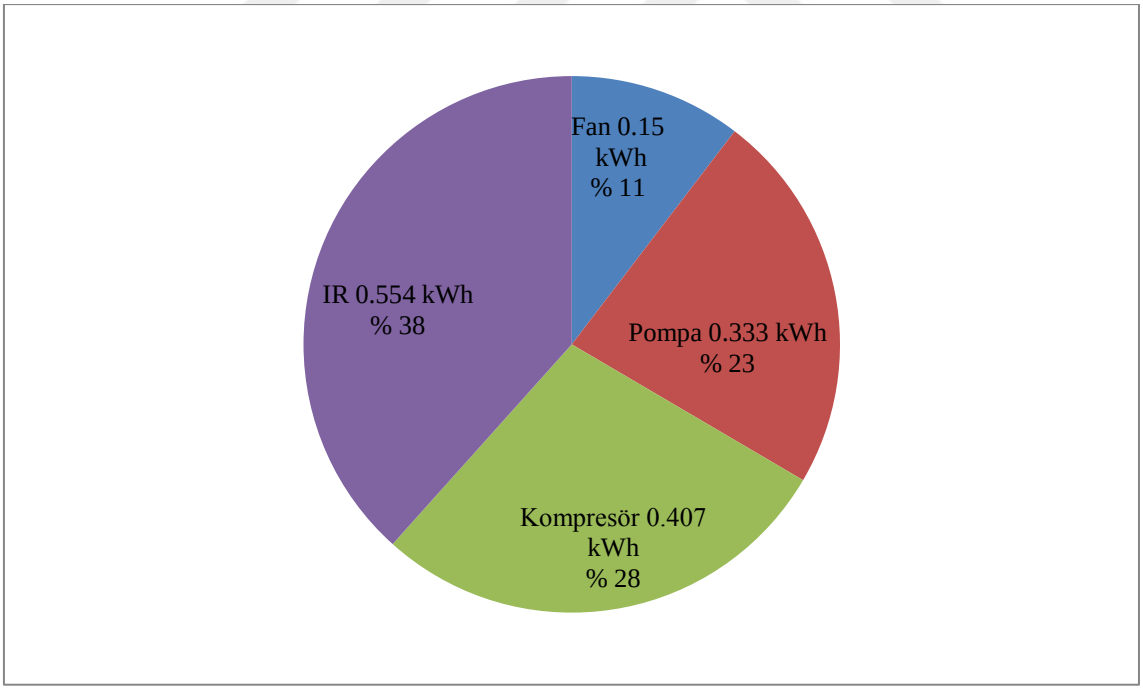
b)

Şekil 9.3. (devam) Zamana göre kuruma hızının değişimi (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği

Şekil 9.4'de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminde kullanılan ve enerji tüketen ekipmanların sistemde tükettiği enerji oranları verilmiştir. Yapılan deneyde kurutma sisteminde en çok enerji tüketen ekipman infrared lamba olduğu görülmektedir.

