

**ISI POMPASI DESTEKLİ PLC KONTROLLÜ BİR KURUTUCUDA
DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI**

Emrah GÖNEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2012
ANKARA**

Emrah GÖNEN tarafından hazırlanan ISI POMPASI DESTEKLİ PLC KONTROLLÜ BİR KURUTUCUDA DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 03/07/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek bana ait sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emrah GÖNEN

**ISI POMPASI DESTEKLİ PLC KONTROLLÜ BİR KURUTUCUDA
DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Emrah GÖNEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2012**

ÖZET

Bu çalışmada, ısı pompası destekli PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması, analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Türkiye’de büyük bir potansiyele sahip olan defne yaprağı Akdeniz ve Ege bölgelerinde yetişmektedir. Kurutulmuş defne yaprakları kozmetik, gıda ve birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma fırını hava devresi ve soğutucu devre olmak üzere iki çevrim içermektedir. Isı pompası destekli kurutma fırının kontrolünü PLC ile sağlanmaktadır. İmal edilen ısı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminde 40⁰C, 45⁰C ve 50⁰C kurutma havası sıcaklıklarında 400 m³/h ve 600 m³/h kurutma havası debilerinde 6 farklı deney yapılmıştır. Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutucuda yapılan deneyler sonunda tüm sistem ısıtma tesir katsayısı (COP_{ws}) değeri 400 m³/h hava debisinde 40 °C de 2,41, 45 °C de 2,92 ve 50 °C de 2,34, 600 m³/h hava debisinde ise 40⁰C de 2,79, 45⁰C de 3,02 ve 50⁰C de 2,75 olarak hesaplanmıştır. Tüm sistem özgül nem çekme oranı (SMER_{ws}) değeri 400 m³/h hava debisinde 40 °C de 12,61 g/kwh, 45

°C de 11,64 g/kwh ve 50 °C de 11,09 g/kwh, 600 m³/h hava debisinde ise 40°C de 13,54 g/kwh, 45°C de 10,55 g/kwh ve 50°C de 12,96 g/kwh olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 708
Anahtar Kelime : Kurutma, defne yaprağı, ısı pompası, nem alma
Sayfa Adedi : 88
Tez yöneticisi : Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

BAY LEAF DRYING IN A DRYER CONTROLLED PLC ASSISTED HEAT PUMP

(M. Sc. Thesis)

Emrah GÖNEN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2012

ABSTRACT

In this study, the drying of bay leaves were aimed in a dryer which had with controlled PLC (Programmable Logic Controller) assisted heat pump. The bay leaf, that has a high potential in Turkey, grows in Mediterranean and Aegean regions. Dried bay leaves are used in cosmetics, food and the other industrial applications. The dryer assisted heat pump with controlled PLC consisted of air and cooling cycles. PLC provided the control of the heat pump drying system. Experiments were done in a heat pump dryer at 40 °C, 45 °C and 50 °C drying air temperatures and 400 m³/h and 600 m³/h drying volumetric air flow rates. The COP_{ws} (Whole system Coefficient of Performances) of this system were calculated as 2.41 at 400 m³/h volumetric flow rate and 40 °C, 2.92 at 400 m³/h volumetric flow rate and 45 °C, 2.34 at 400 m³/h volumetric flow rate and 50 °C. Similarly, they were calculated as 2.79 at 600 m³/h volumetric flow rate and 40 °C, 3.02 at 600 m³/h volumetric flow rate and 45 °C, 2.75 at 600 m³/h volumetric flow rate and 50 °C. The SMER_{ws} (Whole system Specific Moisture Extraction Rates) of the whole system was determined as 12.61 g/kWh at 400 m³/h volumetric flow rate and 40 °C, 11.64 g/kWh at 400 m³/h volumetric flow rate

and 45 °C, 11.09 g/kWh at 400 m³/h volumetric flow rate and 50 °C and 13.54 g/kWh at 600 m³/h volumetric flow rate and 40 °C, 10.55 g/kWh at 600 m³/h volumetric flow rate and 45 °C and finally 12.96 g/kWh at 600 m³/h volumetric flow rate and 50 °C.

Science Code : 708

Keywords : Drying, bay leaf, heat pump, hedumidification

Page Number : 88

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu bana veren ve tezimin her aşamasında desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ' a tez süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen GRUP MAVİ DÜŞ ailesine, teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışması Gazi üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 07/2010-22 kodlu proje ile desteklenmiş olup, Gazi Üniversitesi Rektörlüğü ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi çalışanlarına teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Akademik kariyer çalışmalarımda, benden her türlü maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen annem Serpil GÖNEN'e, babam Hasan GÖNEN'e, kardeşlerim Emre GÖNEN ve Erdi GÖNEN' e eşim Aysun GÖNEN'e de teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. DEFNE YAPRAĞI VE ÖZELLİKLERİ.....	12
3.1. Defnenin Üretim, İthalat ve İhracatı İle İlgili Bulgular.....	18
3.2. Defnenin Tıbbi Etkileri	19
4. KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ.....	20
4.1. Kurutma.....	20
4.1.1. Kurutmanın iç ve dış şartları.....	22
4.1.2. Kurutma sistemi seçimi.....	22
4.2. Kurutma Yöntemleri	26
4.2.1. İletim ile kurutma.....	26
4.2.2. Kızılötesi ışınlı kurutma.....	27
4.2.3. Taşınım ile kurutma.....	27
4.2.4. Sprey kurutucular.....	27
4.2.5. Dondurarak kurutma.....	28

Sayfa

4.2.6. Akışkan yataklı kurutm.....	28
4.2.7. Alevli (flaş) kurutma.....	28
4.3. Kurutucu Seçimi.....	29
5. ISI POMPASI SİSTEMİ VE PLC(Programlanabilir Lojik Kontrolör).....	31
5.1. Isı Pompası.....	31
5.1.1. Isı pompası sistemlerinin tarihçesi.....	31
5.1.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.....	32
5.1.3. Isı pompası sistemi.....	39
5.1.4. Isı pompalarının sınıflandırılması.....	41
5.1.5. Isı pompalarında verimi etkileyen faktörler.....	45
5.2. Isı Pompası Sisteminin Otomatik Kontrolü.....	45
5.2.1. Otomatik kontrol.....	45
5.2.2. PLC.....	45
5.2.3. PLC tarihi.....	46
5.2.4. PLC' lerin yapısı.....	47
5.2.5. Röle ile PLC'nin karşılaştırılması.....	49
5.2.6. PLC çıkış çeşitleri.....	52
6.TEORİK ANALİZ.....	54
6.1. Tam Kuru Ağırlığın Belirlenme.....	54
6.1.2. Isıtma tesir katsayısı.....	55
6.1.3. Özgül nem çekme oranı.....	56
7. DENEY SETİNİN KURULUMU.....	58
7.1. Deney Setinin Hazırlanması.....	58

	Sayfa
8. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	64
8.1. Tam Kuru Ağırlığın Belirlenmesi	64
8.2. Defne Yapraklarının Kurutulması.....	65
8.3. Kurutma İşleminin Sonlandırılması.....	68
9.DENEY SONUÇLARI.....	69
10.SONUÇ VE ÖNERİLER	77
EKLER.....	79
Ek-1 Sistemle İlgili Fotoğraflar.....	80
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Orman Bölge Müdürlükleri itibariyle defne yayılış sahalar ve tahmini potansiyeli.....	14
Çizelge 3.2. 2007-2010 yıllarında defne üretim, ihracat ve ithalat dağılımlar.....	19
Çizelge 4.1. Bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri.....	24
Çizelge 4.2. Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler.....	25
Çizelge 5.1. Röleli ve PLC ile yapılan kontrolün özellikleri.....	50
Çizelge 7.1. Sistem ekipmanlarının çalışma şekli.....	59
Çizelge 7.2. Isı pompası destekli ve kondenzasyonlu kurutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanlar ve teknik.....	61
Çizelge 8.1. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri.....	66
Çizelge 9.1. Özgül nem çekme oranı	75
Çizelge 9.2. Deneysel sonuçlar.....	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Kurutucu seçimi için işlem adımları.....	30
Şekil 5.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi.....	33
Şekil 5.2. Isı pompası sisteminin P-h diyagramı.....	35
Şekil 5.3. Isı pompası sisteminin T-s diyagramı.....	35
Şekil 5.4. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin farklı basınç ve sıcaklık bölgeleri.....	36
Şekil 5.5. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin ana kısımları.....	37
Şekil 5.6. Isı pompası prensip şeması.....	40
Şekil 5.7. PLC'nin iç yapısı.....	47
Şekil 5.8. PLC ile giriş çıkış gereçleri arasındaki bağlantı.....	48
Şekil 7.1. Isı pompası destekli ve kondenzasyonlu defne yaprağı kurutma fırını.....	60
Şekil 7.2. Hava akışı ve PLC kontrol sistem şeması.....	62
Şekil 8.1. Elektronik dijital elektrik sayacı.....	67
Şekil 8.2. Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı.....	67
Şekil 8.3. Defne yapraklarına ait resimler.....	68
Şekil 9.1. Kurutma süresince ürünlerdeki nem miktarı değişimi.....	69
Şekil 9.2. Yapılan kurutma deneylerine ait detaylar.....	70
Şekil 9.3. Yapılan deneylerde defne yaprağının zamana göre ağırlık eğrisi.....	71
Şekil 9.4. Yapılan deneylerde zamana göre enerji tüketimi.....	72
Şekil 9.5. Yapılan deneylerde zamana göre toplam harcanan enerji.....	73
Şekil 9.6. Yapılan deneylerde hesaplanan COP _{ws} değerleri.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
c	Havanın özgül ısısı (kJ/kg °C)
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
$\dot{m}_d$	Kuruma oranı (kg/h)
M_e	Kurutmadan sonra numune kütlesi (g)
M_t	Kurutmadan önce numune kütlesi (g)
M_o	Kuru madde kabının darası kütlesi (g)
T	Sıcaklık (°C)
T_E	Evaporatör sıcaklığı (°C)
T_K	Kondenser sıcaklığı (°C)
t	Zaman (s)
t_d	Dış hava sıcaklığı (°C)
t_k	Kurutma fırınının işletme sıcaklığı (°C)
$t_{iç}$	Kurutmaya başlamadan önceki iç hava sıcaklığı (°C)
u	Akışkan hızı (m/s)
$\dot{Q}$	Birim zamanda verilen enerji (kW)
$\dot{Q}_c$	Kompresör gücü (kW)
$\dot{Q}_E$	Evaporatör kapasitesi (kW)
$\dot{Q}_K$	Kondenser gücü (kW)
$\dot{Q}_{Kon}$	Kondenserden kurutma havasına verilen enerji (kW)
$\dot{Q}_{Evap}$	Evaporatörden birim zamanda sisteme alınan ısı (kW)

Simgeler	Açıklama
SO_{KA}	Ürünlerdeki kuru ağırlığa göre su oranı (g su/ g kuru ağırlık)
SO_{YA}	Ürünlerdeki yaş ağırlığa göre su oranı (g su/ g yaş ağırlık)
COP_{c,h}	Carnot çevriminin ısıtma tesir katsayısı
COP_{hp,h}	Carnot çevrimine göre ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı
COP_{wh}	Carnot çevrimine göre bütün sistemin ısıtma tesir katsayısı
SMER_{ws}	Tüm sistemin özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
W	Yapılan iş (kJ)
W_{Comp}	Kompresörde harcanan enerji (kJ)
ΔT	Fırın işletme sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı (°C)

Kısaltmalar	Açıklama
CPU	Merkezi İşlem Birimi Mikro İşlemci
EİB	Ege İhracatçı Birliği
KA	Kuru ağırlık
MEGEP	Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
SDE	Stratejik Düşünce Enstitüsü
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
YA	Yaş ağırlık

1. GİRİŞ

Ülkemizde gıdaların kurutularak saklama yöntemi, ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski yöntemdir. Bu yöntem çoğu zaman doğada kendi kendine gerçekleşmektedir. Doğada kurutma güneş enerjisi ile gerçekleşmekte olduğundan yılın on iki ayı ve geceleri kurutma yönteminin uygulanması mümkün değildir. Bu durum şartlandırılmış hava ile kurutma yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Kurutma işlemi ürünler üzerindeki su veya diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla birlikte kurutma teriminin en yaygın bilinen ifadesi, katı maddelerden ısı yöntemleri ile su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemleri olarak tanımlanmaktadır. Kurutma işlemi ve kurutucu seçiminde alınması gerekli temel etkenler, istenen niteliklere sahip ürünün elde edilmesinde minimum enerji tüketimi ve mümkün maksimum kuruma hızına ulaşmaktır.

Isıtılmış sıcak hava ile ürün kurutma işleminde kurutma havası belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak nem alabilme özelliği arttırılmakta, doğal veya zorlanmış olarak kurutulacak ürün üzerine belli bir hızda gönderilmektedir. Ürün ile temas eden sıcak hava ürünün nemini alır ve bu işlem, ürün istenilen nem oranına gelene kadar devam eder.

Kontrollü ortamda kurutulan ürünler açıkta güneş altında kurutulan ürünlere göre daha temizdir ve kuruma sonunda doğal renk, tat, koku ve besin maddelerinde daha az değişim olmakta ve böylece kontrollü kurutma ile ürün çevre şartlarından korunmaktadır.

Kurutmadaki temel amaç gıdanın su aktivitesi değerini indirerek raf ömrünü uzatmaktır. Bu şekilde mikrobiyal büyüme ve enzim aktivitesi engellenmiş olur. Ama işlem sıcaklığı bu enzimleri inaktif etmek için yeterli değildir. Bu yüzden depolama boyunca nem içeriğindeki her artış bozulmayı hızlandıracaktır. Gıda ağırlığındaki azalma dağıtım ve depolama maliyetini düşürür. Bazı tip gıdalar için kurutma işlemi tüketici için daha uygun ürün, gıda işleyicileri içinse daha kolay

içerik hazırlama gibi katkılar sağlar. Fakat kurutma işlemi gıdanın besin değeri ve kalitesi üzerinde olumsuzluklara neden olur. Bu yüzden kurutma ekipmanlarının dizaynı ve çalışma şekli bu tür olumsuzlukları minimize edecek şekilde yapılır, ayarlanır ve gıdaya özgü şartlar uygulanır.

Türkiye, kurutulmuş gıda üretimi açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Aynı zamanda kurutma uygulamaları endüstride de (kereste kurutma, plastik kurutma vb.) uygulama olarak çok geniş bir çalışma sahasına sahiptir. Kurutma sistemlerinde harcanan enerji yüksek düzeylerde dir. Ürünler teknik metotlarla kurutulmadığından ürünler de bazı kalite bozulmaları söz konusu olmakta bu da ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tez çalışmasında bu sorunların önüne geçebilmek için ısı pompası destekli kondenzasyonlu (nem almalı) bir kurutucuda teknik kurutma metotları araştırılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılacak olan teknik kurutma yöntemi ile; enerji tasarrufu ve yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve kurutulan ürünün de yüksek kalitede olması hedeflenmiştir.

Günümüzde havanın çeşitli işlemler (nem alma, ısıtma vb.) sonunda ürünün üzerinden geçirilerek kurutma yapılması sağlanmaktadır. Isı pompası destekli PLC kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutularak optimum çalışma şartlarının belirlenmesi ve bu optimum çalışma şartlarının enerji verimliliğine etkisi incelenmektedir. Kurutma havası debisi, sıcaklık ve bağıl nem kontrol edilerek ürün bu değişimlerden etkilenmeden kurutulabilecektir.

Defne yaprağı Türkiye'nin bütün kıyı şeridinde doğal olarak bulunur. Akdeniz ve Ege bölgelerimizde subtropik iklimin etkisini gösterdiği oranda içerilere kadar yayılmaktadır. Yer yer 600-800 metreye kadar çıkabilen defne, kışın ılıman, yazları sıcak yerleri sever. Toprak isteği fazla olmamakla beraber rutubeti yeterli dere yataklarını tercih eder [1-2].

Akdeniz defnesinin kullanılan kısımları yaprakları ve meyveleridir. Kurutulmuş defne yaprakları genellikle doğrudan doğruya konservelerde, çorba, balık ve et

yemeklerinde baharat olarak kullanılmaktadır. Ayrıca defne yaprağından kuru incir, üzüm ambalajları içerisinde böceklerin üremesini engellemek amacıyla da yararlanılmaktadır. Balık konservelerinde balığın tazeliğini korumak ve kokusunu gidermek için de defne yaprağı kullanılmaktadır. Yaş veya kurutulmuş yapraklardan elde edilen eterik yağ gıda sanayinde temel kullanım yeri bulunmaktadır. Meyvelerinden elde edilen yağ sabun sanayinde ve bazı likörlerin yapımında kullanılır. Defne yağından yapılan sabunlar iyi bir temizleyici olduğu kadar, vücut ve baştaki sivilce ve yaraları iyileştirici, saç yumuşatıcı ve kepekleri dökücü özelliklere sahiptir. Ayrıca romatizma ağrılarını giderici ve terletici özellikleri nedeni ile kimya ve ilaç endüstrisinde de yararlanılmaktadır [1-3].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde endüstriyel ürünlerin kurutulmasında büyük oranda birincil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Hangi enerji kaynağı kullanılırsa kullanılsın kurutma işlemlerinde karşılaşılan en büyük problemten birisi kurutma havasının çevrimde tekrar kullanılamamasıdır. Bu tez çalışmasında sistemde gerektiğinde kurutma havasının nemi alınarak kullanılması sağlanacaktır.

Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın birçok amacı vardır ve bunların belki de en belirgin olanı, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını, ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak ürünün nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kaliteli özelliklerin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminin diğer amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği artırmaktır.

Gıda maddelerinin kurutma işlemi daha çok meyve ve sebzelere uygulanmaktadır. Kuru meyvelerin anavatanı ve binlerce yıllık üretim alanı olan Türkiye’ de kuru meyveler tarih boyunca ve günümüzde özellikle dış ticaret gelirlerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Türkiye’ de kuru meyve yetiştiriciliğinin çok eski ve üretimin fazla olmasından bu meyvelerin kolay hasat, muhafaza ve nakil edilebilir oluşlarının, ekonomik imkanların uygunluğunun ve doğal olarak yetişmiş olmalarının büyük payı vardır.

Kurutma; bir madde içinde bulunan sıvının uzaklaşmasıdır. Teknik kurutmada, kurutma işlemine dış müdahale yapılarak madde içinde bulunan nem değişik metotlarla alınır. Bu nedenle kurutma; kuruyacak ürün neminin istenilen kuruluk değerlerine belli bir süreçte indirgenmesi olarak tanımlanır. Belli bir süreçte ürünün kurutma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, nem verme vb.) ünitelerin bütününe de “kurutma sistemi” denir. Kurutma

işleminde kullanılan sistemler sanayinin bir çok dalında (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) yaygın olarak uygulanmaktadır [4].

Gıdaların kurutulması, insanlığın tabiattan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Gerçekten bu metot tabiatta çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Doğada kuruma, güneş enerjisiyle gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla olması imkansızdır. Her ürünün güneşte kurutulması doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer metotlarla kurutulma yolları geliştirilmiştir [5].

Başka bir ifade ile de kurutma; dayanma süreleri kısa olan ürünlere uygulanan saklama yöntemidir. Kurutma işlemi çeşitli ön hazırlık işlemlerinden sonra, kurutulacak ürünün yere, tepsiye veya bir platform üzerine serilmesi ile gölgede hava geçişinin olduğu yerlerde yapılmaktadır [6].

Kurutmanın uygulandığı en yaygın alanlar; gıda sanayi, deri sanayi, tarım sektörü, kimya sanayi, silah sanayi ve orman ürünleri sanayi olarak özetlenebilir. Bu alanlara kurutma işlemi uygulanarak ürünlerin kalitelerinin iyileştirilmesi yanında, nemden korunması, hacimlerinin ve ağırlıklarının azaltılması, taşıma, kullanım ve işlenme kolaylığı vb. avantajlar kazandırılması da eklenebilir.

Birçok uygulamada, havanın kurutma sisteminde yeniden dolaştırılması ısı verimi arttırır. Kurutma havasının nem içeriği, yeniden çevrimden etkilendiği için, istenilen hava neminin korunması amacıyla zaman zaman analiz edilmelidir. Havanın soğurabileceği maksimum nem miktarını; yaş termometre sıcaklığındaki doyma nemi ile sisteme sağlanan havanın çiy noktası sıcaklığındaki nemi arasındaki fark verir. Havanın gerçek nem alma potansiyeli ısı ve kütle transferi oranlarıyla hesaplanır ve genelde maksimum değerlerden düşüktür [7].

Literatürde kurutma ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Yılmaz ve ark (2002), çapraz akımlı sulu yıkayıcıda kurutma havasının nemi alınarak, kurutma fırınlarında, kurutma havasının egzost havası olarak atılmasını önlemeye yönelik geliştirilen, soğuk su pülverizasyonlu, ters yıkamalı nem alma ünitesinde kg hava başına ortalama 8 gram nem çekilmiştir [8].

Hawladar ve Jahangeer güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucunun ve su ısıtıcısının performansını araştırmışlardır. Bununla ilgili bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Yükün 20 kg ve kompresör hızının 1200 rpm olması durumunda özgül nem çekme oranı (SMER) 0,65 olarak olmuştur. Sistem performansını etkileyen üç parametrenin güneş radyasyonu, kompresör hızı ve kurutma odasındaki toplam yük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, kompresör hızı arttığında SMER ve COP değerinin azaldığı gözlemlenmiştir [9].

Akpınar (2004), kırmızıbiber dilimlerinin ince tabaka kurutma işleminin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Araştırmada, konvektif tip kurutucuda 55 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve 1,5 m/s hava hızında kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Termodinamiğin I. kanunu kullanılarak enerji analizi ve termodinamiğin II. kanunu uygulanarak ekserji analizi yapılmıştır [10].

Oktay (1997), ısı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenler araştırılmıştır. İncelemelerde by-pass hava oranı, toplam hava debisi ve egzoz debisi; sistemin performansına etkiyen anahtar parametreler olmuştur [11].

Doğan (2003), su-toprak kaynaklı ısı pompalarını incelemiştir. Yer (toprak) kaynaklı ısı pompalarının, ülkemizde yaygın olarak kullanılmasının enerji tasarrufu açısından uygun olacağını gözlemlemiştir [12].

Demiray ve ark. (2008), kurutulmuş domates üretimi genellikle doğal olarak yapıldığından domates bünyesinde bulunan antioksidan bileşikler (likopen, karopen, aksorbik asit vb.) bakımından kayıplar meydana geldiğini açıklamıştır. Kontrollü şartlar altında kurutma işlemiyle bu tür kayıpların en aza indirebildiğini belirtmiştir [13].

