

**DENİZ SUYU KAYNAKLI ISI POMPALI TÜNEL
TİPİ DEFNE YAPRAĞI KURUTMA SİSTEMİ
TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Özgür DEMİR

**DENİZ SUYU KAYNAKLI ISI POMPALI TÜNEL TİPİ DEFNE YAPRAĞI
KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ**

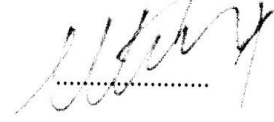
Özgür DEMİR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Özgür DEMİR tarafından hazırlanan “DENİZ SUYU KAYNAKLI ISI POMPALI TÜNEL TİPİ DEFNE YAPRAĞI KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2015

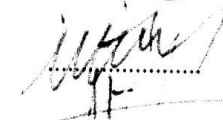
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)



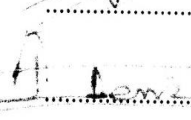
Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)



Üye : Doç. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)



02/07/2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Özgür DEMİR

ÖZET

Doktora Tezi

DENİZ SUYU KAYNAKLI ISI POMPALI TÜNEL TİPİ DEFNE YAPRAĞI KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

Özgür DEMİR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA

Haziran 2015, 108 sayfa

Bu çalışmada deniz suyu kaynaklı ısı pompası ile çalışan bir kurutma fırınının tasarımı ve imalatı yapılmış, kurutma süresi, kuru ürün kalitesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Kurutma işlemine başlanmadan önce ürün özellikleri ortaya konulmuştur. Deneyler esnasında tünel içi şartlar (sıcaklık, nem, hava hızı, ürün ağırlığı), ortam şartları, deniz suyu sıcaklığı ve ısı pompası çalışma şartları gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde değişken olarak hava hızı 1 m/s, 2 m/s ile 3,5 m/s, deniz suyu debisi 2 l/dk ile 9 l/dk arası değerlerde, kondenser – ürün istif mesafesi 30 cm ile 100 cm arası farklı mesafelerde çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında deniz suyu sıcaklığı 10,1 °C – 23,4 °C aralığındaki değerlerde ölçülmüştür. Kullanılan değişkenlerin kurutma süresi ve ürün kalitesine etkileri incelenmiştir. Deney verileri değerlendirildiğinde ürün kuruma süresini etkileyen en önemli faktör, kurutma havası sıcaklığıdır. Hesaplamalar sonucunda ısı pompasının COP_{hp} değerlerinin 3,41 – 3,93 aralığında olduğu hesaplanmıştır. Kondenser –

ürün istif mesafesi için uygun uzaklığın en az 40 cm olması gerektiği, bu mesafenin altına inildiğinde difüzörün etkisi ile üründe homojen ve tam kuruma gerçekleşmediği yapılan deneylerde gözlemlenmiştir. Deneyler karşılaştırıldığında deniz suyu sıcaklığı 16,2 °C, kurutma havası sıcaklığı 60,3 °C, hava hızı 1 m/s, deniz suyu debisi 9 l/dk şartlarında yapılan deney, ısı pompası COP_{hp} değeri (3,93), kurutma süresi (2 saat), duyusal analiz (renk, koku, doku), su aktivitesi değeri (0,37), özgül nem çekme oranı (0,0246) açısından en başarılı deney olarak belirlenmiştir. Deneylere ilişkin ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Deniz suyu kaynaklı ısı pompalı kurutma fırınının defne yaprağı kurutmak için, ek bir ısı kaynağına ihtiyacı olmadığı, kaliteli bir kurutma yapılabildiği, benzer özelliklerde olan farklı ürünleri de kurutmaya elverişli olduğu ortaya koyulmuştur.

Anahtar Sözcükler : Isı pompası, kurutma, defne yaprağı, deniz suyu, kurutucu.

Bilim Kodu : 708.3.015

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

TUNNEL TYPE BAY LEAF DRYING SYSTEM THAT WORKS WITH HEAT PUMP RESOURCED BY SEA WATER

Özgür DEMİR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Metin KAYA

January 2015, 108 page

In this study, design and manufacture of tunnel type drying system that works with heat pump resourced by sea water are made, drying time; factors affecting the product quality were reviewed. Product specifications are mentioned prior to drying process. During experiments, under tunnel conditions, (temperature, humidity, air flow rate, product weight), environmental conditions, sea water temperature and heat pump operating conditions were observed. Air flow rate valued between 1 m/s, 2 m/s and 3,5 m/s, sea water flow rate valued between 2 l/min and 9 l/min in the experiments made and condenser – product stack distance was taken for different distances such as between 30 cm and 100 cm for various experiments. Between the experiments, sea water temperature is measured between the values of 10, 1 °C – 23,4 °C degrees. Drying time period and their affects to the product quality of used parameters were examined. As a result of consideration of experiment data, most important factor that affects the product drying time is the temperature of drying air.

It is calculated that, COP_{hp} values of heat pump were in range of 3,41 – 3,93. It is observed on the experiments that, optimum distance for the Condenser – product stacking distance is minimum 40 cm and in less distance, with the affect of diffuser, homogeneous and complete drying wasn't generated. When experiments were compared, experiment made within the conditions that sea water temperature is 16,2 °C, drying air temperature is 60,3 °C degrees, air flow rate is 1 m/s, sea water flow rate is 9 l/min it was determined as the most successful experiment by means of heat pump COP_{hp} value (3,93), drying time (2 hours), sensory analysis (color, smell, tissue), water activity value (0,37), specific humidity moisture absorption rate (0,0246). Exergy and drying effect calculations regarding to experiments were made. It was put forth that to dry a bay leaf, tunnel type drying system that works with heat pump resourced by sea water didn't need any additional heat source, quality drying was made, was suitable to dry different products with similar specifications.

Key Words : Heat pump, drying, bay leaf, sea water, dryer.

Science Code : 708.3.015

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA' ya, Doç. Dr. Sezayi YILMAZ' a, ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Başta sevgili eşim Özge DEMİR ve oğlum Oğuz Özgür DEMİR olmak üzere tüm aileme yardımlarını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	3
1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 2	12
DEFNE VE ÖZELLİKLERİ	12
2.1. DEFNE YAPRAĞININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	12
2.2. DEFNE YAPRAĞININ TIBBİ VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	13
2.3. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE DEFNENİN YAYILIŞ ALANLARI	14
2.4. DEFNE YAPRAĞI İLE İLGİLİ STANDARTLAR	15
2.5. DEFNE YAPRAĞI KURUTMA PARAMETRELERİ	16
BÖLÜM 3	18
KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ	18
3.1. KURUTMA.....	18
3.2. KURUMA SÜRESİNİN BULUNMASI	19
3.3. KURUTMA İŞLEMİ İÇİN SİSTEM SEÇİMİ	20
3.4. KURUTMA YÖNTEMLERİ.....	21

	<u>Sayfa</u>
3.4.1. İletim İle Kurutma.....	21
3.4.2. Kızılötesi Işınımlı Kurutma	22
3.4.3. Taşınım İle Kurutma	23
3.4.4. Sprey Kurutucular	23
3.4.5. Dondurarak Kurutma.....	24
3.4.6. Akışkan Yataklı Kurutma	25
3.4.7. Alevli (Flaş) Kurutma	26
3.5. KURUTUCU SEÇİMİ.....	27
3.6. KURUTMA TEORİSİ.....	28
3.6.1. Denge Nemi	28
3.6.2. Kurutma Hızı	29
3.6.3. Ürünün Su Aktivitesi.....	30
BÖLÜM 4	31
ISI POMPASI.....	31
4.1. ISI POMPASI VE TARİHÇESİ	31
4.1.1. Isı Pompasının Tanımı.....	31
4.1.2. Isı Pompasının Tarihsel Gelişimi.....	32
4.2. ISI POMPASI ÇALIŞMA PRENSİBİ	38
4.2.1. İdeal Isı Pompası Çevrimi	40
4.2.2. Gerçek Isı Pompası Çevrimi.....	41
4.3. ISI POMPASI ELEMANLARI.....	43
4.3.1. Kompresörler	43
4.3.2. Yoğuşturucular (Kondenser)	43
4.3.3. Kısılma Vanaları	44
4.3.4. Buharlaştırıcılar (Evaporatör).....	45
4.3.5. Soğutucu Akışkanlar	45
4.3.6. Kumanda Kontrol Cihazları Ve Diğer Yardımcı Elemanlar	47
4.4. ISI POMPALARININ SINIFLANDIRILMASI.....	47
4.4.1. Birincil Isı Pompaları	48
4.4.2. İkincil Isı Pompaları.....	48
4.4.3. Üçüncül Isı Pompaları.....	48

	<u>Sayfa</u>
4.4.4. Isı Kaynağına Göre Isı Pompaları.....	48
4.4.5. Çalışma Prensiplerine Göre Isı Pompaları	48
4.4.6. İşletme Şekline Göre Isı Pompaları.....	49
4.5. ISI POMPALI KURUTUCULAR	49
4.5.1. Avantajları Ve Kısıtlamaları.....	51
4.5.2. Birden Fazla Aşamalı Isı Pompalı Kurutma Sistemleri	52
4.5.3. Birleşik Isı Pompalı Kurutma Sistemleri.....	52
4.5.3.1. Akışkan Yataklı Isı Pompalı Kurutma Sistemleri	53
4.5.3.2. Kızılötesi Işınım Destekli Isı Pompalı Kurutma Sistemleri.....	53
4.5.3.3. Radyo – Frekansı İle Desteklenen Isı Pompalı Kurutma Sistemleri.....	53
4.5.3.4. Güneş Enerjili ve Isı Pompalı Kurutma Sistemleri	53
BÖLÜM 5	55
TEORİK ANALİZ.....	55
BÖLÜM 6	61
MATERYAL METOT.....	61
6.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI	61
6.1.1. DeneYlerde Kullanılan Ölçü Aletleri	63
6.2. ÜRÜNLERİN HAZIRLANMASI VE DENEYLERİN YAPILIŞI	64
6.3. DENEY VERİLERİ	66
6.3.1. Deniz Suyu Debisi Değişiminin Kurutma Üzerine Etkileri	67
6.3.2. Hava Hızı Değişiminin Kurutma Üzerine Etkileri.....	71
6.3.3. Isı Kaynağı Sıcaklığının Kurutma Üzerine Etkileri.....	78
6.3.4. Ürünlerin Kuru Ve Yaş Esasa Göre Nem Miktarları, Sistemin Isıtma Tesis Katsayıları.....	79
6.3.5. Kondenser – Ürün İstif Mesafesinin Analizi	82
BÖLÜM 7	84
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	88

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR A. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ	96
EK AÇIKLAMALAR B. ÖLÇÜ CİHAZLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	99
EK AÇIKLAMALAR C. HAVANIN ATMOSFERİK BASINÇTAKİ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	106
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Defne bitkisinde yapraklar ve çiçek tomurcukları	13
Şekil 2.2. Defnenin Türkiye'deki yayılış alanları.....	14
Şekil 3.1. İletim ile kurutma	22
Şekil 3.2. Kızılötesi ışınımlı kurutma	22
Şekil 3.3. Taşınım ile kurutma	23
Şekil 3.4. Sprey kurutucu	24
Şekil 3.5. Dondurarak kurutma	25
Şekil 3.6. Akışkan yataklı kurutma.....	26
Şekil 3.7. Alevli (Flaş) kurutma	26
Şekil 3.8. Kurutucu seçimi için işlem adımları	27
Şekil 3.9. Nem sorpsiyon izotermi	29
Şekil 4.1. Isı pompası termodinamiği	31
Şekil 4.2. Kelvin ısı toplayıcı makinesi	34
Şekil 4.3. Avrupa'da kurulan ilk ısı pompası.....	35
Şekil 4.4. İdeal bir ısı pompası sisteminin şematik gösterimi	39
Şekil 4.5. İdeal ısı pompası çevriminin T – s diyagramı.....	40
Şekil 4.6. Gerçek ısı pompası çevriminin şematik gösterimi	41
Şekil 4.7. Gerçek ısı pompası çevriminin T – s diyagramı	42
Şekil 4.8. Isı pompalı bir kurutma sisteminin şematik gösterimi	50
Şekil 4.9. Kurutma odası ile eşlenmiş iki kademeli ısı pompası sistemi	52
Şekil 5.1. Isı pompası sisteminin log P – h diyagramı.....	55
Şekil 6.1. Deney seti tasarımı ve ölçüm yapılan noktalar	61
Şekil 6.2. Deney setinin genel görünümü	62
Şekil 6.3. Kurutma tüneline hava hızı ölçümü yapılan noktalar	64
Şekil 6.4. Kurutma tüneline ürün istif bölgeleri	65
Şekil 6.5. Kurutma havası hızı 1 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi	67
Şekil 6.6. Kurutma havası hızı 2 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi	68

Sayfa

Şekil 6.7. Kurutma havası hızı 3,5 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi	70
Şekil 6.8. Deniz suyu debisi 2 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için kurutma havası sıcaklığının değişimi	71
Şekil 6.9. Deniz suyu debisi 2 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için ürün ağırlık değişimi	72
Şekil 6.10. Deniz suyu debisi 6 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için kurutma havası sıcaklığının değişimi	72
Şekil 6.11. Deniz suyu debisi 6 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için ürün ağırlık değişimi	73
Şekil 6.12. Deniz suyu debisi 9 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için kurutma havası sıcaklığının değişimi	74
Şekil 6.13. Deniz suyu debisi 9 l/dk kurutma havası hızı 1 m/s 2 m/s 3,5 m/s için ürün ağırlık değişimi	75
Şekil 6.14. Kurutma havası hızı ve deniz suyu debisi değişimlerinin R134a log P – h diyagramında gösterilmesi	76
Şekil 6.15. Isı kaynağı sıcaklığının kurutma süresi üzerine etkisi.....	77
Şekil 6.16. Hesaplamalarda kullanılan entalpi değerlerinin R134a log P – h diyagramında gösterilmesi	80
Şekil 6.17. Kondenser – ürün istif mesafesi farklı olarak kurutulmuş defne yaprakları	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Kuzgunkaya'ya ait defne kurutma deneyi verileri	4
Çizelge 3.1. Bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli en düşük su aktivitesi (a_w) değerleri.....	30
Çizelge 6.1. Ölçüm cihazları ve hassasiyet değerleri	62
Çizelge 6.2. Deney setinin teknik özellikleri	63
Çizelge 6.3. Kurutma havası hızı 1 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri.....	66
Çizelge 6.4. Kurutma havası hızı 2 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri	68
Çizelge 6.5. Kurutma havası hızı 3,5 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri	69
Çizelge 6.6. Kuru ve yaş ağırlığa göre ürün nem miktarları, kurutma verimleri, özgül nem çekme oranları ve COP_{hp} değerleri	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a_w	: Su aktivitesi değeri
\dot{Q}_{VTOP}	: Kurutma işlemi için gerekli toplam enerji miktarı (kJ/s)
q	: Gerekli enerji miktarı (kJ)
h_1	: Soğutucu akışkanın kompresöre giriş entalpisi (kJ/kg)
h_2	: Soğutucu akışkanın kondensere giriş entalpisi (kJ/kg)
h_3	: Soğutucu akışkanın genişleme vanasına giriş entalpisi (kJ/kg)
h_4	: Soğutucu akışkanın evaporatöre giriş entalpisi (kJ/kg)
\dot{Q}	: Isı kapasitesi (kJ/s)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/h)
\dot{W}	: Güç (kJ/s)
c_p	: Sabit basınçta özgül ısınma ısısı (kJ/kgK)
T	: Sıcaklık (°C)
SMER	: Özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
NM	: Nem miktarı ($g_{su}/g_{kurumadde} - g_{su}/g_{yaşmadde}$)
KA	: Kuru ağırlık (g)
YA	: Yaş ağırlık (g)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
\dot{V}	: Hacimsel debi (m ³ /h)
η	: Verim (%)
e	: Ekserji (kJ/kg)
X_m	: Gözlemlerin aritmetik ortalaması
N	: Gözlem sayısı
X_i	: Yapılan gözlemler
S	: Standart sapma
V	: Varyans
a	: Hassasiyet

- U : Belirsizlik
- P_a : Alçak basınç (bar)
- P_y : Yüksek basınç (bar)
- φ : Bağlı nem (%)
- V_h : Hava hızı (m/s)
- Q_{yd} : Defne yaprağını ısıtmak için gerekli enerji miktarı (kj)
- W_{kd} : Kuru defne yaprağı ağırlığı (kg)
- $T_{dç}$: Defne yaprağı çıkış sıcaklığı (°C)
- T_{dg} : Defne yaprağı giriş sıcaklığı (°C)
- Q_{kd} : Defne yaprağındaki nemi buharlaştırmak için gerekli enerji (kj)
- Lb_d : Defne yaprağı (dolayısıyla suyun) buharlaşma ısısı (kj/kg)
- W_{dsm} : Defne yaprağının kaybettiği su miktarı (kg)

KISALTMALAR

ÇBN	: Çevre Havası Bağlı Nemi
sa	: Soğutucu akışkan
K	: Kondenser
C	: Kompresör
E	: Evaporatör
ds	: Deniz suyu
dsg	: Deniz suyu giriş
dsç	: Deniz suyu çıkış
kh	: Kurutma havası
khg	: Kurutma havası giriş
khç	: Kurutma havası çıkış
COP	: Isıtma tesir katsayısı
wh	: Bütün tüketim ekipmanları
f	: Fan
p	: Pompa
ıp - hp	: Isı pompası
ws	: Bütün sistem
kg	: Kurutucu girişi
kç	: Kurutucu çıkışı
ort	: Ortam
h	: Hava
kyp	: Kayıp
krt	: Kurutma

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanların temel ihtiyacı olan gıda maddelerinin uzun süre saklanabilmesi, tarih boyunca önemli olmuştur. Gıda muhafaza şekillerinden kurutma ise; tercih edilen önemli uygulamalardan biridir. Kurutma işleminin tercih edilmesinin sebebi, herhangi bir teknoloji ve maliyet gereksinimi olmadan güneş altında zahmetsizce yapılabilir olmasıydı. Zaman içerisinde, teknolojik gelişime paralel olarak kurutma yöntemleri de gelişmiş, bunun sonucu olarak, güneş altında yapılan kurutmanın dezavantajları fark edilmeye başlanmıştır. Yapılan analizler, güneş altına serilerek yapılan ürün kurutmanın, gıdada mikrobiyolojik bozulmalara sebep olmaktadır. Özellikle kuruma süresi ve kuruma kalitesi açısından bakıldığında güneş altında kurutma yöntemi terkedilmeye başlanmıştır.

Kurutma yapılan ürünlere bakıldığında aromatik bitkiler ilk sıralarda yer almaktadır. Akdeniz defnesinin genellikle yaprak ve meyveleri kullanılmaktadır. Kurutulan defne yaprakları konservelede, çorba, et ve balık yemeklerinde baharat olarak kullanılmaktadır. Ayrıca böcek üremesinin önüne geçmek için kuru incir, üzüm, vb. ambalajlarında da kuru defne yaprağı kullanılmaktadır. Balığın tazeliğini korumak ve kokusunu gidermek amacıyla da defne yaprağından faydalanılmaktadır. Yapraklardan çıkarılan eterik yağ gıda sanayinde kullanılmaktadır. Meyvelerden elde edilen yağ kozmetik sanayinde sabun olarak ve bazı likörlerin imalatında kullanılır. Defneden elde edilen yağ ile üretilen sabunlar temizlik bakımından başarılı, vücut ve saç dibinde oluşan sivilce, yaraları iyileştirici, saç telinde yumuşatıcı ve kepekleri dökücü özelliklere sahiptir. Ayrıca romatizmal ağrıları giderici ve terletici özellikleri nedeni ile kimya ve ilaç endüstrisinde de yararlanılmaktadır [1]. Dünya defne ticaretinde pazar hacminin %90'ını Türkiye elinde tutarak kalite, fiyat ve miktar açısından pazarda en önemli yere sahip ülkedir. Ülkemizin doğal bitki ihracatı içinde defne %10 paya sahiptir [2]. Defne, gül ve kekik yağı ülkemizin en çok ihraç ettiği

uçucu yağlardır. Suriye, Lübnan, Almanya ve Fransa defne yağı ihracatının en çok yapıldığı ülkelerdir. Suriye ve Fransa'ya yapılan ihracat her yıl artış göstermektedir. Defne yaprağı ihracat miktarı son yıllarda artış gösterirken, fiyatta da oluşan artış gelirden oluşması gereken artışın önüne geçmektedir [3].

Yaprak üretimi bitkinin vejetatif (yaprak, kök ve gövde gelişimi) büyümesinin durduğu Temmuz - Ekim ayları arasında yapılmaktadır. En kaliteli yapraklar 2 - 3 yaşındaki sürgünlerde bulunmaktadır. Yaprak toplama işlemi tek tek koparılma şeklinde değil, 2 - 3 yaşındaki yapraklı sürgünlerin toplanması biçiminde olmaktadır [4]. Yapraklı sürgünler kesildikten sonra demetler haline getirilip gölgede veya sundurma altında doğal kurumaya bırakılır. Bu işlem yaprakta yeşil rengin bozulmamasını sağlar. Başka bir doğal kurutma yöntemi olarak yapraklar harman biçiminde yere sergi yapılarak da kurutulabilir. Bu yöntemde yere serilen yapraklar 10 - 15 cm kalınlığı geçmemelidir. Kurutma işlemi sonrasında yaprakların kırılmamasına dikkat edilerek sürgünlerden ayrılır ve kaba bir temizleme ile renk değişimine uğramış yapraklar, çöpler ve yabancı maddeler alınır. Ayıklama işlemi sonrasında kurumuş yapraklar kalitesine göre tasnif edilerek ambalajlanır ve ticari ürün haline getirilir [5]. Bu kurutma yöntemi kalitesiz yaprak oranının fazla olmasına sebep olmaktadır [6].

Tüm bu bilgiler ışığında kurutma yöntemlerinde gelişime ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bugün sanayide kurutma işleminin uygulandığı alanlar çok geniştir. Çoğu 1960 öncesi yıllarda tasarlanmış kurutma sistemlerinde enerji optimizasyonu zorunlu hale gelmektedir. Bu yıllarda, enerjinin bol ve ucuz olması nedeniyle uygulamalarda enerji tasarrufuna yönelik işlemler göz ardı edilmiştir. Fakat 1973 yılında yaşanan küresel ekonomik kriz neticesinde, mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanımı Dünya'da ve Türkiye'de büyük bir önem kazanmıştır. Enerji bunalımı özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeleri daha çok etkilemektedir. Çünkü gelişmekte olan ülkeler devamlı artan boyutta bir enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını termik ve hidroelektrik santrallerden karşılayan Türkiye'de, üretilen enerjinin %39'u sanayide, %30'u konutlarda, %21'i ulaşımda ve %5'i tarımda tüketilmektedir [7]. Bütün bu bilgiler ışığında, doğabilecek bir enerji darboğazında ilk etkilenecek alanların konutlar ve

sanayi sektörü olduğu açıkça görülmektedir. Günümüz koşullarında dahi enerji alımı yapmak zorunda olan Türkiye için geleceğe yönelik tahminler olumlu bir izlenim vermemektedir. Bu durumda iki seçenek vardır; yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek (Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji vb.) veya enerji verimliliği çalışmalarlarıyla daha az enerji tüketmek. Birinci yöntem dışa bağımlı pahalı bir yatırımı ve yeni teknolojileri gerektirmektedir. İkinci yöntem ise, araştırmalarla ve mühendislik tasarımlarıyla sağlanabilir. Enerji tasarrufu, gelecekteki enerji açığını kapatacak yeterlilikte olmasa da, sorunun geciktirilmesinde büyük bir katkı sağlayacaktır. Kurutma işlemlerinde ise zaman, enerji ve maliyet kavramları düşünüldüğünde kurutma işleminin, enerji tüketimi yönünden optimizasyonu zorunlu hale gelmektedir. Pek çok sanayi kolunda enerji tüketiminin esas payını, kurutma işlemi için tüketilen enerji oluşturmaktadır. Kurutma işlemleri günümüzde çok iyi anlaşılmamaktadır. Uygun teknolojilerin kullanımı sonucu önemli miktarda enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Kurutma sisteminin tasarlanmasında amaç, en az enerji ile en kısa sürede, en kaliteli ürünün elde edilmesi olmalıdır [8].

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmada defne yaprağı kurutmasında kullanılan tünel tipi kurutma sisteminin enerji ihtiyacı, deniz suyu kaynaklı bir ısı pompası ile sağlanacaktır. Sistemde defne yaprağı kurutması için; kurutma süresini ve kalitesini etkileyen parametreler (kurutma havası hızı, deniz suyu debisi, ürünün kondensere olan uzaklığı, kurutma maliyeti, enerji tüketimi) incelenmiş ve analiz edilmiştir.

1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı pompalı kurutma sistemleri ve kurutma ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Araştırma yapılırken defne yaprağı kurutma, bitkilerin kurutulması, su kaynaklı ısı pompaları ve ısı pompalı kurutucular ayrı ayrı incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Kuzgunkaya, bu çalışmada defne yaprağı kurutmak için güneş enerjisi destekli jeotermal ısı pompalı bir kurutucu yapmıştır. Kurutma fırınında 42 °C – 45 °C

sıcaklık aralıklarında deneyler yapmıştır. Deneylere ilişkin veriler Çizelge 1.1’de verilmiştir. Çizelge 1.1 incelendiğinde defne yaprağının kütle değişiminin, yaklaşık % 50 oranında olduğu görülmektedir. Kurutma işlemi 42 °C – 45 °C sıcaklık değerleri aralığında yapıldığında, kurutma süresinin 9 saat olduğu ortaya koyulmuştur. Kuru ağırlık bilgisi ve üfleme havası sıcaklığına göre kuruma süresinin belirlenmesi noktasında bu çalışma önemli bir yere sahiptir [9].

Çizelge 1.1. Kuzgunkaya’ya ait defne kurutma deneyi verileri [9].

Zaman	16.06.2005	17.06.2005	14.07.2005
saat	gram	gram	gram
0	10,2767	8,6903	7,0439
1	9,3485	7,4836	6,4568
2	8,3948	6,2370	5,9003
3	7,4883	5,7832	5,4215
4	6,8142	5,3070	4,9885
5	6,3500	4,9445	4,6056
6	5,9617	4,7236	4,3084
7	5,6521	4,5855	4,1043
8	5,4991	4,5111	3,9400
9	5,3982		3,8272

Göker vd., “Orman Yan Ürünlerinden Akdeniz Defnesi” isimli çalışmalarında defne yaprağının özellikleri ile ilgili bilgiler vermişlerdir. Defne yaprağının kurutulması ile ilgili 2 kg yaş defne yaprağından 1 kg kuru yaprak alınabileceğini ve 10 kg meyveden 1 kg yağ elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca herhangi bir nedenle ıslanan yaprağın, tekrar kuruma esnasında renk lekeleri oluşturacağını ve bunun standardı düşüreceğini belirtmişlerdir [10].

Demir vd., “ yaptıkları çalışmada defne yapraklarını (*Lauris Nobilis L.*) 40 °C, 50 °C, 60 °C hava sıcaklığında ve % 5, % 10, % 15 bağıl nem değerinde güneş altında kurutmuşlardır; gölge altında da deneyler yaparak sıcak hava da kurutmaya arasında kalite değişikliği olup olmadığını görmek istemişlerdir. Yaptıkları deneyler neticesinde defne yaprakları için 60 °C hava sıcaklığında kurutma sırasında hiçbir önemli kalite kaybı olmadığı sonucuna varılmıştır [11].

Günhan vd.,“Defne Yapraklarının Kurutulmasının Matematiksel Modeli” adlı çalışmalarında; defne yaprağı kurutmak için laboratuvar ölçekli bir kurutucu için matematiksel modelleme yapmışlardır. Isı pompalı kurutucu kabininde kurutucunun kullanılabilir enerji etkinliğinin kurutma havası sıcaklığının artmasıyla yükseldiğini göstermişlerdir. Yaptıkları deneylerde defne yaprağını 40 °C, 50 °C, 60 °C hava sıcaklıklarında ve % 5, % 10, % 15 bağıl nem oranlarındaki ortam şartlarında güneş altında kurutmaya tabi tutmuşlardır. Literatür araştırmalarında belirledikleri 15 modeli birbiriyle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde aldıkları sonuçlar ışığında yeni bir matematiksel model ortaya koymuşlardır [12].

Phani vd., kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli bir kurutma sisteminde deneyler yapmışlardır. Bahsi geçen sistemde ürün kalite optimizasyonunu sağlamak için düşük sıcaklıklarda (30 - 35) °C kurutulması uygun olan bitkileri kurutmuşlardır. Deney verilerini analiz ettiklerinde özgül nem çekme oranının (SMER) 0,006 - 0,61 kg/kWh arasında olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca elektrikli tel ısıtıcı konvansiyonel kurutma sistemi ile ısı pompalı kurutma sistemi karşılaştırması yapılan çalışmada, ısı pompalı kurutma sisteminin kurutma süresinin % 65 azaldığı ve kullanılan enerjinin de % 22 oranında düştüğünü bildirmişlerdir [13].

Ceylan vd. ısı pompalı bir kurutucuda 4 mm kalınlığında dilimledikleri elmaları 4 °C, ortalama % 20 bağıl nem ve 2,8 m/s hava hızı şartlarında kurutmuşlardır. Kurutma işlemi sonunda 4,8 g su/g kuru madde su oranından 0,18 g su/g kuru madde su oranına üç buçuk saatte inildiğini ve kuru ürünün su aktivitesi değerinin 0,65 olduğunu bildirmişlerdir [14].

Oktay, kurutma deneylerini mekanik ısı pompalı kurutucuda yapmıştır. Deneylerde ıslak yün kurutmuştur. Değişken olarak hava hızı ve by – Pass hava oranı değişimini kullanmıştır. Hava hızını 0,78 - 1,50 kg/m²s arasındaki değerlerde denemiştir. By - Pass hava oranı - dönüş havası oranı % 20 - %80 arasında denemiştir. Tüm sistem SMER değeri dönüş havası oranına bağlı olarak 1,5 ve 2,8 kg / kWh arasında değiştiği bilgisini ve evaporatör hava oranları arttıkça hem tüm sistem performansı hem de SMER’in arttığı bilgisini ortaya koymuştur [15].

Oktay ve Hepbaşı, yaptıkları çalışmada mekanik ısı pompalı bir kurutucunun performansını değerlendirmişlerdir. Deneylede, kondenser ve evaporatör sıcaklıklarını ölçerek ısıtma tesir katsayısını hesaplamışlardır. Hesaplamaları neticesinde ısıtma tesir katsayısının 2,47 ile 3,95 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca ısı pompalı kurutucuda ölçülen değerler ışığında özgül nem çekme oranının (SMER) 0,65 ile 1,75 kg/kWh arasında değiştiği bilgisini ortaya koymuşlardır [16].

Aktaş vd. PLC kontrollü ısı pompalı bir kurutucuda deneysel olarak portakal kabuğu kurutmuşlardır. PLC ekranına girilen bağıl nem, sıcaklık ve hız değerleri sistemin çalışma şartlarını belirlemiştir. Kurutma havası bağıl nemini düşürmek için nem alma ünitesi kullanılmış ve bağıl nem değeri %7 - %14 aralığına düşürülmüştür. 45 °C sıcaklık, 1 m/s hava hızında yapılan kurutma deneyi sonucunda tüm sistem için COP_{ts} değeri ortalama 3,83 olarak hesaplanmıştır. Kurutma işlemi 8 saat 45 dakika sürmüş ve ürünlerdeki nem miktarı 3 g su/g kuru madde değerinden 0,09 g su/g kuru madde değerine düşmüştür [17].

