

**ISI POMPASI VE GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN BİRLİKTE
KULLANILDIĞI, ISITMA VE KURUTMA AMAÇLI SICAK HAVA
ÜRETİM SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Seyfi ŞEVİK

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2011
ANKARA**

Seyfi ŞEVİK tarafından hazırlanan “İSİ POMPASI VE GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN BİRLİKTE KULLANILDIĞI, ISITMA VE KURUTMA AMAÇLI SICAK HAVA ÜRETİM SİSTEMİNİN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Çetin ELMAS

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. E. Nurcan YILMAZ

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. İlhan CEYLAN

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, K.B. Ü.

Tarih : 02/11/ 2011

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Seyfi ŞEVİK

**ISI POMPASI VE GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN BİRLİKTE KULLANILDIĞI,
ISITMA VE KURUTMA AMAÇLI SICAK HAVA ÜRETİM SİSTEMİNİN
TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)**

Seyfi ŞEVİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2011**

ÖZET

Bu çalışmada ucuz, kaliteli ve sürdürülebilir bir sistem tasarımı amacıyla güneş enerjisi ve ısı pompasının birlikte kullanıldığı bir sıcak hava üretim sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Sistemin süreç kontrolü için bir PLC (Programmable Logic Controller) ve SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi tasarlanmıştır. Kurutma esnasında bütün veriler hazırlanan bilgisayar yazılımı sayesinde bilgisayar ekranından takip edilmiş ve belirlenen sürelerde kayıt altına alınmıştır. Tasarım, farklı koşullar altında test edilmiş ve tasarımın enerji analizleri yapılmıştır.

Sistemde, enerji ihtiyaçları ısı pompası ve güneş kolektörleri tarafından sağlanmakta ve PLC ile mahal içindeki havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hızı ve kurutulan ürünün ağırlığı kontrol edilmektedir. Böylece hem ürünler, daha az enerji girdisiyle ve daha kontrollü olarak kurutulabilmiş hem de mahal daha ekonomik ısıtılabilmiştir. Sistem, üç manevra kabiliyetine sahiptir. Buna ek olarak sistemde, ısıtma veya kurutma yapılırken aynı zamanda da ısı depolanabilmektedir. Bu çalışmada, güneş enerjisi ve ısı pompasının ayrı ayrı veya birlikte kullanılabildiği güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim cihazıyla farklı hava sıcaklık ve hızlarında ısıtma ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Sistemin deneysel olarak incelenebilmesinde ısıtma için bir mahâl seçilmiş ve bu mahâlin ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma için ise kurutulmuş gıda ürünlerinden önemli bir yere sahip ve ithalat değeri yüksek olan “agaricus bisporous” türü mantar seçilmiş ve seçilen bu ürünün kurutma deneylerinin ayrıntılı analizi ortaya konmuştur.

Kurutma sisteminde ağırlığı 2 000 g olan mantarlar 4 mm kalınlığında dilimlenmiş; 0.9 m/s ve 1.2 m/s hava hızlarında % 93 nem miktarından % 7 son nem (kuru baz) değerine kadar 30-35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarda deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde sadece ısı pompası (IP), sadece güneş enerjisi (GE) ve her ikisi birlikte (güneş destekli ısı pompası) kullanılarak kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mantarlar, sadece ısı pompası kullanılarak 220-250 dakikada, sadece güneş enerjisi kullanılarak 165-300 dakikada, güneş destekli ısı pompası kullanılarak 190-230 dakikada kurutulmuştur. Güneş destekli ısı pompalı PLC kontrollü sistemde ortalama performans katsayısı (COP) değerleri; sadece ısı pompası kullanıldığında 2.2, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 3.5 ve bütün sistem devrede olduğunda da 3.0 olarak hesaplanmıştır. Enerjinin kullanılma oranları (EUR) ortalama; sadece ısı pompası kullanıldığında 0.45, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 0.63 ve bütün sistem devrede olduğunda da 0.52 olarak hesaplanmıştır. Özgül nem çekme oranları (SMER) ortalama; sadece ısı pompası kullanıldığında 0.36 kg/kWh, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 0.80 kg/kWh ve bütün sistem devredeyken 0.62 kg/kWh olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneyler ve analizler sonucunda elde edilen veriler, tasarlanan sistemin amaçlanan hedef için uygun ve verimli olduğu kanaatine varılmıştır.

Bilim Kodu	: 708
Anahtar Kelimeler	: Isıtma, kurutma, ısı pompası, güneş enerjisi, mantar, enerji analizi
Sayfa Adedi	: 233
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. Hikmet DOĞAN

**DESIGNING, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL EXAMINING OF
HOT AIR PRODUCTION SYSTEM FOR HEATING AND DRYING THAT
USED WITH HEAT PUMP AND SOLAR COLLECTOR
(Ph.D. Thesis)**

Seyfi ŞEVİK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
November 2011**

ABSTRACT

In this study; in order to design a system that is cheap quality and sustainable made of hot-air production system design and manufacture used with solar system and heat pump. The system for process control, PLC (Programmable Logic Controller) and SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems were designed. All data has been followed on a computer screen during drying and by the software have been recorded. Design, tested under different conditions and energy analysis of design is made.

In this system; energy needs provided by heat pump and solar collectors and temperature, relative humidity, velocity and weight of the product in the space were controlled with PLC. Thus, products were dried with less energy input and as a more controlled rate. Places were heated more economically. The system is capable of three maneuvers. In addition, while heating or drying is performed, the heat can be stored by the system.

In this study, solar energy and heat pump can be used separately or together. In the different air temperatures and air velocities, heating and drying operations were carried out by solar assisted heat pump hot air production device.

In the experimental examination of the system, selected a space for heating and heating process of this area was accomplished. For the experimental examination of the system were selected a space for heating. After that, heating process of this space was accomplished.

In the designed and manufactured system, “*Agaricus Bisporous-Button*” mushroom was dried and has been analyzed experimentally. In drying system, 2 000 g of sliced mushrooms (4 mm thick) and 0.9 m / s and 1.2 m / s air speeds, from the initial moisture amount % 93 the last moisture amount up to 7% moisture (dry basis) 30-35 °C, 45 °C and 55 °C were dried. In this experiments, drying operations have been done by using only heat pump (HP), only solar energy (SE) and both them (SAHP-solar assisted heat pump). Mushrooms were dried in 220-250 minutes by using only heat pump, 165-300 minutes by solar energy, 190-300 minutes by solar assisted heat pump.

PLC-controlled solar-assisted heat pump system COP values of the average were calculated 2.2, 3.5 and 3.0 respectively by using only the heat pump, using only solar energy and using solar-assisted heat pump. Energy utilization rates (EUR) were calculated averagely 0.45 for heat pump, 0.63 for solar energy and 0.52 for the whole system. Specific moisture extraction rates (SMER) were calculated averagely 0.36 kg/kWh for heat pump, 0.8 kg/kWh for solar energy and 0.62 kg/kWh for the whole system. The data was obtained as a result of experiments and analysis. As a result, designed system to be efficient for the intended target has been concluded.

Science Code : 708
 Key Words : Heating, drying, heat pump, solar energy, mushroom, energy analysis
 Page Number : 233

**Adviser : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN
TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışmasının bütün aşamalarında görüş ve önerilerinden faydalandığım sayın hocalarım Prof. Dr. Hikmet DOĞAN ve Yrd. Doç. Dr. İlhan CEYLAN’a, tez süresi boyunca zaman zaman geç saatlere kadar birlikte çalışarak, tasarımımdan projenin son halini almasına kadar her konuda yardımcı olan sayın Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ’a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışması Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 07/2010–14 kodlu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle; Gazi Üniversitesi Rektörlüğü ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi çalışanlarına ve ayrıca; bu tez çalışması sırasında bana maddi-manevi destek veren eşim Fatma G. ŞEVİK’e, aileme ve benim iş yükümü üzerlerine alarak vakit sunan iş arkadaşlarıma da teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	35
3.1. Türkiye Güneş Radyasyonu.....	35
3.1.1. Ankara güneş ışıınımı (Radyasyonu)	38
3.2. Güneş Enerjisi Sistemleri	41
4. ISI POMPASI	45
4.1. Isı Pompası Genel Tanımı	45
4.1.1. Isı pompalarının olumlu ve olumsuz yönleri	49
4.3. Isı Pompalarında Verimi Etkileyen Faktörler	50
4.4. Isı Pompası Sisteminin Performans Analizi	50
5. GÜNEŞ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMİ.....	52
6. OTOMATİK KONTROL.....	55
6.1. Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (SCADA).....	55
6.1.1. PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrol	55

Sayfa

6.1.2. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol)	59
7. ISITMA VE ISITMA TEORİSİ	64
7.1. Su Isıtıcıları ile Hacim Isıtması.....	66
7.1.1. Klasik ısıtma sistemleri.....	66
7.1.2. Isı pompalı ısıtma sistemleri	66
7.1.3. Güneş enerjili ısıtma sistemleri	67
7.1.4. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı (Hibrid) ısıtma sistemleri	69
7.2. Hava Isıtıcıları ile Hacim Isıtması.....	71
7.2.1. Isı Pompalı ısıtma sistemleri	71
7.2.2. Güneş enerjili ısıtma sistemleri	71
7.2.3. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı (Hibrid) ısıtma sistemleri	73
8. KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ.....	74
8.1. Kurutmayı Etkileyen Faktörler	80
8.1.1. Hava sıcaklığının etkisi.....	81
8.1.2. Hava neminin etkisi	81
8.1.3. Hava akış hızının etkisi.....	83
8.2. Ürünlerde Kurutma Süresi.....	83
8.2.1. Ürünün türü (Yoğunluk)	83
8.2.2. Ürünün rutubeti	84
8.2.3. Ürünün boyutları	84
8.2.4. Kurutma sıcaklığı	84
8.2.5. Hava hareket hızı.....	85
8.2.6. Kurutma fırınının yapısı.....	85

Sayfa

8.2.7. Kurutma yöntemi.....	86
8.4. Ürünlerin Yapay Kurutulması.....	89
8.4.1. Klasik kurutma	90
8.4.2. Güneş enerjisi ile kurutma	92
8.4.3. Isı pompası sistemiyle kurutma.....	95
8.4.4. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemiyle kurutma	98
8.5. Denge Nemi	100
8.6. Ürünün Kurutma Hızı.....	102
8.7. Ürünün Su Aktivitesi.....	104
8.8. Tam Kuru Ağırlık.....	105
9. MANTAR VE KURUTULMASI.....	106
9.1. Mantarın Özellikleri ve Mantar Üretim Değerleri	106
9.2. Mantar Çeşitleri.....	111
9.2.1 Kültür mantarı-beyaz şapkallı mantar (Agaricus Bisporus)	114
9.3. Mantar Kurutma	116
9.3.1. Mantar kurutma havası sıcaklığının ve son nemin kurutmaya etkisi	120
9.3.2. Mantar kurutma havası hızının kurutmaya etkisi	122
9.3.3. Mantar miktarının kurutmaya etkisi	123
9.3.4. Mantarın fiziksel yapısının kurutmaya etkisi	123
10. MATERYAL VE METOT	125
10.1. Teorik Analiz	125
10.1.1. Kurutma işlemi için gerekli enerji miktarının hesaplanması	125
10.2. Deney Düzenekinin Hazırlanması ve Deney Düzenekği	145

Sayfa

10.2.1. Kurutma odası	149
10.2.2. Güneş enerjisi devresi.....	152
10.2.3. Isı pompası sistemi	154
10.2.4. Sistem detayları ve kontrol işlev sistemi	156
11. DENEYLERİN YAPILIŞI	166
11.1. Tam Kuru Ağırlığın Tespiti	166
11.2. Mantarların Kurutulması	168
11.3. Kurutma İşleminin Sonlandırılması	169
12. DENEY SONUÇLARI	170
12.1. Sadece Isı Pompasıyla Kurutma Deneyleri	171
12.2. Sadece Güneş Enerjisiyle Kurutma Deneyleri.....	178
12.3. Güneş Destekli Isı Pompasıyla Kurutma Deneyleri.....	183
12.4. Kurutma Deneylerinin Karşılaştırılması.....	188
13. SONUÇ VE ÖNERİLER	194
KAYNAKLAR.....	200
EKLER.....	216
EK-1 Sıcaklığa göre düzenlenmiş doymuş su ve su buharı tablosu	217
EK-2 Sıcaklığa göre düzenlenmiş % 40 glikollü su ve su buharı tablosu	218
EK-3 Suyun ısı özellikleri	219
EK-4 Su-buhar için Mollier diyagramı (h-s diyagramı)	220
EK-5 R404A Ph diyagramı	221
EK-6 R404A için kılcal boru seçimi.....	222
EK-7 Soğutucu olarak kullanılan maddelerin fiziksel ve termodinamik özellikleri	223
EK-8 Düşük basınçtaki hava özellikleri.....	224
EK-9 Kuru hava özellikleri	225
EK-10 Sıcaklık ve doyma yüzdesine bağlı olarak 1m ³ havada gram olarak bulunan nem miktarı (g nem/m ³ hava)	226
EK-11 Havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak yoğuşma noktası sıcaklığı.....	227

EK-12 Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminden görüntüler	228
EK-13 Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminin HMI görüntüsü	231
ÖZGEÇMİŞ.....	232

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Yıllara göre kurutulmuş sebze üretimi (1 000 ton)	5
Çizelge 1.2. Yıllara göre kurutulmuş sebze ihracatı	5
Çizelge 3.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	37
Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	38
Çizelge 3.3. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimine katkısı	41
Çizelge 7.1. Isı pompası kaynaklı su ısıtma sistemleri ile ilgili bazı çalışmalar	67
Çizelge 7.2. Güneş destekli ısı pompalı su ısıtma sistemleri ile ilgili bazı çalışmalar	70
Çizelge 8.1. Bazı gıda ürünlerinin ilk ve son nem içerikleri	79
Çizelge 8.2. Sıcaklık ve doyma yüzdesine bağlı olarak 1m ³ havada gram olarak bulunan nem miktarı (gr nem/m ³ hava)	82
Çizelge 8.3. Kurutma işlemlerinin karşılaştırılması	90
Çizelge 8.4. Isı pompalı kurutma ile kurutulan bazı ürünler	97
Çizelge 8.5. Kurutma eğrileri için çeşitli yazarlar tarafından verilen matematiksel modeller	103
Çizelge 9.1. Çeşitli mantarların besin değerleri, bazı günlük besin maddeleriyle mukayeseleri	107
Çizelge 9.2. Dünyada 1986 ve 1997 yıllarında yemeklik mantar üretimi	108
Çizelge 9.3. Türkiye'de mantar üretimi	109
Çizelge 9.4. Bölgelere göre mantar üretimi	110
Çizelge 9.5. 1996-2001 yıllarında Türkiye taze mantar ithalat ve ihracatı (ton)	110
Çizelge 9.6. 2006-2007 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün	110
Çizelge 9.7. 2007-2008 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün	111

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.8. 2008-2009 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün.....	111
Çizelge 9.9. Kültür mantarının değişik sıcaklıklarda dayanma süreleri	116
Çizelge 9.10. Çeşitli kurutulmuş mantar türlerinin içerdiği besin değerleri	117
Çizelge 9.11. Çeşitli mantarlarda vitamin içeriği (mg/100g kuru madde).....	117
Çizelge 9.12. Yıllara göre kurutulmuş mantar ihracat miktarları ve gelirleri	119
Çizelge 9.13. Yıllara göre kurutulmuş mantar ithalat miktarları ve giderleri	119
Çizelge 10.1. Sistem elemanlarının enerji eşitlikleri	148
Çizelge 10.2. Deney düzeneğindeki elemanlar ile ilgili bilgiler	157
Çizelge 10.3. Kurutma fırınında kullanılan elektrikli cihazların güçleri	158
Çizelge 10.4. Ölçüm cihazları ve özellikleri	159
Çizelge 10.5. Ölçü aletleri ve özellikleri.....	159
Çizelge 10.6. Havanın, sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak yoğuşma noktası sıcaklıkları	164
Çizelge 12.1. IP ile yapılan deneylere ait detaylar	177
Çizelge 12.2. GE ile yapılan deneylere ait detaylar.....	182
Çizelge 12.3. GDIP ile yapılan deneylere ait detaylar	187
Çizelge 12.4. Tasarlanan ve deneyleri yapılan sistemin karşılaştırılması.....	191
Çizelge 12.5. Deneylerde elde edilen veriler	191

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. YSA ile performans tahmini yapılan DGGDIP sistemi deney seti.....	9
Şekil 2.2. Açık günler için güneş destekli ısı pompası sistemi	10
Şekil 2.3. Güneş destekli ısı pompası sistemi (GDIPs) deney setinin şematik diyagramı	11
Şekil 2.4. Güneş destekli su kaynaklı ısı pompasının şematik diyagramı	12
Şekil 2.5. Güneş destekli hava kaynaklı ısı pompasının şematik diyagramı	12
Şekil 2.6. Güneş destekli seri bağlı ısı pompası sistemi	13
Şekil 2.7. Güneş destekli paralel bağlı ısı pompası sistemi	13
Şekil 2.8. Güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası sera ısıtma sisteminin (GDTKIPSIS) ana komponentleri ve şeması	17
Şekil 2.9. Vakum tüplü güneş destekli ısı pompası sistemi	18
Şekil 2.10. DGGDIP sisteminin şematik görünüşü	19
Şekil 2.11. Konutlar için güneş destekli ısıtma sisteminin şematik diyagramı	20
Şekil 2.12. Jeotermal-güneş destekli ısı pompası (GEOSOL) projesi prensip diyagramı	21
Şekil 2.13. Güneş destekli ısı pompası sistemi deney seti	22
Şekil 2.14. Güneş destekli ısı pompası sistemiyle mevsimlik gizli ısı depolama	23
Şekil 2.15. Güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası prensip diyagramı	24
Şekil 2.16. Isıtma amaçlı güneş kaynaklı ısı pompası (GDIP) sistemi	24
Şekil 2.17. GDIP ile depoda tahıl kurutmanın şematik diyagramı	25
Şekil 2.18. Güneş enerjili ısı pompası destekli kurutma fırını	26
Şekil 2.19. Bilgisayar Kontrollü güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası	28

Şekil	Sayfa
Şekil 2.20. Sıcaklık, nem ve ağırlık kontrollü, nem yoğuşturmalı (kondenzasyonlu) fındık kurutma fırını.....	30
Şekil 2.21. Isı pompalı kurutucu.....	31
Şekil 2.22. Dış hava karışıklı, ısı pompası destekli kereste kurutma fırını.....	33
Şekil 2.23. Isı pompalı PID kontrollü kurutma fırını.....	33
Şekil 3.1. EİE Güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA)	36
Şekil 3.2. Güneş enerjisinden termal üretime elverişli alanlar	36
Şekil 3.3. Türkiye güneş radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	37
Şekil 3.4. Ankara için dört mevsim güneşin konumu.....	38
Şekil 3.5. Güneşin yıl boyu Ankara ile yaptığı en az ve en çok açıları	39
Şekil 3.6. Ankara global (küresel) güneş radyasyon dağılımı.....	40
Şekil 3.7. Ankara ili güneşlenme süresi değerleri (saat).....	40
Şekil 3.8. Ankara ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	40
Şekil 3.9. 2007 sonunda işletmede olan klasik ve vakum tüplü kolektörlerinin toplam kapasitesi	41
Şekil 3.10. Değişik güneş kolektörlerinin uygulama aralıkları ve verimleri	43
Şekil 4.1. Isı pompası ve soğutma makinesi çevrimleri şeması	45
Şekil 4.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	46
Şekil 5.1. Su ısıtma amaçlı basit bir DGGDIP sistemi	53
Şekil 5.2. Su ısıtma amaçlı basit bir GDIP sistemi.....	54
Şekil 5.3. Hava ısıtma amaçlı basit bir GDIP sistemi.....	54
Şekil 6.1. Oransal (P) kontrol.....	56
Şekil 6.2. Oransal ve integral (PI) kontrol	57
Şekil 6.3. Oransal ve türevsel (PD) kontrol	57

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Oransal, integral ve türevsel (PID) kontrol	58
Şekil 6.5. Kontrol formlarının sıcaklık ve zaman grafikleri	58
Şekil 6.7. PLC’de giriş ve çıkış elemanları	61
Şekil 6.8. Merkezi işlem birimi (CPU)	61
Şekil 7.1. Isıtma enerjisi ihtiyacı ve güneş enerji arzı	68
Şekil 7.2. Güneş enerjisi ile hacim ısıtması	68
Şekil 7.3. Güneş enerjisi ile havuz suyu ısıtması	69
Şekil 7.4. Yeni nesil güneş su ısıtıcıları (GDIP sistemleri).....	70
Şekil 7.5. Hacim ısıtma amaçlı kullanılan basit bir havalı güneş kolektörü	72
Şekil 7.6. Hacim ısıtma ve kurutma amaçlı kullanılan basit bir serbest dolaşimli havalı güneş kolektörü.....	72
Şekil 7.7. Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kurutma fırını	73
Şekil 8.1. Psikometrik diyagram ve üzerindeki işlemler	88
Şekil 8.2. Fırında kurutmanın psikometrik seyri	89
Şekil 8.3. Çeşitli klasik kurutma cihazları	91
Şekil 8.4. Farklı kurutma metodlarının kuruma sürelerinin karşılaştırılması	92
Şekil 8.5. Farklı tiplerde güneş enerjili kurutma sistemleri	94
Şekil 8.6. Isı pompalı kurutucuların sınıflandırılması	96
Şekil 8.7. Tipik sorpsiyon izoterm.....	101
Şekil 8.8. Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi.....	102
Şekil 8.9. Özgül nemin bir fonksiyonu olan kurutma hızının değişimi	102
Şekil 8.10. Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi.....	103
Şekil 8.11. Gıdaların farklı türleri için su aktivitesi ve nem içeriği	104

Şekil	Sayfa
Şekil 9.1. Mantar ve bölümleri	106
Şekil 9.2. 2006 yılı Dünya toplam mantar üretimi	107
Şekil 9.3. Dünyada yıllara göre üretilen yemeklik mantar miktarı (ton)	108
Şekil 9.4. Çeşitli mantar türlerine ait görüntüler	112
Şekil 9.5. Kültür mantarın bileşimi.....	114
Şekil 9.6. Ticareti yapılan başlıca kültür mantarı türleri.....	115
Şekil 9.7. Kurutulmuş mantar tipleri	118
Şekil 9.8. Mantarın ilaç sektöründe kullanımı	119
Şekil 10.1. GDIP sistemi deney düzeneği, T-s ve P-h diyagramları	133
Şekil 10.2. GDIP sisteminin ayrıntılı Log P-h diyagramı.....	133
Şekil 10.3. GDIP sistemli sıcak hava üretim cihazı.....	147
Şekil 10.4. Deney düzeneğindeki ölçüm noktaları	149
Şekil 10.5. Kurutma odası dış duvarı ve özellikleri.....	150
Şekil 10.6. Kurutma odası tavanı ve özellikleri	150
Şekil 10.7. Kurutma odası tabanı ve özellikleri	151
Şekil 10.8. Kurutma odası	151
Şekil 10.9. Sistemde kullanılan ısı depolama tankı	153
Şekil 10.10. Deney düzeneğinde kullanılan ısı pompası	155
Şekil 10.11. Isı pompasının deney düzeneğinde kullanılması.....	155
Şekil 10.12. Sadece güneş enerjisi sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı	160
Şekil 10.13. Sadece ısı pompası sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı	161
Şekil 10.14. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birlikte	

Şekil	Sayfa
kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı	162
Şekil 10.15. Güneş enerjisi, ısı pompası ve nem alma sistemlerinin birlikte kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı	163
Şekil 12.1. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi	172
Şekil 12.2. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi.....	172
Şekil 12.3. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi	172
Şekil 12.4. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C).....	173
Şekil 12.5. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C).....	173
Şekil 12.6. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C).....	174
Şekil 12.7. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (IP45°C).....	174
Şekil 12.8. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (IP45 °C).....	175
Şekil 12.9. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (IP45 °C).....	175
Şekil 12.10. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (IP55°C).....	176
Şekil 12.11. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (IP55 °C).....	176
Şekil 12.12. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (IP55 °C).....	176
Şekil 12.13. IP ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi.....	177
Şekil 12.14. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)	178
Şekil 12.15. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi	

Şekil	Sayfa
(GE45°C)	179
Şekil 12.16. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)	179
Şekil 12.17. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)	180
Şekil 12.18. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)	181
Şekil 12.19. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)	181
Şekil 12.20. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)	181
Şekil 12.21. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)	182
Şekil 12.22. GE ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi.....	182
Şekil 12.23. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C).....	183
Şekil 12.24. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C)	184
Şekil 12.25. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C).....	184
Şekil 12.26. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C).....	185
Şekil 12.27. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C).....	185
Şekil 12.28. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C)	186
Şekil 12.29. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C).....	186

Şekil	Sayfa
Şekil 12.30. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C).....	187
Şekil 12.31. GDIP ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi.....	187
Şekil 12.32. 1.2 m/s hava hızında yapılan deneylerin süre bakımından karşılaştırılması	188
Şekil 12.33. 55 °C ve 0.9 m/s şartlarında deneylerin süre bakımından karşılaştırılması	188
Şekil 12.34. Zamana bağlı olarak nem içeriği.....	189
Şekil 12.35. Zamana bağlı olarak nem oranı.....	189
Şekil 12.36. Zamana bağlı olarak kurutma hızı.....	190
Şekil 12.37. Zamana bağlı olarak güneş radyasyon değerleri.....	190
Şekil 12.38. 0.9m/sn hava hızında yapılan deneylerde elde edilen kurutulmuş mantarlar.....	191
Şekil 12.39. 1.2m/sn hava hızında yapılan deneylerde elde edilen kurutulmuş mantarlar.....	192
Şekil 12.40. GDIP kurutma sisteminde kurutma havasının psikometrik izahı	193

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan (m^2)
A_{st}	Isı depolama tankının yüzey alanı (m^2)
A_{gka}	Gerekli kolektör alanı (m^2)
A_t	Faydalı yüzey alanı (m^2)
a_w	Su aktivitesi değeri
a,b	Kolektör verimi düzeltme katsayısı
c	Akışkanın özgül ısısı (kJ/kgK)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
c₁	Duvar malzemelerinin özgül ısısı ($kJ/kg K$)
c₂	Havanın özgül ısısı ($kJ/kg K$)
c_f	Kurutulacak ürünün özgül ısısı (kJ/kgK)
D	Tank çapı (m)
d	Duvar veya döşemeyi meydana getiren malzeme kalınlıkları (m)
F	Isı kaybeden yüzey (m^2)
F_h	Fırın çalışma süresi (saat)
F_k	Kolektör yüzey alanı (m^2)
F_t	Kolektör ısı kazanç faktörü
Gr	Grashof sayısı
g	Yerçekimi ivmesi ($9.81 m/s^2$)
H_m	Toplam manometrik yükseklik (mss)
h	Tank yüksekliği (m)
h	Entalpi (kJ/kg)
h₁	Soğutkanın kompresöre giriş entalpisi (kJ/kg)
h₂	Soğutkanın kompresörden çıkış entalpisi (kJ/kg)

Simgeler	Açıklama
$h_3=h_4$	Soğutkanın kılcal borudan giriş-çıkış entalpileri (kJ/kg)
h_{td}	Dıştaki saydam örtü ile çevre arasındaki taşıyım ile ısı geçiş katsayısı
h'_s	Suyun ısı miktarı (Entalpi) (kJ/kg)
h''_{ss}	Suyun doymuş buhar halindeyken ısı miktarı (Entalpi) (kJ/kg)
I	Kolektör yüzeyine gelen güneş ışımasını (Ws/m^2)
K	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
K_T	Düzlemsel güneş kolektöründen çevreye olan ısı kaybı
K_{alt}	Düzlemsel güneş kolektörün alt yüzeyinden oluşan ısı kaybı
K_{yan}	Düzlemsel güneş kolektörün yan yüzeyinden oluşan ısı kaybı
$K_{üst}$	Düzlemsel güneş kolektörün üst yüzeyinden oluşan ısı kaybı
m	Kütle (kg)
m_f	Kurutulacak ürünün kütlesi (kg)
$\dot{m}$	Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/h]
$\dot{m}_{hava}$	Havanın kütleli debisi (kg/s)
$\dot{m}_d$	Kuruma oranı (kg/h)
N	Saydam örtü sayısı (adet)
N	Gerekli toplayıcı sayısı (adet)
N_p	Pompa gücü (W)
Nu	Nusselt sayısı
P	Basınç (N/m^2)
Pr	Prandtl sayısı
$P_d(t_k)$	t_k sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı (kpa)
Re	Reynold sayısı
R_{kol}	Eğimli toplayıcı yüzey dönüşüm faktörü
S_a	Ürün içerisindeki toplam su miktarı (kg)
S_d	Kompresörün devir sayısı [dev/dak]

Simgeler	Açıklama
S_h	Isı pompası çalışma süresi (saat)
$S_{(drc)}$	Kolektör eğimi (%)
$\dot{Q}_{Kond}$	Kondenser kapasitesi (kJ/s)
$\dot{Q}_{Komp}$	Kompresör gücü (kJ/s)
$\dot{Q}_{Evap}$	Evaporatör kapasitesi (kJ/s)
Q	Isı enerjisi (kJ/s)
Q_f	Akışkana geçen enerji (faydalı enerji) (kJ/s)
Q_d	Depolanan enerji (kJ/s)
Q_{IDve}	Isı değiştiricisinin ısıtma veya kurutma havasına verdiği ısı (kJ/s)
Q_{TOP}	Güneş kolektöründen ısı sağlanmasıyla evaporatörün çektiği toplam ısı (kJ/s)
$\dot{Q}_{max}$	Odanın ısı yükü kazancı veya kaybı (W)
Q_p	Pompa debisi (lt/s);
Q_{ve}	Kondenserin ısıtma veya kurutma havasına verdiği ısı (kJ/s)
Q_{taze}	Taze havanın ısı enerjisi (kJ/s)
Q_{VTOP}	Kurutma işlemi için gerekli toplam enerji miktarı (kJ/s)
Q_{Gg}	Güneş kolektöründen fazladan kazanılan enerji (kJ/s)
Q_{2g}	Islak havanın verdiği gizli ısı (kJ/kg)
q_g	Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)
q_s	Yararlı güneş ısı kazancı yükü (W)
q_{ls}	Güneş enerjisi tarafından toplanan yük (W)
q_{stl}	Depolama tankının ısı kaybı yükü (W)
q_1	Duvarların ısıtılması için gerekli enerji miktarı (kJ)
q_2	Üflenlen havanın ısıtılması için gerekli enerji miktarı (kJ)
q_3	Mahalden veya fırından çevre havasına olan ısı kayıpları (kJ)
q_4	Fırın içindeki ürünlerin ısıtılması için gerekli enerji (kJ)
q_{5a}	Ürün içerisindeki suyun buharlaştırılması için kg başına verilmesi gerekli enerji (kJ/kg)

Simgeler	Açıklama
q_5	Üründeki nemin buharlaştırılması için gerekli enerji (kJ)
T	Güneşlenme süresi (saat)
T_{tg}	Suyun kolektöre giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).
$T_{tç}$	Çevre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).
T_y	Yutucu yüzey sıcaklığı (K)
$T_{çev}$	Çevre sıcaklığı (K)
T_i	Ortalama iç sıcaklık (19°C)
T_E	Evaporatör sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{Kçh}$	Konderserden çıkan hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{Kgh}	Kondersere giren havanın sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_K	Kondenser sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\ddot{u}}$	Ürün sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
t_{ort}	Ortalama günlük dış hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).
t_g	Gün uzunluğu
t_{kol}	Kolektör ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
t_k	Kurutma fırınının işletme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{iç}$	Kurutmaya başlamadan önceki iç hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
U	Yapı bileşenlerinin izin verilen ısıl geçirgenlik değerleri ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
U_{st}	Tankın ısı kaybı katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2^{\circ}\text{C}$)
u	Akışkan hızı (m/s)
$\dot{V}$	Kurutma havasının hacimsel debisi (m^3/h)
V	Rüzgâr hızı (m/s)
V_{depo}	Depo hacmi (litre)
$V_{öz}$	Kompresörün girişinde soğutucu akışkanın özgül hacmi (m^3/kg)
V_s	Kompresörün stonk hacmi (m^3/dev)
W	Yapılan iş (kJ)
$\dot{W}_{Komp}$	Kompresöre verilen güç (kW)

Simgeler	Açıklama
W_F	Fanın harcadığı enerji (kJ)
$\dot{W}_{sist}$	Sisteme verilen toplam güç [kW]
$\dot{W}_{Pomp}$	Sirkülasyon pompalarına verilen güç [kW]
W	Özgül nem (g/kg)
W_S	Aynı sıcaklıktaki doymuş havanın özgül nemi (g nem/kg hava)
w	Mutlak nem (g/m ³)
x_a	Kuru havanın mol ağırlığı (kg/kmol)
x_w	Su buharının mol ağırlığı (kg/kmol)
v	Fırın hacmi içerisindeki toplam hava miktarı (m ³)
ν	Kinematik viskozite, (m ² /s)
β	Güneş kolektörünün yatayla yaptığı açı
ω	Hava hızı (m/s)
μ	Doyma derecesi (boyutsuz)
λ	Duvarları oluşturan her bir katmanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
σ	Stefan-Boltzman sabiti (5,67x10 ⁻⁸ W/m ² K)
ε_L	Yutucu yüzeyin ışıyım yayma oranı
ε_s	Saydam örtünün ışıyım yayma oranı
ΔT	Sıcaklıklar arasındaki fark (°C)
η	Verim (%)
η_{el}	Elektriksel verim (%)
η_{kol}	Kolektör verimi (%)
η_K	Anlık kolektör verimi (%)
η_v	Kompresörün hacimsel verimi (%)
η_{KV}	Isı pompası sisteminin güneş kolektörü destekli evaporatörün verimi (%)
$(\tau\alpha)_e$	Efektif yutma katsayısı

Simgeler	Açıklama
ρ_s	Suyun yoğunluğu (kg/m^3)
ρ	Kurutma havasının yoğunluğu (kg/m^3)
ϕ	Bağıl nem (%)
ΔT_k	Fırın işletme sıcaklığı ile ürün sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)
α	Isıl yayılım oranı (m^2/s)

Kısaltmalar	Açıklama
aai	Çevre havası girişi
COP_{c,h}	Carnot çevriminin etkinlik katsayısı
COP_{IP}	Isı pompası etkinlik katsayısı
COP_{SM}	Soğutma makinesi etkinlik katsayısı
ÇBN	Çevre havası bağıl nemi (%)
Dc	Kurutma odası
DGGDIP	Direkt genleşmeli güneş destekli ısı pompası
DX-SAHP	Direct expansion solar assisted heat pump
EUR_{dc}	Kurutma odasında enerjinin kullanılma oranı
GE	Güneş enerjisi
GDIP	Güneş destekli ısı pompası
HMI	İnsan makine arayüzü
IP	Isı pompası
i	Giriş
ia	Giriş havası
KA	Kuru ağırlık (kg)
o	Çıkış
oa	Çıkış havası
PID	Oransal integral türev
PLC	Programlanabilir lojik kontrol

Kısaltmalar	Açıklama
SCADA	Uzaktan kontrol ve gözleme sistemi
SAHP	Solar assisted heat pump water heater
sat	Doymuş
$SMER_{sd}$	Özgül nem çekme oranı (1 kg su kaldırmak için kullanılan enerji) (kg/kWh)
$SMER_{IP}$	Isı pompalı kurutucu için özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
$SMER_{sist}$	Kurutucuda bütün sistem için özgül nem çekme oranı (kg/kWh)
SO_{KA}	Üründeki kuru ağırlığa göre su oranı (g su/g kuru ağırlık)
SO_{YA}	Üründeki yaş ağırlığa göre su oranı (g su/g yaş ağırlık)
w_i	Su girişi
w_o	Su çıkışı
YA	Yaş ağırlık (kg)

1. GİRİŞ

Enerji, günümüzün en değerlisidir ve bugün geline nokta itibariyle verimli ve çevreye karşı duyarlı olarak tüketilmektedir. 1970’li yıllardaki petrol krizinden sonra önemi giderek artan enerji maliyetleri sebebiyle enerji ve enerji verimliliği yaşam kalitesinin artırılmasında ve ulusların gelişmesinde öncü faktör olmuştur. Bu nedenle enerjide devamlılığın sağlanması, enerji ve enerji kaynaklarının verimli kullanılarak enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması, iklim değişikliği ve çevre ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Dünya genelinde enerji üretimi için büyük ölçüde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların tükenebilir olmasından dolayı dünyanın artan enerji talebini karşılayamayacak olması, bazı çevre sorunlarına neden olması gibi tehditler insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtların yerini alabilmesi için bazı ekonomik ve teknik sorunların çözülmesi gerekmektedir. Bu sorunların çözüme kavuşturulmasıyla güneşlenme süresi açısından Türkiye’nin avantajlı konumda olması nedeniyle fosil yakıt kullanımından yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına geçiş süresi Türkiye için kısa olacaktır. Hâlihazırda termal güneş enerjisi kullanımı bakımından Türkiye, ilk sıralarda yer almaktadır.

Enerji konusu içerisinde enerji verimliliği önemli bir yer tutmaktadır. Nitekim enerji verimliliğinde kararlı ve başarılı adımların atılmasıyla Türkiye 2023 yılındaki enerji talebini % 20 azaltabilir. Her geçen gün enerjinin verimli kullanılması gerekliliği daha bir önem kazanmaktadır. Enerjinin verimli kullanılabilmesi için ise bilgi ve teknolojiye dayanarak yararlanılması gerekmektedir. Bu bilgi ve teknoloji sayesinde hayat daha yaşanılabilir ve gelecek nesillere de iyi bir yaşam ortamı bırakılabilir.

Enerji her dönemde önemli olmuştur ancak son 50 yılda çok daha fazla gündeme taşınmıştır. Harcanan her birim enerjinin daha fazla hizmet ve ürüne dönüşmesi olan enerji verimliliği kavramı ise; 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrasında gün ışığına çıkmış ve önemi hızla artmaktadır. Tasarruf edilen enerji, hizmetler için sanki ilave bir enerji kaynağı gibi kullanıma hazırdır ve hatta gelecekte bir arz kaynağı

olarak görülmeye başlanacaktır. Bu nedenle yaptığımız çalışma da enerjiyi verimli kullandığından gelecek için kaynak sağlamaktadır.

Türkiye’de bir birim katma değer yaratabilmek için birçok ülkeye göre daha çok enerji harcanmaktadır. Ancak Türkiye’de, 1981 yılında Başbakanlık talimatı ile “Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu”nun kurulmasıyla başlayıp 2 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Enerji Verimliliği Kanunu” ve sonrasında hazırlanan yönetmeliklerle devam eden enerji verimliliği süreci ile enerji sarfiyatının önlenmesi düşünülmüştür. Bu süreç ile enerjiyi verimli kullanan ve yenilenebilir enerji kaynaklarını en iyi değerlendiren ürünler ortaya çıkacaktır. Bu bağlamda tarafımızdan hazırlanan ve deneyleri yapılan deney seti bu ürünlerden birisi olmuştur. Hazırlanan deney düzeneği ile enerji tasarrufu yapılması yanında; Türkiye’de tüketilen ortalama 1kWh elektriğin üretimi için 0.62 kg karbon eşdeğeri sera gazı salımı yapıldığı göz önüne alındığında çevreye de katkı yaptığı söylenebilir.

Toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini binaların ısıtılmasında kullanan Türkiye’de yeni yapılan binaların “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” gereğince asgari TS 825 standartına uygun olarak yalıtılması gerekmektedir. Ancak, 2008 sonunda 8.65 milyon bina, 18.4 milyon konut stoğu olduğu ve toplam bina stoğunun % 6.8’i, toplam konut stoğunun % 12’sinin TS 825 standartına uygun olduğu tahmin edilmektedir. Dolayısıyla; mevcut bina stoğunun yaklaşık % 80’inden fazlasını ya yalıtımsız ya da yeteri düzeyde yalıtımlı olmayan binalar oluşturmaktadır. Bu nedenle de Türkiye’de mevcut binaların kullanım alanı başına ısıtma/soğutma enerjisi tüketiminin Almanya, Fransa, İngiltere, İsveç gibi ülkelere göre 2-3 kat daha fazladır. Türkiye’de bir binanın toplam maliyeti içerisinde sadece % 3-5 arasında değişen maliyete sahip olan ısı yalıtımı ile yılda 7 milyar dolar değerinde enerji tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Enerji tasarrufu düşünülerek yapılan binalarda, özellikle ekonomik ısıtma sistemlerinin kullanılması ile binaların enerji tüketimi belirgin ölçüde azaltılabilir. Hazırlanan deney düzeneği bu noktada da ekonomik bir ısıtma sistemi olarak kullanılabilir.

Enerji etkin binalarda yıllık yakıt ihtiyacı 3-4 l/m² olurken, pasif evlerde bu değer 1.5

l/m^2 'ye düşmektedir. Yalıtımsız yapılarda ortalama $150\text{-}200 \text{ kWh/m}^2$ enerji kullanırken, TS 825 standartına göre yapılan binalarda % 60 tasarrufla enerji kullanımı $60\text{-}80 \text{ kWh/m}^2$ olmaktadır. Pasif evlerde ise enerji kullanımı 15 kWh/m^2 ile sınırlandırıldığından mevcut ya da eksik yalıtımlı binalara nazaran pasif evlerde ısıtma ihtiyacı % 90 azalmaktadır [1]. AB ülkelerinde 2015 yılından itibaren yeni yapılacak binalarda kullanılacak enerji miktarlarının 15 kWh/m^2 yılı altına indirilmesi (geleneksel ısıtma sistemlerine gereksinim duymayan pasif evler oluşturulması) hedeflenmektedir. Güneş enerjisi ve ısı pompası gibi alternatif enerji üreten kaynaklar, bu ve benzeri hedeflere ulaşmada, mevcut enerji kaynaklarının ve çevrenin korunmasında önemli katkılar sağlayabilir. Mahal ısıtmasında güneş enerjisi veya güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin kullanılması durumunda yüksek bir enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır.

Dünyada işletmede olan düz kolektör ve vakumlu kolektör toplam kapasitesi içerisinde Çin'den sonra ikinci sırada olan Türkiye (2007 yılı sonu itibariyle 7.1 GWth), bir güneş ülkesidir. Dünya genelinde farklı ülkelerde özendirici yasalar, teşvikler, destekler ve zorunlu standartlar eşliğinde ürün denetimlerinin yapıldığı devlet politikaları olmasına rağmen Türkiye'de güneş enerjisi sektörüne yönelik hiçbir özendirici yasa ve zorunlu standart mevcut değildir. Türkiye'nin bir düzen çerçevesinde oluşmamış bu başarısı, teşviklerle ve iyi bir stratejiyle güneş enerjili su ısıtma sistemleri pazarındaki yeri ilk sıraya taşınabilir.