Lee ve Kim, ısı pompalı bir kurutucuda ince dilimlenmiş kırmızı turpu kurutmuşlardır. Ayrıca karşılaştırma adına sıcak havalı ısıtıcı ile de kurutma yapmışlardır. Isı pompasında özgül nem çekme oranı (SMER) 3,4 kg/kWh değerlerini hesaplamışlardır. Sıcak havalı kurutmaya göre 1-1,5 kat uzun sürmesine karşın bu sistemin enerji kazancının yaklaşık üç kat daha iyi olduğunu görülmüştür. Çalışmada ayrıca kurutma havası sıcaklığını arttırdıklarında bağıl nemin düştüğü ve MER ile SMER değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışma, ayrıca ısı pompalı kurutmanın, sıcak havalı kurutmaya nazaran % 58,9 - 69,5 oranında enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir [14].

Hawlder vd, Singapur'da yaptıkları çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompası kurutma sistemi tasarlanıp testlerini gerçekleştirmişlerdir. Sistemde soğutucu akışkan buharlaştırmak için dış ortam hava sıcaklığı kullanılmakta, ayrıca kurutma havasını ısıtmak için de havalı güneş kolektörü kullanılmaktadır. Bunun dışında kurutucu girişine fazladan ısıtıcı monte edilmiştir. Isı pompası çevriminde kullanılan akışkan R-134a'dır. Sistem ile ilgili olarak basınç, sıcaklık, güneş radyasyonu, bağıl nem ve rüzgar hızı değerleri ölçülmüştür. Ölçüm cihazları için hata analizi metodu kullanılmış ve hata miktarı $\pm 3,5$ bulunmuştur. ASHRAE test standartlarına göre kolektör testleri gerçekleştirilmiş ve en yüksek verimin hava debisinin artmasıyla elde edildiği gözlemlenmiştir. Verim değerleri 0,036 kg/s ve 0,06 kg/s hava debileri için sırasıyla %69-73 ve %72-75 olarak bulunmuştur. Soğutucu akışkanın buharlaştırıcı kolektöre daha düşük sıcaklıkta sisteme girmesinden dolayı verimin havalı kolektör verimine göre daha iyi olduğu saptanmıştır. Bu verim değerleri %87 ve %76'dır [15].

Söylemez (2006), kurutma sistemlerinde sistemdeki atık ısıyı kullanan ısı pompalı kurutucuların termo-ekonomik analizini yapmıştır. Araştırmacı, sistemin termo-ekonomik analizi için sistem elemanlarının ısı analizi ile birlikte basit bir ekonomik analiz yapmış ve ısı pompası için optimum sıcaklık değerleri hesaplamıştır. Sistem için optimum kondenser çıkış hava sıcaklığı 50,13 °C, evaporatörden ayrılan hava sıcaklığı 11,90 °C ve evaporatöre giren sistem havası sıcaklığı ise 37,68 °C olarak

hesaplanmış. Sistem elemanları için optimum çalışma şartlarında COP değeri 2,3596 olarak hesaplamıştır [16].

Queiroz vd, yaptıkları çalışmada elektrik rezistanslı ve ısı pompalı olmak üzere iki farklı kurutucu kullanarak domates kurutmuşlar ve performanslarını araştırmışlardır.. Kurutmanın yanısıra matematiksel model ile de çalışmalarını desteklemişlerdir. Kurutma havasını paralel ve karşıt akışlı olarak iki farklı şekilde kullanmışlardır. Sıcaklık, hava hızı ve domates tiplerinin etkilerini inceleyip ısı pompalı kurutucunun efektif COP değerini 2,56-2,68 arasında tespit etmişlerdir. Elektrik rezistanslı kurutucuya göre ısı pompalı kurutucunun enerji bakımından %40 daha ekonomik olduğunu kanıtlamışlardır. Matematiksel model olarak da Page modelini kullanmışlardır. Bu modelde parametrelerin en çok kurutma sıcaklığıyla etkilendiğini belirtmişlerdir [17].

Oktay ve Hepbaşlı (2003), mekanik ısı pompalı bir kurutucunun performans değerlendirilmesini yapmışlardır. Yapılan çalışmada, kondenser ve evedaporatör sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma tesir katsayısı 2,47 ile 3,95 arasında değişmiştir. Isı pompalı kurutucuda SMER' in 0,65 ile 1,75 kg/kWh arasında değiştiği saptanmıştır [18].

Fatouh ve ark. (2006), ısı pompalı kurutucu kullanılarak maydanoz, nane ve ebegümeci kurutmuşlardır. Sistemde R-134a gazı kullanılmıştır. Bu bitkilerin kurutulmasında gerek duyulan en düşük enerji tüketim değerleri maydanoz için 3 684 kJ/H₂O, nane için 3 982 kJ/H₂O ve ebegümeci için 4 029 kJ/H₂O olarak hesaplanmıştır [19].

Onat ve ark. biber kurutucusu ile aflatoksinsiz TSE 2419 ve ASTA standartlarına uygun olarak kırmızı biberi kurutmak, kurutma süresini azaltmak ve sürekliliğini sağlamak için otomasyona yönelik kontrol sistemi geliştirilip uygulamışlardır. Farklı geometrilerdeki numunelerin kurutma süreleri, işleme kolaylıkları ve diğer özellikleri (renk, kül miktarı, nem miktarı) karşılaştırılarak en uygun biber kurutma geometri yapısını tespit etmişlerdir [20].

Yağcıoğlu ve ark. (1999), farklı kurutma koşullarında defne yaprağının kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Güneşte kurutma metodunda uygun olmayan hava koşulları ile karşılandırıldığında, kayıpların meydana geldiğini ve uzun kuruma zamanı gibi avantajsız durumların ortaya çıktığını görmüşlerdir. Kontrollü koşullarla kurutmanın geleneksel kurutmaya göre birçok problemi ortadan kaldırdığı gözlemişlerdir. 50 °C ya da 60 °C sıcaklıkta kurutma ile defne yapraklarının temel yağ bileşim miktarları ile kalitesinde bir kayıp olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca yaprakların % 10 nem içeriğine kadar kurutma zamanı, geleneksel kurutma işlemine göre 12 kez ya da 40 °C sıcaklıkta kurutma şartlarına göre 8 kez daha kısaldığını ve hiçbir kayıp olmadığını ifade etmişlerdir [21].

Acar (1987), defne yaprağından uçucu yağ üretimi ve değerlendirilmesi konusunda yaptığı çalışmalarda; yaprakta kaliteyi etkileyen esas özelliklerin başında uçucu yağ miktarı ve bu yağın fizikokimyasal yapısının geldiğini belirtmiştir. Uçucu yağ miktarı ve bu yağın fizikokimyasal yapısı üzerine üretim yörenesi, üretim zamanı, üretime alınan sürgünlerin yaşı gibi faktörlerin son derece etkili olduğunu ortaya koymuştur. Defne ağaçlarında yapraktaki uçucu yağ miktarını genç sürgünlerde yaşlı sürgünlere göre daha yüksek bulmuştur. Ayrıca, vejetasyon mevsimi dışında ve alçak rakımlı kıyı bölgelerinde uçucu yağ oranının yüksek olduğunu bildirmiştir. Gıda endüstrisinde tüketilecek defne yaprağı uçucu yağının üretimi hedeflendiğinde distilasyon tekniklerinin gerek kalite gerekse kantite üzerine etkilerini belirlemiştir. Pilot endüstriyel distilasyon ünitesinde yapılan direk buhar distilasyonu ile uçucu yağ oranı % 1.36 bulunurken, su distilasyonu yöntemi ile bu oran % 2.00 olmuş, su-buhar distilasyonu sonucu % 2.19 oranında uçucu yağ elde edilmiştir [22].

Tanker ve ark. (1976), defne yapraklarından % 2 oranında uçucu yağ elde ettiklerini bildirmişlerdir. Defne uçucu yağının bileşiminde % 45-50 oranında 1.8-sineol, % 30 geraniol ve sitronellool, % 5 öjenol, metilöjenol ve asetilojenol içerdiğini, bu bileşenlerin yanısıra uçucu yağda pinen başta olmak üzere oksijensiz terpenik maddelerin bulunduğunu belirtmişlerdi [23].

Müller ve ark. (1992), Almanya’da, kurutma sıcaklığının tıbbi adaçayının uçucu yağ üzerine etkilerini incelemişler ve araştırmada; 30-90 °C arasında değişen, numune ağırlığı ve kuruma oranları üzerine etkisi yapraklardaki nem % 11’e düşünceye kadar incelenmiştir. Sıcaklığın 30 °C’den 90 °C’ye yükselmesiyle 15 dakikada kuruma zamanı % 120’den % 99.7’ye düşmüştür 60 °C’de uçucu yağ kaybına rastlanılmamış ve bu sıcaklıktan sonra uçucu yağ kaybının arttığını, 90 °C’de % 11’lik nem içeriğinde uçucu yağ kaybı % 30’a ulaştığını, % 11’lik nem içeriğinden sonra kurutma işlemine devam edildiği de 50 °C’den daha yüksek sıcaklıklarda uçucu yağ kaybının olduğu ve 90 °C’de % 90’a ulaştığını belirtmektedirler [24].

Akgül (1993), defne yapraklarında % 0.5-2.0 oranında uçucu yağ bulunduğunu, bu yağın ana bileşenlerinin 1.8-sineol (% 30-55), α -terpinilasetat (% 7-30), öjenol+metilöjenol (% 2-12), α -terpineol, linalol, α -pinen, β -pinen olduğunu bildirmektedir. Bunun yanı sıra yaprakların bileşiminde tanen, reçine ve müsilaj maddeleri bulunduğunu belirtmektedir. Ayrıca, baharat olarak kullanılan 100 g kuru defne yaprağında; 313 kcal enerji, 5.4 g su, 7.6 g protein, 8.4 g yağ, 75 g karbonhidrat, 26.3 g lif, 3.6 g kül, 834 mg Ca, 43 mg Fe, 120 mg Mg, 113 mg P, 529 mg K, 23 mg Na, 4 mg Zn, 2 mg niasin, 6185 IU A vitamini bulunduğunu ve toplam külün en çok % 4.5, suyun en çok % 9, uçucu yağın 25 °C’de yoğunluğunun 0.905-0.925 ve kırılma indisinin 20 °C’de 1.465-1.470 arasında olması gerektiğini bildirmiştir [25].

Kılıç ve ark. (2004), Taze defne yaprak, tomurcuk, çiçek ve meyvelerinin uçucu yağ bileşenlerini araştırmışlardır. Solvent ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen uçucu yağ koku kalitesi (HRGC-O-MS) ve aroma analizi (AEDA) yapılmıştır. Taze defne yapraklarının ana bileşenlerinin 1,8-sineol, alfa terpinil-asetat, sabinen, alfa-pinen, beta-pinen, beta-elemen, alfa-terpineol, linalol ve ögenol olduğu belirlenmiştir. Taze defne çiçeklerinin bileşiminde; 1,8-sineol ve pinenlerin yanı sıra, alfa-eudesmol, beta-elemen ve beta-karyofilen, meyvelerde; (E)-beta-osimen, bicyclogermacrene, tomurcuklarda; (E)-beta-osimen ve germacrene-D bulunduğu tespit edilmiştir [26] .

Özgüven ve ark. (2004), farklı tıbbi bitkilerin değişik kurutma ortamlarında kurutulmasının uçucu yağ oranı üzerine etkilerinin araştırdıkları çalışmada, geleneksel kurutma yöntemlerinden gölgede ve güneşte kurutma ile kabin tipi (40 °C’de 12 saat) ve solar tünel kurutucuyu karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda, kurutma yöntemlerine göre bitkilerin uçucu yağ oranları değişiklik göstermiştir. En yüksek uçucu yağ oranları; *Lavandula officinalis*, *Origanum onites*, *Thymus eigii* ve *Thymus vulgaris* bitkilerinde solar ve kabin kurutucuda, *Rosmarinus officinalis*’te solar kurutucu ve gölgede, *Salvia officinalis* bitkisinde gölge ve kabin kurutucuda, *Cymbopogon citratus* bitkisinde güneşte, *Artemisia annua*, *Thymbra spicata* ve *Melisa officinalis* bitkilerinde gölgede belirlenmiştir [27].

Bu tez çalışmasında önceden yapılmış olan kurutma, ısı pompası ve defne yaprağı kurutma çalışmaları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda; ısı pompası desteği ile çalışan nem alma ünitesine sahip PLC kontrollü bir kurutucu tasarlanarak imal edilmiş, deneysel analizi planlanmıştır.

3. DEFNE YAPRAĞI VE ÖZELLİKLERİ

Akdeniz ikliminin karakteristik bitkilerinden olan defnenin insanlık tarihi içerisindeki rolü de oldukça büyüktür. Defne yaprağı tarih boyunca şöhret, zafer ve barışın bir sembolü olarak gösterilmiştir. Halen de yüksek rütbeli askerlerin üniformalarında bir süs olarak yer almaktadır. Türkiye’deki defne adı mitolojiden alınmaktadır. Apollo (eski Yunan dilinde güzellik, şifa ve güneş mabudu) tarafından sevilen fakat kendisine yüz vermeyen DAPHNE (Apolo tarafından kovalanan peri) adı zamanla defne ağacı olarak tarihe mal olmuştur [28].

Akdeniz defnesi (*Laurus nobilis* L.) bir maki bitkisi olup, kışın yaprağını dökmeyen ve daima yeşil kalan bir ağaççıktır. Bu özelliği ile diğer yapraklı ağaç formlarından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Defnenin anavatanı birçok yazara göre Küçük Asya ve Balkanlar olarak gösterilmektedir. Başta Türkiye olmak üzere Yunanistan, İtalya, İspanya, Portekiz, Fransa, Yugoslavya, Suriye, Fas, Cezayir, Akdeniz Adaları, Kaliforniya, Meksika ve Kanarya adalarında yaygın olarak bulunmaktadır [28].

Ege İhracatçı Birliklerinin 1997–2003 yılları arasındaki verilerine göre sırasıyla Çin (*Hong Kong*), Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Almanya, Brezilya, Japonya, Polonya, Hollanda ve Fransa, Türkiye’den defne yaprağı ithal eden ilk sekiz ülkedir [29].

Defne bitkisine yurdumuzun Doğu Karadeniz’inden İskenderun’a kadar olan sahil şeridi başta olmak üzere, her bölgesinde doğal olarak, münferit veya kümeler halinde rastlanmaktadır. Ege ve Akdeniz bölgelerinde subtropik iklimin nüfuz ettiği ölçüde, iç kısımlara kadar yayılım göstermektedir. Bazı yerlerde 600-800 m yüksekliğe kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, devlet ormanları ile hiçbir bağılılığı olmayan mer’a, tarla, bağ ve bahçe kenarlarında çit bitkisi olarak da bulunur. Bazı etüt çalışmalarına göre defne ağacının yurdumuzdaki başlıca yayılım sahaları: Karadeniz Bölgesi’nde; Trabzon’dan Karadeniz Ereğlisi’ne kadar olan kıyı şeridine paralel ormanlarda kesif ve bazen de kümeler halinde bulunmaktadır. Marmara Bölgesi’nde; İstanbul, Bursa ve Balıkesir sınırları içerisindeki orman sahalarında yoğun yayılım göstermektedir.

Ege Bölgesi'nde; İzmir, Manisa, Muğla, Aydın yöreleri defnenin yayılış sahalarıdır. Akdeniz Bölgesi'nde ise Antalya, Mersin, özellikle Silifke ve Tarsus, Adana, Kahramanmaraş, Antakya ve İskenderun serilerinde defne bazen münferit, bazen de kümeler halinde yayılış göstermektedir. Akdeniz şeridi boyunca ve Güney Anadolu'da defneye, "Tehnel veya Tahnel" de denilmektedir [30].

Dünyada en önemli kaliteli defne ihracatçısı ülke olan Türkiye, defne yaprağı dışsatımı yapan birkaç ülkeden birisidir ve dünya defne gereksiniminin yaklaşık % 90'ını karşılamaktadır. Son beş yıllık tıbbi ve aromatik bitkiler dışsatım değerleri incelendiğinde, dışsatımı yapılan defne yaprağı miktar olarak kimyon, kekik, keçiboynuzu ve kapariden sonra en fazla dışsatımı yapılan beşinci bitkisel ürün konumundadır. 1999 yılında 3.783 ton ve 7.246 milyon \$'lık dışsatım değeri, yıllarla birlikte artmış ve 2003 yılında 5.099 ton ve 8.233 milyon \$ değerine ulaşmıştır. Defne yaprağı dışsatımı yapılan ülkelerin başında Hong Kong, ABD, Almanya ve Brezilya gelmektedir. Defne meyvelerinden sıkma veya suyla kaynatma yoluyla üretilen sabit yağ sabun yapımında kullanılmak üzere özellikle Arap ülkelerine ihraç edilmektedir. Tamamı doğal floradan toplanan defne yaprakları ve üretilen uçucu yağı ülkemizin ülkemiz açısından önemli bir yere sahip olmasına karşın, aşırı toplamalar, bazı yıllar fiyatların düşmesine ve aynı zamanda doğa tahribine neden olmaktadır. Bu nedenlerle, toplamalar kontrollü yapılmalı ve uygun yörelere plantasyonlar kurulmalıdır [31].

Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğüne hazırlanan "Türkiye Ormanlarında Odun Dışı Ürünler" adlı yayında, ülkemizdeki defne yayılış alanı ve yıllık tahmini potansiyeli orman bölge müdürlükleri itibarıyla Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgeye göre en fazla üretim Adapazarı Orman Bölge Müdürlüğü'nde yapılmaktadır. Ege Bölgesinde bulunan Orman Bölge Müdürlükleri sıralamasında Balıkesir yedinci, İzmir dokuzuncu, Muğla ise on ikinci sırada yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Orman Bölge Müdürlükleri itibariyle defne yayılış sahalar ve tahmini potansiyeli

Orman Bölge Müdürlüğü	Yayılış	Tahmini	Birim Alandaki	Sıralama
	ha	kg/yıl	kg/ha	
Adana	6.343	1.804.491	284,485	2
Adapazarı	4.215	2.197.167	521,273	1
Amasya	800	200.000	250,000	3
Antalya	7.823	1.098.000	140,355	6
Balıkesir	5.500	665.500	121	7
Bolu	645	1.360	2,109	13
Bursa	11.791	1.952.000	165,55	4
İstanbul	500	1.000	2,000	14
İzmir	7.950	660.000	83,019	9
Kahramanmaraş	4.308	375.000	87,047	8
Mersin	40.927	1.407.036	34,379	11
Muğla	32.844	677.752	20,635	12
Zonguldak	6.672	1.103.020	165,32	5
Sinop	1.544	59.000	38,212	10
TOPLAM	131.862	12.201.326	92,531	

Kaynak: [32].

Kurutulan yapraklar selektörlerden geçirilerek 2–10–50 kg’lık paketler halinde sınıflandırılmaktadır. Türkiye’de defne yaprağının üretim ve sınıflandırılması Türk Standartları Enstitüsü’nce (TSE) hazırlanan Defne Yapağı Standardizasyonu’na göre yapılmaktadır. Defne yaprağının kalite özelliklerini çeşitli faktörler etkilemektedir.

Bunlar [33]:

- Bitki türü veya çeşidi (Türk defnesi, Fas defnesi vs.),
- Yetiştirme muhiti şartları (Karaburun, Bodrum vs.),

- Kültürel uygulamalar (gübre, ilaç vs. işlemler ile doğal veya kültür ürünü olması),
- Kurutma yöntemleri (kapalı alanda, gölgede veya suni kurutma),
- Depolama ve ambalajlama,
- Temizlik, lezzet, koku (aromatik madde miktarı),
- Renk (doğal koyu renk tercih edilmekte olup renk açıldıkça eterik yağ miktarı azalmaktadır).

Yurdumuzun doğal bitki türleri açısından zenginliği herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu bitki türleri arasında tıbbi ve aromatik bitkilerin önemli bir yeri vardır. Özellikle Akdeniz bölgesi uçucu yağ bitkileri açısından ayrı bir öneme sahiptir. Ancak bu bitkilerin şimdiye kadar üretime alınmaması yanında bunların tabiat içerisinde korunması konusunda da istenilen amaca ulaşılamamıştır. Mevzuat açısından bazı aşamalar kaydedilmişse de gerçek anlamda koruma altına alınamayan kaynaklarımız kaçak, usulsüz ve aşırı biçimde toplanıp yok pahasına yurt dışına satılmakta ve doğal flora tahrip edilmektedir. Halbuki ilaç ve kozmetik sanayicilerimiz ihtiyacı olan hammaddelerin kendi doğal kaynaklarımızdan elde edilmesi mümkün olduğu halde bunlar ithalat yolu ile karşılanmakta ve böylece önemli miktarda döviz kaybına sebep olmaktadır [34].

Halk arasında nehtel, tahnal, tefrün, tehnel, tenel, tenhel ve teynel gibi farklı isimlerle bilinen [35] defne; genellikle ağaçcık, bazen de 10 m ye kadar boylanabilen yuvarlak tepeli, sık dallı bir ağaçtır (Resim 3.1.). Gövdenin koyu gri, siyaha yakın düzgün kabuğu vardır. Taze sürgünler yeşil, sonraları kırmızı siyah ve tüysüzdür. Yapraklar dar eliptik bir yapıda olup her iki uca doğru sivrilmiştir. Boyları 5-10 cm arasında değişmektedir. Kenarları hafif dalgalıdır. Üst yüzü parlak koyu yeşildir. Kısa ve kalın bir sapı vardır. Çiçekler yaprakların koltuğunda, yan durumlu ufak demetler halinde bulunur. Bir tespih tanesi büyüklüğünde ve yumurta biçiminde olan üzüm sü meyve önceleri yeşil, olgunlaşınca koyu siyah renktedir. Uzunluğu en fazla 2 cm ye ulaşır [36] (Resim 3.2.).

Akdeniz Bölgesi maki elemanlarından biri olan defneler dioik küçük ağaçlardır. Yaprakları basit almaçlı dizilişlidir. Çiçek örtüsü perigon şeklinde olup, bir daire üzerinde açık sarı renkli 4 tepal yaprağı bulunur. Dişi bitkiler üzerinde yalnız dişi çiçekler gelişir. Olgunlaşınca parlak siyah renk alan meyve, tek tohumlu bakka'dır. Tohumlarında endosperm çok küçük kaldığından yedek bes, embriyonun kotiledonlarında depo edilmiştir. Bitkinin yapraklarında hoş kokulu eterik yağ ve bu eterik yağda ise, % 50 oranında Cineol bulunmaktadır [37].