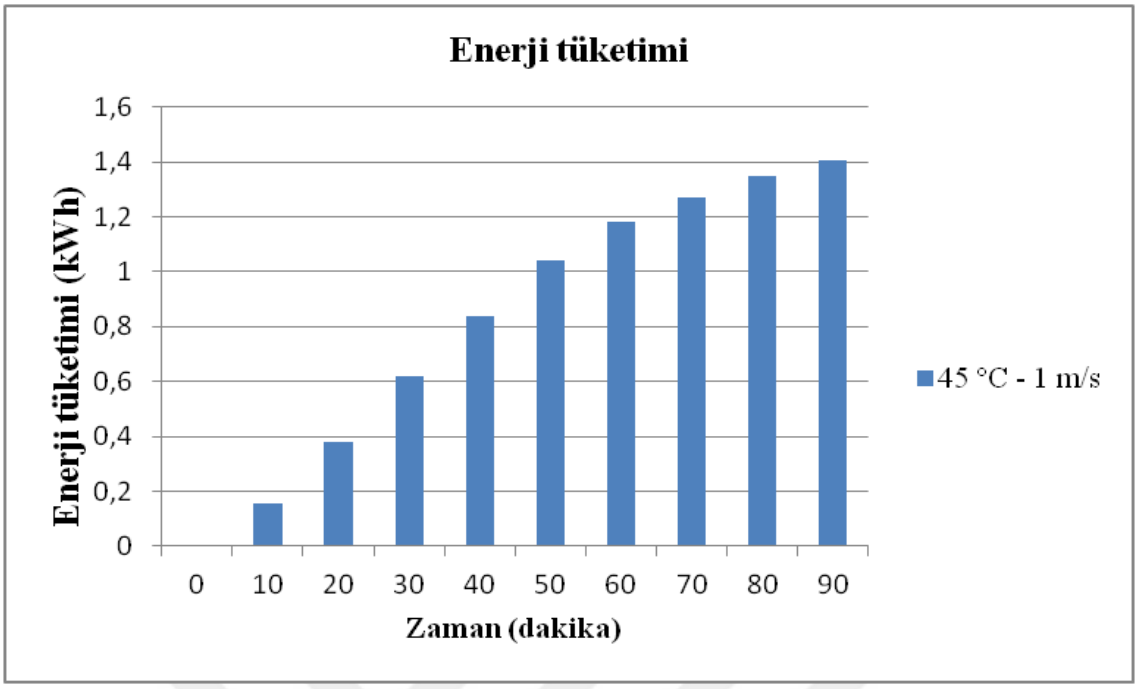


a)

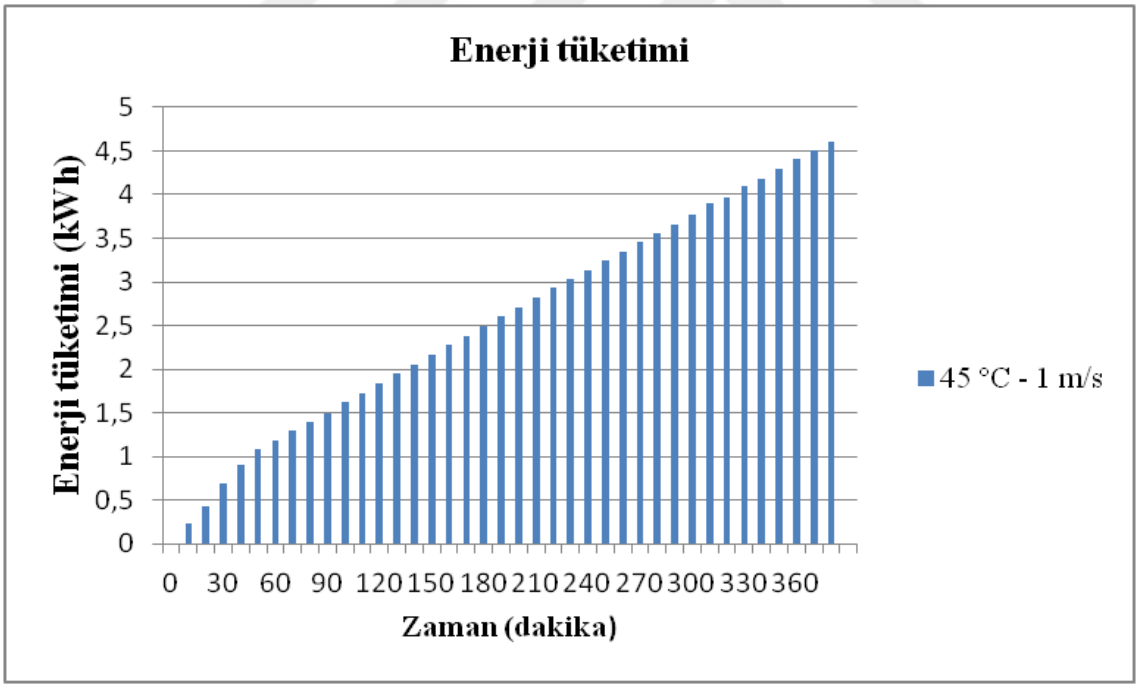


b)