Güneş enerjisi destekli ısı pompası ısıtma sisteminin konut konforunda kullanımı konusunda yapılan çalışmalarda elde edilecek sıcaklık seviyesinin yaklaşık 50°C civarında olduğunu, klasik radyatörlü ısıtmaya uygun olmadığını ancak yerden ısıtma sistemi için ideal olduğu belirtilmiştir. Karadeniz bölgesi için yapılan çalışmalarda da bölgedeki konutların ısıtılması için önerilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Pek çok araştırmacı güneş destekli ısı pompası ısıtma sisteminin konut konforunda kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kurutma yapılacak mahalde uygun bir sıcaklık elde edebilmek için belirli bir miktarda enerji gereklidir. Isıtma için gerekli olan enerji genelde elektrik, fosil

yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilir. Günümüzde ürünlerin kurutma fırınlarında daha teknik ve daha modern metotlarla iç ve dış piyasaya daha kaliteli olarak sürülmesi son derece önemli hale gelmiştir. Kurutmanın güneşte yapılması, manuel veya yarı otomatik olarak odun, fuel-oil gibi klasik kurutma teknikleri ile çalışan sistemlerle kurutulması sonucunda üreticiler hem kalite hem de zaman kaybına uğramaktadır. Kurutma sistemlerinde kullanılan enerji miktarı göz önüne alındığında, günümüzde enerjinin kısıtlı ve pahalı olmasından dolayı araştırmacılar daha az enerji girdisi olan sistemler yapabilmek için çeşitli yöntemlere başvurmuştur. Güneş enerjili sistemler ve ısı pompası yardımıyla farklı ürünlerin kurutulması pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Bu çalışmada, düşük enerji tüketimi ile sıcak su üretimi yapabilen güneş enerjisi destekli ısı pompalı su ısıtıcısı sistemiyle ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretilen sistemde sıcaklık ve nem kontrolü yapılması amaçlanmaktadır. Bunun yanında, güneş enerjisini kullanarak ısı enerjisi üretmek aynı zamanda da elde edilen bu enerjinin depolanmasını, sonrasında ise mahal ısıtması, sera ısıtması, ürün kurutması gibi farklı alanlarda kullanılmasını sağlamak, enerji tüketimini minimum seviyede tutan optimum şartlar ile ısı depolama kapasitesi yüksek bir akışkan kullanılarak bir ısı aktarım sisteminin tasarlanması ve termodinamik analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu açıklamalar neticesinde yapılan çalışma, güneş destekli ısı pompası ile ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretim sistemi olarak adlandırılmasının yanında ayrıca güneş enerjisi destekli, nem kontrollü, kondenzasyonlu ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretim sistemi olarak da adlandırılabilir.

Isı pompalarının güneş enerjisiyle birlikte ısı üretmek amacıyla kullanılan güneş destekli ısı pompası (SAHP-solar assisted heat pump water heater) adı verilen sistemlerin kullanılmasının sistem performans katsayısının yüksek oluşundan dolayı ısıtma ve kurutmada iyi sonuçlar vereceği düşüncesiyle böyle bir sistem tercih edilmiştir. Güneş enerjisi ve hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin tekil olarak kullanılması yerine birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği ve sistem performans katsayısının da daha yüksek olduğu bilinmektedir.

Isıtma ve kurutma için hazırlanan bir PC programı yardımıyla senaryolar eşliğinde PLC ve bilgisayar kontrollü olarak mahal ısısı, nem oranı ve ürün ağırlığı analog ve dijital sensörler sayesinde izlenerek, uygun şartlar oluşturularak verim artışı ve kaliteli ürün almayı olanaklı kılacak bir sistem oluşturulacaktır. Tasarlanan ve analizi yapılan sistemde güneş enerjisi ve ısı pompası gibi iki farklı sistemden faydalanılarak ısıtma ve kurutma için ısı üretilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği düşünülmüştür.

Kurutulmuş ürün üretiminde Türkiye önemli bir konuma sahiptir. Türkiye'nin bu konumu, Çizelge 1.1'de verilen yıllara göre kurutulmuş sebze üretim rakamlarından görülebilir. Kurutulmuş ürün ihracatındaki verilere bakıldığında ise Türkiye'nin ürettiği ürünün çoğunu sattığı görülmektedir. Çizelge 1.2'de yıllara göre kurutulmuş sebze ihracat rakamları verilmektedir. Özellikle domates, kurutulmuş sebze liginde ilk sırayı almaktadır. Buna göre, 2007 yılı toplam kurutulmuş sebze ihracatının tutar olarak yaklaşık % 92'sini kurutulmuş domates ihracatı oluşturduğu görülebilir.

Çizelge 1.1. Yıllara göre kurutulmuş sebze üretimi (1 000 ton) [2]

1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
7 000	7 000	9 000	10 000	13 000	16 000	20 000
* Tahmin						

Çizelge 1.2. Yıllara göre kurutulmuş sebze ihracatı [2]

ÜRÜN	2004		2005		2006		2007	
	M	D	M	D	M	D	M	D
Domates	10 399	28 004	14 489	39 623	16 839	48 102	17 977	61 070
Mantar	19	1 071	27	1 243	34	2 389	21	1 710
Patlıcan	70	444	66	406	80	611	101	813
Kabak	69	371	116	588	102	629	99	781
Pırasa	191	833	189	856	84	583	116	679
Bamya	7	76	11	150	8	119	6	101
Soğan	68	205	45	117	21	98	38	143
Diğer	503	1 341	265	925	277	1 273	165	978
TOPLAM	11 326	32 345	15 208	43 910	17 445	53 803	18 523	66 277
* [M=Miktar (Ton), D=Değer (1000 Dolar)]								

Ayrıca ihracattaki diğer önemli kurutulmuş sebzeler ise mantar, patlıcan ve kabak

olduğu gör÷lmektedir. Kurutulmuş sebze grubunda en değerli ÷r÷nlerden biri olan mantar ihracatı 2007 yılında 21 ton olarak ger÷ekleşmiş, bu tutarın değer olarak karşılığı ise 1.71 Milyon Dolar olmuştur. Önemli ihracatçı ÷lkeler, 9.3 ton ile Fransa, 3.8 ton ile İtalya, 3.7 ton ile İsvi÷re ve 2.2 ton ile Almanya olmuştur [2]. Bu verilerden hareketle en değerli ÷r÷n olan mantarın kurutulması ÷zerine çalışılması kararlaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan çalışmanın çok yönlü olması nedeniyle literatür çalışmaları, güneş destekli ısı pompası sistemi, güneş destekli ısı pompası sisteminin ısıtma amaçlı kullanılması ve güneş destekli ısı pompası sisteminin kurutma amaçlı kullanılması olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır.

Isı pompalarının su ısıtmak amacı ile güneş enerjisiyle birlikte kullanıldığı sistemlere güneş destekli ısı pompalı su ısıtıcıları (SAHP-solar assisted heat pump water heater) adı verilir. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin tekil olarak kullanılması yerine birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği ve sistem performans katsayısının da daha yüksek olduğu bilinmektedir. Kısacası; performans arttırmak amacı ile geliştirilmiş tasarımlar olduğu söylenebilir. Bu tür sistemler, güneş kolektöründe ısıtılan suyun ısı pompasının ısı kaynağı olarak kullanıldığı SAHP ve güneş kolektörünün ısı pompasının evaporatörü olarak kullanıldığı direkt genleşmeli ısı pompalı su ısıtıcısı (DX-SAHP: direct expansion-solar assisted heat pump) olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle literatürde güneş destekli ısı pompası sistemleri (GDIPs); tipik GDIPs ve direkt genleşmeli (DGGDIPs) olmak üzere iki farklı tasarım şeklinde yer almaktadır.

Çalışmalar, havayı ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası buharlaştırıcıları yerine güneşi direkt olarak ısı kaynağı olarak kullanan buharlaştırıcı-kolektör panelleri tasarımlarının geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmıştır. DGGDIP sistemleri ile ilgili çok fazla literatür çalışması olduğundan konunun sınırlandırılması açısından ve yapılan çalışmanın GDIP (endirekt genleşmeli ısı pompalı su ısıtıcısı) sistemi olması nedeniyle DGGDIP sistemleri ile ilgili literatür çalışmalarına kısaca değinilmiştir.

Direkt genleşmeli ısı pompalı su ısıtıcısı (DGGDIP) kavramı ilk olarak Batı Virginia'da Sporn ve Ambrose tarafından 1955 yılında ortaya konmuştur [3].

Chaturvedi ve Mei (1979), Freeman ve ark. (1979), Huang ve Chyng (1998), Ito ve ark. (1988), Aziz ve ark. (1999) vb. tarafından güneş kolektörünü ısı pompasının

evaporatörü olarak kullanan sistemler kurarak deneyler yapmıştır [4-8].

O'Dell ve ark. (1984), güneş kolektörüne soğutucu gaz doldurularak ısı pompasının evaporatörü olarak kullanan bir sistem tasarımı yapmıştır [9].

Matsuki ve ark. (1987), güneş kolektörünü ısı pompasının evaporatörü olarak kullanan bir sistemin prototipini hazırlamış ve deney yapmıştır [10].

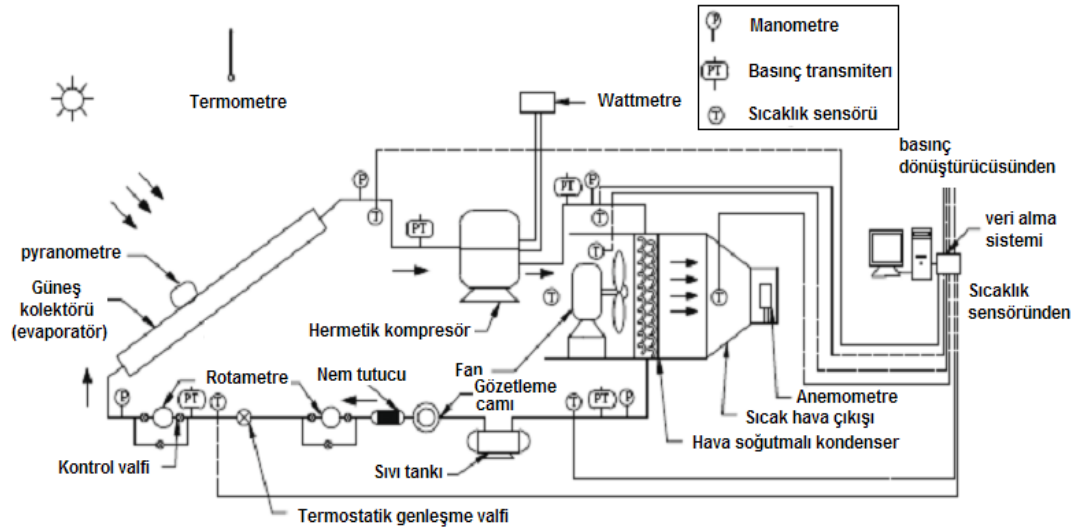
Morrison (1994), Chaturvedi ve ark. (1998), Chyng ve Huang (1998), Axaopoulos ve ark. (1998), Hulin ve ark. (1999), Ito ve ark. (1999), Torres-Reyes ve Cervantes de Gortari (2001), Kuang ve ark. (2003a), Huang ve ark. (2003), Li ve ark. (2005) ve Li ve ark. (2007) gibi pek çok araştırmacı tarafından değişik buharlaşma sıcaklıklarında ısı pompalarının performansı teorik ve deneysel olarak incelenmiştir [11-21].

Hawladar ve ark. (2000) tarafından güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sistemi ile ilgili Singapur'da yaptıkları çalışmada, sistemde R134a soğutkanlı bir devre ve üzeri açık olan düz levha bir güneş kolektörü kullanılarak deneysel ve teorik incelemelerde bulunmuşlardır. COP değerini 9 ve kolektör verimini % 75 olarak saptamışlardır. Ekonomik analiz sonucunda ise sistemin yaklaşık iki yıllık bir minimum geri ödeme süresine ihtiyaç duyduğu ortaya konmuştur [22].

Gorozabel (2002), güneş kolektörünü ısı pompasının evaporatörü olarak kullanan sisteminde farklı soğutucu akışkanları denemiştir [23].

Ji ve ark. (2007), güneş kolektörünün ısı pompasının evaporatörü olarak kullanıldığı ve sistemin fotovoltaiik panel ile desteklendiği güneş destekli ısı pompası sisteminin termal analizini yapmıştır [24].

Mohanraj ve ark. (2009), DGGDIP sisteminin yapay sinir ağıyla (YSA) performans tahminini yapmıştır. Deneyleri Hindistan'ın Calicut şehrinin meteorolojik koşulları altında yapılan deney seti aşağıda verilmiştir. Rapor edilen sonuçlar ile DGGDIP performans tahmini için YSA'nın kullanılabileceği belirtilmiştir [25].



Şekil 2.1. YSA ile performans tahmini yapılan DGGDIP sistemi deney seti [25]

Güneşin dolaylı ısı kaynağı olarak kullanıldığı, ısı pompası ve güneş kolektörünün birbirinden ayrı iki ünite halinde inşa edildiği, ancak bir sistem içerisinde bütünleşik olarak kullanılan uygulamalara güneş destekli ısı pompası sistemleri (GDIPs) denilmektedir. Bu tür uygulamalar literatürde ilgi çeken konular arasında olduğundan konula ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Tleimat ve Howe (1978), MacArthur ve ark. (1978), Hawlader (2001) tarafından güneş destekli ısı pompasını en uygun şekle sokma değeri ve performans analizi yapılmıştır [26-28].

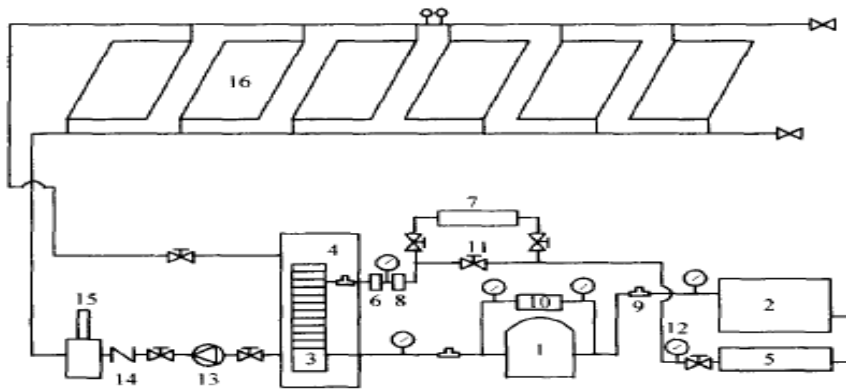
Hatheway ve Converse (1981), güneş destekli ısı pompalarının ekonomik karşılaştırmasını yapmıştır [29].

Yamankaradeniz (1982), kurduğu güneş enerjisi destekli bir ısı pompası deney düzeneği altı adet düzlemsel güneş kolektörü, sıcak su deposu ve ısı pompası sisteminden meydana gelmektedir. 1982 yılının Mart, Nisan ve Mayıs aylarında yaptığı deneyler sonucunda ısı pompasının performans katsayısının 4 ile 5 arasında ve kolektör verimini ise % 25 ile % 65 arasında bulmuştur. Elde ettiği sonuçlara göre güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin diğer tip ısı pompası sistemleri ile rekabet edebileceği sonucuna varmıştır [30].

Çomaklı (1991), 18 adet düzlemsel güneş kolektörü, bir adet gizli ısı enerji depolama tankı ve hava kaynaklı bir buharlaştırıcının bulunduğu ısı pompası deney düzeneğini Trabzon'da kurarak çeşitli deneyler yapmıştır. 1990 yılında değişik ısı kaynaklı üç ısı pompası için ayrı ayrı deneyler yapmıştır. Sonuçlar bilgisayar programı yardımıyla değerlendirilerek performans katsayıları ayrı ayrı elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Güneş kolektörlü enerji depolu seri ısı pompası sistemi dinamik benzeşim modeli kurularak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [31].

Kaygusuz ve ark. (1991), güneş destekli ısı pompası ve enerji depolama üzerine çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, enerji depolamada farklı türden malzemeler kullanılmıştır [32].

Yamankaradeniz ve Horoz (1998), tarafından İstanbul'da kışın güneşli günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelemesi yapılmıştır. Teorik çalışmada, İstanbul şartlarında açık günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama ısıtma tesir katsayıları ve sistemin diğer özellikleri incelenmiştir. Isı pompası devresinde 0.75 kW gücünde tam hermetik kompresör, hava soğutmalı maksimum 4.5 kW soğutma kapasiteli yoğunlaştırıcı, enerji deposu içerisine daldırılmış maksimum 3.5 kW ısı çekebiyen buharlaştırıcı ve soğutucu akışkan olarak da R-12 kullanılmıştır [33].



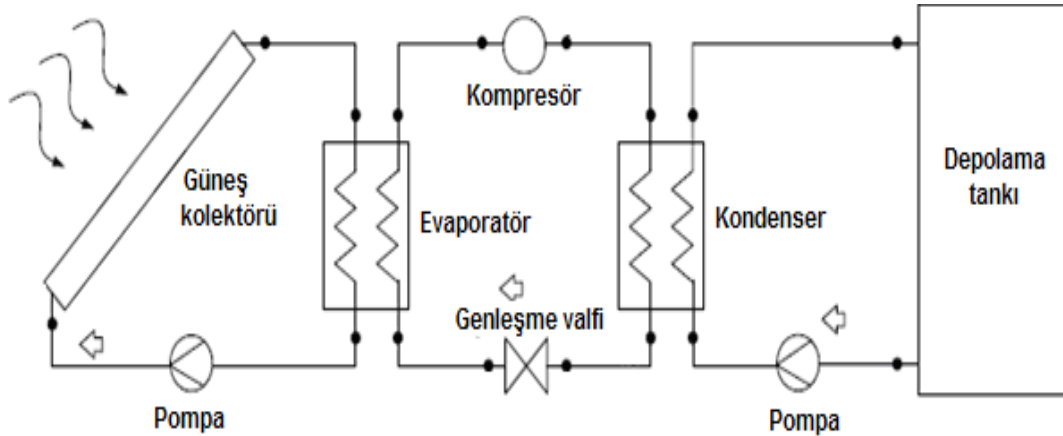
Şekil 2.2. Açık günler için güneş destekli ısı pompası sistemi [33]

1. Kompresör 2. Kondenser 3. Evaporatör 4. Depolama tankı 5. Toplama kabı 6. Genleşme kabı 7. Kurutucu 8. Selenoid valf 9. Termokaplı bağlantısı 10. Düşük ve yüksek basınç regülatörü 11. By-pass hattı 12. Manometre 13. Pompa 14. Çekvalf 15. Rotametre 16. Güneş kolektörü

Yumrutaş ve Ünsal (2000), güneş destekli ısı pompası ve enerji depolama üzerine çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, enerji depolamada farklı türden malzemeler kullanılmıştır [34].

Badescu (2002), güneş destekli ısı pompasının mevcut ısıtma sistemi üzerine birinci ve ikinci kanun analizini uyarlamıştır [35].

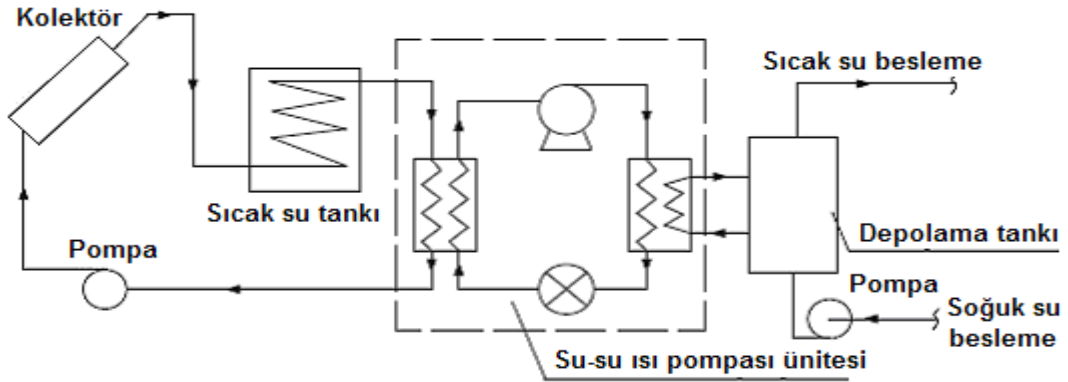
Nuntaphan ve ark. (2009), ısı pompası ile birlikte güneş enerjili su ısıtıcı termal performansı üzerine çalışmıştır. Tüm sistem elemanları geliştirilmiştir. Kombine güneş enerjili su ısıtıcı ve ısı pompasının performansı bir benzetim programı kullanılarak araştırılmıştır. Isı pompasında soğutkan karışımı R22/R124/R152a seçilmiştir. Simülasyon programında, en yüksek performansı R22=% 20, R124=% 57, R152a=% 23 ve soğutucu kütle akış hızı 0.01 kg/s değerlerinde oluşmuştur. Bu sistemin COP değeri 2.5 ile 5.0 bulunmuştur. Ayrıca, bu sistemin ekonomik analizi 400 kg sıcak su deposunun uygun olduğunu ve bu sistem için geri ödeme süresinin 2.3 yıl olduğunu göstermiştir [36].



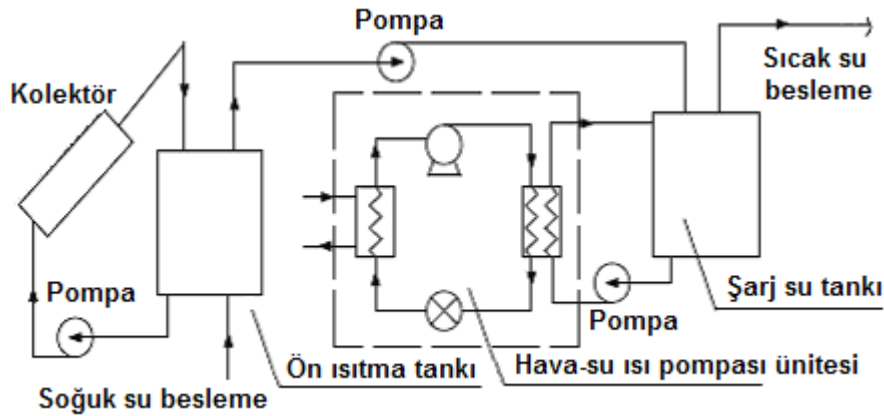
Şekil 2.3. Güneş destekli ısı pompası sistemi (GDIPs) deney setinin şematik diyagramı [36]

Li ve Yang (2010), yaptıkları çalışmada Hong Kong'da sıcak su üretimi için güneş destekli hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin uygulanmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, Hong Kong'da bir konutun sıcak su temininde bir vaka çalışması ile güneş destekli hava kaynaklı ısı pompası sisteminin çalışma performansını tahmin

etmek için basitleştirilmiş bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önceki deneysel çalışma ile karşılaştırıldığında, bu simülasyon sonucunun makul olduğu doğrulanmıştır [37].



Şekil 2.4. Güneş destekli su kaynaklı ısı pompasının şematik diyagramı [37]

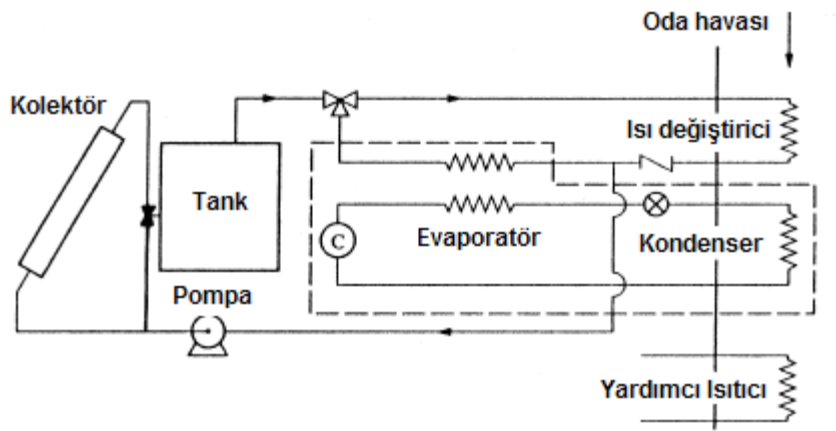


Şekil 2.5. Güneş destekli hava kaynaklı ısı pompasının şematik diyagramı [37]

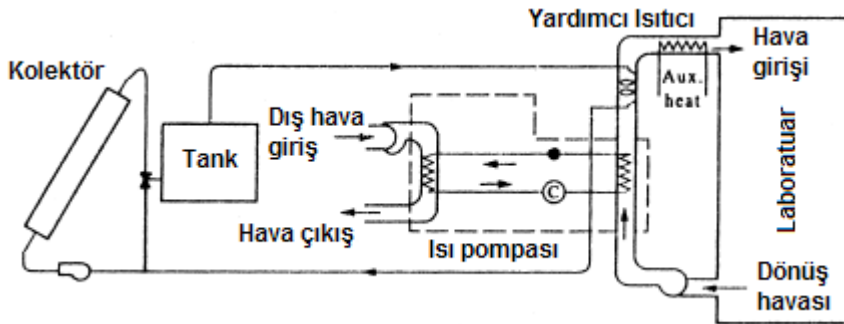
Güneş destekli ısı pompası sistemlerinin ısıtma amaçlı kullanılması amacıyla DGGDIP su ısıtıcıları kullanılmakla beraber bu tür uygulamalarla ilgili çalışmalar yeterli değildir. Ancak güneş destekli ısı pompası sistemleri (GDIPs) ise ısıtma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çomaklı ve ark. (1992) ve Kaygusuz ve ark. (1999), Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde evsel ısıtma için enerji depolu güneş destekli ısı pompası sisteminin performansını araştırmak için bir deney düzeneği kurmuşlardır. Deneysel sonuçlar,

kullanılan ısı pompasından 1992'nin ısıtma sezonu boyunca Aralık-Mayıs aylarında elde edilmiştir. İki ısıtma sezonu için seri, paralel ve çift kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ortalama mevsimlik COP değerleri sırasıyla 4.0, 3.0 ve 3.5, ortalama mevsimlik kolektör verimleri ise sırasıyla % 50, % 50 ve % 60 bulunmuştur. Seri, paralel ve çift kaynak sistemlerinin mevsimsel performans faktörleri sırasıyla 3.30, 3.70 ve 4.20'dir. Çift kaynaklı ısı pompası sistemi seri ve paralel sistemlerin en iyi özelliklerinden yararlanır sonucuna varılmıştır [38,39].



Şekil 2.6. Güneş destekli seri bağlı ısı pompası sistemi [38,39]



Şekil 2.7. Güneş destekli paralel bağlı ısı pompası sistemi [38,39]

Kurun (1994), çalışmasında, ısı pompası destekli güneş enerjili ısıtma sisteminin konut konforunda kullanımını analiz etmiştir. Güneş kolektörleri ve ısı pompaları ile elde edilecek sıcaklık seviyeleri yaklaşık 50 °C civarında olduğunu, klasik radyatörlü ısıtmaya uygun olmadığını ancak yerden ısıtma sistemi için ideal olduğunu belirlenmiştir. Aralık ve Ocak aylarındaki ısı ihtiyacının tamamı ısı pompası

tarafından karşılandığını diğer aylarda, güneş enerjisinden faydalanma oranlarının % 0.8–68 arasında değiştiğini ve Nisan-Kasım arasındaki aylardaki sıcak su ihtiyacının tamamı güneş enerjisinden karşılanabildiğini hesaplamıştır [40].

Chaturvedi ve ark. (1998), tarafından Old Dominion Norfolk bölgesinde yapılan çalışmada sıcak su temini için değişken kapasiteli DGGDIP sistemi geliştirilmiştir. Kompresör hızının değişiminin termal performansı DGGDIP’ında araştırılmıştır. Yaz koşullarında, daha yüksek ortam sıcaklığı, daha yüksek ısı artışı sağlanmış fakat kış koşullarına göre daha çok enerji harcamasını gerektirmiştir. Bunun neticesinde yaz aylarında kompresör kapasitesinin düşürülmesini ve dolayısıyla kompresörün devir sayısının düşürülmesini gerekli kılmıştır. Sistemde, frekans 30-70 Hz arasında tutulmuştur. Bu da sistemde termal yük gereksinimlerine göre termal enerji çıkışında da artış sağlamıştır. Azaltılan kompresör devri, sistemin daha stabil olmasını ve akabinde sistemin COP değerinde de bir iyileşme sağlamıştır. Araştırmada teoriksel sonuçlar bir bilgisayar modeli oluşturularak deneysel sonuçlarla mukayese edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda yüksek frekanslardaki sistem COP’unun düşük frekanslı çalışmalarla mukayese edildiğinde daha duyarlı olduğu görülmüştür. Sistem Norfolk Virginia bölgesindeki evlerde sıcak su ısıtma uygulamalarında kullanılan elektrikli ısıtıcı ile mukayese edilmiştir. COP değeri 2.5 ila 4 arasında bulunmuş, elektrikli rezistanslı ısıtmaya göre % 37 daha verimli olmuştur [41].

Kaygusuz (2000), Karadeniz Bölgesi’ndeki konutların güneş enerjisi destekli ısı pompaları ile ısıtılabilirliğini incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada model bir ortam seçilerek enerji depolu bir ısı pompası sistemi kurulmuş ve bu sistem üç değişik biçimde çalıştırılarak ortamın ısıtılabilirliği gözlemlenmiştir. Sistemlerin birbirine göre üstünlükleri ele alınmıştır. Ortalama mevsimlik ısıtma performans değerleri seri ve paralel ısı pompası sistemleri için sırasıyla 4.0 ve 3.0 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalar sonunda Karadeniz Bölgesi’nin meteorolojik yapısı nedeniyle konutların tek başına güneş enerjisi ile ısıtılmayacağı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte güneş enerjisi destekli ve enerji depolu seri ve paralel ısı pompası sistemlerinin ısıtmada gerekli olan ısı yükünü karşılama yüzdelерinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemlerden sağlanan net ısı miktarına bağlı

olarak yapılan ekonomik analiz sonucunda seri ısı pompası sisteminin paralel sisteme göre daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemlerinin Karadeniz Bölgesi'ndeki konutların ısıtılması için önerilebileceği sonucuna varılmıştır [42].

Esen (2000) çalışmasında, ısı pompası ile alan ısıtmada kullanılan güneş destekli bir gizli ısı deposunun termal performansını incelemiştir. Ayrıca, güneş destekli ısı pompasına bağlı silindiriksel faz değişimi depolama hakkında deneysel ve teoriksel olarak araştırma yapmıştır [43].

Kuang ve ark. (2003b), Çin'in kuzey bölgesindeki Qingdao kentinde 2000-2001 ısıtma sezonunda bir sıcak su depolama tankı ve bir su kaynaklı ısı pompası modeli oluşturarak GDIP sisteminin ve temel elemanlarının termal performansını incelemişlerdir. 42 m² toplam alana sahip bir laboratuvar binasını ısıtmak için yaptıkları çalışmalarında, sistemde 11 m² yüzey alanına sahip 5 adet düz plakalı kolektör, 2.1 m³ su depolama tankı ve 2.2 kW'lık ısı pompası kullanmışlardır. Isıtma testleri esnasında oda sıcaklıkları 16-22 °C arasında (ortalama olarak 19.3 °C) olmuştur. Bu esnada dış ortam sıcaklıkları -10, -4 °C arasında olmuştur. Kolektörden sağlanan enerji 56.04 kWh/ gün (ortalama 31.67 kW h/gün) olmuştur. Bu değerler en soğuk günlerde bile binanın ısıtma yükünü karşılamıştır. Sistemin ortalama COP değeri 2.19 bulunmuştur. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada 5 günlük verileri kullanmış ve bu esnada 2 gün havanın tamamen kapalı olduğunu belirtmişlerdir. Güneş destekli ısı pompası kullanarak yapılan bu çalışmada ek ısı kaynaklarına ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda kolektör veriminin gayet yüksek bir değere eriştiğini (% 67.2) göstermişlerdir. Sistemde ek bir ısı kaynağına ve depolama tankı içine bir ısıtıcı yerleştirilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Elde ettikleri önemli deneysel veriler ışığında deney sonuçlarının potansiyel kullanıcılar için GDIP sistemlerinin geliştirilmesinde yararlı olabileceği belirtilmiştir [44].

Kuang ve ark. (2003c), doğrudan genişlemeli güneş destekli ısı pompası ile su ısıtma

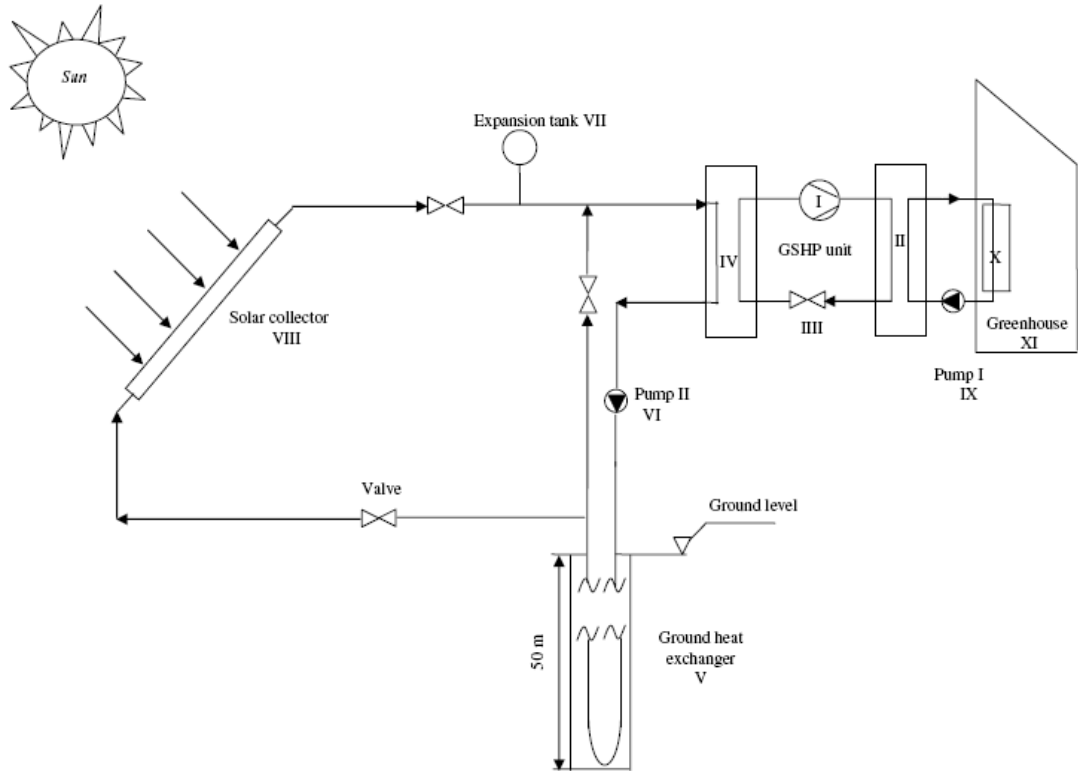
sisteminin çalışmasını yapmıştır. Kaynak olarak 2 m² soğutucu evaporatör çıplak düz kolektör kullanılmıştır. Kolektör verimi % 40-60 arasında değişirken aylık COP ortalaması ise 4 ile 6 arasında değişmektedir. Kış iklim koşulları altında elde edilen deney sonuçları ile bilgisayar simülasyonu örtüşmüştür [45].

Yuehong ve ark. (2004), tarafından 2001 yılında Çin'in Tianjin bölgesinde yapılan çalışmada güneş ve toprak kaynaklı ısı pompaları incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası (GDTKIP), toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) ve GDIP sistemlerini mukayese etmiş ve IP performansının ısıtma modunda iken sistem performansı ölçülmüştür. Deneysel çalışma sonucunda GDIP sisteminde ısıtma yükü 2 334 W ve COP'u 2.73, TKIP sisteminde ısıtma yükü 2 298 W ve COP'u 2.83 ve GDTKIP sisteminde ısıtma yükü 2 316 W ve COP'u 2.73 bulunmuştur. Matematiksel sonuçların deneysel sonuçlar ile mukayesesi yapılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarda karşılaştırılmış analitik sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür [46].

Yamaç (2005), çalışmasında güneş enerjisi destekli bir ısı pompasını teorik olarak incelemiştir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R-134a kullanmıştır. Hesaplamalarında bir işletmenin ihtiyacı olan günlük 5 ton şebeke suyunun 14°C'den 50°C'ye çıkarılması için ısı pompası sisteminin ihtiyaç duyduğu ısı yükünün ne kadarının kolektörden karşılandığı ve ne kadarının karşılanamadığı incelenmiş ve sistemin COP değeri 4.39 olarak bulunmuştur. Ayrıca ısı yükü için gerekli olan kolektör alanını ve ısı pompası elemanlarını da inceleyerek kompresörün gücünü 7.7 kW, buharlaştırıcının kolektör sisteminden çekeceği ısı yükünü 28.31 kW ve soğutucu akışkan debisini 0.23 kg/sn olarak hesaplamıştır [47].

Özgener ve Hepbaşlı (2005a.b.c.d, 2006), güneş enerjisi destekli düşey toprak kaynaklı ısı pompası ile sera ısıtmasında toprak kaynaklı ısı pompasının ve hibrid sistemin; 10.93 °C referans sıcaklığında, ekserji verimi sırasıyla; % 71.8 ve % 67.7 olarak elde edilmiştir. Sistemdeki en büyük tersinmezlikler, seranın fancoil ünitesi, kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatörde görünmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin modellenmesi ve COP'lerinin değerlendirilmesinde,

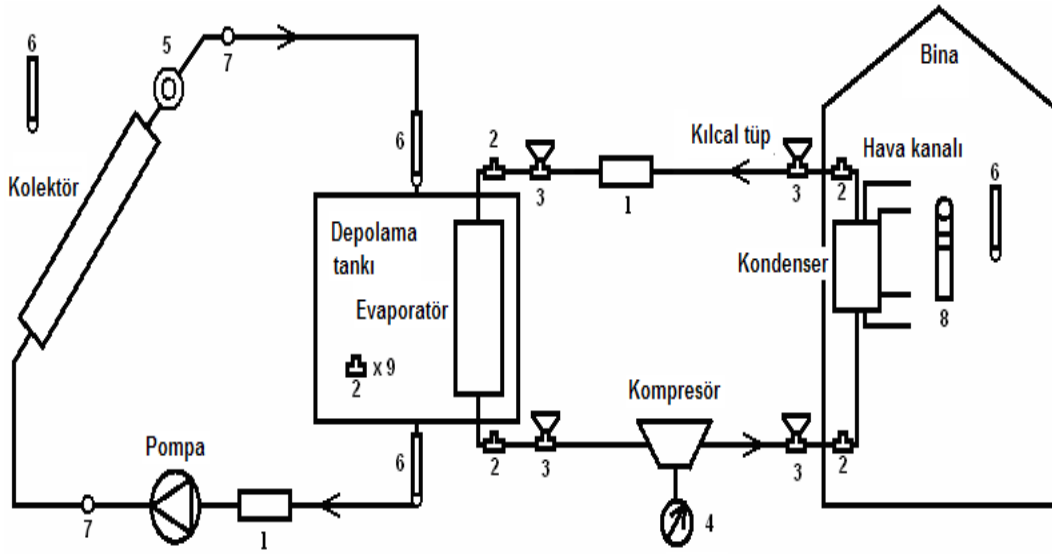
dikey ve yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının COP değerleri sırasıyla; 3.64 ve 3.12 olarak bulunmuştur. Güneş enerjisi ile birlikte çalışan dikey ve yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının COP değeri ise 3.43 ve 2.72'dir [48-52]. Özgener ve Hepbaşlı (2007a) tarafından yapılan çalışmada, sera ısıtması için kullanılan güneş ve toprak kaynaklı (toprak tarafında dikey U-borulu ısı değiştiricisinin kullanıldığı) bir ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Çalışmada çeşitli referans sıcaklıklarına ve su giriş sıcaklıklarına göre enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır [53].



Şekil 2.8. Güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompası sera ısıtma sisteminin (GDTKIPSIS) ana bileşenleri ve şeması [48-53]

Çağlar (2006), çalışmasında, vakum tipi kolektörlü bir güneş destekli ısı pompası ısıtma sisteminin performansını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Deneyler ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'ndeki güneş evinde yapılmıştır. Mevcut hava koşullandırıcılı ısıtma sistemi güneş evindeki vakumlu cam borulu su ısıtma sistemi ile entegre edilerek sistemin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, matematik modele dayalı bir bilgisayar simülasyon programı geliştirilmiştir. Elde

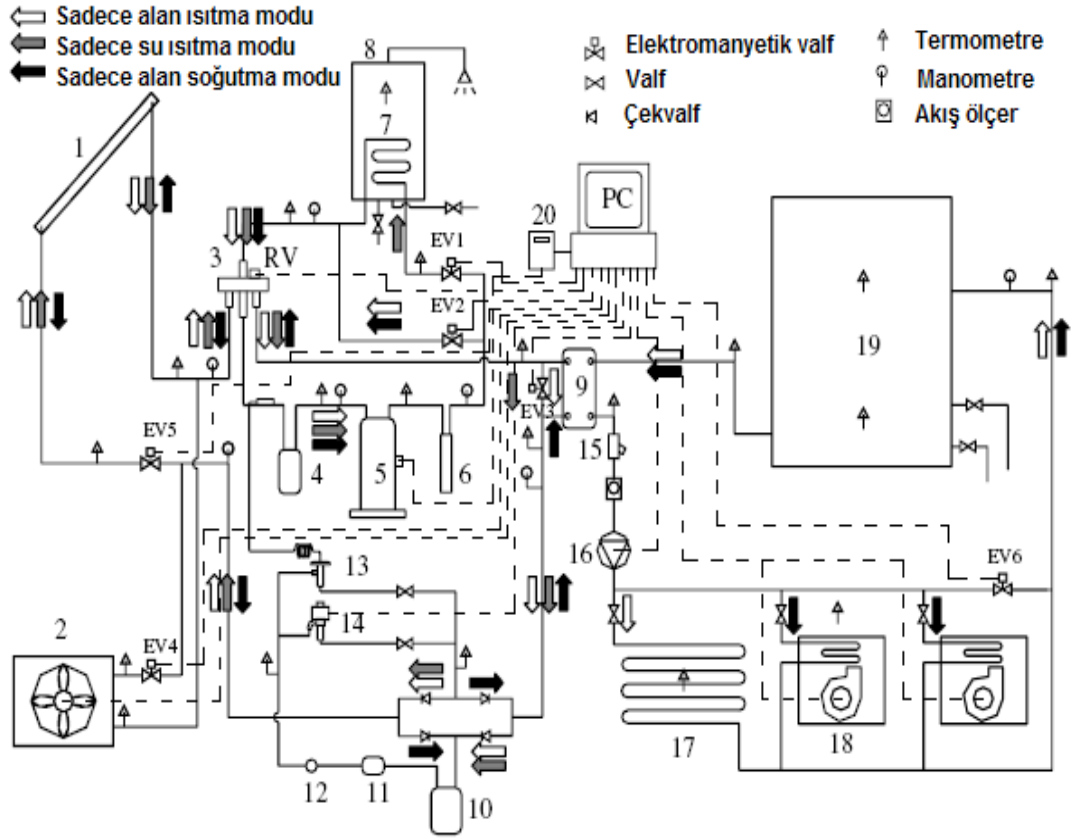
edilen teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Değişik parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda güneş destekli ısı pompasının maksimum performans katsayısı 4.85 olarak bulunmuştur. Termodinamiğin ikinci kanun verimi ise % 4.8-27.4 arasında elde edildi [54].