Resim 3.1. Yayla alan yöresi defnelik alanlarında normal yapıda sağlıklı bir defne ocağı



Resim 3.2. Defne bitkisinin yaprak ve meyveleri

Defne bitkisi yapraklarından uçucu yağ, meyvelerinden sabit yağ elde edilen, dalları yakacak olarak kullanılan bir bitki olup çalışmanın yapıldığı Silifke ve yöresinin önemli gelir kaynaklarındandır. Yöre halkı tarafından her yıl özellikle Eylül ayı sonundan itibaren hasat edilen defne sürgünleri gölgede kurutulmakta daha sonra dallarından ayrılan yaprakların satışı yapılmaktadır. Yöredeki defne bitkilerinin yapraklarında daha fazla ve kaliteli uçucu yağ bulunması ülke genelindeki alıcıları hasat zamanından önce yöreye çekmektedir. Defne yaprağı alıcıları yörede açık arttırma usulüne göre ihtiyaçları olan ürünü satın alabilmektedir. Yıllara göre Türkiye defne yaprağı dış satımının artması ile birlikte yöredeki kaynaklar yetersiz duruma gelmekte ve üretime yönelik çalışmalara bir an önce başlanması gerekmektedir. Defne bitkisi yapraklarından uçucu yağ, meyvelerinden sabit yağ elde edilen, dalları yakacak olarak kullanılan bir bitki olup çalışmanın yapıldığı Silifke ve yöresinin önemli gelir kaynaklarındandır. Yöre halkı tarafından her yıl özellikle Eylül ayı sonundan itibaren hasat edilen defne sürgünleri gölgede kurutulmakta daha sonra dallarından ayrılan yaprakların satışı yapılmaktadır. Resim 3.3 'de toplanmış defne yaprağı görülmektedir. Yöredeki defne bitkilerinin yapraklarında daha fazla ve kaliteli uçucu yağ bulunması ülke genelindeki alıcıları hasat zamanından önce yöreye çekmektedir. Defne yaprağı alıcıları yörede açık arttırma usulüne göre ihtiyaçları olan ürünü satın alabilmektedir. Yıllara göre Türkiye defne yaprağı dışsatımının artması ile birlikte yöredeki kaynaklar yetersiz duruma gelmekte ve üretime yönelik çalışmalara bir an önce başlanması gerekmektedir.



Resim 3.3. Toplanmış defne yaprağı

Defne yaprakları genellikle kurutularak ihraç edilmektedir. Yağı ilaç ve kozmetik sanayiinde özellikle sabun imalinde, çorba, pasta, şekerleme, sucuk ve etlerin tatlandırılmasında da geniş çapta kullanılmaktadır. Uçucu yağında bulunan okaliptol ve ojenolün bu yapraklara kazandırdığı konservan etkiden de konservecilik sanayiinde yararlanılmaktadır. Halk arasında, sindirim sistemi rahatsızlıklarına karşı, idrar söktürücü ve terletici olarak kullanıldığı gibi, baharat olarak da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Veterinerlikte ise defne yağından haricen antiparaziter olarak yararlanılmaktadır. Ayrıca ham madde olarak da, sindirim sistemini harekete geçirici, mide bağırsak gazlarını giderici ve idrar söktürücü etkisi vardır [38].

3.1. Defnenin Üretim, İthalat ve İhracatı İle İlgili Bulgular

Yazılı ve basılı kayıtlardan ve istatistiklerden elde edilen veriler doğrultusunda defnede üretim, ihracat, ithalat miktar ve fiyatları ve bunların yıllara göre değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 3.2’de defnenin üretim, ihracat ve ithalat miktarları verilmektedir. Alınan verilere göre son on yıllık periyot itibariyle defne üretim ve ihracatında bir artış izlenmektedir. Son dört yıllık periyotta ihracat ortalaması 8.106 ton ve üretim ortalaması ise 7 378,5 ton olarak bildirilmiştir. Defne yıllık ithalatı, ihracatın yanında yok denecek kadar düşüktür. Üretim son dört yıllık periyotta ortalama % 76,7 oranında artmıştır

Çizelge 3.2. 2007-2010 yıllarında defne üretim, ihracat ve ithalat dağılımları

Yıl	Üretim (ton)	Üretim (1000 \$)	İthalat (ton)	İthalat (1000 \$)	İhracat (ton)	İhracat (1000 \$)	İhracat Fiyat İndeksi
2007	11 686	-	12	87	7.519	20 301	-
2008	7 025	-	41	111	6.934	20 020	-
2009	6 800	-	177	339	9.079	24 336	-
2010	4 000	-	509	889	8.892	25 618	-
TOPLAM	29 514	-	739	1426	32.424	90 275	-

Kaynak: [39].

3.2. Defnenin Tıbbi Etkileri

Defne yaprakları ağızda çiğnenirse ağız kokularını giderir, sindirim salgılarını arttırır, mideyi, iştah açar, hazmı kolaylaştırır, barsak gazlarını giderir, terletici, mikrop öldürücü, barsak kurtlarını dökücü, yapraklarından yapılan gargara diş çürümelerini önler, expectorant, mukolitik, antiviral, antifungal, antibakteriyel, kas gevşetici, böcek öldürücü özelliklere sahiptir. Meyveleri, idrar söktürücü, romatizma ağrılarını giderici, düşüğe sebep olabilir, haricen romatizma ağrılarını giderici, vücut parazitlerini (bit, pire, kene vs.) öldürücü, sabunu cilt mantarlarını ve saç dökülmesini yavaşlatıcı, mideyi, antiviral ve antinevraljik olarak kullanılır. Kökünün kabukları kaynatılarak içildiğinde böbrek ve mesane kumlarını döker, idrar ve adet söktürür [40].

4. KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ

4.1. Kurutma

Kurutma bir maddenin bünyesindeki sıvının alınması olarak tanımlanır. Tarım kesimindeki ve gıda sanayindeki uygulamalarda uygun bir yöntem ile ürünün bünyesinde taşıdığı sıvının alınmasına, çıkarılmasına veya buharlaştırılmasına böylece nem oranının düşürülmesine kurutma denir.

Başka bir ifade ile de kurutma; dayanma süreleri kısa olan ürünlere uygulanan saklama yöntemidir. Kurutma işlemi çeşitli ön hazırlık işlemlerinden sonra, kurutulacak ürünün yere, tepsiye veya bir platform üzerine serilmesi ile gölgede hava geçişinin olduğu yerlerde yapılmaktadır [6].

Kurutma fırınlarında hava hızının ya da sıcaklığının artması; fırına verilen enerji miktarının artmasını sağlar. Bunun paralelinde, ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için verilmesi gereken enerji miktarının daha kısa sürede sisteme verilmesiyle, kurutma süresi de kısalmır. Kurutma havasının sıcaklığı, nemi ve ürün içerisindeki nem, kuruma hızını (kurutma şiddetini) belirler. Kurutma havasının neminin azaltılması da bu kurutma şiddetini artırarak kurutma süresini kısaltır. Dolayısıyla; kurutma süresinin kısaltılması kuruyan üründen daha erken faydalanılmasını sağlamaktadır.

Ürün içindeki bağlı nem alınırken ürüne en uygun olan kurutma yöntemini seçmek günümüz enerji ve ekoloji dengeleri açısından oldukça önemli hale gelmiştir. Üründen buharlaştırılan birim miktardaki nem için harcanan enerji miktarı da kurutma sistemlerinde önemli bir kısıttır.

Kurutma işlemi gerçekleşirken ürünlerdeki serbest nem kısa sürede atılmakta ve kontrollü olmayan kurutma işleminden ve ürünlerdeki bağlı nemden dolayı kurutma süresi uzamaktadır.

Bir kurutma sisteminde harcanan enerji; herhangi bir yakıtın yanmasıyla ya da alternatif enerji kaynaklarıyla sağlanır. Böylece kurutma işlemi gerçekleşir. Kapalı bir sistemde aynı havanın dolaştırılması sonucunda bağıl nemi zamanla yükselecek ve nem alma kabiliyeti azalacaktır. Bu da istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Tamamen taze hava ile çalışan sistemlerde taze hava ısıtılarak kurutma havasına dönüştürülmekte kurutma havası ise ürün üzerinden geçirildikten sonra egzoz ile atıldığından sistemde enerji tüketimi artmaktadır.

Kurutma işlemleri basit olan fırınlar üreticiler tarafından tercih edilmektedir. İlk zamanlarda kurutma işlemlerinin yapıldığı basit fırınlar kurutma üreticileri için tercih sebebi iken; sonradan sıcaklık, ağırlık ve nem kontrolünün daha basit ve daha ucuz olduğu sistemler daha çok tercih edilmeye başlandı. Ayrıca ürünün sisteme yüklenmesinin ve sistemden boşaltılmasının da kolay olması tercih sebeplerindendir. 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.

Bir katının kurutulması iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalardan birincisi sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan ısı transferi diğeri ise; buhar ve iç sıvı kütlesinin transferidir. Her bir işlemin oranını belirleyen faktörler kurutma hızını da belirler. Ticari kurutma işleminin en temel amacı; işlem için gerekli ısıyı verimli bir şekilde sağlamaktır. Isı transferi; iletim, taşınım ve ışıyım veya üçünün birleşimi şeklinde gerçekleşebilir. Endüstriyel kurutucu tipleri, katıya olan ısı transferi yöntemlerine bağlı olarak değişir. Genelde ısı, önce katının dış yüzeyine sonra da katının içine doğru hareket eder. Bu durumun tersi yüksek frekanslı elektrik akımları aracılığıyla oluşur. Bu durumda iç bölgedeki sıcaklık dış yüzeyden daha yüksektir ve ısı akışı içeriden dışarıya doğru oluşur [41].

4.1.1. Kurutmanın iç ve dış şartları

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

1. Sıcak gazdan, kurutulacak ürün bünyesinden buharlaşan sıvıya doğru ısı transferi.
2. 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:

1. Katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi sürecinde oluşan, iç difüzyon, kılcallık gibi iç şartlar.
2. Kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın hızı, sıcaklığı ve nemi gibi dış şartlardır [42].

4.1.2. Kurutma sistemi seçimi

Kurutma sistemlerinde taşınım ile kurutma, temasla kurutma ve ışınlama ile kurutma olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi vardır. Taşınım ile kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani; çoğunlukla olduğu gibi, hava tarafından sağlanır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava ile kurutma tekniği olarak bilinir. Temasla kurutma yönteminde ise; buharlaşma için gerekli ısı, iletimle taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Işınlamadan yararlanılarak yapılan kurutmada, kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir ısıtım kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle ışınlama ile kurutmada, mikrodalga, di-elektrik veya kızılötesi ışın gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [5].

Kurutma işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi de birim miktarda ürün kurutmak için, sistemde harcanan enerji miktarıdır. Diğer hususlarda ilk yatırım maliyeti ve ürüne uygun kurutma yöntemi ve tipi seçilmesidir.

Bir kurutma sistemi seçiminde izlenecek yol aşağıdaki gibi olmalıdır [43-44]:

1. Uygun kurutucuların incelenmesi
2. Değişik tiplerin ön maliyetlerinin tahmin edilmesi
 - ➡ Yatırım maliyeti
 - ➡ İşletme maliyeti
3. Prototip veya laboratuvar ünitesinde kurutma testi davranışları en uygun cihazın tipini belirleyebilir. Bazen bir örnek tesiste bu doğrulanabilir.
4. Kurutma deneylerinde kurutulan ürünlerin örnek ve kalitelerinin belirlenmesi.

Değişik ihtiyaçlar kurutucunun tasarım esaslarını belirler. Örneğin ürünün kurutucuda taşınması çok önemli olup kurutucuda kalma süresiyle yakından ilgilidir. Ürünün başlangıçtaki durumu (sıvı, pasta, katı, toz, granüler, levha vb) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir. Çizelge 4.1.'de bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri verilmiştir. Çizelge 4.2.'de ise kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerji miktarı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri [45].

Malzeme Cinsi	Kurutma Sıcaklıkları °C)	Hafta	Gün	Saat
Meşe Tahtaları	32-52	1-4		
Yumuşak Tahtalar	70-105		2-14	
Tuğlalar	77			30
Kahve	50-72			12-48
Kauçuk	36-60		2-6	
Kabuksuz Hindistan Cevizi	65-92			4-20
Meşin ve Köseleler	26-38		2-6	
Meyveler	55-80			6-24
Üzüm	60-65			24
Elma	1.Kademe 70-78 2.Kademe 74			8
Şeftali, Armut	68			24-30
Şerbetçi Otu	50-65			6-12
Sebzeler	50-65			2-18
Havuç	1.Kademe 70 2.Kademe 65			14-24
Mantar	1.Kademe 44 2.Kademe 65			
Soğan	1.Kademe 70-88 2.Kademe 55-60			10-15
Deriler	21-32			2-150
Fırın Boyaları	105-175			¼-6
Sabun	38-52			12-72
Tütün Yaprakları	29-55			12
Çay Yaprakları (Fanaj ve İlk Kurutma)	38			4-8
Çay Yaprakları (Kurutma)	70-110			1-2

Çizelge 4.2. Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan kg başına harcanan enerji miktarları [46].

Kurutucu Tipleri	MJ/kg Uzaklaştırılan Su
Isı Pompalı Kurutucu	0,5-0,8
Direkt Egzoz Gazları İle Çalışan Kurutucu	3,2-3,8
Hava İle Çalışan Kurutucu 70-100 °C	4,5-5,5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (400 °C)	5,0-6,0
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (200 °C)	9,0-12,0
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-Levhali	3,5-8,0

Kurutma cihazlarının seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleştirilir.

- a) *Kurutucuların ön seçimi:* Islak malzeme ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipleri ön seçimi gerçekleştirilir. Kurutucularda bütün işlemlerin sürekliliği ve istenen fiziksel ve kalite özelliklerini elde etmesi ön koşulu aranır.
- b) *Kurutucuların ön karşılaştırılması:* Ön seçilen kurutucular elde edilebilen veriler ışığında yaklaşık maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırılır. Bu değerlendirmede verimlilik açısından uygunsuz veya ekonomik olmayan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.
- c) *Kurutma denemeleri (testleri):* Bu denemeler halen değerlendirmeye alınmakta olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Bu testler en iyi çalışma koşullarını ve ürün karakteristiklerini belirler ve ayrıca cihaz satıcı firmaların aktardıkları bilgilerin doğruluğunun sınanmasını sağlayacaktır.

d) Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilebilir [45].

Kurutma sistemlerinde taşınım ile kurutma, temasla kurutma ve ışınlama ile kurutma olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi vardır. Taşınım ile kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani; çoğunlukla olduğu gibi, hava tarafından sağlanır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava ile kurutma tekniği olarak bilinir. Temasla kurutma yönteminde ise; buharlaşma için gerekli ısı, iletimle taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Işınlamadan yararlanılarak yapılan kurutmada, kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir ısıtım kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle ısıtım ile kurutmada, mikrodalga, di-elektrik veya kızılötesi ısı gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [46].

4.2. Kurutma Yöntemleri

Kurutma işlemlerinde kurutulacak ürüne göre kurutma sistemi seçilmesi gereklidir. Kurutulacak ürünün kurutma sonrası kalite değerleri kurutma esnasında havanın psikrometrik ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Ayrıca birim zamanda kurutulacak ürün miktarı ve ürünün başlangıç ve son nem değerleri sistem seçimini etkileyecek hususlardır. Bugün birçok kurutma yöntemi kullanılmakta olup, bu kurutma sistemleri aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

4.2.1. İletim ile kurutma

Kurutma silindirleri veya topları, düz yüzeyler, açık kazanlar ve daldırma ısıtıcılar doğrudan temaslı kurutmaya örnek verilebilir. Isıtma yüzeyi, kurutulacak malzeme ile temas halinde olmalıdır. Bu sistemlerde nem miktarı aşırı ısınmayı önlemektedir. İletim ile kurutma sistemleri genel 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, işletilmesi genelde pahalıdır, makine etrafında istenmeyen çalışma koşulları oluşur.

4.2.2. Kızılötesi ışınlı kurutma

Isıl ısıtım, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Kızılötesi, sadece bir malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince tabakaların kurutulması için uygundur.

4.2.3. Taşınım ile kurutma

Hemen hemen bütün kurutucularda taşınım ile kurutma işlemi gerçekleşmektedir. Hava ya da başka bir gazın ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığı ve bu akışkanın sistemde dolaştırıldığı kurutma sistemleri, taşınım ile yapılan kurutma sistemleridir. 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.

4.2.4. Sprey kurutucular

Sprey kurutucular, süttozu, kahve, deterjan ve sabun kurutulmasında kullanılmaktadır. Kuruma süresinin kısa olduğu (5 - 15 saniye), gaz sıcaklığının 93°C ile 760°C arasında değiştiği kuruma tekniğidir. Sistemde egzoz havası içerisindeki malzeme parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır.

4.2.5. Dondurarak kurutma

Dondurmalı (şoklama) kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılar, deniz ürünleri vb. ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir.

Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışınlam ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğunur veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında - 40°C ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur.

4.2.6. Akışkan yataklı kurutma

Akışkan yataklı kurutma sistemlerinde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan arasında 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.

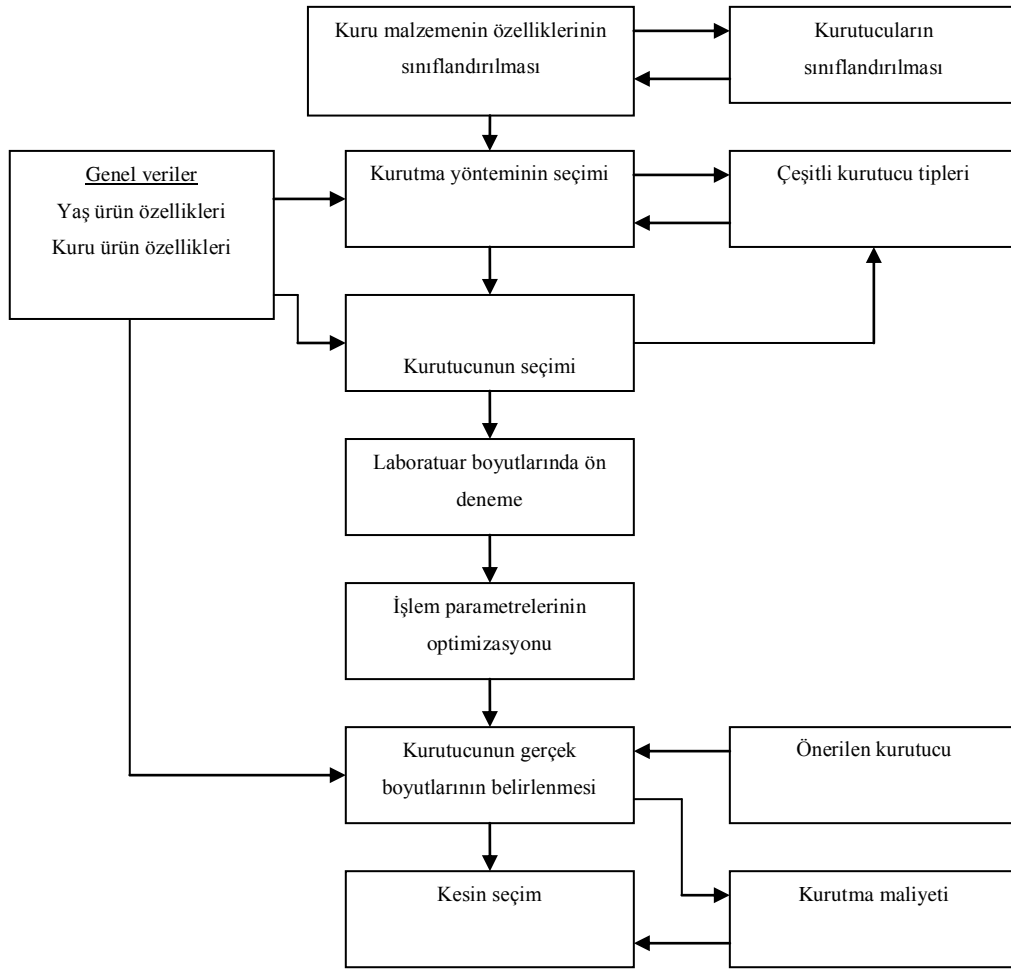
4.2.7. Alevli (flaş) kurutma

Alevli (flaş) kurutma sistemlerinde düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar sıcak gaz akımı içerisinde yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir. Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulmaktadır [7].

4.3. Kurutucu seçimi

Kurutma işleminin gerek ürün kalitesi ve gerekse işletmenin karlılığı açılarından başarısı, uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her türlü kurutma işlemine uygun çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeni ile ilk adım olarak, kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimine önem vermek gerekmektedir.

Yapılmak istenen kurutma için uygun kurutucu seçimi, birçok etkenin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir. Kurutulacak malzemenin özellikleri, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır. Seçim sırasında teknolojik ihtiyaçlar, ekonomik çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterler olarak ele alınmalıdır. Kurutucu seçimi sırasında dikkate alınacak unsurlar şekil ve etkileşimleri Şekil 4.1. ile verilmiştir [47].



Şekil 4.1. Kurutucu seçimi için işlem adımları

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası; malzemenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorpsiyon), eşsıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır.

5. ISI POMPASI SİSTEMİ VE PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol)

5.1. Isı Pompası

Yaşadığımız yüzyıl içinde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önem kazanan enerji bunalımının, birlikte getirdiği sakıncaları bir ölçüde olsa azaltmak amacıyla; ısı enerjisi ihtiyacının en az seviyeye indirgenebileceği ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine ve bunun pratik olarak uygulanmasına kuvvetle ihtiyaç duyulmaktadır. Isı pompaları, bu sistemlere bir örnek olarak verilebilir. Isı pompaları en basit tanımı ile ekonomik değeri olmayan düşük kaynaklı bir bölgedeki ısıyı, ısıtılması düşünülen bölgeye pompalayan ve bu işi yapmak için çok az enerji harcayan (yaklaşık %20-25) bir sistemdir [48].