Ceylan vd., yaptıkları çalışmada ısı pompası destekli bir kereste kurma fırınının enerji ve ekserji analizini değerlendirmişlerdir. Deneylede, 40 °C sıcaklık ve 0,8 m/s hava hızında yapılan kurutma işleminde kavak kerestelerinin 1,28 kg_{su}/kg_{kurumadde} nem oranından 0,15 kg_{su}/kg_{kurumadde} nem oranına 70 saatte indiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca çam keresteleri için yapılan deneylede 0,60 kg_{su}/kg_{kurumadde} nem oranından 0,15 kg_{su}/kg_{kurumadde} nem oranına 50 saatte indiği bilgisini ortaya koymuşlardır [18].

Prasertsan vd., ısı pompalı bir kurutucuda muz meyvesi kurutmuşlardır. Yapılan çalışmada, “ısı pompalı kurutucuların yüksek nem miktarına sahip materyaller için daha uygun olduğunu” ifade etmişlerdir. Ayrıca ısı pompalı kurutucuların işletme maliyetlerinin ekonomik olarak daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır [19,20].

Yaycı, konut ısıtması için tasarladığı ve imalatını yaptığı ısı pompalı sisteminde ısı kaynağı olarak Van Gölü suyunu kullanmıştır. Sistemini 50 °C – 40 °C, döşmeden ısıtma olarak tasarlamış ve soğutucu akışkan olarak R-12 ve R-22 kullanmıştır. 15 yıllık işletme maliyeti hesaplandığında mazot ve fuel – oil’e göre ekonomik olduğu bilgisini ortaya koymuştur [21].

Meyer ve Greyvenstein, yaptıkları çalışmada ısı pompalı kurutucuda tahıl kurutmuşlardır. Kurutma işlemi sırasında ısı pompalı sistemin çalışma süresinin az olması, diğer kurutucu tiplerine göre işletme maliyetinin daha düşük olmasına, dolayısıyla daha ekonomik olmasına sebep olmaktadır bilgisini ortaya koymuşlardır [22].

Aktaş kırmızıbiberleri, PID kontrollü ve güneş enerjisinin ön ısıtıcı olarak kullanıldığı ısı pompası destekli bir kurutucuda, ürünleri $0,914 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{yaşmadde}}$ nem miktarından $0,11 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{yaşmadde}}$ nem miktarına kadar kurutmuştur [23].

Querioz, domatesin kuruma kinetiğini belirlemek için ısı pompalı kurutucu ve elektrikli ısıtıcı kurutma sistemi kullanmıştır. Elde edilen veriler ışığında ısı pompasının *COP* değerinin 2,56 ile 2,68 aralığında değiştiğini hesaplamıştır. Ayrıca ısı pompalı sistem, elektrikli ısıtıcı sistemle karşılaştırıldığında enerji tüketiminin daha düşük olduğu dolayısıyla daha ekonomik olduğu bilgisi ortaya konulmuştur [24].

Fatouh vd., ısı pompalı bir kurutucuda nane, maydanoz ve ebegümece bitkilerini kurutmuşlardır. Isı pompası çevriminde akışkan olarak R - 134a gazı kullanmışlardır. Deneylede alınan veriler ışığında, maydanoz için en az $3684 \text{ kJ}/\text{H}_2\text{O}$, nane için en az $3982 \text{ kJ}/\text{H}_2\text{O}$ ve ebegümece için en az $4029 \text{ kJ}/\text{H}_2\text{O}$ enerji ihtiyacı olduğunu hesaplamışlardır [25].

Aktaş ve Kara tasarım ve imalatını yaptıkları güneş enerjili ısı pompalı bir kurutucuda, 5 mm kalınlığında dilimledikleri, başlangıç nem miktarı $6 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ olan kivileri $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $0,53 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ nem miktarına, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $0,25 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ nem miktarına, $45 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $0,14 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ nem miktarına, $50 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $0,15 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ nem miktarına kadar kurutmuşlardır. Tüm sistem *COP*_{TS} değerini ortalama 2,27 olarak hesaplamışlardır [26].

Tanker ve Tanker, defne yapraklarından elde ettikleri uçucu yağın % 2 oranında olduğu bilgisini paylaşmışlardır. Elde ettikleri defne uçucu yağında % 45 ile % 50 değerleri arasında 1,8 - sineol, % 30 oranında geraniol ve sitronellool, % 5 oranında

öjenol, metilöjenol ve asetilojenol olduğunu, bileşenlerle birlikte başta pinen olmak üzere oksijensiz terpenik maddelere rastlandığı bilgisini ortaya koymuşlardır [27].

Çakır, Eğirdir Gölü'nün 6°C sıcaklıktaki suyundan ısı pompası ile çektiği ısıyı toplu konut ısıtması için kullanmıştır. Tasarım ve imalatı yapılan sistem 55 °C, – 45 °C döşemeden ısıtma sistemi olarak kullanılmıştır. Akışkan olarak R-22 ve NH₃ kullanılmış ve katı yakıt kazanına göre daha ekonomik olduğu ortaya koyulmuştur. R-22 ile yapılan deneylerde *COP* değeri 3,5 olarak hesaplanmıştır. NH₃ ile yapılan deneylerde 45 °C – 35 °C panel ısıtma yapılmış ve R-22'li sistemden daha ekonomik olduğu bilgisine ulaşılmıştır [28].

Diaz - Maroto vd., yaptıkları çalışmada kurutma metodunun defne yaprağındaki uçucu yağın bileşimi üzerine etkisini incelemişlerdir. SDE, SPME yöntemleriyle elde edilen uçucu yağların bileşimleri arasındaki farklılığı (GC-MS) da karşılaştırmışlardır. SDE daha iyi kantitatif analiz sonuçları ortaya koymuştur. Kurutma yöntemi olarak oda sıcaklığında kurutma, kurutma fırınında 45 °C'de kurutma, dondurularak kurutma gibi metodlar kullanılmıştır. Elde edilen uçucu yağ bileşenlerinin oda sıcaklığında ve fırında kurutulan ürünlerde benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Dondurma ve dondurarak kurutma yöntemlerinde defne yaprağının aroma maddelerinde kayıplar olduğu gözlenirken, ögenol, elemisin, spathulenol, ve beta-ödesmol bileşenlerinin oranlarında yükselme olduğu bilgisi sunulmuştur [29].

Özgüven vd., tıbbi bitkilerin değişik kurutma ortamlarında kurutulmasının uçucu yağ oranı üzerine etkilerinin araştırdıkları çalışmada, gölgede ve güneşte kurutma ile kabin tipi kurutucuda (40 °C'de 12 saat) ve solar tünel tipi kurutucuda kurutma işlemlerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda, kurutma yönteminin bitkilerdeki uçucu yağ oranı üzerine etkili olduğu belirtilmiştir. En yüksek uçucu yağ oranları solar ve kabin kurutucuda kurutulan ürünler için *Lavandula Officinalis*, Aktaş vd. 5 mm kalınlığında dilimledikleri domatesi, tasarım ve imalatını yaptıkları 10 kg kapasiteli tüm elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını güneş enerjisinden alan bir kurutucuda kurutmuşlardır. Kurutma işlemi başında 16,39 g_{su}/g_{kurumadde} nem miktarına sahip domates dilimleri, 0,21 g_{su}/g_{kurumadde} nem miktarına kadar kurutulmuştur [30].

Karaoğul vd., Karadeniz ve Akdeniz Bölgesinde yetişen *Laurus nobilis* adlı Akdeniz defne yapraklarının destilasyonu sonucu elde edilen uçucu yağının kimyasal bileşimini belirlenmesi ve karşılaştırılması üzerine yaptıkları çalışmada, 33 farklı bileşim analiz etmişler ve ana bileşenler olarak Sabinene, 1,8 -Cineole, α - Terpinenylacetate olduğunu belirtmişlerdir. Analizler sonucu elde edilen defne uçucu yağının, bölgelere göre kimyasal bileşim olarak farklılaştığını tespit etmişlerdir [31].

akmak vd., yaptıkları çalışmada defne yaprağının konvansiyonel fırında 50, 60 ve 70°C’de ve mikrodalga fırında 180W güç seviyesinde ince tabaka kuruma davranışını incelemişlerdir. Lewis, Henderson ve Pabis, Page, two-term, two-term exponential, parabolic, logarithmic ve Midilli et al. olarak literatürde tanımlanan sekiz farklı ince tabaka kuruma modelini deneysel verilere uygulamışlardır. En yüksek dzeltiymiş belirleme katsayısı ile en düşük indirgenmiş ki-kare ve en düşük kök ortalama kare hatası deneysel verilerin hangi modele daha uygun olduğunu belirleme lt olarak seçmişlerdir. Midilli et al. modelini defne yaprağının fırında kurutulmasını temsil edecek düzeyde yeterli bulmuşlardır. Konvansiyonel fırın için etkin difüzyon katsayısını (D_{eff}) değerleri $1,52 \times 10^{-9}$ - $8,08 \times 10^{-9}$ - m^2/s arasında bulmuş, sıcaklığa bağımlı aktivasyon enerjisi konvansiyonel fırın için 40,10 kJ/mol olarak bulduklarını belirtmişlerdir [32].

Yağcıoğlu vd., doğal ve teknik kurutma koşullarında defne yaprağının kurutma karakteristiklerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Defne yaprakları Güneş altında kurutulurken hava koşulları olumsuz yönde değişkenlik gösterdiğinde, kurutma süresinin arttığını gözlemlemişlerdir. Teknik kurutmanın doğal yöntemlere göre daha verimli daha kaliteli sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Defne yaprağı için kurutma havası sıcaklığı 50 C - 60 C aralığında olduğunda defne yapraklarının temel yağ bileşim miktarlarının ve kalitesinin olumsuz etkilenmediğini belirtmişlerdir. Ayrıca defne yapraklarının içeriğinde % 10 nem kalana kadar yapılan kurutma deneylerinde, kurutma zamanı teknik kurutma geleneksel kurutma şekline göre 12 kat daha hızlı olduğu ve 40 C sıcaklıkta kurutma şartlarında yapılan deneylerde 8 kat hızlı olduğu ve hiçbir kalite kaybının yaşanmadığını ortaya koymuşlardır [33].

Aktaş ve Gören Karadeniz bölgesinden topladıkları defne yaprağını, PID kontrollü kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda 40 °C, 45 °C, 50 °C sıcaklık ve 1 m/s, 1,5 m/s hava hızlarında toplam altı deney yaparak kurutmuşlardır. Kurutma havası bağıl nemini düşürmek için kullanılan nem alma ünitesi sayesinde kurutma havası bağıl nemi % 4 - % 11 aralığında tutulmuştur. 45 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hava hızı değerlerinde yapılan deney için tüm sistem COP_{ts} değerini 3,02 olarak hesaplamışlardır. Kurutulan defne yaprakları için su aktivitesi değerini 0,49 – 0,55 aralığında ölçmüşlerdir [34].

Motevali vd., bu çalışmalarında farklı kurutma yöntemleriyle papatya kurutmuşlardır. Enerji çıkışı, ısı çıkışı, kurutma verimi ve enerji verimi hesaplamaları yapılmış olup en yüksek enerji çıkışının % 49, 9 değeri ile mikrodalga kurutucuya ait olduğu bilgisi ortaya koyulmuştur [35].

Motevali vd., mikrodalga – konvektif bir kurutucuda papatya kurutmuşlardır. Sistemin kurutma karakteristiği ve enerji bakımından matematiksel modeli incelenmiştir. Deneyler 200 – 900 W aralığında, sekiz farklı güçte, hava sıcaklığı 50 °C ve hava hızı 0,5 m/s şartlarında yapılmıştır. Enerji hesaplamaları sonucunda, en iyi deney şartlarının 400 W, 50 °C ve 0,5 m/s olduğu bildirilmiştir [36].

Motevali vd., farklı kurutma sistemlerinde enerji tüketimini değerlendirme amaçlı yaptıkları çalışmada; konveksiyonla kurutma yapan bir kurutucuda, altı farklı sıcaklıkta, üç farklı hava hızı denemişlerdir. Mikrodalga kurutucuda üç farklı güç, vakum kurutucuda 250 kPa basınç altında beş farklı sıcaklık, kızılötesi kurutucuda üç aydınlatma kademesinde ve dört hava hızında deneyler yapılmıştır. Kızılötesi kurutmada hava hızı artışının süreyi uzattığı bilgisi paylaşılmıştır.[37].

Shinde vd., orthodox ve CTC çayı kurutmak için sıcak havalı radyo frekanslı ve hibrit kurutucu kullanılmış, kurutma süreleri, kalite parametreleri karşılaştırılmıştır. RF kurutma için kurutma süreleri orthodox çayı için 60 dakika, CTC çayı için 90 dakika olarak belirlenmiştir. Hibrit kurutucuda ise bu sürelerin 20 kW gücünde 5'er dakika kısaldığı bilgisi ortaya koyulmuş, kuru ürün için kalite karşılaştırması yapılmıştır [38].

Literatür araştırması incelendiğinde, kurutma sistemlerinde enerji verimliliği açısından ısı pompalı sistemlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu sistemlerde farklı ısı kaynakları kullanılmış çoğu zaman güneş enerjisi ile desteklenmiştir. İncelenen çalışmalarda kuruma süresi, kuru ürün ağırlığı, kalitesi, su aktivitesi değerlerinin saptanmasının ve özgül nem çekme oranı, sistem performansı gibi hesaplamaların ön planda olduğu grlmştir.

BÖLÜM 2

DEFNE VE ÖZELLİKLERİ

Türkiye kurutulmuş ihraç edilen yıllık defne yaprağı üretimiyle dünya defne ticaretinin % 97'sini elinde bulundurmaktadır [39]. Türkiye'de defne yaprağı ve yağının elde edildiği ağaç Lauraceae familyasından *Laurus nobilis* L. (Akdeniz defnesi)'dir. Bazen 10 metreye kadar boylanabilen ağaç, bazen de bodur ya da boylu ağaççık durumunda bulunur. Yapraklar 5 - 10 cm uzunlukta, kısa saplı (5 - 8 mm) derimsi, her iki ucu dar elips biçiminde, kenarları hafif dalgalı, üst yüzü koyu parlak yeşil, alt yüzü açık mat yeşil renkte, tüysüz, yaz kış dökülmez ve dalda duruşları almaçlıdır [40]. Türkiye'nin bütün kıyı şeridinde doğal olarak bulunur. Akdeniz ve Ege bölgelerimizde subtropik iklimin etkisini gösterdiği oranda içerilere kadar da yayılmaktadır. Yer yer 600 - 800 m'ye kadar çıkabilen defne, kışın ılıman, yazları sıcak yerleri sever. Toprak isteği fazla olmamakla beraber rutubeti yeterli dere yataklarını tercih eder [41]. Toprak bünyesi ise balçık, kumlu balçık, balçıklı kum, kumlu killi balçık, killi balçık, kil olup, toprak pH'ı 6,70 - 7,96 arasındadır. Defnenin toprak isteği konusunda, kireçli, humuslu, serin toprakları sevdiği bilgisi mevcuttur. Doğal olarak yetiştiği alanların ortalama sıcaklığı nadiren sıfırın altına düşer ve yıllık yağış miktarı 600 - 2000 mm'nin arasında değişmektedir. Dikey yayılışı deniz seviyesinden başlamakta, güneyde 1000, hatta münferit halde 1100 m'ye kadar çıkabilmektedir. Defnenin yarananma ve kendini yenileme kabiliyeti olduğu kadar, hava kirliliğine karşı da çok dayanıklı olduğu ortaya konmuştur [42].

2.1. DEFNE YAPRAĞININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Defne yaprakları, 5 ile 10 cm uzunluğunda, 2 ile 5 cm genişliğinde, oval, ortası geniş, uç kısımları sivri, orta ve yan damarları ince, kenarlar bölgeleri hafif dalgalı, derimsi sert yapılı ve almaçlı dizilişlidir. Yaprakların üstü parlak, tüysüz, koyu yeşil renkte, altı üst yüzeye göre daha açık tonlardadır. Yaprak sapları dallara dik

konumda olduğundan ağaca koyu yeşil bir renk vermektedir [43]. Defnenin dal ve filiz verme kabiliyeti oldukça fazladır. Gövde kabuğu siyaha yakın renkte ve düzgün yapıdadır. Taze sürgünleri yeşil, devamı kırmızıya yakın siyah renkli ve tüsüzdür [44-50,58].



Şekil 2.1. Defne bitkisinde yapraklar ve çiçek tomurcukları [42].

2.2. DEFNE YAPRAĞININ TIBBİ VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

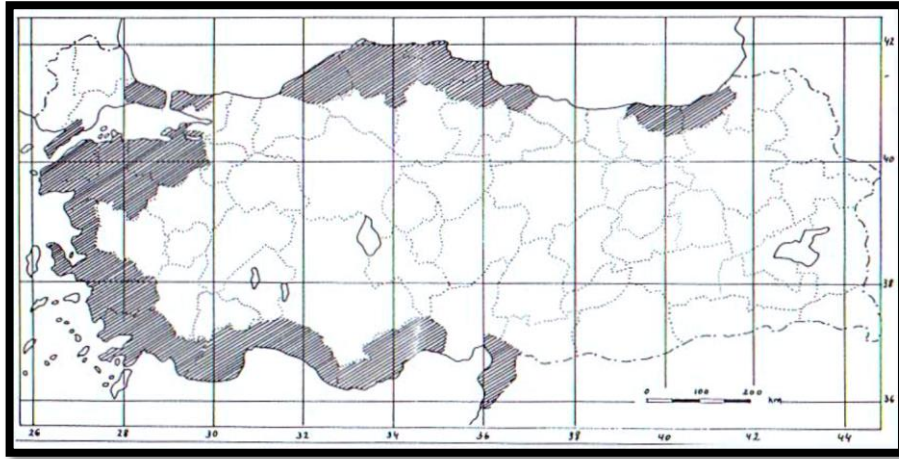
Defne yapraklarında tanen, acı madde, alkaloidler (reticuline, boldine vs.), flavonoidler ve uçucu yağ bulunur. Uçucu yağda sineol (% 35 ile %50 aralığında), ögenol, geraniol, linalool ve pinenler mevcuttur. Bu bitkinin yapraklarında (Folium Lauri) hoş kokulu uçucu yağ (Aetheroleum Lauri) vardır. Yapraklardaki uçucu yağ oranı % 0,5 ile 4,69 arasında olup, yağın kalitesi bölgesel olarak değişiklik göstermektedir. İçel, Muğla, Bursa ve Sinop bölgelerindeki defne yapraklarından elde edilen uçucu yağların ester ve aldehit miktarı ile serbest ve toplam alkol miktarları farklılık göstermektedir. Muğla'da yetişen defne yaprağında % 17,78 estere karşılık, Sinop defne yaprağında % 7,61 ester bulunmaktadır. Kuru defne yaprakları kurutulmuş incir ambalajlanmasında, balık ve et yemeklerinde baharat olarak fazlaca kullanılır [44-50,58].

Meyvelerinden elde edilen FructusLauri'de sabit ve eterik yağ bulunmakta ve bu yağ midevi ve antinevraljik olarak kullanılmaktadır. Meyvelerden presleme yöntemi ile % 25 - 30 oranında yağ elde edilmektedir. Antalya ve yöresinde meyveleri kaynatılarak elde edilen Tehnel yağı, dıştan ağrı dindirici ve bertiklerde yumuşatıcı

olarak kullanılmaktadır. Yapraklardan su buharı distilasyonu ile meyvelerden presleme ile elde edilen yağlar, özellikle sabun sanayiinde ve cilt merhemleri hazırlanmasında kullanılmaktadır [45]. Defne yaprakları çiğnendiğinde ağızdaki kötü kokuları giderir, sindirimi sağlayan salgıları artırır, iştah açıcıdır, hazmı rahatlatır, barsak gazlarını gidericidir, terletici özelliğe sahiptir, mikrop öldürücü, barsak kurtlarını dökücü, yapraklarından yapılan gargara diş çürümelerini önler, expectorant, mukolitik, antiviral, antifungal, antibakteriyel, kas gevşeticidir, böcek öldürücü ilaç olarak da kullanılmaktadır [42,48,51-54,58]. Kökünün kabukları kaynatılıp içildiğinde böbrek ve mesane kumlarını döker, idrar ve adet söktürücü özelliğe sahiptir [55].

2.3. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE DEFNENİN YAYILIŞ ALANLARI

Türkiye başta olmak üzere Cezayir, Belçika, İtalya, Fransa, Yunanistan, Meksika, Fas, Portekiz, İspanya, Arnavutluk, Romanya vb. ülkelerde ve Ege Denizindeki Yunan adalarında yayılış göstermektedir. Bunun dışında yayılış alanları Libya’nın doğu sahilleri, Suriye’nin batısı, Kırım ve özetle hemen hemen tüm batı Akdeniz havzasıdır. Rusya’nın Karadeniz kıyıları, Gürcistan ve İsrail’de kültüre alınarak yetiştirilmektedir.



Şekil 2.2. Defnenin Türkiye’deki yayılış alanları [56,58].

Ülkemizde en yaygın olduğu iller Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Balıkesir, Bursa, İstanbul, Zonguldak, Kastamonu, Sinop, Trabzon, Rize, İzmir, Muğla, Antalya,

Mersin, Hatay ve Maraş olup, yayılış alanları 0 - 1200 m rakımları arasında değişmektedir [56]. Türkiye için yapılan bir incelemede, defnenin toplam yayılış alanı 131,862 hektar, tahmini potansiyel verimi ise 12201326 kg/yıl olarak verilmiştir [57].

Türkiye’de defnenin yayılış alanının tamamen sahil bölgeleri olduğu Şekil 2.2’de görülmektedir. Kurutma sistemi tasarlanırken ısı pompası kaynağının deniz suyu olması düşüncesi bu bilgi ışığında ortaya çıkmıştır. Defne yaprağının hasat yerine yakın bir yerde kurutulması, ürünün nakliye maliyetini ortadan kaldırırken taşınma esnasında zarar görmesinin de önüne geçmektedir. Deniz suyu sıcaklığı tuzluluk sebebi ile 0 °C’nin altına düşmemektedir. Bu özelliğiyle kış şartlarında hava kaynaklı bir ısı pompasından daha verimli çalışacaktır.

2.4. DEFNE YAPRAĞI İLE İLGİLİ STANDARTLAR

Gıda sektöründe baharat olarak kullanılan yassı yapraklı ürünlerin kurutulması ve kurutulduktan sonrası için birçok standart bulunmaktadır. Halen yürürlükte olan madde – mamul türündeki TS 1017 “defne yaprağı” isimli standardın uluslararası karşılığı ISO 6576 (1984)’dır. Defne yaprağı için TS 1017’ye bakıldığında; aroma, renk ve koku özellikleri belirlenmektedir. Ürünlerin kurutulması işleminden sonra bu standartlara uygunluğu belirlenir. Türk Standartları Enstitüsü’nün (TSE) 1017 sayılı defne yaprağı standardında (1985), defne yaprağı tanımlanırken “deri gibi esnek, dar elips biçiminde kenarları hafif ondüle, ucu sivri veya küt kısa, üst yüzü yeşil alt yüzü sarıya yakın yeşil renkte olmalıdır” denmektedir. Kuru defne yaprağı için ise yumuşak, üst yüzü parlak, alt yüzü mat renkte olmalı, damarları üst yüzden hafif alt yüzden belirgin olarak görülmelidir diye tanımlanmaktadır. Defne yaprağı rutubet miktarı TS 2134’e göre tayin edildiğinde ağırlıkça % 8’i geçmemelidir. Defne yapraklarının sınıflandırılması; ekstra, birinci, sıra malı, kalbur altı şeklinde yapılmış, ekstra sınıfta yaprak boyu en az 25 mm, en çok 100 mm; yaprak eni en az 20 mm, en çok 45 mm olarak verilmiştir. Aroma ve lezzet açısından yaprak ezildiğinde defneye özgü hoş, keskin koku ve buruk acı tat duyulmalıdır. Defne yaprağında yabancı koku, özellikle küf kokusu olmamalıdır [58].

2.5. DEFNE YAPRAĞI KURUTMA PARAMETRELERİ

Defne yaprağı gibi aromatik bitkiler, içeriğinde bulundurdukları uçucu yağlar ve antioksidan maddeler sebebiyle tıbbi bitki olarak sınıflandırılmaktadır. Tıbbi bitkilerin kurutulması esnasında özellikle sıcaklık ve nem değerleri açısından daha dikkatli olunmalıdır.

Defne ağacından kesilen dallar ya birbirlerine dayandırılarak dik bir vaziyette ya da “presleme” adı verilen yöntemle dallar yapraklarıyla birlikte yere serilerek kurutulur. Yapraklar kuruyup düzgün bir şekil aldıktan sonra, dallar çırpılarak toplanır ve koni şeklinde hazırlanmış bir hazneye doldurulur. Hazneden aşağıya dökülen yapraklar işçiler tarafından, kalitesine göre 4 gruba ayrılır. Yarasız ve hastaliksız olanlar 1. kalite, diğerleri 2, 3 ve 4. kalite şeklinde sınıflandırılır. İlk üç sınıfa ayrılan yapraklar ihraç edilmek üzere paketlenirken 4. kalite yapraklar yağı çıkarılmak üzere ayrılır. Bu yapraklardan distilasyon yöntemi ile “defne (tehnél) yağı” elde edilir [39,58].

Defne yaprağının hasat yapıldıktan hemen sonra işleme konulması gerektiğini unutmamak gerekir. Yapılan çalışmalar sonucu yüksek uçucu yağ oranı elde etmek için defne yaprağı için hava akımlı kurutucudaki en uygun kurutma sıcaklığının 50 °C olduğu bilgisi ortaya konmuştur [43]. Kurutma sıcaklığı 50 °C'nin üzerine çıktıkça yağ oranında düşüşe sebep olmaktadır. 2 kg yaş defne yaprağından 1 kg kuru yaprak; 10 kg meyveden 1 kg yağ elde edilmektedir. Herhangi bir nedenle ıslanan yaprağın tekrar kuruma esnasında renk lekeleri oluşturması standardı düşürmektedir bilgisini ortaya koyulmuştur [41,58]. Buradan da anlaşılacağı üzere kurutma sonucunda yaklaşık olarak % 50 oranında bir ağırlık değişimi olması gerekmektedir. Bir başka çalışmada ise kurutma havası sıcaklığına ilişkin “defne yaprakları 60 °C hava sıcaklığında kuruma sırasında hiçbir önemli kalite kaybı yaşamamıştır” denilmektedir [11,58].

Tüm bu bilgiler, literatür verileri değerlendirilip göz önüne alındığında çalışmamızda, kurutma sisteminde kullanılacak kurutma havasının;

1. Sıcaklığının en fazla 60 °C seviyesinde olması,
2. Deneylede kullandığımız defne yaprakları için kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranının ise yaklaşık % 50 olması gerektiği düşünölmektedir [58].

BÖLÜM 3

KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1. KURUTMA

Kuruma; bir maddenin içindeki sıvının ayrılarak maddeyi terk etmesidir. Teknik kurutmada ise kuruma işlemine müdahale edilerek madde içindeki nem değişik yöntemlerle uzaklaştırılır. Kuruyacak ürünün nem miktarının hedeflenen kuruluk oranına belli bir sürede getirilmesi kuruma olarak tanımlanır. Belli bir sürede ürünün istenilen kuruluk değerine indirilmesini sağlayan ve farklı birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, nem verme vb.) ünitelerin tamamına da “kurutma sistemi” denilmektedir. Kurutmada kullanılan sistemler, birçok sanayi dalında (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) kullanılmaktadır [59,62].

Gıdalar için ifade edilirse 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 [59,64].

Gıdaların kurutulması, ilk çağlardan bu yana kullanılan en eski gıda muhafaza yöntemidir. Bu yöntem doğada kendiliğinden gerçekleşmekte ve örnek olarak, baklagiller ve tahıllar ekildiği yerlerde doğal bir şekilde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Doğada kuruma, güneş ışınımı ile olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yöntemle gerçekleşmesi imkansızdır. Her ürün güneşte kurutulmaya uygun değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulması zorunluluk arz etmiştir [59,63].

Kurutma sistemlerinde genellikle fırın çıkış havası ısı verim göz önüne alınarak sistemde tekrar dolaştırılır. Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken husus dönüş

havası ile dış havanın karışım oranının optimize edilmesidir. Karışım havasının nemi devamlı surette ölçülmeli istenmeyen değerlere ulaştığında müdahale 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 [59,61].

Bir katı kururken, iki süreç oluşmakta ve bu süreçlerden birincisi sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan ısı transferi ve diğeri de; buhar ve iç sıvı kütlelerinin transferidir. Her bir işlemin oranını belirleyen faktörler kurutma hızını da belirler. Kurutma işlemi ticari amaçla yapılıyorsa kurutma için gereken ısıyı en verimli şekilde sağlamak gerekir. Isı transferi; iletim, taşınım ve ışınım veya üç ısı transfer şeklinin bir arada olduğu biçimde gerçekleşir. Endüstriyel kurutucu tipleri, katıya olan ısı transferi yöntemlerine bağlı olarak değişir. Genelde ısı, katının içinden önce dış katmanına nüfuz eder. Bu durumun tersi yüksek frekanslı elektrik akımları aracılığıyla oluşur. Bu nedenle katının iç katmanının sıcaklığı dış katmanına göre daha yüksektir ve ısı akışı iç katmandan dış katmana doğru oluşur [59,65].

3.2. KURUMA SÜRESİNİN BULUNMASI

Kurutma süresi 3 şekilde bulunabilir:

1. Ticari bir makinenin özellikleri benzeşim yöntemi ile oluşturulur ve laboratuvar ortamında testler yapılır veya ticari makineyi kullanarak verim değerleri elde edilir.
2. Kurutulmak istenen madde elde edilemezse, yukarıda verilen yöntemlerden biri kullanılarak benzer bir malzemenin kurutulması ile veri toplanır.
3. Kuruma zamanı teorik eşitlikler ile hesaplanır (bu yöntem uygulanırken kullanılacak yaklaşık değerlere dikkat edilmelidir) [59,61].

Endüstriyel ticari bir cihaz tasarlanırken önce prototip çalışması yapılmalı ve deneysel veri analizi ortaya koyulmalıdır. Prototip deney setinde kurutulan ürünler ticari kurutma ürünü ile aynı ya da benzer özelliklerde olmalıdır. Farklı

numunelerden alınan sonuçlar birbiri ile kıyaslanmalıdır. Bunlara rağmen elde edilen bulgular ticari sistemin çalışma şartlarını ve sonuçlarını tam anlamıyla karşılamayabilir. Prototip imalatı ve deneysel analizinin yapımı zor olduğu durumlarda, ticari kurutma sistemi verileri, sistem tasarım ve imalatçıların uygulama deneyimleri ile ön görülebilir [59,65].

3.3. KURUTMA İŞLEMİ İÇİN SİSTEM SEÇİMİ

Kurutma işlemini gerçekleştirecek cihaz seçimi yapılırken üç ısı transferi şekli (iletim taşınım, ışınım) göz önüne alınır. Taşınım ile kurutma mantığına sahip sistemlerde taşınımı sağlayan gazdır ve genellikle de bu gaz havadır. Isıtılan hava kurutulacak ürünün her yerinden geçirilir. Bu metoda genellikle sıcak hava ile kurutma adı verilir. İletimle kurutma metodunda ise ısı doğrudan temasla ürüne iletilir. Kurutulacak ürün sabit veya hareket halinde iken sıcak yüzeye temas eder ve kuruma gerçekleşir. Işınım ile kurutmada ısı, ürüne; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir ışınım kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle ışınım ile kurutmada, mikrodalga, di-elektrik veya kızılötesi ışın gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [59,63].

Kurutulması planlanan ürünün kuruma özellikleri değerlendirilerek bu üç metot arasından biri seçilir [59].