Şekil 9.4. Ekipmanların enerji tüketim değerleri ve yüzdeleri (a) Ayva (b) Kabak çekirdeği



a)



b)

Şekil 9.5. Kurutma sürecinde tüketilen enerjinin zamana göre değişimi (a) Kabak çekirdeği (b) Ayva

Kurutma işlemi süresince harcanan enerji miktarı Şekil 9.5'te gösterilmiştir. Kurutma esnasında enerji tüketiminin zamana bağlı olarak değişimine PLC'de set edilen değerlere göre, kompresörün, pompanın ve infrared lambanın aç/kapa kontrolünden kaynaklanmıştır.

Eş. (6.1) kullanılarak tüm sistemin performans katsayısı (COP_{ts}) ve Eş. (6.5) kullanılarak ısı pompası performans katsayısı ($COP_{ıp}$) hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 9.1'de görülmektedir.

Çizelge 9.1. Deney verileri sonucu

Deney hız ve sıcaklık değeri	COP_{ts}		$COP_{ıp}$		Kurutma süresi (dk)		Harcanan toplam enerji (kWh)	
	Kabak çekirdeği	Ayva	Kabak çekirdeği	Ayva	Kabak çekirdeği	Ayva	Kabak çekirdeği	Ayva
45 °C – 1 m/s	1,513	1,7	5,22	4,82	90 dk	380 dk	1,444 kWh	4,601 kWh

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. Sonuç

Kabak çekirdeği ve ayva doğal yollar ile kurutulduğunda uzun bir kurutma süresine tabi kalmaktadır. Ayrıca doğal yolla kurutma sonucunda ürünün kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca geceleri ve her mevsim kurutma imkânı sağlanamamaktadır. Bu kurutma sistemi ile kabak çekirdeği 1,5 saat ayva ise 6 saat 20 dakika süren bir kurutma süresi ile istenilen ürün nem değerine getirilerek bahsedilen olumsuzluklar ve zaman kaybı ortadan kalkmaktadır.

Deney verileri irdelenmiş ve kurutma sisteminde ısı pompasının performans kat sayısı hesaplanarak kabak çekirdeği için (COP_{ip}) 5.22, ayva için 4.82 değerinde bulunmuştur. Bu değer diğer literatür çalışmalarına bakılarak enerji yönünden sistemin verimli olduğunu göstermiştir. Deney sonucunda ayva ve kabak çekirdeğine duyulur analiz yapılarak ürünün renk, tat ve kokusunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

10.2. Öneriler

Ayva ve kabak çekirdeği doğal kurutma koşullarında kurutulduğu zaman son ürün olarak kalite ve hijyen yönünden uygun olmamaktadır. Bu nedenle ülkemizde yetiştirilen ve ülke ekonomisine katkı sağlayan ayva ve kabak çekirdeği son teknolojiye uyarlanmış enerji tasarrufuna yatkın endüstriyel kurutma sistemlerinde kurutulması önem arz etmektedir.

Zengin vitamin ve minerallere sahip olan ayva ve kabak çekirdeği, insan sağlığı açısından oldukça faydalıdır. Ürünün bu değerleri kaybetmemesi için bozulmadan tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. İstenilen bu şartlar sıcaklık, nem ve hava hızı gibi değişkenleri kontrol altında tutabilecek yapay kurutma sistemlerinde sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Kara, D. (2008). *Sakarya'da Yetişen İki Farklı Kabak Çekirdeğinden (Cucurbita Maxima ve Moschata) Katalaz Enziminin Karakterizasyonu,* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstütisü, Sakarya.

2. Kayseri Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü. (2014). *Çerezlik Kabak Çalıştayı*. Kayseri: Kayseri Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü.