Geleneksel kurutucularda, kurutucudan gelen nemli hava atmosfere bırakılır, bunun sonucu olarak da nemli havanın içerdiği buharlaşma gizli ısı ile duyulur ısıdan yararlanılamaz. Bu enerji ısı pompalı kurutucu kullanılmasıyla geri kazanılabilir. Kurutucu çıkışındaki nemli hava, duyulur ve gizli ısını geri verebileceği bir buharlaştırıcıdan geçirilir. Bu esnada havanın içindeki nem, buharlaştırıcının soğuk serpantin yüzeylerinde yoğunlaşarak daha düşük değerlere gelmektedir. Buharlaştırıcıda çekilen ısı, kurutucuya girmeden önce havanın ısıtılması için yoğunlaştırıcıya çevrim akışkanı ile taşınır [49].

5.1.1. Isı pompası sistemlerinin tarihçesi

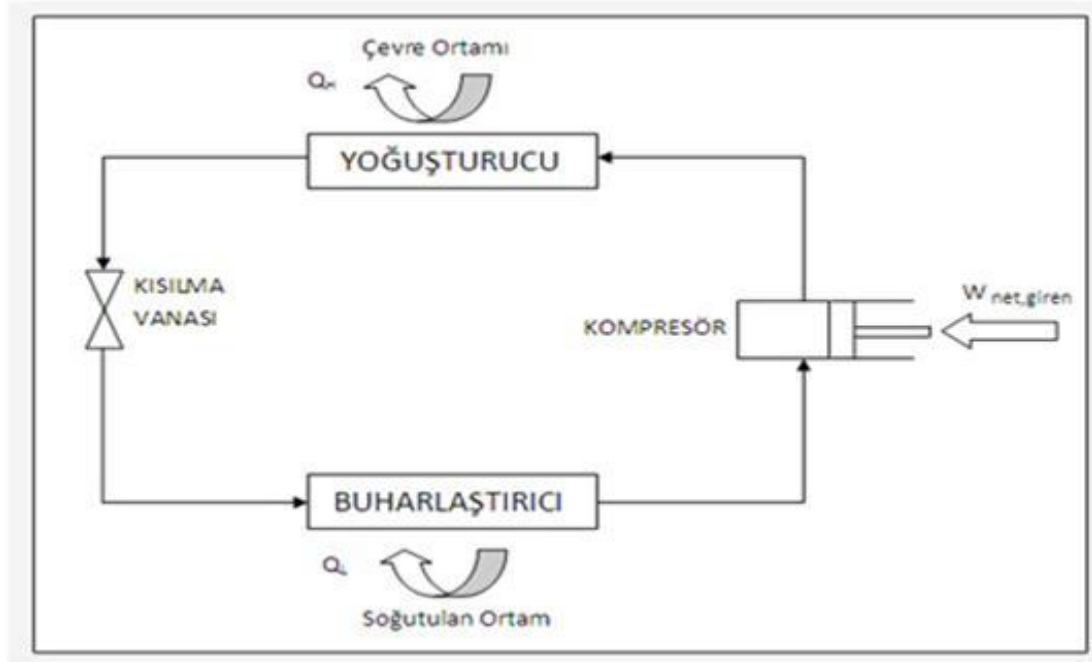
Isı pompasının basit prensibi ilk kez 1824 yılında Sadi Carnot tarafından öne sürülmüştür. Bu teoriden 26 yıl sonra, 1850 yılında Lord Kelvin ısıtma için soğutma makinalarının kullanılabilineceğini öne sürmüştür. Kelvin 1852 yılında yayınladığı yazısında, kompresör ile bağlantılı genişletici kullanan bir sistem tanıtmıştır fakat normal ısıtma masraflarına oranla makinanın masrafının çok daha yüksek olması nedeniyle, bu hava-ısıtma ısı pompası o zamanlar kurulamamıştır.

Sıkıştırılmış buharla çalışan ısı pompasının prensibinin ilk olarak İsviçre’de, 1870-1880 yılları arasında Salina Bex’de mühendis Paul Piccard tarafından gerçekleştirilmesi dikkate değerdir. Böyle ikinci bir tesis 1917’de Aarau’da Faerberei Jenny’de işletilmiştir.

İlk pratik ısı pompası ise, 1930 yılında İskoç Haldane’in yapıp, evinde kullanılmasına kadar ortaya çıkmamıştır. Bu makinada kaynak olarak havayı kullanmış ve hava koşullarının iyi olmadığı zamanlarda su ile desteklemiştir. 1950’lerde ısı pompasına ilgi az da olsa artmış; ancak petrol fiyatlarının gerilemesi ve bazı işletim zorluklarından ötürü fazla rağbet görmemiştir. Ancak soğutma endüstrisinin gelişip, kimi zorlukların alt edilmesi ve yeni modellerin üretilmesine, bir de 1973-1974 yıllarında petrol fiyatlarının artması eklenince, ısı pompası yeniden ilginin odağı olmuştur.

5.1.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

Bir soğutma devresinde “soğutkan” adı verilen soğutkanın bir yerde soğutma sağlayarak bir takım durum değişikliklerinden sonra, yeniden başlangıç konumuna gelmesine “soğutma çevrimi” denir. Çevrim sırasında bir miktar soğutkan yoğunlaştırılıyor ve buharlaştırılıyorsa buna; “buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi” denir. Soğutmacılıkta en sık uygulanmakta olan ve en çok tercih edilen sistem buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemidir. Bu tip soğutma çevriminde sistemde kompresör, yoğunlaştırucu (kondenser), genişletirici (kısmı vanası veya kılcal boru) ve buharlaştırıcı (evaporatör) bulunur. Sistem elemanları boru ile birbirlerine seri olarak bağlanırlar ve kapalı bir devre oluşturulur. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin elemanları Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

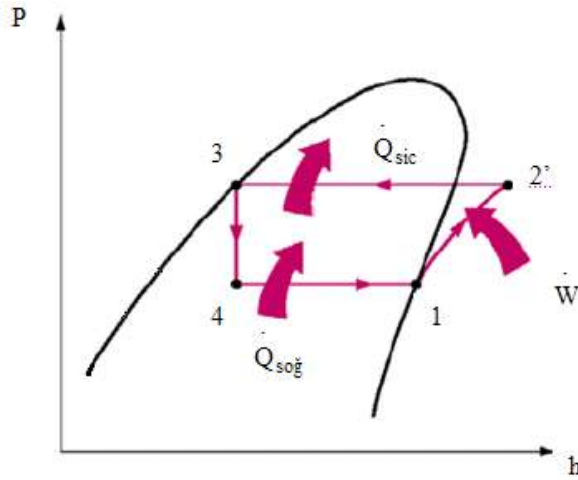
Soğutma devresi olarak oluşturulan kapalı sistemin havası boşaltıldıktan sonra sistem içerisine bir miktar çalışma gazı (soğutucu akışkan) enjekte edilir. Sistemin çalışmasını anlamak için genleşme vanasını tam açık kabul edelim. Kompresör çalışmaya başladıktan sonra sistem içerisindeki gazı az bir basınç farkı ile dolaştıracaktır. Genleşme vanasının yavaş yavaş kısıldığını düşünelim bu takdirde sistemde iki basınç bölgesi oluşacaktır. Bu basınç bölgeleri genleşme vanasının gerisinde kompresörün basma ucuna kadar yüksek basınç bölgesi ve genleşme vanasından sonra yine kompresörün emiş ucuna kadar düşük basınç bölgesidir. Genleşme vanası kısıldıkça basınçlar arasındaki oran artacaktır. Yüksek basınç bölgesindeki akışkan sıkıştırıldıkça sıcaklığı da artacaktır. Basınç şiddeti sistemdeki soğutkanın ısıl özelliğine bağlı olarak, belirli bir basınçta ve çevre sıcaklığından yüksek sıcaklıkta yoğuşturucuda (kondenser) yoğuşur. Bu yoğuşma sırasında yoğunlaşma gizli ısıyı açığa çıkar çevre sıcaklığından yüksek sıcaklıkta olduğu için çevreye ısı atılır.

Diğer taraftan genleşme vanasından sıvı halde geçen akışkan, oluşturulan bu düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta buharlaştırıcıda buhar hale geçerken çevreden ısı çeker. Sıvı halden gaz hale geçen soğutkan buharlaşma gizli ısını buharlaştırıcıdan alır buharlaştırıcı sıcaklığı çevre sıcaklığının altında olacak şekilde ayarlandığından çevreden buharlaştırıcıya ısı akısı olur. Yoğuşturucudan atılan ısı buharlaştırıcıda geri kazanılmış olur. Kazanılan bu ısı da akışkana geçer ve buharlaştırıcının bulunduğu ortamda soğuma meydana gelir.

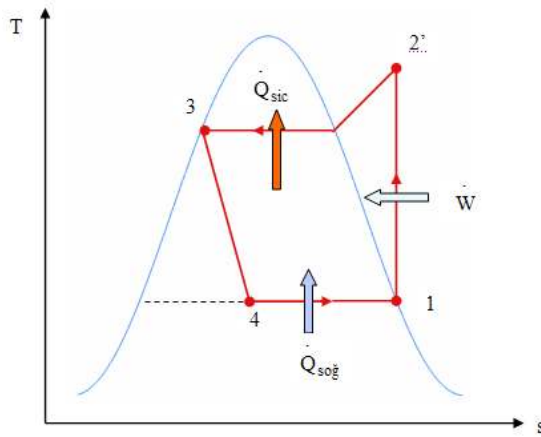
Şekil 5.2' de ideal buhar sıkıştırımlı ısı pompası çevriminin P-h diyagramı; Şekil 5.3'da ise buhar sıkıştırımlı ısı pompası çevriminin T-s diyagramı gösterilmiştir. T-s ve P – h diyagramlarında çevrimi oluşturan hal değişimleri şöyledir:

- 1 – 2' : Kompresörde izentropik (tersinir – adyabatik) sıkıştırma
- 2' – 3 : Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı geçişi
- 3 – 4 : Genişleme vanasında sabit entalpide genişleme
- 4 – 1 : Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişi

Buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar kompresörde izentropik olarak daha yüksek bir basınç ve sıcaklığa sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir (1 – 2' durumu). Daha sonra yoğuşturucuya giren kızgın buhar, kullanılabilir ısını dışarıya vererek sabit basınçta yoğuşur (2' – 3 durumu). Doymuş sıvı haldeki yüksek basınçlı akışkanın basıncı ve sıcaklığı genişleme vanasında buharlaştırıcı şartlarına getirilir (3 – 4 durumu). Buharlaştırıcıya giren akışkanın sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından düşük olduğundan, ısı kaynağından akışkana sabit basınçta ısı geçişi olur ve akışkan buharlaşır (4 – 1 durumu). Buradan sonra çevrim yeniden başlar ve bu şekilde devam eder.

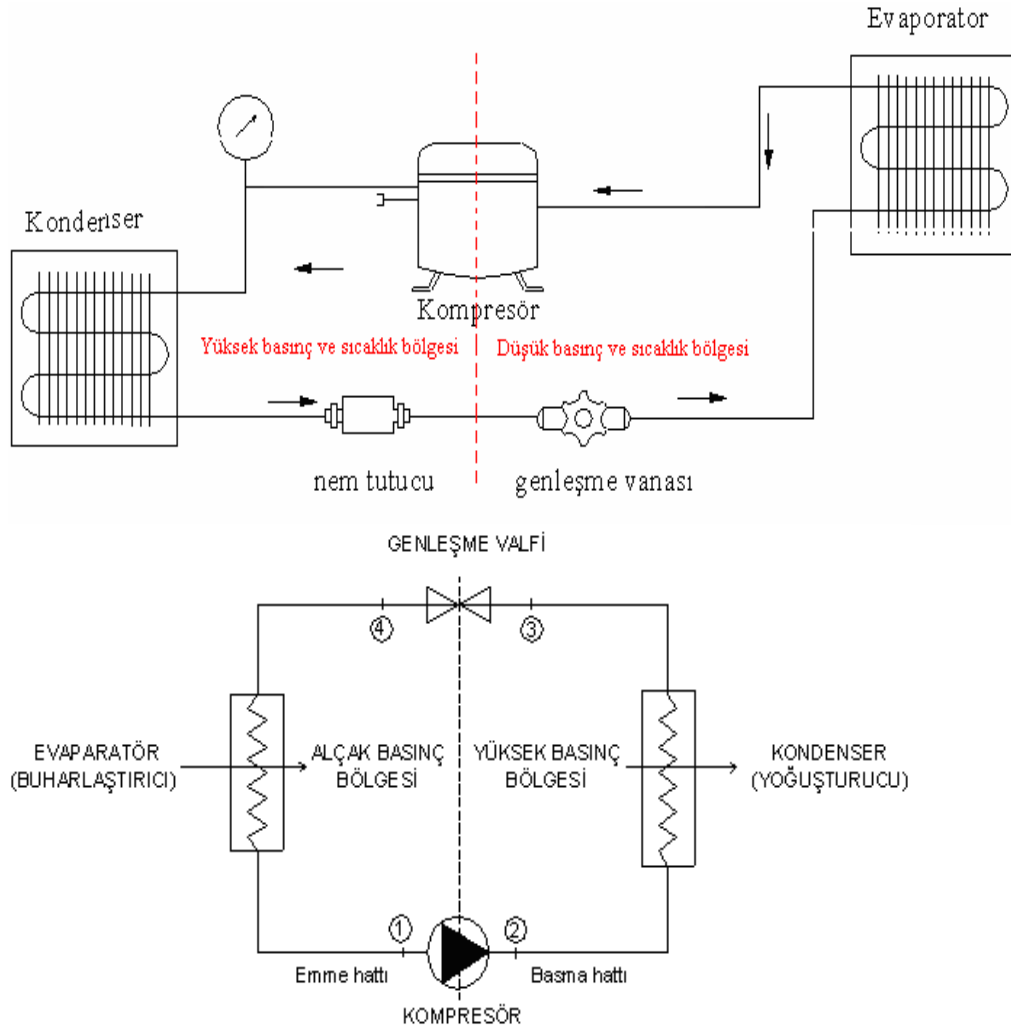


Şekil 5.2. Isı pompası sisteminin P-h diyagramı



Şekil 5.3. Isı pompası sisteminin T-s diyagramı

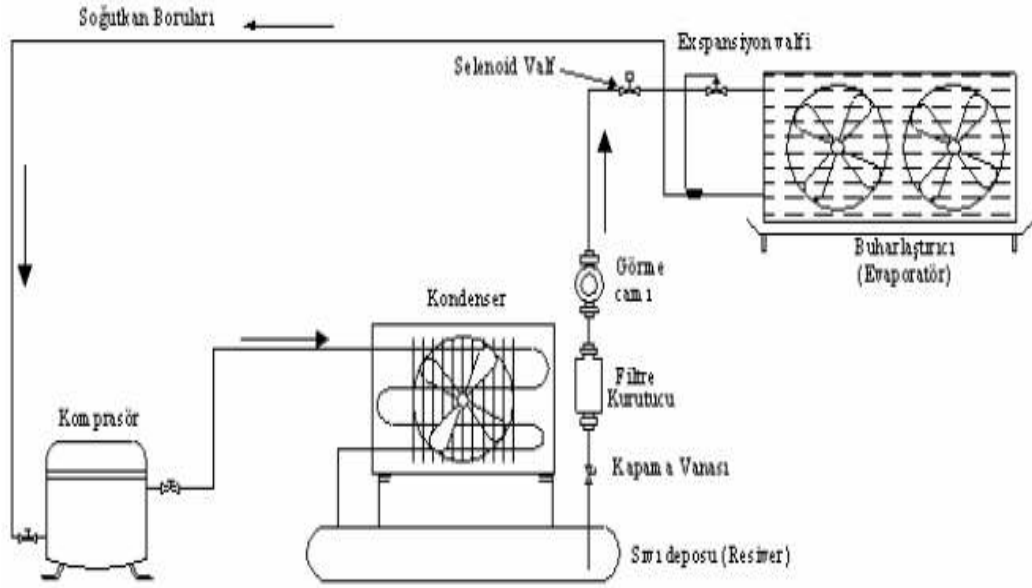
Şekil 5.4’de de görüldüğü gibi çevrimde iki farklı basınç ve iki farklı sıcaklık bölgesi bulunur. Basınçlar, emme hattındaki buharlaşma basıncı ya da alçak basınç bölgesi ile basma hattındaki yoğunlaşma basıncı veya yüksek basınç bölgeleridir. Sıcaklıklar ise emme hattındaki düşük sıcaklık bölgesi ve basma hattındaki yüksek sıcaklık bölgeleridir. Sistemde kullanılan gazın ısıl özelliği dikkate alınarak soğutulacak hacmin iç şartlarına göre düşük sıcaklık ve dış şartlara göre de yüksek sıcaklık sağlayacak şekilde basınçlar kompresör gücü, gaz miktarı ve genişleme vanası (veya kılcal boru uzunluğu) gibi üç değişkenin bileşkesi ile ayarlanır.



Şekil 5.4. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin farklı basınç ve sıcaklık bölgeleri

- 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 ısıtılarak buharlaştırma.

Buhar sıkıştırırmalı çevrimin ana elemanları



Şekil 5.5. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin ana kısımları [50].

- a) *Kompresör*: Soğutucu gazın sistemde dolaşmasını sağlar. Emme ve basma işlemini gerçekleştirir.
- b) *Yoğuşturucu (Kondenser)*: Sıkıştırılmış soğutmanın buhar halden sıvı hale geçtiği bölümdür. Yüzeyi genişletilerek çevreye ısı geçişi kolaylaştırılmıştır.
- c) *Buharlaştırıcı (Evaporatör)*: Genleşme vanasından sonra düşük basınç bölgesi elemanı ve akışkanın sıvı halden buhar hale dönüştüğü bölümdür. Genellikle serpantin şeklinde olup, çevreden ısı çektiğinden soğutma burada gerçekleşir. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin ana elemanları Şekil 5.5’ de verilmiştir.
- d) *Genleşme vanası*: Yüksek basınç bölgesinden gelen sıvının sistemin alçak basınç bölgesine kontrollü bir şekilde akmasını sağlar. Genleşme vanası üzerinde ısı alışverişi olmaz. Küçük sistemlerde genleşme vanası yerine kılcal (kapiler) boru kullanılabilir.

- e) *Soğutkan (soğutucu gaz)*: Soğutma sisteminde uygulanan yüksek basınçta sıvı hale ve düşük basınçta buhar hale kolayca dönüşebilen akışkanlar soğutkan olarak kullanılabilir. Bu özelliğinin yanında sisteme ve çevreye zarar vermeyen pek çok özellik akışkan seçiminde önemli olmaktadır.

Buhar sıkıştırırmalı çevrimin yardımcı elemanları

- a) *Termostat*: İstenilen soğutma ya da ısıtma sağlandığında sistemin durdurulup çalışmasını sağlayan elemandır. Soğutma termostatları ısıtma termostatlarından farklı çalışırlar. Isıtma termostatları yüksek sıcaklığa ulaşıldığında sistemi durdurur ve sıcaklık düşüncü çalıştırır, soğutma termostatları istenilen soğukluğa düşüncü sistemi durdurur ve sıcaklık yükselince sistemi çalıştırır.
- b) *Prosestat*: Belli basınçlar arasında sistemin devreye girmesini veya devreden çıkmasını sağlar. Ayarlanmış en yüksek ve en düşük basınçlar arasında sistemin çalışmasını kontrol eder bu basınç değęerlerinin dışında sistemi durdurur. Sadece bir basınç bölgesine bağlanan tipleri olduğu gibi hem yüksek hem de düşük basınç bölgesini kontrol eden kombine tipleri de mevcuttur.
- c) *Kurutucu (Dryer)* : Soğutma sistemlerinde su buharının bulunması sistemin işleyişini bozar. Kompresör sistemdeki su genleşme ve kılcal çıkısında donma ve tıkanmalara yol açar ve pistonun aşınmasına neden olur. Sistemin havası boşaltılırken su buharı da dışarı atılır. Vakumlama süresi su buharının da dışarı atılmasına olumlu bir katkıdır ancak sistemin iç yüzeyleri su buharı ile sıvanmış haldedir. Sistem çalışmaya başladığında bu su buharı akışkana karışarak dolaşmaya baslar. Bunun için sistemdeki nemin tamamen alınması gerekir. Akışkanın dolaşımı sırasında su buharını almak için genleşmeden önce mutlaka bir kurutucu ilave edilmeli ve sistem her açıldığında kurutucu değıştirilmelidir.

d) Gözetleme Camı: Soğutkanın durumunu (sıvı veya gaz halini) belli bir noktadan gözlemlememize yardımcı olur.

5.1.3. Isı pompası sistemi

Isı pompası, ısı makinesinin tersi bir çevrime göre çalışan, bir iş yapılması ile ısıyı soğuk kaynaktan, sıcak kaynağa ulaştıran bir makinedir. Isı pompaları ve soğutma makineleri aynı çevrime göre çalışırlar. Soğutma makinesiyle bir mahalin soğutulması, ısı pompası ile bir mahalin ısıtılması esastır.

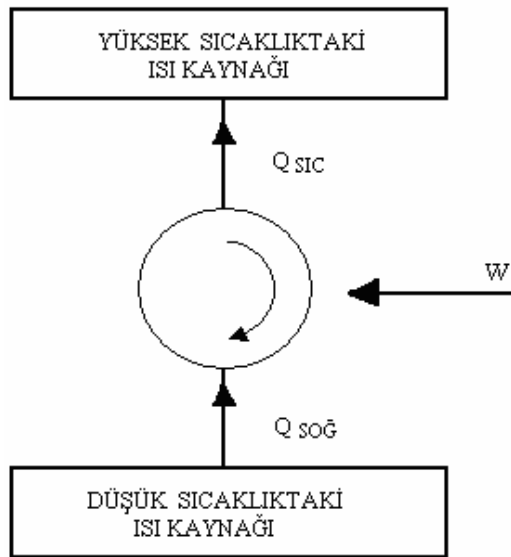
Bazı hallerde sadece ısıtma gayesi ile ısı pompası kullanılması verimli olmayabilir. Çeşitli gayelerle hem soğutma ve hem de ısıtma gereken hallerde ısı pompası en uygun çözüm yolu olmaktadır [51].

Soğutma makineleri ve ısı pompalarının kullanım amaçları farklıdır. Bir soğutma makinesinin amacı; düşük sıcaklıktaki ortamı, ortamdan ısı çekerek çevre sıcaklığının altında tutmaktır. Daha sonra çevreye veya yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, çevrimi tamamlaması için yapılması zorunlu bir işlemdir, fakat amaç değildir. Isı pompasının amacı ise, bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu işlevi yerine getirmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı enerji deposundan alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama verilir. Düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposu genellikle soğuk çevre havası, kuyu suyu veya toprak, ısıtılmak istenen ise kapalı bir ortam ya da herhangi bir akışkan (su, hava vb.) olabilir.