Kurutma sistem tasarım ve imalatı aşamasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktör kurutma birim maliyeti yani harcanan enerjidir. Dikkat edilmesi gereken diğer noktalar ise; kurutma tesisi kurulum maliyeti, kurutulacak ürünün yapısal özellikleri, kuruma karakteristiği ve kurutma sistemi tipidir [59].

Kurutma sistemi belirlenirken yapılması gerekenler sırasıyla,

1. En doğru kurutma sisteminin araştırılması,
2. Yapımı düşünülen kurutucu tiplerinin maliyet analizlerinin yapılması(kurulum ve işletme maliyeti),

3. Deneysel veri analizi yapılacak prototip için uygun bileşenlerin bulunması ve sağlıklı deney ortamının hazırlanması
4. Kurutulan numunelerin deney neticelerinin değerlendirilmesi [59,65,66].

Kurutma tesisinde kurulum maliyetini etkileyen faktörler ise şöyle sıralanabilir;

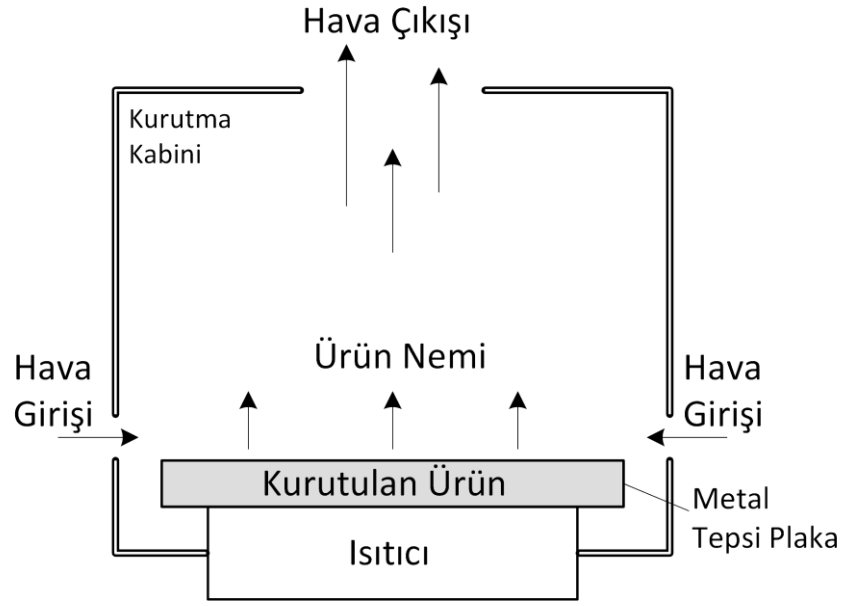
1. Kuru ürün kalitesi (kesinlikle ödün verilmez)
2. Tozlanma, çözücü veya diğer ürün kayıpları
3. Tesisin kurulacağı alanın boyutları
4. Kuru ürünün birim hacimde kapladığı miktar (ambalajlama giderlerini etkileyebilir) [59,65,66].

3.4. KURUTMA YÖNTEMLERİ

Kurutma işlemini yapacak sistem mutlaka ürün özelliklerine göre belirlenmelidir. Kurutulan ürünün kalite derecesi kurutma havasının psikrometrik ve fiziksel özellikleri ile birebir alakalıdır. Kurutulacak ürünün ilk ve son nem miktarları, saatte kurutulabileceği ürün miktarı da sistem boyutunun belirlenmesinde dikkat edilecek hususlardır. Günümüzde kullanılan birçok kurutma sistemi vardır ve bunlar aşağıda açıklanmıştır [59].

3.4.1. İletim İle Kurutma

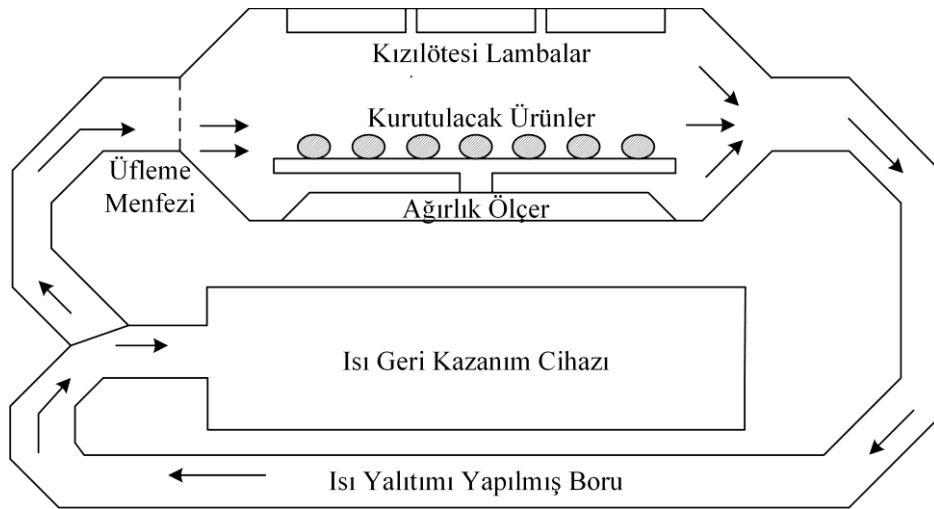
Şekil 3.1’de görülen iletim ile kurutma sistemlerine, kurutma silindirleri veya topları, açık kazanlar ve daldırma ısıtıcılar, düz yüzeyler örnek olarak verilebilir. Ürün ile kurutma yüzeyi bir biri ile temas halinde olmalıdır. İletim ile kurutma yapan sistemlerde fazla ısınmanın önüne geçen ürün içindeki nemdir. İletim ile kurutma yöntemi en çok kağıt sanayinde kullanılmaktadır. Bu kurutma yönteminde; yüksek kurutma hızı ve sabit bir ısı ve kütle transferi koşulları sağlanamaz, ağ boyunca zayıf bir nem profili oluşur, sistem kontrolü istenildiği gibi yapılamaz işletme maliyeti yüksektir, kurutucu çevresinde istenmeyen çalışma koşulları meydana gelmektedir [59,61].



Şekil 3.1. İletim ile kurutma.

3.4.2. Kızılötesi Işınımli Kurutma

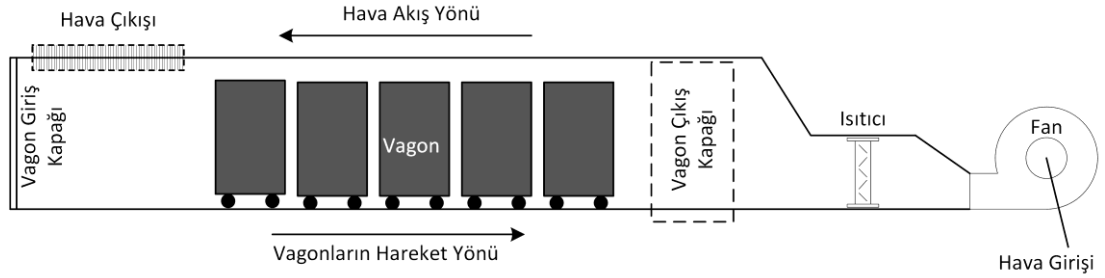
Isıl ışınlım, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır (Şekil 3.2). Kızılötesi, sadece bir malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince tabakaların kurutulması için uygundur [59,61].



Şekil 3.2. Kızılötesi ışınlımlı kurutma.

3.4.3. Taşınım İle Kurutma

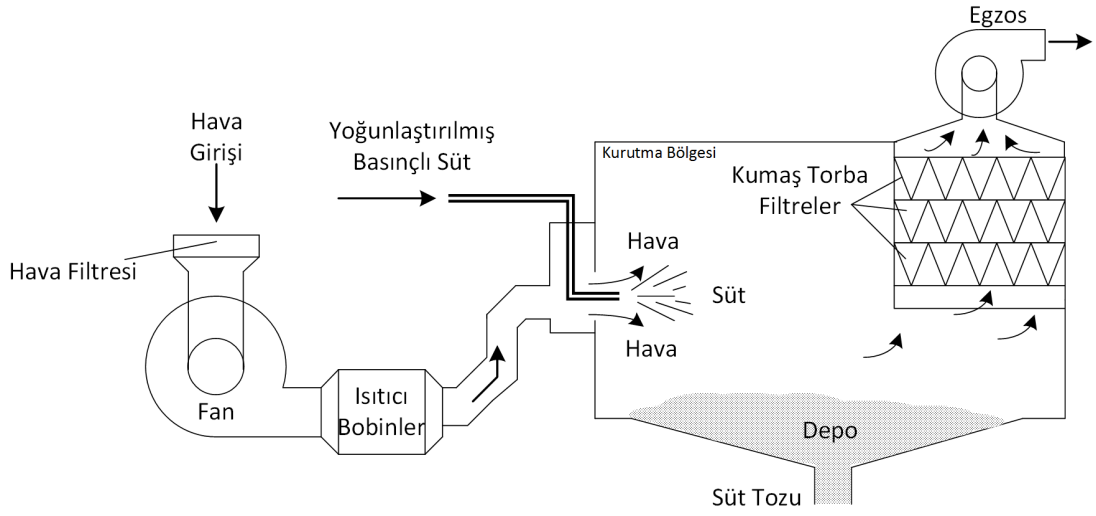
Hemen hemen bütün kurutucularda taşınım ile kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.3’de şematik gösterimi bulunan taşınım ile kurutma sistemi hava ya da başka bir gazın ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığı ve bu akışkanın sistemde dolaştırıldığı kurutma sistemleridir. Tünel kurutucular (ürünün hareket ettiği hava akışı), 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 [59].



Şekil 3.3. Taşınım ile kurutma.

3.4.4. Sprey Kurutucular

Sprey kurutucular genellikle gıda ve kimya sanayinde tercih edilmektedir. Sprey kurutucular 5 ile 15 saniye aralığında, gaz sıcaklığının 93 °C - 760 °C arasında olduğu kurutma sistemleridir. Kurutucu çıkış havasındaki parçacıklar, siklon ayırıcılar veya torba filtreler kullanılarak toplanır (Şekil 3.4) [59].

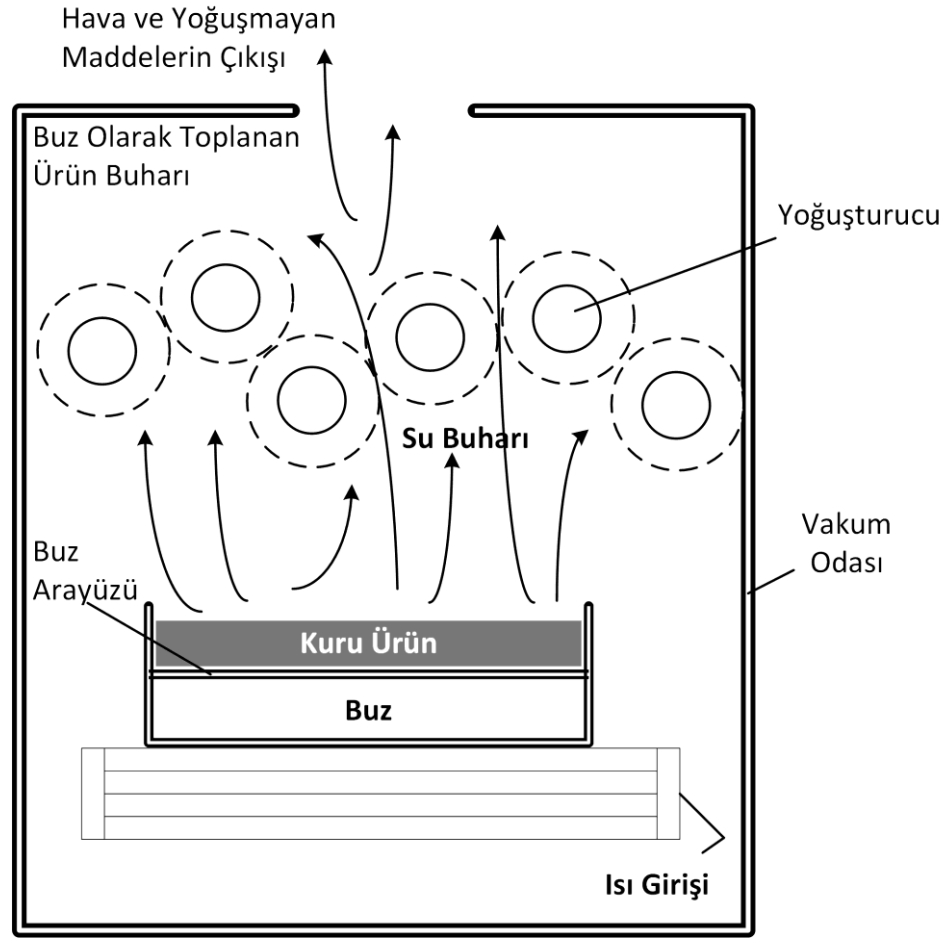


Şekil 3.4. Sprey kurutucu.

3.4.5. Dondurarak Kurutma

Dondurarak ya da şoklama yapılarak kurutma sistemleri genellikle ilaç sektöründe kullanılır. Şoklanan ya da dondurulan ürün düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum prosesine alınır [59].

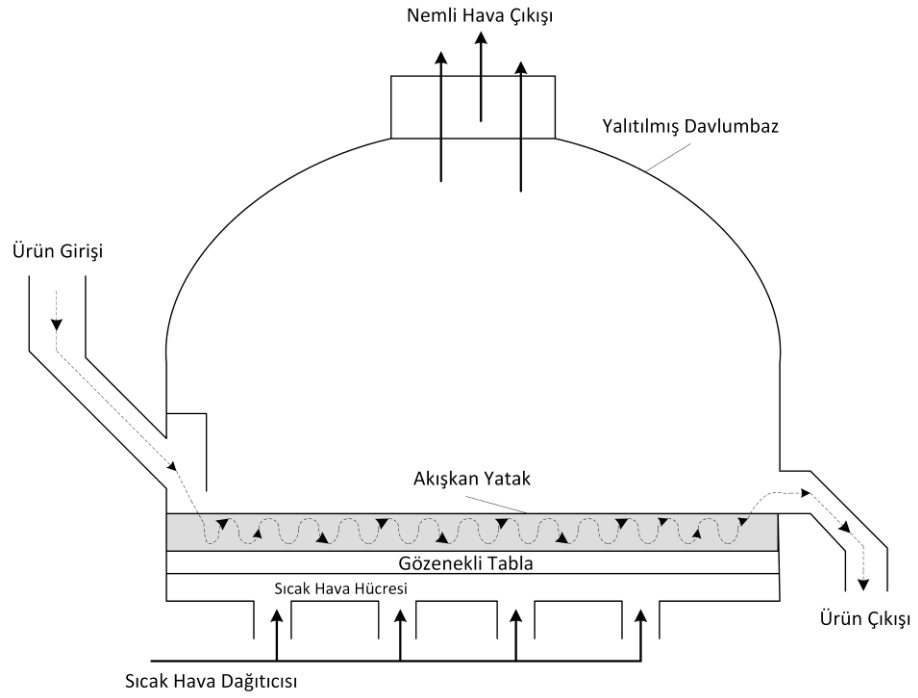
Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ısınım ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğuşur veya kimyasal kurutucu ile soğurur (Şekil 3.5). Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında - 40 °C ile - 10 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem yüksek maliyetli ve kurutma süresi açısından dezavantajlı olmasına karşın, ısıl duyarlılığı yüksek olan ürünler için uygundur [59].



Şekil 3.5. Dondurarak kurutma.

3.4.6. Akışkan Yataklı Kurutma

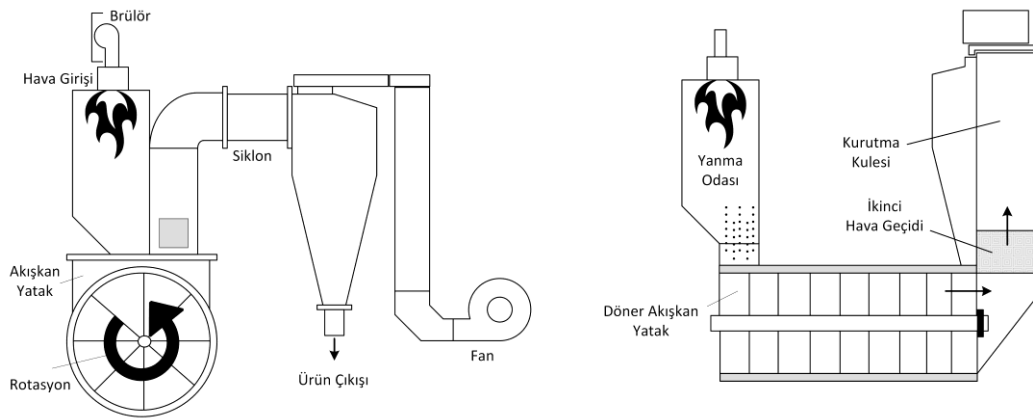
Şekil 3.6’da görülen akışkan yataklı kurutma sistemlerinde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık 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 [59].



Şekil 3.6. Akışkan yataklı kurutma.

3.4.7. Alevli (Flaş) Kurutma

Alevli (flaş) kurutma sistemlerinde düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisinde yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir (Şekil 3.7). Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulmaktadır [59,61].

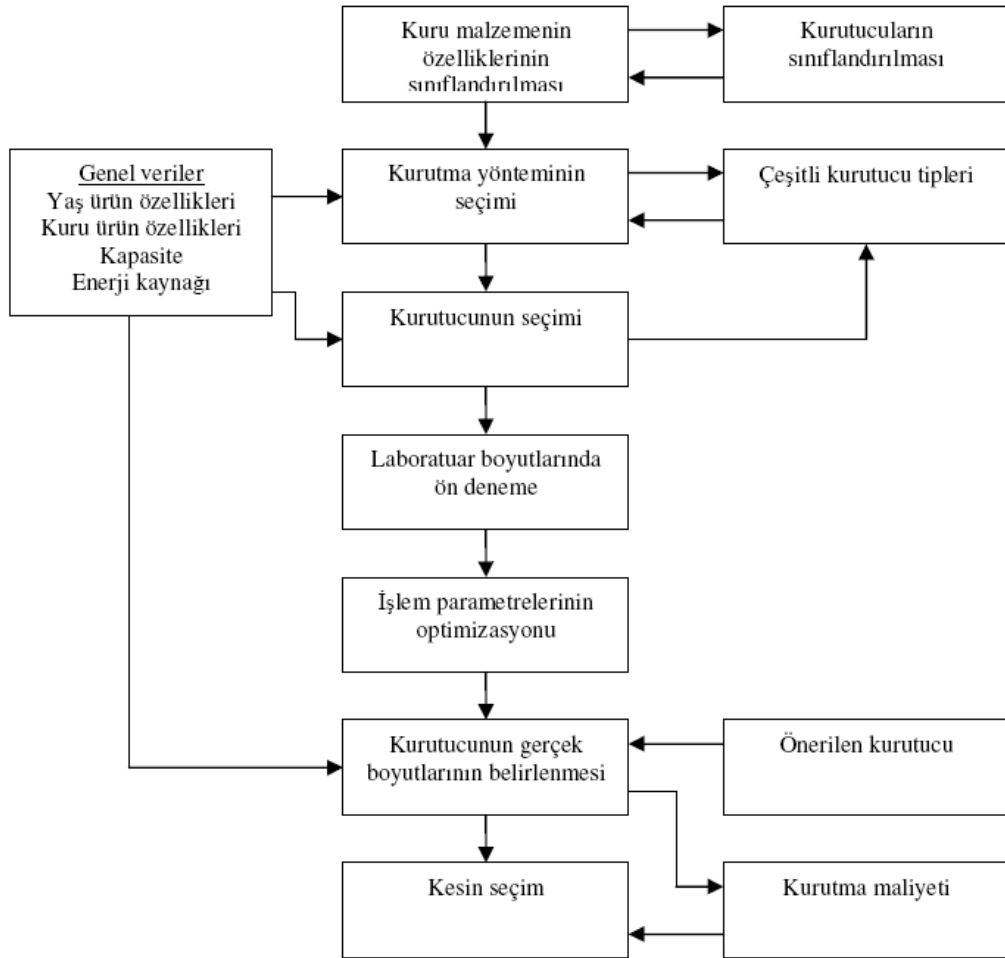


Şekil 3.7. Alevli (Flaş) kurutma.

3.5. KURUTUCU SEÇİMİ

Kurutucu tercihi doğrudan ürün kalitesini kurutma birim maliyetini etkilediği için çok önemlidir. Bir birinden çok farklı ürünler kurutabilecek kurutucu olmadığı göz önüne alınarak ürüne odaklı metod ve kurutucu seçmek doğru olacaktır [59].

Kurutma işlemi için birçok faktör göz önüne alınmalıdır. Ürünün özellikleri, ısı kaynağı, enerji kaynağı, kurutma havası ile ürün arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır. Sistem seçimi sırasında teknolojik gereksinimler, işletme maliyeti ve kurutulan ürünün kalitesi de dikkate alınarak kurutucu sistem değerlendirilmelidir. Kurutucu belirleme işlem adımları Şekil 3.8’de blok diyagramda gösterilmiştir [59,67].



Şekil 3.8. Kurutucu seçimi için işlem adımları [59,67].

Kurutucu tercihi belirlenirken ilk ve en önemli etken ürün özellikleridir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Ürünün statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorpsiyon), eş sıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır [59]. Kurutulacak ürün ne kadar iyi tanınırsa kurutucu seçimi o kadar başarılı olacaktır.

Kurutma metodu ve kurutucu alternatifleri belirlendikten sonra aralarında karşılaştırma yapılırken dikkate alınması gereken unsurlar [59,61].

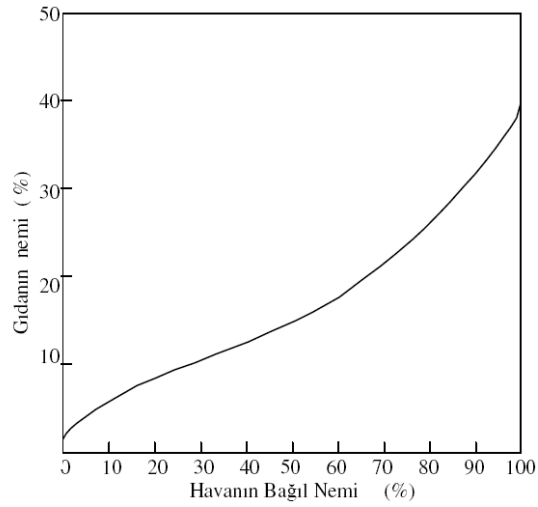
1. Tesis kurutma kapasitesi (günlük, aylık, yıllık)
2. Tesisin kurulum ve işletme giderleri
3. Kurutma süreci ve sonrasında üründen kayıp miktarı, kurutulan ürünün standartlara uygunluğu ve fiziksel beklentileri karşılama oranı
4. Kurutucu işletme kapasitesinin değişkenliği
5. Kurulum alanı, çevresel etkileri, estetik
6. İşletme esnasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi, bakım ve onarım kolaylığı

3.6. KURUTMA TEORİSİ

3.6.1. Denge Nemi

Bir kap içindeki su buharlaşarak kendisini çevreleyen atmosferle dengeye eriştiği gibi, herhangi ıslak bir madde de aynı davranışı göstererek bulunduğu sıcaklıkta kendisini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Şekil 3.9'da belli bir sıcaklık derecesinde farklı bağıl nem içeren şartlarda tutularak dengeye ulaşmış bir gıdada, gıdanın nem içeriği ile çevre havasının bağıl nemi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu ilişkiye “sorpsiyon izotermi” denir. Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi % 80 bağıl neme sahip olan bu gıdanın, atmosfer altında belli bir sıcaklıkta daima % 20 su içerdiği, yani bu şartlarda denge neminin % 20 olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla her gıdanın belli şartlarda ulaştığı denge nemi farklıdır

ve kendine özgüdür. Ürünün sorpsiyon izoterminin belirlenmesi için uygulanan en basit yöntemde, sorpsiyon izotermi saptanacak gıda maddesi, bağıl nemi sabit kalabilen kavanozlarda belli sıcaklıkta, dengeye erişilene kadar tutulur. Bir kavanozda istenen düzeyde nem içeren bir atmosfer oluşturmak için, kavanozun içine konan değişik tuzların çözeltilerinden yararlanılır. Böylece, içindeki atmosfer havasının bağıl neminin sabit kaldığı kavanozlara gıda maddesi uygun bir şekilde yerleştirilip, 20 °C'deki sorpsiyon izotermi bulunmuş olur [59,60].



Şekil 3.9. Nem sorpsiyon izotermi [59,60].

3.6.2. Kurutma Hızı

Kurutma ürün muhteviyatında bulunan suyun buhar fazına geçirilerek üründen ayrışmasıdır. Bu işlemin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan ısı buharlaşma ısısıdır ve normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak 1kg su için 2470 kJ/kg'dır. Bu üründen ayrışan su buharının kurutma ortamını da terk etmesi sağlanmalıdır [59,60]. Kurutma hızı kurutma havası sıcaklığı ile ters orantılıdır. Kurutma havası sıcaklığı arttıkça kurutma süresi azalmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus kurutma sıcaklığının ürünün kurutma karakteristiğine uygun olmasıdır. Aşırı yüksek sıcaklıklar üründe deformasyona yol açarken, aşırı düşük sıcaklıklar kuruma süresini uzatacağı için mikrobiyolojik bozulmalara yol açabilecektir. Kurutucu tipi, ortam şartları ve kurutulacak ürünün başlangıç nem miktarı da kurutma hızını belirleyen etkenlerdir.

3.6.3. Ürünün Su Aktivitesi

Bir gıdanın su aktivitesi (a_w), onun mikrobiyolojik veya kimyasal - biyokimyasal yollarla bozularak kalitesini kaybetmesi üzerinde rol oynayan önemli bir faktördür [59,68].

Gıdaların içerisindeki nemin bulunduğu ortam havasının bağıl nemi ile dengede bulunmasına “higroskopik denge” denir [59].

Çizelge 3.1’de bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli en düşük su aktivitesi değerleri görülmektedir. Gıdanın içerisindeki su oranının bulunduğu çevre havası bağıl nemi ile dengeye ulaştığında, çevre havası bağıl neminin 100’e bölünmesi ile o gıdaya ait mevcut su oranındaki su aktivitesi (a_w) bulunmuş olur ve Eşitlik 3.1 ile gösterilebilir [59].

$$a_w = \frac{CBN}{100} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1. Bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli düşük su aktivitesi (a_w) değerleri [59,63].

Oluşturulan Mikotoksinler	Küfler	Minimum Su Aktivitesi Değerleri	
		Faaliyet İçin	Toksin Üretimi İçin
Aflatoksin	Aspergillus Flavus	0,82	0,83 - 0,87
	A. Parasiticus	0,82	0,87
Ochratoksin	A. Ochraceus	0,77	0,85
	Penicillium Cyclopium	0,82 - 0,85	0,87 - 0,90
Patulin	P. Expansum	0,81	0,99
	P. Patulum	0,81	0,95
Stachybotryn	Stachybotrys Altra	0,94	0,94

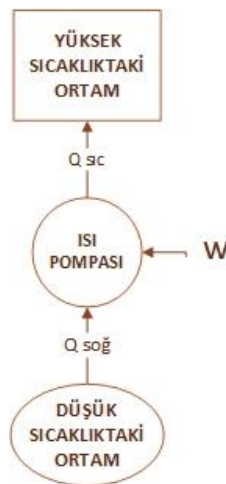
BÖLÜM 4

ISI POMPASI

4.1. ISI POMPASI VE TARİHÇESİ

4.1.1. Isı Pompasının Tanımı

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan çekip başka bir ortama aktaran genellikle elektrik enerjisi ile çalışan termodinamik bir sistemdir. Termodinamik kanunlarına göre enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece biçim değiştirir ya da bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşımaya" kabiliyetinden alır (Şekil 4.1). Buna en iyi örnek dalgıç pompalardır. Dalgıç pompanın suyu üretmediği gibi, ısı pompası da ısıyı üretmeyip sadece taşır. Dalgıç pompalarının su pompalaması için bir su kaynağına daldırılmalarına benzer olarak, ısı pompaları da yeryüzünde bir enerji kaynağına temas etmedikleri sürece ısıyı taşıyamazlar [69,70].



Şekil 4.1. Isı pompası termodinamiği.

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 mahallin soğutulması, ısı pompası ile bir mahallin soğutulması ve ısıtılması esastır [70,73].

Termodinamik açıdan temelde soğutucu ve ısı pompası arasında temel bir fark bulunmamaktadır. Sistem ilgi alanının yüksek sıcaklık bölgesi olması halinde "ısı 18 pompası", düşük sıcaklık bölgesi olması halinde ise "soğutucu" olarak isimlendirilmektedir. Isıtıcı ve serinletici işlevlerinin her ikisinin birden değerlendirilmesi ise olayın ekonomikliği açısından önem taşımaktadır. Termodinamiğin II. yasası, ısının düşük sıcaklık seviyesinden yüksek sıcaklık seviyesine transferi için yardımcı bir enerji kaynağının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu enerji ihtiyacı mekanik veya elektrik enerjisi şeklinde karşılanabildiği gibi ısı enerjisi şeklinde de karşılanabilmektedir [71].

4.1.2. Isı Pompasının Tarihsel Gelişimi

Gelişmiş ülkelerin kalkınmalarında, enerjinin ve dolayısıyla enerji kaynaklarının yeri çok önemlidir. Gelişmişliğin göstergesi olan enerji ve buna bağlı olarak kişi başına düşen tüketim miktarlarının değerlendirildiği günümüzde, fosil enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanılarak insanların hizmetine sunulması, sınırlı ve yenilenemeyen doğal kaynakların kısa zamanda tükenmesine hem de bilinçsiz tüketildiğinden çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır [74,75].

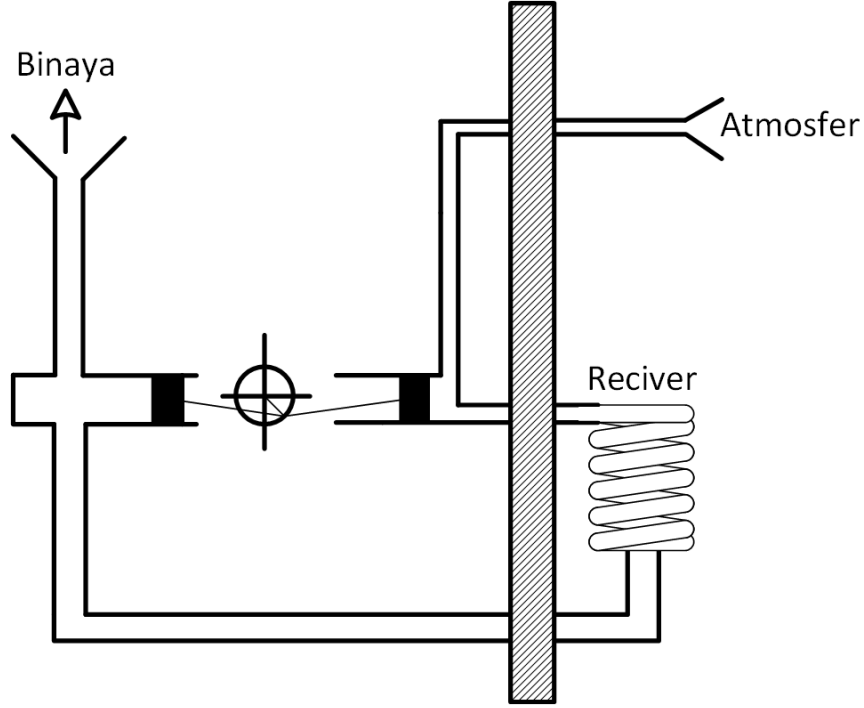
Enerji sorununun hızla arttığı günümüz dünyasında, yeni enerji kaynaklarına yönelik çalışmalarda ısı pompası hızla önem kazanmaktadır, çünkü ısı pompalarının enerji tasarrufu yönünden diğer sistemlere göre avantajlı olması, çevre kirliliğine neden olmamaları ve endüstriyel alanlarda kullanılabilme özelliğine sahip olmaları tercih edilmelerine neden olmaktadır. Ayrıca gürültüsüz çalışma, yağlama, bakım ve onarım maliyetleri, emniyet, kullanım ömrü gibi önemli dizayn problemleri bakımından da ısı pompaları, diğer sistemlere göre daha avantajlı özelliklere sahiptirler [74,76,77].