3. Şahin, M. ve Mısırlı, A. (Editörler). (2016). *Ülkemizde ve Dünyada Ayva Islahı Çalışmaları* Nevşehir: Bilim ve Teknoloji Dergisi, 286-294.

4. Hawlader, M.N.A., Jahangeer, K.A. (2006). Solar Heat Pump Drying and Water Heating in the Tropics, *Solar Energy*, 80(5), 492-499.

5. Akpınar, E.K., Biçer, Y. (2003). Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 16(1), 159-169.

6. Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Jaouhari, J.T. (2004). Drying Kinetics of Pricklypear Fruit (Opuntia Ficus İndica). *Abstract Journal of Food Engineering*, 61(2), 173–179.

7. Lee, K.H., Kim, O.J. (2009). Investigation On Drying Performance and Energy Savings of the Batch-Type Heat Pump Dryer. *Drying Technology*, 27, 565-573.

8. Aktaş, M., Gönen, E. (2014). Isı Pompalı Nem Kontrollü Bir Kurutucuda Defne Yaprağı Kurutulması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 433-441.

9. Hebbar, H., Vishwanathan, K.H., Ramesh, M.N. (2004). Development of Combined Infrared and Hot Air Dryer for Vegetables, *Journel of Food Engineering*, 65, 557-563.

10. Nowak, D., Lewicki, P. P. (2004). Infrared Drying of Apple Slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 353-360.

11. Kocabiyik, H. ve Tezer, D. (2009). Dryain of Carrot Slices Using İnfrared Radiation, *Internationel Journal of Food Science and Tecnology*, 44, 953-959.

12. Queiroz, R., Gabas, A. L., Telis, V. R. N. (2004). Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers, *Drying Technology,* 22, 1603-1620.

13. Phani, K., A., Greg, J.S. (2005). Re-circulating Heat Pump Assisted Continuous Bed Drying and Energy Analysis, *International Journal of Energy Research*, 29, 961-972.

14. Özdemir, B., M., Özkaya, G., M. (2015). Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi, *Politeknik Dergisi*, 18 (4), 269-280.

15. Şevik, S., Doğan H., Aktaş M. (2011). Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma Kurutma Sisteminin Modellenmesi, *Politeknik Dergisi*, 14(1), 85-91.

16. Oktay, Z. (1997). Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması, *Makine Mühendisleri Yayını, Teskon Program Bildirileri*, 047, 750-759.

17. Baran, F.M. ve Ülger, P. (2006*). Kabak Çekirdeğinin Doğal Koşullarda Kurutulma Olanaklarının Belirlenmesi,* Tarımsal Mekanizasyon 23. Ulusal Kongresi, Kırklareli.

18. Aktaş, M., Aktekeli, Z., Doğan, H. ve Ceylan, D. (2010). Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızı Biber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneyleri, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 111-120.

19. Demir, Ö. (2012). *Güneş Enerjili Isı Borulu Kurutucu ile Sera Tipi Kurutucuda Defne Yaprağı Kurutulması ve Kurutma Parametrelerinin Karşılaştırılması,* Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Karabük.

20. Aktaş, M. ve Kara, M.Ç. (2013). Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması**,** *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 733 – 741.

21. Güngör, A. (1985). *Çekirdeksiz Üzümün Değişik Kurutma Koşullarındaki Kütle Transfer Sayılarını Veren İfadelerin Teori ve Deney Sonuçlarından Yararlanarak Türetilmesi,* Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.

22. Brunn, S.D. (1963). Acultural Plant Geography of the Quince, *The Professional Geographer*, 15(5), 16 – 18.

23. Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı. (2016). *Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Faaliyetleri.* Ankara: Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı.

24. Öztaş, A. (2003). Ekmek Ayva Çeşidinde Meyve Kalitesi, *Journel of the Science of Food and Agriculture*, 83, 369 – 382.

25. Soylu, A. (2003). *Meyve Yetiştirme İlkeleri*. Bursa: Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları**,** 20, 14 – 19.

26. Tiryaki, K., Çelik, A. (2011). *Ayva Çiçeği Hastalıkları*. Ankara: Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırma Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmalar Daire Başkanlığı.