Bilindiği gibi, Termodinamiğin 2. Kanunu'na göre, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan, daha düşük sıcaklıktaki ortama kendiliğinden geçer. Fakat Termodinamiğin II. Kanunu'nun diğer ifadesinde ise, düşük sıcaklıktaki bir ortamda bulunan bir ısının, yüksek sıcaklıktaki bir ortama taşınması, ancak dışarıdan ilave iş vermekle mümkündür. Isı pompasında ısıya rasyonel olarak yüksek seviyedeki sıcaklığa getirmek için, mekanik bir enerji kullanılmaktadır. Dolayısı ile ısı pompası tersinir bir işlemi mümkün kılar, yani ısı soğuk ortamdan alınıp, sıcak ortama verilir. Bunun sonucunda sıcak ortam daha sıcak, soğuk ortam daha soğuk hale gelir.

Isı pompalarının kurutma işlemlerinde kullanıldığında, enerji verimliliği açısından iyi cihazlar oldukları bilinmektedir. Kurutma uygulamalarında, yoğuşma gizli ısısı ile yoğuşturucuda duyulur ısıtma yapması ısı pompalarını etkili kılmaktadır. Günümüzde değerli ürünlerin kurutulmasında ısı pompalarının çok iyi kontrol edilebilmeleri, onları uygulamada daha önemli hale getirmiştir.

Isı pompası sistemlerinde, sistemde yoğuşturucudaki ısı atımını artıracak herhangi bir değişiklik buharlaştırıcıda da ısı çekimini artırır ve bunun tersi de mümkündür. Buharlaştırıcıdaki ısı çekiminin artması, yoğuşturucudaki ısı atımının artmasını da sağlayacaktır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Isı pompası prensip şeması [33].

Böylelikle ısı pompaları ile atılan enerjiden de yararlanmak mümkündür. Fabrika ve otel, sinema gibi yerlerde atılan ısı enerjisinden yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanmasında günümüzde tercih edilen uygulamalardan bir tanesi olmaktadır.

Öncelikle atılan ısının enerji olarak büyüklüğü, sıcaklığı, geri kazanma yolları, ısı alınan soğuk ortam, konstrüktif özellikler, atılan akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, verimlilik ve benzeri hususlar ile kullanma gayesi göz önüne alınarak çok yönlü inceleme yapılması gerekmektedir. Bazı hallerde sadece ısıtma amacıyla ısı

pompası kullanılması verimli olmayabilir. Çeşitli amaçlarla hem soğutma ve hem de ısıtma gereken hallerde, ısı pompaları en uygun çözüm yolu olabilir. Kurutma tesisleri, spor tesisleri, gıda ve tarım sanayinden bazı çift yönlü uygulamaları örnek olarak verebiliriz [49].

5.1.4. Isı pompalarının sınıflandırılması

Isı pompası sistemlerinde, buharlaştırıcıların ısı çektiği ortamlara “ısı kaynakları” denir. Isı pompası için çok önemli olan bu kaynakların ısı pompası ile uyum sağlayabilmesi, kaynak sıcaklığının fazla değişmemesine ve kaynak sıcaklığının mümkün olduğu kadar büyük olmasına bağlıdır.

Kaynak sıcaklığının doğrudan kullanılamadığı yerlerde devreye ısı pompası girer. Isı pompasının maksimum verimde çalışabilmesi, ısının çekildiği ve atıldığı kaynakların aynı sıcaklıkta olması ile mümkündür. Isı kaynağını seçerken aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır [52].

- a) Coğrafi durum,
- b) İklim şartları,
- c) İlk maliyet,
- d) Uygunluk,

Bir ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağının karakteristiğine bağlıdır. Sistemlerde kullanılan ısı pompaları; ideal bir ısı kaynağına, ısıtma dönemi boyunca yüksek ve fazla değişmeyen sıcaklığa, bol bulunabilirliğe, aşındırıcı ve kirlenici etkenler taşınamasına, uygun termofiziksel özelliklere, düşük yatırım ve işletim maliyetine sahip olmalıdır. Çoğu durumda ısı kaynağının bulunabilirliği, en önemli etken olmaktadır.

Isı pompalarında ısı kaynağı olarak;

- ➡ Çevre havası
- ➡ Toprak

- ➡ Deniz, nehir, göl suyu
- ➡ Yeraltı suları
- ➡ Artık sıvılar
- ➡ Artık gazlar
- ➡ Artık ısılar
- ➡ Güneş
- ➡ Kaya

kullanılabilir [53].

a) Birincil Isı Pompaları

Isıyı doğal kaynaktan çeken ısı pompalarına birincil ısı pompaları denir. Bu sistemlerin ısı kaynakları; yer altı suyu, yer üstü suyu, toprak ve dış havadır.

b) İkincil Isı Pompaları

İkincil ısı pompaları, esas olarak ısıyı geri kazanılan sistemlerden çekerler. Elde edilen bu ısı, artık ısı birikiminden bağımsız olan tüketilecek yere ihtiyacı oranda verilir. Kanalizasyon pis sularından ısı çeken ısı pompaları, ikincil ısı pompalarına bir örnektir. Isı kaynağı sıcaklığı 10 °C'den büyüktür.

c) Üçüncül Isı Pompaları

Elde edilen artık ısı direkt olarak tekrar prosese geri verilirse, örneğin ısı pompalı çamasır makinelerinde, kurutma, klima sistemi ve diğerleri, bu ısı pompası üçüncül ısı pompası olarak adlandırılır. Bu tür ısı pompaları için ısı kaynağı genelde 20 °C'den fazla bir sıcaklık gösterir.

Isı Pompalarının Proses Türüne Göre Sınıflandırılması

a) Kompresörlü Isı Pompaları

Buharlaştırıcıdan buharın emilmesi ve yoğunlaştırıcı basıncına kadar sıkıştırılması mekanik bir kompresörle yapılıyor ise, bu tip ısı pompalarına kompresörlü ısı pompaları denir.

b) Absorbsiyonlu Isı Pompaları

Soğutucu absorbsiyonlu ısı pompasında uygun bir emici eriyik sirkülasyonu ile hareket eder. Kompresörlü ısı pompalarına göre daha sessiz çalışırlar.

c) Buhar-Jet Isı Pompaları

Soğutucunun hareketi bir enjeksiyon vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Isı Kaynakları ve Isı Dağıtıcı Sistemlere Göre Sınıflandırılması

Kompresörlü ve absorbsiyonlu ısı pompaları, kullanılan ısı kaynaklarına göre, örneğin toprak veya yeraltı suyu ve ısı dağıtıcı sistemlere göre, örneğin sıcak su ısıtmaları veya sıcak hava ısıtmaları olarak sınıflandırılabilirler.

Isı pompasının veya bir ısı pompası tesisinin tanımlanmasında, ilk olarak soğuk taraftaki ısı taşıyıcısı veya ısı kaynağı, ikinci olarak sıcak taraftaki ısı taşıyıcısı yani ısı dağıtıcı sistem söylenir [53].

a) Hava / hava ısı pompası sistemi

Sistem bir ortamda havadan aldığı ısıyı başka bir ortamda yine havaya atıyorsa buna “havadan-havaya ısı pompası” denir. Söz konusu sistem dört yöllü vana yardımı ile iki yönlü kullanılabilir.

b) Hava / su ısı pompası sistemi

Burada ısı kaynağı olarak havadan yararlanan ve ısı pompasının sıcak kısmında suyu dolaştıran bir ısı pompasından söz etmiş oluruz. Isıtılan bu su, örneğin döşemeden ısıtmalı bir sistem için kullanılır.

c) Hava / toprak ısı pompası sistemi

Isı atılan ya da çekilen ortamlardan birisi toprak, diğeri hava ise buna “havadan toprağa - topraktan havaya” ısı pompası denir [53].

d) Toprak / su ısı pompası sistemi

Burada ise; asıl ısı pompası cihazı salamura / su ısı pompası, ısı kaynağı; toprak ve ısı pompasının sıcak kısmındaki ısı taşıyıcısı sudur. Bu ısı pompasının soğuk kısmında salamura ve sıcak kısmında ise suyun dolaştırıldığını ifade eder.

e) Su / su ısı pompası sistemi

Isı atılan ya da çekilen ortamların her ikisi de su ise buna “sudan - suya ” ısı pompası denir [53].

Isı Pompalarının İşletme Şekline Göre Sınıflandırılması

Isı kaynağı, cihaz türü ve ısı pompaları ile ısı pompaları tesislerinin adlandırılmasından bağımsız olarak, ısı pompalarının işletme şekline göre de sınıflandırılabilir. Çeşitli enerji taşıyıcılarıyla birçok ısı üreticilerinin kombinasyonu ile yeni sistemlerin gelişimi, bu sistemlerin karakteristiklerine göre sınıflandırılmasını gerekli kılmıştır.

Göz önüne alınan enerji taşıyıcısının sayısına bağlı olarak ısıtma tekniğinde üç çeşit işletme şekli söz edilir.

- a) Monovalent (Tekli) isletme sekli.
- b) Bivalent (İkili) isletme sekli.
- c) Multivalent (Çoklu) isletme sekli [53].

5.1.5. Isı pompalarında verimi etkileyen faktörler

Isı pompası sisteminde, büyük kompresörler kullanıldığında verim artmakta olup, sistemde buz çözümü (defrost) için ne kadar az enerji ve süre harcanırsa verim o kadar artmaktadır. Isı pompalarında verimi etkileyen faktörleri;

1. Seçilen kompresörün ve motorun verimi,
 2. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tasarımı,
 3. Buz çözümü sisteminin verimliliği
- şeklinde sıralamak mümkündür [53].

5.2. Isı Pompası Sisteminin Otomatik Kontrolü

5.2.1. Otomatik kontrol

İklimlendirme ve soğutma işlemlerini düzenlemede çok karmaşık kontrol sistemlerinin sıklıkla kullanıldığı bir disiplin olarak, otomatik kontrol kendini göstermektedir. Bu sistemler önceden belirlenen şartları, hiç kimsenin denetimi olmaksızın sağlarlar. Oda sıcaklığını ayarlanan değerde tutan klimalar otomatik kontrol sistemlerine örnek verilebilir.

5.2.2. Programlanabilir Logic Kontrol (PLC)

PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) makine kontrolünde kullanılan sıralı röle devreleri yerine geliştirilmiş bir cihazdır. PLC' ler girişlerine ve o anki çalışma konumuna bakarak çıkışlarına açma/kapama komutları gönderebilir. Kullanıcı bir yazılım aracılığıyla istediği sonuçları almak üzere program yazar ve bunu PLC' ye yükler.

PLC birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. İşleme, paketlenme, malzeme kullanımı, otomatik montaj ve daha birçok sektörde kullanılmakta olan bir teknolojidir.

Örneğin bir anahtarı çevirdiğinizde selonoidin 5 saniye süreyle açık kaldığı bir uygulama yapılmak istensin. Bu uygulama basit bir harici zamanlayıcıyla yapılabilir. Ancak 10 selonoid ve anahtar bulunan bir uygulama yapılmak istenirse harici zamanlayıcı kullanmak çok mantıklı olmayacaktır.

Yukarıdaki örnekten de anlaşılacağı üzere büyük projelerde PLC kullanmak bir zorunluluk olacaktır. PLC programlanarak giriş ve çıkışlar sayılıp selonoidlerin istenilen zamanda açılıp kapanmaları sağlanabilir.

5.2.3. Programlanabilir Logic Kontrol (PLC) tarihi

Programlanabilir Logic Kontroller ilk defa 1960' lı yıllarda geliştirilmişlerdir. Böyle bir cihazın geliştirilmesindeki temel amaç karmaşık bir yapısı ve yüksek maliyeti olan röle temelli makine kontrol sistemlerine bir alternatif geliştirme ihtiyacıdır. Bu anlamda Bedford firması MODICON ismiyle ilk ticari PLC cihazını geliştirmiştir [54].

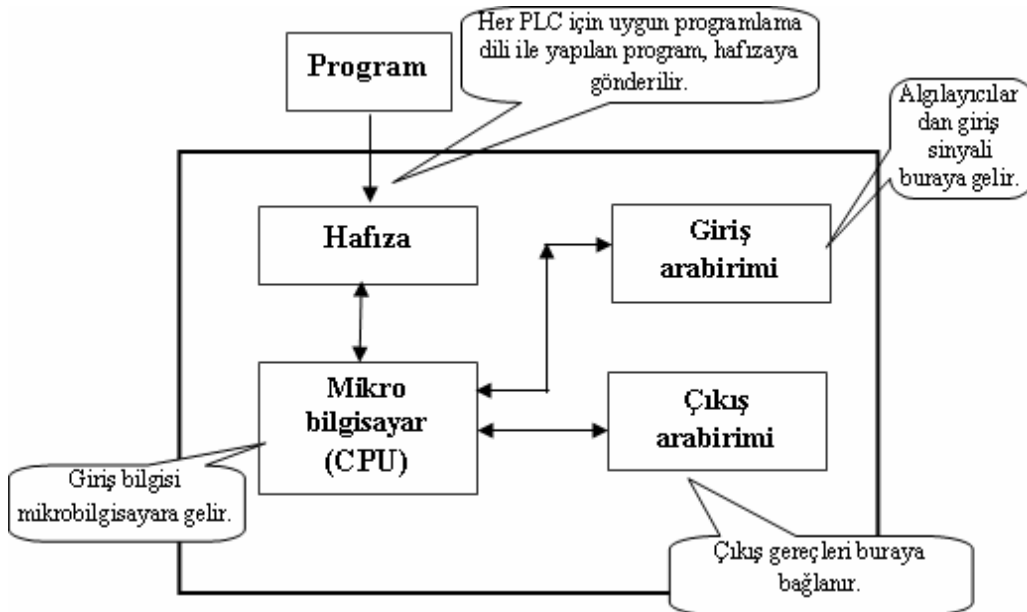
Üretim ihtiyaçları değiştiğinde kontrol sistemlerinde yeni durumlara uyum sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmesi gerekir. Sık sık yapılan bu değişiklikler röle tabanlı sistemlerde oldukça pahalıya mal olmaktaydı. Ayrıca röleler mekanik malzemeler olduğu için çalışma ömürleri de nispeten kısıydı ve sürekli bakım ihtiyaçları vardı. Özellikle röle sayısının fazla olduğu kontrol sistemlerinde bakım işlemleri de bir işkence halini almaktaydı.

Yeni geliştirilen kontrol cihazlarının kolay programlanabilir ve bakım yapılabilir yapıda olması planlandı. Ayrıca uzun ömürlü ve programları kolayca değiştirilebilir şekilde olmalıydı.

5.2.4. Programlanabilir Logic Kontrollerin yapısı

Şekil 5.7 'de görüleceği gibi PLC, içerisinde işlemci (CPU) , giriş-çıkış ara yüzleri ve hafıza (memory) bulunduran bir endüstriyel mikrobilgisayardır. PLC ile kontrolde, programlama konsolundan PLC'ye çeşitli giriş sinyalleri ve kontrol içerikleri gönderilir. Sonuç olarak da çıkış sinyalleri, çıkış elemanlarına yöneltilir (Şekil 5.7).

Giriş, çıkış gereçleri ve PLC arasındaki sinyal değişiminde giriş arabirimi ve çıkış arabirimi olarak adlandırılan tekrarlayıcı (repeater) gereklidir.

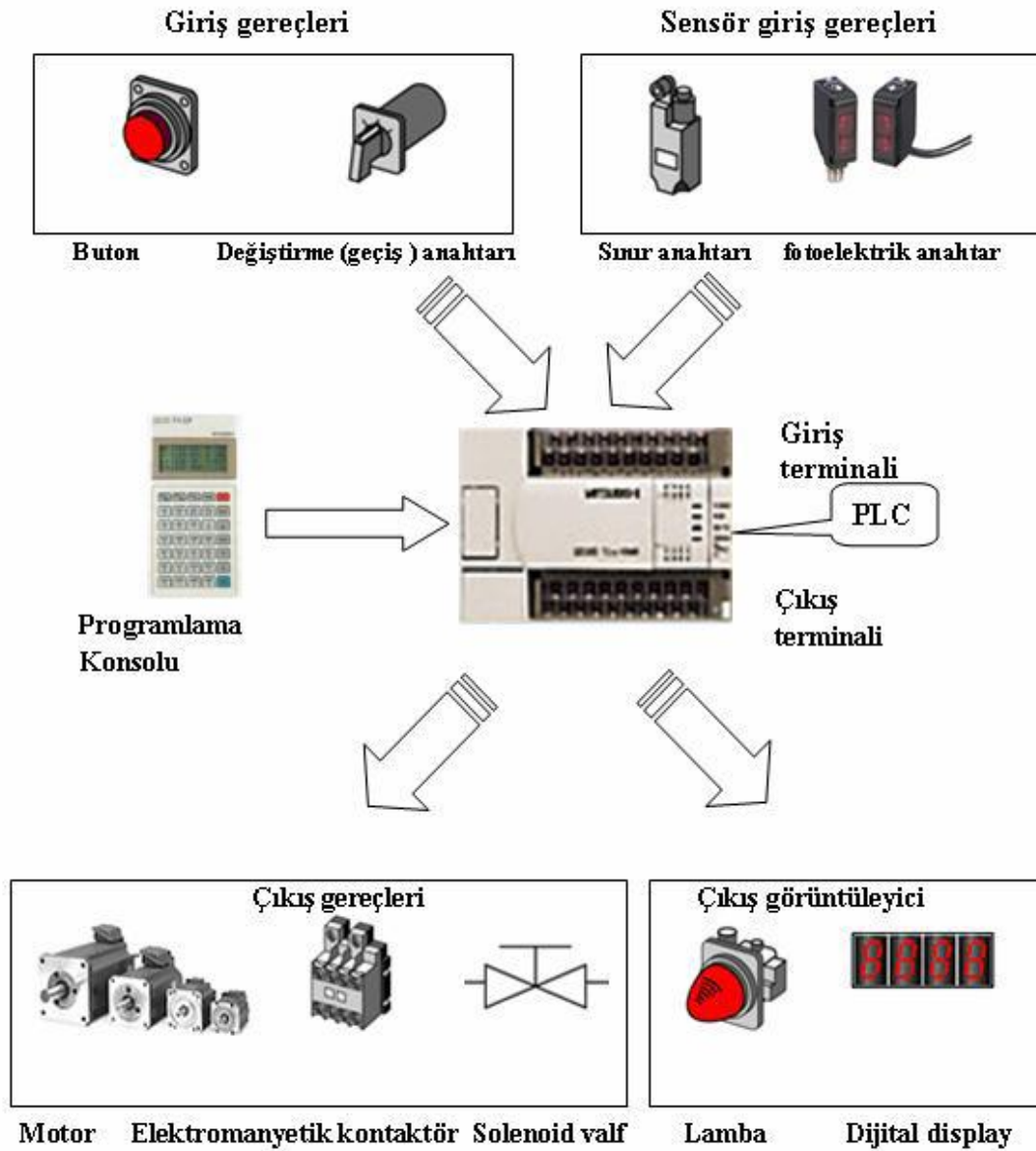


Şekil 5.7. PLC'nin iç yapısı [54].

Şekil 5.8. 'de PLC ile çevre birimleri arasındaki bağlantı görülmektedir. Giriş elemanı olarak buton, anahtar, seçici anahtar, dijital anahtar, sınır anahtarı, fotoelektrik anahtar, yaklaşım anahtarı vb. kullanılabilir. Bu elemanlardan gelen sinyaller PLC'nin işlemcisine giriş arabirimi üzerinden gönderilir.

İşlemci (CPU), hafızaya kaydedilmiş olan programın içeriğine ve giriş sinyallerine göre çıkış sinyallerini kontrol eder.

Çalıştırılması istenen donanımlar çıkış elemanı olarak isimlendirilir. Elektromanyetik valf, lamba, küçük güçlü motor vb. alıcılar elektriksel değerleri uygun olması durumunda doğrudan PLC'ye bağlanabileceği gibi transistör, röle vb. diğer kontrol elemanları üzerinden de kontrol edilebilir [54].



Şekil 5.8. PLC ile giriş çıkış gereçleri arasındaki bağlantı [54].

Referans: Programlama konsolu, komut listesindeki komutları kullanarak program yazmak ve bu programı PLC'ye göndererek kaydetmek için kullanılan bir programlama gerecidir.

Hafızaya kaydedilen program işlemci (CPU) tarafından okunur. Okunduktan sonra da programın içeriği yapılabiliğine göre kontrol edilir. Program uygulanabilir olduğunda, CPU tarafından çalıştırılır ve bir sonraki adıma geçilir. Hafızadaki tüm program satır satır işlenir.

5.2.5. Röle ile Programlanabilir Logic Kontrolün karşılaştırılması

Aşağıda PLC kullanımının röleli kontrole göre çeşitli açılardan üstünlükleri belirtilmiştir.

➤ Ekonomi

Fabrikasyonda 10 ve üzeri elektromanyetik kontaktör veya anahtar kullanımı PLC kullanımına göre daha pahalıdır.

➤ Tasarımda iş gücü kazancı

Gereçlerin çevre planlaması basitleştirilebilir. PLC kullanıldığında kontrol devresinin dizaynı ve değiştirilmesi daha kolaydır. Aynı elemanlar için çalışma şeklini değiştirmek isterseniz PLC içerisindeki programı değiştirmek yeterli olacaktır.

➤ Üretim süresinde azalma

Gereçlerin teknik özelliklerinin değiştirilmesinde ve parçaların montajının basitleştirilmesinde esneklikler vardır. Kablolamanın basitleştirilmesi sayesinde üretim süresi azaltılır ve böylece genel maliyet de azaltılmış olur.

➤ Küçük boy ve standartlaştırma

PLC, röleli kontrole göre çok daha küçük boyutludur. Programın tekrar tekrar kullanımı sayesinde seri üretim mümkündür. (Program EPROM içerisinde saklanır.)

➤ Güvenilirliğin geliştirilmesi

Röleler ve zamanlayıcılardaki karışıklık azaltılabilir. (Kontaklarda bulunan toz ve rölenin titreşimi, kontakların “ON” ve “OFF” zamanlarında karışıklığa neden olur.)

➤ Bakım kolaylığının geliştirilmesi

PLC'nin ömrü, röleye göre daha uzundur. PLC'nin hata teşhis fonksiyonu kullanılarak sistemdeki hata kolaylıkla bulunup gerekli bakım kolaylıkla yapılabilir. Röleli ve PLC ile yapılan kontrolün özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.1'de verilmiştir

Çizelge 5.1. Röleli ve PLC ile yapılan kontrolün özellikleri [54].