1973 enerji krizinden sonra ısı pompalarındaki gelişmeler önemli derecede artmış günlük hayatta kullanımları yaygınlaşmıştır. Isı pompasının enerji verimliliği tercih edilme sebebi olmuştur. Evlerde, ticari ve resmi binalarda ve endüstriyel tesislerde çok değişik uygulamaları mevcuttur [74].

Isı pompaları ile ilgili yayınlanan ilk bilimsel çalışma 1777'de, Nairne'nin buz üretimi için sülfirik asit ve su ile yaptığı çalışmadır. 1810 tarihinde Edinburgh'da bir matematik ve fizik profesörü olan John Leilie adındaki bir İskoçyalı, aynı prensibe dayanan bir cihaz geliştirdi. Yaklaşık 40 yıl sonra, bir Fransız olan Edmond Carre bu çalışmaları yeniden ele aldı ve el pompası ile çalışan sülfirik asit-su absorpsiyon tipi makinayı kurdu. 1862 yılında, Edmond Carre'nin kardeşi Ferdinand Ph.E. Carre, amonyak ve su ile çalışan absorpsiyonlu ısı pompası ile adına bir çok patent aldı. Ferdinand Carre evlerdeki buz üretiminde periyodik çalışan cihaz ve endüstriyel uygulamalar için sürekli çalışan cihaz olmak üzere iki tip cihazı tanımlamıştır. Ferdinand Carre; buz fabrikası, iklimlendirme, mayalama prosesi kontrolü gibi birçok çeşitli ileri uygulamaları da tarif etmiştir. Bu absorpsiyon tipi ısı pompaları çok güvenilir olmalarından dolayı Fransa, İngiltere ve Almanya'da birçok endüstriyel uygulamaları yapılmıştır [74,78].

Isı pompasının ilk basit çalışma ilkesi 1824 yılında Nicholas Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Bu kuram Lord Kelvin'in "Soğutma Cihazları Kullanılarak Isıtma Yapılması" düşüncesi ile gelişmiştir. Lord Kelvin, "ısı yükselticisi" adını verdiği cihazın çalışma ilkesini aynı yıllarda yayınlamıştır [74].

Lord Kelvin'in havayı iş gören akışkan olarak kullandığı bu sistemde dış ortam havası bir silindire çekilir ve burada genişletilerek, hem sıcaklığının hem de basıncının düşmesi sağlanır. Daha sonra hava dış ortama yerleştirilen bir ısı değiştiricisinden geçirilir. Böylece genişletilerek, soğuyan havanın dış ortamdan ısı alması sağlanır. Isınan hava tekrar atmosfer basıncına sıkıştırılarak odaya verilir ancak hava sıkıştırıldığı için sıcaklığı atmosfer sıcaklığından daha yüksektir. Lord Kelvin'in bu ısı toplayıcısı "Kelvin ısı toplayıcısı" olarak bilinir. Bu ısı toplayıcı Şekil 4.2'de gösterilmiştir [74,77].



Şekil 4.2. Kelvin ısı toplayıcı makinesi.

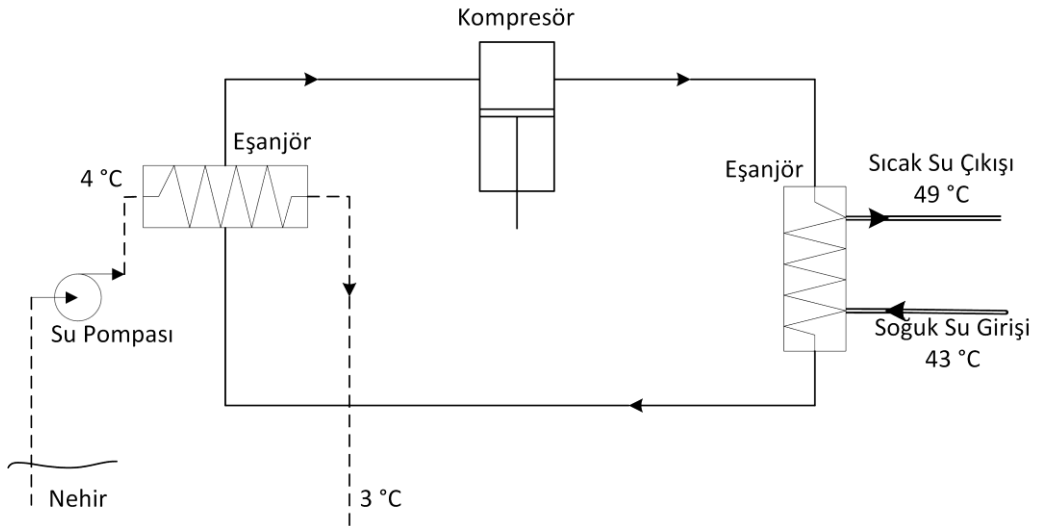
Bununla birlikte 1880'den sonra Alman Cari VonLinde'nin buhar sıkıştırılmalı tipteki ısı pompası, absorpsiyon tipi makinanın yerini almaya başladı ve yüzyılın sonlarına doğru bu cihaz gittikçe önemini kaybetti. Artık enerji kalitesinin artırılmasının önemli olduğu ilk zamanlarda, I. Dünya savaşının ardından absorpsiyonlu ısı pompaları yeniden değer kazandı. Isı pompalarının gelişmekte olduğu bu yıllarda, özellikle bu sahada yaptığı atılımlarla Alman E. Altenkirch, isim yapmıştır. Altenkirch, absorpsiyonlu ısı pompalarının, tersinir bir işleme yaklaşımlarının mümkün olduğunu gösterdi. Ardından birçok ısı pompası dizaynları ileri sürüldü. Ancak bu gibi düşüncelerin çoğu, pratik anlamdan ziyade teoride kaldı. Aynı zamanda, ısı pompası dizaynındaki bu teknik gelişmelerden başka, ısı pompası teorisi için termodinamik temeller de, entalpi - yoğunluk diyagramlarını ileri süren F. Merkel ve F. Bosnjakoviç'in çalışmaları vasıtasıyla önemli bir gelişme gösterdi. Böylece, absorpsiyonlu ısı pompası çevrimini incelemek mümkün oldu [74,79].

Daha sonra, entalpi - entropi diyagramı yardımıyla ısı makinesi analiz edilebilmiştir. Altenkirch'le çalışan K. Nesselman, ısı pompası çevriminin verimini değerlendirmek için referans bir çevrim tanımladı ve iş yapan maddelerin ısı özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ısı oranını inceledi. Nitekim değişik ısı pompası çevrimleri, ısı

pompasının gelişmekte olduğu ilk yıllarda açıkça görülebilir ve makineler arası rekabet ilk yıllarda olduğu gibi günümüzde de devam etmektedir [74].

Haldane, 1927'de İskoçya'da ev ısıtması için bir ısı pompası tesisatı kurmuştur. Bu ünite de, sıcak su ihtiyacı ve hacim ısıtması için ısı kaynağı olarak atmosferik çevre havası kullanılmıştır [74,80].

Avrupa'daki ilk ısı pompalarından birisi de, 1938'de Zürih'de kurulmuştur. Bu sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu, iş yapan akışkan olarak R 12 ve bir rotorlu kompresör kullanılmıştır (şekil 4.3). Zürih belediye binasının ısıtılmasını sağlayan bu ısı pompası 175 kW ısıtma gücünde olup, 60 °C ısıtma yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir [74,81].



şekil 4.3. Avrupa'da kurulan ilk ısı pompası.

Isı pompalarındaki bir diğer gelişme de, belli bir süre sonra ve özellikle de II. Dünya savaşından sonra ısı pompalarına olan talebin oldukça azalmasıdır. Bunun nedeni, bu zamanlarda bol enerji kaynaklarının olması idi [74].

Fakat daha sonra, 1973'de ilk petrol krizinden sonra ısı pompasına rağbet hızla arttı ve 1979'daki ikinci krizden sonra tekrar gelişmeye geçti. Petrol fiyatlarındaki çok hızlı artış, 1973'den önce 1 USS/varil seviyesinden, 1973'den sonra 7 USS/varil'e ve ardından 1982'de 30 - 40 USS/varile ulaşması, enerji kullanımına ve tesis dizaynına

bakış açısını tamamen değiştirdi. Enerji maliyetinin düşük olduğu zamanlarda uygulanan ve ekonomik sebebe dayanmayan enerji tasarrufu metotları, daha çok enerjinin pahalı olduğu dönemlerde elverişli konuma ulaşır. Bununla birlikte, birçok problemin endüstride uygulanan enerji tasarruf metotları ile ilgisi vardır. Bunların çok önemli olanlarından bazıları şunlardır;

1. Uygulanan enerji - tasarruf metotlarının gerekli olan teorik ve grafik bilgisi, ya gerçek uygulamalar için yeterli değildir, ya da kolayca elde edilemezler.
2. Çoğu durumda, hangisinin daha elverişli olduğuna karar vermenin zor olduğu birçok alternatif enerji ihtiyacını azaltma metotları, başka deyişle enerji - tasarruf teknikleri vardır.
3. Bazı durumlarda, enerji - tasarruf teknikleri kullanıcıları ile üreticileri arasında bir bilgi boşluğu vardır [74,76].

İngiltere’de Norwich’de yapılan ilk ısı pompası, bu teknik kullanılarak büyük binaların başarıyla ısıtılabilceğini göstermiştir. Isı pompası 14200 m³ hacmindeki bir binayı ısıtmak için kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak nehir, soğutkan olarak sülfür dioksit kullanılan sistemde 49 °C de sıcak su üretilmiştir. Sistemin ısıtma tesir katsayısı (ITK) ise 3’tür [74,82].

İngiltere’de ikinci ısı pompası Londra’da Royal Festival Hall’de kurulmuştur. 2,7 MW ısıtma gücüne (bu güç gerçek ısıtma talebinin çok üzerindedir) sahip olan sistem, yaz aylarında da soğutma yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Isı kaynağı olarak Thames nehri, soğutkan olarak R - 12 kullanılan sistemde ısıtma zamanlarında 71 °C de sıcak su ve soğutma zamanlarında da 4 °C de soğuk su elde edilmiştir. Kompresör tahriki için şehir gazıyla çalışan, 522 kW gücündeki Rolls - RoyceMarlin motor kullanılan sistemin ısıtma tesir katsayısı 5,1 ve birincil enerji oranı (BEO) 1,5 olarak bulunmuştur. Gereğinden büyük kapasitede olduğu için işletme ve bakım maliyetlerinin büyük olması nedeniyle sistem ekonomik olmamıştır. 1953’teki yatırım maliyetinin £103,2 olmasına rağmen uzmanlar doğru kapasite seçimiyle maliyetin £52,5 olacağını belirtmişlerdir [74,83,84].

Oxford'da Nuffield kolejinde kurulan ısı pompasında ise ısı kaynağı olarak sıcaklığı 16 °C - 24 °C arasında değişen lağım suyu kullanılmıştır. Kompresör 31 kW dizel motorla tahrik edilmiştir. Dizel motordan egzoz ve soğutma suyu ile atılan ısının bir atık ısı kazanı ve bir ısı eşanjörü kullanılarak geri kazanıldığı sistemde ısıtma tesir katsayısı (ITK) 4 olarak gerçekleşmiştir. Bu ısı pompası ile sıvı yakıt (Fuel - oil) yakan bir kalorifer kazanının işletme maliyetleri karşılaştırıldığında, ısı pompasının 9,86 pence/BTU, kazanın maliyeti ise 13,2 pence/BTU olarak bulunmuştur. Şayet ısı pompası elektrikle tahrik edilmiş olsaydı tahmini maliyetin 15,9 pence/BTU olacağı belirtilmiştir (maliyet hesapları 1963'deki kurlara göre yapılmıştır). O tarihte fuel - oilin fiyatı 13,75 pence/gallon ve elektriğin fiyatı 1,375 pence/kWh olduğu belirtilmektedir [74,85].

İlk paket tipi ısı pompası, 1932'de Amerika'da yapılmıştır. Amerika'da imal edilen ısı pompaları üniteleri 1940 yılı sonunda pazarlanmış ve 1982 yılında 1000 ısı pompası üretilerek piyasaya sürülmüştür. 1954'de imalat iki misline, 1957'de on misline çıkartılmıştır. Ardından 1963'de ise 76000 ısı pompası ünitesi imal edilmiştir. 1973 enerji krizinden sonra ısı pompalarına ilginin arttığı söylenebilir. Amerika'da 1978'den sonra yapılan binaların % 25'nin ısı pompası ile ısıtılması planlanmıştır [74,86].

Farklı enerji kaynaklarının maliyeti ve kullanılabilirliği için alınan tedbirler ve ısı pompası dizaynlarının geliştirilmesi çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir. Amerika'da 1971'de pazarlanan ısı pompası 82000 adet iken bu sayı, 1977'de 200000'e ve ardından 1979 yılında 547694'e ulaşmıştır [74,87].

Uluslararası Enerji Acentası (IEA) adına yapılan bir çalışmada, 1981'e kadar Amerika'da kullanılan ısı pompası sistemlerinin toplam 4,4 milyona ulaştığı, yıllık satışların % 80'inin hava - hava tipi ısı pompaları olduğu belirtilmiştir [74,87].

Isı pompaları ile atık enerjiden de yararlanmak mümkündür. Fabrika, otel ve sinema gibi yerlerde atık ısı enerjisinden yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanması, günümüzde tercih edilen uygulamalardan bir tanesidir. Bunun için öncelikle atık ısının enerji olarak büyüklüğü, sıcaklığı, ısıyı geri kazanma yolları, ısı alınan soğuk ortam, atılan akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, verimlilik ve benzeri hususlar

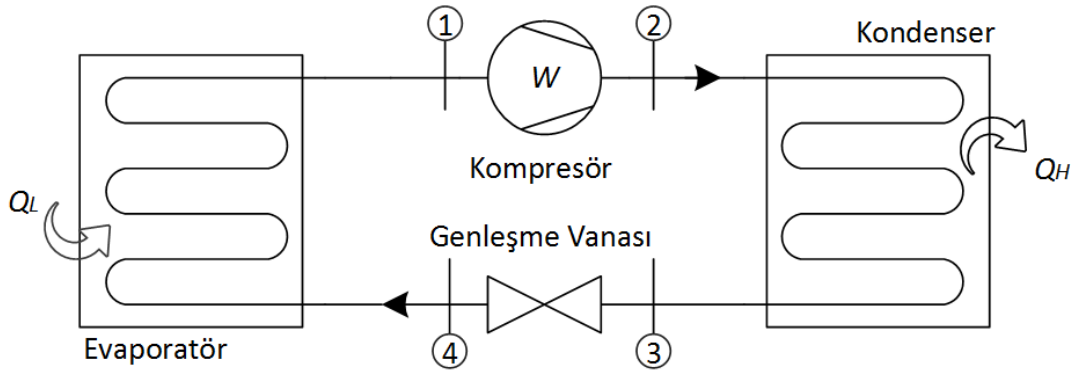
ile kullanma gayesi göz önüne alınarak çok yönlü inceleme yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda sadece ısıtma gayesiyle ısı pompası kullanılması verimli olmayabilir. Çeşitli gayelerle hem soğutma ve hem de ısıtma gereken hallerde, ısı pompaları en uygun çözüm yolu olabilir. Kurutma tesisleri, sportif tesisler, gıda ve tarım sanayiinden bazı çift yönlü uygulamaları örnek verilebilir [74,88].

Günümüzde endüstriyel, ticari ve evsel uygulamalarıyla ısı pompalarına olan ilgi Avrupa, ABD ve Japonya'da hızla artmaktadır. Uluslararası Enerji Acentası (IEA), Avrupa Komisyonu (The European Commission) gibi uluslararası organizasyonlar çok büyük ısı pompası programları ve ısı pompası teknolojileri geliştirmekte, mevcut ısı pompası teknolojisini yeni uygulama alanlarında kullanmaktadırlar [74,89,90].

Bugün özellikle gelişmiş ülkelerde, ısı pompalarından değişik amaçlarla yararlanılmaktadır. Bunların başında, konutların ısıtılması, gıda sanayiinde kurutma, iklimlendirme vb. gelmektedir. Buna rağmen ısı pompalarının kullanım yaygınlaştırmak, verimini yükseltmek ve alternatif kullanım alanları belirlemek için çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Isı pompasının öneminin yurdumuzda da anlaşılmasından sonra, ısıtma, iklimlendirme ve kurutma gibi alanlarda kullanılabilme imkanlarını belirlemek amacıyla başlanmış olan çalışmalara gruplar halinde devam edilmektedir [74,90].

4.2. ISI POMPASI ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir ısı pompasının temel bileşenleri iki adet ısı değiştirgeci, bir adet kompresör ve bir adet genişleme vanasıdır. Kullanılan ısı değiştirgeçlerinden biri buharlaştırıcı (evaporatör), diğeri yoğuşturucu (kondenser) olarak kullanılır. İdeal bir ısı pompasının şematik gösterimi Şekil 4.4'de verilmiştir [91].



Şekil 4.4. İdeal bir ısı pompası sisteminin şematik gösterimi.

Akışkanların (sıvı) faz değişiminde sıvı fazdan gaz faza geçişleri sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu şeklinde tezahür edebilir. Yani, sıvı fazdan gaz fazına geçiş anındaki sıcaklık tüm basınç değerlerinde aynı değildir. Faz değişim sıcaklığı basınçla orantılı bir halde değişmektedir. O halde yüksek basınçta akışkan sıvının buharlaşması, yüksek bir sıcaklıkta ve düşük basınçta akışkan sıvının buharlaşması düşük sıcaklıkta olmalıdır. Düşük basınçlı ortam ele alınır ve bu ortama buharlaşma basıncı ve sıcaklığı ortamdaki düşük bir akışkan gönderilirse, bu akışkan ortamdaki ısıyı absorbe ederek sıvı fazdan gaz fazına dönüşür. Böylece akışkan, ısı kapasitesine bağlı olarak ortamdaki ısıyı çeker. Elde edilen buhar, bir kompresörde sıkıştırılırsa, adiabatik şartlar dahilinde, sıvı buharının sıcaklık ve basıncı artacaktır. Bu kriterdeki sıvı buharı, bir kondenserde ısıyı alınırsa ve tekrar yoğuşturulup ortama verirse bir ısı pompası çevrimi tanımlanmış olur (Bkz. Şekil 4.1) [92].

Şekil 4.4'de görülen ısı pompası çevrimindeki evaporatör ısıyı alacak ortam olmaktadır. Olaya ısı depolama açısından bakılırsa elimizde atıl durumda bulunan bir ortamdaki ısı, akışkanın uygun basınç ve sıcaklık şartlarının sağlanması dahilinde emilir ve sıkıştırma neticesinde daha yüksek bir sıcaklığa erişilince elde edilen bu ısı tekrar kullanıma sunulabilir [92].

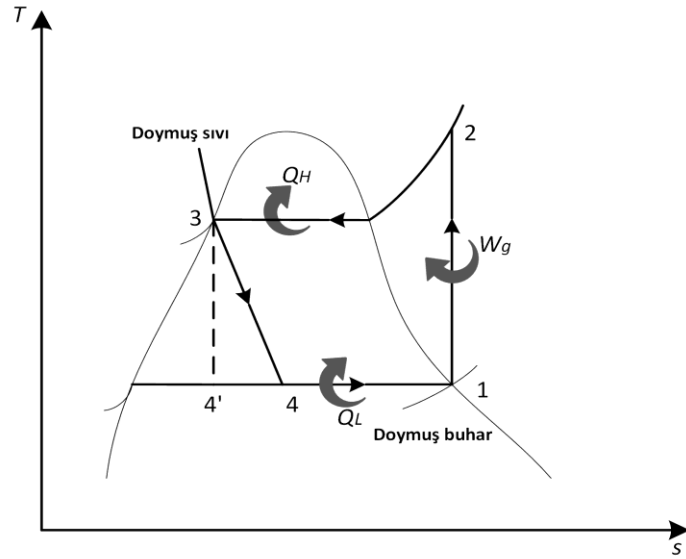
Tüm bu bilgiler dahilinde kompresör devrede bulunan soğutucu akışkanı kondensere yönünde sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonunda, kondensere gaz halinde gelen akışkan yüksek sıcaklıktaki ortama ısı vererek sıvı hale geçer. Bu hal değiştirme neticesinde yoğuşma gizli ısını atar. Kondensere sıvı halde çıkan soğutucu akışkan,

genleşme valfine gelir. Genleşme valfinden geçen akışkanın üstündeki basınç azalır. Kompresörün emme hattı üzerinde bulunan evaporatörde düşük basınç meydana gelir. Bu düşük basınç, evaporatöre giren soğutucu akışkanın buharlaşması için yeterlidir. Evaporatörde soğutucu akışkan sıvı halden gaz haline geçerken, buharlaşma gizli ısısını düşük sıcaklıktaki ortamdan alır [93].

Bu olaylar neticesinde, bir ısı pompası devresinde evaporatörün bulunduğu çevreden ısı alınır. Kondenserin bulunduğu çevreye ise ısı bırakılır. Çevre şartları ısı akışına engel olmamak şartıyla, her ortamda ısı pompasını çalıştırmak mümkündür [93].

Isı pompası sistemi ideal ve gerçek ısı pompası çevrimi olmak üzere iki şekilde incelenir.

4.2.1. İdeal Isı Pompası Çevrimi



Şekil 4.5. İdeal ısı pompası çevriminin T - s diyagramı.

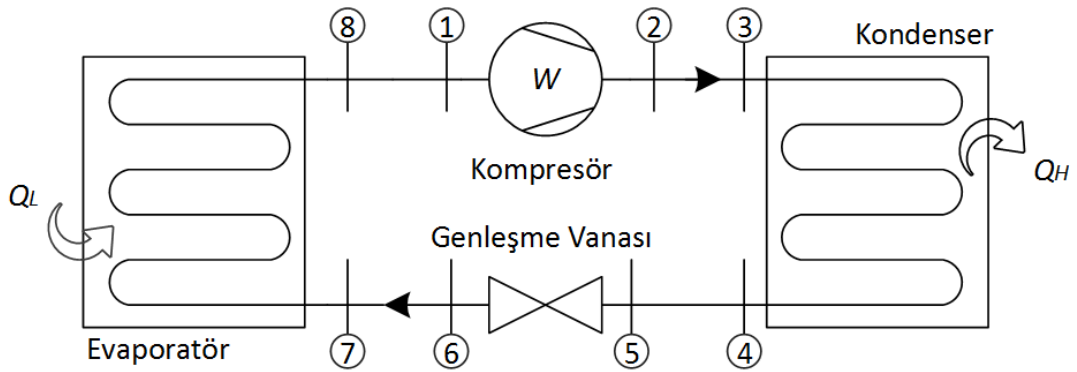
İdeal bir ısı pompası çevrimine ilişkin T - s diyagramı Şekil 4.5'de gösterilmiştir. İdeal ısı pompası çevriminde 1 numaralı durumdaki soğutucu akışkan doymuş buhar halindedir ve kompresöre girerek izentropik olarak yoğunlaştırıcı basıncına sıkıştırılır. Bu esnada kompresör vasıtasıyla sisteme iş girdisi yapılmış olur [91].

2 numaralı durumda kompresörden çıkan sıkıştırılmış soğutucu akışkan kızgın buhar halindedir ve sıcaklığı ısıtılan ortamın sıcaklığından daha yüksektir. Kızgın buhar yoğuşturucuya girerek burada önce doymuş buhar haline daha sonra da doymuş sıvı haline gelir. Bu yoğuşma sırasında ısıtılan ortama ısı geçişi oluşur [91].

Yoğuşturucu çıkışı olan 3 numaralı durumda soğutucu akışkan doymuş sıvı haline gelmiştir ancak sıcaklığı halen ortam sıcaklığından yüksektir. Daha sonra genleşme vanasından geçen soğutucu akışkanın basıncı buharlaştırıcı basıncına kadar düşürülür [91].

4 numaralı durumda soğutucu akışkanın sıcaklığı ortam sıcaklığının altına düşmüştür ve buharlaştırıcıya kuruluk derecesi düşük sıvı - buhar karışımı olarak girer. Buharlaştırıcıda, soğutulan ortandan ısı geçişiyle birlikte tamamen buharlaşarak tekrar 1 numaralı duruma gelir [91].

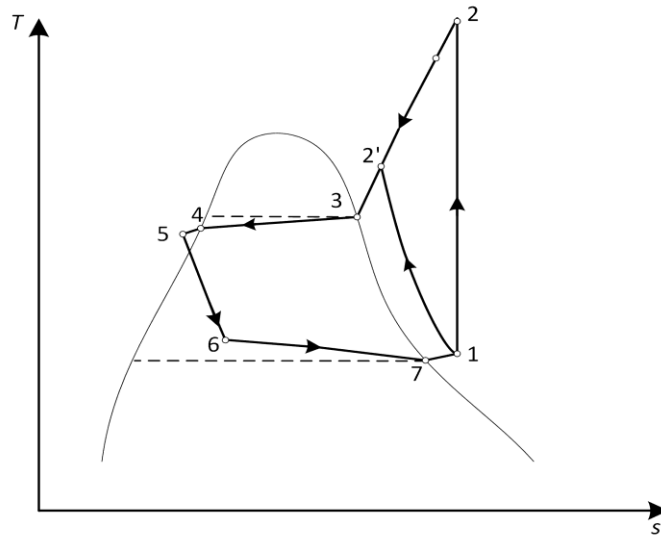
4.2.2. Gerçek Isı Pompası Çevrimi



Şekil 4.6. Gerçek ısı pompası çevriminin şematik gösterimi.

Gerçek çevrim, çevrimi oluşturan bileşenlerin tersinmezliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı ideal çevrime göre farklılık gösterir. Basıncın düşmesine neden olan akış sürtünmesi ve ortamlarla olan istenmeyen ısı alışverişi tersinmezliklere neden olur. Gerçek çevrimin akış şeması Şekil 4.6'da, T - s diyagramı da Şekil 4.7'de verilmiştir [91].

Gerçek çevrimde kompresör girişinde soğutucu akışkan bir miktar kızgın buhar olacak şekilde tasarlanır. Bunun nedeni, buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkanın doymuş sıvı halinde olmasının hassas bir biçimde kontrol edilememesidir. Akışkanın kompresöre sıvı halde girmesi kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Uygulamada buharlaştırıcı ile kompresör arasındaki bağlantının genellikle uzun olması akış sürtünmesi ile basınç düşümünün ve çevre ile ısı alışverişinin oluşmasına neden olur. Buna bağlı olarak soğutucu akışkanın özgül hacmi ve kompresör işi artar [91].



Şekil 4.7. Gerçek ısı pompası çevriminin T - s diyagramı.

Gerçek ısı pompası çevriminin T – s diyagramında;

- 1 – 2: Kompresörde adyabatik aşırı sıkıştırma
- 2 – 3: Aşırı kızdırma bölgesi
- 3 – 4: Sabit basınçta ısı atılması
- 4 – 5. Aşırı soğutma
- 5 – 6: Adyabatik Genleşme
- 6 – 7: Sabit basınçta ısı çekilmesi
- 7 – 1: Aşırı Kızdırma

İdeal çevrimde izentropik olan kompresörde sıkıştırma işlemi gerçek çevrimde bu şekilde gerçekleşmez. Akış sürtünmesi ve çevreyle olan ısı alışverişi oluşur.

Sürtünme entropinin artmasına neden olur. Isı alışverişinin olması, hangi yöne olduğuna bağlı olarak entropiyi artırır veya azaltır. Sıkıştırma sırasında kompresör gövdesinin dışarıdan su veya hava ile soğutulması durumunda işlem 1 - 2 yönünde olur. Aslında bu tercih edilen bir durumdur, çünkü kompresör işi azalır [91].

Akışkanın kısılma vanasına girmeden önce tamamıyla sıvı olması gerekir. Bu amaçla gerçek çevrimde soğutucu akışkan yoğuşturucudan çıktığında, akışkanın sıkıştırılmış sıvı bölgesinde olması istenir. Bunun için yoğuşturucuda aşırı soğutularak tamamen sıvı olması sağlanır. Soğutucu akışkanın aşırı soğutulması, entalpisini daha fazla düşürür ve buharlaştırıcıda ortamdan daha çok ısı alınabilmesini sağlar [91].

4.3. ISI POMPASI ELEMANLARI

4.3.1. Kompresörler

Kompresörler soğutma sisteminin kalbi olarak ele alınabilir. Soğutucu akışkanın çevrim boyunca dolaştırılarak soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ısı iletilmesi kompresörler yardımı ile meydana gelmektedir. Yani kompresörler, soğutma devrelerinde buharlaştırıcıda bulunan alçak basınçta buhar halindeki soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçta olan yoğuşturucuya gönderen iş yutan makinelerdir [72,95].

Çevrimde iki ana fonksiyonu olan bu ünite, soğutucu akışkanı sistem içerisinde dolaştırdığı için çoğunlukla, sistemin kalbi olarak bilinir. Isı pompası sistemlerinde kullanılan kompresörleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

1. Açık tip kompresörler (Open Type)
2. Yarı hermetik tip kompresörler
3. Hermetik tip kompresörler
4. Rotary (döner) tip kompresörler
5. Scroll tip kompresörler
6. Quatro - Flex tip kompresörler
7. Vidalı tip kompresörler [74,96].

4.3.2. Yoğuşturucular (Kondenser)

Soğutma sisteminde soğutucu akışkanın evaporatörden aldığı ısı ile kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilave olunan ısının sistemden alınması kondenserde yapılır. Bir başka deyişle ısıyı istenmediği yerden kabul gördüğü yere iletir. Böylece soğutucu akışkan sıvı hale gelerek basınçlandırılır ve tekrar genişletilerek evaporatörden ısı alacak hale getirilir [74].

Soğutma şekillerine göre kondenserler;

1. Su soğutmalı kondenserler
2. Hava soğutmalı kondenserler
3. Evaporatif (hava - su) kondenserler [74].

Çalışma prensiplerine göre kondenserler;

1. Gövde borulu kondenser
2. Helezon borulu kondenser
3. İç içe borulu kondenser [97].

Kondenserlerde ısı transferi 3 safhada oluşur. Bunlar;

1. Soğutucu akışkandan kızgınlığın alınması
2. Yoğuşturma
3. Aşırı soğutma

Kondenser alanının takriben % 85'i yoğuşturma olayına hizmet eder ki kondenserin asıl görevi budur. % 5 civarında bir alan kızgınlığın alınmasına ve % 10 ise aşırı soğutmaya hizmet eder [98,99].

4.3.3. Kısılma Vanaları

Kısılma vanaları soğutucu akışkanın basıncını arzu edilen buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır. Endüstriyel ve ticari iklimlendirme ve soğutma alanında kullanılan genel olarak beş tip kısılma vanası mevcuttur. Bunlar;

1. El ayar vanası
2. Otomatik kısılma vanası (OGV veya OXV)
3. Termostatik kısılma vanası (TGV veya TXV)
4. Elektrikli kısılma vanası
5. Kılcal boru
6. Şamandıralı ayar valfi [71,72].