27. Aktaş, M. (2007). *Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

28. Çapar, B., Gökbulut, S. (2013). *Farklı Kurutma Metotlarıyla Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite Özelliklerinin ve Enerji Verimliliğinin İncelenmesi,* Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

29. Erdallı, Y. ve Dinçer, İ. (1996). Kurutma Prosesinin Analizi, *Termo Klima*, 5(52), 42 – 47.

30. Soysal, Y. (2004). Microwa and Drying Characteristics of Parsley, *Biosystems Engineering*, 89, 167 – 173.

31. İnternet: Kutlu, N. (2012). Gıda da Kurutma Teknolojisi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gidagundemi.com%2Fmakale%2Fgidalarda-kurutma-teknolojisi-m65.html&date=2016-12-19, Son Erişim Tarihi 19.12.2016.

32. Günerkan, H. (2005). Endüstriyel Kurutma Sistemleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği,* 36(13), 1 – 10.

33. Doymaz, İ., Pala, M. (2003). The thin – layer drying characteristics of corn, *Journel of Food Engineering,* 60, 125 – 130.

34. Reyes, A., Ceron, S., Zuniga, R. (2007). A Comporative Study of Microwave-Asisted Air Drying of Potato Slices, *Biosystems Engineering*, 98(13), 310-318.

35. Karagüzel, İ. (2009). *Tarım Ürünlerinin Akışkan Yatakta Kurutulmasının Ekserji Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

36. Aktaş, M. ve Yalçın, A. (2013). Kızılötesi Işınımlı Bir Kurutucuda Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi**,** *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 767 – 775.

37. Telis, V., Sobral, P. (2002). Glass Transitions for Freeze – Dried and Air – Dried Tomato, *Food Research International*, 35(5), 435-443.

38. Güngör, A. ve Özbalta N. (1997). *Endüstriyel Kurutma Sistemleri*, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 046(737), 739 – 744.

39. MEGEP, (2007). *Sebzeleri Kurutma*. Ankara: Gıda Teknolojisi MEGEP.

40. İnternet: Bolum – 6 – Termodinamiğin – ikinci – yasasi – html, URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2%2FDocplayer.biz.tr%2F366896+&date=2016-12-19**,** Son Erişim Tarihi: 19.12.2016.

41. Yamankaradeniz, R. (2008). *Soğutma Tekniği ve Uygulamaları*, Bursa: Vipaş, 608.

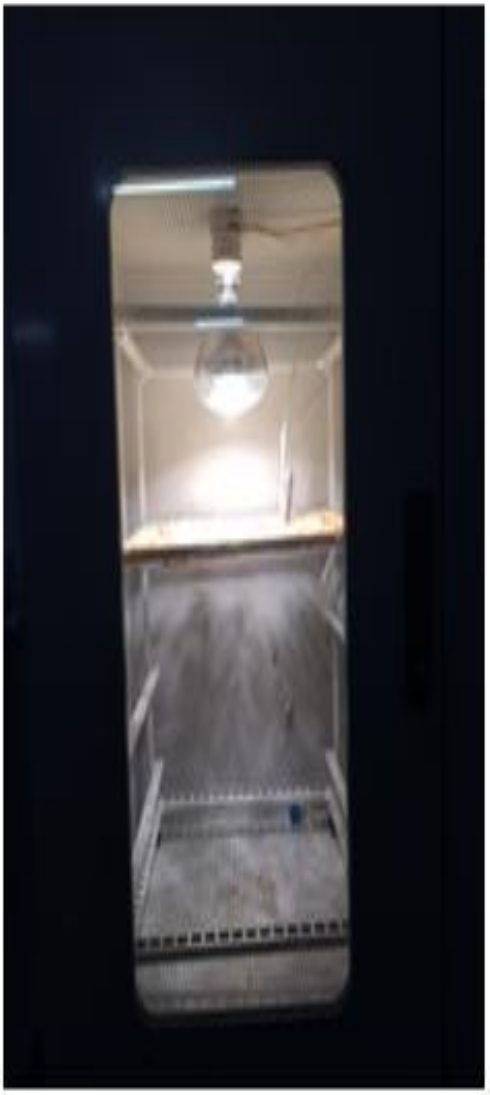
42. Demir, H., Mobedi, M. ve Ülkü, S. (2005). *Adsorpsiyonlu Isı Pompaları,* VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği, İzmir.