Şekil 2.9. Vakum tüplü güneş destekli ısı pompası sistemi [54]

1. Flowmetre 2. Isıl çift 3. Basınç dönüştürücü 4. Wattmetre 5. Piranometre
6. Cam termometre 7. Sıcaklık sensörü 8. Anemometre

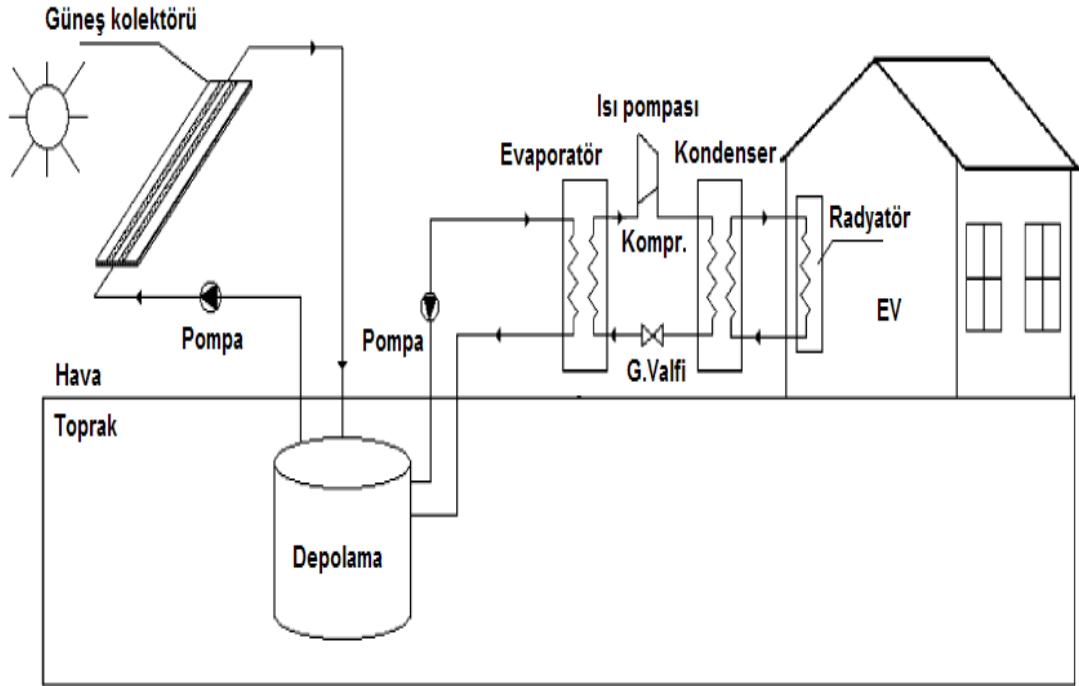
Kuang ve Wang (2006), çok fonksiyonlu direkt genleşmeli güneş destekli ısı pompası (ÇFDGGDIP) sisteminin performansını incelemiştir. Sadece alan ısıtma modu için; sistem COP değeri 2.1'den 2.7'ye değişirken, günlük ortalama ısı pompası COP değeri 2.6'dan 3.3'e değişmektedir. Sadece su ısıtma modu için; Çin'in Şangay şehrinde çeşitli hava koşullarında yaklaşık 50 °C nihai ısı ile günlük 200 lt veya 1 000 lt sıcak su üretebilmiştir. Sadece soğutma modu için; soğutma için elektrikte avantaj sağlamaktadır. Bu göstermektedir ki, ÇFDGGDIP sistemi çok farklı hava koşulları altında ve görece bir yıl için düşük maliyetli ve uzun vadeli çalışmasını garanti edebilir [55].



Şekil 2.10. DGGDIP sisteminin şematik görünüşü [55]

1. Güneş kolektörü/evaporatör 2. Hava kaynaklı ısı değiştirici 3. Dört yollu vana 4. Akümülatör 5. Kompresör 6. Yağ ayırıcı 7. Yoğuşturucu 8. Sıcak su tankı 9. Isı değiştirici 10. Toplama kabı 11. Nem tutucu 12. Gözetleme camı 13. Termostatik genişleme valfi 14. Elektronik genişleme valfi 15. Filtre 16. Su pompası 17. Yerden ısıtma devresi 18. Fan-coil 19. Isı depolama tankı 20. Dönüştürücü.

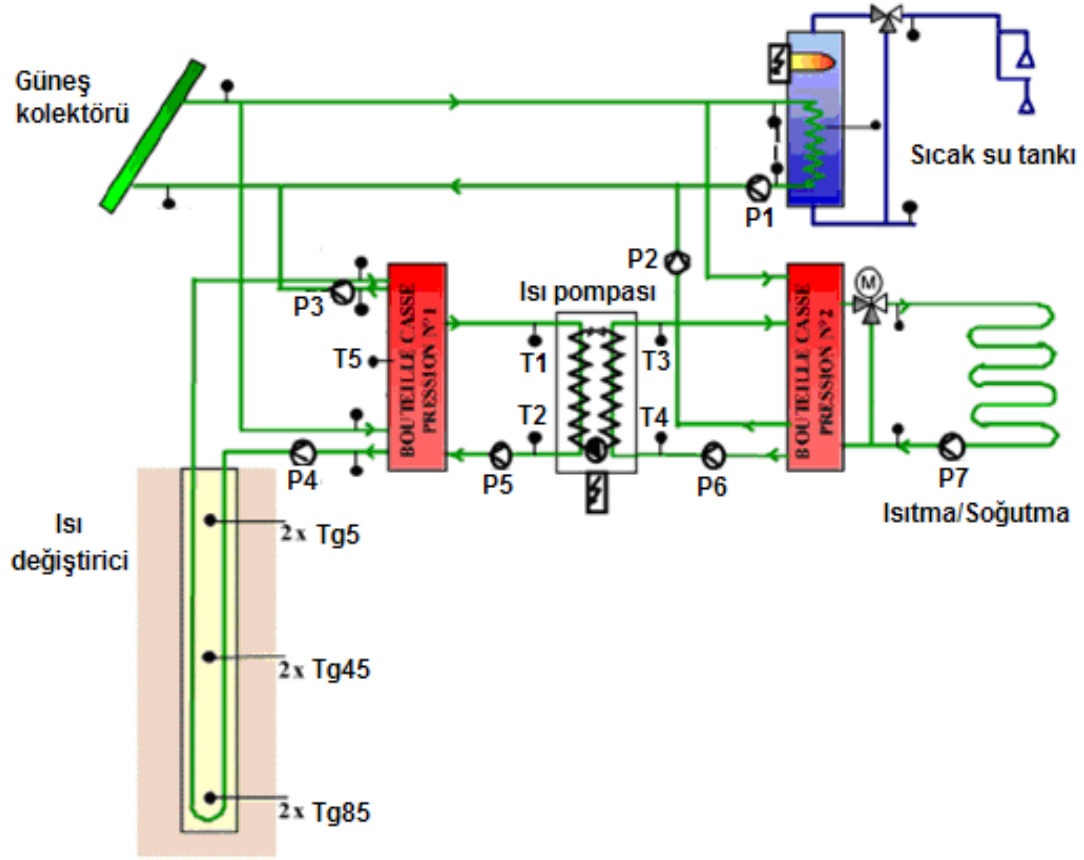
Uçar ve ark. (2006), bu çalışmada, konut binaları ile güneş enerjisi sistemlerinin optimizasyonu ve analizi için bir ekserji ekonomik model geliştirilmiştir. Elazığ'da güneş destekli ısıtma sistemi için optimum toplayıcı alanı, depolama hacmi ve hava koşulları MATLAB kullanılarak elde edilmiştir. Sistem bileşenlerinin her birinin enerji ve ekserji kayıpları tespit edilmiştir. Sonuçlar, trapez ve silindirik tanklar için kolektör alanının artması ile ekserji kaybının ve toplam maliyetin arttığını göstermiştir. Bu silindirik tank sisteminin toplam maliyeti diğer trapez tank sisteminden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Trapez tankında ekserji kaybı % 8.3 iken, silindirik tankta ekserji kaybı % 19.8 bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçların yerel ekonomiye büyük tasarruf ve destek olacağı belirtilmiştir [56].



Şekil 2.11. Konutlar için güneş destekli ısıtma sisteminin şematik diyagramı [56]

Trillat-Berdal ve ark. (2006, 2007), güneş destekli evsel sıcak su tanklı jeotermal ve güneş kaynaklı ısı pompası (GSHP) sistemi 180 m² özel bir konuta entegre etmiştir. Bu çalışmada; jeotermal enerji, ısı pompası ve güneş enerjisinin birlikte kullanıldığı sistem ile sıcak su ve ısıtma-soğutma gibi binanın enerji ihtiyacı karşılanmıştır. Bu sistem, konut ısıtma-soğutması ve iç sıcak su ihtiyacı için tasarlanmıştır. Üç seçenekli sistemin sadece ısıtma modu deneysel olarak incelenmiştir. 11 ay sonunda, jeotermal enerjiden 39.5 W/m ve 40.3 W/m ortalama güç değerleri elde edilmiştir. Isıtma modunda ısı pompası COP değeri ortalama 3.75 bulunmuştur. Ayrıca, ilk 11 aylık işletmede evsel sıcak su ortalama güneş fraksiyon değeri % 60'tan daha yüksek bulunmuştur [57,58].

Hepbaşlı (2007b), önceki sayfalarda bahsi geçen sistem üzerinde bir çalışma daha yapmıştır. Bir ürün/yakıt bazında ekserji verim değerlerini GSHP ünitesi için % 72.33, evsel güneş sıcak su sistemi için % 14.53 ve 19 °C ve 101.325 kPa için ölü (referans) değerlerinde tüm sistem için % 44.06 olarak bulmuştur. Ekserjetik COP değerlerini GSHP ünitesi ve tüm sistem için sırasıyla 0.245 ve 0.201 olarak elde etmiştir [59].

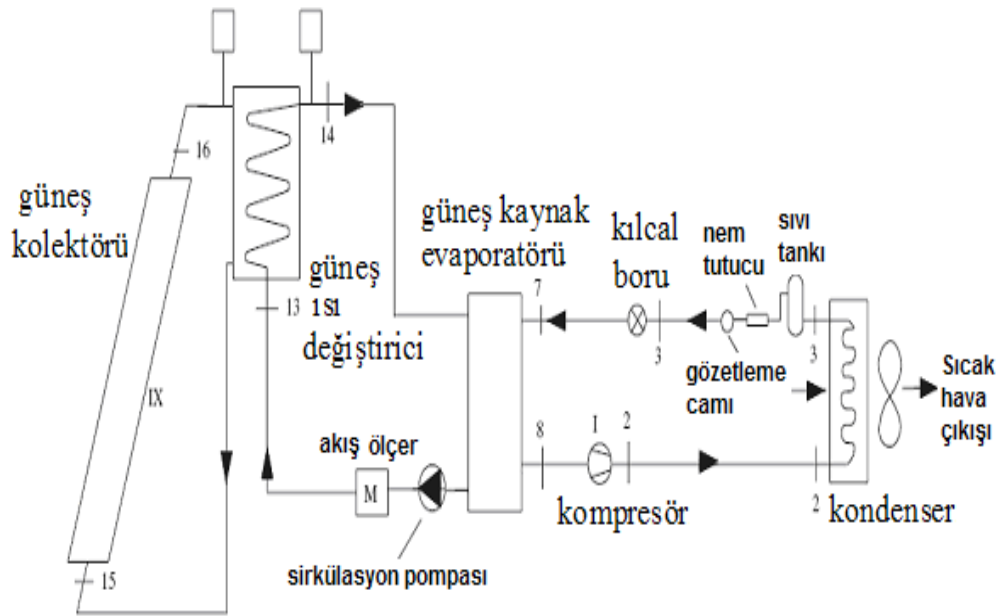


Şekil 2.12. Jeotermal-güneş destekli ısı pompası (GEOSOL) projesi prensip diyagramı [57-59]

Gündüz (2007), çalışmasında Bilecik ilinde GDIP ile sıcak su üretiminin performansını hesaplamıştır. Güneş kolektörlerinin ve ısı pompasının çalışma sıcaklıkları göz önüne alınarak dairenin ısıtılması için zeminden ısıtılmalı sistem kullanılmıştır. Sistem için belirlenen dairenin ısı kaybı hesabı klasik yöntemle yapılmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak ısı ihtiyacı belirlenmiş daire için sistem kapasitesi hesaplanmıştır. Isı pompası sisteminin hesaplamalar sonucunda Bilecik ili için yedi aylık süre boyunca verimli bir şekilde çalışacak Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık ayları için ek ısıtıcıya ihtiyaç duyacağı belirlenmiştir. Sistemin etkinlik katsayısı COP_{IP} değerinin 3.1 olduğu sonucuna varılmıştır [60].

Dikici ve Akbulut (2008), GDIP sisteminin performans analizi ve enerji-ekserji dengelikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında düzlem kolektörleri olan GDIP sistemi evsel ısıtmada kullanım için deneysel olarak incelenmiştir. Bu sistem

60 m²'lik bir alanda Fırat Üniversitesi'nde, Elazığ (38.411 N; 39.141 E) koordinatlarında kurulmuştur. Isıtma sezonunda, Ocak 2003'de veriler toplanmıştır. Sistemin COP'si 3.08 olarak bulunmuştur. Güneş kolektörlerinde ekserji kaybı 1.92 kW'tır. Kompresör, kondenser, evaporatör ve güneş ısı değiştiricisi için ekserji verimleri sırasıyla: % 42.1 - % 83.7 - % 43.2 ve % 9.4 olarak gerçekleşmiştir. Tüm sistemin birinci yasa verimi ve ekserji verimi % 65.6 ve % 30.8'dir. Enerji ve ekserji analizleri evaporatörde ekserji kayıpları azaldıkça COP değerinin yükseleceğini göstermektedir [61].

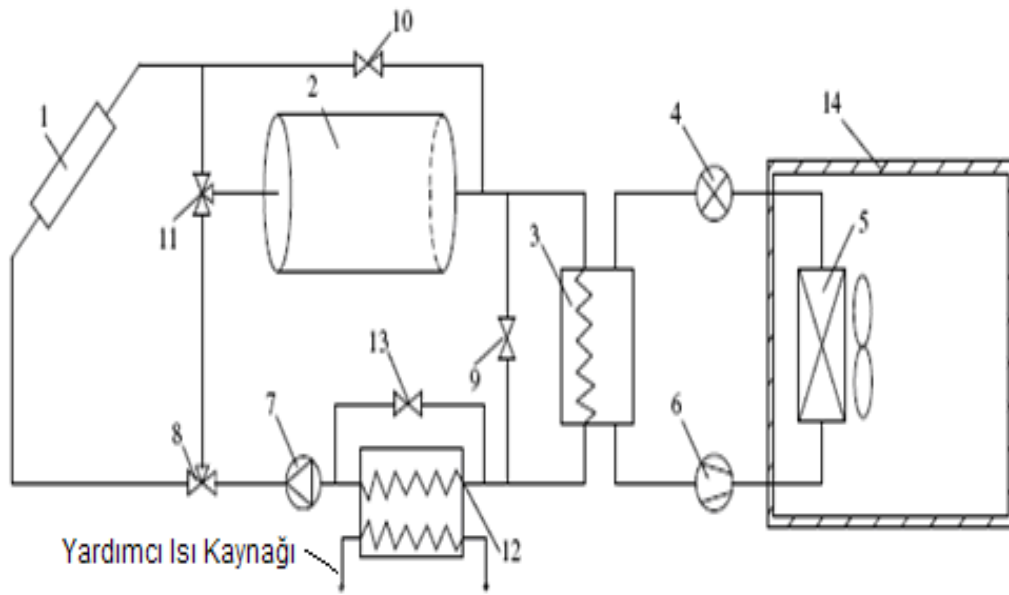


Şekil 2.13. Güneş destekli ısı pompası sistemi deney seti [61]

Han ve ark. (2008), GDTKIP ısıtma sistemi ile gizli ısı depolama tankı (GIDT) araştırılmış ve sistemin matematiksel modeli geliştirilmiştir. Isıtma sisteminin çalışma özelliği analiz edilmiştir. Simülasyon sonucunda, ısıtma periyodunda ısıtma sisteminin COP değeri 3.28'dir. İlk ve daha sonraki dönemde ısıtma periyodunda, ısıtma sistemi COP değeri daha yüksektir ve en yüksek 5.95 değerine ulaşılmıştır. Sistem, ısı pompası olmadan çalıştırılabilir. Orta dönem ısıtma periyodunda ısıtma sistemi COP değeri ve sistemin istikrarlı çalışması sırasında ısı pompasının ısı kaynağı olarak güneş enerjisi ve toprak kaynaklı enerjinin dönüşümlü ya da birlikte kullanılabilmesi geliştirilmiştir. Sistemin işleyişinde GIDT'nin çok önemli bir rolü

olduğu vurgulanmıştır [62].

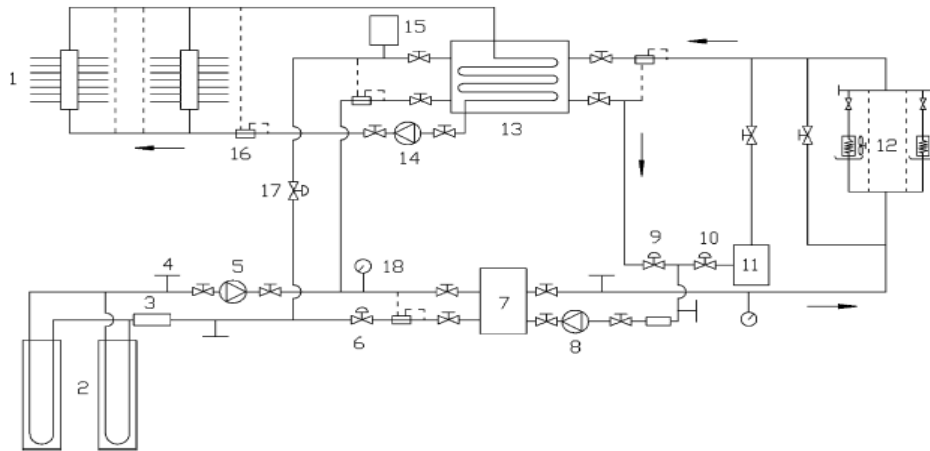
Qi ve ark. (2008), tasarladıkları mevsimlik enerji depolamalı güneş ısıtma sistemine faz değıştiren madde ekleyerek sistem performansı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sistem için basitleştirilmiş bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile bir mekan ısıtması sağlanmış, sistemin operasyonel performansı incelenmiş ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır [63].



Şekil 2.14. Güneş destekli ısı pompası sistemiyle mevsimlik gizli ısı depolama [63]

1. Güneş kolektörü 2. Depolama tankı 3. Evaporatör 4. Genleşme valfi
5. Kondenser 6. Kompresör 7. Pompa 8 ve 11. Üç yollu vana 9.10 ve 13. Valf 12. Isı değıştirici 14. Isıtılan mahal

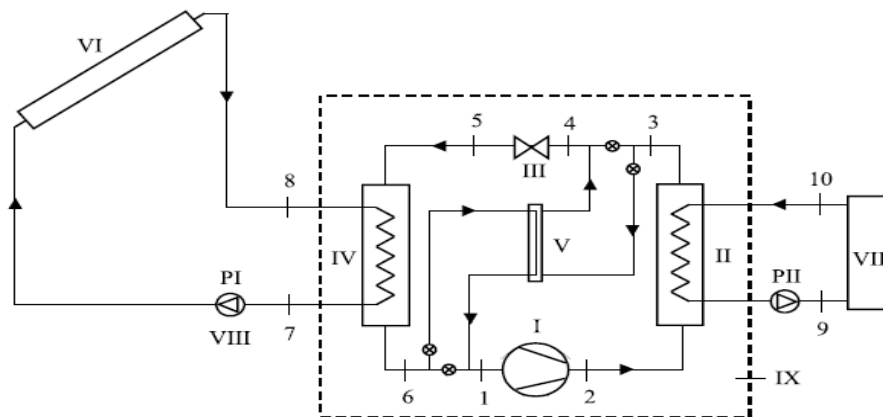
Wang ve Qi (2008), meskenler için GDTKIP sisteminin yeraltı termal depolama performansının analizini yapmıştır. Yeraltı ısı depolama verimliliğine dayanan toplam güneş radyasyonu ve kolektörler tarafından emilen güneş enerjisi sırasıyla % 40 ve % 70 değeri üzerine çıkabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, depo hacmi ile güneş kolektörleri alanı arasında makul bir oran olan 20-40 l/m² olması gerektiği önerilmiştir [64].



Şekil 2.15. Güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası prensip diyagramı [64]

1. Güneş kolektörü 2. Jeotermal ısı değiştirici 3. Su filtresi 4. Sıcaklık sensörü 5. Sirkülasyon pompası (P1) 6. Valf (V1) 7. Isı pompası ünitesi 8. Sirkülasyon pompası (P2) 9. Valf (V2) 10. Valf (V3) 11. Tank 12. İç hacim boruları 13. Su depolama tankı 14. Sirkülasyon pompası (P3) 15. Genleşme tankı 16. Kalorimetre 17. Valf/V4) 18. Manometre

Bakırcı ve ark. (2009), ısıtma amaçlı GDIP sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Sistem analizi için, ısıtma sezonunun en soğuk aylarından biri olan Ocak ayındaki (14 Ocak 2008) bir günlük deneysel sonuçları kullanılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak ısı pompası ve sistemin performans katsayıları ile ekserjetik verimleri hesaplanmıştır. Sırasıyla ısı pompasının ve tüm sistemin ortalama performans katsayıları 4.2 ve 3.6 değerinde, ekserji verimleri ise ortalama % 44.3 ve % 6.8 değerinde bulunmuştur [65].

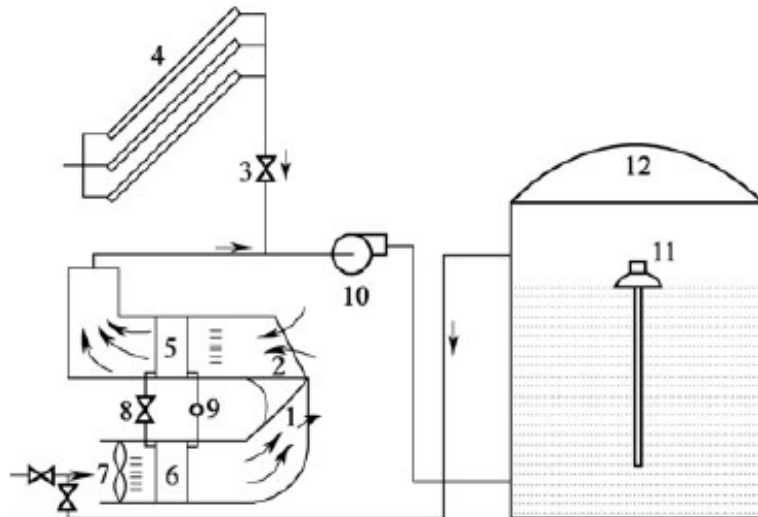


Şekil 2.16. Isıtma amaçlı güneş kaynaklı ısı pompası (GDIP) sistemi [65]

- I. Kompresör II. Kondenser III. Kısma valfi IV. Evaporatör V. Isı değiştirici VI. Kolektör VII. Isıtma ünitesi VIII. Pompa IX. IP sistemi

Dopa Ltd. Şti. (2010), 1 Kasım 2009- 31 Mart 2010 tarihleri arasında güneş destekli ısı pompası ile 170 m² bir konutun ısıtması için kullanım analizi yapmıştır. Kasım 2009'dan Mart 2010'a kadar ısınma amaçlı radyatörlerin kullandığı enerji toplamı 6 556 kW'dır. Bunun 1 432 kW'ı güneş enerjisinden geri kalanı ise ısı pompası tarafından karşılanmıştır. Bu işlerin yapılabilmesi amacıyla da pompa, fan ve kompresör vb. sistem elemanlarında toplam 1 952 kW elektrik enerjisi kullanılmıştır. Belirtilen tarihler arasında 150 gün (3 600 saat) çalışarak 1 952 kW elektrik enerjisi kullanımı karşılığı ile 6 556 kW mahal ısıtması gerçekleştirmiştir. Bu ısınma, doğal gaz, elektrik veya mazot ile yapıldığında sırasıyla % 13, % 70, % 73 daha pahalıya mal olacağı belirlenmiştir [66].

Li ve ark. (2010) tarafından bir tahıl ambarı için üretilen güneş destekli ısı pompası kurutma sistemi tasarlanmış ve birim enerji tüketim performansı incelenmiştir. Konvansiyonel yöntem ile karşılaştırıldığında su içeriğinde istikrar, düşük güç tüketimi ve kısa çevrim süresi elde edilmiştir. Ünitenin güneş fraksiyonu % 20'dan daha yüksek, sistem performansı katsayısı (COPs) 5.19 ve nem çekme oranı (SMER) 3.05 kg/kWh elde edilmiştir [67].

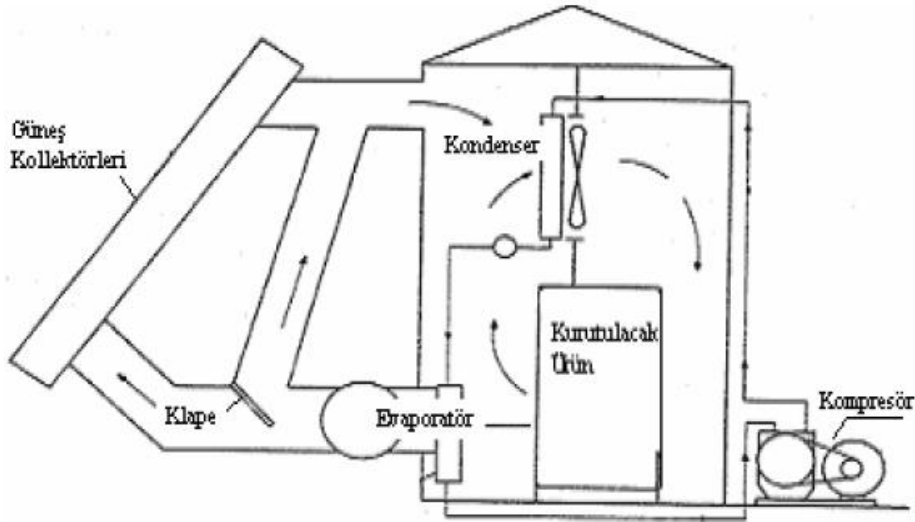


Şekil 2.17. GDIP ile depoda tahıl kurutmanın şematik diyagramı [67]

- 1,2,3. Hava valfleri 4. Havalı güneş kolektörü 5. Kondenser 6. Evaporatör
7. Egzost fanı 8. Genleşme valfi 9. Kompresör 10. Fan 11. Karıştırıcı
12. Tahıl ambarı

Güneş destekli ısı pompası sisteminin kurutma amaçlı kullanılması ile kurutma esnasında harcanan enerji miktarı düşmektedir. Ancak kurutma şartlarının (sıcaklık, bağıl nem ve hız) ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Aşağıda ısı pompası sisteminin ve güneş destekli ısı pompası sisteminin kurutma amaçlı kullanılması ile ilgili çalışmalar verilmektedir.

Chen ve ark. (1982), havalı güneş kolektörlü, 1.5 HP'lik ısı pompası destekli tam kapalı bir fırın imalatı yapmışlardır. Yapılan güneş enerjisi destekli, ısı pompalı ve nem alıcılı kurutma fırını Şekil 2.19'da görülmektedir [68].



Şekil 2.18. Güneş enerjili ısı pompası destekli kurutma fırını [68]

Baines (1986), ısı pompalı kurutucular kullanıldığında, kurutucularda enerji kayıplarının azaldığını belirtmiştir. Araştırmacı, ısı pompalı sistemlerde SMER değerinin 1 - 6 kg/kWh arasında değiştiğini belirtmiştir [69].

Öz (1988), tarafından yapılan TÜBİTAK destekli projede güneş enerjili kondenzasyonlu bir kurutma fırını tasarlanarak kereste kurutulmuştur. Gündüzleri güneş enerjisi kullanılırken, kurutma havası atılmayarak ek bir enerji sağlanması amacıyla ısı pompasından faydalanılmış, kurutma havasının nemi ısı pompasında yoğunlaştırularak dışarı alınmıştır [70].

Çomaklı ve ark. (1990), Karadeniz Bölgesi için kurutma ve iklimlendirme amaçlı güneş kolektörlü enerji depolu, ısı pompası sistemi kurmuşlardır [71].

Theerakulpisut (1990), ısı pompalı kurutucuda tahıl kurutmuştur. Çalışmada, ürünlerdeki nem oranının yüksek olduğu zamanda açık çevrimli ısı pompalı bir kurutucunun daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [72].

Meyer ve Greyvenstein (1992), ısı pompalı kurutucuda tahıl kurutmuşlardır. Araştırmacılar, “ısı pompalı kurutucuların operasyon sürecinin az olması onları diğer kurutuculara göre daha ekonomik yapmaktadır” ifadesini kullanmışlardır [73].

Rossi ve ark. (1992), ısı pompalı kurutucuda soğan kurutmuşlardır. Çalışmada, dilimlenmiş soğanların kurutulmasında enerji tasarrufu sağlandığını daha kısa kurutma işleminden dolayı daha kaliteli ürün elde edildiği belirtilmiştir [74].

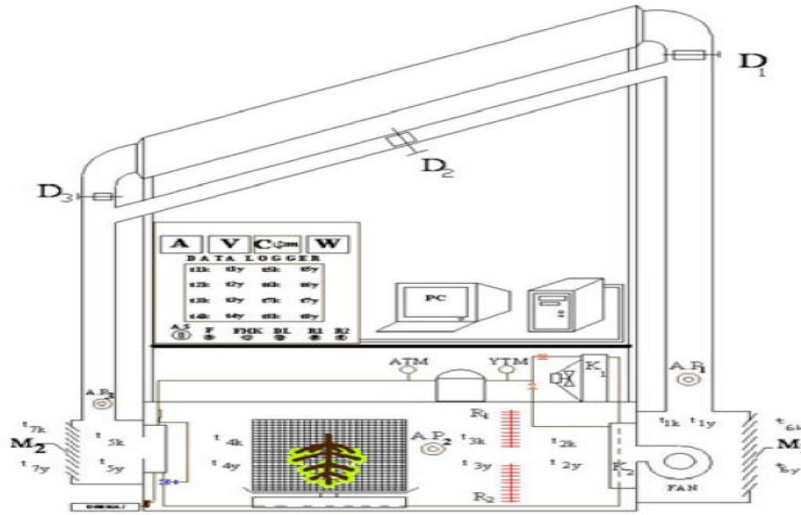
Coşkun (1993), kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasını deneysel olarak incelemiştir. Araştırmacı, kurutma havasının ısı pompasının yoğunlaştırıcısında ısıtılmasının fuel-oil ile ısıtılmasının yanında % 25 daha verimli olduğunu saptamıştır. Ayrıca geri beslemesiz tip ısı pompasından daha etkili olan geri beslemeli tip ısı pompası ise herhangi bir tekstil fabrikasında kullanıldığında fuel-oil ile çalışan klasik tip kurutucular yanında teorik olarak % 48 civarında bir enerji tasarrufu sağlanacağını tespit etmiştir [75].

Strommen ve and Kramer (1994), ısı pompalı kurutucuda deniz ürünlerini (balık) kurutmuşlardır. Çalışmada, ısı pompalı kurutma sistemlerinin büyük avantajının kurutulmuş ürünlerin yüksek kalitede olmasını sağlaması ve kontrol edilebilen sıcaklık programı ile ürün özelliklerine (gözeneklilik, rehidrasyon, renk, doku ve dayanıklılık) göre kurutma programının ayarlanabilmesinin mümkün kılınması olduğu belirtilmiştir [76].

Best ve ark. (1996), pirinç kurutma için GDIP kurutucu performansını araştırmış ve kurutucunun COP değerini 5.3 olarak bildirilmiştir [77].

Filho ve Strommen (1996), kapalı çevrimli ısı pompalı kurutucuların düşük sıcaklıklarda çalışan konvansiyonel kurutuculara göre daha verimli çalışma potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kapalı çevrimli ısı pompalı kurutucularda atık havadan duyulur ve gizli ısının çekilmesiyle sistem ısı performansının iyileşeceğini belirtmişlerdir [78].

Oktay (1997), ısı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenleri araştırmıştır. Araştırmacı, “by-pass hava oranı, toplam hava debisi ve egzoz debisi; sistemin performansını etkileyen anahtar parametrelerdir” ifadesini kullanmıştır. Evaporatör etrafındaki by-pass havasının sistemin performansını % 20 oranında iyileştirebileceği, bu iyileşmenin artan hava debisi ile artacağı, egzoz havasının % 10 azaltılması ile özgül nem çekme oranının (SMER) % 15 ve ürün geçişinin % 50 oranında iyileşebileceği belirtilmiştir. Fakat bu iyileşmenin soğutkanın yüksek çalışma sıcaklığı ile sınırlı olduğu belirtilmiştir [79].



Şekil 2.19. Bilgisayar Kontrollü güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası [79]

Prasertsan ve ark. (1997, 1998), ısı pompalı kurutucuda tarımsal gıdaları (muz) kurutmuşlardır. Araştırmacılar, “ısı pompalı kurutucuların yüksek nem miktarına sahip materyaller için daha uygun olduğunu” ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, ısı pompalı kurutucuların işletme maliyetlerinin onları ekonomik olarak daha mümkün

kıldığı belirtilmiştir [80,81].

Lopez ve ark. (1998), farklı sıcaklık (30-70) °C ve farklı hızlardaki (0.5-2.0) m/s şartlandırılmış hava ile farklı yatak yüklerinde (50-150) kg/m² deneyler yapmışlardır. Bu deneylerde, hava sıcaklığının kuruma süresine etkisinin fazla olduğu, buna karşılık hava hızının ve kurutma yatak yükünün etkisinin fazla olmadığı belirtilmiştir [82].

Chou ve ark (1998) ve Chua ve ark. (1998, 2000), ısı pompalı kurutucuda tarımsal ve deniz ürünlerini (mantar, meyveler ve istiridye) kurutmuşlardır. Araştırmacılar, “ısı pompalı kurutucularda planlanmış kurutma şartları ile tarımsal ve deniz ürünlerinin kalitesinin arttırılabileceğini” ifade etmişlerdir [83-85].

Achariyaviriya ve ark. (2000), ısı pompalı kurutucuda papaya kurutmuşlardır. Ürünü, 50 °C’de % 40.4 (kuru baz) nem değerinden % 23.2 (kuru baz) nem değerine kadar kurutmuşlardır. Bu araştırmada, maksimum SMER değeri de 0.091 kg/kWh olarak hesaplanmıştır [86].

Bhattacharya ve ark. (2000), fotovoltaiik panel ile hibrid güneş destekli ısı pompalı kurutucu modülleri hazırlamıştır. Bu sistem sebze ve meyve kurutma için tasarlanmıştır [87].

Coşkun (2002), basit nem alıcılı ısı pompalı sürekli kurutma sisteminin simülasyonunu yapmıştır. Dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda kondenser sıcaklığındaki artışın soğutkanın kritik nokta sıcaklığı ile sınırlı olduğunu, ısı pompalarında kondenser sıcaklığının soğutkanın kritik sıcaklığına yaklaşmasının, soğutkanın kimyasal yapısını bozacağı hem de kompresörün zarar görmesine neden olacağı belirlenmiştir [88].

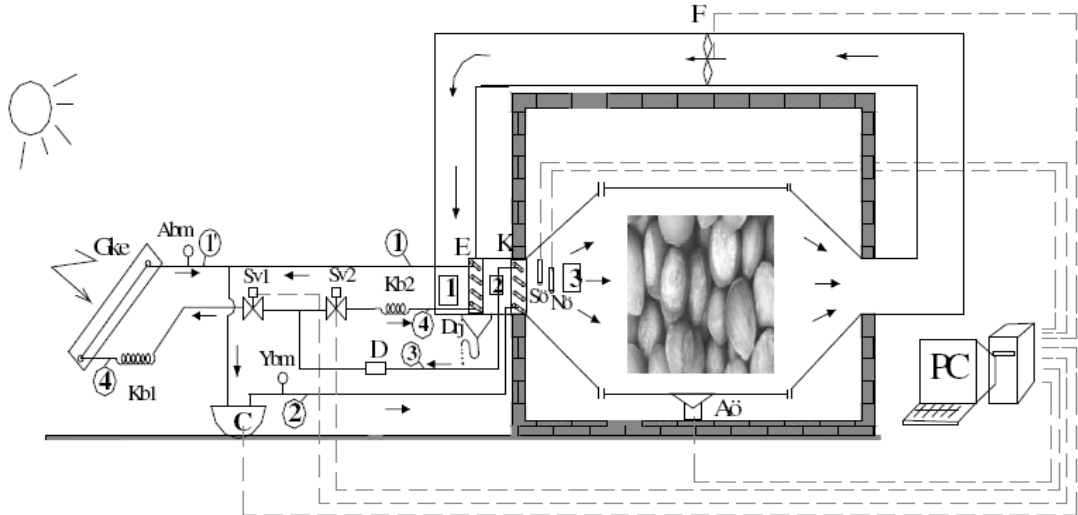
Teeboonma ve ark. (2003), ısı pompalı meyve kurutucularının optimizasyonunu yapmışlardır. En önemli faktörlerin dönüş havası oranı, evaporatör by-pass oranı, kütleli debi ve kurutma havası sıcaklığı olduğu belirtilmiştir. Ürünün fiziksel

özellikleri optimum hava debisini ve evaporatör by-pass hava oranını önemli bir biçimde etkilemekte olduğu vurgulanmıştır [89].

Hawlder (2003), GDIP kurutma fırını ve sıcak su ısıtıcısı sistemi tasarımı ve imalatını yapmıştır [90].

Özdemir ve ark. (2004), mekanik kurutmada hava sıcaklığının önemli Türk fındık çeşitlerinden tombul'un kalitesine etkisini incelemiştir. Fındıklar (35, 40, 45 ve 50) °C'de kurutulmuştur. 45 °C'nin altındaki kurutma sıcaklığının, önemli Türk fındık çeşitlerinden tombul çeşidinin acılaşmaya olan dayanıklılığını etkilemediğini göstermektedir [91].

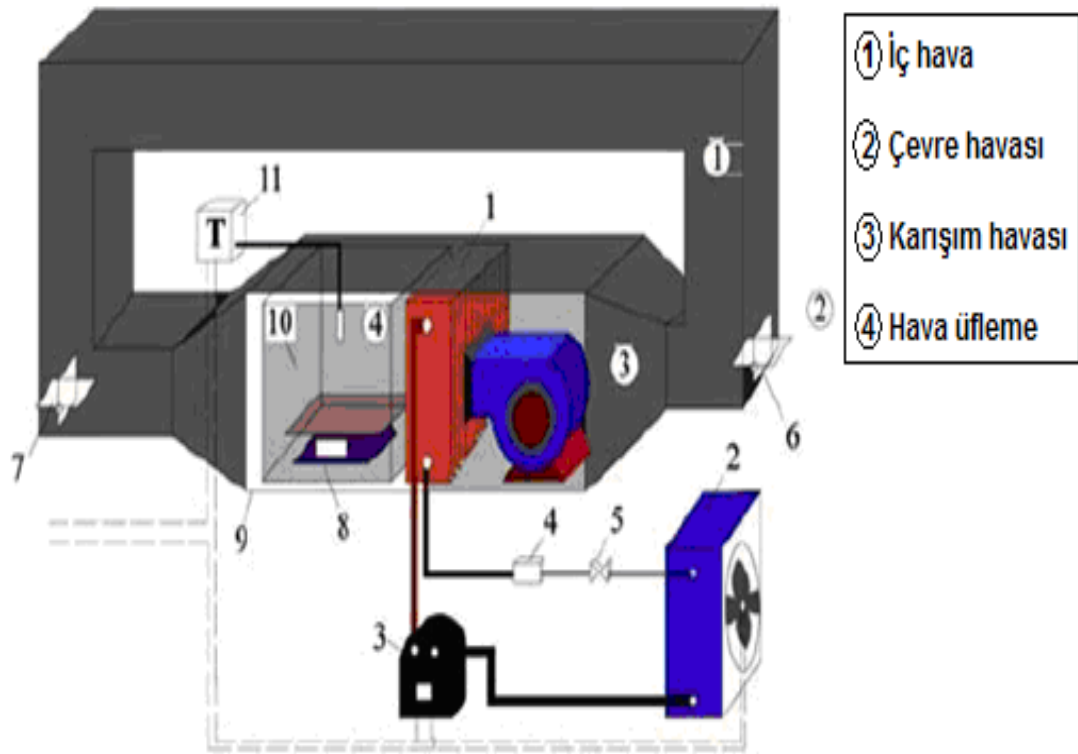
Aktaş ve ark. (2005), fındık kurutma şartlarını göz önünde bulundurarak ısı pompalı endüstriyel fındık kurutma fırınının modellemesini yapmışlardır. Yapılan modelleme ile güneşli günlerde güneş enerjisinden faydalanılarak daha az enerji sarfıyatı olurken, diğer zamanlarda kurutma işleminin devamlılığının ısı pompası yardımı ile sağlanabileceğini belirtmişlerdir [92].



Şekil 2.20. Sıcaklık, nem ve ağırlık kontrollü, nem yoğuşmalı (kondenzasyonlu) fındık kurutma fırını [92]

F: Fan Drj: Yoğuşan su haznesi K: Kondenser E: Evaporatör Gke: Güneş kolektörlü evaporatör D: Kurutucu Filtre Ybm: Yüksek basınç manometresi Abm: Alçak basınç manometresi Sö: Sıcaklık transmitteri Nö: Nem sensörü C: Kompresör Aö: Ağırlık ölçer Sv1- Sv2: Selonoid valf Kb1-Kb2: Kılcal boru

Ceylan ve ark. (2005) ve Aktaş ve ark (2009), Şekil 2.21’de görülen ısı pompalı bir kurutma fırınının elma kurutulmasında kullanılmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, ayarlı kapak (damper) ile bağıl nemi daha düşük olan dış hava sisteme alınarak, sistem havasının neminin düşürülmesi sağlanmıştır. Elmalar; 40 °C’de, ortalama % 20 bağıl nemde, 2.8 m/s hava hızında, 4.8 (g su/g kuru madde) su oranından 0.18 (g su/g kuru madde) su oranına kadar 3.5 saatte kurutulmuştur. Araştırmacılar, bağıl nemin düşük olduğu bölgelerde yapmış oldukları ısı pompalı kurutma sisteminin verimli bir şekilde çalışabileceğini ifade etmişler. Elmaların kurutma sonrası su aktivitesi değerini 0.65 olarak bulmuşlar ve böylece elmalarda düşük su aktivitesinden dolayı bazı toksijenik küflerin faaliyetlerinin ve toksin üretiminin engellenmiş olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte bir ısı pompalı ve güneş kurutucuda elmaların kurutma özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır [93,94].