4.3.4. Buharlaştırıcılar (Evaporatör)

Bir soğutma sisteminde soğutma serpantini olarak da adlandırılan buharlaştırıcılar, içerisindeki sıvı soğutucu akışkanı, buharlaşırken bulunduğu ortamdan ısıyı çekmesi esasına dayanan cihazlardır. Buharlaştırıcı bir maddeyi, soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısını kullanarak soğutur. Soğutma miktarı; buharlaştırıcı yüzey alanına, toplam ısı transfer katsayısına ve soğutucu akışkan ile soğutulan madde arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır [69,72].

Çalışma prensiplerine göre evaporatörler;

1. Gövde borulu evaporatörler
2. Koaksiyal evaporatörler
3. Kanatlı evaporatörler [97].

Soğutulacak maddenin durumuna göre evaporatörler;

1. Gaz haldeki maddeleri soğutucu evaporatörler (genellikle hava)
2. Sıvı haldeki maddeleri soğutucu evaporatörler (su, salamura, antifriz, metilen, glikol, kimyasal akışkanlar, vb.)

3. Katı haldeki maddeleri soğutucu evaporatörler (buz, buz paten sahası, metalller, vb.) [74,100].

4.3.5. Soğutucu Akışkanlar

Buhar sıkıştırma çevrimi esasına göre çalışan soğutma sistemlerinde, ısının taşınması görevini yapan ara maddelere soğutucu akışkan veya kısaltılmış şekliyle soğutkan adı verilmektedir. Soğutucu akışkanlar, soğutma, iklimlendirme ve ısı pompaları sistemlerinin en önemli temel akışkanlarıdır [101].

Ancak belli bir uygulama için seçilecek soğutucu akışkanın, ısıyı taşıyabilme özelliğinin yanında, toksisite, tutuşurluluk, yoğunluk ve vizkozite özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Soğutucu akışkanın seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer parametrede, akışkanın ısı alışverişinde bulunduğu ortam sıcaklıklarıdır. Isı alışverişinin olabilmesi için soğutucu akışkan ile ortam arasında 5 °C ile 10 °C'lik bir sıcaklık farkı sağlanmalıdır. Soğutma çevrimindeki en düşük basınç buharlaştırıcıda olur ve bu basınç, soğutma sistemine herhangi bir hava sızıntısının olmaması için, atmosfer basıncının üstünde olmalıdır. Dolayısıyla bir soğutucu akışkanın 1 atm'lik bir doyma basıncı veya yukarıdaki örnek için -20 °C'de doyma basıncı 1 atm'den yüksek olmalıdır. Isıtma çevrimi için ise ısı pompalarının tasarım basınçları önemlidir. Bu gün birçok ısı pompası 23 ila 26 bar basınç aralığında tasarlanmıştır. Bu basınç altındaki kondenzasyon sıcaklığı ısı pompalarında ısıtma limitini belirlemektedir [102].

Genel olarak bir soğutucu akışkanda aranması gereken özellikler şunlardır:

1. Az bir enerji (güç) sarfi ile daha çok soğutma elde edilebilmelidir,
2. Soğutucu akışkanın buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır,
3. Evaporatörde basınç mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır,
4. Yoğuşma (kondenser) basıncı düşük olmalıdır,
5. Viskitesi düşük ve yüzey gerilimi (kılcallığı) az olmalıdır,
6. Emniyetli ve güvenilir olmalıdır, nakli, depolanması, sisteme sarfı kolay gerçekleştirilebilmelidir,

7. Soğutma devresinde bulunmaması gereken rutubet (su) ile bulunması halinde bile çok zararlı reaksiyonlar meydana getirmemelidir,
8. Sistemden kaçması halinde, bilhassa yiyecek maddeleri üzerinde zararlı etki yapmamalıdır,
9. Sistemden kaçarak havaya karışması halinde civardaki insanlara ve diğer canlılara zarar vermemelidir,
10. Havaya karıştığında yanıcı veya patlayıcı bir ortam meydana getirmemelidir,
11. Çalışma şartlarındaki basınç ve sıcaklıkların en uç sınırlarında dahi ayrışıp çözülmemeli, bütün özelliklerini muhafaza etmelidir,
12. Elektriksel özellikleri (özellikle hermetik tip kompresörler için) uygun olmalıdır,
13. Temini kolay ve fiyatı düşük olmalıdır,
14. Kritik noktası ve kaynama sıcaklığı, kullanılacağı soğutma sistemine uygun olmalı, ısı iletkenliği yüksek, molar ısınma ısısı ise düşük olmalıdır.

Bu özelliklerin hepsini birden her şart altında yerine getirebilen universal bir soğutkan madde halen mevcut değildir. Uygulamadaki şartlara göre bunların bir kısmı aranmayabilir [101,103].

Halen mevcut olan ve soğutmacılıkta kullanılan soğutucu akışkanlar ile bunların kimyasal isimleri, ASHRAE kot numaraları ve fiziksel özellikleri, Ek - I'de verilmiştir [101,103].

4.3.6. Kumanda Kontrol Cihazları Ve Diğer Yardımcı Elemanlar

Sistemde sıcaklık, basınç, geçen akışkan miktarı gibi yönlerden istenilen sınırlar arasında işletmeye sokan veya işletmeden çıkaran kumanda kontrol cihazları ile devrenin özellik ve işletme şartlarına göre aşağıdaki eleman ve cihazlar kullanılmaktadır [97].

1. Kapama vanaları
2. Termostat

3. Presostat
4. Manometre
5. Çek valf [97].

4.4. ISI POMPALARININ SINIFLANDIRILMASI

Isı pompalarının sınıflandırılması ısı kaynağı, ısı enerjisinin kaynaktan alış şekli, kaynak sıcaklığı, çalışma prensibi vb. etkenler dikkate alınarak yapılabilmektedir.

4.4.1. Birincil Isı Pompaları

Isı kaynağı yer altı suları, yer üstü suları, toprak ve ortam havası olan ısı pompaları pek çok araştırmacı tarafından birincil ısı pompası olarak adlandırılmaktadır.

4.4.2. İkincil Isı Pompaları

Bu tür ısı pompalarında ısı kaynağı genellikle artık ısı enerjisidir. Isı kaynağının sıcaklığı 10 °C'nin üstündedir ve kaynaktan çektiği enerjiyi kaynaktan bağımsız olan başka mahale ihtiyacı kadarıyla aktarır.

4.4.3. Üçüncül Isı Pompaları

Artık ısı kaynağından temin edilen enerji doğrudan doğruya proseşe verilmesi durumunda gerçekleşen ısı pompası sistemine üçüncül ısı pompası denilir. Burada ısı kaynağı sıcaklığı 20 °C'nin üzerindedir.

4.4.4. Isı Kaynağına Göre Isı Pompaları

Isı pompaları ısının alınıp aktarıldığı kaynak durumuna göre sınıflandırılır ve sınıflandırmada ısı enerjisinin nereden nereye aktarıldığını ifade eder.

1. Havadan - Havaya ısı pompaları
2. Havadan - Suya ısı pompaları
3. Suda - Havaya ısı pompaları

4. Sudan - Suya ısı pompaları
5. Topraktan - Havaya ısı pompaları
6. Topraktan - Suya ısı pompaları

4.4.5. Çalışma Prensiplerine Göre Isı Pompaları

Isı pompası çevriminin temelini ideal bir çevrim olan ters carnot çevrimi oluşturur. Yapılan çalışmalarda da kurulan sistemler ters carnot çevriminin çalışmasına en yakın sisteme ulaşmaya yönelik olmuştur. Isı pompalarında kullanılan diğer termodinamik çevrimler şöyle sıralanabilir.

1. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
2. Absorbsiyonlu ısı pompası
3. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
4. Sterling çevrimli ısı pompası
5. Adsorbsiyonlu ısı pompası
6. Resorbsiyonlu ısı pompası
7. Termo-elektrik ısı pompası [105].

4.4.6. İşletme Şekline Göre Isı Pompaları

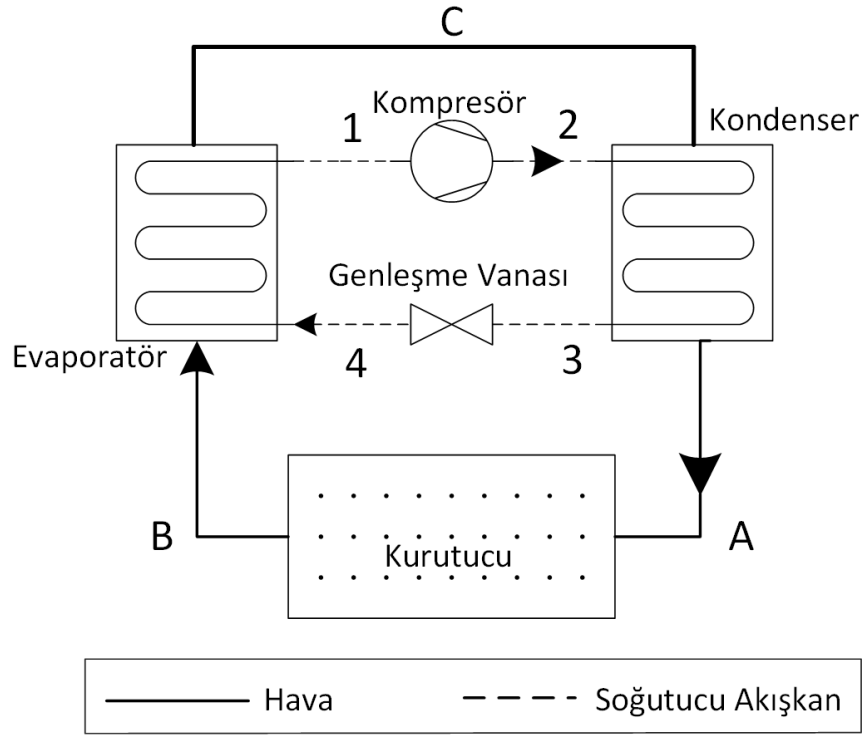
Yukarıda bahsedilen ısı pompası sınıflandırılmalarının yanın da bir de sistemin işletme şekline göre de sınıflandırılabilir. Enerji taşıyıcılarıyla birçok ısı üreticilerinin kombinasyonu sağlanarak yeni sistemlerin gelişimine imkan sağlanmaktadır.

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

1. Monovalent (Tekli) işletme şekli.
2. Bivalent (İkili) işletme şekli.
3. Multivalent (Çoklu) işletme şekli [59,104]

4.5. ISI POMPALI KURUTUCULARAR

Isı pompalı kurutucularda iki farklı çevrim söz konusudur. Bunlardan birinci çevrim enerjinin temin edildiği kaynaktan alınması ve ısı taşıyan akışkana aktarılması olarak görülmektedir. İkinci çevrim ise kurutma işleminin gerçekleştirilebilmesi için kurutucu akışkanın nem tutma kabiliyetinin artırıldığı çevrimdir. Buradan yola çıkarak ısı pompaları soğutma çevrimi ve kurutma havası çevrimi şeklinde gerçekleşmektedir. Şekil 4.8’de ısı pompalı kurutma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.8 Isı pompalı bir kurutma sisteminin şematik gösterimi.

Isı pompalı kurutma sisteminde A ile gösterilen kurutma havası kurutucuya girer, kurutucu içerisine yerleştirilmiş olan ürün üzerinden nem alarak B. Konumda havanın sıcaklığı düşmüş fakat nemi artmış olarak çıkar. Kurutma havası buharlaştırıcıya (evaporatöre) girdiğinde soğutma çevriminin akışkanı için gerekli olan buharlaşma enerjisi kurutma havası tarafından karşılanır aynı zamanda kurutma havası soğutularak çiy noktası sıcaklığına kadar düşürülür.

Şekil 4.8'deki sistemin çalışması soğutma çevrimi ve kurutma çevrimi olarak özetlenebilir. Soğutma çevriminde soğutucu akışkan alçak basınç ve yüksek basınç bölgelerinde kompresör ve kısılma vanası (genleşme valfi) sayesinde akışkanın düşük basınçta ısı çekerek buharlaşması ve yüksek basınç bölgesinde yoğuşturucu (kondenser) tarafından dışarıya ısı aktarması şeklinde gerçekleşir. Kurutma havası çevrimi ise kurutucu bölgesinde ürün üzerinden nem alma, soğutma sistemi çevriminin evaporatör bölgesinde nem atma, kondenser bölgesinde kurutma havasının sıcaklığını yükseltme şeklinde gerçekleşmektedir. Şekil üzerinde bahsedilen kısımlar numaralandırılarak gösterilmiştir.

Kurutma havası çevrimi;

A-B: Kurutucu da ürün üzerinden nem ala,

B-C: Kurutma havasının sıcaklığı çiy noktasına düşürme ve havanın nemini alma,

C-A: Kurutma havasına ısı aktarma

Isı pompası çevrimi;

1-2: Yüksek basınç bölgesinde ısıtma (Kurutma havasına)

2-3: Kısılma vanasında basınç düşümü

3-4: Düşük basınçta soğutucu akışkanın ısı çekerek buharlaşma

4-1: Kompresörde soğutucu akışkanın basıncının yükseltilmesi

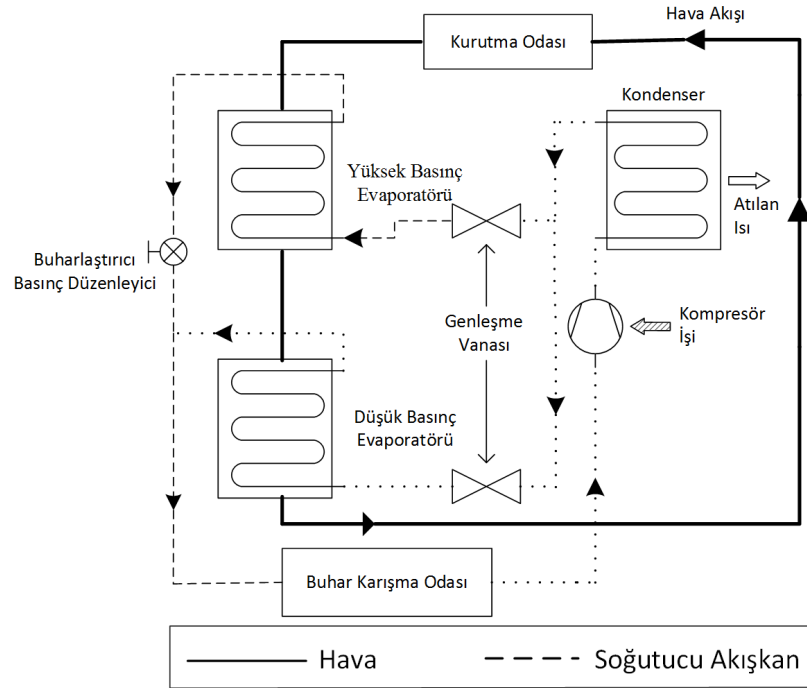
4.5.1. Avantajları ve Kısıtlamaları

Isı pompalı kurutucular genellikle düşük sıcaklıkta kurutma işlemleri için uygundur. Sisteme ek ısıtıcılar konulmak suretiyle – 20 ile +100 °C sıcaklık aralığında çalışabilirler. Sistemde nemlendirme yapılarak % 15 - % 80 bağıl nem aralığında çalışabilir. Kurutma aralığının geniş olması, düşük sıcaklık ve yüksek nemde kurutma gerçekleştirmesi, sistem kontrolünün kolay ve enerji verimliliğinin yüksek olması kurutma maliyetlerini düşürmesi sistemin avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Isı pompasının soğutma devresinde kullanılan soğutucu akışkanların bazılarının (kloroflorokarbon) çevreye vermiş olduğu etkilerinden dolayı Kyoto sözleşmesi kapsamında kullanılmasının yasaklanmış olması soğutucu akışkan seçiminde kısıtlayıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.5.2. Birden Fazla Aşamalı Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Uygulamalarda kullanılan ısı pompalı kurutucular genellikle tek kademeli, soğutma ve nem alma işlemlerinin gerçekleştiği tek buharlaştırıcı bulunmaktadır. Şekil 4.9’da çok kademeli ısı pompasının şematik çalışma prensibi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi farklı bölgeler de farklı kurutma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede enerjiyi verimli olarak kullanmamızı sağlar.



Şekil 4.9. Kurutma odasıyla eşlenmiş iki kademeli ısı pompası sistemi.

4.5.3. Birleşik Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Isı pompalı kurutucularda ısı aktarımı taşınım yoluyla gerçekleşmektedir. Bu aktarım metoduna ek olarak diğer metotlarında kullanılmasıyla kurutma hızlarında artış aynı

zamanda ısı yükünde azalma gerçekleşecek ve böylece sistem verimi de artacaktır. Bu metotlardan bazıları aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır.

4.5.3.1. Akışkan Yataklı Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Akışkan yataklı kurutucularda genellikle taneli ürünlerin kurutulma işleminde tercih edilmektedir. Bu sistem dondurarak kurutma işlemi ile birleştirilerek uygulandığında ısı pompasında elde edilen ısı enerjisi kurutma havasına aktarılır ve dondurulan ürün üzerinden geçirilir. Böylelikle düşük sıcaklıkta kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu sistem yüksek enerji verimliliği yanı sıra diğer kurutma sistemlerine göre ilk yatırım ve bakım maliyetleri de düşüktür.

4.5.3.2. Kızılötesi Işınım Destekli Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Kızılötesi ışınlama destekli ısı pompalı kurutucu metodunda ortam sıcaklığında yükselme gerçekleştirilmeden yüzeysel ısınma suretiyle kurutma işlemi gerçekleşir. Bu sistemle kurutma gerçekleştirilirken ürün kalitesi ve oluşabilecek hataların önlenmesi için kontrol sisteminin iyi olması gerekmektedir.

4.5.3.3. Radyo – Frekanslı ile Desteklenen Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Radyo frekanslı desteğinin ısı pompalı kurutucuya eklenmesi ile ısı iletkenliği düşük olan veya ürün kalınlığı fazla olan ürünlerin kurutulmasında kuruma hızını artırır. Kurutulan ürünün tamamı aynı anda ısıtılır ve nemi üründen alınır. Ürün içinden kütle transferiyle nem çekme esnasında içyapıda bozulma, büzülme, ürün rengi değişimi ve çatlak gibi problemler de gerçekleşmez. Üründe homojen bir kuruma sağlanmış olur.

4.5.3.4. Güneş Enerjili ve Isı Pompalı Kurutma Sistemleri

Güneş enerjisinden verimli olarak faydalanabilecek bölgeler için özellikle enerji maliyetinin düşürülmesi açısından faydalı bir metottur. Bu sistemde ısı pompalı sisteme göre daha yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Kurulacak

fotovoltaik piller sayesinde sistemde kullanılacak enerji ihtiyaçları da karşılanabilir. Başlangıçta ilk yatırım maliyetleri yüksek görünse de işletme maliyetlerini düşüreceğinden uzun vadede kazanç sağlayacak bir sistemdir.

BÖLÜM 5

TEORİK ANALİZ

Defne yaprağının içerisinde bulunan nem miktarının tespit edilmesi için etüv fırınında kurutma işlemi yapılmalıdır. Bu kurutma işlemi sırasında ağırlık takibi yapılır ve son iki ölçüm arasındaki ağırlık farkı % 1'in altına inene kadar kurutma işlemine devam edilir.

Etüv fırınında kurutulmuş başlangıç nem miktarının belirlenebileceği gibi kuru esasa ve yaş esasa göre Eşitlik 5.1 ve Eşitlik 5.2 kullanılarak da hesap yapılabilmektedir.

Ürünlerin kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı;

$$NM_{KA} = \frac{YA-KA}{KA} \quad (5.1)$$

Ürünlerin yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı;

$$NM_{YA} = \frac{YA-KA}{YA} \quad (5.2)$$

Burada;

YA : Ürün yaş ağırlığı (g),

KA : Ürünün etüv fırınında edilen kuru madde ağırlığı (g),

NM_{KA} : $g_{su}/g_{kurumadde}$,

NM_{YA} : $g_{su}/g_{yaşmadde}$,

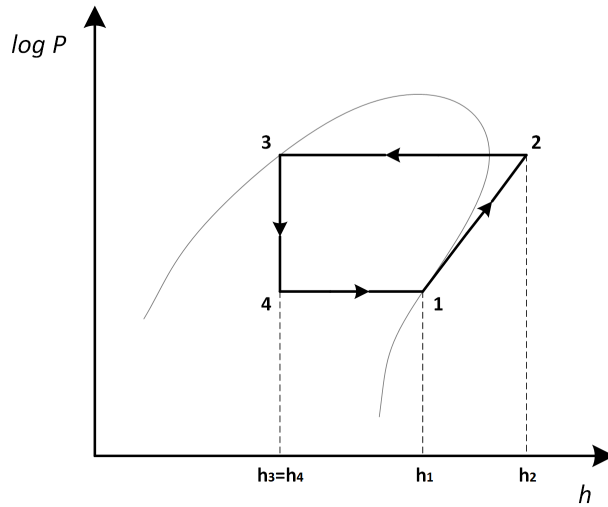
olarak bulunur.

Kurutma uygulamalarında sistem kapasitesi belirlenirken, kurutma odasında gerekli olan enerji miktarı hesaplanır. Bu enerji miktarı sistemdeki ısı kaynağı (ısı pompası, güneş enerjisi, elektrikli ısıtıcı, kazan vb.) tarafından sağlanmalıdır.

Kurutma odasında defne yapraklarının kurutulması için gerekli olan toplam enerji miktarı;

$$Q_{VTOP} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (5.3)$$

Eşitlik 5.3'deki gerekli toplam ısı miktarını ısı pompasının kondenseri sağlamalıdır. Gerekli kondenser, evaporatör ve kompresör kapasiteleri çalışma sıcaklık aralıkları belirlenerek kullanılan soğutucu akışkanın log P - h diyagramından yararlanılarak hesaplanarak çevrimin log P - h diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Isı pompası sisteminin log P - h diyagramı.

Kullanılan soğutkanın log P-h diyagramında;

h_1-h_2 : Kompresör giriş - çıkış

h_2-h_3 : Kondenser giriş - çıkış

h_3-h_4 : Genleşme vanası giriş - çıkış

h_4-h_1 : Evaporatör giriş - çıkış

entalpi değerleridir ve kondenser kapasitesi Eşitlik 5.3'deki gerekli toplam ısının kompresörün dinlenmesi için % 25 fazlası kadar alınarak, sistemde kullanılacak soğutkan debisi;

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{sa} \cdot (h_2 - h_3) \quad (5.4)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır.

Eşitlik 5.3'deki gerekli toplam ısı miktarı, kondenser kapasitesi kabul edilerek soğutkan debisi bulunan sistemde, kompresör gücü için de;

$$\dot{W}_C = \dot{m}_{sa} \cdot (h_2 - h_1) \quad (5.5)$$

eşitliğinden faydalanılır.

Sistemdeki evaporatör kapasitesi;

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_{sa} \cdot (h_1 - h_4) \quad (5.6)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Deniz suyu kaynaklı ısı pompası sisteminde ısı kaynağı olan deniz suyundan çekilen ısı:

$$\dot{Q}_{ds} = \dot{m}_{ds} \cdot c_{ds} \cdot (T_{ds_g} - T_{ds_ç}) \quad (5.7)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kurutma havası ısı kaynağı, ısı pompası sisteminin kondenseri olduğundan kondenserin kurutma havasına attığı ısı (\dot{Q}_K) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{kh} \quad (5.8)$$

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{kh} \cdot c_{kh} \cdot (T_{khg} - T_{kh\zeta}) \quad (5.9)$$

$$\dot{m}_{kh} = \rho_{kh} \cdot \dot{V}_{kh} \quad (5.10)$$

Eşitlikte (\dot{m}_{kh}), kurutma havasının kütleli debisi, (c_{kh}), kurutma havasının özgül ısıma ısısı, (\dot{V}_{kh}), kurutma havasının hacimsel debisi, (ρ_{kh}), kurutma havasının yoğunluğu, (T_{khg} ve $T_{kh\zeta}$) ise sırasıyla kurutma havası giriş sıcaklığı ve kurutma havası çıkış sıcaklığıdır.

Kondenser sıcaklığı (T_K) ile evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı (COP) Carnot çevrimi ile aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$COP = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (5.11)$$

Normal bir uygulama için, enerji tüketimi ısı pompasının kompresöründe meydana gelmektedir. Sistemde diğer ekipmanlarda söz konusu olabilir, örneğin fan vb. Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı ($COP_{hp,h}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{hp} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_C} \quad (5.12)$$

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

$$COP_{wh} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_C + \dot{W}_f + \dot{W}_p} \quad (5.13)$$

Kurutma sistemlerinde özgül nem çekme oranı 1 kg suyu kaldırmak için harcanması gereken enerji miktarı olarak tanımlanır. Bu oran kompresörün güç girişi ile ilgili olup ($SMER_{hp}$), ya da fan gücü ve elektrikli cihazların verimleri bütün sistemin toplam özgül nem çekme oranını verir ($SMER_{ws}$). Bu oranlar;

$$SMER_{hp} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (5.14)$$

$$SMER_{ws} = \frac{SMER_{hp}}{(1 + \dot{W}_c / \dot{W}_f)} \eta_{el} \quad (5.15)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Deniz suyu kaynaklı ısı pompasına ekserji girişi:

$$e_{kg} = c_h \cdot \left[(T_{kg} - T_{ort}) - T_{ort} \ln \left(\frac{T_{kg}}{T_{ort}} \right) \right] \quad (5.16)$$

eşitliği ile hesaplanır, ekserji çıkışı ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$e_{kç} = c_h \cdot \left[(T_{kç} - T_{ort}) - T_{ort} \ln \left(\frac{T_{kç}}{T_{ort}} \right) \right] \quad (5.17)$$

Deniz suyu kaynaklı ısı pompalı kurutucuda toplam ekserji kaybı Eşitlik 5.18, ekserji verimi ise Eşitlik 5.19 ile hesaplanabilir.

$$\sum e_{kyp} = \sum e_{kg} - \sum e_{kç} \quad (5.18)$$

$$\eta_e = \frac{e_{kç}}{e_{kg}} \quad (5.19)$$

Verilen bilgilerin doğruluk sınırı belirsizlik analizi ile belirlenir. Deniz suyu kaynaklı tünel tipi kurutucuda kullanılan ölçü cihazlarının belirsizlikleri Eşitlik 5.20 – 5.24 ile hesaplanmıştır.

$$X_m = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (5.20)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (5.21)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (5.22)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (5.23)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (5.24)$$

Eşitliklerde kullanılan “ X_m ” gözlemlerin aritmetik ortalaması, “ N ” gözlem sayısı, “ X_i ” yapılan gözlemler, “ a ” hassasiyet, “ S ” standart sapma, “ V ” varyans ve “ U ” belirsizliktir.

Kurutma verimi için Eşitlik 5.25, 5.26 ve 5.27 kullanılmıştır. Ürünü ısıtmak ve üründeki nemi buharlaştırmak için gerekli enerji toplamı harcanan enerjiye bölünerek kurutma verimi hesaplanabilir.

$$Q_{yd} = W_{kd} \cdot c_d \cdot (T_{dç} - T_{dg}) \quad (5.25)$$

$$Q_{kd} = Lb_d \cdot W_{dsm} \quad (5.26)$$

$$\text{kurutma verimi} = \frac{Q_{yd} + Q_{kd}}{(W_c + W_f + W_p)} \quad (5.27)$$

BÖLÜM 6

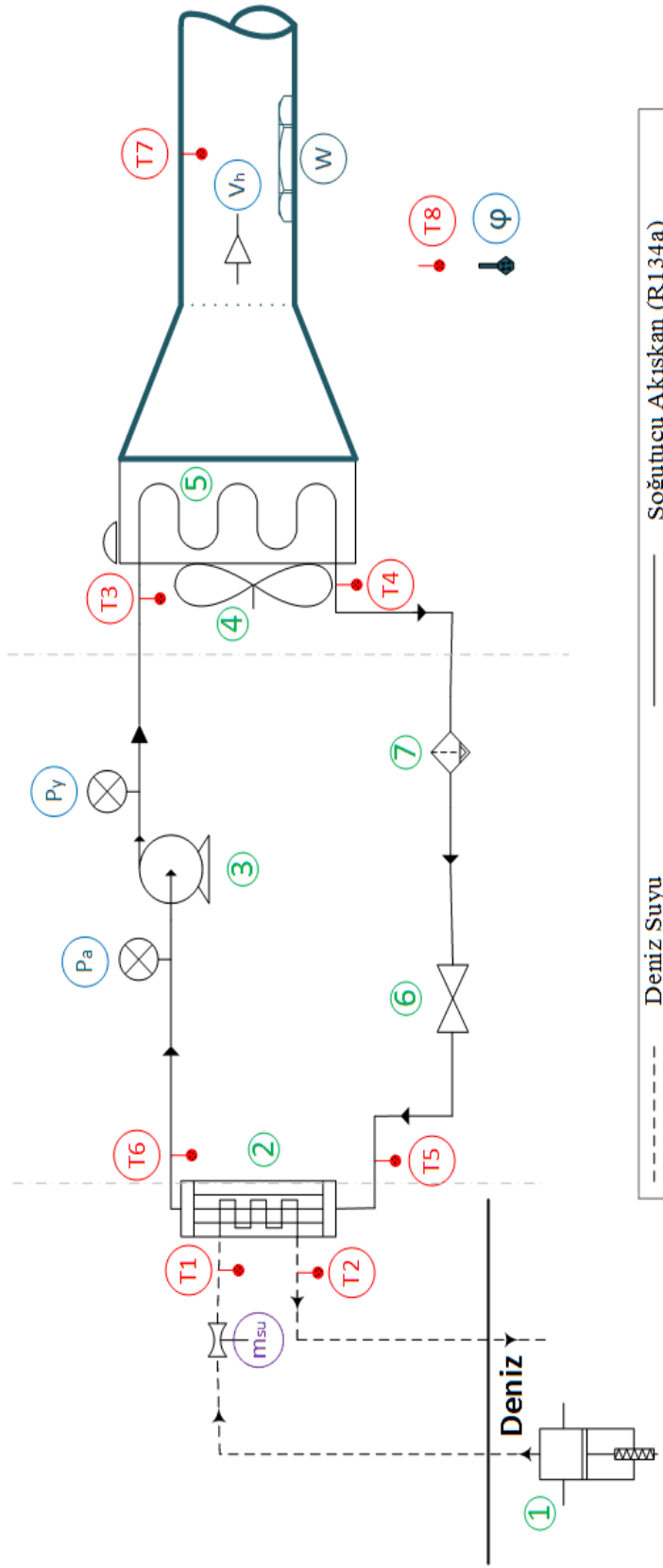
METERYAL VE METOD

6.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI

Defne yaprağı kurutulması için düşünülen deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi kurutma sistemi deney seti Şekil 6.1’de görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Sistem biri yoğuşturucu (kondenser), diğeri buharlaştırıcı (evaporatör) olmak üzere iki serpantin, kompresör ve kurutma kabininden oluşmaktadır. Ayrıca sistemde termostatik genişleme valfi (TGV), sıvı ayırıcı, gözetleme camı, devir ayarlı fan ve debi ayarlı dalgıç pompa kullanılmıştır. Kompresör çeşidi olarak hermetik tip kompresör kullanılmış, kanatlı borulu serpantin tercih edilmiştir. Eşanjörde deniz suyundan etkilenmemesi için krom malzeme kullanılmıştır.

Deneyle esnasında veri ölçüm ve kaydı için, kalibrasyonu Ogen Makine Ltd. Şti. tarafından yapılmış olan, pc bağlantılı datalogger tercih edilmiş ayrıca ikinci bir datalogger sayesinde veriler doğrulanmıştır. Ürün ağırlık değişimini gözlemlemek için kurutma tüneli içinde yük hücresi kullanılmış ilk ve son ağırlık hassas terazi ile kontrol edilmiştir.