Maddeler	Röleli Kontrol	PLC ile Kontrol
1. Fonksiyon	Röle sayısını artırmak sureti ile karışık kontrol devreleri yapılabilir.	Programlama ile karışık kontrol devreleri yapılabilir.
2.Kontrolde değiştirilebilirlik	Kablolamayı değiştirmek gereklidir.	Programı değiştirerek kontrolde istenilen değişiklik yapılabilir.
3. Güvenilirlik	Eksik kontak yüzünden bazı kısıtlamaları vardır.	Yarı iletken teknolojisinden dolayı yüksek güvenilirliğe sahiptir.
4. Çok yönlülük	Diğer yerlerde kullanmada anlaşılmasının güç olduğu bilinmekdedir.	Programın değiştirilmesi ile tekrar tekrar ve farklı yerlerde kullanılması mümkündür.
5.Genişleyebilirlik	Ekleme ve değişiklik yapmak zor ve karmaşıktır.	Çalışma limitine kadar genişlemesi mümkündür.
6. Bakım	Periyodik bakım yapmak ve aşınan parçaları değiştirmek gereklidir.	PLC üniteleri değiştirilebilir ve tamir edilebilir.
7. Teknik anlayış	Sıklıkla kullanıldığından anlaşılması kolaydır.	PLC donanımının içi kapalı kutudur.
8. Boyut	Genelde büyük boyutludur.	Çok farklı modellerde ve genelde de küçük boyutludur.
9. Dizayn süresi	Dizayn ve fabrikasyon için çok zamana ihtiyaç vardır.	Dizayn ve fabrikasyon için fazla zamana ihtiyaç yoktur.
10. Ekonomi	Karmaşık kontrol açısından pahalıdır. Elektromanyetik röle ve kontaktörler 10 defa kullanıma kadar ekonomiktir.	Karmaşık kontrollerde pahalı değildir.

5.2.6. Programlanabilir Logic Kontrol çıkış çeşitleri

Kontağa bağlı olarak çeşitli türde çıkışlar vardır. PLC bir yere kurulacağı zaman her bir çıkışın karakteristik özelliği dikkate alınmalıdır. PLC'nin şekline bakarak karar vermek zordur. Aşağıda her bir PLC'ye ait çıkış özellikleri açıklanmıştır [54].

Röle çıkışlı Programlanabilir Logic Kontrol (PLC)

Röle çıkışlı PLC'de çıkış kontak şeklindedir ve bu çok sık karşılaşılan çıkış şeklidir. Çıkış devresinin sadece kontakten oluşması nedeniyle bu PLC hem doğru hem de alternatif akımda kullanılabilir. Devreye 2 amper gibi yüksek değerli akım uygulanabilir (Her bir kontağından 2 ampere kadar akım çekilebilir). Kutupları olmadığı için çeşitli alanlarda kullanılması mümkündür. Örneğin DC motor, büyük güçlü elektromanyetik valf gibi. Cevap verme hızının düşük olması, mekanik hareket olmasından dolayı röle kontaklarının zamanla aşınması bu PLC'lerin dezavantajı olarak söylenebilir [54].

Triyak çıkışlı Programlanabilir Logic Kontrol (PLC)

Bu tip PLC'lerde triyak veya tristör çıkış elemanı olarak kullanılır. Bu tip PLC'ler kontaklı tip PLC'lerdir. Triyak çıkışlı PLC'de çıkışa 85 – 242 Volt arasında alternatif gerilim uygulanmalıdır. Cevap verme süresi bakımından bu PLC röle çıkışlı PLC'ye göre çok daha hızlı fakat transistör çıkışlı PLC'ye göre ise daha yavaştır. Bu tip PLC'nin çıkışından alabileceğimiz akım ise 0,3 amper kadardır. Triyak çıkışlı PLC, uygulamada çok fazla yer bulmamasına rağmen, alternatif akım kullanılan ve kontrol panelinde röle çıkışlı PLC'ye sahip olan fabrikalarda yenileştirme yapmak amacı ile kullanılabilir.

Transistör çıkışlı Programlanabilir Logic Kontrol (PLC)

Transistör çıkışlı PLC'lerde Photo Coupler kullanılmaktadır. Çıkış akımı yaklaşık 0,5 amperdir. Bu PLC'lerde cevap verme süresi 0,2 ms gibi çok kısa bir süredir.

Transistör çıkışlı PLC'lerin bazılarında, özel bir ünite olmaksızın pozisyon kontrolü yapabilmek amacı ile pals çıkışı mevcuttur.

Transistör kullanıldığı için bu PLC'lerin çıkışında kutuplar vardır ve kablolama esnasında bu kutuplara özellikle dikkat edilmelidir. Otomasyona geçmiş olan fabrikalarda, son zamanlarda, çok miktarda küçük elektrik motoru ve valfler kullanılmaktadır. Bu PLC'ler bu tür cihazlara kumanda etmede kullanılmaktadır. Aynı zamanda robot ya da CNC kontrol ünitesinin kontrolü için de yüksek değerli akımlara ihtiyaç yoktur. Bu gibi alanlarda hızlı çalışması sebebi ile transistör çıkışlı PLC'ler tercih edilmektedir. Bu PLC'lerin mekanik kontağı olmadığı için aşınma ve gürültü olmamakta, böylece çıkış ünitesi çok daha uzun ömürlü olmakta ve sessiz çalışmaktadır [54].

6. TEORİK ANALİZ

6.1. Tam Kuru Ağırlığın Belirlenmesi

Deneye başlamadan önce defne yapraklarının tamamen kurumuş haldeki ağırlığını belirleyebilmek için belli miktar defne yaprağıyla ön çalışma yapılmıştır.

Ön çalışma; etüv fırınında defne yapraklarının ağırlık değişimine göre nem kontrolünün belirlenmesi ve sabit sıcaklıkta (100 ± 3 °C) tutulan bu fırında belirli aralıklarla defne yapraklarının tartılması ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır.

Ön çalışmada alınan ölçüm sonuçları defne yaprağı ağırlık değişimi %1 ‘den az olana kadar devam etmiştir. Bu deneyler etüv fırınında yapılacak üç defa tekrarlanmıştır.

Üç deneyde de aynı miktar defne yaprakları yarım saatte bir kontrol etmek suretiyle fırında tutulmuş ve ölçüm sonuçları kayıt altına alınmıştır. Ağırlık ölçümleri defne yapraklarının nem oranı sabit kalana kadar alınmaya devam edilmiş olup; son ölçümler arası ağırlığın % 1’den az olduğu an defne yaprağı tam kuru kabul edilmiştir.

Ağırlık ölçümleri yapılırken her üç deneyde de Mettler Toledo marka dijital ağırlık ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Üç deneyden alınan numuneler ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak tam kuru ağırlık değeri saptanmıştır.

Defne yapraklarının kuru baza göre başlangıç nem miktarı Eş. 6.1’den ortalama olarak 1,02 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir.

$$MC_{KB} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (6.1)$$

eşitliğinden faydalanılır [53].

6.1.2. Isıtma tesir katsayısı

Defne yapraklarının kuru esasa göre hesaplanan su oranı ;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (6.2)$$

Defne yaprağındaki yaş esasa göre hesaplanan su oranı;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (6.3)$$

ısıtma tesir katsayısı eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Kurutma sistemde, yoğuşturucudan kurutma odasına üflenlen ısı miktarı ($\dot{Q}_K$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ia} \cdot c \cdot (T_{ia} - T_{aai}) \quad (6.4)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (6.5)$$

Eşitlikte “ $\dot{m}_{ia}$ ”, kurutma havasının kütleli debisi, “ c ”, kurutma havasının özgül ısısı, “ $\dot{V}_i$ ”, kurutma havasının hacimsel debisi, “ ρ_{ia} ”, kurutma havasının yoğunluğu, “ T_{ia} ve T_{aai} ” ise sırasıyla yoğuşturucudan çıkan ve yoğuşturucuya giren havanın sıcaklığıdır.

Yoğuşturucu sıcaklığı (T_K) ile buharlaştırıcı sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için en yüksek ısıtma tesir katsayısı ($COP_{c,h}$) Carnot çevrimi ile aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$COP_{c,h} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (6.6)$$

Normal bir uygulama için, enerji tüketimi ısı pompasının kompresöründe meydana gelmektedir. Sistemde diğer ekipmanlar da söz konusu olabilir, örneğin fan, pompa vb.

Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı ($COP_{hp,h}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{hp,h} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c} \quad (6.7)$$

Bütün sistem için ısıtma tesir katsayısının (COP_{wh}) hesaplanmasında tüketim ekipmanları için (kompresör, fan, pompa ve diğer ekipmanlar) aşağıdaki eşitlik kullanılır [56].

$$COP_{wh} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c + \dot{W}_1 + W_p} \quad (6.8)$$

6.1.3. Özgül nem çekme oranı

Kurutma fırınlarında en önemli verim etkinliği 1 kg nem kaldırmak için harcanması gereken enerjidir. Özgül nem çekme oranı (SMER) olarak tanımlanan bu ifade Eş. 6.9'da olduğu gibi hesaplanır.

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (6.9)$$

Özgül nem çekme oranı (SMER) tüm sistem için aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [53].

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c + \dot{W}_p + W_1} \quad (6.10)$$

7. DENEY SETİNİN KURULUMU

7.1. Deney Setinin Hazırlanması

Kurutmada en önemli üç unsur; kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı ve kurutma havası bağıl nemidir. Bu üç unsurun istenilen şartlarda kontrol edilmesi ısı pompası destekli kurutma sisteminde PLC kontrol sistemi ile sağlanacaktır. PLC kontrol sistemi; elde edilen deney verilerini PC'ye aktarabilen ve kurutma havası sıcaklığını, nemini, debisini ve deney esnasında kurutulan defne yapraklarının ağırlık değişimini gösteren bir kontrol sistemidir. PLC kontrol sisteminde kurutma havasının nem, sıcaklık ve debi değerleri PLC ekranında olarak girilmektedir. Bu sistemin bir özelliği de girilen bant değerlerinde otomatik kontrol yapılarak sistemi çalıştırabilmesidir.

Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma fırının tasarlanmasında kurutulacak ürünlerin özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Kurutulacak ürünlerin taze oluşları dikkate alındığı takdirde ürün yüksek değerlerde bağıl neme sahip hava ile kurutulursa kuruma süresi uzayacaktır. Düşük sıcaklık değeri kullanıldığında ise ürünün kuruma süresi uzamaktadır. Bu sebepler göz önüne alınarak PLC kontrollü kurutma fırını tasarlanıp imal edilmiş farklı şartlarda deneyler yapılabilmek için bu sistem geliştirilmiştir.

PLC kontrol sistemli fırın ile her ürünün yapısına uygun hava hızı, debi ve sıcaklık değeri ayarlanabilmekte bu da ürünün istenilen şartlarda kurutulmasını sağlamaktadır.

Tasarlanıp imalatı yapılan kurutma sistemi kompresör, yoğuşturucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), filtre (dryer), kılcal boru, fan, pompa, su deposu, anemometre, ağırlık ölçer (load-cell), kurutma odası ve PLC kontrol cihazı ekipmanlarından oluşmaktadır. Şekil 7.1' de ise ısı pompası PLC kontrollü kurutma sistemi görülmektedir.

Kurutma sisteminde ısı pompası sisteminin yoğuşturucu (kondenser) kısmı enerji kaynağı olarak kullanılmakta, buharlaştırıcı (evaporatör) kısmı ise depodaki suyun düşük sıcaklıkta muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Sistemde dolaşan kurutma havası, üründe mevcut olan nemi bünyesine alarak, nemi artmakta ve evaporatör tarafında sağlanan soğuk su pompa ile nem alma bataryasına gönderilerek soğuk yüzeyde kurutma havasının nemi alınacaktır. Bu sistem de öncelikle sudan havaya ısı pompası kullanılmıştır.

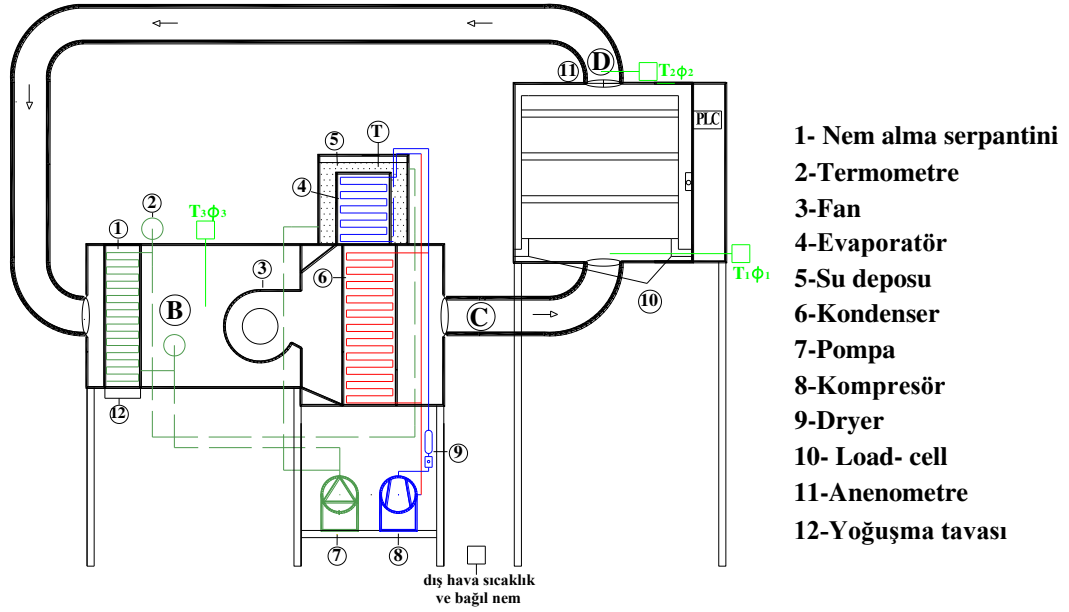
Kurutma sisteminde PLC kontrol cihazında ayarlanan sıcaklık değeri ve bağıl nem değeri sıcaklık ve bağıl nem sensörü ile hava hızını anemometre ile nem değerini ise termohigrometre yardımı ile ölçülmektedir. PLC’de girilen değer termokupl ile ölçülen sıcaklıktan büyükse kompresör devreye girmekte ve sıcaklık artışı sağlanmaktadır. Girilen değer termokupl ile ölçülen sıcaklıktan küçükse kompresör devreden çıkmaktadır. Çizelge 7.1.’de sistem ekipmanlarının çalışma şekli görülmektedir.

Çizelge 7.1. Sistem ekipmanlarının çalışma şekli

KOMPRESÖR	Sistemde ısı ihtiyacı duyulduğunda devreye girer sistem kurutma havası sıcaklığı yükselir.
NEM ALMA	Kurutma havasının nem miktarı yükseldiğinde, pompa devreye girerek, soğuk yüzeyden nem alınır.
FAN DEVRİ (HAVA HIZI)	PLC girilen hava hızı değerinde çalışarak sisteminde istenilen debide hava dolaşımı sağlanıyor.
AĞIRLIK	Ağırlık ölçer (load-cell) ile ürünler üzerinde ağırlık değişimi gözlemleniyor ve değerler kayıt altına alınıyor

Evaporatör depo içerisindeki suyun belirli sıcaklığa düşmesini sağlayacaktır. Sıcaklığı düşen su istenildiğinde pompa yardımı ile sistem de dolaştırılması sağlanıp; kurutma havası içerisindeki bağıl nemin düşmesi sağlanacaktır.

Isı pompası destekli PLC kontrollü defne yaprağı kurutma fırını Şekil 7.1’ de görülmektedir. Isı pompası sisteminde soğutkan olarak R-134a gazı kullanılmıştır.



Şekil 7.1. Isı pompası destekli PLC kontrollü defne yaprağı kurutma fırını

Nem alma ünitesi üzerinden geçen hava “B” şartlarında kondenser (yoğuşturucu) da duyulur olarak ısıtılarak sıcaklığı ΔT kadar artarak “C” şartlarına gelir. “C” şartlarında hava kurutma odasına girmekte defne yaprakları üzerinden geçerek “D” şartına gelmektedir. “D” şartlarında kurutma havası nemi bir miktar artmakta ve kuru termometre sıcaklığı da bir miktar düşmektedir. “D” şartları kurutulan defne yapraklarının nem miktarlarına bağlıdır. “D” şartlarındaki hava izolasyonu yapılmış hava kanalında geçerek nem alma ünitesine gelir. Sistemdeki nemli hava PLC’ ye girilmiş bağıl nem değerinden yüksek ise nem alma ünitesi devreye girerek yani sudan havaya ısı transferi olayı gerçekleştirilerek kurutma havası nemi soğuk yüzeyde alınır. “D” şartlarındaki “A” şartlarındaki nemli hava nem alma ünitesinden geçerek tekrar “B” şartlarına gelir. Kurutma sistemi %100 iç hava ile çalışmaktadır.

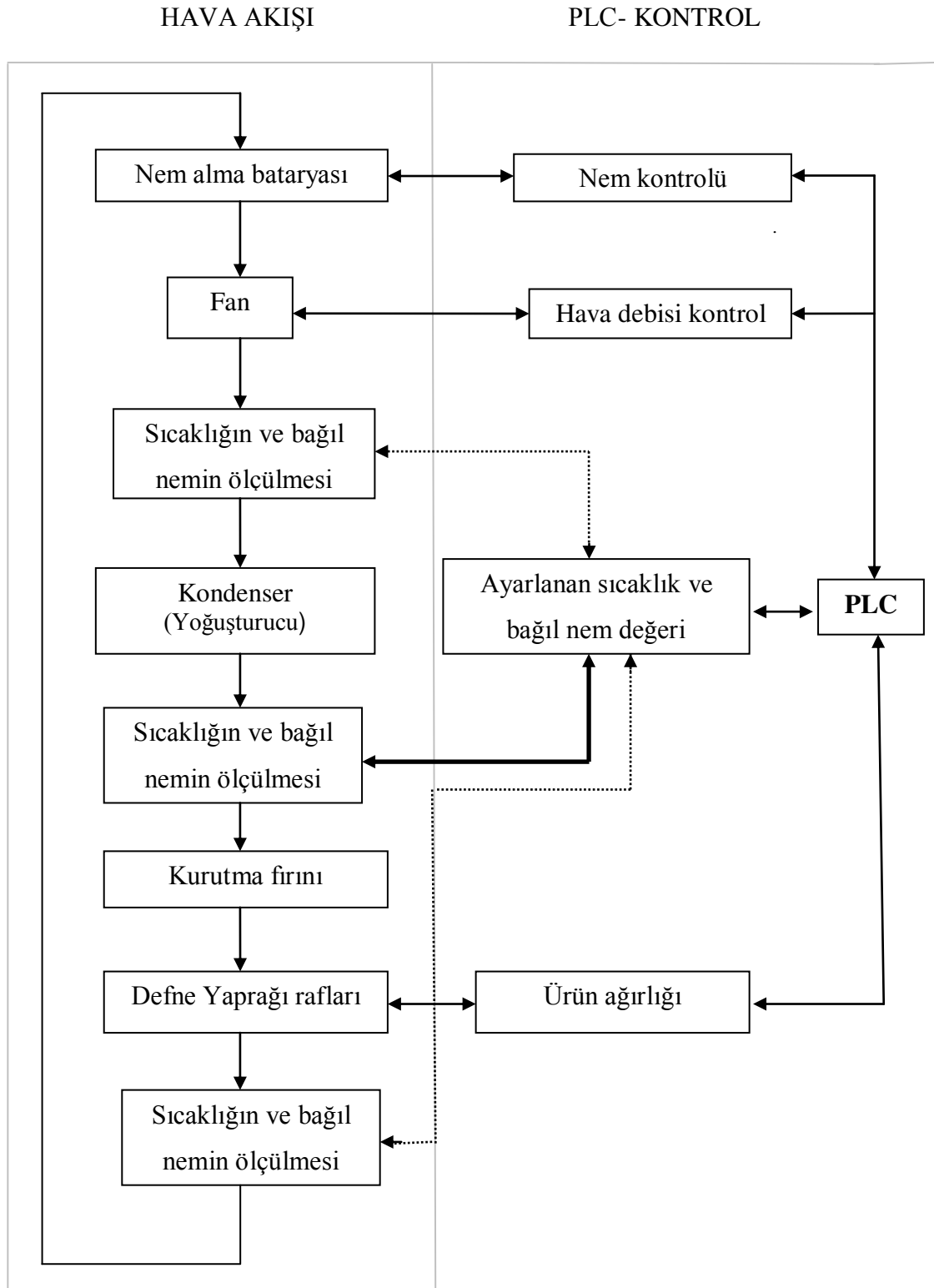
Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminde PLC dijital ekranından ürün ağırlık değişimleri gözlenerek yapılan deneylerde ürün ağırlık değişimleri kurutma sistemi durdurulmadan kayıt altına alınmıştır.

Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri Çizelge 7.2’ de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri

Kullanılan cihaz	Teknik Özellikleri
Bağıl Nem ve Sıcaklık Transmitteri	Ordell, HTC08 model, 0-100% bağıl nemde ± 2 % ölçüm hassasiyeti, -40,+120 °C sıcaklıkta ± 1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı -10,+60 °C.
Kompresör	Danfoss, 1/2 HP, R 134A, 220-240 V
Yoğuşturucu	1 HP
Load Cell	Zemic, L6D model, Nominal çıkış (mV / V) 2.0 ± 0.2 5-12 V, çalışma sıcaklığı -35 +60 °C
Buharlaştırıcı	1/2 HP
Fan	Pemsan, 160 W, 990 m ³ /h, 2750 d/d, 50 Hz, 230 V IN:0,74A
Pompa	Best, 0,5HP 0,37 KW, 220-240 V, 50 Hz Q:2,4 m ³ /h, Hmax:40m, Hyük:6m
Soğuk su deposu	40 lt
PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör)	Unitronics marka, vision 350 model, sıcaklık ve ağırlık ölçümü, 1 MB uygulama hafızası artı 512K font ve 3 MB resim hafızası, LCD LED dokunmatik ekran, operatör paneli 5.7 QVGA, 256-renkli, 1 K için 0.9 µs tarama süresi, PLC veya HMI kullanıla bilme

Sistemde hava akışını, sıcaklık değerini, nem miktarını ve ürün ağırlığını Şekil 7.2’de görüldüğü gibi PLC kontrol sistemi ile kumanda edilebilmektedir



Şekil 7.2. Hava akışı ve PLC kontrol sistem şeması

PLC kontrol sisteminde istenilen sıcaklık değeri, nem miktarı ve hava debisi kontrol edilebilmektedir. Kurutma sisteminde kurutma havası sıcaklığı, nem miktarı ve hava debisi ayarlanan değerde tutulmaktadır. Bağıl nem miktarına bağlı olarak pompa devreye girip çıkmakta havadan suya ısı transferi olayı gerçekleşmekte, sıcaklık değerine bağlı olarak ise kompresör devreye girip çıkmakta ve böylece ısı pompası sisteminde sudan havaya ısı transferi olayı gerçekleşmektedir. Hava debisi değeride istenilen değerde tutulabilmektedir.