Şekil 2.21. Isı pompalı kurutucu [93,94]

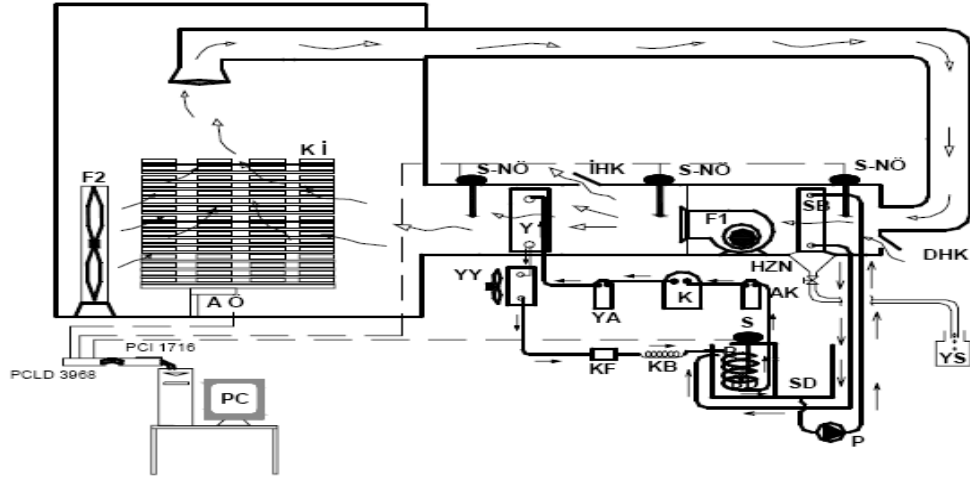
1. Kondenser 2. Evaporatör 3. Kompresör 4. Nem tutucu 5. Genleşme valfi 6. Taze hava girişi 7. Elma dilimleri 8. Tartı 9. Kurutma odası 10. Termokapl (Pt-100) ve proses kontrol donanımı

Phani ve ark. (2005), kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli kurutma sistemini test etmişlerdir. Araştırmacılar, bu sistemde ürün kalite optimizasyonu için düşük sıcaklıklarda (30 - 35) °C kurutulması gereken bitkileri kurutmuşlardır. Özgül nem çekme oranını (SMER) 0.006-0.61 kg/kWh arasında hesaplamışlardır. Ürün kurutmasında elektrikli tel ısıtıcılı konvansiyonel sistem ile ısı pompası sistemi karşılaştırıldığında ısı pompalı sistemde kurutma süresinin % 65 ve kullanılan enerjinin de % 22 azaldığı görülmüştür [95].

Fatouh ve ark. (2006), ısı pompalı kurutucu kullanarak maydanoz, nane ve ebegümece kurutmuşlardır. Sistemde R-134a gazı kullanılmıştır. Bu bitkilerin kurutulmasında gerek duyulan en düşük enerji tüketim değerleri maydanoz için 3.684 kJ/H₂O, nane için 3.982 kJ/H₂O ve ebegümece için 4.029 kJ/H₂O olarak hesaplanmıştır [96].

Hawladar ve Jahangeer (2006) ve Hawladar ve ark. (2008), GDIP kurutucunun ve su ısıtıcısının performansını araştırmışlardır. Bununla ilgili bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Yükün 20 kg ve kompresör hızının 1 200 rpm olması durumunda özgül nem çekme oranı (SMER) 0.65 olarak saptanmıştır. Sistem performansını etkileyen üç parametrenin güneş radyasyonu, kompresör hızı ve kurutma odasındaki toplam yük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, kompresör hızı arttığında SMER ve COP değerinin azaldığı gözlemlenmiştir [97,98].

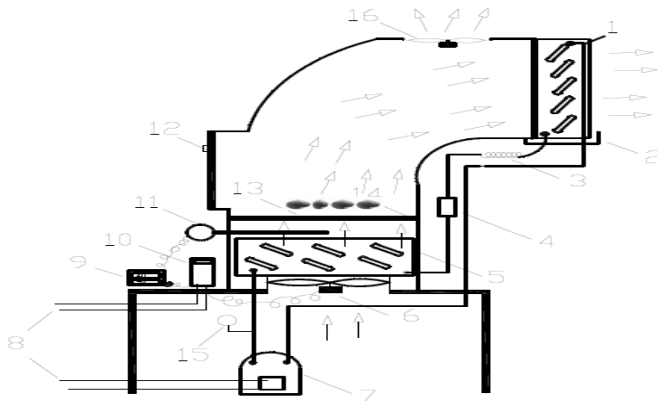
Ceylan (2007) ve Ceylan ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmalarda programlanabilir (PLC) ısı pompalı kurutucunun tasarımı, imalatı ve kereste kurutma işleminde deneysel incelenmesi yapılmıştır. Ayrıca ısı pompası destekli kereste kurutucusunun enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Çalışmada, 40 °C sıcaklık ve 0.8 m/s hava hızında yapılan kurutma işleminde kavak keresteleri 1.28 kg su/kg kuru madde nem oranından 0.15 kg su/ kg kuru madde nem oranına 70 saatte ve çam keresteleri de 0.60 kg su/kg kuru madde nem oranından 0.15 kg su/kg kuru madde nem oranına 50 saatte indirgenmiştir [99,100].



Şekil 2.22. Dış hava karışıklı, ısı pompası destekli kereste kurutma fırını [99,100]

Kİ: Kereste istifi F1: Fan F2: Fan Y: Yoğuşturucu YY: Yardımcı yoğuşturucu YA: Yağ ayırıcı KF: Kurutucu filtre KB: Kılcal boru B: Buharlaştırıcı BD: Buz deposu SD: Su deposu P: Pompa YS: Yoğuşan su AÖ: Ağırlık ölçer AK: Akümülatör K: Kompresör SB: Soğutucu batarya HZN: Yoğuşan su haznesi DHK: Dış hava klapesi İHK: İç hava klapesi S-NÖ: Sıcaklık ve nem ölçer S: Sıcaklık ölçer PCI 1716: Kontrol kartı PLCD 3968: Sensör bordusu PC: Bilgisayar

Aktaş (2007), ısı pompalı PID kontrollü fındık kurutma sisteminde fındık kurutmıştır. Fındıklar 40 °C’de kurutulduğunda bütün sistemin COPws değeri 1.40, 45 °C’de kurutulduğunda bütün sistemin COPws değeri 1.58 ve 50 °C’de kurutulduğunda bütün sistemin COPws değeri 1.70 olarak hesaplanmıştır [101].



Şekil 2.23. Isı pompalı PID kontrollü kurutma fırını [101]

1. Evaporatör 2. Yoğuşan su 3. Kılcal boru 4. Kurutucu filitre 5. Kondanser 6. Eksenel fan1 7. Kompresör 8. Besleme 9. Proses kontrol ekipmanı 10. İnvertör (AC farklı hız sürücülü) 11. Termokupl (P-100) 12. Kapak 13. Kurutulacak ürün 14. Raf 15. Manometre 16. Eksenel fan2

Literatürde, güneş destekli ısı pompalı su ısıtıcısı ile ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretimi için hazırladığımız sistem tarzında tasarlanarak üzerinde çalışma yapılan bir örneğine rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli ısı pompası ile ısıtma ve kurutma ihtiyacını karşılamak üzere bir sistem tasarımı üzerine çalışma ve incelemeler yapılmıştır. Güneş enerjisi destekli ısı pompalarının ısıtma ve kurutma amaçlı kullanılmasının ülkemiz şartlarında verimli ve kullanılabilir olduğunun başarılı sonuçları elde edilerek ispatlama çalışmaları yapılacaktır.

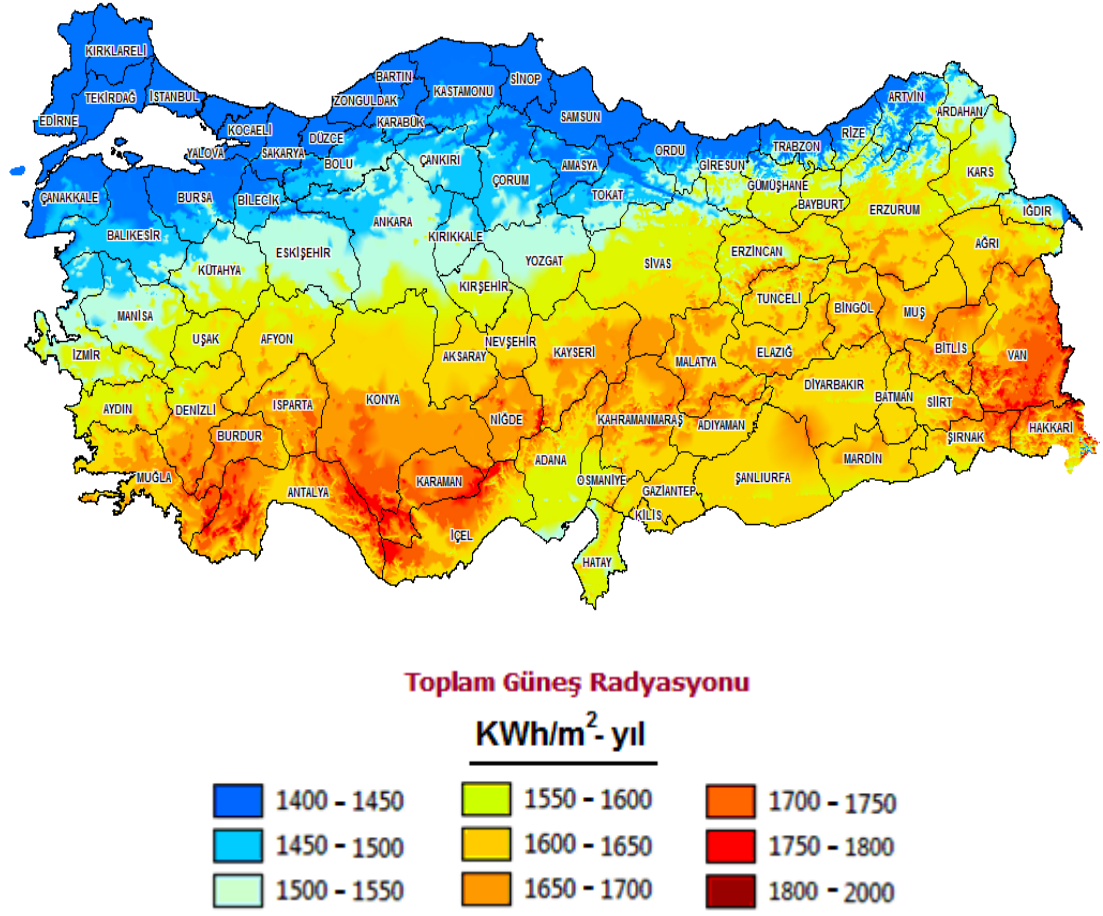
3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş, dünyanın en önemli enerji kaynağıdır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak sabit ve $1\,370\text{ W/m}^2$ değerindedir, ancak yeryüzünde $0\text{--}1\,100\text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim göstermektedir.

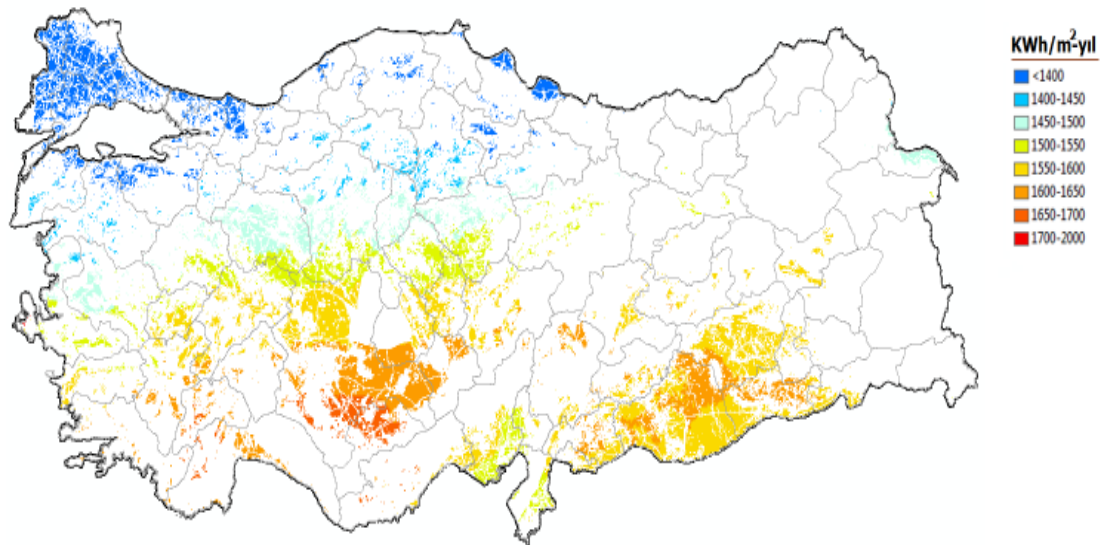
Kayıplardan sonra yeryüzüne bir günde düşen enerji miktarı 14.9×10^{18} kJ civarındadır. Bu miktar 1990 yılında tüm dünyada tüketilen enerji miktarından 6 000 kat fazladır yani başka bir ifadeyle uygarlığın başından beri insanlığın tükettiği enerji, sadece güneşten dünyaya 30 günde ulaşan enerjiye eşittir [102].

3.1. Türkiye Güneş Radyasyonu

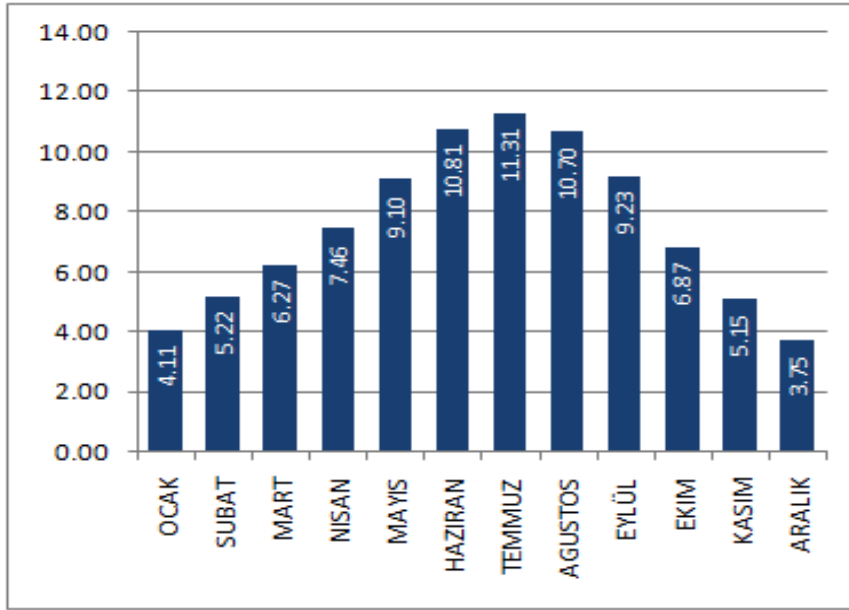
Dünya yüzeyine ulaşan enerjinin kullanılabilir durumdaki büyük bölümü, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 45° kuzey ve 45° güney enlemleri arasında kalan ve dünyanın güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgesindedir. Yapılan ölçümlere göre Türkiye'nin % 63'ünde 10 ay, % 17'sinde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür [102]. Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2 640 saat (günlük toplam 7.2 saat) ve ortalama toplam ışıyım şiddeti $1\,311\text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam 3.6 kWh/m^2) olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda EİE tarafından güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) ve Türkiye güneş radyasyon değerleri grafiği hazırlanmıştır. Şekil 3.1'de güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA), Şekil 3.2'de güneş enerjisinden termal üretime elverişli alanlar ve Şekil 3.3'de ise Türkiye güneş radyasyon değerleri grafiği gösterilmektedir [103]. Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş ısıyımı şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi $3\,517 \times 10^{12}$ kJ olarak hesaplanmıştır. Yani Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP (ton eşdeğer petrol)'tir. Bu enerji $1\,115 \times 10^8$ kJ'a karşılık gelmektedir. Türkiye'ye düşen toplam güneş gücü kurulu elektrik santralleri gücünün 5 300 katından fazladır. Bu açıdan güneş enerjisinden faydalanan sistemlerin geliştirilmesine önem vermek gerekmektedir [47].



Şekil 3.1. EİE Güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [103]



Şekil 3.2. Güneş enerjisinden termal üretime elverişli alanlar [103]



Şekil 3.3. Türkiye güneş radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [103]

Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [103]

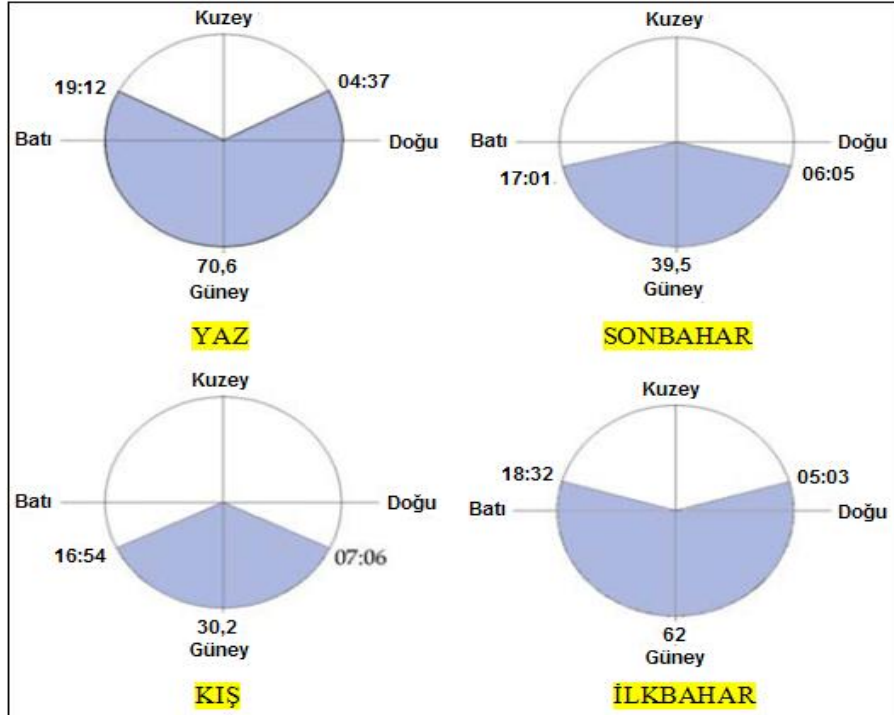
AYLAR	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.40	343
Eylül	10.60	123.28	280
Ekim	7.73	89.90	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	103
Toplam	112.74	1 311	2 640
Ortalama	308 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [103]

BÖLGE	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1 460	2 993
Akdeniz	1 390	2 956
Doğu Anadolu	1 365	2 664
İç Anadolu	1 314	2 628
Ege	1 304	2 738
Marmara	1 168	2 409
Karadeniz	1 120	1 971

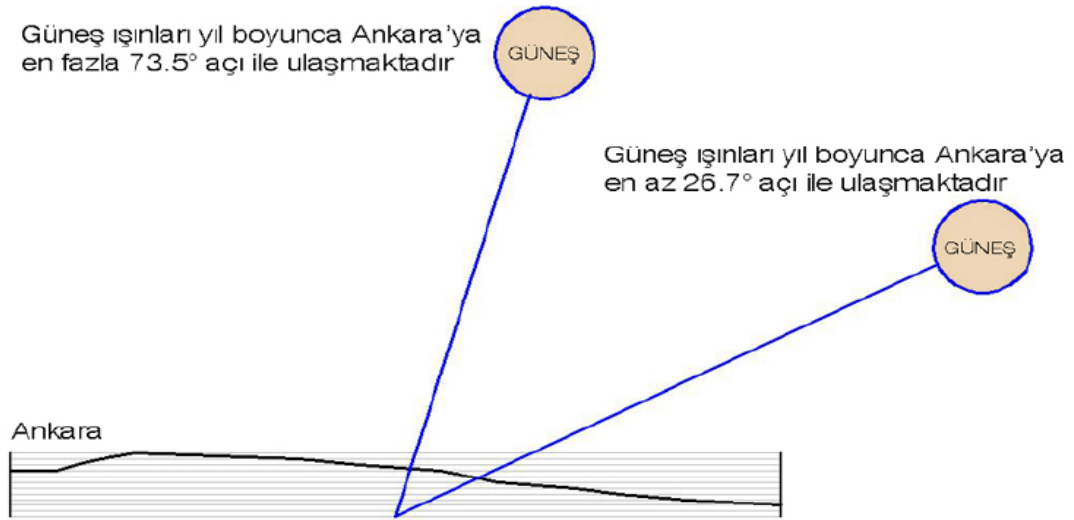
3.1.1. Ankara güneş ışınlımı (Radyasyonu)

İç Anadolu bölgesinde yer alan Ankara ilinde güneşlenme mevsimsel bakımdan incelendiğinde, kış için 21 Ocak, ilkbahar için 21 Nisan, yaz için 21 Temmuz ve sonbahar için 21 Ekim tarihleri kaynak veri olarak alındığında, Ankara için dört mevsim güneşin konumu Şekil 3.4'teki gibi olmaktadır.



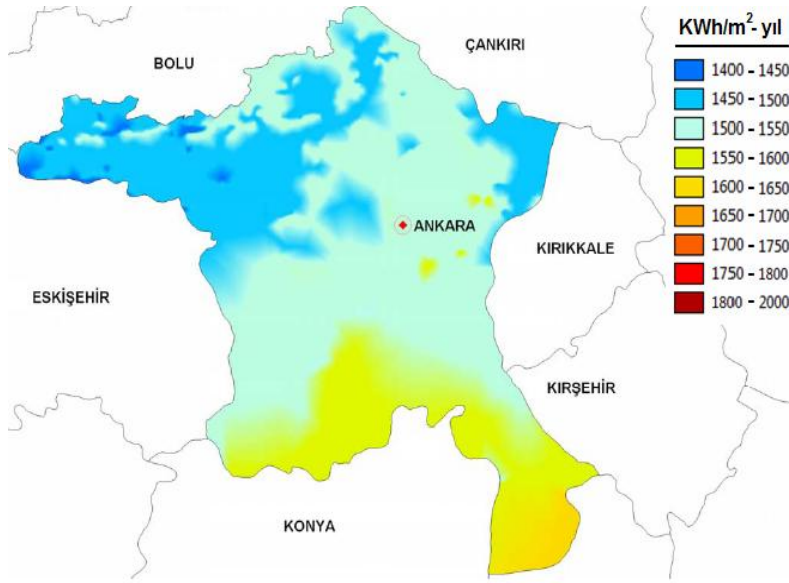
Şekil 3.4. Ankara için dört mevsim güneşin konumu [104]

Güneşin Ankara'ya geliş açısı hesaplanırken, güneşin kente göre en dik olduğu konumdaki değeri (180°) dikkate alındığında Ankara'ya güneş en düşük açıda kış aylarında 26.7° ile geldiği hesaplanmıştır (Şekil 3.5). Bu tarihte güneş yaklaşık 07:06'da doğup, 16:26'da batmakta ve en etkili olduğu dik konuma 11:47'de gelmektedir. Bu tarihte güneşlenme süresi 9:20 (sa:dak) olmaktadır. Ankara'ya güneşin en dik açıyla geldiği mevsim yaz ayı olmakta ve 21 Haziran tarihinde güneş 73.5° ile en dik konuma gelmektedir. Bu tarihte 04:20'de doğan güneş 19:20'de batarak 15 saat Ankara'yı ısıtmaktadır. En dik olduğu konum ise 11:51'dir. İlkbaharda yaklaşık 61.9° ile gelen güneş, sonbahar mevsiminde ise yaklaşık 39.5° derece ile konumlanmaktadır [104].

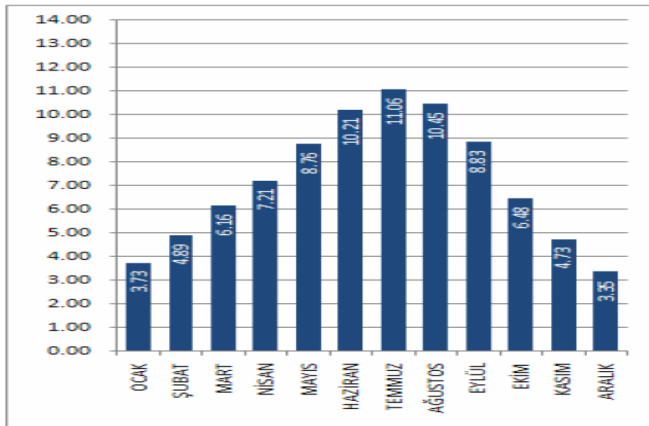


Şekil 3.5. Güneşin yıl boyu Ankara ile yaptığı en az ve en çok açıları [104]

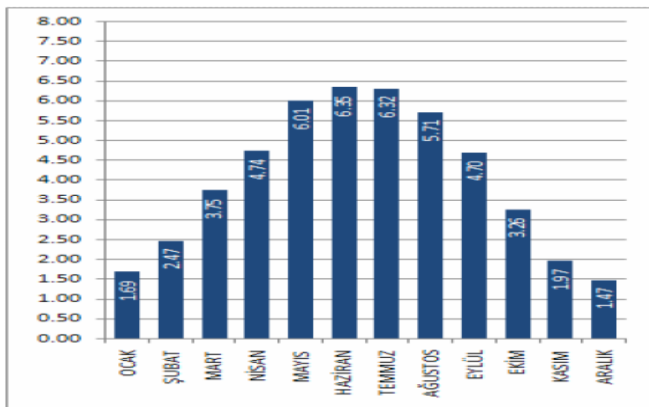
Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilen Ankara'ya ait güneş radyasyonu değerleri ve güneşlenme sürelerine bakıldığında verilen değerler bakımından nispeten iyi konumdadır. Bu konumu itibariyle de bazı illere göre güneş enerjisinden daha fazla faydalanabilir durumdadır. Güneş radyasyon değerleri il içerisinde ve aylara göre farklılaşır güney ve doğuya gidildikçe ve Temmuz-Ağustos aylarında artış gözlenir.



Şekil 3.6. Ankara global (küresel) güneş radyasyon dağılımı [103]



Şekil 3.7. Ankara ili güneşlenme süresi değerleri (saat) [103]



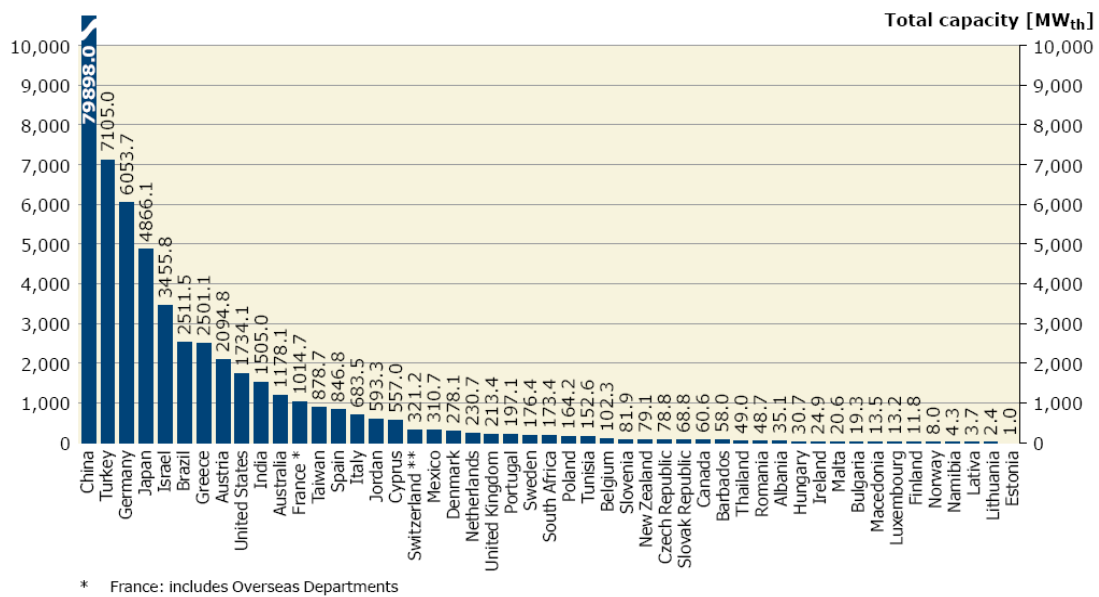
Şekil 3.8. Ankara ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [103]

3.2. Güneş Enerjisi Sistemleri

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneş enerjisi (GE) sistemleri dünyada yaygın olarak kullanılmakta ancak Türkiye’de en yaygın kullanımı sıcak su hazırlama sistemleridir. Bu sistemler, özellikle güney bölgelerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Türkiye, GE sistemlerini kullanan ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. 2001 yılı için Türkiye’de kurulu güneş kolektörü alanı 7.5 milyon m², 2007 yılında 10 milyon m² ve 2009 yılında ise 12 milyon m² civarındadır. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjisinin yıllara göre birincil enerji tüketimine katkısı Çizelge 3.3’de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimine katkısı [103]

Yıl	Güneş Enerjisi Üretimi (bin TEP)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2004	375
2007	420



* France: includes Overseas Departments

Şekil 3.9. 2007 sonunda işletmede olan klasik ve vakum tüplü kolektörlerinin toplam kapasitesi [106]

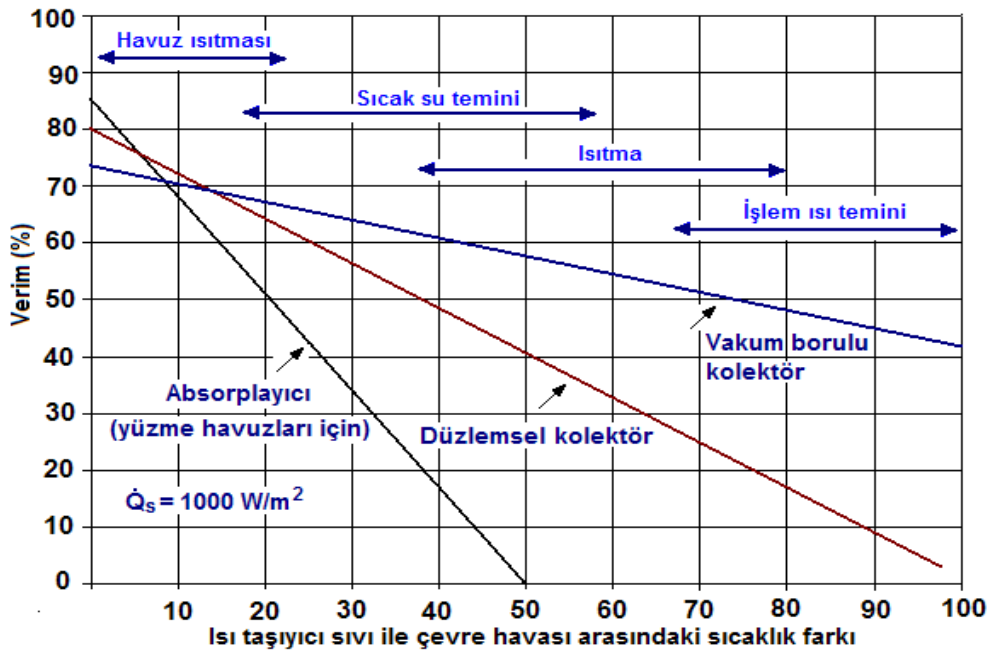
Türkiye’de yaklaşık 12 milyon m² kurulu düzlemsel güneş kolektörü mevcut olup her yıl yaklaşık 1 milyon m² kolektör üretilmektedir [105]. Bu üretimin bir miktarının dış satımı yapılmaktadır. 100 m²’lik kolektör yüzeyinin 70 kW ısıtma gücüne eşdeğer olduğu ve % 40 verimle 28 kW güç elde edilebileceği varsayılırsa; kolektör yüzeyinin ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir. 2007 sonunda işletmede olan klasik ve vakum tüplü kolektörlerinin toplam kapasitesindeki Türkiye’nin yeri Şekil 3.9’da görülmektedir. Türkiye’de 2008 sonu itibariyle 18.4 milyon konuttan 4 milyon konut çeşitli şekillerde güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Türkiye’de enerji maliyetine 600 milyon dolar katkısı olduğu, sektörde 100’den fazla üretici firma bulunduğu ve 2 000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir.

Dünya çapında 2007 yılı sonunda operasyonda olan 209.7 milyon m²’ye karşılık gelen 146.8 GWth güneş enerjisi kolektörü kapasitesi mevcuttur. Bu kapasitenin 120.5 GWth’ini düz plaka ve vakum tüplü kolektörler, 25.1 GWth’ini camsız plastik kolektörler ve 1.2 GWth’ini ise hava toplayıcıları oluşturmaktadır. 2007 yılı sonunda dünyada işletmede olan düz kolektör ve vakumlu kolektör toplam kapasitesi içerisinde; Çin (79.9 GWth), Türkiye (7.1 GWth), Almanya (6.1 GWth), Japonya (4.9 GWth) ve İsrail (3.5 GWth) lider ülkelerdir. Bu rakamlardan da görüleceği gibi Çin, Dünya düz kolektör ve vakum tüplü pazarının % 66’sını temsil etmesiyle en büyük pazar payına sahiptir [107].

Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su hazırlayan sistemler; sıcak su hazırlamada, elektrik üretiminde, mekân ısıtmasında ve soğutmasında, buhar elde edilmesinde, havuz ısıtmasında, ürün kurutmasında, seralarda, yemek pişirmede ve benzeri pek çok uygulamada kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sisteminin en önemli elemanı kolektördür. Güneş kolektörü; güneş enerjisini toplayarak bir akışkana aktarmak suretiyle sıcak su üreten bir tür ısı eşanjörüdür. Kolektörlerle toplanan güneş enerjisinin miktarı; eğim açısına, günün ve yılın zamanlarına, kolektörün konulduğu yere, yöne, bölgeye bağlı olarak değişir. Uygun şartlarda kolektör tarafından emilen güneş ışıını en çok yaklaşık 1 000 W/m² kadardır. Ancak, bunun yaklaşık 750 W/m²’si kullanılabilir ısı enerjisine

dönüştürülebilmektedir. GE sistemleri kolektör tipine göre düzlemsel, vakumlu ve parabolik olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Türkiye’de kullanılan güneş kolektörlerinin % 95’ini düzlemsel güneş kolektörleri oluşturmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörlerinde elde edilebilecek sıcak su sıcaklığı 70-90 °C civarındadır. Son yıllarda yaygınlaşan vakum tüplü güneş kolektörlerinde yaklaşık olarak su sıcaklığı 100-120 °C civarına ulaşmaktadır. Bu nedenle; ısıtma ve kullanım sıcak suyunun hazırlandığı merkezi sistemleri ve soğurmalı (absorbsiyonlu) soğutma sistemleri gibi daha geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Parabolik güneş kolektörleri ise yüksek sıcaklık (200-300 °C) üretebildiklerinden endüstride kullanılmaktadır.



Şekil 3.10. Değişik güneş kolektörlerinin uygulama aralıkları ve verimleri [108]

Düzlemsel güneş kolektörleri yıllık yaklaşık 400 kWh/m²'lik enerji üretebilmektedirler. Kolektör çıkışından elde edilen enerji, absorplama yüzeyine bağlı olarak yıllık yaklaşık 500 kWh/m²'a ulaşabilir. Bir kolektörün serbest sıcaklığı (boş sıcaklığı) 200 °C'nin üzerine çıkabilir. Bu nedenle güneş kolektörünün içinde bu sıcaklığa dayanıklı ve ısı kayıplarını en aza düşürecek malzemeler kullanılmalıdır. Vakum tüplü güneş kolektörleri yıllık yaklaşık 500 kWh/m²'lik enerji üretebilmektedirler. Havalı güneş kolektörleri ise yıllık yaklaşık 100-150 kWh/m²'lik enerji üretebilmektedirler. Değişik güneş kolektörlerinin uygulama aralıkları ve

verimleri Şekil 3.10’da görülebilir.

Güneş enerjili kullanma sıcak suyu hazırlama sistemleri dolaşım şekline göre tabii ya da cebri, devre şekline göre ise dolaylı ya da doğrudan olarak gruplandırılabilirler. İstenilen kullanma sıcak su miktarı fazla ise ya da sistemde donma problemi varsa sistem dolaylı yapılır. Bu sistemdeki dolaşım soğuk ve sıcak su arasındaki yoğunluk farkından oluşmakta olup, tabii dolaşımın elde edilebilmesi için sıcak su deposunun alt kısmı ile kolektör üst seviyesi arasındaki mesafe en az 35-40 cm olmalıdır [109].

Menlik, (1999) tarafından yapılan tabii dolaşımlı doğrudan ve dolaylı iki ayrı sistem üzerinde ısı verim açısından performans deneylerinden, doğrudan sistemin ısı veriminin dolaylı sisteme göre % 7 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır [110]. Aktaş ve ark. (2005) tarafından yapılan deneyler sonucunda tabii dolaşımlı dolaylı sistemin ortalama verimi % 54, ortalama ısı taşınım katsayısı $1\,261.37\text{ W/m}^2\text{K}$ ve ortalama Nusselt sayısı ise 75.97 olarak hesaplanmıştır. Isıl verim değerlerinin literatürdeki diğer sistemler ile karşılaştırıldığında, yaklaşık % 10 daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebepleri sistemin depo, kolektör ve bağlantı elemanlarının çok iyi yalıtılması ve etken bir ısı değiştiricisi (korozyon olmayan, uygun hacimde, uygun kalınlık ve malzeme) kullanılması olduğu sonucuna varılmıştır [111].

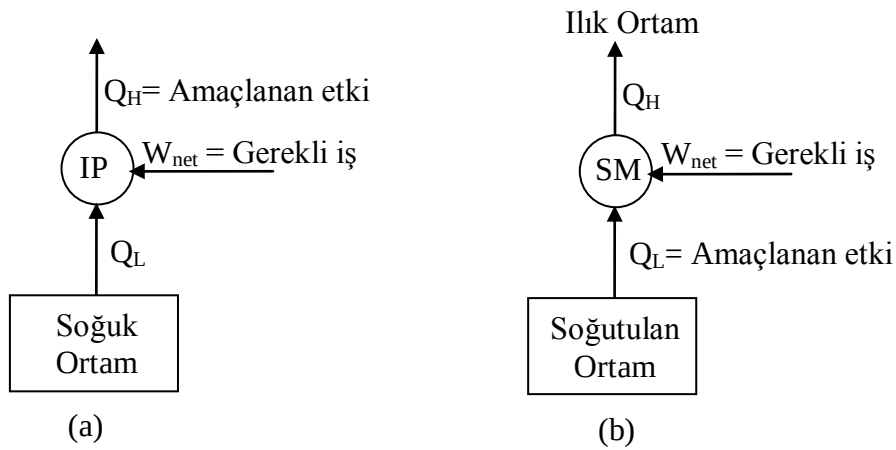
Bayram (2000), kolektör ve ısı ileticileri birbirinden farklı dolaylı ve doğrudan dolaşımli olan altı adet sıcak su hazırlama sistemlerinin ısı performanslarının karşılaştırmasını yaptığı deneyler sonucunda, doğrudan dolaşımli sistemlerin dolaylı dolaşımli sistemlere göre % 12 daha iyi verime sahip olduğunu saptamıştır. Ayrıca depo tip ısı soğurmalı sistemin, diğer sistemlerin ortalama verim sonuçlarına göre de yaklaşık % 17 oranında daha iyi verime sahip olduğunu saptamıştır [112].

Bu bilgiler ışığında, doğrudan dolaşımli sistemlerin diğer sistemlere göre bazı üstünlüklerinin olduğu söylenebilir. Buna karşın istenilen kullanma sıcak su miktarının fazla olması ya da sistemdeki suyun donma gibi bir riskinin olması halinde ise sistemin dolaylı yapılabileceği söylenebilir.

4. ISI POMPASI

4.1. Isı Pompası Genel Tanımı

Bir soğutma devresinde “soğutkan” adı verilen soğutucu akışkanın bir yerde soğutma sağlayarak bir takım durum değişikliklerinden sonra, yeniden başlangıç konumuna gelmesine “soğutma çevrimi” denir. Çevrim sırasında bir miktar soğutkan yoğuşturuluyor ve buharlaştırılıyorsa buna; “buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi” denir. Bu tip soğutma çevriminde sistemde kompresör, kondenser (yoğuşturucu), genişletici (kısmı vanası veya kılcal boru) ve evaporatör (buharlaştırıcı) bulunur [101].



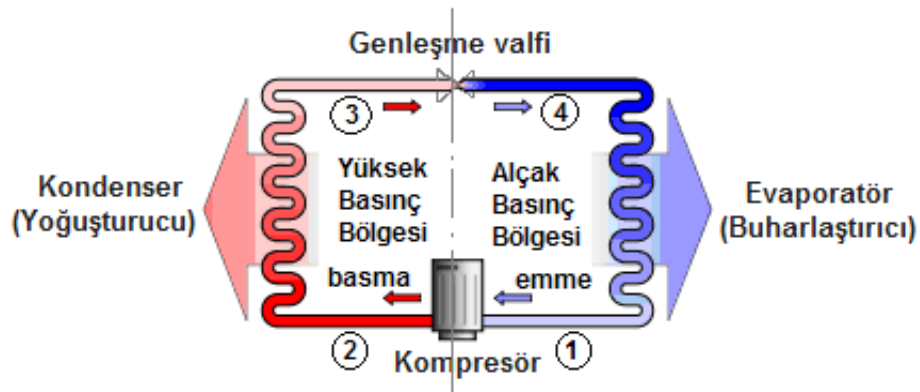
Şekil 4.1. Isı pompası ve soğutma makinesi çevrimleri şeması

Şemada Q_L , soğutulan ortamdaki çekilen ısıyı; Q_H , daha sıcak ortama verilen ısıyı; T_L , soğutulan ortamın sıcaklığını; T_H , ısı verilen ortamın sıcaklığını ve W_{net} , çevrimde dolaşan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir.

Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrimi gerçekleştirirler, fakat kullanım amaçları farklıdır. Isı pompası basit olarak ısı enerjisini düşük sıcaklık derecesine (düşük enerji seviyesine) sahip bir ortamdaki daha yüksek sıcaklık derecesine (yüksek enerji seviyesine) sahip diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir

[113]. Isı pompalarının en önemli özelliği, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşınması ile hem ısıtma hem de soğutma yapmasıdır. İyi düzenlenmiş bir ısı pompası sistemi, pompanın tükettiği her bir birim elektrik için, üç birim ısıtma ve iki birim soğutma ısıyı sağlamaktadır. Soğutma makinesinin amacı ise; düşük sıcaklıktaki ortamı, ortamdaki ısı çekerek çevre sıcaklığının altında tutmaktır. Isı pompası (IP) ve soğutma makinesi (SM) çevrimlerinin genel çizimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Termodinamiğin II. yasasına göre; ısı yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki bir ortama doğal olarak akar ancak düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı aktarmak için mekanik iş gereklidir. Bunu yapmak için kullanılan sistem ısı pompası sistemidir. Isı pompası ile ilgili ilk araştırma Nicholas Carnot (1824) tarafından yapılmıştır. 1850 yılında Kelvin, soğutma cihazlarının ısıtma amacıyla da kullanılabileceğini öne sürmüştür. 1938 yılında ise Zürih’te ilk ısı pompası uygulaması yapılmıştır. Isı pompalarının ısıtma ve kurutma işlemlerinde kullanıldığında, enerji verimliliği açısından iyi cihazlar oldukları bilinmektedir. Kurutma uygulamalarında, yoğunlaşma gizli ısı ile kondenserde duyulur ısıtma yapması ısı pompalarını etkili kılmaktadır. Günümüzde değerli ürünlerin kurutulmasında ısı pompalarının çok iyi kontrol edilebilmeleri, onları uygulamada daha önemli hale getirmiştir.



Şekil 4.2. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Rakamlarla gösterilen bölgelerde gerçekleşen işlemler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

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

Termodinamiğin I. kanunu enerjinin korunumu ilkesine göre; kondenserden atılan ısıya paralel olarak evaporatörden çekilen ısı da artacaktır. Bu ifadeye göre termodinamiğin I. kanunu ısı pompasının enerji eşitliği olarak evaporatörden sisteme alınan enerji ısı enerjisi ($\dot{Q}_{Evap}$) ile kompresörde harcanan enerji ($\dot{Q}_{Komp}$) toplamı kondenserden kullanım havasına aktarılan ısı enerjisine ($\dot{Q}_{Kond}$) eşittir. Bu nedenle kondenserden ihtiyaç havasına aktarılan ısı;

$$\dot{Q}_{Kond} = \dot{Q}_{Evap} + \dot{Q}_{Komp} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir.

Isı pompası sistemlerinde, sistemde kondenserdeki ısı atımını artıracak herhangi bir değişiklik evaporatörde de ısı çekimini artırır ve bunun tersi de mümkündür. Evaporatördeki ısı çekiminin artması, kondenserdeki ısı atımının artmasını da sağlayacaktır.

Isı pompalarında çevre havası, toprak, güneş enerjisi, jeotermal enerji, deniz, nehir, göl suyu ve yeraltı suları, artık sıvılar, artık gazlar ve artık ısılar kaynak olarak kullanılmakla birlikte ısı pompaları, kullandıkları ısı kaynağına göre hava ve toprak-su kaynaklı ısı pompaları olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Hava kaynaklı ısı pompalarında ısı kaynağı olarak ısıtılmak veya soğutulmak istenen mahal havası ve dış hava kullanılmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompalarının COP

değeri, dış hava koşullarına, mevsimlere, hatta saatlere göre oldukça değişkenlik göstermesi sebebiyle toprak kaynaklı ısı pompalarından % 10–30 daha düşüktür. Kaynak olarak çevre havasını kullanan sistemlerde en büyük sorun, özellikle nemli yörelerde sıcaklığın 2-5 °C'nin altına düşmesiyle ortaya çıkan karlanmadır. Diğer bir dezavantajı da hava kirliliğinden etkilenmesidir.

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık yarısı dünyanın kütesinde tutulmaktadır. Toprak-su kaynaklı ısı pompalarının amacı, dünyanın kütesinde bulunan bu hazır enerji kaynağından faydalanmaktır. Toprak, ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak, tüm yıl boyunca yer yüzeyinin 1.5-2 m altında oldukça az değişen, yaklaşık olarak sabit sıcaklıklı sayılabilecek ve dolayısıyla daha kararlı bir enerji kaynağıdır. Her ülke, her şehir, her toprak tipine göre farklı çalışma sıcaklıkları bulunur. Isı pompalarının etkinlik katsayıları, ısı kaynağına ve kullanılan sisteme bağlı olarak genellikle 1.5 ile 4 arasındadır. Hız kontrollü elektrik motorları kullanan yeni kuşak ısı pompalarının, eskilerine oranla en az iki kat daha etkin olduğu bildirilmektedir. Toprak-su kaynaklı ısı pompaları kendi içinde üç sınıfa ayrılır: toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP), yüzey suyu ısı pompaları, yeraltı suyu ısı pompaları [114]. TKIP sisteminin COP değeri kararlı bir yapıdadır ve dış hava sıcaklığından pek etkilenmez. Dolayısıyla belirli sıcaklık aralıklarında çalışan pasif veya aktif ısıtma-soğutma proseslerinde kullanımını tercih etmek önemli avantajlar sağlar [113]. Fakat ısı değiştiricisinin toprağa gömülmesi nedeniyle korozyonu önlemek için iyi malzeme kullanımını gerektirir ki bu da ilk yatırım masrafını arttırır. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası sistemleri, yüksek verimli bir kaynaktır ancak ilk yatırım masrafı yüksektir buna karşın bakım masrafı az ve temiz enerji kaynağıdır.

Jeotermal enerji, akışkan sıcaklığına bağlı olarak düşük entalpili (<70°C), orta entalpili (70-150°C) ve yüksek entalpili (>150°C) olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Ancak Türkiye için de yeni bir teknoloji olan ve düşük sıcaklıktaki kaynakların kullanılabildiği jeotermal kaynaklı ısı pompaları oldukça verimlidir.

Yeraltı veya kuyu sularından yararlanan su kaynaklı sistemler, genellikle 80 m'ye

kadar inebilen derinliklerde bulunan 5-18 °C sıcaklık aralığındaki suları kullanmaktadır. Kaynak olarak suyun kullanılması halinde sularda kirlilik problemleriyle karşılaşmakta ve coğrafi şartlardan da çabuk etkilenmektedir. Artık gaz ve ısı kaynaklı ısı pompaları, havalandırmadan aldığı ısıyı hacim ve su ısıtmak için kullanmaktadır.

4.1.1. Isı pompalarının olumlu ve olumsuz yönleri

Isı pompası geleneksel ısıtma ve soğutma yöntemlerine alternatif oluşturmanın dışında farklı kaynak türlerine kıyasla bazı olumlu ve olumsuz yönleri sahiptir [113];

Olumlu yönleri;

- a. Yüksek etkinlik ve kararlı kapasite,
- b. Konfor ve hava kalitesi, çevre dostu olması,
- c. Basit kontroller ve ekipman, düşük bakım gideri,
- d. Hiçbir ilave ısıtma ihtiyacı gerektirmemesi, düşük giderli su ısıtması,
- e. Hiçbir dış ünite ekipmanı gerektirmemesi, paket şeklinde soğutucu ekipmanı olması,
- f. Tasarım esnekliği, düşük talep karakteristikleri,
- g. Mükemmel ömür gideri:
 - 1. Enerji ve talep giderlerinin düşük olması,
 - 2. Bakım giderinin düşüklüğü,
 - 3. Ekipman ömrünün uzatılmasıdır.

Olumsuz Yönleri;

- a. İlk yatırım giderinin daha yüksek olması,
- b. Performansın, toprak ısı değiştiricisine ve ekipmana bağlı olması,
- c. Nitelikli (ehliyetli) tasarımcıların sayısının sınırlı olması,
- d. Nitelikli müteahhitlerin sayısının sınırlı olmasıdır.

Isı pompalarının kurulum maliyetleri, diğer ısıtma sistemlerine göre genelde daha yüksektir. Buna karşın uzun vadede kullanılması durumunda, diğer sistemlere oranla

daha avantajlı olmakta, bu sebeplerden dolayı yüksek yatırım maliyetine rağmen ısı pompalarının kullanımı giderek artmaktadır.

Henderson ve ark. (2000), yaptıkları bir karşılaştırmada şu sonuçları bulmuşlardır [115]. Bir sıcak su kazanı için; % 90 verimle 100 kW enerji yükü için 111 kW eşdeğer yakıt kullanımı gerektir.

Isı pompasında ise; 100 kW, COP 4.0 için, 25 kW elektrik gücü kullanımı gerektirir. Buna karşın elektrik üretimi için kullanılan yakıt da dikkate alınırsa; 25 kW, % 35 verimle 71 kW fosil yakıt kullanımını gerektirir.

Isı pompasının COP değeri ne kadar yüksek olursa o kadar daha fazla avantaj sağlar. Yukarıdaki örneğe elektrik ve çevre açısından baktığınızda dahi, pek çok ülkede elektrik üretiminin halen fosil yakıtlarla yapıldığı ve bunların oluşturduğu çevresel etkiler düşünüldüğünde, ısı pompasının avantajlı olduğu açıkça görülmektedir.

4.3. Isı Pompalarında Verimi Etkileyen Faktörler

Isı pompası sisteminde, büyük motorlar kullanıldığında verim artmakta olup, sistemde buz çözümü (defrost) için ne kadar az enerji ve süre harcanırsa verim o kadar artmaktadır. Isı pompalarında verimi etkileyen faktörleri [101];

1. Seçilen kompresörün ve motorun verimi,
2. Evaporatör ve kondenser tasarımı,
3. Defrost sisteminin verimliliği

şeklinde sıralamak mümkündür.

4.4. Isı Pompası Sisteminin Performans Analizi

Isı pompaları dinamik sistemlerdir. Bir ısı pompasının matematik modelini oluşturmak için öncelikle sistemi oluşturan her bir elemanı temsil eden denklemler

yazılır. Sistemin giriş değerlerindeki bir değişim anında sistem çıkış değerlerinin de değişmesine neden olur. Bir ekipmanın başlangıç şartı bir diğerinin sınır şartını teşkil ettiğinden ortaya çıkan denklem sistemi eş zamanlı çözülmek zorundadır [116].

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının ısıl değerlendirmesi, etkinlik katsayısı (COP) ile yapılır. Etkinlik katsayısı;

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde Edilmek İstenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Soğutma Etkisi}}{\dot{I}ş Girişi} = \frac{Q_L}{W_{net}} \quad (4.2)$$

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde Edilmek İstenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Isı Etkisi}}{\dot{I}ş Girişi} = \frac{Q_H}{W_{net}} \quad (4.3)$$

olarak ifade edilir. Isı pompasının etkinlik katsayısı ve soğutma makinesinin etkinlik katsayısı karşılaştırılırsa;

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1 \quad (4.4)$$

elde edilir. Bu bağıntı ısı pompasının etkinlik katsayısının birden büyük olduğunu göstermektedir. Çünkü COP_{SM} her zaman sıfırdan büyüktür. Başka bir deyişle, bir ısı pompası en kötü durumda bir elektrikli ısıtıcının etkinliğinde olacak, tükettiği elektrik kadar ısıl enerji sağlayacaktır. Bununla birlikte gerçek uygulamada Q_H 'ın bir bölümü borulardan ve kanallardan çevreye geçebilir ve dış hava sıcaklığı çok düşük olduğu zamanlarda ısı pompasının etkinlik katsayısı birin altına düşebilir. Bu durum gerçekleştiğinde ısı pompası, elektrikli ısıtıcı gibi çalıştırılır [117].

Isı pompasından ortama kazandırılan ısı, kompresörde harcanan enerjinin en az iki katıdır (ısıtma tesir katsayısı). Bu oran, çalışma sıcaklıklarına ve çalışma sıvısına bağlı olarak değişir ve teorik olarak 11-12 kata kadar çıkabilir. Isıtma tesir katsayısı, evaporatördeki buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak artar. Kondenserde yoğunlaşma sıcaklığının artması ise ısıtma tesir katsayısını azaltır [118].

5. GÜNEŞ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMİ

Güneş enerjisi, tek başına ısı ihtiyacının ancak % 30-50'sini karşılayabilmektedir. Bu nedenle bir yardımcı enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Güneş enerjisinden yararlanma yüzdesini arttırarak enerji tasarrufu imkânlarını zorlayan ısıtma sistemlerinden birisi IP sistemidir. Isı pompaları, mekanik enerjiyi ısı enerjisine çeviren sistemlerdir ve elektrik ile ısıtmaya nazaran 3-6 misli daha iyi sonuç verirler. Aynı tesisatla hem ısıtma hem soğutma yapabilmeleri, çevreye duyarlı olmaları ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmeleri gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda tercih edilen sistemlerdir. Ayrıca, COP (ısıtma kapasitesi/elektrik girdisi) diğer ısıtma sistemlerinden büyüktür. IP sisteminde buharlaşma sıcaklığının başka bir kaynak yardımıyla yükseltilmesi gerekir ki, bu iş için en uygun kaynak güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi ve hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin tekil olarak kullanılması yerine birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği ve sistem performans katsayısının da daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin kullanılması ile sistem performans katsayısının yüksek oluşundan dolayı ısıtma ve kurutmada iyi sonuçlar vermektedir.

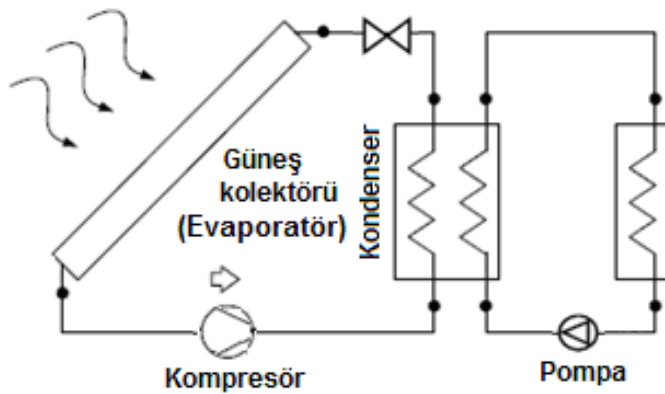
Isı pompalarının güneş enerjisiyle birlikte ısı üretmek amacıyla kullanılan sistemlere güneş destekli ısı pompası su ısıtıcısı (SAHP-solar assisted heat pump water heater) adı verilmektedir. Güneş destekli ısı pompası sistemleri (GDIPs), tipik GDIPs ve direkt genleşmeli (DGGDIPs) olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilir.

DGGDIP sistemler (DX-SAHP-direct expansion solar assisted heat pump water heater); ısı pompalarının buharlaştırıcısı, güneş enerjisini doğrudan alacak şekilde güneş kolektörü içerisine yerleştirilir. Bu tür sistemler, Rankine Soğutma Çevrimi'ne göre çalışmaktadır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcı içinden geçerken, buharlaştırıcı üzerine gelen güneş enerjisinden aldığı ısıyla buharlaşır. Bu şekildeki güneş enerjisi kaynaklı ısı pompaları açık günlerde kullanılabilir. Ancak DGGDIP sistemleri, GDIP sistemlere göre düşük sistem maliyeti, daha uzun kolektör ömrü ve yüksek termodinamik performans gibi birçok avantajı nedeniyle çalışmalarda daha çok öne

çıkılmaktadır.

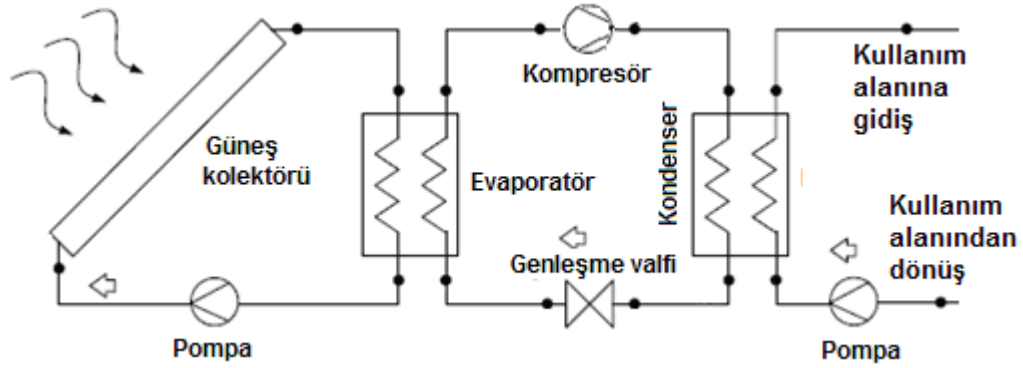
DGGDIP su ısıtıcılarında, soğutucu akışkanın güneş ışınımı ile buharlaşması nedeniyle ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta çalıştığından ısı pompası verimliliği daha yüksek olur. Güneş enerjisi bakımından düşünülürse, oldukça düşük sıcaklıklarda buharlaşan soğutucu akışkan kolektörde dolaştığından tipik GDIP sistemlerine göre daha yüksek kolektör verimliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, GDIP su ısıtıcılarının geleneksel hava kaynaklı ısı pompalı su ısıtıcıları ve geleneksel güneş enerjili sistemlere göre daha yüksek performansta olacaktır [55].

Şekil 5.1’de DGGDIP sisteminin basit şematik gösterimi verilmiştir. Sistem, buharlaştırıcı olarak kullanılan güneş kolektörü, sıcak su tankı içerisine batırılmış yoğuşturucu, genleşme valfi ve kompresörden oluşan ısı pompası sistemi ve farklı amaçlar için kullanılmak üzere kapalı sıcak su çevrim tertibatından oluşmuştur.

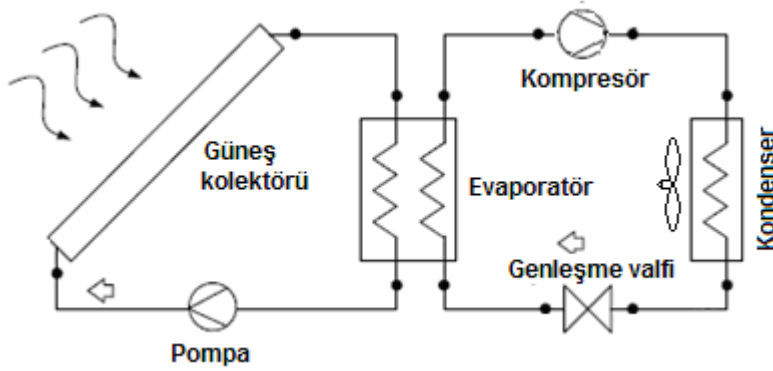


Şekil 5.1. Su ısıtma amaçlı basit bir DGGDIP sistemi

GDIP sistemler; güneş enerjisi yardımıyla toplayıcılarda elde edilen sıcak su bir tankta depolanıp ısı kaynağı olarak kullanılabilen veya toplayıcılardan geçirilerek ısıtılan sıcak havanın ısı kaynağı olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemler genellikle güneş kolektörleri ünitesi, enerji depolama ünitesi ve ısı pompası ünitesi olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Su ısıtma amaçlı basit bir GDIP sistemi



Şekil 5.3. Hava ısıtma amaçlı basit bir GDIP sistemi

Isı pompalı güneş enerjili sistemler değişik çalışma modeline sahiptirler. Bu modellerde akışkan sistemde, değişik kombinasyonlarla izlediği yol ile farklılaşmaktadır. Çalışma modelleri değiştirilebilir ancak yapılan değişiklikler ile, sistemi ve ayar mekanizmalarını daha karmaşık bir hale getirmek mümkündür. Sistem karmaşıktıkça enerji tasarrufu sağlansa bile yatırım maliyeti önemli bir artış gösterir.

Sistem genel olarak 4 temel modda çalışır.

1. Sadece güneş enerjisi sisteminin çalıştığı mod
2. Güneş enerjisinin ısı pompasını destekleyerek sistemin çalıştığı mod
3. Sadece ısı pompası sisteminin çalıştığı mod
4. Sistemin ısı ihtiyacı olmadığı yani çalışmadığı mod

6. OTOMATİK KONTROL

Otomatik kontrol; basit veya karmaşık sistemlerin işlemlerini düzenlemede sıklıkla kullanılan bir disiplindir. Modern bir kontrol sistemi, hem yapısal hem de fonksiyonel bütünleşmeye imkân verecek şekilde modüler ve esnek yapıda olmalıdır. Otomatik kontrollü sistemler insan faktörünü ya çok az ya da hiç kullanmadan önceden belirlenen şartları sağlayabilirler. Bir işin insan ile makine arasında paylaşılması olan otomasyon; eğer insan gücü yoğunsa yarı otomasyon, makine gücü yoğunsa da tam otomasyon olarak adlandırılır. Endüstride üretimi; standart, güvenli, hızlı ve verimli kılmak için otomasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

6.1. Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (SCADA)

SCADA (Merkezi denetim ve veri toplama sistemi-supervisory control and data acquisition) farklı noktalardaki cihazların bir merkezden bilgisayar aracılığıyla önceden tasarlanmış bir mantık içerisinde işletilmesi, denetlenmesi, izlenmesi ve geçmişe dönük verilerin saklanması işlemlerini gerçekleştiren sistemlerdir. SCADA kontrol sistemi ile bir tesise ait tüm ekipmanların ve tüm birimlerin otomatik kontrolü ve gözlenmesi sağlanabilir. SCADA sistemleri; endüstride, telekomünikasyonda, enerji santrallerinde ve bilimsel deneylerin kontrolünde kullanılmaktadırlar. Bu sistemler; RTU (Remote Terminal Unit), DCS (Distributed Control System) ve PLC gibi prosesi kontrol eden ve sahadan gelen verileri aktaran cihazlara, sahadan gelen bilgileri PLC'ler üzerinden SCADA'ya aktaran haberleşme sistemine, merkezi veri sunucusu ve istemci bilgisayara ve bir ara yüz programına ihtiyaç duyarlar. İleri düzeyde kontrol ve gözetleme imkânı sunan SCADA sisteminde operatörler (kullanıcılar) için en önemli görsel öğe ara yüz programıdır. Ara yüz programı, PLC'den gelen bilgileri kullanıcılara gösteren bir yazılım programıdır. Bu program HMI (Human Machine Interface) olarak da adlandırılır.

6.1.1. PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrol

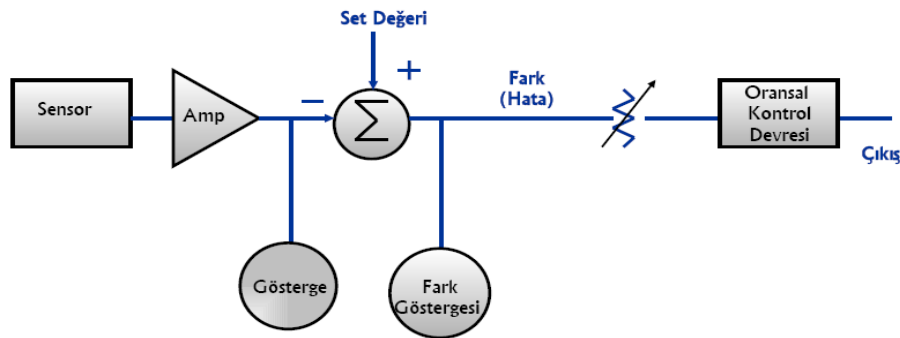
Otomatik kontrollü olmayan (manuel kontrollü) herhangi bir cihazın kontrolünde

kullanıcı veya kullanıcılara ihtiyaç duyulması, hassasiyetin istenilen seviyede gerçekleştirilememesi gibi nedenlerden dolayı otomatik kontrol teknolojilerinden yararlanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Isıtma, soğutma-iklimlendirme sistemlerinde açık kapalı, oransal, integral ve türev (PID) kontrol en yaygın kullanılan metottur. Ancak kullanılacak olan sistem için uygun algoritmanın seçilmesi gerekir.

PID kontrol sistemi kendi arasında, oransal (P) kontrol, oransal ve integral (PI) kontrol ve oransal türevsel (PD) kontrol olarak üç farklı şekilde uygulanmaktadır.

Oransal (P) kontrol

Oransal kontrol cihazı prosesin talep ettiği enerjiyi sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Oransal kontrolda; nihai kontrol elemanı, kontrol edilen değişkenin değişim miktarına bağlı olarak konumlanır. Kontrol edilen değişken ile nihai kontrol elemanı arasında doğrusal bir bağlantı kurularak gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge oluşturulur. Nihai kontrol elemanının hareket boyunu değiştirerek kullanılan enerjinin % 0'dan % 100'e kadar ayarlanabildiği ve oransal kontrol yapılabilen değişkendeki (sıcaklık, basınç vb.) sapma miktarına oransal band denir. Bu band, kontrol cihazının kontrol skalası değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır [119]. Şekil 6.1'de Oransal (P) kontrol şeması görülmektedir.



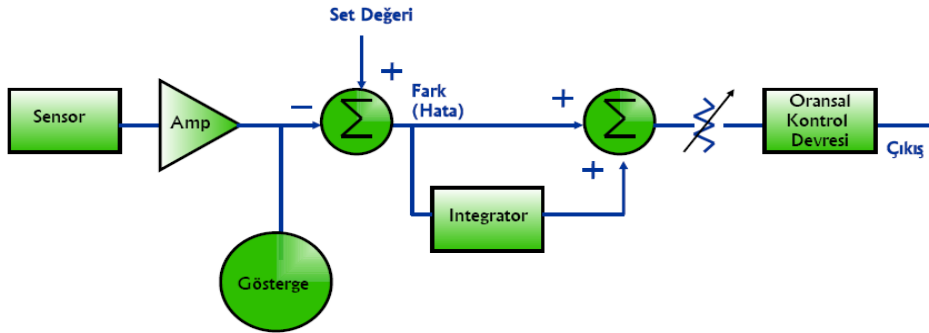
Şekil 6.1. Oransal (P) kontrol

Yalnızca oransal kontrol ile bir işlemin ayar noktasına oturtulması mümkün değildir. Bundan dolayı elle ayarlamaya (manuel reset) veya otomatik ayarlamaya (integral

kontrol) ihtiyaç vardır [101].

Oransal ve integral (PI) kontrol

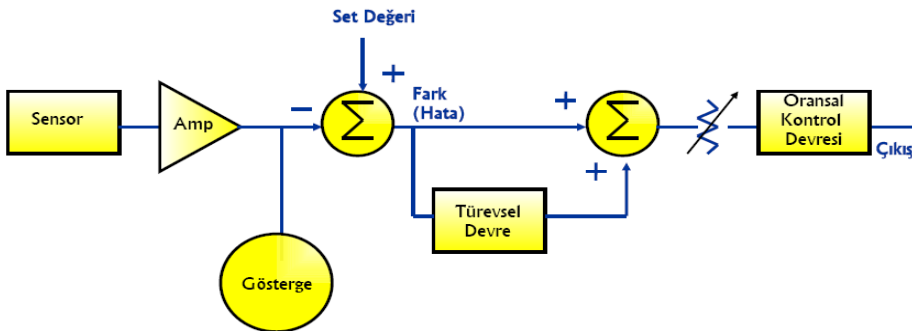
PI kontrolde, integral terimi hatanın integralini alır ve P kontrolünün doğal sonucu olan hatayı ortadan kaldırır. Oransal integral kontrol formunun başlıca sakıncası, başlangıçta sıcaklık değerinin set noktasının bir hayli üstüne çıkması ve bir miktar salınım yaptıktan sonra set değerine oturmasıdır. Şekil 6.2’de oransal ve integral kontrol şeması görülmektedir [101].



Şekil 6.2. Oransal ve integral (PI) kontrol

Oransal ve türevsel (PD) kontrol

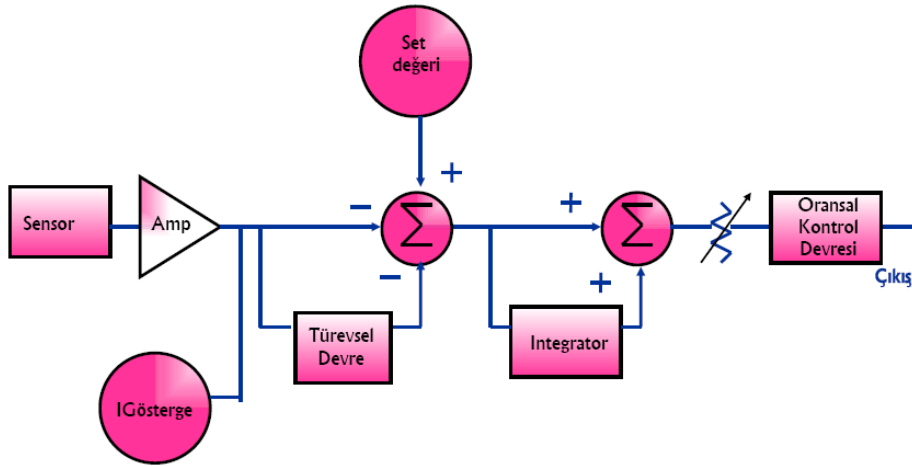
Türev alma etkisi daha dar bir oransal bant kullanmayı mümkün kılar. Oransal türevsel kontrolün sakıncası ölü bant değerinin sıfırlanamamasıdır. Şekil 6.3’de oransal ve türevsel kontrol şeması görülmektedir [101].



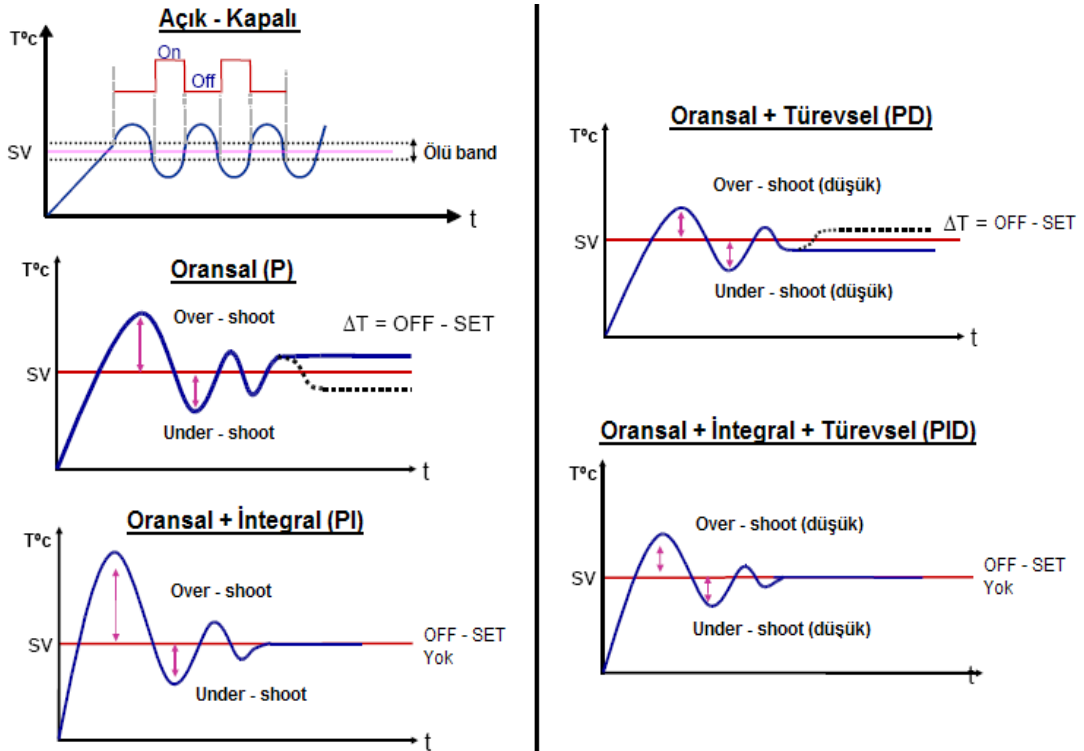
Şekil 6.3. Oransal ve türevsel (PD) kontrol

Oransal, integral ve türevsel (PID) kontrol

PI kontrolde, integral terimi hatanın integralini alır ve P kontrolünün doğal sonucu olan hatayı ortadan kaldırırken D terimi ise geçiş durumlarında ani cevapları bastırmak için kullanılır.



Şekil 6.4. Oransal, integral ve türevsel (PID) kontrol



Şekil 6.5. Kontrol formlarının sıcaklık ve zaman grafikleri

PID kontrol, ölçüm değeri ile ayar (set) değeri arasındaki hatayı sıfıra indirerek istenilen değere ulaşmak için yüksek oranda hassasiyetin istendiği, kontrolün zor ve karmaşık olduğu durumlarda kullanılır. PID kontrol kullanılması halinde aşırı salınım yapmadan ve kısa sürede set edilen değeri yakalar ve bu değeri sağlamada kararlı bir şekilde hareket eder. Şekil 6.4’de PID kontrol şeması görülmektedir. Şekil 6.5’te ise kontrol formlarının sıcaklık ve zaman grafikleri görülmektedir.

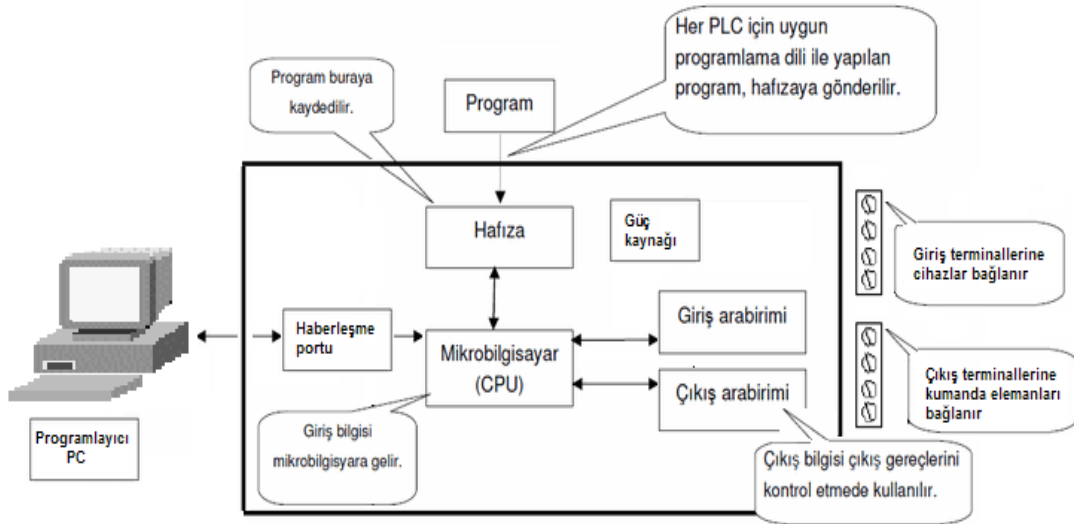
6.1.2. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol)

Hayatı kolaylaştıran ve en önemlisi de verimli üretimi sağlayan endüstriyel otomasyon sistemleri, son yıllarda büyük bir gelişim göstermiş ve hızla yaygınlaşmaktadır. Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de üretimi artırmak için endüstriyel otomasyona olan ilgi giderek artmaktadır. Endüstriyel otomasyon cihazları denilince ilk akla gelen programlanabilir lojik kontrolör (PLC-Programmable Logic Controller) cihazları bina otomasyonu, robotik uygulamalar, SCADA sistemleri ile veri izleme ve kaydetme işlemlerinin uygulandığı alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojik üstünlüklerinin yanında, maliyet, dayanıklılığı, haberleşme ve görüntüleme kabiliyeti, işlem hızı, karmaşık ve ileri seviyede kontrol işlemlerindeki başarısı, kolay kullanımı ve programlanabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

PLC, endüstriyel otomasyon sistemlerinin kumanda ve kontrol devrelerini gerçeklemeye uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, kontrol yapısına uygun bir sistem programı altında çalışan bir endüstriyel bilgisayardır. PLC’lerin en yaygın kullanıldığı alanlar, endüstriyel otomasyon sistemlerinin kumanda devreleridir. Bilindiği gibi, kumanda devreleri, yardımcı röle veya kontaktör, zaman rölesi ve sayıcı gibi elemanlarla gerçekleştirilen devrelerdir. Günümüzde bu tür devrelerin yerini aynı işleri sağlayan PLC’li kumanda sistemleri almıştır [120]. Tümüyle programlanabilir ilk denetleyiciler 1968 yılında geliştirilmiştir. Başlangıçta sadece basit işlemler için üretilmesine rağmen günümüzde karmaşık sorunların çözümünde kullanılmaktadır. PLC’ler her geçen gün geliştirilerek işlevleri arttırılırken boyutları da giderek küçülmektedir.

PLC Yapısı

Günümüzde endüstriyel otomasyon sistemlerinin önemli bir alanını oluşturan kumanda ve geri beslemeli kontrol sistemleri programlanabilir lojik denetleyici (PLC) veya programlanabilir denetleyici (PCs) olarak adlandırılan aygıtlar ile gerçekleştirilir. PLC, bu tür sistemlerin uygulanması için gerekli yazılım ve donanım özelliklerini taşır. Bir PLC, diğer sayısal veri işleme makineleri gibi merkezi işlem birimi, bellek birimi ve giriş-çıkış birimlerinden oluşur. Ayrıca, programı yedeklemek ya da başka bir PLC'ye aktarmak için ayrılabilir bir EEPROM belleği, giriş-çıkış sayısını artırmak için ayırık genişleme birimi, analog giriş-çıkış birimi, enerji kesilmeleri durumunda PLC'yi besleyen yedek güç kaynağı gibi birimler de bulunur [121]. Şekil 6.6'da PLC'nin genel yapısı görülmektedir.

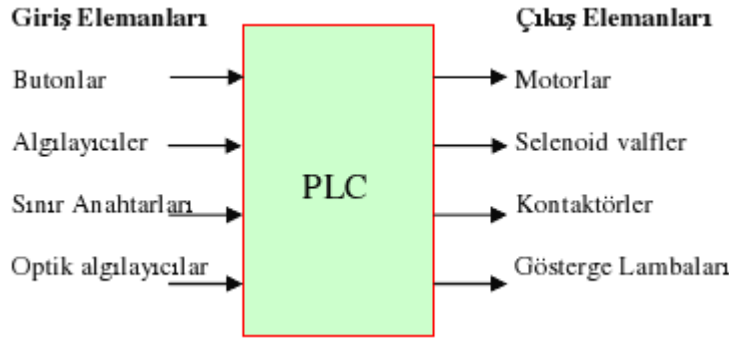


Şekil 6.6. PLC'nin genel yapısı

Giriş (Input) birimi

Kontrol edilen sistemle ilgili algılama ve kumanda elemanlarından gelen elektriksel işaretleri PLC'de işlenecek lojik gerilim seviyelerine dönüştüren birimdir. Kontrol edilen sisteme ilişkin basınç, seviye, sıcaklık algılayıcıları, kumanda düğmeleri sınır ve yakınlık anahtarları gibi elemanlardan gelen iki değerli işaretler (var-yok, 1 veya 0) giriş birimi üzerinden alınır. Giriş birimi işaret seviyesi değerleri 24V, 48V, 100V-120V, 200V-

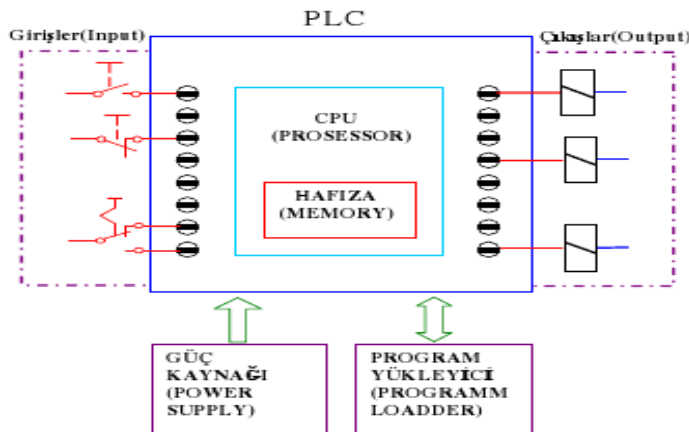
240V doğru veya alternatif akım olabilir [121]. Şekil 6.7’de PLC’de giriş ve çıkış elemanları görülmektedir.



Şekil 6.7. PLC’de giriş ve çıkış elemanları [122]

Merkezi işlem birimi (CPU)

PLC belleğindeki sistem programına göre çalışmayı düzenleyen ve kullanıcı programını yürüten en önemli birimdir. Bu birim işlemci-bellek modülleri ve güç kaynağı arasındaki haberleşmeyi sağlar. İşlemci, kullanıcı programını yürüten ve PLC’nin çalışmasını düzenleyen en önemli elemandır. CPU’nun büyük bir bölümünü oluşturan işlemci-bellek birimi; mikroişlemci, hafıza üniteleri, hafızadan bilgi isteme ve saklama devreleri ve programlama aygıtlarıyla, işlemcinin ihtiyaç duyduğu haberleşme devrelerinden oluşur [123]. Şekil 6.8’de merkezi işlem birimi’nin (CPU) genel yapısı görülmektedir.



Şekil 6.8. Merkezi işlem birimi (CPU) [122]

Çıkış (Output) birimi

PLC’de hesaplanan çıkış noktalarına ilişkin lojik gerilim seviyelerini, kontrol edilen sistemdeki kontaktör, röle, selenoid gibi kumanda elemanlarını sürmeye uygun elektriksel işaretlere dönüştüren birimdir. Çıkış birimi röle, triyak ya da transistörlü devrelerden oluşabilir. Yüksek hızlı açma ve kapama gerektiren durumlarda, doğru akımda transistörlü, alternatif akımda triyaklı çıkış birimleri diğer durumlarda genellikle röleli çıkış birimleri kullanılır [121].

Programlayıcı birimi

Her bir PLC, bir programlayıcı birimi ile programlanır. Programlayıcı birimi, kumanda devresine ilişkin programın yazılması, PLC’ye aktarılması ya da PLC’deki programın alınması ve yeniden düzenlenmesi gibi amaçlar için kullanılan bir el programlayıcısı ya da kişisel bilgisayarlarda çalışan bir programlama yazılımı olabilir [121]. Tüm PLC’ler için program yapma mantığı ve düşünce şekli neredeyse aynıdır ancak programlama dili ve bazı özel fonksiyonlar farklılık arz edebilir. PLC, merdiven diyagramı (LADDER), komut listesi (STL), fonksiyonel blok diyagram (FBD) programlaması olmak üzere üç farklı şekilde programlanabilmektedir.

Hafıza (Bellek) birimi

Giriş görüntü belleği, veri belleği, program belleği gibi kısımlara ayrılmış olup, bu bellek alanları farklı işlevler için kullanılır. PLC’nin içinde bir mikroişlemci vardır. Yapılacak işlemler bir program haline getirilip bellekte saklanır. Bellek elemanı olarak RAM, ROM PROM, EPROM veya EEPROM kullanılır. Bellekte saklanan program mikroişlemci tarafından okunarak işleme konur [121].

Güç kaynağı

PLC güç kaynağı, işlemcinin ve çevre birimlerin çalışmasını sağlayan şebeke gerilimi (besleme güç kaynağı) ve enerji kesintilerinde kullanılan yedek güç kaynağından (pil

veya akü) oluşur.

İletişim (Haberleşme)

İletişim, paralel ve seri olarak sağlanır. Bunlar [124];

Paralel iletişim: paralel iletişim arabirimleri veri iletmek için genellikle 8-bit genişliğinde paralel bir yol kullanılır. Sık kullanılan iki standart paralel iletişim birimi; Centronics ve IEEE-448 (kısa mesafe için kullanılır).