Ortam nemi ölçümü için termo - higrometre kullanılmıştır. Deniz suyu sıcaklık ölçümünde sıvı temaslı olmak üzere K tipi termokupl kullanılmıştır. İmalatı yapılan ve deneylede kullanılan deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi kurutma sisteminin ölçüm yerleri olarak belirlenen noktaları Şekil 6.1’de, genel görünümü Şekil 6.2’de, teknik özellikleri de Çizelge 6.2’de verilmiştir.



BİLEŞENLER		ÖLÇÜM YAPILAN NOKTALAR	
1- Dalgıç Pompa	6- Genleşme Vanası	T1- Deniz Suyu Giriş Sıcaklığı	T6- Evaporatör Çıkış Sıcaklığı
2- Evaporatör	7- Sıvı Ayırıcı	T2- Deniz Suyu Çıkış Sıcaklığı	T7- Dış Ortam Sıcaklığı
3- Kompresör		T3- Kondenser Giriş Sıcaklığı	T8- Kurutma Hava Sıcaklığı
4- Fan		T4- Kondenser Çıkış Sıcaklığı	Vh- Hava Hızı
5-Kondenser		T5- Evaporatör Giriş Sıcaklığı	ϕ - Dış Ortam Bağıl Nemi
			m_{su} - Su Debisi
			Pa- Alçak Basınç
			Py- Yüksek Basınç
			W- Ürün Ağırlığı

Şekil 6.1. Deney seti tasarımı ve ölçüm yapılan noktalar.



Şekil 6.2. Deney setinin genel görünümü.

6.1.1. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aletleri

Deneyler sırasında kullanılan ölçü aletleri Çizelge 6.1’de, cihazlara ilişkin özellik ve teknik detaylar ise Ek - II’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ölçüm cihazları ve hassasiyet değerleri.

Kullanım Amacı	Marka ve modeli
Sıcaklık Ölçümü	TC-08 USB 8 Kanallı sıcaklık ölçer ($\pm 0,5$ °C)
Bağıl Nem Ölçümü	BC20 Termo Higrometre (± 2)
Hava Hızı Ölçümü	PCE-TA 30 Termo-Pervane-Anemometre (± 3)
Ağırlık ölçümü	KernPFB 6000-1 ($\pm 0,1$ g)
Debi Ölçümü	Pirinç Türbin Debimetre 1/2" (± 1)

Çizelge 6.2. Deney setinin teknik özellikleri.

Sistem Bileşeni	Özellikler
Kondenser	: 3 kW
Kompresör	: 0,736 kW
Evaporator	: 2 kW
Fan	: Ø 30 – 120 W
Genleşme Valfi	: Termostatik genleşme valfi (R134a)
Dryer	: 3/8”
Akışkan	: R134a
Diğer Özellikler	:Sıvı temaslı sıcaklık sensörleri Alçak/yüksek basınç göstergeleri Rotolog valf Fan devir anahtarı Ana şalter On-of anahtar Saç panel sehpa Data Logger (PC bağlantılı)

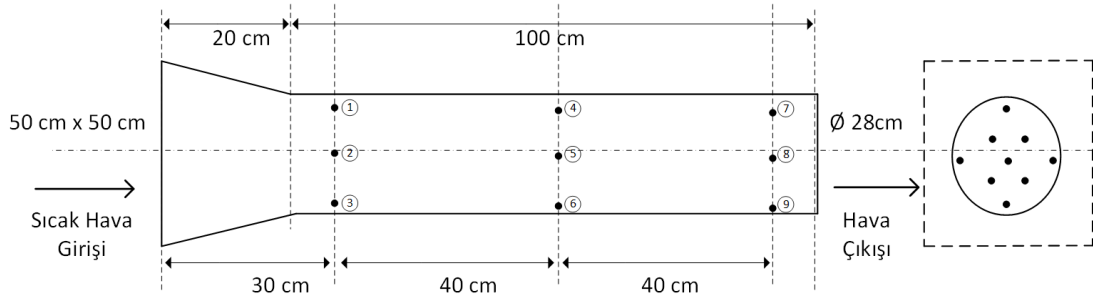
6.2. ÜRÜNLERİN HAZIRLANMASI VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Ürünler Sinop ili Akliman mevkiindeki yoğun defnelik araziden dalları ile toplanmıştır. Dallarından koparılan yapraklar tek tek nemli bir bezle, tozdan ve kirden arındırmak amacıyla silinmiş, sap kısımları yaprak bitiminden kesilmiştir. Hassas terazi ile 100'er gramlık öbekler halinde tasnif edilmiştir. Hazırlanan yapraklar küre şeklindeki bir tel kutuya istiflenmiştir. Yaprakların ve tel kafesin ağırlığı tekrar hassas terazide tartılarak dara hesabı yapılmıştır. Ürünler dalından koparıldıktan sonra en geç 1 saat sonra deneyde kullanılmışlardır. Defne yaprakları toplanma yerinden deney yerine kadar ısı yalıtımı yüksek araç buz dolabında muhafaza edilerek dış ortam sıcaklığında doğal kurumaya maruz kalmadan taşınmıştır. Bu sayede yaprakların deney öncesi nem kaybı önlenmeye çalışılmıştır.

Sinop ili florasına ait defne yaprakları Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezi'nde (SÜBİTAM), bulunan etüv fırınında tam kuru ağırlığın

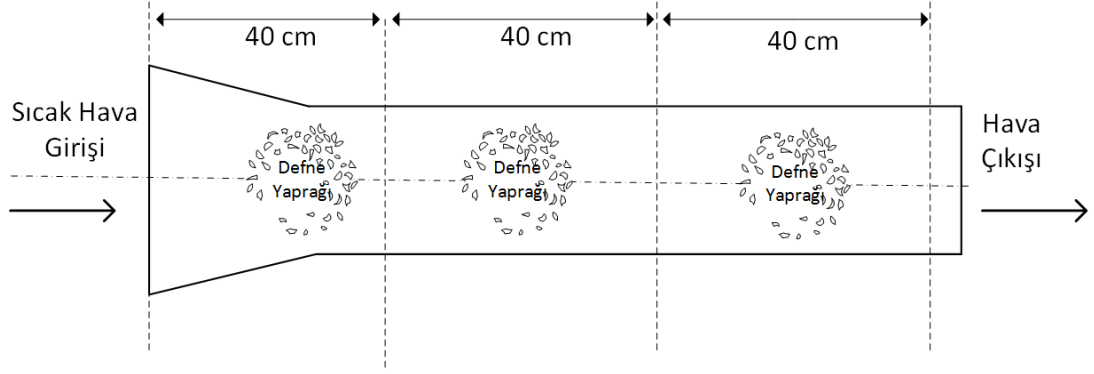
belirlenmesi amacıyla kurutulmuştur. Analiz sonucu defne yapraklarının kuru ağırlığı 100 g defne yaprağı için 49,48 g olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde etüv fırını analiz sonucuna bağlı kalınarak 49,5 g değeri seviyesinde kuruma sağlandığı kabul edilmiş ve kuru defne yaprağında bulunabilecek nem miktarı % 8 olduğu için ürün ağırlıkları 53.4 g'ın altına indiğinde deneyler sonlandırılmıştır.

Deney seti Sinop ili Devlet Su İşleri kampı plajında deniz kenarına kurulmuştur. Deniz suyunu sisteme taşımak için debi ayarlı bir dalgıç pompa kullanılmıştır. Pompa debisi ayarlandıktan sonra su tesisatına seri bağlanmış bir debimetre ile sisteme gönderilen deniz suyunun debisi teyit edilmiştir. İkinci aşamada, deney setinde kurutma havasını üfleyen hız ayarlı fan çalıştırılmıştır. Hava hızı kurutma tüneli içindeki dokuz farklı noktadan anemometre ile ölçülerek teyit edilmiştir. Kurutma tüneline hava hızını her noktada eşitlemek amacı ile kare kesitten dairesel kesite geçiş için difüzör kullanılmıştır (Şekil 6.3). Sistemde su akışı ve hava akışı set edildikten sonra ısı pompası çalıştırılmış ve sistemin kararlı hale gelmesi için 20 - 25 dk beklenmiştir. Bu bekleme süresi boyunca ürünler hazırlanmış kurutma tüneline konulmuştur.



Şekil 6.3. Kurutma tüneline hava hızı ölçümü yapılan noktalar.

Deneyler devam ederken 30 dakikada bir kez veri kaydı yapılmıştır. Deney için kurutma tüneline yerleştirilen 100 g yaş defne yaprağı 53,5 g (tam kuru ağırlık 49,5 g + %8 nem oranı) ağırlığın altına inene kadar veri kaydı devam etmiştir. Deneylerde değişken olarak deniz suyu sıcaklığı, deniz suyu debisi ve kurutma havası hızı kullanılmıştır. Ayrıca ürün istif mesafesi de 3 farklı noktada denenmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Kurutma tüneline ürün istif bölgeleri.

Kurutulan ürünler buzdolabı poşetlerinde vakumlanarak paketlenmiştir. Kuru ürün paketleri 4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Kuru yaprakların su aktivitesi tayini Sinop ili Gerze ilçesinde bulunan Çelik un fabrikası laboratuvarlarında yapılmıştır. Kuru ürün paketleri laboratuvara ulaştırılana kadar yine araç buzdolabında taşınmıştır. Analizler neticesinde kurutulmuş yaprak içeriğinde kalan nem miktarı belirlenmiştir. Her bir deneyde aynı protokol tekrar edilmiştir.

Deneyle sırasında defne yaprağı kuruma süresi belirlenirken, yaprakların üzerinden geçirilen havanın hızı, deniz suyunun debisi ve ürünün kondensere olan uzaklığı gibi parametreler farklı kombinasyonlarla denenmiştir. Hava hızı 1 m/s ile 3,5 m/s değerleri arasında farklı hızlarda denenmiştir. Aynı şekilde deniz suyunun debisi de 2 l/dk ile 9 l/dk değerleri arasında farklı deniz suyu debileri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu hava hızı, debi kombinasyonları ise; ürünün kondensere olan uzaklıkları değiştirilerek farklı deney sonuçları elde edilmiştir. Tüm bu deneyler deniz suyu sıcaklığı 10 °C, 16 °C, 17 °C, 18 °C, 23 °C değerleri için tek tek yapılmıştır.

6.3. DENEY VERİLERİ

Deneyle yapılması için tasarlanan “deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi defne yaprağı kurutma sisteminde” yapılan deneyler sonucunda sistemin kararlı halde çalıştığı ve tam kurutma sağlanabildiği şartlarda olan deney verileri Çizelge 6.3, 6.4 ve 6.5’de görülmektedir.

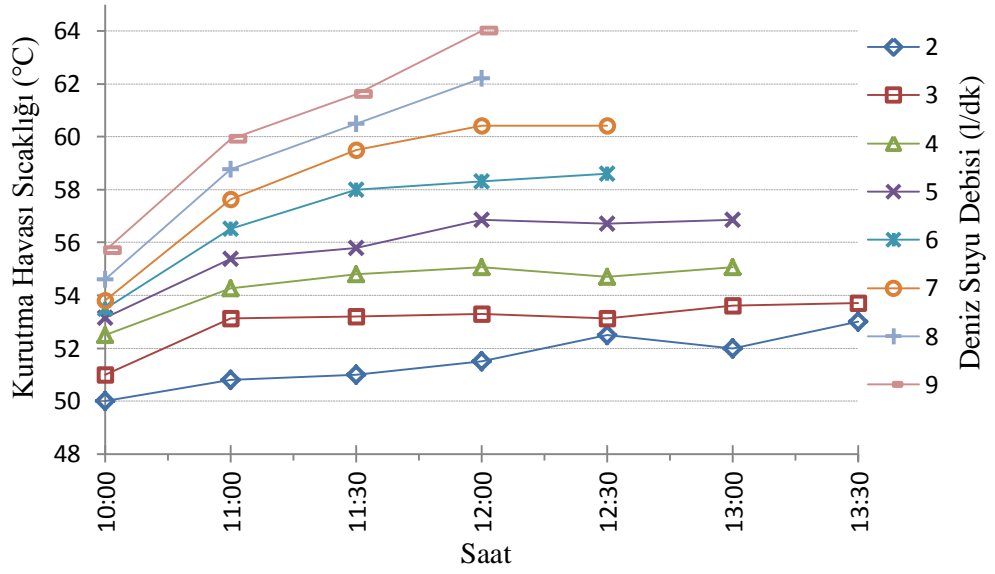
6.3.1. Deniz Suyu Debisi Değişiminin Kurutma Üzerine Etkileri

Sistemde hava hızı 1 m/s’de sabit tutulurken deniz suyu debisi 2 – 9 l/dk aralığında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu debisinin değişimi sırasında kurutma havası sıcaklığı ve kurutma süresine etkileri incelenmiştir. Çizelge 6.3’de yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Çizelgede 8 farklı deney verisi bulunmaktadır. Bu deneylere ait veriler incelendiğinde deniz suyu debisi arttıkça kurutma havası sıcaklığı artmakta ve kurutma süresi azalmaktadır.

Çizelge 6.3. Kurutma havası hızı 1 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri.

Deney No	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	P_a	P_y	\dot{W}_c	V_h	φ	\dot{m}_{ds}	Süre
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	kW	m/s	%	l/dk	saat
1	17,7	7,5	72,3	54,6	3,4	4,7	53,0	20,3	3	14,5	1,09	1	66,9	2	3,5
2	17,3	8,4	72,3	54,9	4,2	5,4	53,0	20,8	3,5	14,7	1,08	1	69,5	3	3,5
3	17,2	9,2	72,2	55,6	4,6	5,7	54,8	21,6	3,5	15	1,07	1	70,2	4	3
4	17,0	10,3	72,8	56,9	5,8	6,9	55,8	19,6	3,5	15,5	1,06	1	76,4	5	3
5	16,8	11,3	73,2	57,9	6,6	7,7	57,0	21,1	3,7	16	1,05	1	73,2	6	2,5
6	16,6	12,2	73,5	58,8	7,3	8,4	58,4	23	3,7	16,5	1,04	1	70,9	7	2,5
7	16,4	13,1	73,5	59,1	8,0	9,0	59,0	24,2	3,9	16,5	1,03	1	68,4	8	2
8	16,2	14,0	73,8	59,9	8,7	9,7	60,3	23,2	4	16,7	1,02	1	71,3	9	2

Kurutma havası hızını 1 m/s’de sabit tutup deniz suyu debisini 2 – 9 l/dk aralığında değiştirerek yapmış olduğumuz deney verilerinden Şekil 6.5’de kurutma havası sıcaklığı ve kurutma süresi değişimini içeren grafikler elde edilmiştir.



Şekil 6.5. Kurutma havası hızı 1 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi.

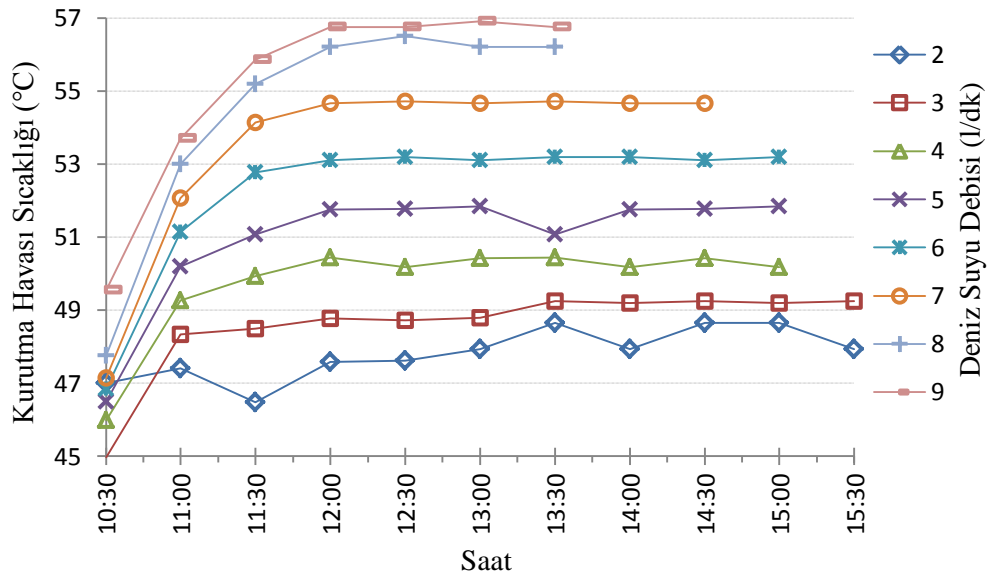
Şekil 6.5 incelendiğinde deniz suyu debisi 8-9 l/dk olduğu deneylerde kurutma havası sıcaklığının 62 °C'nin üzerine çıktığı ve kurutma işleminin yaklaşık 2 saat sürede gerçekleştiği görülmektedir. Aynı şekilde deniz suyu debisi 6 – 7 l/dk olan deneylerde kurutma havası sıcaklığının 60 °C'ye düştüğü ve kurutma süresinin de arttığı görülmektedir. Benzer şekilde diğer deneylerde de bu durum gözlemlenmiştir.

Deneyimizin bu aşasında hava hızını 2 m/s de sabit tutup deniz suyu debisi 2 – 9 l/dk aralığında değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde ettiğimiz sonuçlar Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kurutma havası hızı 2 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri.

Deney No	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	P_a	P_y	\dot{W}_C	V_h	φ	\dot{m}_{ds}	Süre
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	kW	m/s	%	l/dk	saat
9	17,9	6,7	75,3	49,2	4,5	3,1	47,9	17,2	3,3	12,9	1,17	2	79	2	5
10	17,6	7,7	74,8	49,4	3,8	5,0	48,9	17,9	3,4	13	1,16	2	75	3	5
11	17,3	8,7	75,2	50,3	4,7	5,7	50,2	18,4	3,5	13,3	1,16	2	63	4	5
12	17,1	9,7	75,2	51,2	5,4	6,4	51,5	19,1	3,5	13,5	1,14	2	72	5	5
13	16,9	10,8	74,7	52,5	6,2	7,0	52,9	18,5	3,7	14	1,12	2	68	6	4
14	16,7	11,8	75,2	53,4	7,0	7,7	54,3	19,2	3,7	14,3	1,12	2	76	7	4
15	16,5	12,7	75,4	54,1	7,9	8,4	55,6	20,4	3,9	14,5	1,12	2	67	8	3
16	16,2	13,6	75	53,2	7,3	8,2	56,1	21,2	3,9	14,3	1,11	2	71	9	3

Çizelge 6.4'te elde edilen verilerden yola çıkılarak Şekil 6.6 oluşturulmuş ve hava hızı 2 m/s iken farklı deniz suyu debilerinde kurutma havası sıcaklığı ve kurutma süresi değişimi incelenmiştir.



Şekil 6.6. Kurutma havası hızı 2 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi.

Şekil 6.6'da görüldüğü gibi hava hızının artması kurutma havası sıcaklığını düşürmüştür ve buna bağlı olarak kurutma sürelerinde de artış gözlemlenmiştir.

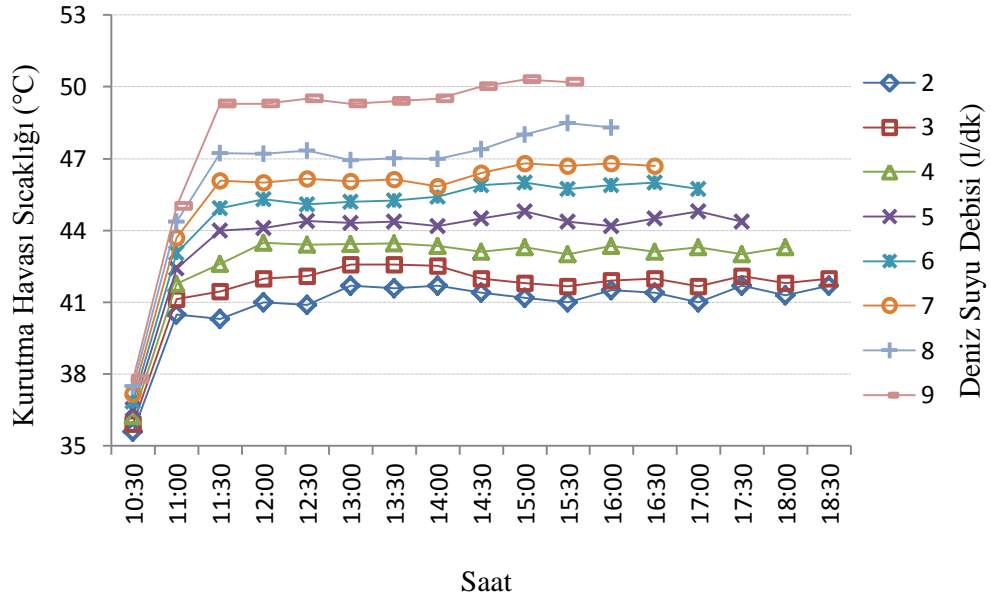
Sistemimizde kurutma havası hızı 3,5 m/s'de sabit tutularak deniz suyu debisi 2 – 9 l/dk aralığında değiştirilerek tekrar deneyler yapılmış ve elde edilen veriler

Çizelge 6.5’de verilmiştir. Bu deney grubumuzda diğer deneylerden farklı olarak deniz suyu debisi 6 l/dk’da üç farklı deniz suyu sıcaklığında (10,1 - 17,0 ve 23,4 °C) deneyler gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu sıcaklığının artması kurutma havası sıcaklığına etki etmekte böylelikle kurutma süresini de etkilemektedir. Çizelgede bu durum görülmektedir.

Çizelge 6.5. Kurutma havası hızı 3,5 m/s için farklı deniz suyu debilerinde alınan deney verileri.

Deney No	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	T7 °C	T8 °C	P_a bar	P_y bar	\dot{W}_c kW	V_h m/s	φ %	\dot{m}_{ds} l/dk	Süre saat
17	18,0	6,1	80	41,2	5,1	3,8	40,9	18,1	3,3	10,5	1,25	3,5	77	2	8
18	17,7	7,2	79,7	41,5	4,3	5,5	41,6	17,4	3,3	10,5	1,24	3,5	79	3	8
19	17,5	8,2	78,7	42,0	4,6	5,7	42,7	16,7	3,5	10,8	1,21	3,5	85	4	7,5
20	17,2	9,2	77,6	42,4	4,9	5,9	43,7	16,8	3,5	10,8	1,19	3,5	68	5	7
21	17,0	10,2	42,8	76,5	5,3	6,2	44,5	15,2	3,5	11	1,16	3,5	72	6	6,5
22	16,7	11,5	78,6	41,4	6,8	7,4	45,4	15,1	3,8	10,5	1,19	3,5	84	7	6
23	16,5	12,2	77,8	43,6	6,1	6,7	46,4	15,8	3,5	11,3	1,19	3,5	69	8	5,5
24	16,2	13,2	76,8	44,6	6,2	6,7	49,6	14,3	3,5	11,5	1,17	3,5	84	9	5
25	10,1	8,1	77,2	60,4	3,4	5,4	41,3	16,2	3,5	17	1,22	3,5	75	6	8
26	23,4	16,3	76,2	48,3	6,6	9,6	55	27	4	12,5	1,08	3,5	54	6	3

Kurutma havası hızının 3,5 m/s de sabit tutulduğu ve deniz suyu debisinin 2 – 9 l/dk aralığında değiştirilerek yapılmış olan deneylerden elde edilen verilerden yola çıkılarak Şekil 6.7 çizilmiştir.

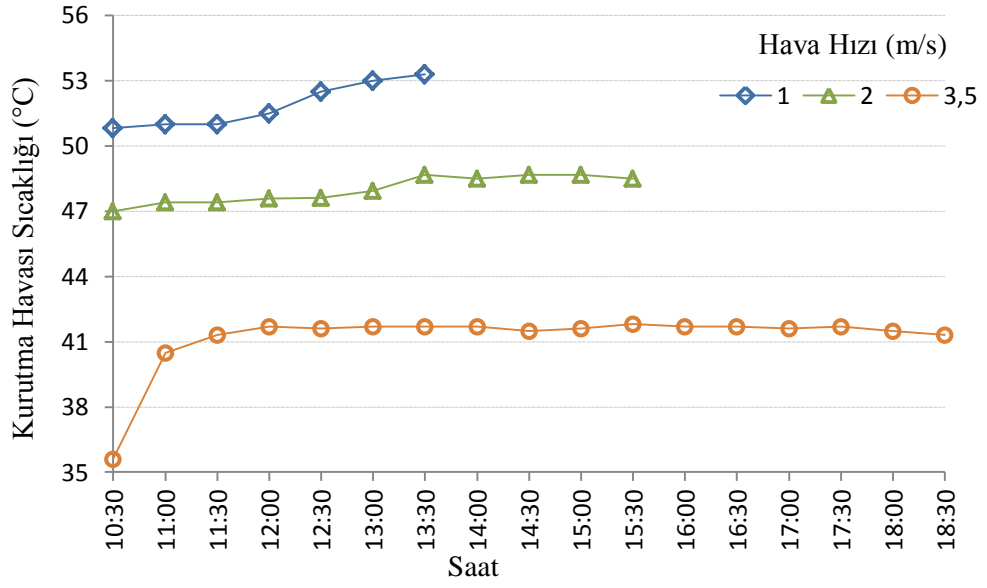


Şekil 6.7. Kurutma havası hızı 3,5 m/s için farklı deniz suyu debilerinde kurutma süresi ve kurutma havası sıcaklığının değişimi.

Şekil 6.7 incelendiğinde deniz suyu debisi arttıkça kurutma havası sıcaklığı artmakta ve buna bağlı olarak kurutma süresi azalmaktadır. Deneilerin bu şekilde gerçekleşmiş olmasındaki en önemli faktör deniz suyundan daha yüksek debide ısı pompasının evaporatör bölgesine suyun sirküle ettirilmesi ve böylelikle evaporatör de soğutucu akışkanın daha hızlı ve yüksek kaynama sıcaklığında buharlaşma gerçekleştirmiş olması şeklinde yorumlanabilir.

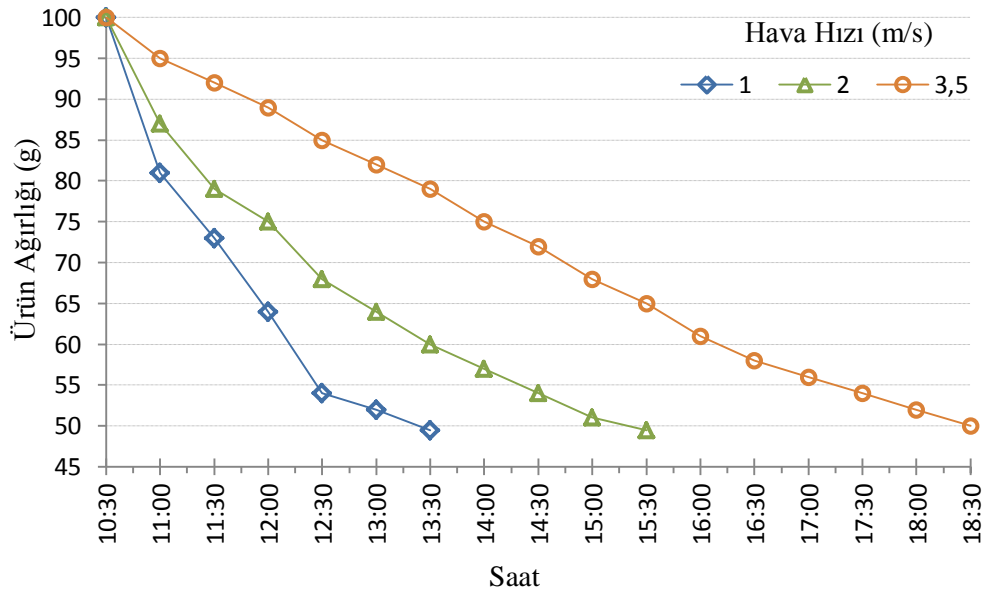
6.3.2. Kurutma Havası Hızı Değişiminin Kurutma Üzerine Etkileri

Sistemde deniz suyu debisi 2 l/dk'da sabit tutulurken kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s ve 3,5 m/s aralığında değiştirilerek yapılan deneylere ait veriler yorumlanarak Şekil 6.8'de kurutma havası sıcaklıkları, Şekil 6.9'da kurutma işlemine tabi tutulan defne yapraklarının ağırlıkça değişimleri verilmiştir.



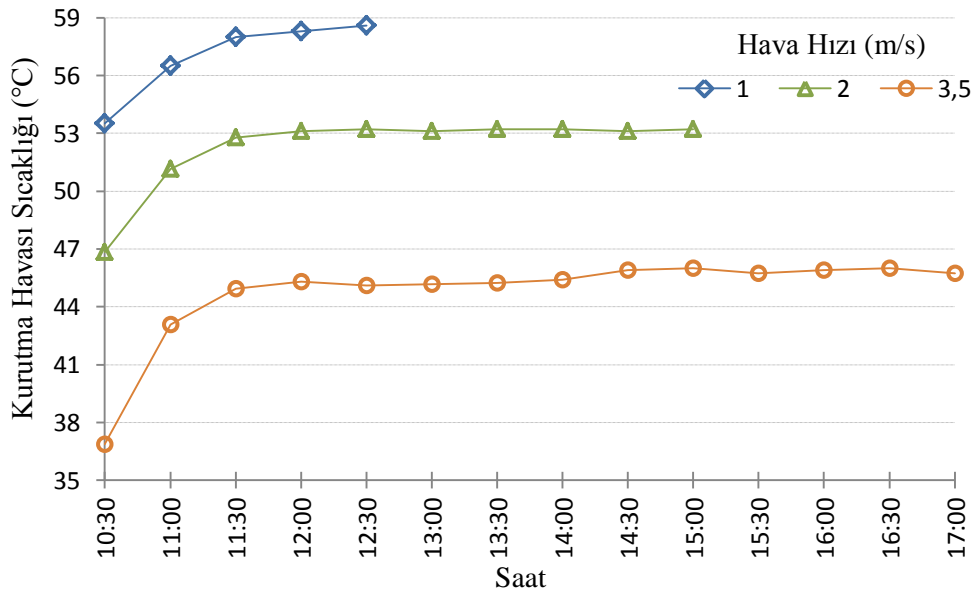
Şekil 6.8. Deniz suyu debisi 2 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3.5 m/s için kurutma havası sıcaklığının değişimi.

Kurutma havasının hızı arttıkça sıcaklığı düşmekte ve kuruma süresi artmaktadır. Aslında bu çalışmada beklenen durum kurutma havası hızı arttıkça kurutma süresinin azalması şeklinde olmasıydı fakat şekil incelendiğinde kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine etkisinin kurutma havası hızına göre daha etkili olduğu düşünülmektedir.



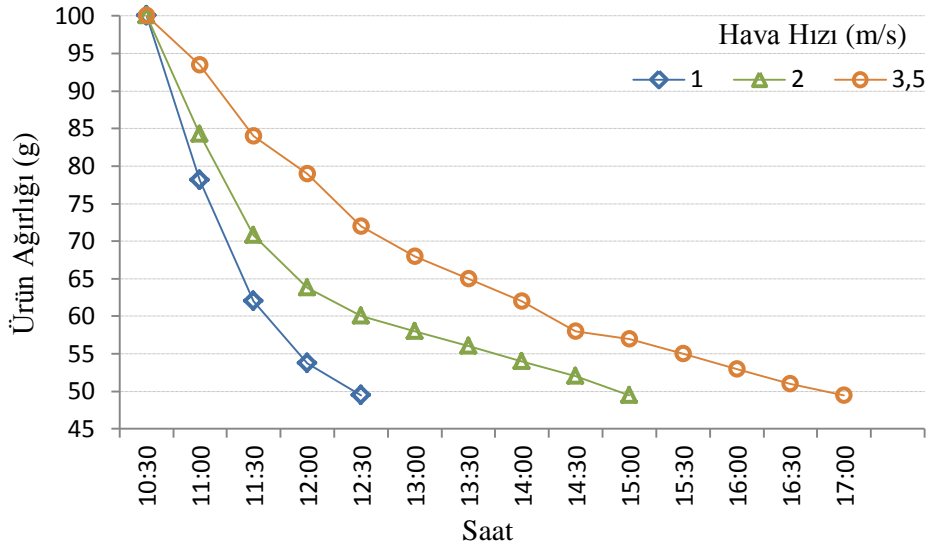
Şekil 6.9. Deniz suyu debisi 2 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3.5 m/s için ürün ağırlık değişimi.