43. Yamankaradeniz, B. (2011). *Isı Pompası Kullanılarak Kurutma İşlemlerinde Enerji Tasarrufunu İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

EKLER

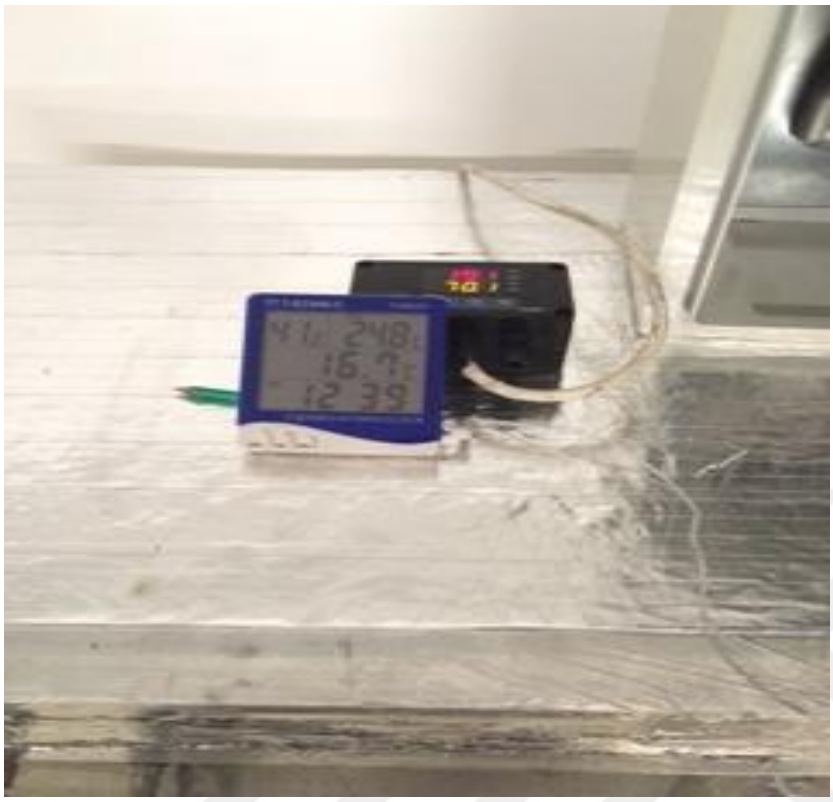
EK-1. Kurutma deney düzeneği ile ilgili resimler





Resim 1.1. Kurutma kabini

EK-1. (devam) Kurutma deney düzeneği ile ilgili resimler



Resim 1.2. Sıcaklı ve nem ölçme cihazı



Resim 1.3. PLC sistemi panosu

EK-1. (devam) Kurutma deney düzeneği ile ilgili resimler



Resim 1.4. Nem alma bataryası



Resim 1.5. Pompa ve kompresör

EK-1. (devam) Kurutma deney düzeneği ile ilgili resimler



Resim 1.6. Dijital tartı



Resim 1.7 İnfrared lamba ve ürün rafı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : ÜNLÜ, Gökhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.12.1986, Kırıkkale
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (554) 760 89 43
e-mail : unlugokhan86@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İleri Teknolojiler A.B.D.	Devam Ediyor
Lisans	Hitit Üniversitesi /Makine Mühendisliği	2013
Lise	Kırıkkale Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-2016	Mastır Enerji	Makine Mühendisi
2013-2015	Teknokon A.Ş.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Takım oyunları, Seyahat



GAZİ GELECEKTİR..