Seri iletişim: bir seri arabirimleri aynı anda 1-bit iletir veya alır. Seri iletişim, uzun mesafede veri iletişimi için kullanılır.

RS232: En sık kullanılan standart seri iletişim arabirimidir (RS422, RS485).

Yol (BUS) sistemi: PLC'nin içinde veriler, işlemci ve I/O modülleri arasında bir yol (BUS) üzerinden değiş tokuş edilir.

Yol: Adres yolu, veri yolu ve denetim yolu olarak üçe ayrılır. Adres ve veri yolunda genellikle 8 hat vardır.

Yerel ağlar (LAN): Bu sayede bir grup PLC ve diğer aletler bilgi değişimi için birbirlerine bağlanırlar. Mesafe 500-1000m'dir. Daha geniş alanlar için Geniş Alan Ağlar (WAN) kullanılır. Tüm ağlar, PLC'nin haberleşmesi için bir protokol kullanılır. Ağ standartları; IEEE 802.3 ve IEEE 802.4'dir.

Diğer birimler

PLC'lerde analog giriş (ADC) ve analog çıkış (DAC), yüksek hız sayıcısı, kesme işareti girişi gibi giriş-çıkış birimlerinden oluşur.

Tarafımızdan tasarlanan sistemin otomasyonu içerisinde hem PLC hem de PID kontrol mevcut olduğundan yukarıda SCADA, PLC ve PID hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

7. ISITMA VE ISITMA TEORİSİ

Isıtma sistemleri, hacimlerin istenen sıcaklıkta tutulabilmesi için iç ortamdan dış ortama olan ısı kaybının karşılanması prensibi ile çalışan sistemlerdir. İyi bir ısıtma tesisatında, dış sıcaklığa bağlı olarak içeride daima arzu edilen sıcaklığın temin edilmesi gerekir. Bu, arzu edilen sıcaklığın sağlanmasında ısıtma cihaz ve sistemlere ihtiyaç duyulur. Hacim ısıtmasında, soba, kazan, kombi, radyant, klima gibi geleneksel ısıtma cihazlarının yanında güneş enerjisi, ısı pompası, güneş destekli ısı pompası, jeotermal, biyogaz gibi yeni ve yenilenebilir enerjili sistemler kullanılmaktadır.

Isıtma sistemleri, hava sıcaklığı ve ısıtma yüzeylerini göz önüne alan duvar sıcaklığını doğrudan doğruya etkiler ve duyulur sıcaklık kavramı içinde ele alınır. Yapılarda sağlıklı yaşam ve rahatlığı ifade eden konfor şartları, yaşanılan mekandaki ortalama sıcaklık 22-23 °C, hava akımı ≤ 25 m/h ve bağıl nem $\leq$ % 70 olmalıdır. Ayrıca, iç mekânlarda sıcaklık açısından sağlıklı bir ortamın sağlanması için ortam sıcaklığı ile iç duvar yüzey sıcaklığı arasında en fazla 2-3 °C'lik fark olması gerekir.

Hangi ısıtma sisteminin seçileceğini pek çok faktör belirler. Genel olarak bu faktörler; sistemin kullanım süresi, binanın cinsi, yalıtım, yakıt cinsi, tesisat ve işletme maliyetleri, insan sayısı, çevre ortama olan etki ve yönetmelikler sayılabilir. Bunlardan en önemlisi yalıtımdır. Toplam enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini binaların ısıtılmasında kullanan Türkiye'de yeni yapılan binaların Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği gereğince asgari olarak TS 825 standardına uygun olarak yalıtılması gerekmektedir. Ancak, 2008 sonunda 8.65 milyon bina, 18.4 milyon konut stoğu olduğu ve toplam bina stoğunun % 6.8'i, toplam konut stoğunun % 12'sinin TS 825 standardına uygun olduğu tahmin edilmektedir. Dolayısıyla mevcut bina stoğunun yaklaşık % 80'inden fazlasını ya yalıtımsız ya da yeteri düzeyde yalıtımı olmayan binalar oluşturmaktadır. Bu nedenle de Türkiye'de mevcut binaların kullanım alanı başına ısıtma/soğutma enerjisi tüketiminin Almanya, Fransa, İngiltere, İsveç gibi ülkelere göre 2-3 kat daha fazladır.

Türkiye’de bir binanın toplam maliyeti içerisinde sadece % 3-5 arasında değişen maliyete sahip olan ısı yalıtımı ile yılda 7 milyar Dolar değerinde enerji tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Enerji tasarrufu düşünülerek yapılan binalarda, özellikle ekonomik ısıtma sistemlerinin kullanılması ile binaların enerji tüketimi belirgin ölçüde azaltılabilir. Enerji etkin binalarda yıllık yakıt ihtiyacı $3-4 \text{ lt/m}^2$ olurken, pasif evlerde bu değer 1.5 lt/m^2 ’ye düşmektedir. Yalıtımsız yapılarda ortalama $150-200 \text{ kWh/m}^2$ enerji kullanırken, TS 825 standardına göre yapılan binalarda % 60 tasarrufla enerji kullanımı $60-80 \text{ kWh/ m}^2$ olmaktadır. Pasif evlerde ise enerji kullanımı 15 kWh/ m^2 ile sınırlandırıldığından mevcut ya da eksik yalıtımlı binalara nazaran pasif evlerde ısıtma ihtiyacı % 90 azalmaktadır.

AB ülkelerinde 2015 yılından itibaren yeni yapılacak binalarda kullanılacak enerji miktarlarının 15 kWh/m^2 ’yıl altına indirilmesi (geleneksel ısıtma sistemlerine gereksinim duymayan Pasif Evler oluşturulması) hedeflenmektedir. Güneş enerjisi ve ısı pompası gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasıyla, bu ve benzeri hedeflere ulaşmada, mevcut enerji kaynaklarının ve çevrenin korunmasında önemli katkılar sağlanabilir.

Isıtma sistemi tesisatları çeşitli açılardan sınıflandırılmaktadır. Isı üreticileri durum olarak; lokal, merkezi ve uzaktan ısıtma sistemleridir. Enerji tipi olarak; petrol türevleri, elektrik, doğalgaz, yenilenebilir enerji sayılabilir. Isı taşıyıcı olarak; sıcak su, kaynar su, buhar, yağ ve hava ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Isı aktarma tipi olarak; ışıma, konveksiyon, hava ve birleşik ısıtma sistemleridir.

Lokal ısıtma sistemleri; soba, gazlı ısıtma sistemleri (hava gazı, doğalgaz, sıvı-gaz), genellikle kombi ve kazan, elektrikli ısıtıcı cihazlarıdır. Bu sistemler tabandan, tavandan ve döşemeden ısıtma şeklinde olabilir.

Merkezi ısıtma sistemleri; bir merkezden yönetilen ısıtma işlemi yapan sistemlerdir. Merkezi ısıtma sistemlerinde genellikle kazanlar kullanılmaktadır. Bunun yanında iklimlendirme santralleri de ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

7.1. Su Isıtıcıları ile Hacim Isıtması

7.1.1. Klasik ısıtma sistemleri

Bu sistemler, genellikle kazan ve kombi gibi geleneksel su ısıtıcılarından oluşmaktadır. Kazanlar, sıcak sulu, kaynar sulu ve buharlı seçenekler sunarken kombiler, normal ve yoğuşmalı seçenekler sunmaktadır. Alternatif enerji kullanan sistemler de su ısıtıcı sistemler olmasına rağmen günümüzde ısıtma amaçlı olarak yeterince kullanılmamaktadır. Alternatif enerji kullanan sistemler, güneş enerjisi sistemleri, sudan suya ve havadan suya ısı pompası sistemleri ve jeotermal enerji sistemleri sayılabilir.

7.1.2. Isı pompalı ısıtma sistemleri

Isı pompalı ısıtma sistemlerinde ısı kaynağı olarak hava, toprak ve su kullanılmaktadır. Isı pompaları için gerekli olan enerji kaynağının yaklaşık % 75'i doğadan sağlanmaktadır. Dolayısıyla ısınma maliyetleri de bu oranda düşmektedir. Isı pompalı yerden ısıtım sistemleri çok yüksek COP değerine ulaşabildiğinden ısı pompalı ısıtma sistemleri mahal ısıtmak için kolaylıkla uygulanabilir. Hava-su ısı pompası ısıtma sistemi ve su-su ısı pompası ısıtma sistemleri su ısıtıcısı olarak ya tek başlarına ya da başka sistemlerle birlikte (gaz motorlu IP, absorpsiyon IP, güneş enerjisi destekli IP vb.) kullanılabilir. Türkiye'de ısı pompaları hava kaynaklı kullanılmalarının yanında son yıllarda özellikle alışveriş merkezlerinde ve otellerde yoğun olarak toprak kaynaklı olarak kullanılmaktadır.

Isı pompası kaynaklı su ısıtma sistemleri 20 yıldır kullanılmaktadır. 2020 yılına kadar ısı pompalı su ısıtma sistemleri (IPSI) ile Amerika'daki binalarda tüketilen toplam elektriğin % 1-2'si oranında yıllık enerji tasarruf edilecektir [125]. Isı pompaları, yurtdışında olduğu gibi Türkiye'de de enerji verimliliğinin önem kazanmasıyla birlikte son yıllarda en çok tercih edilen sistemlerin başında gelmektedir. Tercih edilmelerinin en büyük sebeplerinden birisi yüksek COP'leridir (Çizelge 7.1).

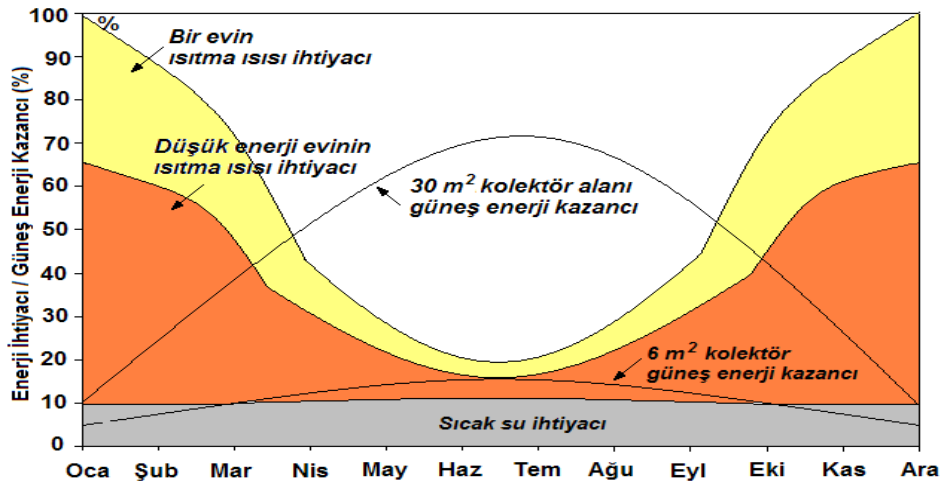
Çizelge 7.1. Isı pompası kaynaklı su ısıtma sistemlerinde COP

Kaynak	Özellik	Sonuçlar
2001 Swardt and Meyer [126]	Toprak kaynaklı	Simülasyon/Deneysel: $COP_{\text{ısıtma-hava}}=3.315/2.998$; $COP_{\text{soğutma-hava}}=2.743/2.504$; $COP_{\text{ısıtma-toprak}}=3.320/3.307$; $COP_{\text{soğutma-toprak}}=3.190/3.049$
2003 Hepbaşlı ve ark. [127]		$COP_{\text{ısıtma}}=1.656$; $COP_{\text{sist}}=1.339$
2008 Biaoou and Beriner [128]		Isı pompalı su ısıtıcısı: $COP=2.4$
1979 Sloane ve ark. [129]	Hava kaynaklı	$COP=2.0-2.8$ (18-35 °C çevre havası, 27 ve 4.4 °C su kaynağı)
1998 Harata ve ark. [130]		Termoelektrik teknoloji depolama tank su ısıtıcısı ile enerji tüketimi yaklaşık % 13 azalmış
2000 Ito and Miura [131]		20 °C hava sıcaklığında $COP=4.0$, 10 °C hava sıcaklığında $COP=3.68$
2003 Ji ve ark. [132]		Mode 1: Alan soğutma ve su ısıtma; $COP_{\text{cw-avg}}=4.02$, $COP_{\text{c-avg}}=2.91$. Mod 2: Sadece su ısıtma; $COP_{\text{w-avg}}=3.42$, 3.25, 2.52, 2.00 (T = 31, 25, 15, 4.5 °C için). Mod 3: Sadece alan ısıtma $COP_{\text{h}}=2.72$
2004 Morrison ve ark. [133]		Sydney’de kışın pik yükte $COP_{\text{iç-kond}}=2.3$, yıllık enerji tasarrufu = % 56; $COP_{\text{dış-kond}}=1.8$, yıllık enerji tasarrufu % 44
2007 Zhang ve ark. [134]		$COP_{\text{kış}}=2.61$ (T = 0 °C); $COP_{\text{yaz}}=5.66$ (T = 35 °C); $COP_{\text{ilkbahar-sonbahar}}=4.817$ (T = 25 °C)

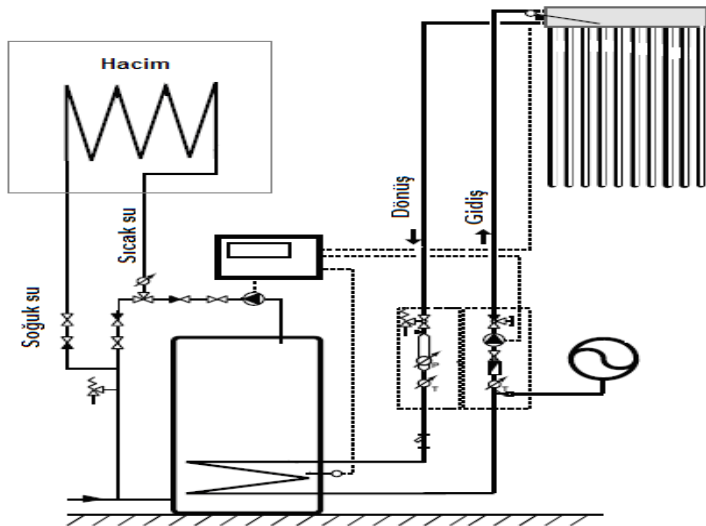
7.1.3. Güneş enerjili ısıtma sistemleri

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri; güneş enerjisinin kolektörler vasıtasıyla suyun ısıtıldığı ve yardımcı elemanlar ile ısınan suyun enerjisinin hacme aktarıldığı sistemlerdir. Şekil 7.1’de ısıtma enerjisi ihtiyacı ile güneş enerjisinden sağlanan enerji arzı arasındaki ilişki, Şekil 7.2’de ise güneş enerjisiyle hacim ısıtması gösterilmektedir. Güneş enerjisi sistemleri farklı şekillerde kullanılabilir. Kullanım suyu ısıtma, hacim ısıtma amaçlı su ısıtma ve hava ısıtma sistemlerinde güneş enerjisinin tek başına kullanılabildiği gibi farklı sistemler ile birlikte de

kullanılması mümkündür. Güneş enerjili ısıtma sistemleri düşük sıcaklık uygulamaları olduğundan genellikle yerden ısıtma şeklinde kullanılmaktadır. Bunun yanında ön su ısıtma veya mevcut ısıtma sistemlerine destek amacıyla farklı sistemlere entegre edilmektedir. Güneş enerjisi ile hacim ısıtılmasında sıvılı (su ve yağ vb.) ve havalı ısıtma sistemi olmak üzere iki prensip yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 7.1. Isıtma enerjisi ihtiyacı ve güneş enerji arzı [108]

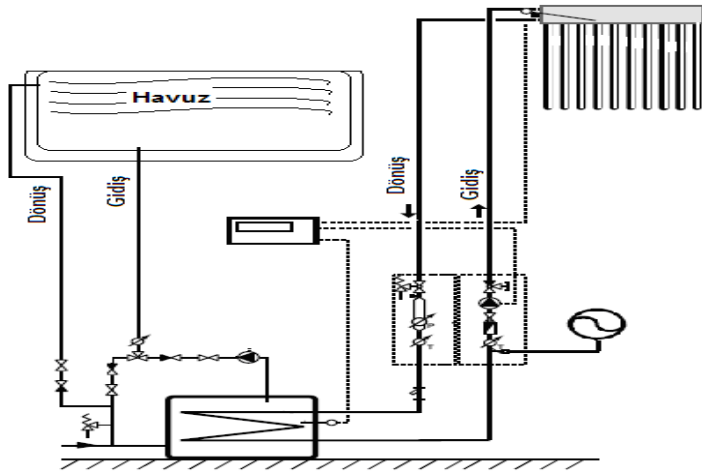


Şekil 7.2. Güneş enerjisi ile hacim ısıtması

Su ısıtmalı güneş enerjisi sisteminin hacim ısıtması genellikle yerden ısıtma sistemi şeklinde, mevcut ısıtma sistemine destek olarak ve ısı pompası sistemi gibi alternatif

sistemler ile birlikte kullanılmaktadır. İlk iki seçenek uygulamada oldukça yaygındır. Güneş enerjisi sistemleri konut ısıtmasında yeterli mekân ısını üretememekle birlikte düşük enerji evleri için yeterli mekân ısını üretebilirler. Ancak, geçiş zamanlarında ek ısıtma enerjisine gereksinim duyarlar. Bunun yanında, iyi yalıtılmış, düşük enerjili, ısıtma sezonu kısa olan (Antalya gibi) sıcak güney illerinde konut ısıtmasında güneş enerjisinin ısıtma amaçlı kullanımı iyi bir planlama ile yeterli olacaktır. Güneş enerjisi sistemiyle 100 m² bir alanın yerden ısıtma yapılmasıyla 5 bin TL civarında ortalama maliyet oluşmaktadır.

Güneş enerjisi, havuz suyu ısıtmasında da kullanılmaktadır. Havuz suyu ısıtmasında ya güneş ışığından direkt olarak (havuza yerleştirilen absorplayıcılar kullanılarak) ya da güneş enerjisi sistemi ve bir eşanjörden oluşan çevrim kullanılır. Havuz suyu büyük kapasiteli olmasının yanında düşük sıcaklık (genelde 30 °C'nin altında) uygulamasıdır. Özellikle yazın havuz suyu ısıtmasına ihtiyaç duyulmasıyla güneş enerjisi sistemlerinin sıcak su üretebilme kapasitesindeki artışın paralel seyretmesinden dolayı bu sistemler ekonomik olarak işletilebilir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Güneş enerjisi ile havuz suyu ısıtması

7.1.4. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı (Hibrid) ısıtma sistemleri

Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birlikte kullanıldığı ısıtma ihtiyacı duyulan hacimlerin ısı ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurulmuş tek bir merkezden

kontrol edilen sistemlerdir. GDIP sistemi ısıtma sıcak suyu hazırlamaktan daha çok kullanım sıcak suyu hazırlamakta tercih edilmektedir. Isıtma sıcak suyu hazırlamada 35-40 °C besleme su sıcaklığına göre dizayn edilmiş yerden ısıtma sistemlerinde sorunsuz kullanılabilir. Güneş destekli çevre ısını doğrudan kullanan ısı pompasıyla yıllık sistem kullanım faktörü yaklaşık % 20'dir. Ek olarak, GDIP sistemleri hava ısıtma amaçlı da kullanılabilir. Çizelge 7.2'de güneş destekli ısı pompalı su ısıtma sistemlerinin üstünlükleri açıkça görülebilir. Şekil 7.4'de ise Tayvan'da üretilip ticareti yapılan yeni nesil güneş su ısıtıcıları (güneş destekli ısı pompası sistemleri) görülmektedir. GDIP sistemleri ayrıntılı olarak önceki ve ilerideki bölümlerde incelenmiştir.

Çizelge 7.2. Güneş destekli ısı pompalı su ısıtma sistemlerinde COP

Kaynak	Sonuçlar
1976, Sakai ve ark. [135]	-----
1998, Chaturvedi ve ark. [12]	(30–70 Hz): $COP_h = 2.5-4.0$
2003, Hawlader ve ark. [90]	$COP_{system} = 6.0$; $\eta_{evap-coll} = 0.080$, $\eta_{air-coll} = 0.77$
2003, Chyng ve ark. [136]	$COP_{daily-total} = 1.7-2.5$ (yıl için); $T_{water} = 57.2$ °C
2003, Kuang ve ark. [45]	$COP_{monthly-avg} = 4-6$; $\eta_{coll} = \% 40-60$
2005, Huang ve ark. [137]	$COP_{HP-mode} = 2.58$; $COP_{hybrid-mode} = 3.32$
2006, Guoying ve ark. [138]	Aylık ortalama $COP = 3.98-4.32$; $T_{water} = 55$ °C
2007, Li ve ark. [21]	$COP_{seasonal-avg} = 5.25$; $\eta_{coll} = 1.08$; $\epsilon_{system} = \% 21$; $T_{water} = 50.5$ °C
2007, Hepbaşlı [57,59]	$\epsilon_{GSHP} = \%72.33$, $\epsilon_{SDHWS} = \%14.53$, $\epsilon_{sys} = \%44.06$, Ekserjetik COP; $COP_{GSHP} = 0.245$, $COP_{sys} = 0.201$



Şekil 7.4. Yeni nesil güneş su ısıtıcıları (GDIP sistemleri) [139]

7.2. Hava Isıtıcıları ile Hacim Isıtması

Hava ısıtıcıları ekonomik olmaları, hızlı reaksiyon vermeleri, havalandırma olanağı, kısa sürede tekrar ısıtma ve çeşitli etkileme olanakları (Süzme, nemlendirme, kurutma, soğutma vb) yüzünden önemlidir ve her şeyden önce sınai/mesleki alanda (kamu kuruluşlarında, büyük salonlarda, vb) kullanılır. Konut alanında kullanılması düşük enerji harcayan eve olan eğilimin artmasıyla birlikte önem kazanmıştır. Isı geri kazanım tesisatlarıyla bağlantılı olarak ortalamanın üstündeki bir oturma konforuna sahip enerji tasarruflu tesisatlar gerçekleştirilebilir. Hava ısıtıcıları, daha iyi tanımlanırsa hava ısıtma tesisatları ısı taşıyıcı olarak sirküler havaya gereksinim duyarlar. Hava ısıtma aygıtlarında veya sıcak hava üreticilerinde ısıtılan hava ısıtılacak yerlere sevk edilir, burada sıcaklığı dışarı verir ve dolaşım prensibine uygun olarak, dış hava oranına göre tamamen veya kısmen cihaza geri döner [140].

Doğal sirkülasyonlu, fanlı (fan-coil vb), soba, radyant, ısı pompalı, güneş enerjili ve GDIP ısıtma sistemleri gibi sistemler hava ısıtıcı sistemlerdir. Bu sistemler tamamen dış hava veya iç hava veyahut da karışım havasını direkt veya dolaylı olarak (ısı taşıyıcı-genelde su-yoluyla dış ısı üreticisi tarafından beslenen) ısıtır.

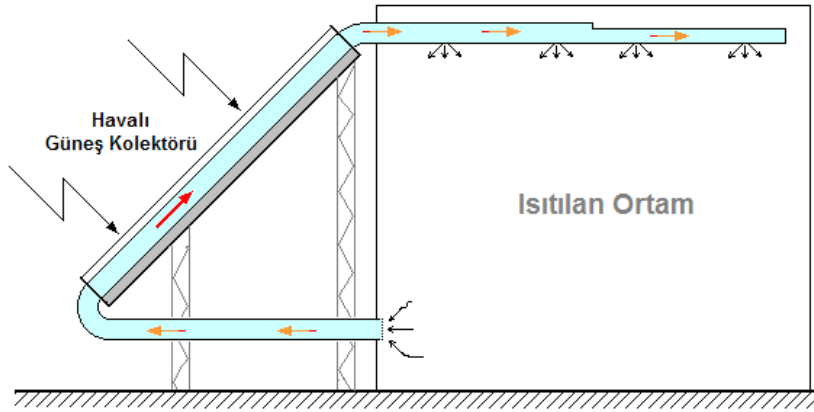
7.2.1. Isı Pompalı ısıtma sistemleri

Isı pompasının bir çevrim sürecinde yapılan iş yardımıyla ısıtma amacıyla kullanılmasıdır. Hava ısıtma amaçlı olarak, hava-hava IP, toprak-su ve su-hava IP sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en önemli özelliği, çevreden veya kaynaktan alınan ısı miktarı, yapılan işin ısı eşdeğerinin belli bir katı olmasıdır. Bunun anlamı; bir elektrikli IP ile harcanan her kW motor gücü başına yaklaşık 3 veya 4 kW'lık ısı sağlanmasıdır.

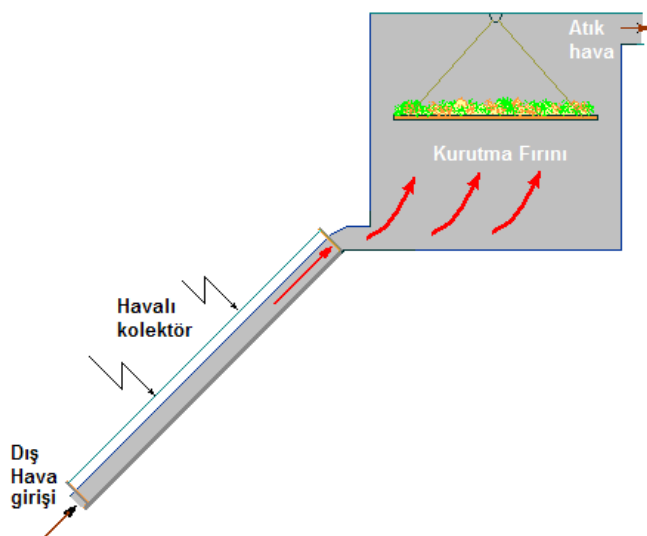
7.2.2. Güneş enerjili ısıtma sistemleri

Hava ısıtmalı güneş enerjisi sistemlerinde güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerine benzer bir prensip ile suyu değil ortam havasını ısıtan hava kolektörleri

kullanılmaktadır. Hava kolektörlü güneşle hava ısıtma sistemi bir ısı tutucu yüzey ve cam sistemidir ve hacimleri havalandırma ve ıstımayı aynı anda yapabilme kapasitesine sahiptir. Kolektörün alt kısmından giren soğuk havanın üst kısmında sıcak hava olarak çıkması prensibiyle çalışır. ısıtılan hava, ya doğrudan ya da bir fan kanal sistemiyle hacme gönderilir. Yıllık yaklaşık 100-150 kWh/m²'lik enerji üretebilme kapasitesine sahip havalı güneş kolektörleri, mekân ısıtması ve tarımda (yetiştiricilik, tohum ve ürün kurutmada) sıklıkla kullanılmaktadır. Havalı kolektörler ile hacim ısıtmasının basit örnekleri Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'da gösterilmektedir.



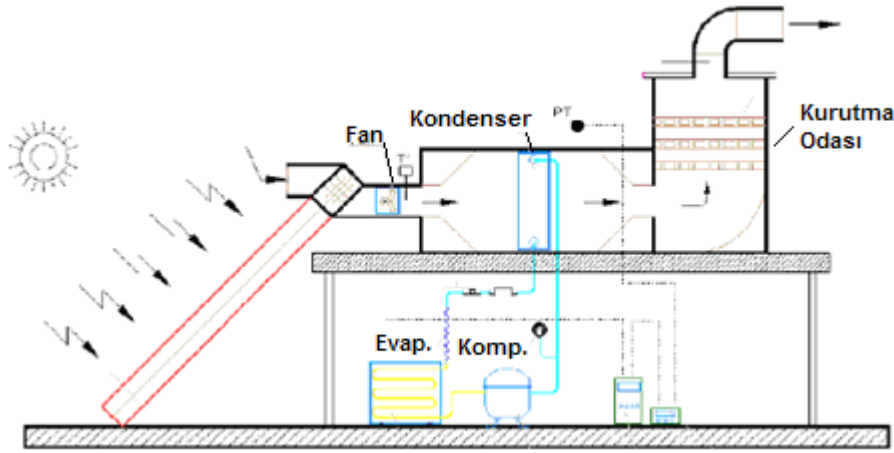
Şekil 7.5. Hacim ısıtma amaçlı kullanılan basit bir havalı güneş kolektörü



Şekil 7.6. Hacim ısıtma ve kurutma amaçlı kullanılan basit bir serbest dolaşimli havalı güneş kolektörü

7.2.3. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı (Hibrid) ısıtma sistemleri

GDIP sistemleri hava ısıtmak amacıyla kullanıldıklarında önemli enerji tasarruf potansiyeline sahiptirler. Çünkü GE ve IP sistemleri ayrı ayrı veya birlikte kullanıldığından, GE sistemi IP sisteminin dezavantajını avantaja dönüştürürken, IP sistemi ise GE sisteminin dezavantajını avantaja dönüştürebilmektedir. GDIP sistemleri ayrıntılı olarak önceki bölümde incelenmiştir. Örnek teşkil etmesi açısından Şekil 7.7’de havalı güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birlikte kullanıldığı kurutma fırını verilmektedir.



Şekil 7.7. Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli kurutma fırını [141]

8. KURUTMA VE KURUTMA TEORİSİ

Canlıların tükettiği besin maddelerinin hemen hemen tamamı bünyelerinde belli oranlarda su ihtiva eder. İhtiva ettikleri bu su nedeniyle, belli sürede tüketilmezlerse; besin özelliğini kaybederek bozulmaya yüz tutar [142]. Bu nedenle kurutma ihtiyacı doğmuştur. Kurutma kültürü milattan öncelere dayanmaktadır. Ancak ilk bilimsel ve mühendislik literatür çalışmaları 1960 yılında yapılmıştır. Bu yıldan sonra kurutma konusunda akademisyenler tarafından pek çok akademik çalışma ortaya konmuştur. Kurutma konusunda ilk uluslararası sempozyum Ağustos 1978’de Kanada’nın Montreal şehrinde McGill Üniversitesi Kampüsü’nde gerçekleştirilmiş ve iki yılda bir farklı ülkelerde olmak üzere halen düzenlenmektedir.

Kuruma; bir madde içinde bulunan sıvının uzaklaşmasıdır. Kurutma ise; dayanma süreleri kısa olan ürünlere uygulanan saklama yöntemidir. Gıdaların doğada kurutulması, insanlığın tabiattan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir [101]. Meyve ve sebze kurutulmasında kullanılan en yaygın kurutma şekli; güneşte kurutmadır. Bu kurutma şekli ucuz olmakla birlikte dış hava şartlarına maruz kalan ürünün toz, toprak, böcek faktörü ve diğer istenmeyen dış etkilere kirlenerek hem sağlıksız olabilmesi hem de ihracat değerinin düşük olabilmesi ihtimalleri doğmaktadır.

Doğada kuruma, güneş enerjisiyle gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla olması imkânsızdır. Her ürünün güneşte kurutulması doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer metotlarla kurutulma yolları geliştirilmiştir. Teknik kurutmada, kuruma işlemine dış müdahale yapılarak madde içinde bulunan nem değişik metotlarla alınır. Bu nedenle kurutma; kuruyacak ürün neminin istenilen kuruluk değerlerine belli bir süreçte indirgenmesi olarak da tanımlanır. Belli bir süreçte ürünün kuruma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, nem verme vb.) ünitelerin bütününe de “kurutma sistemi” denir. Kurutma işleminde kullanılan sistemler sanayinin birçok dalında (gıda, kâğıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) yaygın olarak uygulanmaktadır [101].

Kurutma sürecinde kurutma şartlarının ayarlanmasına imkân veren ve ilk defa kereste kurutulmasında kullanılan yapay kurutmanın doğal kurutmaya göre birçok üstünlükleri vardır. Renk ve aroma bakımından kalite üstünlüğünün sağlanmasının yanı sıra temizlik, kalite kontrolünün kolaylığı, nem ayarının mümkün olması, yağmur ve tozlardan korunmuş olması gibi faktörler bunlardan bazılarıdır [142]. Ayrıca, güneşte kurutulan meyve ve sebzelerde solunumun bir süre daha devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermentasyon belirmesi nedeniyle, madde kayıpları oluşmaktadır. Bunun sonucunda yapay kurutmaya göre verim düşmektedir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı da zaten dünyada ticareti yapılan kurutulmuş sebzelerin % 97-98'i kontrollü şartlarda sıcak hava ile kurutulmaktadır.

Kurutulmuş tarımsal ürünlerin gıda sağlığı ve satışı konularında karşılaşılan sorunların aşılması kurutma işleminin kapalı sistemlerde gerçekleştirilmesiyle mümkündür. Yöresel koşullara uygun olarak tasarlanacak kurutucularda enerji kaynağı olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı mümkündür.

Günümüzde ürünlerin daha teknik metotlarla kurutularak iç ve dış piyasaya daha kaliteli olarak sürülmesi son derece önemli hale gelmiştir. Üründeki kalite değerlerini de ürünün son nem miktarı (kurutma sonrası), ürünün kurutma sonrası su aktivitesi değeri, üründeki aflatoksin miktarı, ürünün aroması, ürünün rengi ve ürünün dayanıklılığı olarak sıralanabilir. Ürünlerde olabilecek en yüksek mikotoksin değerlerinin (aflatoksin, okratoksin ve patulin) düşürülmesi, ürünlerin kontrollü kurutma işlemlerine tabi tutulmasını gerekli hale getirmiştir [101].

Ürünlerin içinde bulundurduğu nem, ürün farklılaşmadan, ancak sıcaklık etkisiyle dışarı alınabildiğinden kurutmada en önemli husus kurutma sıcaklığıdır. Bütün kurutma metotlarında esas olan; kurutulmak istenen materyal içinde bulunan nemin, öyle ya da böyle alınarak, istenen değerlere getirilmesidir.

Taze ürünlerde olduğu gibi kurutma safhasında da nem miktarı önemlidir. Çünkü nem miktarının yüksek olması ürünün raf ömrünü kısaltmakta ve kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Özellikle ihracatta belirli nem değerinin

tutturulamaması nedeniyle bazı ürünlerde sıkıntı yaşanmasına neden olmaktadır. Rehidrasyon yeteneği, kurutma endüstrisi için önemli bir ölçüttür. Kurutulmuş ürün, suda bekletilince taze halde içerdiği kadar su alarak eski haline ve şekline dönüşürse ki buna rehidrasyon yeteneği denmektedir, ürün mükemmel nitelikte olduğu kabul edilir.

Esasen kurutma prosesi; taze ürün ile onun hücrelerinde bulunan su arasındaki bağlama kuvvetinin çözülmesi ile başlar. Ürünün su içeriği büyük oranda hücre boşluklarındaki sudan oluşmaktadır. Hücre eti ve öteki kısımlarda da bir miktar emilmiş su bulunmasına karşın, bunun kurutma sırasında alınması pratik olarak söz konusu değildir. Hücre boşluğundaki suyun alınması buharlaştırmayla gerçekleştirilir. Normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak her gram su için 2.5 J enerji gereklidir. Buharlaştırılan su, hücre boşluğundan zara, sonra hücre etine ve hücre duvarına geçtikten sonra hücre dışına çıkar. Buradan doku yüzeyine, ya boşluklardan kılcal yolla, ya da öteki hücrelerden difüzyon yolu ile ulaşırlar [142].

Kurutma fırınlarında hava hızının ya da sıcaklığının artması; fırına verilen enerji miktarının artmasını sağlar. Bunun paralelinde, ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için verilmesi gereken enerji miktarının daha kısa sürede sisteme verilmesiyle, kurutma süresi de kısalmaktadır [101]. Ürün kurudukça içindeki nemi alabilmek için daha fazla ısıtmak gerekmektedir. Çünkü; ürün içindeki nem miktarı azaldıkça, kurutulmaya tabi tutulan ürünün ısı iletkenlik katsayısında da düşme olmaktadır [142]. Ancak ürün içindeki istenmeyen nemin alınmasında ürünün bozulması tehlikesi nedeniyle, ısıtma hızlı yapılamaz. Isıtmanın hızlı ve aşırı yapılması halinde dış kısımlardaki gözenekler kapanacağından iç kısımlarda kalan nemin dışarı çıkması zorlaşacak dolayısıyla kuruyan dış yüzeyler tahrip olacaktır.

Kurutma sistemlerinde havanın hareket ettirilmesiyle, ürün çevresindeki doymuş haldeki statik hava tabakası uzaklaştırılarak kurumayı hızlandırıcı etki elde edilir. Sistemde aynı havanın dolaştırılması sonucunda havanın bağıl nemi zamanla yükselecek ve nem alma kabiliyeti azalacaktır. Havanın bu istenmeyen durumdan kurtulabilmesi için iki yöntem vardır. Bunlar; dışarıdan taze hava alımı veya mevcut

havanın içinden nem çekimidir.

Hava bağıl nemiyle ürünün nemlilik derecesi arasındaki farklılık ne kadar fazlaysa, ürünün havadan nem kapması da o oranda yüksek olur. Ya da bunun tersi; havanın bağıl nemi ürüne göre ne kadar azsa, ürünün kuruması da (nem vermesi) o kadar hızlı olur [142].

Kurutma havasının sıcaklığı, nemi ve ürün içerisindeki nem, kuruma hızını (kurutma şiddetini) belirler. Kurutma havasının neminin azaltılması da bu kurutma şiddetini artırarak kurutma süresini kısaltır. Hava sıcaklığının 1 °C yükselmesi; bağıl nemin yaklaşık % 5 düşmesine, hava sıcaklığının 1 °C düşmesi de, bağıl nemin yaklaşık % 5 yükselmesine neden olur [101]. Dolayısıyla tamamen taze hava ile çalışan sistemlerde kurutma havası ürün üzerinden geçirildikten sonra egzozdan atıldığından bu tür sistemlerde enerji tüketimi çok fazla olmaktadır. Ancak bu durumda nem oranı yüksek dönüş havasından nem çekme işlemi yapılmadığından avantaj sağlayabilir.

Birçok uygulamada, havanın kurutma sisteminde yeniden dolaştırılması ısı verimi arttırır. Fazla dolaşım ile oluşan düşük ısı kaybı ile az dolaşım ile oluşan yüksek kuruma hızı, dolaştırılan hava oranı en uygun duruma getirilerek giderilebilir. Kurutma havasının nem içeriği, yeniden çevrimden etkilendiği için, istenilen hava neminin korunması amacıyla zaman zaman analiz edilmelidir. Havanın soğurabileceği maksimum nem miktarını; yaş termometre sıcaklığındaki doyma nemi ile sisteme sağlanan havanın çiy noktası sıcaklığındaki nemi arasındaki fark verir. Havanın gerçek nem alma potansiyeli ısı ve kütle transferi oranlarıyla hesaplanır ve genelde maksimum değerlerden düşüktür [143].

Kuruma olayı, materyalin ısınma evresi, sabit hızla kuruma evresi, azalan hızla kuruma evresi olmak üzere üç evreden oluşmaktadır.

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma

hızı giderek artarak bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Ancak ısınma evresi süresi, toplam kurutma süresine göre çok kısadır [144,145].

Sabit hızla kuruma evresinde, kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış hava koşullarınca belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranış göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşırken, devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir. Diğer bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır [145,146]. Bu durum, materyalin iç katmanlarındaki nemin giderek azalmasıyla kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda suyun artık iç kısımlardan yüzeye taşınamamasıyla birlikte materyalin yüzeyinin tamamen serbest su ile kaplı olması durumuna kadar devam eder. Ancak bu evre her tür için geçerli değildir. Örneğin; sebze ve meyvelerin dışında kalan çoğu tarım ürününün kurutulmasında sabit hızla kuruma evresi yoktur.

Son evre olan azalan hızla kuruma evresinde ise, kuruma hızının ve buharlaşan nem miktarının zaman içinde giderek azaldığı görülmektedir. Azalan hızla kuruma evresi sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı neredeyse eşit duruma gelmektedir.

Kurutma işleminde kurutulacak ürünlerin ilk ve son nem değerlerini bilmek doğru bir kurutma işlemi yapabilmek ve uygun saklama koşullarını sağlamak açısından çok önemlidir. Çizelge 8.1’de bazı gıda ürünlerinin ilk ve son nem içerikleri gösterilmiştir [147,148]. Kurutma veya saklama sırasında üründe mikrobiyal büyüme oluşmaması gerekir. Bunun için aşağıda verilen son nem içeriklerinin de altına inilmesi daha uygun olabilir. Modifiye atmosfer paketlenme tekniği kurutulmuş ürünlerin raf ömrünü uzatmak için kullanılabilir. Genel olarak, ideal koşullarda, bir gıda ürününün raf ömrü mikrobiyal büyümeye göre tahmin edilebilir [149].

Çizelge 8.1. Bazı gıda ürünlerinin ilk ve son nem içerikleri [147,148]

ÜRÜN	İLK NEM (%)	SON NEM (%)	ÜRÜN	İLK NEM (%)	SON NEM (%)
<i>Adaçayı</i>	62	11	<i>Hurma</i>	65	40
<i>Armut</i>	84	25	<i>İncir</i>	77.5	26
<i>Bamya</i>	81	6	<i>Ispanak</i>	80	10
<i>Bezelye</i>	60–70	5–10	<i>Kakule</i>	80	16
<i>Domates</i>	93	7	<i>Kayısı</i>	85.3	25
<i>Elma</i>	84.8	24	<i>Kiraz</i>	81	30
<i>Erik</i>	78.7	35	<i>K.Biber</i>	90	20
<i>Fasulye</i>	60–70	5–10	<i>Muz</i>	80	15
<i>Fesleğen</i>	80	6	<i>Nane</i>	80	11
<i>Havuç</i>	80–90	5–10	<i>Oğulotu</i>	77	11
<i>Hindistan Cevizi</i>	45–50	5	<i>Patates</i>	77	7
<i>Hint Yerelması</i>	70	15	<i>Üzüm</i>	74–81.6	15–18
<i>Sarı Papatya</i>	75	7	<i>Vişne</i>	83.7	25
<i>Sarımsak</i>	80	4	<i>Yerfıstığı</i>	45–50	13
<i>Soğan</i>	84	6	<i>Y.Biber</i>	80	10
<i>Şeftali</i>	75–80	20	<i>Ateş Çiçeği</i>	71	11
<i>Şerbetçiotu</i>	77	8	<i>Kahve</i>	43–48	12
<i>Kakao</i>	50	6–7	<i>Pirekapan</i>	70	10–13
<i>Şeker Kamışı</i>	40–60	20	<i>Maydanoz</i>	83	12
<i>Hint Yerelması</i>	70	15	<i>Frenk Maydanozu</i>	80	12
<i>Dereotu</i>	70–80	10	<i>Kadife Çiçeği</i>	72–85	12
<i>Frenk Soğanı</i>	80–85	12	<i>Biberiye</i>	70	10
<i>Kaplanmış Hıyar/Kırmızı Turp Tohumu</i>	36	9	<i>Kekik</i>	72,9	7.5–11.4
<i>Zencefil</i>	87–93	5	<i>Lahana</i>	90-95	5-10

Kurutmayı etkileyen faktörlere geçmeden önce kurutmada hava ile ilgili kullanılan bazı kavramları açıklayalım;

Kuru hava; içerisindeki su buharı bulunmayan ve sadece ideal gazlardan oluşan havadır.