Kurutma havası hızı düştükçe defne yapraklarının ağırlık değişimi daha hızlı gerçekleşmektedir. Defne yaprağında meydana gelen ağırlık değişiminde kurutma havası hızının artması kurutma havası sıcaklığına etki etmektedir. Sıcaklıktaki düşüş tam kuru ağırlığa daha uzun sürede ulaşılmasına sebep olmaktadır.



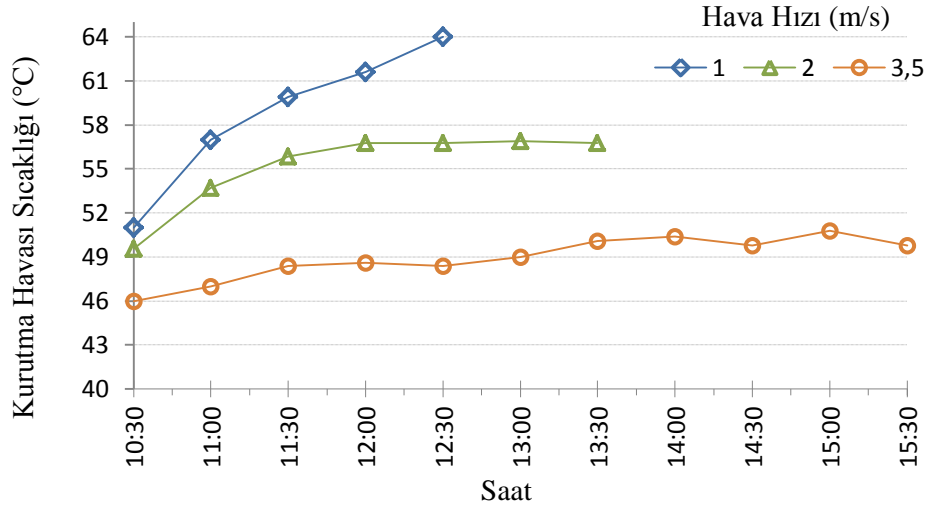
Şekil 6.10. Deniz suyu debisi 6 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3.5 m/s için kurutma havası sıcaklık değişimi.

Deniz suyu debisini artırıp kurutma havası hızını düşük seçtiğimiz zaman kurutmanın daha hızlı gerçekleştiği Şekil 6.10 ve 6.11’de görülmektedir. Kurutma süresi en uzun gerçekleşen deneyimiz kurutma hava hızı 3,5 m/s olan deneyde gerçekleşmiştir.



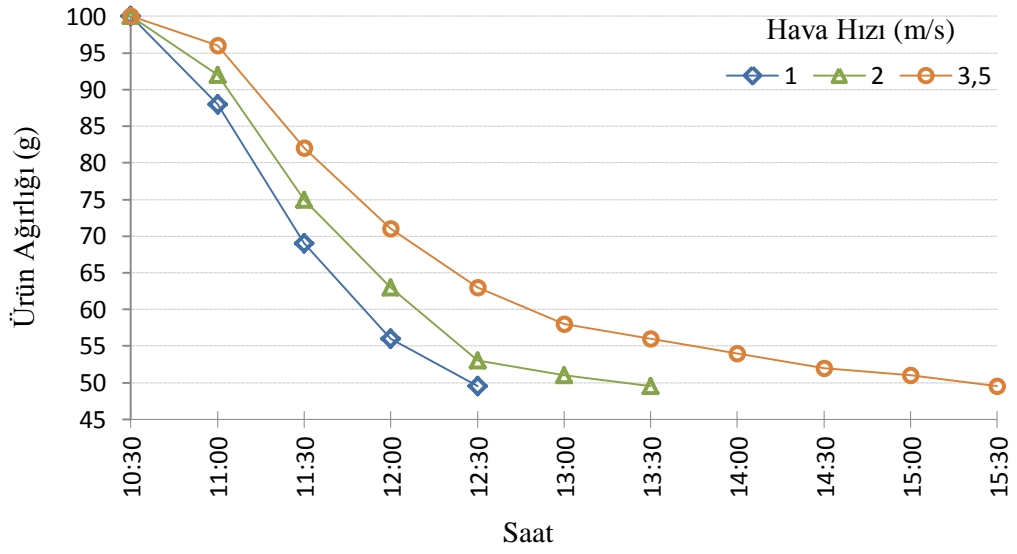
Şekil 6.11. Deniz suyu debisi 6 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3,5 m/s için ürün ağırlık değişimi.

Deniz suyu debisi 9 l/dk ve kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3,5 m/s için kurutma havası sıcaklıklarının değişimi Şekil 6.12’de, kurutma süresi değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir.



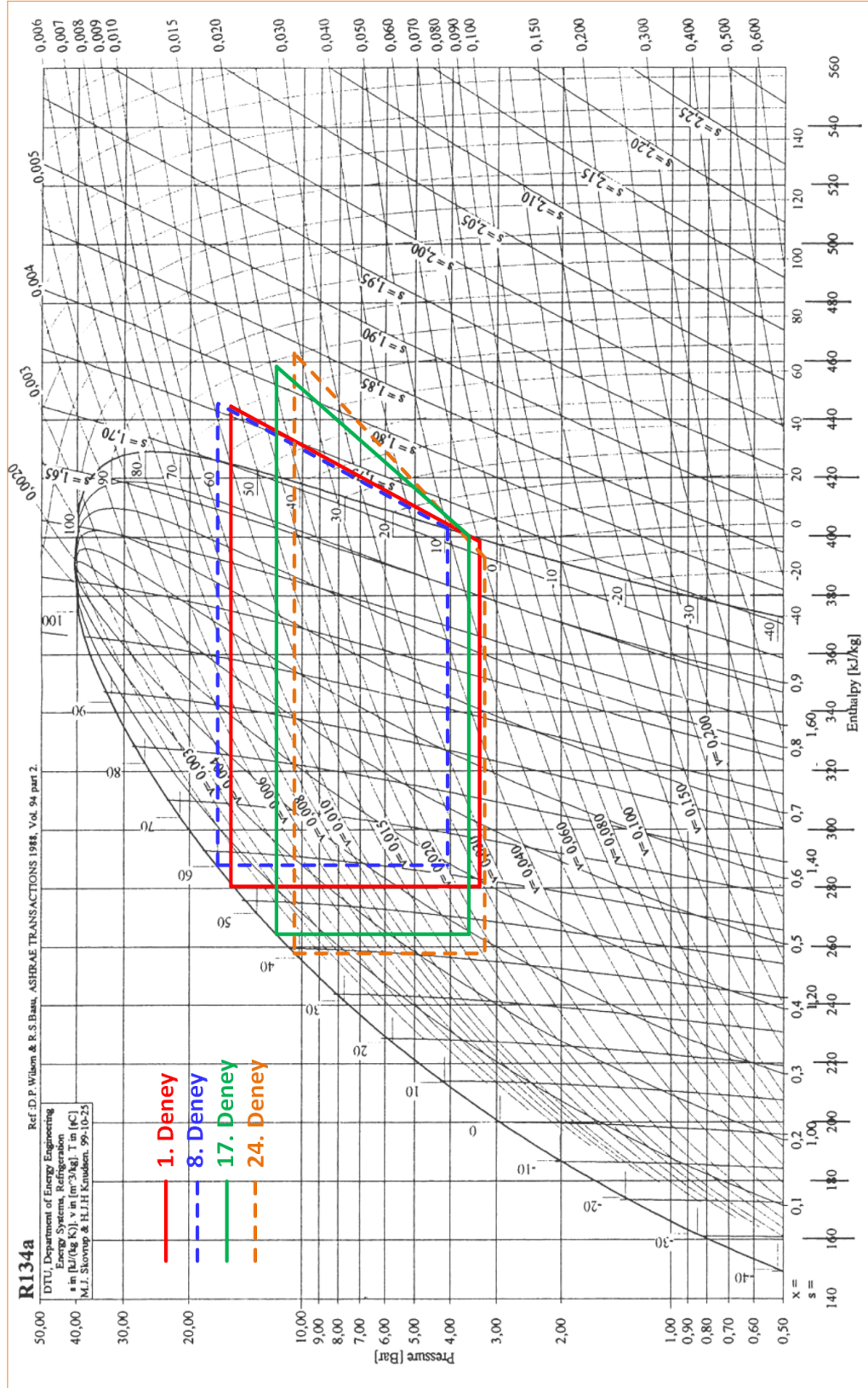
Şekil 6.12. Deniz suyu debisi 9 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3.5 m/s için kurutma havası sıcaklık değişimi.

Yapmış olduğumuz deneysel çalışmalarımızda, kurutma havası ısı pompası sistemi uygulamalarında kondenser üzerinden geçirilerek elde edilmektedir. Kondenser yüzeyinden akan hava hızı ne kadar düşük olursa havaya aktarılan ısı enerjisi daha fazla olmaktadır. Şekil 6.12’de bu durum açık bir şekilde görülmektedir. Kurutma havası hızı arttıkça sıcaklık düşmektedir. Kurutma havası hızı 3,5 m/s’de iken kurutma havası sıcaklığı yaklaşık 49 °C olarak ölçülmüştür. Kurutma havası hızı 1 m/s de iken ise kurutma havası sıcaklığının 64 °C ’ye kadar yükseldiği yapılan ölçümlerde görülmüştür.



Şekil 6.13. Deniz suyu debisi 9 l/dk, kurutma havası hızı 1 m/s, 2 m/s, 3,5 m/s için ürün ağırlık değişimi.

Şekil 6.13 incelendiğinde kurutma havası hızı arttıkça üründen çekilen nem miktarı azalmaktadır. Kurutma havası hızı azaldıkça ürün üzerinden çekilen nem miktarı artmaktadır dolayısıyla ürünün tam kuru hale gelmesi daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

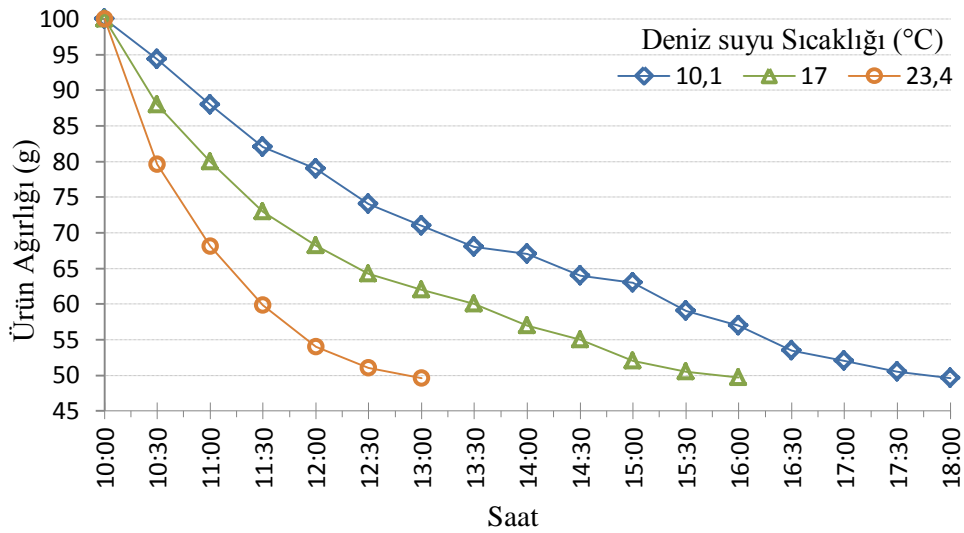


Şekil 6.14. Kurutma havası hızı ve deniz suyu debisi değişimlerinin R134a log P - h diyagramında gösterilmesi.

Isı pompası çevriminin Şekil 6.14'te 1.,8.,17. ve 24. deneyler için log P – h diyagramında gösterilmesi sistemin deniz suyu debilerinin 2 l/dk – 9 l/dk ve kurutma havası hızları 1 m/s – 3,5 m/s aralığında hangi şartlarda çalıştığının bilgisini vermektedir. Şekil 6.14 incelendiğinde aynı kurutma havası hızlarında deniz suyu debisi arttıkça buharlaşma, yoğuşma sıcaklıkları ve basınçları artmıştır. Yine diyagramda görüldüğü gibi aynı deniz suyu debilerinde kurutma havası hızının düşüşü buharlaşma, yoğuşma sıcaklıklarını ve basınçlarını arttırmıştır. Kurutma havası hızının artması aynı zamanda soğutucu akışkanın kompresördeki sıkıştırma miktarının da azalmasına sebep olmuştur.

6.3.3. Isı Kaynağı Sıcaklığının Kurutma Üzerine Etkileri

Çizelge 6.7'de 21, 25 ve 26 no'lu deneyler incelendiğinde deniz suyu sıcaklığının kurutma havası sıcaklığı, COP_{hp} ve kurutma süresi üzerine etkileri görülmektedir. Şekil 6.15 incelendiğinde ısı kaynağı sıcaklığı artışının kurutma süresinde azalmaya yol açtığı görülmektedir.



Şekil 6.15. Isı kaynağı sıcaklığının kurutma süresi üzerine etkisi.

Deniz suyu sıcaklığı arttıkça ısı pompasından kurutma havasına aktarılan enerji miktarı artmaktadır. Kurutma havası sıcaklığının artması ürün üzerinden çekilen nemde artmasını sağlamakta ve kurutma daha hızlı gerçekleşmektedir. Deniz suyu

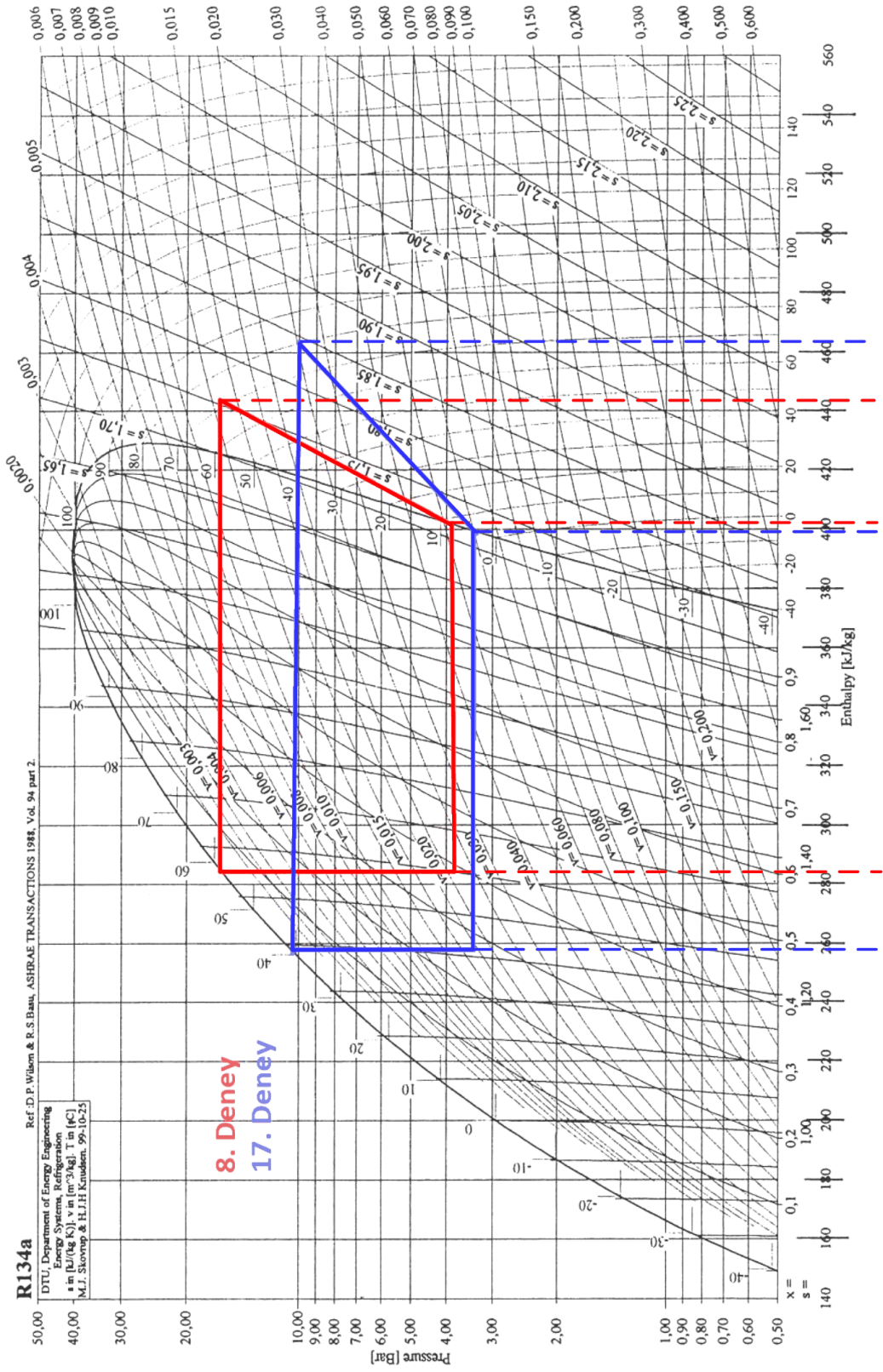
sıcaklığı 10,1 °C’de olduğunda kurutma süresi 8 saat, 17,0 °C olduğunda 6 saat ve 23,4 °C olduğunda ise 3 saat sürede tam kuru ağırlığa geldiği görülmektedir.

6.3.4. Ürünlerin Kuru ve Yaş Esasa Göre Nem Miktarları, Sistemin Isıtma Tesir Katsayıları

Ürünlerin kuru esasa göre nem miktarı Eşitlik 5.1, yaş esasa göre hesaplanan nem miktarları Eşitlik 5.2 ile ortaya koyulmuştur. Isıtma tesir katsayısı hesaplanırken gerekli olan kondenserin verdiği ısı, kompresör gücü ve evaporatör kapasitesi gibi verileri ortaya koymak için Eşitlik 5.3 – 5.7’den faydalanılmıştır. Isıtma tesir katsayısı hesaplamalarında da Eşitlik 5.8 – 5.12 kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan entalpi değerleri R134a için log P-h diyagramından (Şekil 6.16) bulunmuş olup hesaplanan değerler Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kuru ve yaş ağırlığa göre ürün nem miktarları, kurutma verimleri, özgül nem çekme oranları ve COP_{hp} değerleri.

Deney No	Kurutma Havası Sıcaklığı / °C	Kurutma Süresi / saat	W_d	NM_{KA}	NM_{YA}	$SMER_{hp}$	COP_{hp}
1	53,0	3,5	50,0	1,008	0,502	0,0131	3,75
2	53,0	3,5	50,5	1,008	0,504	0,0131	3,79
3	54,8	3	50,2	1,016	0,499	0,0155	3,80
4	55,8	3	50,1	0,996	0,501	0,0157	3,83
5	57,0	2,5	50,4	0,992	0,498	0,0189	3,85
6	58,4	2,5	49,8	1,012	0,503	0,0193	3,87
7	59,0	2	49,7	1,016	0,504	0,0244	3,90
8	60,3	2	49,8	1,012	0,503	0,0246	3,93
9	47,9	5	49,7	1,020	0,505	0,0086	3,56
10	48,9	5	50,0	1,008	0,502	0,00862	3,59
11	50,2	5	50,4	0,984	0,496	0,00855	3,59
12	51,5	5	50,1	0,996	0,499	0,00875	3,63
13	52,9	4	49,8	1,012	0,503	0,0112	3,68
14	54,3	4	50,3	0,998	0,499	0,0111	3,67
15	55,6	3	49,6	1,016	0,504	0,015	3,68
16	56,1	3	50,7	0,984	0,496	0,0148	3,71
17	40,9	8	49,9	1,004	0,501	0,00501	3,41
18	41,6	8	50,3	0,988	0,497	0,00501	3,43
19	42,7	7,5	50,8	1,012	0,503	0,00542	3,47
20	43,7	7	50,5	0,980	0,495	0,00594	3,52
21	44,5	6,5	49,6	1,020	0,505	0,00668	3,58
22	45,4	6	49,9	1,008	0,502	0,00702	3,53
23	46,4	5,5	50,0	1,004	0,501	0,00764	3,53
24	49,6	5	50,3	0,988	0,497	0,00849	3,57
25	41,3	8	50,4	1,016	0,504	0,00508	3,46
26	55	3	50,4	1,008	0,502	0,0153	3,79



Şekil 6.16. Hesaplamalarda kullanılan entalpi değerlerinin R134a log P - h diyagramında gösterilmesi.

Yapılan deneyler sonucu alınan veriler ile COP_{hp} değerleri Eşitlik 5.12 ile hesaplanmıştır. COP_{hp} hesabındaki \dot{Q}_K Eşitlik 5.4, \dot{W}_C ise Eşitlik 5.5 yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan entalpi değerleri Şekil 6.16'daki R 134 a log P – h diyagramından alınmıştır. Enerji dengesi hesaplamalarında ise deniz suyundan çekilen ısı evaporatörden çekilen ısı miktarıdır ve Eşitlik 5.7 ile hesaplanmıştır. Kondenserden havaya atılan ısı miktarı da Eşitlik 5.8 – 5.10 yardımı ile hesaplanmıştır. Kondenserin kurutma havasına attığı ısının, deniz suyundan evaporatörün çektiği ısı ile kompresörün gücü toplamına eşit olması gerekmektedir ve hesaplama sonuçları ölçüm değerleri karşılaştırıldığında değerlerin yakın çıktığı tespit edilmiştir. Ekserji kaybı ve ekserji verimi hesaplanırken Eşitlik 5.16 – 5.19 kullanılmıştır. Hava sıcaklığına göre c_p değerleri Ek – III'teki tablodan alınmıştır. Özgül nem çekme oranı hesaplanırken Eşitlik 5.14' ten faydalanılmış, kurutma verimi hesaplamalarında Eşitlik 5.25 kullanılmış ve bulunan değerler Çizelge 6.6' da verilmiştir.

6.3.5. Kondenser - Ürün İstif Mesafesinin Analizi

Ürünün kondensere uzaklığı ile ilgili yapılan deneylerde, ürün istiflenen bölgeler Şekil 6.4'de verilmiştir. Deneyler aynı şartlarda, 59 °C kurutma havası sıcaklığı, 1 m/s hava hızı ve 8 l/dk deniz suyu debisi şartlarında yapılmıştır. Ürünün kondensere uzaklığı 40 cm'den yakın olduğunda 2 saatlik kurutma sonunda, istif şekline dolaylı kondenser tarafındaki ürünler kavrulurken iç ve arka bölgedeki ürünlerde kuruma gerçekleşmediği görülmüştür (Şekil 6.17.a). Kondenser – ürün istif mesafesi 60 cm ve 100 cm olarak yapılan deneylerde ürünün kaliteli ve homojen olarak kurduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.17.b). Deneyler sonunda, kurutma tüneline kuru ürün kalitesi ve kuruma süresi göz önüne alındığında, optimum kondenser - ürün uzaklığının 40 - 80 cm aralığında olduğu görülmüştür.



a) Mesafe 40 cm altı

b) Mesafe 40 cm ve üzeri

Şekil 6.17. Kondenser – Ürün istif mesafesi farklı olarak kurutulmuş defne yaprakları.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi defne yaprağı kurutma sistemi tasarımı gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmalara başlanmıştır. İmalatı gerçekleştirilen kurutucuda farklı kurutma havası sıcakları ve kurutma havası hızları kullanılarak kurutulan defne yapraklarının su aktivite değerleri 0,37 – 0,52 aralığında ölçülmüştür.

Elde edilen deney verilerine göre, deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi kurutma sisteminde kurutma süresini başlıca etkileyen faktörün kurutma havası sıcaklığı olduğu sonucuna varılmıştır. Kurutma havası sıcaklığının kurutma süresi ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Kurutma havası sıcaklığını etkileyen değişkenlerin kurutma havası hızı, ısı kaynağı sıcaklığı ve deniz suyu debisi olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu değişkenlerin de kurutma süresi üzerinde bire bir etkili olduğu deneysel veriler ortaya konmuştur. Kurutma süresi kurutma havası hızı ile doğru orantılı, deniz suyu debisi ve ısı kaynağı sıcaklığı ile ters orantılıdır. Deniz suyu kaynaklı ısı pompalı kurutma sisteminde; farklı sıcaklık değerleri için *COP* değerleri 3,41 - 3,93 aralığında hesaplanmıştır. Kurutma hava hızı 1m/s, 16,2 °C - 16,4 °C deniz suyu sıcaklığı ve 8 l/dk - 9 l/dk deniz suyu debisi şartlarında en kısa kurutma süresi olan 2 saat gözlemlenmiştir (deney 7, 8). Kurutma havası hızı 3,5 m/s, Deniz suyu sıcaklığının 23,4 °C ve 6 l/dk deniz suyu debisi şartlarında yapılan ölçümlerde evaporatörden çıkan deniz suyu sıcaklığı 16,3 °C ve kondenser yüzey sıcaklığı 76,2 °C olarak ölçülmüştür. Bu nedenle kurutma havası hızının en az 3,5 m/s olması gerektiği tespit edilmiştir. Kurutma havası hızının bu seviyenin altına düşürülmesi, kondenser yüzey sıcaklığının 100 °C'nin üzerine çıkmasına, kompresöre aşırı yük getirmesine ve sistemin durmasına sebep olmaktadır. Bu bilgi ışığında deniz suyu sıcaklığı arttıkça kurutma havası hızının artması gerekliliği saptanmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kompresörün yüksek sıcaklıklara

çıkmasını engellemek için frekans invertörlü kompresör kullanılmasını sistemin hata vermemesi için tavsiye ederiz.

Ürün üzerinden geçen kurutma havası sıcaklığının aşırı yüksek olması üründe fiziksel (şekil ve renk), kimyasal (yağ oranı), biyolojik bozulmalara yol açabileceğinden, literatürde geçen bilgilere de dayanarak, defne yaprağı için ideal kurutma havası sıcaklığının 45 °C – 60 °C aralığında olması gerektiği bilgisi ortaya çıkarılmıştır. Deniz suyu kaynaklı ısı pompalı kurutma sisteminin defne yaprağı kurutulması için 45 °C – 60 °C değerleri arasında ek bir ısı kaynağına ihtiyaç duymadan başarılı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığı yeterli kimyasal içerikten uzak atık su ile de bu sistemin çalıştırılabileceği görülmüştür.

Ürünün istif mesafesinin kondensere olan uzaklığının homojen kuruma ve kaliteli bir kuru ürün eldesi için önemli olduğu saptanmıştır. Kurutulan ürünler renk açısından ele alındığında kondenser – ürün istif mesafesi 40 cm'nin altında olmadığı sürece kayda değer bir farklılık oluşmadığı ortaya koyulmuştur. Bu mesafe daha yakın olduğunda homojen ve başarılı bir kuruma gerçekleşmemiştir. Yapılan duyuşsal analizler sonucunda, kondenser – ürün istif mesafesi 40 cm'nin altında olmadığı deneyler haricinde tüm deney şartlarında kurutulan ürünlerin kurutma sonrası tadında, kokusunda ve dokusunda bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılacak çalışmalarda tünel içinde 360 ° dönebilen konstrüksiyonu savonius rüzgar türbinine benzeyen (fan havası hızı ile dönebilen) kafes tipi bir ürün istif mekanizması kullanımının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Literatür araştırmasında da yer verdiğimiz Kuzgunkaya, Hancıoğlu, E., Hepbaslı, A, "Exergetic Performance Assessment of a Ground Source Heat Pump Drying System" isimli çalışmada 42 °C – 45 °C kurutma havası sıcaklıkları arasında yapılan defne yaprağı kurutma deneylerinde kurutma süresinin 9 saat olduğu Çizelge 1.1'de görülmektedir. Tasarım ve imalatını yaptığımız kurutma sisteminde aynı kurutma havası sıcaklıklarında 3,5 m/s hava hızında 6 – 7,5 saat aralığında kurutma yapabildiğimiz Çizelge 6.3'te görülebilmektedir. Aktaş, M, Gönen, E., "Isı Pompalı Nem Kontrollü Bir Kurutucuda Defne Yaprığı Kurutulması" İsimli çalışmaları incelendiğinde 50 °C kurutma havası sıcaklığında 1 m/s hava hızında yapılan

deneyde kurutma süresinin 6,5 saat olduğu, buna karşılık deniz suyu kaynaklı ısı pompalı tünel tipi kurutucuda kurutma havası ortalama sıcaklığı 53 °C, 1 m/s hava hızında yapılan deneyde kurutma süresinin 3,5 saat olduğu görülmektedir. Kurutma süresindeki bu farklılıkların sebebinin, kurutma sisteminin tünel tipi oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Tünel tipi kurutucuda ürün üzerinden alınan nemin direk dış ortama atılması, kurutulan ürünün fırındaki gibi kendi içeriğinden atılan neme maruz kalmasını engellemektedir.

Deneyisel çalışma sırasında ürün hasat yeri ile kurutma yapılacak yer arasında nakliye ortamı sıcaklığının ve şartlarının önemli olduğu gözlemlenmiştir. Özensiz nakliye şartları üründe doğal kuruma sürecinin ve bozulmaların başlamasına neden olacağından taşıma şartlarına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Kullanılan ölçü cihazlarının belirsizlik analizi Eşitlik 5.20 – 5.24’ ten hesaplanmıştır. TC-08 USB 8 Kanallı sıcaklık ölçer için $\pm 0,259$ °C, BC20 Termo Higrometre için sıcaklık $\pm 0,20$ °C ve bağıl nem için $\pm 0,273$ RH (%), PCE-TA 30 Termo-Pervane-Anemometre için $\pm 0,142$ m/s, KernPFB 6000-1 için $\pm 0,231$ g olarak hesaplanmıştır.

Kullanılan deney setinin gücü 1 kW – 1,22 kW aralığında olduğu göz önüne alındığında, bu enerji ihtiyacının güneş pilleri ile karşılanabileceği görülmektedir. Kurutma birim maliyeti açısından bakıldığında 100 g için 16,6 kuruş – 1,06 TL aralığında hesaplanmış olup, katı yakıt kullanan (odun, kömür) bir kurutma tesisinde bu maliyet yaklaşık 65 kuruş seviyesindedir. Kullanılan deniz suyu kaynaklı ısı pompası ideal şartlarda birim kurutma maliyeti açısından da avantajlı ve sanayi tipi olarak üretilebilir olduğu ortaya koyulmuştur.

Defne yaprakları toplanırken şekil olarak bozulmamış ve güneşten kavrulmamış olanlar tercih edilmeli ve bekletilmeden kurutma işlemine tabi tutulmalıdır. Defne yaprağı kurutmasında doğal, kontrolsüz kurutma yerine hijyen ve ürün kalitesi düşünülerek teknik, kontrollü kurutma tercih edilmelidir. Kurutma işlemi sonunda yapraklar mutlaka vakumlama yapılarak paketlenmeli, serin ve direk güneş ışığı almayan bir yerde muhafaza edilmelidir.