Hava akışı diyagramında da görüldüğü gibi, ayarlanan bağıl nem, hava debisi ve sıcaklık değerindeki kurutma havası ürün üzerinden geçtikten sonra tekrar sisteme dönüş yapacaktır.

8. DENEYLERİN YAPILIŞI

8.1. Tam Kuru Ağırlığın Belirlenmesi

Deneylere başlamadan önce temin edilen defne yapraklarının tam kuru ağırlığının belirlenmesi için ön hazırlık işlemleri yapılmıştır. Tam kuru ağırlığın belirlenmesindeki usul, defne yapraklarının sıcaklığının kontrol edilebilen bir etüv fırınında (100 ± 3)°C’ da, çevre basıncında 4,5 saat süre ile kurutulması sonunda meydana gelen kütle kaybına dayanarak nem muhtevasının belirlenmesidir.

Dal kısmı ile toplanmış olan taze defne yaprakları dallarından ayrılarak tam kuru ağırlığı belirlenmek üzere hazır hale getirilmiştir. Daha sonra aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir.

- a) Dallarından ayrılan defne yaprakları 100 ± 3 °C’de sıcaklık değerinde, kurutma fırınında kurutulmaya başlanmıştır.
- b) 4,5 saatlik kurutma periyotları sırasınca ağırlık değişimi her 30 dakikada bir takip edilmiş ve değerler kaydedilmiştir. En son iki ölçüm arasındaki fark %1’den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Ağırlık ölçümleri Mettler Toledo marka dijital ağırlık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. İki ölçüm arasındaki fark %1’den daha az olduğu durumda defne yaprakları tam kuru kabul edilmiştir.
- c) Bu işlem sırası yapılan üç deneyde de uygulanmıştır.

Defne yaprağının kuru baza göre başlangıç nem miktarı Eş. 6.2’ ile belirlenmiştir. Değer;

$$SO_{KA} = 1.02 \text{ gsu/g kuru madde.}$$

Defne yaprağının yaş baza göre başlangıç nem miktarı Eş. 6.3' ile belirlenmiştir. Değer;

$$SO_{YA}=0,51 \text{ gsu/g yaş madde.}$$

8.2. Defne yapraklarının kurutulması

Başlangıç nem miktarları belirlenmiş olan defne yaprakları, ısı pompası destekli kondenzasyonlu kurutucuda kurutma kabineye yerleştirilerek, kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Kurutma sisteminde defne yaprakları için uygun kurutma havası sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak, kurutma havası sıcaklık değerleri 40°C, 45°C, 50°C kurutma havası debileri 400 m³/h ve 600 m³/h olarak belirlenmiştir. Sistemde istenilen kurutma havası sıcaklığı ve hava debisi PLC kontrol cihazından ayarlanarak kurutma işlemi başlatılmıştır. PLC kontrol cihazın ekranına girilen ve ekran üzerinden takip edilen değerler aşağıda sıralanmıştır.

- Dış hava sıcaklığı ve bağıl nem (°C, φ (%))
- Ürün ağırlığı (g)
- Depo suyu sıcaklığı (°C)
- Kondenser basınç (bar)
- Soğutucu akışkan R 134 a sıcaklığı (°C)
- Serpantin su giriş sıcaklığı (°C)
- Serpantin su çıkış sıcaklığı (°C)
- Sistemde ayarlanan sıcaklık değeri (°C)
- Kurutma odası girişinde ölçülen hava sıcaklığı (°C)
- Kurutma odası girişinde ölçülen bağıl nemi (φ (%))
- Kurutma odasındaki havanın debisi (m³/h)
- Kurutma odasından çıkışta ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nemi (°C, φ (%))

Kurutma işlemi sırasında defne yapraklarındaki ağırlık değişimi her yarım saatte bir ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Yapılan bu deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri Çizelge 8.1’de kullanılan cihazlar verilmiştir.

Çizelge 8.1. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri

Kullanılan cihaz	Teknik Özellikleri
Dijital tartı	Mettler Toledo, Excellence XS6002S model, en yüksek ölçülecebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti 0,01 g.
Bağıl nem ve sıcaklık sensörü	Ordel, HTC 08 model, 0-100% bağıl nemde ± 2 % ölçüm hassasiyeti, -40,+120 °C sıcaklıkta ± 1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı -10,+60°C.
PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör)	Unitronics marka, vision 350 model, sıcaklık ve ağırlık ölçümü, 1 MB uygulama hafızası artı 512K font ve 3 MB resim hafızası, LCD LED dokunmatik ekran, operatör paneli 5.7 QVGA, 256-renkli, 1 K için 0.9 μ s tarama süresi, PLC veya HMI kullanılabilmek
Elektronik elektrik sayacı	Viko marka, Geniş aralıklı hassas ölçüm 5(80)A Monofaze M580DB0,-40+70 bina dışı çok tarifeli 1Faz2telli, 3200Imp/kWh, Istr=20mA, Imin=250mA, Itr=500mA, In=5a, Imax=80A

Deney setinde elektronik dijital elektrik sayacı kullanılarak deneyler esnasında harcanan enerji not edilmiştir. Şekil 8.1.’ de elektronik dijital elektrik sayacı görülmektedir.



Şekil 8.1. Elektronik dijital elektrik sayacı

Deney setinin belirli kısımlarına yerleştirilen sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazları ile deneyler esnasında ölçülen bağıl nem ve sıcaklık değerleri not edildi. Şekil 8.2.' de hava debisi ve sıcaklık ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 8.2. Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı

8.3. Kurutma İşleminin Sonlandırılması

Yapılan kurutma işleminde her bir deney 40°C, 45°C, 50°C kurutma sıcaklığında ve 400 m³/h, 600 m³/h kurutma havası debisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerde aşağıdaki hususlar da göz önünde bulundurularak, kontroller yapılmış ve kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutucuda kurutulan defne yapraklarının son nem analizi yapılmıştır.

- Defne yapraklarının son nem miktarları
- Defne yaprağında yapılan duyusal ve teknik analiz

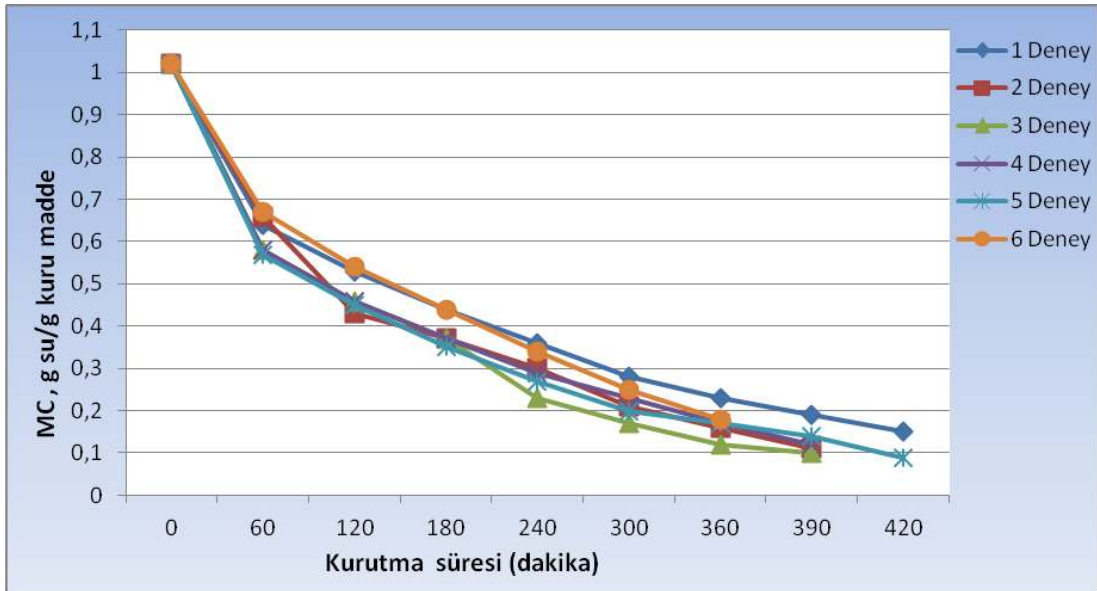
Defne yapraklarında kurutma sonrası duyusal analiz yapılmıştır. Yapılan duyusal analizde görünümünde her hangi bir renk değişim, tadında ve kokusunda her hangi bir bozulma gözlemlenmemiştir. El ile yapılan duyusal analiz de kurutulmuş yapraklar ikiye katlandığında kırılğan değildir. Şekil 8.3. (b) 'de gösterilmiş olan kurutulmuş defne yaprakları ikiye katlandığında kırılğan hale gelmemiştir. Kurutma öncesi ve sonrası elde edilen defne yapraklarına ait resimler Şekil 8.3.'de verilmiştir.



Şekil 8.3. Defne yapraklarına ait kurutma öncesi ve kurutma sonrası resimler

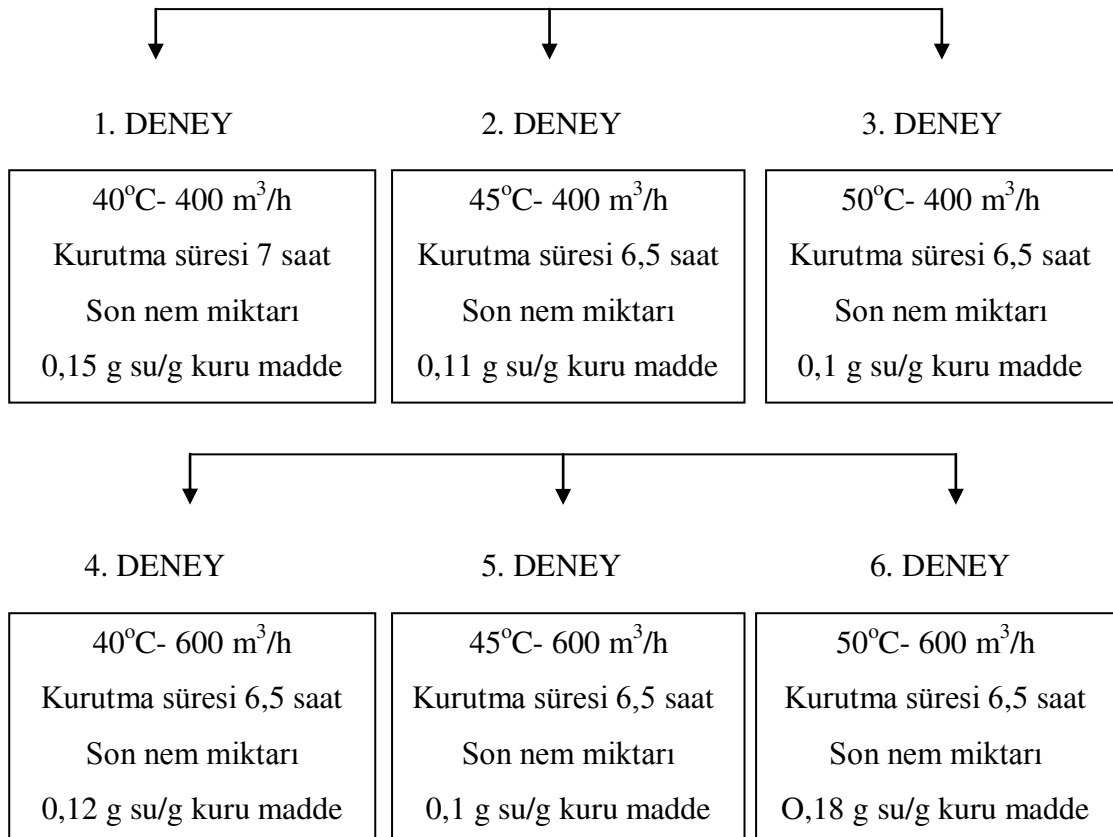
9. DENEY SONUÇLARI

Kurutma işlemine başlamadan önce Karadeniz Bölge'sinden temin edilen defne yaprakları dallarından ayrılarak etüv fırınında tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Buna göre defne yapraklarının başlangıç nem miktarları kuru baza göre “ Eş. 6.4”den hesaplanarak 1,02 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Tam kuru ağırlıkları belirlenen defne yaprakları farklı sıcaklıklarda (40°C, 45°C, 50°C) ve farklı hava debilerinde (400 m³/h ve 600 m³/h) ısı pompası destekli PLC kontrollü kurutma fırınında son nem miktarına inene kadar kurutulmuştur. Başlangıç nem miktarında bulunan defne yaprakları altı (6) farklı deneyle kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Defne yapraklarının kuru baza göre son nem miktarı 1. deneyde 0,15 g su/g kuru madde 2. deneyde 0,11 g su/g kuru madde 3. deneyde 0,1 g su/g kuru madde 4. deneyde 0,12 g su/g kuru madde 5. deneyde 0,1 g su/g kuru madde 6. deneyde 0,18 g su/g kuru madde olarak hesaplanmıştır. Defne yapraklarının kuru esasa göre son nem miktarı değişimi Şekil 9.1’de görülmektedir.



1. Deney 40 °C- 400 m³/h, 2. Deney 45 °C- 400 m³/h, 3. Deney 50 °C- 400 m³/h
 4. Deney 40 °C- 600 m³/h, 5. Deney 45 °C- 600 m³/h, 6. Deney 50 °C- 600 m³/h
 Şekil 9.1. Kurutma süresince üründeki nem miktarı değişimi

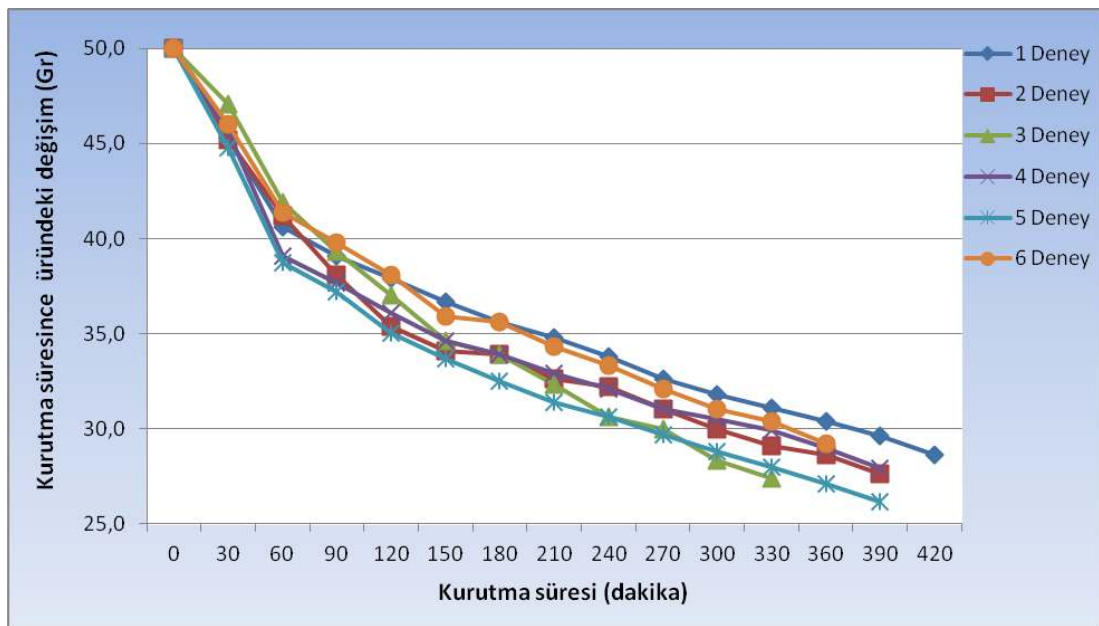
1. deneyde 50 gr defne yaprağı 40°C sıcaklıkta 400 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 7 saat sürmüştür. 2. deneyde 50 gr defne yaprağı 45°C sıcaklıkta 400 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 6,5 saat sürmüştür. 3. deneyde 50 gr defne yaprağı 50°C sıcaklıkta 400 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 6,5 saat sürmüştür. 4. deneyde 50 gr defne yaprağı 40°C sıcaklıkta 600 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 6,5 saat sürmüştür. 5. deneyde 50 gr defne yaprağı 45°C sıcaklıkta 0, 600 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 6,5 saat sürmüştür. Son olarak 6. deneyde 50 gr defne yaprağı 50°C sıcaklıkta 600 m³/h kurutma hava debisine ayarlanmış kurutma süresi 6,5 saat sürmüştür. Şekil 9.2’de kurutma deneylerine ait detaylar görülmektedir.



Şekil 9.2. Sitemde yapılan kurutma deneylerine ait detaylar

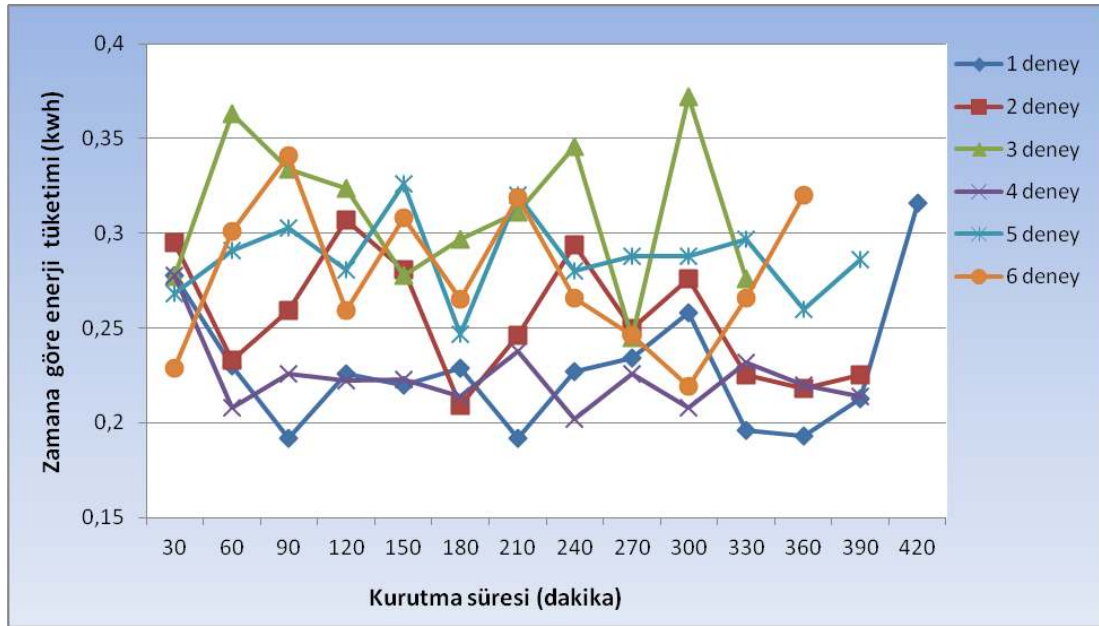
PLC ile havanın sıcaklığı, havanın nem miktarı, kurutma sistem içerisindeki hava debisi kontrol edilerek deney verileri elde edilmiştir. Yapılan deneylerde öncesinden

belirlenen bant değerleri hava sıcaklığını 40°C, 45°C ve 50°C için ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda kurutma fırının içerisinde bulunan PLC ye bağlı ağırlık ölçer ile ürün üzerindeki ağırlık değişimleri gözlemlenmiş, ağırlık değişimleri deney esnasında kayıt altına alınmıştır. Şekil 9.3.'de yapılan deneylerde ürün kütle değişimi görülmektedir. Şekil 9.3.' de görüldüğü gibi 50 gramdan 40 grama düşene kadar ürün daha hızlı kurumaktadır. Bunun nedeni ürün üzerinde ilk anda olan serbest nemin hızla uzaklaşmasıdır.



1. Deney 40 °C- 400 m³/h, 2. Deney 45 °C- 400 m³/h, 3. Deney 50 °C- 400 m³/h
 4. Deney 40 °C- 600 m³/h, 5. Deney 45 °C- 600 m³/h, 6. Deney 50 °C- 600 m³/h
 Şekil 9.3. Yapılan deneylerde defne yaprağının zamana göre kütle - zaman eğrisi

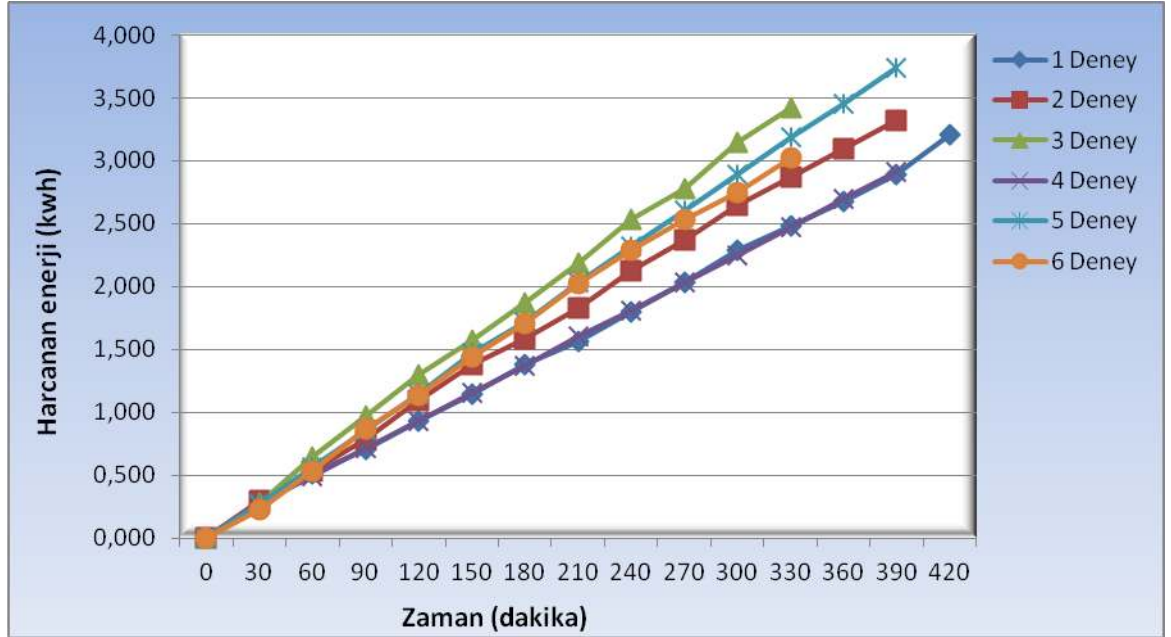
Isı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminde kondenserden atılan ısı için kullanılan enerji miktarı Eş. 6.8 yardımıyla hesaplanmıştır. Isı pompası destekli kondenzasyonlu kurutma sisteminde yapılan deneylerde harcanan enerjinin büyük bir çoğunluğu kurutma sisteminin ısıtılmasında ve defne yapraklarının içerisindeki nemin buharlaştırılmasında harcanmıştır.