Nemli hava; kuru hava ile su buharının karışımından meydana gelen havadır.

Kuru termometre sıcaklığı; ıslak havanın herhangi bir ısı yayan kaynağa maruz

kalmadan ölçülen sıcaklığa denir.

Yaş termometre sıcaklığı; belirli şartlarda bulunan ıslak havanın ısısını değiştirmeden doyma durumuna getirildiğinde ölçülen sıcaklığına denir.

Çiy noktası sıcaklığı; nemli havanın içinde bulunan su buharının yoğuşmaya başladığı sıcaklık noktasına denir.

Özgül nem; birim miktar nemli hava içindeki su buharı kütlesinin aynı karışımdaki kuru hava kütlesine oranına denir.

Bağıl (izafi) nem; herhangi bir şarttaki nemli hava içinde bulunan su buharı miktarının aynı sıcaklıktaki doymuş havada bulunan su buharı oranına denir.

Psikrometri; Hava içindeki nem miktarı ve diğer termodinamik özellikler havanın şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla nemli havanın termodinamik özellikleri ile uğraşan bilim dalına psikrometri denilmektedir.

Psikrometrik diyagram; psikrometrik denklemlerle bulunan nemli havaya ait özelliklerin hepsinin bir arada grafik olarak gösterilmesinden oluşan diyagramdır.

8.1. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

Kurutma, pek çok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler iç ve dış olmak üzere iki başlık altında toplanabilir.

İç faktörler; ürün bünyesindeki sıvının ürün yüzeyine gelmesi sürecinde oluşan kapiler akış ve yoğunluk, iç difüzyon ve kılcılık gibi iç şartlardır.

Ürünün kimyasal bileşimi kuruma boyunca değişkenlik göstermektedir. Tuz, şeker gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin ürünler, bu maddeleri hiç içermeyen ürünlerden daha zor kurumaktadır. Sebzelerde su, hücre içinde ve hücreler arasında

bulunur. Kurumanın uzaması suyun üründen uzaklaştırılmasının zor oluşundan kaynaklanmaktadır. Eğer haşlama ve benzeri işlemler ile hücreler arasındaki su uzaklaştırılırsa ürünler daha hızlı kurur.

Dış faktörler; kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın sıcaklığı, akış hızı, nemi, türbülansı ve kurutulacak malzemenin yüzey alanı, kalınlığı ve tanecik büyüklüğü gibi dış şartlardır.

8.1.1. Hava sıcaklığının etkisi

Havanın sıcaklığının yükselmesiyle birlikte, havanın içerisinde su buharı tutma özelliği de artar. Hava sıcaklığının artması, malzeme içerisindeki suyun hareket hızını ve suyun viskozitesini artırmaktadır. Ayrıca, yüksek hava sıcaklıkları yüzey suyu ve malzemeye ısı transfer hızlarının artmasını sağlar ve bunun sonucunda yüksek buharlaşma hızları oluşur. Bu durum ise malzeme içindeki nemin daha kolay ve hızlı bir şekilde yüzeye çıkmasını sağlayan itici, zorlayıcı bir etki yaratır. Bu nedenle, kurutulacak malzemeye herhangi bir zarar vermeksizin uygulanabilecek maksimum hava sıcaklığına bağlı olarak, yüksek kurutma hızları elde edilir. Hava sıcaklığı, kurutma havasını ısıtan akışkan sıcaklığı ile ilişkilidir. Bununla birlikte yüksek hava sıcaklığının, kurutma sistemine verilen enerji miktarını ve maliyetini yükseltmesi kaçınılmazdır [150]. Bu yüzden ürün kurutmada hava sıcaklığına dikkat edilmelidir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında güvenilir kurutma havası sıcaklığı 35-77 °C arasında değişmektedir [145]. $T > 65$ °C yüksek kurutma havası sıcaklığı, $T \leq 65$ °C ise düşük kurutma havası sıcaklığı olarak kabul edilmektedir. Kurutma sistemleri de buna göre düşük sıcaklıklı ve yüksek sıcaklıklı olarak sınıflandırılmaktadır.

8.1.2. Hava neminin etkisi

Hava içinde bulunan su buharı miktarının, havanın aynı sıcaklıkta taşıyabileceği maksimum su buharı miktarına oranıdır. Bağıl nem, sıcaklıkla ters orantılıdır. Nem

miktarı genellikle mutlak birimlerde kg nem / kg kuru madde veya ağırlıkça kuru maddeye göre yüzde cinsinden ifade edilmektedir.

$$\text{Bağıl Nem} = \frac{\text{Mutlak Nem (Varolan Nem)} \times 100}{\text{Maksimum Nem (Doyma Miktarı)}} \quad (8.1)$$

Kurutma süresinin kısaltılması kurutma havasının ihtiva ettiği nem miktarının azlığına bağlıdır. Buna karşın, havanın neminin fazla olduğu durumlarda kurutma işlemi de zorlaşır. Kurutmanın sürdürülebilirliği açısından istenilen şartlara uygun olarak, hızlı bir şekilde yapılması çok önemlidir. Ayrıca, nem yönünden fakir (kuru) hava daha çabuk ısınmaktadır. Öte yandan, kurutma fırını havası içerisinde belli oranda bağıl nemin bulunması koruyucu bir kurutmanın uygulanması için önemlidir. Kurutma kusurlarına engel olunması ve iç tabakalardan dış tabakalara doğru uygun rutubet düşüşünün oluşması için kurutmanın her safhasında yeterli bağıl nemin sağlanmasına gereksinim duyulmaktadır.

Çizelge 8.2. Sıcaklık ve doyma yüzdesine bağlı olarak 1m³ havada gram olarak bulunan nem miktarı (g nem/m³ hava) [151]

Hava Sıcaklığı (°C)	Doyma Yüzdesi														
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100 %
	1m ³ havada gram olarak bulunan nem miktarı (g nem/m ³ hava)														
-7	0,864	1,01	1,161	1,334	1,445	1,574	1,715	1,877	2,047	2,184	2,322	2,457	2,592	2,714	2,835
-1	1,35	1,58	1,809	2,025	2,268	2,484	2,7	2,943	3,159	3,389	3,618	3,821	4,023	4,239	4,455
10	2,835	3,348	3,78	4,266	4,752	5,211	5,724	6,21	6,642	7,142	7,641	8,087	8,532	8,978	9,423
20	5,292	6,156	7,02	7,668	8,802	9,612	8,613	11,45	12,29	13,2	14,12	14,94	15,77	16,05	16,34
25	6,966	8,154	9,234	10,31	11,69	12,77	13,85	15,2	16,31	17,52	18,74	19,83	20,93	22,01	23,09
35	12,15	14,18	16,2	18,23	20,25	22,28	24,3	26,33	28,35	30,38	32,4	34,43	36,45	38,48	40,5
60	39,61	46,22	52,81	59,43	66,02	72,6	79,22	85,81	92,5	99,06	105,6	112,2	118,8	125,4	132
71,1	63,02	73,52	84,02	94,53	105	115,5	126	136,5	147	157,5	168	178,6	189,1	199,6	210,1
87,8	118,3	138	157,7	177,4	197,1	216,8	236,5	256,2	275,9	295,7	315,4	335,1	354,8	374,5	394,2
93,3	144,5	168,5	192,6	216,6	240,7	264,8	288,9	312,9	337	361	385	409,2	433,4	457,4	481,4

Yüksek kurutma hızları, kurutma havasındaki nem miktarının minimum olması halinde elde edilir. Herhangi bir kuru termometre sıcaklığındaki hava içindeki nem miktarının artması, bu havanın ilave su buharı tutma kapasitesinde azalma oluşturur. Bu durum malzeme yüzeyinden buharlaşma miktarını azaltacak yönde etki de yapar. Bu etkiler, düşük hava sıcaklıklarında ve havadaki nem miktarını doyma noktası

yakınlarına ulaştığı durumlarda oldukça önem kazanır, ama sıcaklık yükselmesiyle bu etkiler zayıflamaya başlar. Sıcaklık arttıkça havanın nem taşıma kabiliyeti de artar [150]. Sıcaklığa bağlı olarak hava ile taşınabilecek en fazla su buharı miktarı (g/kg kuru hava) Çizelge 8.2’de görülmektedir. Çizelge sadeleştirilmiş halde sunulmuştur. Çizelgenin tamamı “Ekler” bölümünde yer almaktadır.

8.1.3. Hava akış hızının etkisi

Islak yüzeyden buharlaşma hızı, suya, ısı akışına ve nemli yüzeydeki düzgün tabaka yoluyla yayılan buhar miktarına bağlıdır. Yüzey üzerinden geçen yüksek akış hızına sahip hava akımı, bu düzgün tabakanın kalınlığını azaltıcı yönde etki eder. Isı transferinin ve aynı zamanda buharlaşma hızının artmasını sağlar. Hava akımının türbülanslı olması da buharlaşma miktarını artırır [150]. Hava hareketinin düşük olması halinde ise, yüzeyde biriken su buharı zamanında uzaklaştırılamamakta ve iç tabakadan dış tabakalara doğru olan su hareketi engellenmektedir.

8.2. Ürünlerde Kurutma Süresi

Kurutma süresi birçok faktöre bağlıdır ve bu faktörler hiçbir zaman tam olarak hesaplanamamaktadır. Bunlardan en önemlileri; ürünün türü (yoğunluk), ürünün rutubeti, ürünün kalınlığı, kurutma sıcaklığı, hava hareket hızı, kurutma fırınının yapısı ve kurutma yöntemidir. Kurutma süresi büyük oranda kısalmaktadır. Doğal koşullarda 1-2 hafta süren kurutma, kurutucularda, 5-24 saate inebilmektedir.

8.2.1. Ürünün türü (Yoğunluk)

Yoğunluk arttıkça kurutma güçleşmekte ve kurutma süresi uzamaktadır. Ürünün türünün kabuklu, kabuksuz, mevsimsel, tropik, sert, yumuşak vb özelliklere sahip olmasına göre de kurutma hava hızı ve kurutma sıcaklığı farklılık göstermektedir. Dolayısıyla ürünlerin farklı iç ve dış yapıları nedeniyle kurutma süresi etkilenmektedir.

8.2.2. Ürünün rutubeti

Havanın nisbi nemi, kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin eder. Başlangıç rutubeti ne kadar yüksek, sonuç rutubeti ne kadar düşükse kurutma süresi o kadar uzun olmaktadır. Kurutulan ürünün nem oranı kurutulan ürüne göre değişiklik göstermekle beraber % 10 civarında olmalıdır. Nem oranı % 10'un altında olduğunda kullanım sırasında su çekme özelliği değişir ve sert bir yapı oluşturur. Ancak bu oran % 10'un üstünde olduğu zaman ise depolama süresi kısalarak mikroorganizmaların üremesi söz konusudur. Ambalajlama sırasında da kurutulmuş sebzelerin nem miktarı olabildiğince az olması gerekir.

8.2.3. Ürünün boyutları

Kuruma hızı, parçacıkların kalınlıklarıyla ters, yüzey alanıyla doğru orantılıdır. Ürünlerin parçacıklar halinde kurutulması, kuruma süresinin hızlandırılması açısından önem arz etmekle beraber bu her zaman mümkün olmayabilir. Tüketicilerin istekleri doğrultusunda bazı ürünlerin bütün halde kurutulması gerektiği gibi bazı ürünlerin de belli bir irilikte kurutulması gerektiğinde kurutma süresi uzayabilmektedir.

8.2.4. Kurutma sıcaklığı

Kurutma cihazı iki önemli amaca hizmet etmeli, kurutulacak ürünlerdeki suyu buharlaştırmak ve sonrasında ise bu buharı ortamdan uzaklaştırmaktır. Bunun gerçekleşebilmesi için buharlaşma ısısının sağlanması gerekir ki, bu da normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak 1 kg su için 2 470 kJ'dür. Ürünün sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olmaktadır. Ortamdaki sıcaklık artışı iç kısımlardan yüzeylere su akışını artırmakta ve hızlandırmaktadır. Kurutmada kurutma sıcaklığı, kurutulacak ürüne göre farklılık göstermekle beraber ideal kurutma havası sıcaklığı 50 °C olarak kabul edilebilir. Aşağıda kurutma sıcaklığının kurutmaya olan etkilerine ilişkin örneklere yer verilmiştir.

Doğantan ve Tuncer (1989), yaptıkları çalışmada, laboratuvar tipi bir kurutucuda, Kahramanmaraş kırmızıbiberi için kurutma havası sıcaklığının en fazla 60 °C olması gerektiği, 65 °C’de ise biberde yanma olacağını belirlemiştir. Ayrıca optimum hava akım hızının 0.5 m/s olması gerektiğini vurgulamıştır [152]. Sittiphong ve ark. (1989), kabuklu ve kabuksuz soya fasulyeleri ile fındıkların kurutulmasında, kurutma hava sıcaklığı artışının, hava hız artışından daha fazla kurutma hızını artırdığını belirtmiştir. 0.18 m/s hava hızında, fındıkların kuruma zamanı, 40 °C kurutma hava sıcaklığında 17 saat iken, bu süre 60 °C kurutma havası sıcaklığında 9 saate kadar inmiştir [153]. Sarsavadia ve ark (1999), soğanın kurutma havası sıcaklığının 65 °C’nin üzerine çıkması kalitede azalmaya neden olmaktadır. Kurutma havası hızının hem kuruma davranışına hem de kaliteye önemli etkisi yoktur. Hava hızının 0.5 m/s’nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değerin üzerine çıkılmamıştır. Bununla beraber 0.1 m/s’nin altındaki hava hızları kurutma süresini önemli düzeyde etkiler [154]. 21 kg mantar güneşte kurutma 3-5 günde, güneşli tünel kurutucuda 2-3 günde olmasına rağmen güneş-biyokütle melez tünel kurutma makinesinde 12 saatte nem içeriği % 91.4’den % 9.8’e düşürülmüştür [155].

8.2.5. Hava hareket hızı

Genel kanı hava hareket hızı arttıkça kuruma hızının artacağı olmakla beraber bu, daha çok kurutma başlangıcında faydalı olmaktadır. Kurutmada, ideal kurutma hava hızı 0.5-1 m/s olması ve hava hızında alt sınır olan 0.3 m/s’nin altına düşülmemesi tavsiye edilir.

8.2.6. Kurutma fırınının yapısı

Kurutma fırınının yapı tarzı, ısıtma şekli, nemlendirme düzeni, izolasyonu, vantilatörlerin yeri ve havalandırma gibi teknik donanımın kurutma süresi üzerine dolaylı etkisi bulunmaktadır. Kurutma fırınının yapısı, kurutulan ürüne göre dizayn edilmelidir.

8.2.7. Kurutma yöntemi

Kurutma için kullanılan her yöntemin kendine özgü kurutma süreleri vardır. Örneğin; vakumlu kurutmada süre kısa olurken kondenzasyon ile kurutmada süre oldukça uzundur. Kurutma sistemi seçimi kurutulacak ürüne göre yapılır. Birim zamanda kurutulacak ürün miktarı ve ürünün başlangıç ve son nem değerleri sistem seçimini etkileyen önemli hususlardır. Günümüzde kullanılan kurutma sistemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

İletim ile kurutma

İletim ile kurutma sistemleri genel olarak kağıt ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. İletim ile kurutmada; yüksek kurutma hızı, sabit bir ısı ve kütle transferi koşulları sağlanamaz, ağ boyunca zayıf bir nem profili oluşur, sistem istenildiği gibi kontrol edilemez, işletilmesi genelde pahalıdır, makine etrafında istenmeyen çalışma koşulları oluşur [143].

Taşıyım ile kurutma

Hemen hemen bütün kurutucularda taşıyım ile kurutma işlemi gerçekleşmektedir. Hava ya da başka bir gazın ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığı ve bu akışkanın sistemde dolaştırıldığı kurutma sistemleri, taşıyım ile yapılan kurutma sistemleridir. Tünel kurutucular (ürünün hareket ettiği hava akışlı), kabinli ve bölmeli kurutucular (tepsilere sererek sıcak havanın ürün üzerine gönderildiği) ve döner kurutucular (ürünün sıcak hava akımı içerisine gönderildiği), taşıyım ile yapılan kurutma işleminde kullanılan kurutma tipleridir [101].

Sprey kurutucular

Sprey kurutucular, süttozu, kahve, sabun ve deterjan kurutulmasında kullanılmaktadır. Kuruma süresinin kısa olduğu (5-15 saniye), gaz sıcaklığının 93 °C ile 760 °C arasında değiştiği kurutma tekniğidir. Sistemde egzoz havası içerisindeki

malzeme parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır [101].

Akışkan yataklı kurutma

Akışkan yataklı kurutma sistemlerinde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar. Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere örnek olarak kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler verilebilir [101].

Alevli (Flaş) kurutma

Alevli (flaş) kurutma sistemlerinde düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisine yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir. Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulmaktadır [143].

Dondurarak kurutma

Dondurmalı (şoklama) kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, asılar, deniz ürünleri vb. ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırıcı veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında - 40 °C ile -10 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur [101].

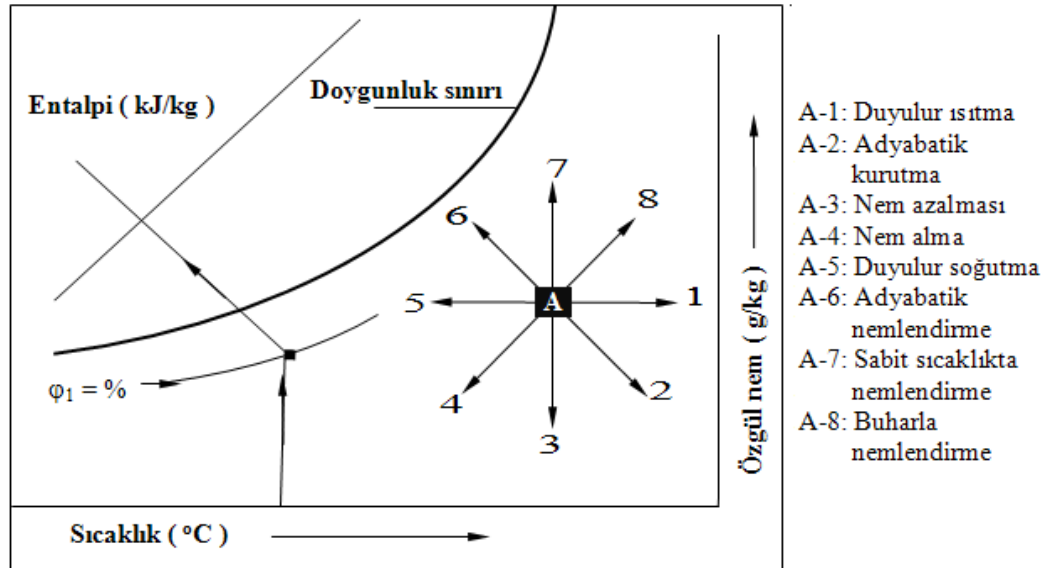
Kızılötesi ışınlı kurutma

Isıl ışınlı, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Kızılötesi, sadece bir

malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince tabakaların kurutulması için uygundur [143].

8.3. Fırında Kurutmanın Psikometrik Seyri

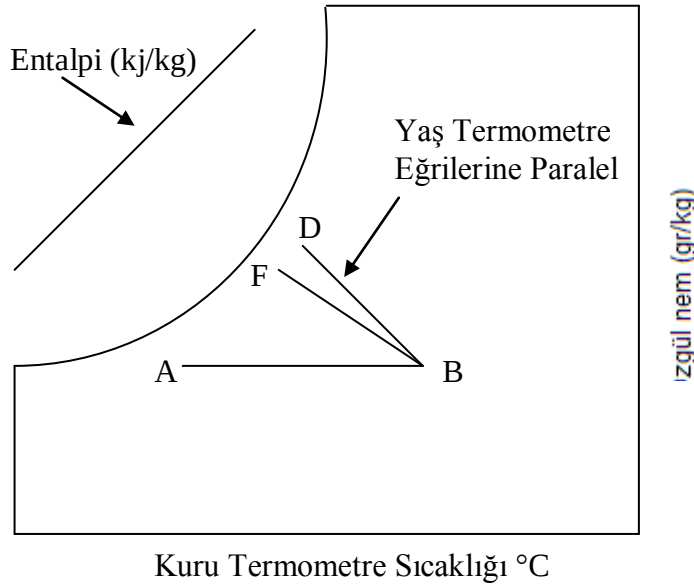
Fırında kurutmanın psikometrik seyri incelenmeden önce psikometrik diyagram ve anlattığı ifadeleri bir bütün içerisinde tek seferde sunmak konuyu daha anlaşılır kılacaktır. Psikometrik diyagram ve üzerindeki işlemler Şekil 8.1’de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. Psikometrik diyagram ve üzerindeki işlemler

Isıtma işleminden önce dış havanın (dışarıdan alınıp ısıtıldıktan sonra fırına gönderilecek hava) mutlak ve bağıl nemi ile sıcaklığı bilinmektedir (Meteoroloji Müdürlüğü’nden alınabilir). Şekil 8.2’de (A) noktasındaki hava, dış hava şartlarını belirlemektedir. Bu şartlar yılın mevsimine, aylarına hatta günlerine göre değişmektedir. Dışarıdan belirli şartlarda alınan hava (A noktası şartlarında) ısıtıldıktan sonra kurutma fırınına gönderilir. (A) noktasındaki hava ısıtıldığında, kuru termometre sıcaklığı ve ısı tutumu artarak (B) noktasına ulaşır. Çeşitli ısıtma cihaz ve sistemleri ile ısıtılan hava, kurutma işlemini yapmak üzere fırına gönderilir. Sıcak hava, fırında kurutulacak malzeme ile temas ettiğinden, ürünün nemini alarak

nemi yükselir aynı zamanda kuru termometre sıcaklığı düşer. Havanın fırından çıkışı, entalpi sabit alınmak suretiyle (D noktası) ile belirlenmiştir. Havanın mutlak ve bağıl nemlilik derecesi ile doyma yüzdesi yükselmiştir. Buna karşılık ürünlerdeki su, buharlaştığından havanın sıcaklığı düşmesine rağmen entalpisi sabittir. (B) noktasından (D) noktasına gelirken ürünün sıcaklığının sabit olduğu ve fırından ısı kayıplarının olmadığı kabul edilmiştir, ancak bu durumun uygulamada gerçekleşmesi mümkün değildir. Ürünün sıcaklığının sabit olduğu kabul edilse bile fırından ısı kayıpları olacağından (B) noktasından (D) noktasına değil (F) noktasına gelinir ve havanın entalpisi düşer. Bu düşme miktarı fırının izolasyonuna bağlıdır [150].



Şekil 8.2. Fırında kurutmanın psikometrik seyri [150]

8.4. Ürünlerin Yapay Kurutulması

Kurutma sektörü, son yıllarda önemli atılım yapan bir sektördür. Kurutulmuş sebzelerin hazır çorba, bebek maması, hazır yemek katkı tozları gibi üretim yapan şirketler tarafından gerek yurtiçinden gerekse yurtdışından, özellikle Avrupa ülkelerinden, yoğun şekilde talep edilmektedir. Talep artışının başlıca sebebi kurutulmuş gıdaların, uzun süre dayanıklılığını korumasıdır.

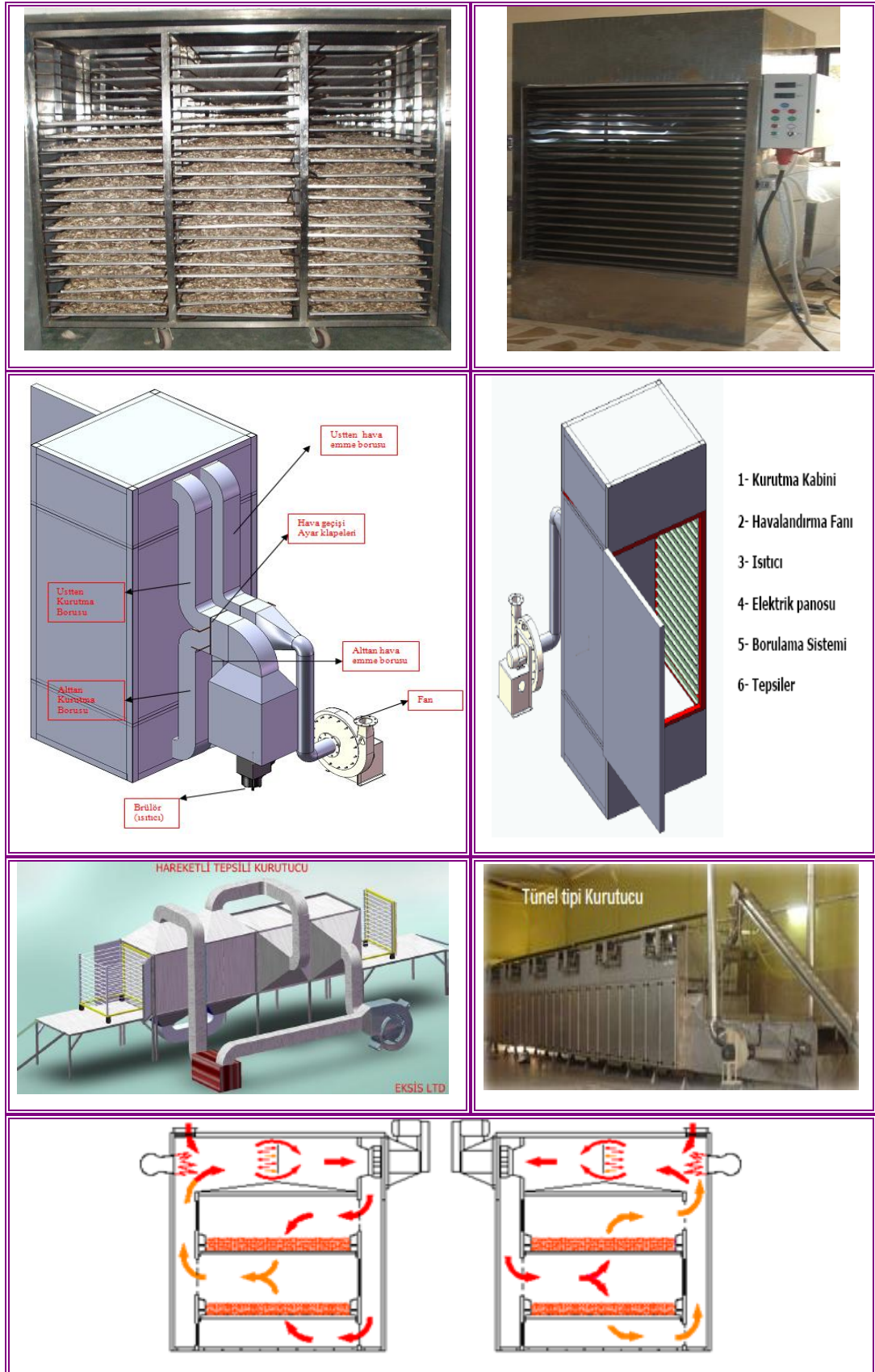
Yaygın olarak uygulamada yaklaşık 50 tip kurutma tipi olmasına rağmen 400'den fazla kurutucu tipine teknik literatürde atıf yapılmıştır [149]. Günümüzde kurutma işlemleri genel olarak sıcak hava kullanılarak yapılmaktadır. Elektrikli ısıtıcılar kullanılan klasik kurutucular, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerjili kurutucular ve güneş destekli ısı pompalı kurutucular sıcak hava kullanarak kurutma yapan sistemler olarak sayılabilir. Bunun yanında vakum kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma işlemleri de kullanılmaktadır. Çizelge 8.3'de sıcak havalı kurutma ile diğer kurutma işlemlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 8.3. Kurutma işlemlerinin karşılaştırılması [149]

Kurutma İşlemi	Şekil ve Doku	Lezzet ve Renk	Sağlık Beslenme İçeriği	Hijyenik İçeriği	Maliyet
Sıcak Havalı Kurutma	Fazla büzülme	İlk aşamada iyi sonra çok kötü	İlk aşamada iyi sonra çok kötü	Çok kötü	Düşük
Vakum Kurutma	Normal büzülme	İlk aşamada iyi sonra çok kötü	İlk aşamada iyi sonra kötü	Kötü	Pahalı
Mikrodalga Kurutma	Büzülme	Kötü	Termal bozulma	Kötü	Çok pahalı
Dondurarak Kurutma	En iyi	Kötü	Çok iyi	Kötü	Aşırı pahalı

8.4.1. Klasik kurutma

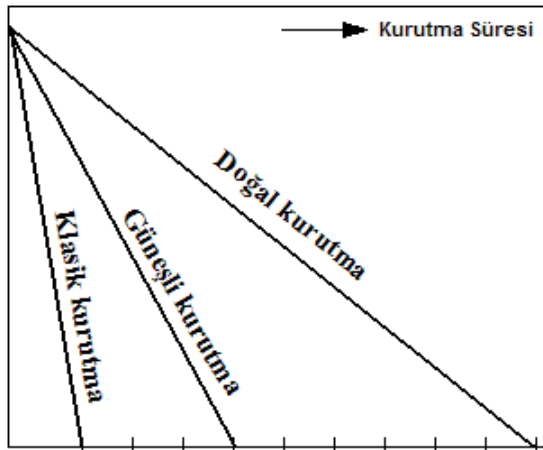
Klasik kurutma, genellikle içerisine elektrikli ısıtıcılar yerleştirilmiş kurutma odaları veya kurutma dolaplarında yapılan sıcak havalı kurutma şeklindedir. Kurulumunun basit, kuruluş maliyetinin görece düşük ve kurutma süresinin kısa olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak enerji girdi maliyetleri açısından oldukça pahalı sistemlerdir. Klasik kurutma yapan cihazlara ait bazı örnekler Şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Çeşitli klasik kurutma cihazları [148,156]

8.4.2. Güneş enerjisi ile kurutma

Enerji maliyetlerinin giderek artması neticesinde diğer alanlarda olduğu gibi kurutma alanında da güneş enerjisini (GE) kullanma olanakları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Güneş enerjili sistemlerle tarımsal ürünlerin ve orman ürünlerinin kurutulması diğer alanlara göre daha uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Tarım ürünlerinin yaz aylarında yetişmesi ve kurutma sürecinin güneş radyasyonunun maksimum olduğu dönemlere denk gelmesi bu enerji kaynağını kurutma işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Güneşli kurutmanın doğal kurutma ve diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması Şekil 8.4’de görülmektedir. Güneşli kurutma doğal kurutmaya göre çok daha hızlı iken klasik kurutmaya (genelde elektrikli ısıtıcı kullanan sistemler) göre ise yavaştır. Güneşli kurutmanın klasik kurutmaya göre dezavantajlı olduğu söylenebilir ancak kullanılan enerjinin maliyeti dikkate alındığında olumsuz bir faktör olarak değerlendirilmeyebilir. Bu dezavantaj güneş enerjisinin jeotermal enerji ile birlikte kullanılmasıyla giderilebilir. Veyahut da özellikle Yunanistan’da örnekleri olduğu gibi sadece jeotermal enerjinin kullanıldığı kurutma tesisleri kurulabilir.



Şekil 8.4. Farklı kurutma metodlarının kuruma sürelerinin karşılaştırılması

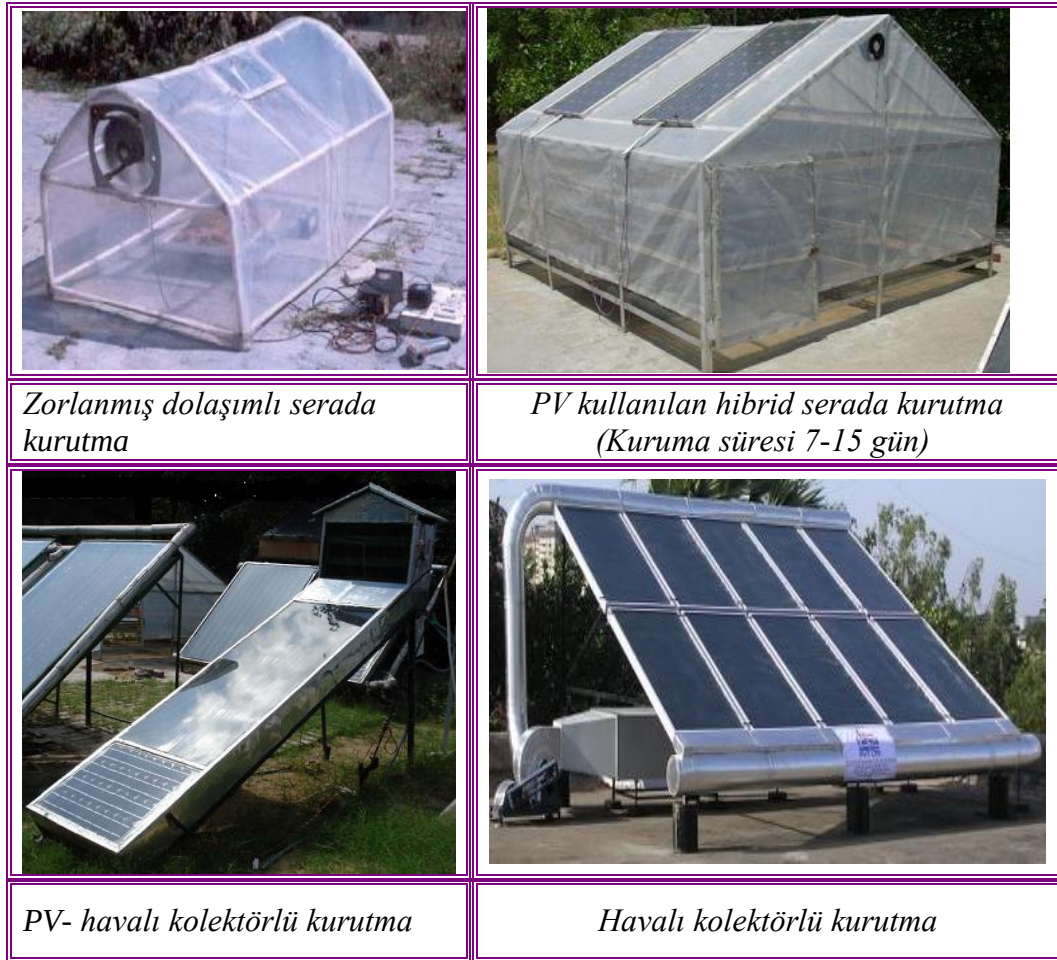
Bugüne kadar güneş enerjisinin kullanımının yeterince yaygınlaşmamasının ana nedeni bu kaynağın sürekli bir enerji kaynağı olmaması ve genellikle uygulamalarda ek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu durum oldukça karmaşık otomatik

kontrol mekanizmalarını gerektirmekte ve GE sistemlerini ek bir yatırım haline sokmaktadır. Tamamen GE'ye dayalı bir sistem düşünüldüğünde enerjinin depolanması zorunlu olmaktadır. Havanın sürekli bulutlu olduğu maksimum süreler hesaplanarak, en az bu sürede tüm enerji gereksinimini karşılayacak bir depo tasarlanabilir. Ancak böyle bir deponun boyutları çok büyük olmakta, otomatik kontrol mekanizmalarının da eklenmesi ile sistem, ekonomikliğini tümüyle yitirmektedir. Bu olumsuz durumu önleyecek çözümler bulunabilir [150].

Kurutmada yararlanma çeşidine göre GE'den üç farklı yöntem ile faydalanılabilir. Bunlar;

- a. GE sisteminin toplayıcısında toplanan enerjinin, tüketilen enerjiye eşit olduğu, yani kurutma için yeterli olduğu durumlarda doğrudan enerji tüketim ortamına aktarılması (doğrudan kullanım) halinde uygulanır.
- b. GE toplanabildiği kadarıyla bir ısı deposuna aktarılmakta ve gerektiğinde kurutma sisteminde tüketilen enerji bu depodan sağlanmaktadır (dolaylı kullanım). Kurutma sıcaklığının yüksek olmadığı durumlarda ve kurutmanın güneş enerjisinin verimli olmadığı sürelerde de (örneğin gece ve bulutlu dönemlerde) devam etmesi istendiğinde bu yöntem seçilmektedir.
- c. Toplanan GE'nin bir kısmının doğrudan kullanıldığı, ihtiyaçtan fazlasının depolanarak, GE'nin verimli olmadığı dönemlerde kullanıldığı sistemdir. (doğrudan ve dolaylı kullanım).

GE'li fırınların işletme sıcaklığı, pahalı özel güneş kolektörleri kullanılmadıkça 55 °C'dir. GE'li fırınların nispeten küçük, basit ve pahalı olmayan fırınlar olması ve bu teknolojinin küçük boyuttaki işletmeler için elverişli olması avantaj sağlamaktadır. GE'li direkt güneş enerjisini toplayarak (salar) ya da endirekt güneş enerjisini toplayarak işletilebilir. Güneş enerjili fırınlar sadece güneş enerjisi ile işletilebildiği gibi ek enerji kaynağı veya sistemleri ile de işletilebilir. Bu bağlamda dört tip güneş enerjili fırından bahsedilebilir [150].



Şekil 8.5. Farklı tiplerde güneş enerjili kurutma sistemleri [157]

GE'li kurutma sistemlerinde, kurutulacak ürünün cinsine göre direkt veya endirekt kurutucular kullanılır. Direkt kurutucularda; ürün direkt olarak güneş ışınlarına maruz bırakılır. Direkt kurutucularda ürüne ısı transferi taşınım ve radyasyon ile gerçekleşir. Endirekt kurutucularda ise; ürün izolasyon korumalı kapalı bir kurutma odasında ısıya maruz bırakılır.

Kurutucu tipinin seçiminde farklı kıstaslar gözetilerek karar verilir. Örneğin; kurutucu seçiminde kurutulan ürünün özellikleri dikkate alınmalıdır. Güneş ışığı etkisi altında kalmak kurutulan ürünün (üzüm ve hurma) renk oluşumu için gereklidir. Bazı meyvelerin kurutulmasında ise güneş ışığı etkisi altında kalmak "C" vitamini miktarını azaltmakta veya renk oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Direkt Toplamalı veya Seralar

- a. Kurutma havasının ısıtılmasında sadece GE'nin kullanıldığı fırınlar; büyük ölçüde gündüzleri kullanılır ve fırın içerisindeki sıcaklık ve bağıl değerleri günden güne değişir.
- b. GE ile birlikte başka enerji kaynağının da kullanıldığı fırınlar; tasarlanan kurutma programı takip edilebilir ve fırın izolasyonunda kullanılan saydam örtünün yalıtım kabiliyeti az olduğundan geceleri büyük ölçüde sıcaklık düşer.

Endirekt Toplamalı veya Yalıtılmış Odalarda Kurutma

- a. Kurutma havasının ısıtılmasında sadece güneş enerjisinin kullanıldığı fırınlar; enerjinin depolanmasıyla gündüz sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin değişimi azaltılabilir ve geceleri daha az ısı kaybolur.
- b. GE ile birlikte başka enerji kaynağının da kullanıldığı fırınlar; planlanan kurutma yapılabilir ve geceleyin kaybolan ısı en aza indirgenir.

8.4.3. Isı pompası sistemiyle kurutma

Isı pompalı kurutucuların avantajları ve sınırlamaları aşağıdaki gibidir [158].

Avantajları;

* Ürün ihtiyaçlarını karşılamada kontrollü sıcaklık profili ile daha yüksek enerji verimliliği

* -20°C ile 100°C arasında (yardımcı ısıtmalı) tipik olarak kurutma koşulları geniş bir yelpazede mümkündür.

* Ürünlerin istikrarlı üretimi

* Yüksek değerli ürünler için çevrenin çok iyi bir kontrolü ve düşük değerli ürünler için düşük elektrik tüketimi.

* Yüksek değer ve düşük değerli her iki ürün için uygundur.

* Aseptik işleme mümkündür.

Sınırlamaları;

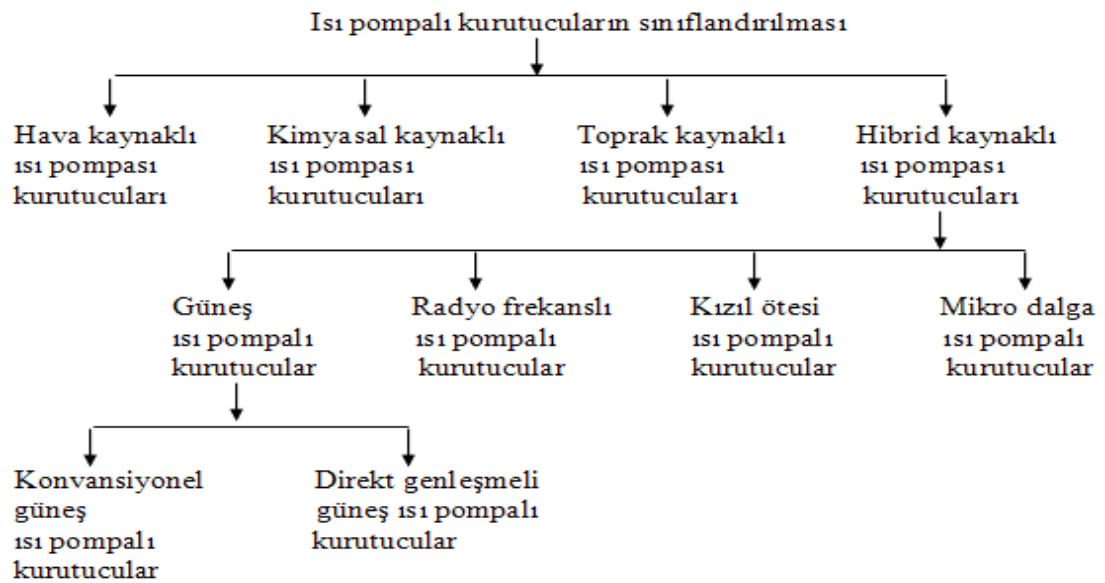
* Yüksek sıcaklıktaki kurutma için yardımcı ısıtma gerekli olabilir.

* Soğutucu bileşenlerine bağlı olarak ilk yatırım maliyeti yüksek olabilir.

* İstenilen kurutma koşullarını elde edebilmek için sistemin kararlı bir duruma gelebilmesi süre gerektirir.

* Bileşenlerin düzenli bakımı gereklidir.

Isı pompalı kurutucular kullanım amaçlarına göre belli başlı sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 8.6'da verilmektedir.



Şekil 8.6. Isı pompalı kurutucuların sınıflandırılması [159]

Isı pompalı kurutma sistemleri ile kurutulan ürünler ve sonuçları Çizelge 8.4'te verilmektedir.