Türkiye' nin dış ticaretinde kurutulmuş defne yaprağı ve yan ürünleri önemli bir yere sahiptir. Ticari bir üründe talebi arttıran temel unsur kalite – fiyat oranıdır. En düşük maliyetle en kaliteli kuru ürün eldesi için bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Yaptığımız çalışmada deniz suyu kaynaklı, ısı pompalı tünel tipi bir kurutucuda farklı şartlarda deneyler yapılmış enerji verimliliği ve kuru ürün kalitesine ilişkin bilgiler verilmiştir. Ticari ölçekli benzer bir sistem kurulumu planlanması durumunda verilen bilgiler, yapılan hesaplamalar ilk yatırım ve işletme maliyeti fizibilitesi açısından önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Göker, Y., ve Acar, İ., “Orman yan ürünlerinden akdeniz defnesi (*Laurusnobilis* L.)”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, (33) B: 125 (1983).
2. AKİB, “Akdeniz İhracatçılar Birliği Kayıtları”, *AKİB*, Türkiye (2009).
3. Serin, H., Alma., M. H. ve Ertaş, M., “Türkiye’de defne ve kekik yağının ithalat – ihracat durumları”, *1. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu*, Trabzon, 853-860 (2006).
4. OGM, “Ülkemizdeki bazı önemli orman tali ürünlerinin teşhis ve tanıtım kılavuzu”, *Orman Genel Müdürlüğü*, 659-18 (1987).
5. Bozkurt, Y., Yaltırık, F., ve Özdönmez, M., “Türkiye’de orman yan ürünleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, 13-15 (1982).
6. Acar, İ.,”Defne (*Laurusnobilis* L.) yaprağı ve yaprak eterik yağının üretilmesi ve değerlendirilmesi”, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi*, (186): 10–11 (1987).
7. Deniz, E., Gürel, A. E., Daşdemir, A., ve Çamur, D., “Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness toowning cost of energy”, *Technology*, 12 (4): 283-290 (2009).
8. Ceylan, İ., “Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak 1-4 (2002).
9. Kuzgunkaya, Hancıoğlu, E., and Hepbasli, A., “Exergetic performance assessment of a ground source heat pump drying system”, *International Journal of Energy Rsearch* (2006).
10. Göker, Y., ve Acar, M., İ., “Orman yan ürünlerinden akdeniz defnesi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, (33) B: 1 (1983).
11. Demir, V., Günhan, T., Yağcıoğlu, A. K., and Değirmencioğlu, A., “Mathematical modeling and determination of some quality parameters of air-dried bay leaves”, *Biosystems Engineering*, 88 (3): 325-335 (2004).
12. Gunhan, T., Demir, V., Hancıoğlu, E., and Hepbasli, A., “Mathematical modelling of drying of bay leaves”, *Energy Conversion and Management*, (46): 1667–1679 (2005).

13. Phani, K., A., and Greg, J., S., "Re-circulating heatpump assisted continuous bed drying and energy analysis", *International Journal of Energy Research*, (29): 961-972 (2005).
14. Ceylan, İ., M. Aktaş, and H. Doğan. "Isı pompalı kurutma odasında elma kurutulması", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25 (2): 9-14 (2005).
15. Oktay, Z., "Testing of a heat-pump-assisted mechanical opener dryer", *Applied Thermal Engineering*, (23): 153-162 (2003).
16. Oktay Z., and Hepbaşlı, A., "Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer", *Energy Conversion and Management*, (44): 1193-1207 (2003).
17. Aktaş, M., et al. "Isı pompalı bir kurutucuda portakal kabuğu kurutulması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2 (2): 229-238 (2014).
18. Ceylan, I., Aktas, M., Dogan H., "Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump", *Applied Thermal Engineering*, (27): 216-222 (2007).
19. Prasertsan, S., Saen-Saby, P., Prateepchaikul, G., and Ngamsritrakul, P., "Heat Pump Dryer Part 3: Experiment verification of the simulation", *International Journal of Energy Research*, (21): 1-20 (1997).
20. Prasertsan, S., and Saen-Saby, P., "Heat pump drying of agricultural materials", *Drying Technology*, (16): 235-250 (1998).
21. Yayıcı, A. "Bir binanın Van Gölü ısı kaynaklı ısı pompası ile ısıtılmasının ekonomikliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (1999).
22. Meyer, J.P., and Greyvenstein, G.P., "The drying of grain with heat pumps in South Africa: a techno-economic analysis", *International Journal of Energy Research*, (16): 13-20 (1992).
23. Aktaş, M., et al. "Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı kırmızı biber kurutucusunun tasarımı, imalatı ve performans deneyleri", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30 (1): 111-120 (2010).
24. Queiroz, R., Gabas, A. L., Telis, V. R. N., "Drying kinetics of tomato by using electric resistance and heat pump dryers", *Drying Technology*, (22) 7: 1603-1620 (2004).
25. Fatouh, M., Metwally, A. B., Helali, A. B., Shedid, M. H., "Herbs drying using a heat pump dryer", *Energy Conversion and Management*, 47 (15-16): 2629-2643 (2006).

26. Aktaş, M, and Kara, M.,Ç., "Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (4): 733-741 (2013).
27. Tanker, M. ve Tanker, N., "Farmakognozi, 2", *Reman Basımevi*, İstanbul (1976).
28. Çakır, A. "Eğirdir Gölü ısı kaynaklı ısı pompası tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (1998).
29. Diaz-Maroto, M. C.,Perez-Coello, M. S., Cabezudo, M. D.,"Effect of drying method on the volatilesın bay leaf (*Laurusnobilis* L.)". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (16): 4520-4524 (2002).
30. Aktaş, M, et al. "Fotovoltaik ve termal güneş enerjili sürekli bir kurutucuda domates kurutulması", *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18: 287-298 (2012).
31. Karaoğul, E., Ertaş, M., Altuntaş, E., Alma, M. H. "Karadeniz ve Akdeniz bölgesinde yetişen defne (*laurus nobilis*)'nin kimyasal içeriği", *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı: 74 -77 (2012).
32. Cakmak, H., Kumcuoglu, S., Tavman, S., "Thin layer drying of bay leaves (*Laurus nobilis* L.) in conventional and microwave oven.", *Akademik Gıda*, 11 (1): 20-26 (2013).
33. Yağcıoğlu, A., Değirmencioğlu, A., Çagatay, F., "Drying characteristics of laruel leaves under different drying conditions", *7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy*, Adana, 565-569 (1999).
34. Aktaş, M, ve Gönen, E., "Isı pompalı nem kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (2), (2014).
35. Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M. H., "Comparison of energy parameters in various dryers." *Energy Conversion and Management*, (87): 711-725 (2014).
36. Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., and Darvishi, H., "Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer", *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2014).
37. Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M. H., "Evaluation of energy consumption in different drying methods" *Energy Conversion and Management*, 52 (2): 1192-1199 (2011).
38. Shinde, A., Das, S., Datta, A. K., "Quality improvement of orthodox and CTC tea and performance enhancement by hybrid hot air-radio frequency (RF) dryer" *Journal of Food Engineering*, 116 (2): 444-449 (2013).

39. Özhatay, N., Koyuncu, M., Atay, S., Byfield, A., "Türkiye'nin doğal tıbbi bitkilerinin ticareti hakkında bir çalışma", *Doğal Hayatı Koruma Derneği*, (975): 9-7 (1997).
40. Gökmen, H., "Kapalıtohumlular (Angiospermae)", *Şark Matbaası*, Ankara, 30 (1973).
41. Göker, Y., ve Acar, İ., "Orman yan ürünlerinden akdeniz defnesi (*Laurusnobilis*L.)", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 33 (1) B: 125 (1983).
42. Christodoulakis, N., and Fasseas, C., "Air pollution effects on the leaf structure of laurusnobilis", an injury resistant species", *University of Athens Institute of General Botany*, Athens, (1990).
43. Erden, Ü., "Akdeniz defnesi (*laurusnobilis* L.)'nde mevsimsel varyabilite ve optimal kurutma yöntemlerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2005).
44. İlisulu, K., "İlaç ve baharat bitkileri", *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 1256 (360): 63-75 (1992).
45. Zeybek, N., ve Zeybek, U., "Farmasötik botanik. kapalı tohumlu bitkiler (angiospermae) sistematigi ve önemli maddeleri" *Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları*, (2) (1994).
46. Er, C., ve Yıldız, M., "Tütün, ilaç ve baharat bitkileri", *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, Ankara, (223): 1479-442 (1997).
47. Tanker, N., Koyuncu, M., Coşkun, M., "Farmasötik botanik", *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları*, 236: 78 (1998).
48. Baytop, T., "Türkiye'de bitkiler ile tedavi (Geçmişte ve bugün)", *İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları*, Nobel Tıp Kitapevleri, 226: 3-4 (1999).
49. Brickell, C., "The royal horticultural society a-z encyclopedia of garden plants". *DarlingKindersley*, London, New York, Stuttgart, Moscow, 595 (1981).
50. Bown, D., "Encyclopedia of herbsand their uses. the herb society of america", *Darling, Kindersley*, London, 252 (1995).
51. Asımgil, A., "Şifalı bitkiler", *Timaş Yayınları*, İstanbul, 80-81 (1993).
52. Schnaubelt, K., "Medical aromateraphy healing with essential oils" *Frog Ltd.*, California, 213-214 (1999).
53. Rose, J., "375 Essential oil and hydrosols" *Frog Ltd.*, Berkeley / California, 48-49 (1999).

54. Wyk, B. E., and Wink, M., "Medicinal Plants of the World", *Timber Press*, Portland, Oregon, 188 (2004).
55. Karadeniz, T., "Şifalı meyveler (Meyvelerle beslenme ve tedavi şekilleri)" *Burcan Ofset Matbaacılık Sanayi*, Ordu, 66-67 (2004).
56. Davis, P. H., "Flora of Turkey and east aegean islands", *Edinburgh University Pres*, Birmingham, (1982).
57. TC Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, "Türkiye ormanlarında odun dışı ürünler", Ankara, (2004).
58. Demir, Ö., "Güneş enerjili ısı borulu kurutucu ile sera tipi kurutucuda defne yaprağı kurutulması ve kurutma parametrelerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2012).
59. Aktaş, M., "Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
60. Demirtaş, C., "Fındık kurutma şartlarının belirlenmesi", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 58 (1996).
61. Günerkan, H., "Endüstriyel kurutma sistemleri", *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 36 (13): 1-10 (2005).
62. Ceylan, İ., Doğan, H., "Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını", *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi / Kütahya, 155-166 (2004).
63. Cemeroglu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., "Meyve ve sebze işleme teknolojisi" *Gıda Teknolojisi Derneği*, Ankara, 28, 541 - 542, 544-570 (2003).
64. Bulduk, S., "Gıda Teknolojisi", *Detay Yayıncılık*, Ankara, 41 (2002).
65. "Industrial drying systems", *ASHRAE Applications Handbook*, 28: 1-2 (2003).
66. Parker, N. H., "Aids to dryer selection", *Chemicalengineering*, (70): 115 (1963).
67. Lee, D., A., Mujumdar A. S., "Aspects of new dryer selection, 2", *Drying 86*, HemispherePub. Corp., 625-636 (1986).
68. Anthony, J., Fontana, Jr., "Wateractivity's role in food safety and quality", *Second NSF International conference on food safety*, Savannah / USA, (2000).
69. Yamankaradeniz, N., "Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 62 (2007).

70. Bardak, G.A., “Yer altı suyu kaynaklı ısı pompası sistemleri için ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi A.B.D.*, Isparta (2011).
71. Kılıç, H., “Güneş enerjisi destekli ısı pompasının tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (2006).
72. Yamankaradeniz, B., “Isı pompası kullanılarak kurutma işlemlerinde enerji tasarrufunun incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kütahya, 83 (2011).
73. Boran, K., “Isı pompasının sudan-havaya, havadan-havaya, sudan-suya deneysel olarak incelenmesi ve optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 141 (1993).
74. Şen, L., “Süt pastörizasyonu uygulaması için ısı pompası simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Zonguldak 92 (2006).
75. WEC, “1999 Enerji Raporu”, *Dünya Enerji Konseyi (WEC) Türk Milli Komitesi*, Ankara, 121 (2000).
76. Moser, F.,and Schnitzer, H., “Heat pump in industry”, *Elsevier science publishers B.V.*, 1-99 (1985).
77. Reay, D.A., Macmichael, D.B.A., “Heat pumps”, *Perqamonpress*, U.K., 10-92 (1988).
78. Stephan, K., “Absorption heat pumps and working pair development in Europe until 1974”, *Berlin meeting of the ad hoc grup on new absorption working pairs*, Berlin, (1982).
79. Merkel, F., Bosnjakovic, F., “Diagramme und tabellen zur berechnung der absorptions-kältemaschine”, *Heatpump in industry*, F. Moser and H. Schnitzer, (ed.) by, *Elsevier science publishers B.V.*, (20): 5 (1929).
80. Fearon, J., “Heat cold energy recovery heat pumps”, *Chartered mechanical engineer*, 49 (1978).
81. Egle, M., “The heating of the Zurich Tavn Hall by the heat pump”, *SEV Bulletin*, (29): 261 (1978).
82. Summer, J.A., “A summary of heat pump development and use in Great Britain”, *Journal of the Institute of Fuel*, 318-321 (1953).
83. Montagnon, P.E., Ruckley, A.L., “The festival Hall heat pump”, *Journal of the Institute of Fuel*, 1-17 (1954).

84. Macadam, J.A., "Heat pumpst he British experience", *Building researche stablishment note*, Watford, (1974)
85. Kell, J.R., Martin, P.L., "The nuffield college heat pump", *Journal of Instrumentation Heating ventil*, 333-356 (1963).
86. Pietsch, J.A., "The unitary heat pump industry - 25 years of progress", *ASHRAE*, (19): 15-18 (1977).
87. Anonymous, "Heat pump systems a teknology reviev", *International Energy Agency*, (1982).
88. Dağsöz, A.K., "Soğutma tekniği ısı pompaları ısı boruları", *Alfa Teknik Kitapları*, İstanbul, 224 (1990).
89. Özkul, N., "Uygulamalı soğutma tekniği, 115", *TMMO Makine Müh. Odası yayını*, 45-87 (1999).
90. Şenkul, B., "Isı pompaları", Lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 6-40 (2001).
91. Akgün, H.A., "Tarımsal ürünlerin ısı pompası destekli olarak kurutulması", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 89 (2009).
92. Ünalın, S., "Giriş sıcaklığı ısı pompasıyla arttırılmış termal ısı depolama kriterlerinin bilgisayar destekli analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 60 (1989).
93. Alpsoy, H., "R134a / R152a soğutucu akışkan karışımlarının ısı pompasında deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 102 (2009).
94. Çengel, Y. A., ve Boles, M. A., "Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik (4. baskı)" T. Derbentli, Çev. (1996), *İstanbul: Literatür*, (2002).
95. Coşkun, S., "Kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 110 (1993).
96. Özyurt, Ö., "Süt pastörizasyonunda ısı pompasının kullanımı ve klasik istemlerle mukayesesi", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müendisliği. Ana Bilim Dalı*, Erzurum, 1-51 (1996).
97. Savaş, A. F., "Toprak kaynaklı ısı pompası ile konut ısıtılması", Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Kütahya, 130 (1996).

98. Şen, L., and Maraş, D., “Isı pompası ile süt pastörizasyonu”, Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 1-29 (2003).
99. Zorkun, M. E., Ardiç, A. R., “Soğutma tekniği ve klima”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 69-139 (1980).
100. internet: Kızıklıoğlu End. Soğutma Sanayii, “Soğutma ile ilgili genel tanımlar”, <http://www.sogutmaci.com/karmen/kopya%20so1.htm> (2001).
101. Niğdelioğlu, O., “Toprak kaynaklı ısı pompası dizaynı ve tekno-ekonomik performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 56 (2006).
102. Kılıç, H., “Güneş enerjisi destekli ısı pompasının tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 64 (2006).
103. Sodha, M.S., "Simulation of dynamic heat transfer between ground and underground structures", *International Journal of Energy Research*, (25): 1391-1394 (2001).
104. Gönen, E., “Isı pompası destekli plc kontrollü bir kurutucuda defne yaprağı kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 88 (2012).
105. Boran, K., “Isı pompasının sudan-havaya, havadan-havaya, sudan-suya deneysel olarak incelenmesi ve optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 90 (1993).

EK AÇIKLAMALAR A.

SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ

ASHRAE Tammı	Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü	Atmosferde Kaynama Sıcaklığı (°C)	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basınç (kPa)	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)
R-11	tri-Klor Flor Metan	CCl ₃ F	23.82	198	4406	1,49 (20°C)
R-12	di-Klor di-Flor Metan	CCl ₂ F ₂	-29.79	112	4113	1,33 (20°C)
R-13	Klor tri-Flor Metan	CClF ₃	-81.4	28.8	3865	0,9 (20°C)
R-13B1	Brom tri-Flor Metan	CB ₂ F ₃	-57.75	67	3962	1,57 (20°C)
R-14	tetra-Flor Metan	CF ₄	-127.9	-45.7	3741	1,32(-80°C)
R-21	di-Klor Flor Metan	CHCl ₂ F	8.9	178.5	5168	1,38 (20°C)
R-22	Klor di-Flor Metan	CHClF ₂	-40.76	96	4974	1,21 (20°C)
R-23	tri-Flor Metan	CHF ₃	-82.1	25.6	4833	0,79 (20°C)
R-30	Metilen Klorür	CH ₂ Cl ₂	40.2	237	6077	-
R-32	di-Flor Metan (Metilen)	CH ₂ F ₂	-51.8	78.4	5830	-
R-40	Metil Klorür	CH ₃ Cl	-12.4	143.1	6674	0,92 (20°C)
R-50	Metan	CH ₄	-161.5	82.5	4438	0,36 (-120°C)
R-113	tri-Klor tri- Flor Etan	CCl ₃ CClF ₂	47.57	214.1	3437	1,58 (20°C)
R-114	di-Klor tetra-Flor Etan	CCl ₂ CClF ₂	3.8	145.7	3259	1,47 (20°C)
R-115	Klor penta-Flor Etan	CClF ₂ CF ₃	-39.1	79.9	3153	1,31 (20°C)
R-123	di-Klor tri-Flor Etan	CHCl ₂ CF ₃	27.87	183.79	3674	-
R-124	Klor tetra-Flor Etan	CHClFCF ₃	-13.19	122.5	3660	-
R-125	pentan-Flor Etan	C ₂ HF ₅	-48.57	66.3	3630.6	-
R-134a	tetra-Flor Etan	CF ₃ CH ₂ F	-26.16	101.1	4067	-
R-141b	di-Klor Flor Etan	CClFCH ₃	32	204.2	4250	-
R-142b	Klor di-Flor Etan	CClF ₂ CH ₃	-9.8	137.1	4120	1,12 (20°C)
R-152a	di-Flor Etan	CH ₃ CHF ₂	-25	113.5	4492	0,91 (20°C)
R-160	Etil Klorür	C ₂ H ₅ Cl	12.4	187.2	5237	-
R-170	Etan	C ₂ H ₆	-88.8	32.2	4891	0,35 (20°C)
R-216ca	di-Klor hekza-Flor Propan	C ₃ Cl ₂ F ₆	35.69	180	2753	-
R-290	Propan	C ₃ H ₈	-42.09	96.7	4248	0,5 (20°C)
R-500	R-12(%73,8);R152a(26,2)	Karışım (%Ağırl.)	-33.5	105.5	4423	1,17 (20°C)
R-502	R-115(%51,2);R-22(%48,8)	Karışım (%Ağırl.)	-45.4	82.2	4075	1,26 (20°C)
R-503	R-13(%59,9);R23(40,1)	Karışım (%Ağırl.)	-88.7	19.5	4182	1,29 (-40°C)
R-504	R-115(%51,8); R-32(%48,2)	Karışım (%Ağırl.)	-57.2	66.4	4758	1,09 (20°C)
R-600	Bütan	C ₄ H ₁₀	-0.5	152	3794	0,58 (20°C)
R-600a	Izobütan	C ₄ H ₁₀	-11.73	135	3645	0,56 (20°C)
R-610	Etil Eter	C ₄ H ₁₀ O	34.6	194	3603	-
R-611	Metil Format	C ₂ H ₄ O ₂	31.8	214	5994	-

ASHRAE Tanımı	Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü	Atmosferde Kaynama Sıcaklığı (°C)	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basınç (kPa)	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)
R-630	Metil Amin	CH ₃ NH ₂	-6.7	156.9	7455	-
R-631	Etil Amin	C ₂ H ₅ NH ₂	16.6	183	5619	-
R-702	Hidrojen (Normal)	H ₂	-252.8	-239.9	1315	0,035 (-
R-704	Helyum	He	-268.9	-267.9	228.8	0,126
R-717	Amonyak	NH ₃	-33.3	133	11417	0,61 (20°C)
R-718	Su	H ₂ O	100	374	22064	-
R-720	Neon	Ne	-246.1	-228.7	3397	1,2 (-246°C)
R-728	Azot	N ₂	-198.8	-146.9	3396	0,72(-220°C)
R-729	Hava(0,21 O ₂ +0,78 N ₂ +0,01 Argon)		-194.3	-140.5	3785	-
R-732	Oksijen	O ₂	-182.9	-118.6	5043	-
R-740	Argon	Ar	-185.9	-122.5	4860	1,35(-220°C)
R-744	Karbon Dioksit	CO ₂	-78.4	31.1	7372	0,77(20°C)
R-744A	Azot Dioksit	N ₂ O	-89.5	36.5	7221	-
R-764	Kükürt Dioksit	SO ₂	-10	157.5	7875	-
R-1120	tri-Klor Etilen	CHCl=CCl	87.2	271.1	5016	-
R-1130	di-Klor Etilen	CHCl=CHCl	47.8	243.3	5478	-
R-1150	Etilen	C ₂ H ₄	-103.7	9.3	5114	0,46 (-40°C)
R-1270	Propilen	C ₃ H ₆	-47.7	91.8	4618	0,52 (20°C)

EK AÇIKLAMALAR B.

ÖLÇÜ CİHAZLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

TC-08 USB 8 Kanallı sıcaklık ölçer

Thermocouple Type	Ölçüm Aralığı °C	0.1 °C Çözünürlük	0.025 °C Çözünürlük
B	20 to 1820	150 to 1820	600 to 1820
E	-270 to 910	-270 to 910	-260 to 910
J	-210 to 1200	-210 to 1200	-210 to 1200
K	-270 to 1370	-270 to 1370	-250 to 1370
N	-270 to 1300	-260 to 1300	-230 to 1300
R	-50 to 1760	-50 to 1760	20 to 1760
S	-50 to 1760	-50 to 1760	20 to 1760
T	-270 to 400	-270 to 400	-250 to 400

Number of channels	8
Conversion time	100 ms (thermocouple and cold junction compensation)
Temperature accuracy	Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Voltage accuracy	Sum of $\pm 0.2\%$ of reading and $\pm 10\text{ }\mu\text{V}$
Overload protection	$\pm 30\text{ V}$
Maximum common mode voltage	$\pm 7.5\text{ V}$
Input impedance	2 M Ω
Input range (voltage)	$\pm 70\text{ mV}$
Resolution	20 bits
Noise free resolution	16.25 bits
Thermocouple types supported	B, E, J, K, N, R, S, T
Input connectors	Miniature thermocouple
Output connector	USB — cable supplied
PC connection	USB 1.1
Power supply	From USB port
Dimensions	201 x 104 x 34 mm (7.91 x 4.09 x 1.34 in)
Supplied software	PicoLog Software Development Kit Linux drivers
PC requirements	Processor: Pentium class processor or equivalent Memory: 32 MB minimum Disk space: 10 MB minimum OS: 32-bit edition of Microsoft Windows XP (SP2) or Vista Ports: USB 1.1 or USB 2.0 compliant port. Must be connected direct to the port or a powered USB hub.
Language support (software)	PicoLog: English
Language support (documentation)	User's guide: English Installation guide: English, French, German, Italian, Spanish, Swedish, Dutch, Danish

BC20 Termo Higrometre

Teknik Bilgi	BC20 Termo Higrometre
Hava sıcaklığı ölçüm aralığı:	-30 °C ila +100 °C (-22 °F ila +199 °F)
Hava sıcaklığı çözünürlük:	0,1 °C (0,1 °F)
Hava sıcaklığı doğruluk:	±1 °C (±1,5 °F)
Nem oranı ölçüm aralığı:	0 ila %100 bağıl nem (belirtilen 5 ila %95 bağıl nem)
Nem oranı çözünürlük:	%0,1 bağıl nem
Nem oranı doğruluk:	± %2 bağıl nem (25 °C'de ve %5 ila %95 bağıl nem)
Erime noktası sıcaklığı ölçüm aralığı:	-30 °C ila +100 °C (-22 °F ila +199 °F)
Erime noktası sıcaklığı çözünürlük:	0,1 °C (0,1 °F)
Erime noktası sıcaklığı doğruluk:	±1 °C (±1,5 °F) yaş termometre sıcaklığı (soğutma sınır sıcaklığı)
Ölçüm aralığı:	0 °C ila +80 °C (+32 °F ila +176 °F)
Çözünürlük:	0,1 °C (0,1 °F)
Doğruluk:	±1 °C (±1,5 °F)
Fonksiyonlar:	Maksimum ve minimum değer göstergesi, hold fonksiyonu, °C und °F ile sıcaklık göstergesi, ekran aydınlatması, otomatik kapanma
Ebatlar U x G x Y	225 x 45 x 34 mm
Ağırlık:	yakl. 200 g (batarya dahil)
Teslimat kapsamı	Ölçüm cihazı, batarya, saklama kutusu, kullanım kılavuzu

PCE-TA 30 Esnek Termo-Pervane-Anemometre

Teknik özellikler

Anemometre'deki ölçüm birimlerinin

Ölçüm aralığı:	1,0 ... 30,0
- m/s	196 ... 5900
- ft/min	1,9 ... 58,0
- Knoten	3,6 ... 108,0
- km/h	2,2 ... 67,0
- mph	0,0 ... 999,900
- ft ³ /min	-10 ... 60,0
- °C	

Çözünürlük

- m/s	0,01
- ft/min	1,0
- Knoten	0,1
- km/h	0,1
- mph	0,1
- ft ³ /min	0,1
- °C	0,1

Hassasiyet

- m/s	± 3% ± 0,2
- ft/min	± 3% ± 40
- Knoten	± 3% ± 0,4
- km/h	± 3% ± 0,8
- mph	± 3% ± 0,4
- °C	± 1,5

Ekran

LCD-Ekran

Sensör

esnek Pervaneli

Termo

Sonda'nın uzunluğu :

300 mm

Ø Pervane : 27,2 mm

Çevresel koşullar

Anemometre: 0 °C

... 40 °C / < 80 % n.o.

Termo-Sonda: 0 °C

... 50 °C / < 80 % n.o.

Güç kaynağı

1 x 9 V Blok-Pil

Otomatik kapanma

evet, 5 dakika sonra

(Pil tasarrufu için)

Cihaz boyutu

163 x 45 x 34 mm

Gövde
Ağırlık

ABS-Plastik
257 gr.

KernPFB 6000-1 6000GR/0,1GR

Özellik	Açıklama
Marka	: Kern
Model	: PFB 6000-1
Kategori	: Hassas Terazi
Marka Menşei	: Almanya
Tartım Hassasiyeti	: 0,1 gr.
Tartım Kapasitesi	: 6000 gr.
Kefe Çapı	: 155x145 mm.
Doğrusallık	: 0,2 gr.
Kalibrasyon Tipi	: Harici Kalibrasyon
Ekran Tipi	: LCD
Cihaz Ölçüleri	: 200x257x87 mm.
Dara Alma Özelliği	: Yok
Birim Dönüştürme	: Var
Pille Çalışabilme Özelliği	: Yok
Otomatik Dahili Kalibrasyon Sistemi	: Yok
Yazıcı için RS232 Arayüzü	: Var
IQ / PQ / QQ Desteği	: Yok
Hırsızlık Koruması - Şifre ve Mekanik Koruma	: Yok
Alttan Tartım Özelliği	: Yok
USB Aygıtı	: Yok
g, mg, ozt, lb, tael vb. Ölçü Birimleri	: Yok
Yüzde Tartım %	: Var
Parça Sayma Özelliği	: Var
Hayvan Tartım Özelliği	: Var

Pirinç Türbin Debimetre 1/2"

Ölçüm Aralığı: 1 – 30 litre/dakika
Ölçüm Sahası: Sıvılar
Model: GT-PTD-15
Pulse: 425 pulse/litre
Metaryal:Pirinç Gövde, PBT iç malzeme
Bağlantı: 1/2" Erkek Dişli + 1/2" Dişi Dişli
Sıcaklık: -25 ... +120 C°
Max. Basınç: 20 Bar
Çıkış: Pulse, opsiyonel 4-20 mA
Besleme: 3 ... 24 VDC
Hassasiyet: %1
Max Akım Dayanımı: 8 mA
Max. Nem: 90 %rH
Tekrarlıyabilirlik: %0.5 den daha iyi
Elektrik Bağlantı Kablosu: 30 cm
Vizkosite: Max. 20 cSt
Koruma Sınıfı: IP68

EK AÇIKLAMALAR C.

HAVANIN ATMOSFERİK BASINÇTAKİ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Havanın Atmosferik Basıncındaki Fiziksel Özellikleri (Patm=101.325 kPa)

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	μ (kg/m·s)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.605	1039	0.711×10^{-5}	0.197×10^{-5}	0.00941	0.251×10^{-5}	0.784
150	2.368	1012	1.035	0.437	0.01406	0.587	0.745
200	1.769	1007	1.333	0.754	0.01836	1.031	0.731
250	1.412	1006	1.606	1.137	0.02241	1.578	0.721
260	1.358	1006	1.649	1.214	0.02329	1.705	0.712
270	1.308	1006	1.699	1.299	0.02400	1.824	0.712
280	1.261	1006	1.747	1.385	0.02473	1.879	0.711
290	1.217	1006	1.795	1.475	0.02544	2.078	0.710
300	1.177	1007	1.857	1.578	0.02623	2.213	0.713
310	1.139	1007	1.889	1.659	0.02684	2.340	0.709
320	1.103	1008	1.935	1.754	0.02753	2.476	0.708
330	1.070	1008	1.981	1.851	0.02821	2.616	0.708
340	1.038	1009	2.025	1.951	0.02888	2.821	0.707
350	1.008	1009	2.090	2.073	0.02984	2.931	0.707
400	0.8821	1014	2.310	2.619	0.03328	3.721	0.704
450	0.7840	1021	2.517	3.210	0.03656	4.567	0.703
500	0.7056	1030	2.713	3.845	0.03971	5.464	0.704
550	0.6414	1040	2.902	4.524	0.04277	6.412	0.706
600	0.5880	1051	3.082	5.242	0.04573	7.400	0.708
650	0.5427	1063	3.257	6.001	0.04863	8.430	0.712
700	0.5040	1075	3.425	6.796	0.05146	9.498	0.715
750	0.4704	1087	3.588	7.623	0.05425	10.61	0.719
800	0.4410	1099	3.747	8.497	0.05699	11.76	0.723
850	0.4150	1110	3.901	9.400	0.05969	12.96	0.725
900	0.3920	1121	4.052	10.34	0.06237	14.19	0.728
950	0.3716	1131	4.199	11.30	0.06501	15.47	0.731
1000	0.3528	1142	4.343	12.31	0.06763	16.79	0.733

ÖZGEÇMİŞ

Özgür DEMİR 1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa Altıparmak İlk Öğretim okulunda tamamladı. Bursa Erkek Lisesi'ni bitirdi. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümünü kazanıp, 2007 yılında tamamladı. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programını 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Programına başladı. Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu 2008 – 2009 Eğitim yılında Öğretim Elemanı olarak görev yaptı. 2009 yılında Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı, halen görevine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Sinop Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
Orduköyü Mevkii/SİNOP

Tel : (532) 559 76 51

E-posta : odemir@sinop.edu.tr