1. Deney 40 °C- 400 m³/h, 2. Deney 45 °C- 400 m³/h, 3. Deney 50 °C- 400 m³/h
 4. Deney 40 °C- 600 m³/h, 5. Deney 45 °C- 600 m³/h, 6. Deney 50 °C- 600 m³/h
 Şekil 9.4. Yapılan deneylerde zamana bağlı tüketilen enerji miktarı

Şekil 9.4.'de görüldüğü gibi yapılan deneylerde zamana göre enerji farklılıkları gözlemlenmektedir. Bunun nedeni PLC den aldığı komutu yerine getirmeye çalışan ısı pompasından kaynaklanmaktadır. Yapılan deneylerde farklı enerji tüketimleri ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni deneylerde belirlenen hava debileri ve sıcaklıklarının farklı oluşundandır.

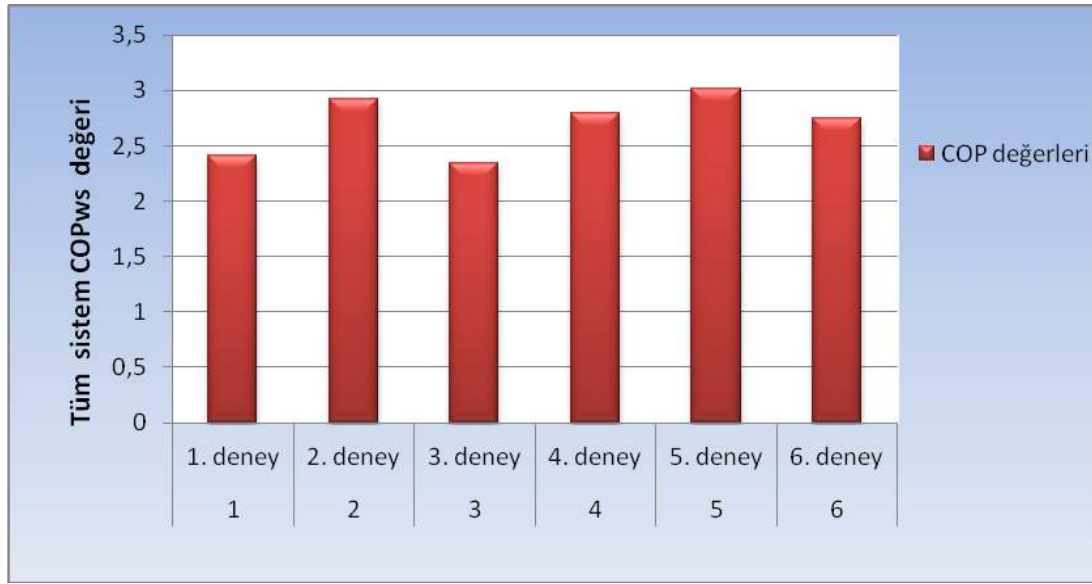
Kurutma işlemi esnasında zamanla defne yaprakları üzerindeki nem miktarı azalırken ısı pompası destekli PLC kontrollü kurutma sisteminde harcanan toplam enerji miktarı artmıştır. Harcanan toplam enerjiler fan, pompa ve kompresörden kaynaklanmaktadır. Şekil 9.5.'de deneyler esnasında harcanan enerji görülmektedir.



1. Deney 40 °C- 400 m³/h, 2. Deney 45 °C- 400 m³/h, 3. Deney 50 °C- 400 m³/h
 4. Deney 40 °C- 600 m³/h, 5. Deney 45 °C- 600 m³/h, 6. Deney 50 °C- 600 m³/h
 Şekil 9.5. Yapılan deneylerde zamana göre enerji tüketimi artışı

Isı pompası destekli PLC kontrollü defne yaprağı kurutma fırınında kurutma süresinin yüksek sıcaklıklara ve hava hızlarına bağlı olmadığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda tüm sistemin ısıtma tesir katsayıları (COP_{ws}) Eş. 6.8.'e göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 1. deneyde 2.41, 2. Deneyde 2,92, 3. deneyde 2.34, 4. deneyde 2.79, 5. deneyde 3,02 ve son olarak 6. Deneyde ise 2.75 olarak hesaplanmıştır. Defne yaprağı için yapılan bu altı (6) deneyde ısıtma tesir katyası değerleride gösteriyorki ideal kurutma sıcaklığının 45 °C debisinin ise 600 m³/h olduğu gözlenmektedir. Çünkü en yüksek tüm sistem ısıtma tesir katsayısı (COP_{ws}) değeri 45 °C sıcaklığında 600 m³/h debisinde hesaplanmıştır.

Şekil 9.6.'da deneylere ait tüm sistem ısıtma tesir katsayıları grafiği verilmiştir. Bu grafikte alınan ısının harcanan enerjiye oranına göre hesaplamalarında ısıtma tesir katsayısının en düşük çıktığı değer 3. deney, ısıtma tesir katsayısının en yüksek çıktığı değer ise 5. deneydir. Buda gösteriyor ki enerji tüketimi ve kurutma süresi zamanı bakımından en ideal kurutma sıcaklığının 45 °C hava debisinde ise 600 m³/h olduğu gözlenmektedir.



1. Deney 40 °C- 400 m³/h, 2. Deney 45 °C- 400 m³/h, 3. Deney 50 °C- 400 m³/h
 4. Deney 40 °C- 600 m³/h, 5. Deney 45 °C- 600 m³/h, 6. Deney 50 °C- 600 m³/h

Şekil 9.6. Yapılan deneylerde hesaplanan tüm sistem için COP_{ws} değerleri

Isı pompası destekli kondenzasyonlu (nem almalı) kurutma fırını tarafından yapılan defne yaprağı kurutma deneylerinde özgül nem çekme oranı Eş. 6.9 ve Eş. 6.10 yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda en düşük özgül nem çekme oranı (SMER_{ws}) değeri 45 °C sıcaklığında 600 m³/h hava debisinde en yüksek özgül nem çekme oranı (SMER_{ws}) değeri ise 50 °C sıcaklığında 400 m³/h hava debisinde, hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda SMER_{ws} değerleri Çizelge 9.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 9.1. Özgül nem çekme oranı

YAPILAN DENEYLER	SMER_{ws} (gr/kwh)
1. Deney	12,61 gsu/kwh
2. Deney	11,64 gsu/kwh
3. Deney	11,09 gsu/kwh
4. Deney	13,54 gsu/kwh
5. Deney	10,55 gsu/kwh
6. Deney	12,96 gsu/kwh

Isı pompası destekli PLC kotrollü defne yaprağı kurutma sisteminde yapılan deneylerde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda defne yaprağı için en ideal kurutma sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır. En yüksek ısıtma tesir katsayısı (COP_{ws}) değeri 5. Deneyde hesaplanmıştır. Bu hesaplama alınan ısının harcanan enerji tüketimine oranına göre hesaplanmıştır. Kuru baza göre nem miktarı (MC) değeri 50 gr defne yaprağının kurutma sonundaki ağırlığının kuru ağırlığa oranı ile hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde kurutma sürelerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Yapılan defne yaprağı kurutma deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 9.2. 'de görülmektedir.

Çizelge 9.2. Deneysel sonuçlar

DENEYLER	COP _{ws}	MC	SÜRE(h)	TÜKETİLEN ENERJİ (kwh)	DEFNE YAPRAĞI KALİTESİ
1.Deney	2,41	0,15	7	3,204	* Defne yaprağında yapılan duyuşal analizde görünümünde, şeklinde, tadında ve kalitesinde her hangi bir bozulma gözlemlenmemiştir
2.Deney	2,92	0,11	6,5	3,318	
3.Deney	2,34	0,1	6,5	3,423	
4.Deney	2,79	0,12	6,5	2,911	
5.Deney	3,02	0,1	6,5	3,735	
6.Deney	2,75	0,18	6,5	3,019	

* Defne yaprağında yapılan duyuşal analizde görünümünde, şeklinde, tadında ve kalitesinde her hangi bir bozulma gözlemlenmemiştir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Türkiye'nin bütün kıyı şeridinde doğal olarak yetişen defne yaprağı, ısı pompası destekli PLC kontrollü kurutma fırınında farklı şartlarda kurutulmuştur. Hali hazırda Türkiye'de yapılan kurutma teknikleri ile ürün istenilen kalitede kurutulamamaktadır. Gerek teknik gerekse de zaman açısından değerlendirildiğinde, ekonomik göstergeler de göz önünde bulundurulduğunda ısı pompası destekli PLC kontrllü kurutma fırınında defne yaprağı kurutulmasının uygunluğu bu tez çalışmasında deneysel olarak araştırılmıştır.

Türkiye'de halen uygulanmakta olan ilkel kurutma metodları üründe, aflatoksin oluşması, esmerleşme, acılaşma ve buruşma gibi ürün kalitesini bozucu etkileri göstermektedir. Bu çalışmada, PLC kontrollü, ısı pompası destekli kurutma fırını ile Türkiye için önemli bir ihraç ürünü olan defne yaprağı kurutulmuş, kurutma esnasında oluşabilecek kurutma kusurları ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Tasarlanan, imal edilen ve deneysel olarak analizi yapılan, ısı pompası destekli PLC kontrollü kurutma fırınında defne yaprağı kurutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ➔ Isı pompası destekli kurutma sisteminde ürün ağırlıklarının PLC kontrol sisteminde takip edilebilmesi ile hassas ürünlerin kurutulmasının bu sistem ile mümkün olduğu yapılan deneylerde görülmüştür.
- ➔ Yapılan deneylerde kurutma havası %100 iç havanın kondenserde ısıtılması ile sağlanmıştır. Kurutma esnasında sistemde oluşan nemli hava nem alma ünitesinden geçirilerek havadaki nemin yoğunlaştırılması sağlanmıştır. Böylece enerji verimliliği sağlanmıştır.
- ➔ Yapılan deneylerde görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığının düşük olması kurutma süresini uzatmıştır.

- Yapılan bu çalışma ile kurutulan defne yapraklarından daha kaliteli ürün elde edilebilmekte ve teknik kurutma ile yılın 12 ayı kurutma yapılabilmesi sağlanabilmektedir.
- Bu tez çalışmasında, enerji verimliliği açısından, defne yaprağı kurutulmasındaki en ideal sıcaklık değerinin 45°C olduğu kurutma hava debisinin ise 600 m³/h olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan duyusal analizler sonucunda kurutulan defne yapraklarının istenen özelliklerde olduğu gözlemlenmiştir.
- Isı pompası destekli kondenzasyonlu kurutma sistemi kurutulacak ürüne göre sıcaklık değeri 50 °C üzerine çıkarılmak istendiğinde ek ısı kaynağı ile ürünlerin kurutulması sağlanabilir.
- Bu sistem ile farklı ürünlerin psikrometrik şartlarda kurutulabilmesi mümkündür.

EKLER

Ek.1. Kurutma sistemi ile ilgili resimler



Şekil 1.1. Isı pompası destekli kondenzasyonlu kurutma sistemi



Şekil 1.2. Kurutma kabini



Şekil 1.3. PLC sistemi panosu

Ek.1. (Devam) Kurutma sistemi ile ilgili resimler



Şekil 1.4. Load-cel hassas ağırlık ölçer



Şekil 1.5. Sıcaklık ölçüm cihazı



Şekil1.6. Kurutma ünitesi kanal tipi fan



Şekil 1.7. Kurutma ünitesi nem alma serpantini

Ek.1. (Devam) Kurutma sistemi ile ilgili resimler



Şekil 1.8. Kurutulmaya hazırlanmış defne yaprakları



Şekil 1.9. Kurutulmuş defne yaprakları

KAYNAKLAR

1. GÖKER, Y. ve ACAR, İ., “Orman Yan Ürünlerinden Akdeniz Defnesi (*Laurus nobilis* L.)”, **İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 33(1): 124-140, (1983).
2. ACAR, İ., “Defne (*Laurus nobilis* L.) Yaprığı ve Yaprak Eterik Yağının Üretilmesi ve Değerlendirilmesi”, **Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları** Teknik Bülten Serisi, 186, Ankara,: 10,11, (1987).
3. BOZKURT, Y. ve GÖKER, Y., “ Orman Ürünlerinden Faydalanma Ders Kitabı”, **İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları**, İ.Ü. Yayın No: 2840, O.F. Yayın No:297, 402, İstanbul,(1981).
4. Ceylan, İ., Doğan, H., “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, **II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi**, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155- 166, (2004).
5. Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi” **Gıda Teknolojisi Derneği**, 28, 541 – 542, 544-570, Ankara, (2003).
6. Bulduk, S., “Gıda Teknolojisi”, **Detay Yayıncılık**, Ankara, 41, (2002).
7. Günerkan, H., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, **Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, 36(13): 1-10, Mart-Nisan (2005).
8. Yılmaz, S., Ceylan, İ “Çapraz akımlı sulu yıkayıcıda kurutma havası neminin alınması”, **Teknoloji Dergisi**, 5, 1-2, 29-33 (2002).
9. Hawlader, M., N., A., Jahangeer, K., A., “Solar heat pump drying and water heating in the tropics”, **Solar Energy**, 80(5): 492-499, (2006).
10. Akpınar, E., K., “Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer”, **Int. Comm. Heat and Mass Transfer**, (31)8: 1165-1176, (2004).
11. Oktay, Z. “Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması” **Makine Mühendisleri Yayını**, Teskon Program Bildirileri, Soğ 047, 750-759, (1997).
12. Doğan, V. “Su-toprak kaynaklı ısı pompalarının araştırılması”, **Tesisat Mühendisleri Derneği**, Eylül-Ekim, 57-71(2003)
13. Demiray, E., Tülek,Y. “Domates kurutma teknolojisi ve kurutma işleminin domatesteki bazı antioksidan bileşiklere etkisi” , **Gıda Teknolojileri Dergisi**, 3, 9-20, (2008).

14. Lee, K. H., Kim, O. J., Investigation On Drying Performance And Energy Savings Of The Batch-Type Heat Pump Dryer, **Drying Technology**, 27, 565-573, (2009).
15. Hawlader, M. N.A., Rahman, S. M. A., Jahangeer, K. A., “Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer”, **Energy Conversion and Management**, 49, 1612-1619, (2008).
16. Söylemez, M., S., “Optimum heat pump in drying systems with waste heatrecovery”, **Journal of Food Engineering**, 74: 292-298, (2006).
17. Queiroz, R., Gabas, A. L., Telis, V. R. N., “Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers”, **Drying Technology**, 22, 1603-1620, (2004).
18. Oktay Z., Hepbaşlı A., “Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer”, **Energy Conversion and Management**, 44: 1193-1207,(2003).
19. Fatouh, M., Metwally, A., B., Helali A., Shedid, M.,H., “Herbs drying using a heat pump dryer”, **Energy Conversion and Management**, 47(15-16): 2629-2643, (2006).
20. Onat A., İnan A. T., Gül Z., “Farklı geometrik yapıdaki kırmızı biberlerin PLC kontrollü güneş enerjili - gizli ısı depolamalı kurutucuda kurutulması”, **G., Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi**, 6(1): 379-384, (2003).
21. Yagcioglu, A., Degirmencioğlu, A., Çagatay, F., “Drying Characteristics of Laruel Leaves Under Different Drying Conditions”, **7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy**, Adana, 565-569 (1999).
22. Acar, İ.,”Defne (*Laurus nobilis* L.) Yaprak Ve Yaprak Eterik Yağının Üretilmesi Ve Değerlendirilmesi” , **Orm. Araş. Ens. Yayınları**, Teknik Bülten Seri No. 186, Ankara (1988).
23. Tanker, M. ve Tanker, N., **Farmakognozi 2, Reman Basımevi**, İstanbul, (1976).
24. Muller, J., Köll-Weber, M., Kraus, W., “ Effect of Drying on the Essential Oil of **Salvia officinalis**”. **Planta Medica** No: 58 (1): 78, (1992).
25. Akgül, A.,Baharat Bilimi ve Teknolojisi. **Gıda Teknolojisi Dergisi Yayınları**, 15, 75-76, Ankara (1993).

26. KILIÇ, A., HAFIZOĞLU, H., KOLLMANNBERGER, H, NITZ, S., 2004. Volatile Constituents And Key Odorants In Leaves, Buds, Flowers, And Fruits Of *Laurus nobilis* L. **J Agric Food Chem.** 24;52(6):1601-6.
27. ÖZGÜVEN, M., BUX, M., KOLLER, W.-D ŞEKEROĞLU, N., KIRPIK, M., 2004. Trocknung von ätherisches Öl führenden Pflanzen mit Solarenergie in der Türkei. **Fachtagung für Arznei- und Gewürzpflanzen** 2004. 7. bis 9. September 2004, Jena, Germany
28. BAYTOP, T., 1999. Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün). **İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları** (İlaveli İkinci Baskı). İstanbul, No.3255, Nobel Tıp Kitapevleri, s. 3-4,226.
29. EİB, “Ege İhracatçı Birliği” ,(2003).
30. ERCAN, A.S. 1983. Defne Yaprağı ve Yağının İhracatı Geliştirmesi. **İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi Yayınları**, 74, 2-9.
31. ÖZGÜVEN, M., SEKİN, S., GÜRBÜZ, B., ŞEKEROĞLU, N., AYANOĞLU, F., EKREN,S., 2005. Tütün, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretimi ve Ticareti. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi. 3-7 Ocak 2005, Milli Kütüphane Konferans Salonu, **ANKARA. Bildiri Kitabı** (1)481-501.
32. OGM, “Orman Genel Müdürlüğü”, (2004).
33. Oktay, Z., “Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması”, **III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı**, İzmir, SOĞ(47): 751, (1997).
34. AYANOĞLU, F., KAYA, D.A., 1999. Farklı IBA Dozlarının Doğal Olarak Yetişen Bazı Uçucu Yağ Bitkilerinin Köklenmeleri Üzerine Etkileri 1st **International Symposium on Protection of Natural Environment and Ehlami Karaçam** 23-25th September, Kütahya Türkiye, s. 373-378.
35. Baytop, T., 1994. Türkçe Bitki Adları Sözlüğü. Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, **Türk Dil Kurumu Yayınları**, No: 578, Ankara.
36. Kayacık, H., 1977. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematigi. **İ. Ü. Orman Fakültesi**, İ.Ü. Yayın No: 2400, O. F. Yayın No: 247, İstanbul, 207-208 s.
37. Zeybek, N., Zeybek, U., 1994. Farmasötik Botanik. Ege **Üniversitesi Eczacılık Fakültesi** Yayınları, Yayın No: 2, Bornova / İzmir.

38. Özer, S., 1987. Ülkemizdeki Bazı Önemli Orman Tali Ürünlerinin Teşhis ve Tanıtım Klavuzu. **Orman Genel Müdürlüğü Yayını**, 659, 18, Ankara.
39. TÜİK, “Türkiye istatistik Kurumu”, (2010).
40. KARADENİZ, T., 2004. Şifalı Meyveler (Meyvelerle Beslenme ve Tedavi Şekilleri). S: 66-67. Burcan Ofset Matbaacılık Sanayi – ORDU.
41. Heldman, D. G., and Singh, R. P., “Food dehydration”, **Food Process Engineering**, Second Edition, New York, 261-323, (1981).
42. Aktaş, M., Özdemir, M., B., “Yaz iklimlendirme sistemlerinde kanal çaplarının bilgisayar programı ile hesaplanması”, **Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi**, 7(3): 381-386, (2004).
43. “Industrial drying systems”, **ASHRAE Applications Handbook**, (SI), Chapter 28, 1-2, (2003).
44. Parker N., H., “Aids to dryer selection”, *Chemical engineering*, 70, 115, (1963).
45. Güngör, A. ve Özbalta, N., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, **III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı**, İzmir, TES046(737): 739-744, (1997).
46. Başaran, B., Bitlisli, B.O., Sarı, Ö., Özbalta, N. ve Güngör A., “Deri kurutulmasında yeni teknolojiler: ısı pompalı kurutucular”, **I. Ulusal Deri Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Ege Üniversitesi, İzmir, 634-642, 644-647, (2004).
47. Yağcıoğlu A., “Tarım ürünlerini kurutma tekniği”, **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları**, İzmir, 536, (1999).
48. Oktay, Z., “Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması”, **Tesisat Kongresi**, 178(12): 114-124, (1997).
49. Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., Jahangeer, K.A., Rahman, S.M.A. and Eugene Lau, K.W., “Solar-assisted heat-pump dryer and water heater”, **Applied Energy**, 74, 186, (2003).
50. Özkol, N., “Uygulamalı soğutma tekniği”, **TMMOB Makine Mühendisleri**, Ankara, 115: 18-56, (1999).
51. Boran, K., “Isı pompasının sudan havaya, havadan havaya, sudan suya deneysel olarak incelenmesi ve optimizasyonu”, Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı**, (1993).

52. Kılıç, H., “Güneş enerjisi destekli ısı pompasının tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü**, Ankara, 7-8, (2006).
53. Aktaş, M., “Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 60, (2007).
54. MEGEP, “Milli Eğitim ve Öğretim sisteminin Güçlendirilmesi Projesi”, (2007).
55. Ashrae, Fundamentals, “Phsicological factors in drying and storing farm crops”, 11: 4-7, (1997).
56. Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., “Isı pompalı destekli bir kurutucuda kerestelerin kurutma süresinin belirlenmesi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22(4):847-854, (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖNEN, Emrah
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.02.1986, Kırşehir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 506 272 86 94
e-mail : emrah0640@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü	2008
Lise	Ankara Yapı Meslek Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002	Rönesan Klima Lşt.	Stajyer Öğrenci
2004 - 2005	Bilim Doğalgaz Ltş.	Teknisyen
2009-	Hacettepe Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığı	Teknisyen