Çizelge 8.4. Isı pompalı kurutma ile kurutulan ürünler ve sonuçları [159]

Ürün	Yer	Sonuçlar	Kaynak
Tahıl	Avustralya	Kurutma sırasında daha iyi bir performans sergilenmiştir.	Theerakulpisut, 1990 [75]
Tahıllar	Güney Afrika	Isı pompalı kurutucu diğer kurutuculardan daha ekonomik.	Meyer, ve Greyvenstein, 1992 [73]
Kağıt	Yunanistan	-----	Nassikas ve ark. 1992 [160]
Soğan	Brezilya	Daha kaliteli bir üretim ve % 30 enerji tasarrufu sağlanmıştır.	Rossi ve ark. 1992 [74]
Fındık	Avustralya	-----	Mason ve Blarcom, 1993 [161]
Balık	Norveç	Isı pompalı kurutucu büyük avantaj ve yüksek kalitede kurutma sağlamıştır.	Strommen ve Kramer 1994 [76]
Kereste	Yeni Zelanda	-----	Carrington ve ark. 1996; Sun ve ark. 1996 [162,163]
Muz	Tayland	Geliştirilen ısı pompalı kurutucu yüksek nemli ürünler için ekonomik olarak uygulanabilir.	Prasertsan ve ark. 1997; Prasertsan ve Saen-saby, 1998 [80,81]
Elma	Yeni Zelanda	Hava kaynaklı ısı pompalı kurutucu yapısı itibariyle yüksek seviyede kurutulmuş ürün üretebilir.	O'Neill ve ark. 1998 [164]
-----	Norveç	Hidrokarbon ve doğal çalışma sıvılarıyla önemli miktarda enerji tasarruf edilebilir. Birkaç soğutucu gaz ile performans karşılaştırıldığında 30-80 °C'de amonyak en uygunudur.	Strommen ve ark. 1999 [165]
Tarım ve deniz ürünleri	Singapur	Kurutma şartlarına göre tasarlandığında kaliteli ürün elde edilebilir.	Chou ve ark. 1998, 2001; Chua ve ark. 2000 [83,166,167]
Papaya ve mango	Tayland	IP'lı kurutucuyla ile meyve kurutmanın matematiksel modeli geliştirilmiş ve deneysel olarak onaylanmıştır. Optimum şartlar araştırılmıştır. Ekserji ve enerji analizleri yapılmıştır.	Teeboonma ve ark. 2003 [89]

Çizelge 8.4. (Devam) Isı pompalı kurutma ile kurutulan ürünler ve sonuçları [159]

Yün	Türkiye	SMER 0.65-1.75 kg/kWh, COP 2.47-3.95.	Oktay ve ark. 2003 [168]
Mango	Brezilya	Bir elektrik resistanslı kurutucu ile karşılaştırıldığında enerji verimliliğinin çok iyi olduğu görülmüştür.	Kohayakawa ve ark. 2004 [169]
Elma, guava ve patates	Singapur	Tasarlanan ısı pompalı kurutucu ile ürünler daha iyi fiziksel özellikler göstermiştir.	Hawlader ve ark. 2006 [170]
Erik	İran	Erikler için optimum kurutma sıcaklığı 70-80 °C’de geleneksel tipe göre daha enerji tasarruflu bir kurutucu dizayn edilmiştir.	Chegini ve ark. 2007 [171]
Sarımsak ve beyaz dut	Tayland	Bilgisayar simülasyon modeli deneysel sonuçlarla uyumuştur.	Phoungchandang ve ark. 2009 [172]
Kereste (kavak ve çam)	Türkiye	Kavak keresteleri 40°C ve 0.8 m/s hava hızında 0.15 kg su/kg kuru maddeye kadar 70 saatte, çam keresteleri ise aynı nem miktarına kadar 50 saatte kurutulmuştur. Sistemin ısıtma tesir katsayısı ortalama 1.86’dır.	Ceylan 2007 [99]
Elma	Türkiye	İki kurutucunun kombinasyonu olan bir sistemin daha verimli olduğu vurgulanmıştır.	Aktaş ve ark. 2009 [94]

8.4.4. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemiyle kurutma

Enerji, yaşam kalitesinin artırılmasında ve ulusların gelişmesinde hayati öneme sahiptir. Bu nedenle bugün gelinen nokta itibariyle yeterli, güvenilir ve çevreye karşı sorumlu olarak enerjinin sağlanması gerekmektedir. Enerjinin pahalı ve zahmetli olduğu günümüzde alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Bununla birlikte mevcut enerji kaynaklarının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı kombinasyonlar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birisi de güneş enerjisi sisteminin ve ısı pompası sisteminin birlikte kullanılmasıyla sıcak hava üretilmesidir.

GE sistemlerinin ısı pompalarıyla birlikte kullanılmasıyla kurutma fırınlarının enerji

ihtiyacı daha kolay ve daha ekonomik bir şekilde sağlanmaktadır. Ayrıca, GDIP sistemiyle kurutma yapılması ile kurutma hızı ve kalitesi yükselir. Bu tür sistemlerin avantajı sistemde nemli kurutma havasının dışarı atılmayıp ısı pompasının evaporatöründe veya evaporatör vasıtasıyla farklı şekilde hava neminin yoğunlaştırılmasına imkân vermesidir. Böylece, yoğunlaşma sırasında yoğunlaşma gizli ısı ısı pompasının kondenserinde tekrar kurutma ısısı olarak kullanılabilir. Gece veya güneş ısısından yararlanılamadığı zamanlarda güneş enerjisi sistemi devreden çıkar. Güneş enerjisi sistemi devreden çıkmasıyla ısı pompası devreye girer ve kurutmaya devam eder.

Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisi ya doğrudan kurutma fırınında kullanılır ya bir kısmı doğrudan kullanılırken bir kısmı da ısı pompasına ısı sağlayıcı olarak kullanılır veya da tamamı ısı pompasına ısı sağlayıcı olarak kullanılır. Güneş kolektörleri vasıtasıyla suya aktarılan ısı enerjisi, kurutma fırınına aktarıldıktan sonra bir devirdaim pompası yardımıyla tekrar güneşten enerji almak üzere kolektörlere yönlendirilir.

Isı pompası sistemlerinin kurutma işlemlerinde kullanılması havadan-havaya ve havadan-suya ısı geçişi şeklinde olmaktadır. Kurutma fırınlarında, nemli ve sıcak hava ısı pompasının önce buharlaştırıcısı üzerinden geçerek çiy noktası altına kadar soğumakta, bu esnada içerisindeki su buharı yoğunlaşarak su haline gelmekte ve fırından atılmaktadır. Öte yandan, sıcak ve nemli hava, buharlaştırıcıdan geçerken ısı pompası içerisindeki soğutkanın buharlaşmasını sağlayan ısıyı bırakmaktadır. Buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan buharlaşırken akışkandan buharlaşma gizli ısını çekerek. Çekilen bu gizli ısı tekrar soğutucu akışkanla yoğunlaştırucuya gider. Sistem havasından ısı çekerek buharlaşan soğutucu akışkan, kompresör tarafından emilerek sıkıştırılır. Basınç yükselmesi ile sıcaklık artmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki soğutkan kompresörden yoğunlaştırucuya iletilmektedir. Buharlaştırıcıdan geçerek soğumuş ve kurumuş (nemi azalmış) olan hava, yoğunlaştırucu üzerinden geçerek tekrar ısınmaktadır. Yoğunlaştırucuda ısınan hava, kurutulacak ürün üzerine gönderilmektedir. Bu arada, buharlaştırıcıda kurutma havasından çekilen buharlaşma gizli ısı, yoğunlaştırucudan yine kurutma havasına yoğunlaşma gizli ısı olarak atılır.

Bu şekilde sistemde ısı geri kazanılmış olur. Kuru, sıcaklığı yüksek ve nem oranı düşük olan hava, kurutma fırınında ürüne ısı verip üründen bünyesine nem çekerek düşük sıcaklık ve yüksek nemde tekrar buharlaştırıcıya gelir. Bu şekilde sistem bir döngü oluşturur.

Güneş destekli ısı pompalı kurutma sistemlerinin avantajları şöyledir [159];

- * Doğrudan ısıtma ve depolama için daha iyi sistem verimliliği ve enerji tasarrufu elde edilir.
- * Özel üretim ihtiyaçlarını karşılamak için kontrollü kurutma koşulu ile daha iyi ürün kalitesi elde edilir.
- * Kolay kontrol stratejisi uygulamaktır.
- * Isı pompası kurutma sistemiyle karşılaştırıldığında daha yüksek işletme kurutma sıcaklığı sağlar.
- * Isı pompaları konvansiyonel ısıtma sistemlerinden daha az birincil enerji tüketir.
- * Çevreye zarar veren emisyonları azaltmak için önemli bir teknolojidir.

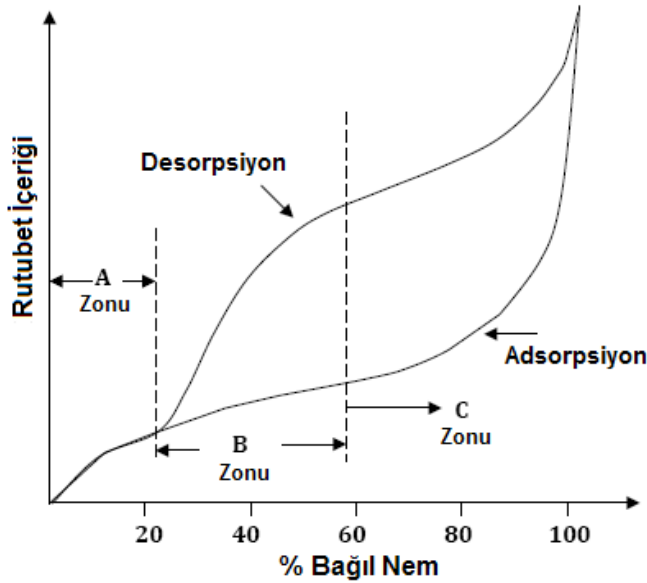
Dezavantajları ise şöyledir;

- * Yüksek maliyetlidir,
- * Gün boyunca elde edilen güneş enerjisi miktarı önemli ölçüde değişiklik gösterebilir.

8.5. Denge Nemi

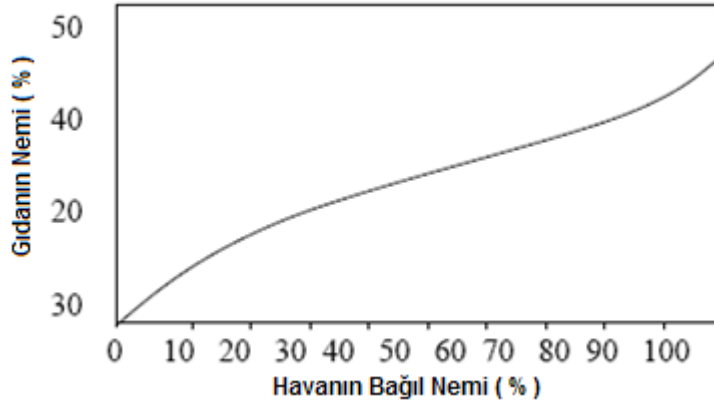
Her ürünün belli şartlarda ulaştığı denge nemi farklıdır ve kendine özgüdür. Ürün belli bir sıcaklık derecesinde farklı bağıl nem şartlarında tutularak dengeye ulaşması

sağlanır, bu esnada ürünün nem içeriği ile çevre havasının bağıl nemi arasındaki ilişkiye “sorpsiyon izotermi” denir. Ürünün sorpsiyon izotermine belirlenmesi için uygulanan en basit yöntem, ürün, bağıl nemi sabit kalabilen kavanozlarda belli sıcaklıkta, dengeye erişene kadar tutulduğu yöntemidir. Yaş gıdanın nemini vermesi (desorpsiyon), kuru gıdanın nem alması (adsorpsiyon) olarak adlandırılmaktadır. Tipik desorpsiyon ve adsorpsiyon olayları Şekil 8.7’de gösterilmektedir. Burada üç ayrı bölge ile karakterize edilmiş tipik sorpsiyon izotermine genel şekli görülmektedir. A, B ve C farklı su tutma mekanizmaları göstergesidir. A bölgesinde su buharının tek tabakalı adsorpsiyon var ancak adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi arasında hiçbir ayrım yok. B bölgesinde su daha gevşek bağlıdır. C bölgesinde su daha büyük kılcallarda daha gevşek tutulur.



Şekil 8.7. Tipik sorpsiyon izoterm [149]

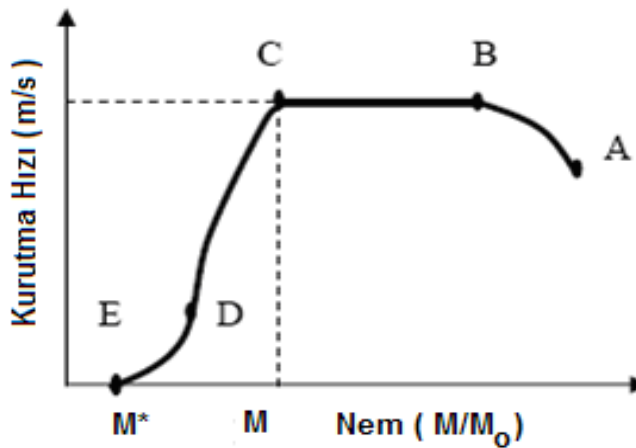
Kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile bunların depolanma koşullarını ortaya koyma açısından önemli olan adsorpsiyon izotermi, kuru ürünün değişik bağıl nemli ortamlarda tutularak elde edilen eğridir. Ürünlerin kurutulma işleminin izlenmesi ve incelenmesinde yararlı bilgiler veren desorpsiyon izotermi ise, ıslak maddenin farklı bağıl nemli atmosferde tutulup, dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak, ağırlık kaybının saptanmasıyla elde edilen eğridir. Şekil 8.8’de tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi gösterilmektedir.



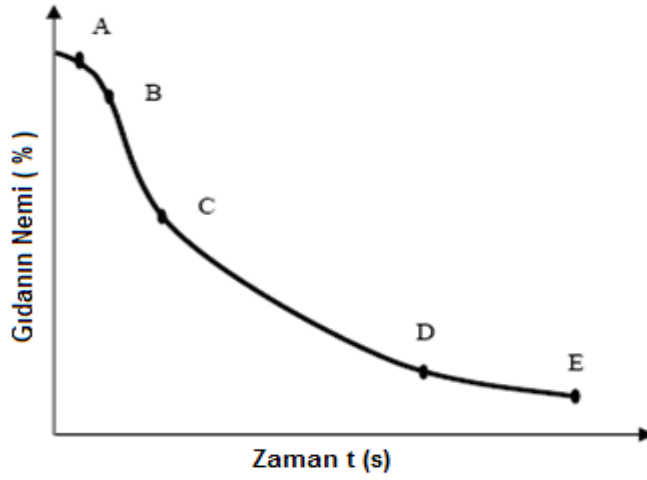
Şekil 8.8. Tipik bir ürün için sorpsiyon izotermi

8.6. Ürünün Kurutma Hızı

Kurutma işleminde, kurutulacak ürünün ağırlığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenerek (kuru madde baz alınarak) nem içeriği tespit edilir. Aşağıdaki Şekil 8.9’da değişim grafiği görülebilir. Bu grafikte C noktası kurutulacak olan ürünün özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını gösterir. Yüzeyde ilk kuru noktanın olduğu duruma kritik nokta adı verilir. Kritik nokta aynı zamanda, sabit kuruma periyodunun sonunu, azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını gösterir. Şekil 8.10’da ise AB bölgesi ürünün ısınma süresini gösterir. BC bölgesinde buharlaşma, ürünün yüzeydeki sıvı film tabakasıyla gerçekleşir. [173].



Şekil 8.9. Özgül nemin bir fonksiyonu olan kurutma hızının değişimi [173]



Şekil 8.10. Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi [173]

Çizelge 8.5. Kurutma eğrileri için çeşitli matematiksel modeller [174]

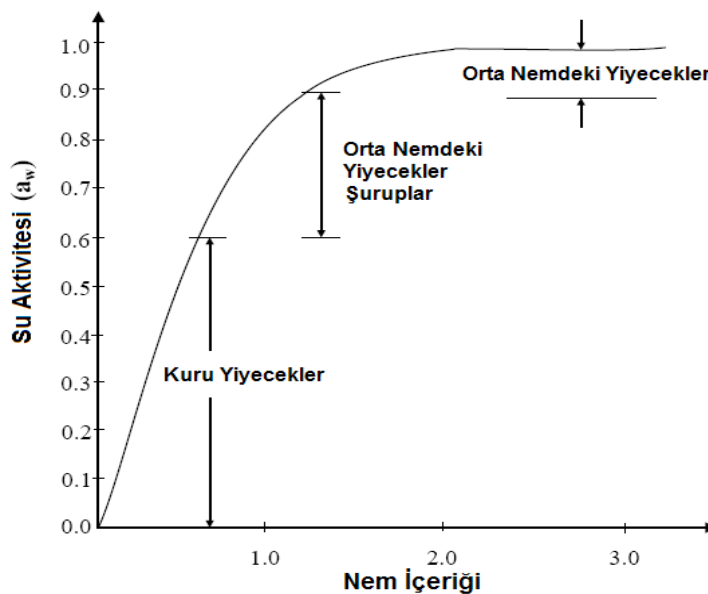
No	Model adı	Model eşitliği	Referanslar
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$	O'Callaghan et al., (1971), Lui and Bakker-Arkema (1977)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal and Singh (1977), Zhang and Litchfield (1991)
3	Modifiye edilmiş Page	$MR = \exp[(-kt^n)]$	Overhults et al., (1973), White et al., (1981)
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman et al., (1973), Chhinnman, (1984)
5	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu et al., (1999)
6	İki-terim	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Henderson (1974), Rahman et al., (1998)
7	İki-terim üstel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Elden et al., (1980)
8	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)
9	Thomson	$t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$	Paulsen and Thomson (1973), Thomson et al., (1968)
10	Difüzyon yaklaşımı	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Kasem (1998)
11	Werma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Werma et al., (1985)
12	Modifiye edilmiş Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
13	Basitleştirilmiş Fick'in difüzyon (SFFD) eşitliği	$MR = a \exp(-c(t / L^2))$	Diamente and Munro (1991)
14	Modifiye edilmiş Page eşitliği-II	$MR = a \exp(-k(t / L^2)^n)$	Diamente and Munro (1991)
15	Midilli-Küçük	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli-Küçük (2003)

8.7. Ürünün Su Aktivitesi

Bir gıdanın su aktivitesi (a_w), onun mikrobiyolojik veya kimyasal-biyokimyasal yollarla bozularak kalitesini kaybetmesi üzerinde rol oynayan önemli bir faktördür. Gıdaların içerisindeki nemin bulunduğu ortam havasının bağıl nemi ile dengede bulunmasına “higroskopik denge” denir. Gıdanın içerisindeki su oranının bulunduğu çevre havası bağıl nemi (ÇBN) ile dengeye ulaştığında, çevre havası bağıl neminin 100’e bölünmesi ile o gıdaya ait mevcut su oranındaki su aktivitesi (a_w) bulunmuş olunur ve Eşitlik 8.2 ile gösterilebilir [101].

$$a_w = \frac{\text{ÇBN}}{100} \quad (8.2)$$

Genel olarak çoğu kurutulmuş gıdanın su aktivitesi (a_w) nispeten düşüktür. Güvenli saklama için tipik olarak kurutulmuş gıdanın su aktivitesi 0.6’dan daha az düzeyde olması önerilmektedir. Ancak farklı türdeki gıdalar birbirlerinden farklı su aktivitelere sahiptirler. Düşük su aktivitesi, çeşitli mikroorganizmaların büyümesini, oksidasyon ve enzimatik reaksiyonları önler. Gıdaların farklı türleri için su aktivitesi ve nem içeriği Şekil 8.11’de gösterilmektedir [149].



Şekil 8.11. Gıdaların farklı türleri için su aktivitesi ve nem içeriği [149]

8.8. Tam Kuru Ağırlık

Kurutulacak olan ürünün tam kuru kütlelerinin bir başka ifade ile içerisindeki nem miktarının bulunmasında pek çok metot olmasına karşın en doğru ve kesin sonuç veren metot fırında kurutma metodudur.

Üründeki kuru esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (8.3)$$

eşitliği kullanılır.

Üründeki yağ esasa göre hesaplanan su oranı için ise;

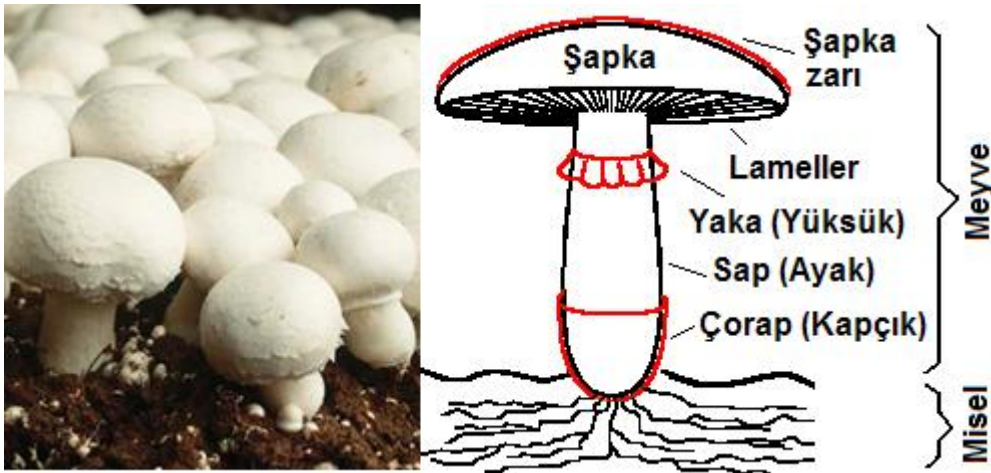
$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (8.4)$$

eşitliği kullanılır [175].

9. MANTAR VE KURUTULMASI

9.1. Mantarın Özellikleri ve Mantar Üretim Değerleri

Bu çalışmada ele alınan mantarlar, doğa ya da kültür mantarı şeklinde ticarete konu olan yenilebilir mantarlardır. Mantarın yüz bini aşkın türü vardır. Mantar, daha çok taze tüketilen bir sebze türü olmasına karşın son yıllarda kurutulmuş olarak tüketimi artan bir üründür. Dünyada üretilen yemeklik mantarların % 40-50'si taze olarak tüketilirken geri kalanı konserve, dondurulmuş veya kurutulmuş olarak pazarlanmaktadır. Endüstriyel olarak işlenmiş mantarların en büyük grubunu konserveler, ikinci grubu geçici olarak muhafaza edilen mantarlar, üçüncü grubu toptan ve perakende satış için dondurulan mantarlar, ticaretin küçük bir parçasını ise sirke veya diğer asitlerle korunmuş mantarlar ve kuru mantarlar oluşturmaktadır.

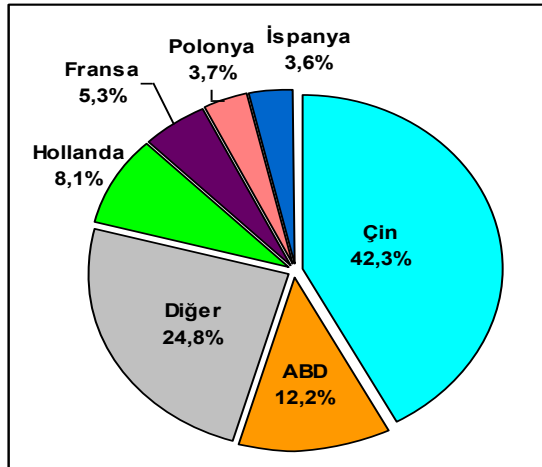


Şekil 9.1. Mantar ve bölümleri

Mantarlar, sporla üreyen canlılar olup, emme yoluyla beslenen, fotosentez yapmayan, besin kaynaklarına gömülü olarak yaşayan ve bitkiler âleminin üç ana grubundan birisidir. Mantarların % 90'a yakını sudur, sadece % 10 kadarı kuru kütledir. Bu kuru kütlenin içeriğini ise karbonhidratlar, proteinler, yağlar, vitaminler (C, D2, B2) ve madensel tuzlar oluşturmaktadır. Besin değeri yüksektir, 100 g taze mantar yenildiğinde 20-30 kalori enerji sağlamaktadır. 100 g mantarda bulunan protein oranı, aynı miktardaki sütteki protein ile eşdeğerdir.

Çizelge 9.1. Çeşitli mantarların besin değerleri, bazı günlük besin maddeleriyle mukayeseleri [176]

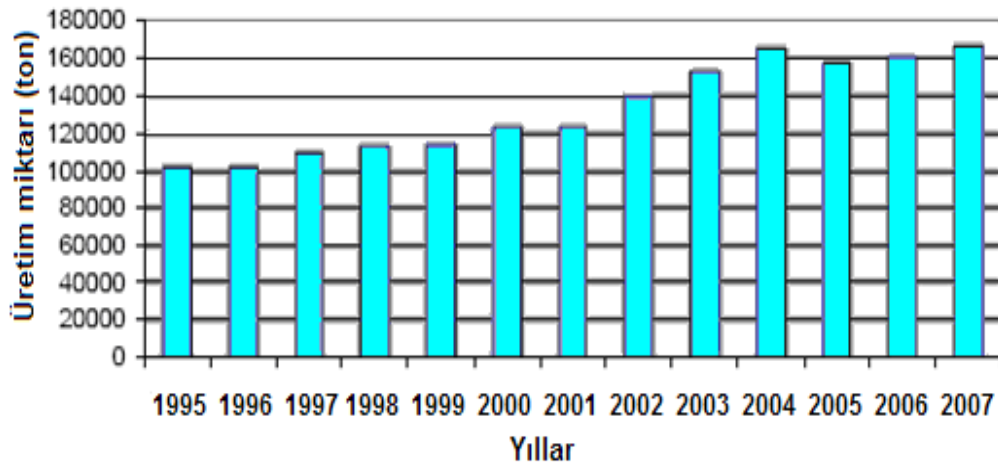
100 gr için	Proteinler	Karbonhidrat	Madensel Tuzlar	Yağ	Su (%)	Enerji Değeri (kcal)
Şampinyon	2	1	0.8	0.1	91	13
Kuzu Mantarı	2.3	5	1	0.4	90	20
Horoz (İbiği) Mantarı	1.3	5	1.2	0.4	90	23
Çörek Mantarı Taze	5.4	5.2	1	0.4	87	19
Çörek Mantarı (Kurutulmuş)	35.9	34.5	6.4	2.7	12	110
Lahana	2	5.4	0.9	0.2	92	32
Ispanak	2.3	2.1	1.9	0.3	93	21
Hıyar	0.7	1.9	0.4	0.1	96	12
Domates	1	3.4	0.7	0.2	94	20
Kabak	1.1	5.5	0.4	0.1	91	4
Bezelye	6.3	14.2	0.5	0.2	74	86
Et	21	0.1	1	5.5	72	125
Süt	3.4	4.8	0.7	3	88	62
Tavuk	21.3	-	0.7	4.6	72	130
Balık	18.4	-	1.5	10.7	69	175
Kuru fasulye	18.9	61.9	0.6	1.7	11	347
Patates	1.6	14.4	0.6	0.1	80	67



Şekil 9.2. 2006 yılı Dünya toplam mantar üretimi [177]

“Thallophyta” grubu içinde binlerce mantar türü olmakla beraber ticari olarak üretimi yapılan yemeklik mantar türlerinin sayısı oldukça azdır. Dünyada en çok

üretimi yapılan halk arasında kültür mantarı olarak bilinen “Agaricus bisporus” türüdür. Çin, dünya mantar üretiminin yaklaşık % 42’sini tek başına gerçekleştirmektedir. Bu ülkeyi sırayla ABD, Hollanda ve Fransa izlemektedir. 2006 yılı Dünya toplam mantar üretim, Dünyada yıllara göre üretilen yemeklik mantar miktarı (ton), Dünyada 1986 ve 1997 yıllarında yemeklik mantar üretim verileri sırasıyla Şekil 9.2, Şekil 9.3 ve Çizelge 9.2’de verilmektedir.



Şekil 9.3. Dünyada yıllara göre üretilen yemeklik mantar miktarı (ton) [177]

Çizelge 9.2. Dünyada 1986 ve 1997 yıllarında yemeklik mantar üretimi [178]

TÜR	Taze Ağırlık (x1000ton)				
	1986		1997		Artış
		(%)		(%)	(%)
Agaricus bisporus	1 227	56.2	1 956	31.8	59.4
Lentinula edodes	314	14.4	1 564	25.4	398.1
Pleurotus spp.	169	7.7	876	14.2	418.3
Auricularia spp.	119	5.5	485	7.9	307.6
Volvariella volvacea	178	8.2	181	3	1.7
Flammulina velutipes	100	4.6	285	4.6	130
Tremella fuciformis	40	1.8	130	2.1	225
Hypsizygus marmoreus			74	1.2	
Pholiota nameko	25	1.1	56	0.9	124
Grifola frondosa			33	0.5	
Diğerleri	10	0.5	518	8.4	5 080
Toplam	2 182	100	6 158	100	182.2

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 2008 yılı dünya yıllık mantar üretiminin yaklaşık 3 295 983 ton olduğu ve kişi başına tüketimin yılda 500 g ya da bir başka deyişle günde 1.5 g olduğu belirtilmektedir.

Türkiye’de katma değeri yüksek olan işlenmiş mantar ihracatı 2008 yılına kadar yok denecek kadar az iken (% 1’in altında) 2008 yılında % 7’ye yükselmiştir. 2008 yılında toplam mantar ihracatının 87 888 Dolar’ı işlenmiş mantar olmak üzere toplamda 8 665 669 Dolar’lık bir ekonomik değere ulaşmıştır. İşlenmiş mantar ihracatının çoğu Türki Cumhuriyetlerine ve Asya ülkelerine yapılmaktadır.

Türkiye’de mantarcılık konusunda toplanan veriler ışığında çizelgeler oluşturulmuştur. Türkiye’de mantar üretimi, 1995-2008 yılları arasında Türkiye’de üretilen yemeklik mantar miktarı (ton), bölgelere göre mantar üretimi 1996-2001 yıllarında Türkiye mantar ithalat ve ihracatı (ton) sırasıyla Çizelge 9.3, Çizelge 9.4 ve Çizelge 9.5’te verilmiştir. Bu çizelgelerde en fazla mantar üretiminin Akdeniz bölgesinde gerçekleştirildiği, mantar üretim ve ihracatının yıllara göre zaman zaman artıp azaldığı görülmektedir. Bu çizelgelere ilave olarak 2006-2008 yıllarına ait Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün sırasıyla Çizelge 9.6 ve Çizelge 9.7’de verilmiştir. Burada, yaş sebze ihracatında mantarın ilk 10 ürün içerisinde yer aldığı ve mantar ihracatından elde edilen gelirin yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.3. Türkiye’de mantar üretimi [179,180]

YILLAR	Üretim Miktarı (ton)	YILLAR	Üretim Miktarı (ton)	YILLAR	Üretim Miktarı (ton)
1973	80	1991	3 052	2001	15 000
1975	265	1993	3 510	2002	15 000
1982	750	1995	7 728	2004	15 000
1983	1 400	1996	20 000	2005	17 000
1984	1 500	1997	12 000	2006	21 833
1985	1 680	1998	12 000	2007	23 426
1986	2 050	1999	25 000	2008	26 526
1987	2 560	2000	12 000	2009	25 000

Çizelge 9.4. Bölgelere göre mantar üretimi [179]

BÖLGELER	Mantar Üretimi	
	1995 (%)	1999 (%)
Marmara	28.3	25.7
Ege	7.5	5.8
Akdeniz	43.9	51.4
İç Anadolu	14.1	13.1
Karadeniz	6.1	3.4
Doğu Anadolu	0.04	0.04
Güneydoğu Anadolu	0.06	0.02
Toplam	100	100

Çizelge 9.5. 1996-2001 yıllarında Türkiye taze mantar ithalat ve ihracatı (ton) [177]

Yıllar	1996	1997	1998	1999	2000	2001
İthalat	350	1 020	10	10	0	60
İhracat	5 450	6 290	5 580	17 920	3 370	3 730

Çizelge 9.6. 2006-2007 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün [181]

NO	ÜRÜN	2006		2007	
		Miktar (ton)	Değer (1000\$)	Miktar (ton)	Değer (1000\$)
1	Domates	306 034	176 836	394.235	316 925
2	Biber	59 504	55 998	60.076	70 227
3	Hıyar, Kornişon	51 963	30 759	62.578	45 533
4	Patates	50 952	8 417	232.503	37 773
5	Soğan, Şalot	141 425	20 569	171.825	36 397
6	Havuç, Turp	43 375	8 925	46.660	10 303
7	Sakız kabağı	7 228	5 745	10.024	7 961
8	Mantar	1 329	12 015	416	6 467
9	Patlıcan	4 844	4 473	6.135	5 575
10	Pırasa	11 099	5 463	6.076	2 728
Not: Maddeler, 2007 yılı fob(\$)' değerlerine göre sıralanmıştır.					

Çizelge 9.7. 2007-2008 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün [181]

NO	ÜRÜN	2007		2008	
		Miktar (ton)	Değer (1 000\$)	Miktar (ton)	Değer (1 000\$)
1	Domates	394 123	316 836	483 317	426 437
2	Biber	60 070	70 213	78 999	78 264
3	Hıyar, Kornişon	62 557	45 517	88 469	65 383
4	Soğan, Şalot	171 945	36 461	213 599	35 041
5	Sakız kabağı	10 023	7 961	12 245	11 500
6	Havuç, Turp	46 660	10 303	47 357	10 650
7	Mantar	416	6 467	883	9 253
8	Patates	232 370	37 772	89 766	8 162
9	Patlıcan	6 135	5 575	7 977	7 224
10	Pırasa	6 076	2 728	5 941	3 925
Not: Maddeler, 2008 yılı fob(\$)' değerlerine göre sıralanmıştır.					

Çizelge 9.8. 2008-2009 Türkiye yaş sebze ihracatında ilk 10 ürün [182]

NO	ÜRÜN	2008		2009	
		Miktar (ton)	Değer (1 000\$)	Miktar (ton)	Değer (1 000\$)
1	Domates	483 282	426 407	565 325	431 965
2	Hıyar, Kornişon	88 526	65 413	98 721	69 018
3	Biber	78 959	78 259	68 392	65 484
4	Soğan, Şalot	213 599	35 041	135 461	16 517
5	Mantar	883	9 253	1 077	12 354
6	Sakız kabağı	12 247	11 502	14 202	11 581
7	Havuç, Turp	47 356	10 650	57 074	10 392
8	Patlıcan	7 940	7 218	8 395	7 343
9	Pırasa	5 941	3 925	13 152	5 814
10	Patates	89 766	8 162	70 412	5 620
Not: Maddeler, 2009 yılı fob(\$)' değerlerine göre sıralanmıştır.					

9.2. Mantar Çeşitleri

Dünyada şu ana kadar yaklaşık 100 bin mantar türü tanımlanmış, Dünya’da yenilebilir 5 bin mantar türü vardır. Bunlardan yaklaşık 30 türün ticari ve endüstriyel alanda üretimi yapılmaktadır.

Yıllar boyunca doğadan toplanarak tüketilen mantarlar doğada bulunan mantarların bazılarının zehirli olması ve ayırt edilememesi gibi nedenlerden dolayı bir kültür bitkisi olarak ilk defa 16 yy.'da Fransa'da yetiştirilmeye başlanmıştır. Mantarın bir kültür bitkisi olarak yetiştiriciliğinin yaygınlaşması ile değişik tür mantarların üretim ve tüketimi hızla artmıştır. Şekil 9.4'te çeşitli mantar türlerine ait görüntüler verilmektedir.

		
<i>Amanita muscarina</i>	<i>Boletus edulis</i>	<i>Şemsiye mantarı (Macrolepiota procera)</i>
		
<i>Çörek mantarı (Boletus edulis)</i>	<i>Ganoderma applanatum</i>	<i>Coprinus micaceus</i>
		
<i>Saman mantarı (Volvariella volvacea)</i>	<i>Söbelen</i>	<i>Çayır mantarı (Agaricus campestris)</i>

Şekil 9.4. Çeşitli mantar türlerine ait görüntüler



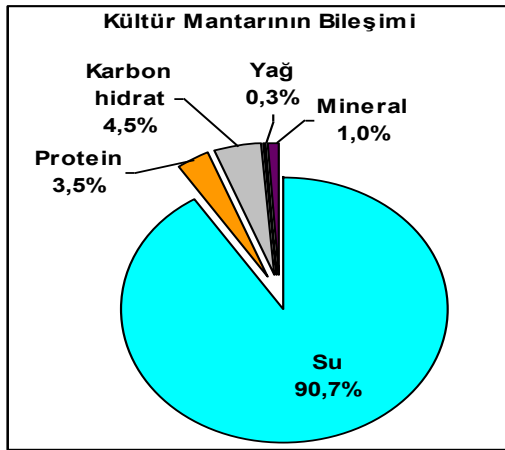
Şekil 9.4. (Devam) Çeşitli mantar türlerine ait görüntüler

Mantarlar, besin değeri bakımından zengin oldukları veya şifa kaynağı olarak nitelendirilmelerine göre de tüketilmektedir. Protein, vitamin ve mineral maddeler bakımından oldukça zengin olması yanında bünyesinde bulunan Lentinan maddesinin ‘Sarcoma-180’ kanser tedavisinde olumlu sonuç vermiş olması nedeniyle tıp alanında kullanılan Lentinus edodes (shiitake) dünyada kültürü yapılan mantar üretiminin % 10’unu oluşturmaktadır. Japonya’da 1985’te FDA tarafından üretilen anti kanser ilaçlarda kullanılan mantarlardan biridir. Ölümsüzlük mantarı olarak anılan *Ganoderma lucidum* mantarı da şifa kaynağı bir türdür.

Dünyada yaklaşık 30 civarında makro mantar türünün üretimi yapılmaktadır. Bu türlerin başında Agaricus türleri (çayır mantarları) ve Pleurotus türleri (Kayın, Kavak mantarları), Shiitake (Lentinus ododes), Saman mantarı (Volvariella volvaceae) türleri gelir. Dünyada en çok üretimi yapılan mantar çeşidi Agaricus Bisporus mantarıdır. İkinci sırada yaprak mantarı (Pleurtus spp) üretimi gelmektedir.

9.2.1 Kültür mantarı-beyaz şapkalı mantar (Agaricus Bisporus)

Doğal habitatından koparılarak sera ortamında hijyenik bir şekilde yetiştirilen kültür mantarı ete lezzetini veren 3-oksidan, benzaldehit oktanol, ve zokten-1 gibi bazı maddelere sahiptir. Kültür mantarı yetiştiriciliğinde sıcaklık, nem ve havalandırma en önemli ekolojik faktörler olup verim ve kaliteyi büyük ölçüde etkilemektedir.



Şekil 9.5. Kültür mantarın bileşimi [183]

Türkiye’de ilk mantar üretim çalışmaları 1960’lı yıllarda başlamış ancak yetiştiricilik 1970’li yıllarda gelişme göstermiştir. Türkiye, Kasım 2005, TS 2410 sayılı “Kültür mantarları-taze” Türk Standardına sahiptir. Bu standarda göre Şekil 9.6’da ticareti yapılan başlıca kültür mantarı türleri verilmektedir. AB’de her ülke kendi ulusal yönetmeliklerini uygulamaktadır. Ancak 7 Haziran 2002 tarihinde toplanan AB Komisyonu 982/2002 sayılı mantar üretimi ile ilgili ticaret normu-AB yönetmeliği üzerindeki çalışmayı 1 Ocak 2003 tarihinde tamamlamıştır. Yönetmeliğin yayımlandığı tarihten itibaren ise üye ülkeler tarafından uygulanmaktadır. Türkiye ise

bu yönetmeliğe uyum çerçevesinde, 05.06.2004 tarih ve 25483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 5179 sayılı kanun yürürlüğe konmuştur. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı üretilen ve ithal edilen her türlü gıda maddesinin kontrol ve denetimlerini gıda mevzuatı dâhilinde yürütmektedir.

<i>Agaricus spp. (beyaz şapkali mantar)</i>	<i>Agrocybe aegerita</i>	<i>Auricularia polytricha</i>
<i>Flammulina velutipes (inci mantarı)</i>	<i>Ganoderma lucidium (reishi)</i>	<i>Grifola frondosa (mai-take)</i>
<i>Hericium erinaceus (aslan yelesi)</i>	<i>Lentinula edodes (shii-take)</i>	<i>Morchella spp. (kuzu göbeği)</i>
<i>Pleurotus spp. (yaprak mantarı)</i>	<i>Volvariella volvacea</i>	

Şekil 9.6. Ticareti yapılan başlıca kültür mantarı türleri [184]

Türkiye’de mantar üretiminin büyük çoğunluğu Akdeniz ve Marmara bölgelerinde yapılmaktadır. 2009 yılı itibariyle Türkiye kültür mantarı üretiminin % 65’ini Antalya’nın Korkuteli ilçesi sağlamaktadır. Türkiye mantar üretiminde oldukça iyi durumda olmasına rağmen Türkiye’de kişi başı mantar tüketimi Avrupa ülkelerinin çok gerisinde bulunmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başına yıllık mantar tüketimi üç kilogram iken Türkiye’de bu rakam 250 g’dan azdır. Bunun başlıca nedeni doğa mantarlarının ülkenin her bölgesinde iyi oranda yetişmesi olabilir.

9.3. Mantar Kurutma

Çoğunlukla taze tüketilen mantar, tazeliğini kısa sürede kaybeder. Hasat edilen mantar, en iyi saklama sıcaklığı olan 2-5 °C’de bir hafta on güne kadar rahatlıkla saklanabilmektedir (Çizelge 9.9). Ancak hasattan sonrada mantarın bünyesinde bulunan enzimatik parçalanma olayları devam ettiğinden iyi bir işletme 4-5 gün içerisinde satılmamış ürünlerini geri çekmeli ve toplanan mantarları bozulmadan kurutarak değerlendirmelidir.

Çizelge 9.9. Kültür mantarının değişik sıcaklıklarda dayanma süreleri

Sıcaklık (°C)	Süre (Gün)
-1’den düşük	Donma nedeniyle renkte bozulmalar oluşur
1	5-10
2	5-7
3	2-3
4	1-2
15-16	1

Mantar kurutulduğunda tadını ve diğer özelliklerini hemen hemen aynen korur. Çeşitli kurutulmuş mantar türlerinin içerdiği besin değerleri ve vitamin içerikleri Çizelge 9.10 ve Çizelge 9.11’de verilmiştir. Görüldüğü üzere insan vücudunun ana enerji kaynağı olan karbonhidrat mantarda bol miktarda mevcuttur. Yenebilen mantarlar bünyelerinde % 30-% 90 oranında karbonhidrat barındırırlar. Bu da insanoğluna sağlıklı ve daha uzun ömürlü bir yaşam vaat etmektedir.

Çizelge 9.10. Çeşitli kurutulmuş mantar türlerinin içerdiği besin değerleri [185]

Mantar Türü	Protein (%)	Karbonhidrat (%)	Yağ (%)	Lif (%)	Enerji (Kcal/100g)
<i>Agaricus bisporus</i>	23.9-34.8	51.3-62.5	1.7-8.3	8-10.4	328-381
<i>Auricularia</i>	4.2-7.7	79.9-87.6	0.8-9.7	11.9-19.8	347-384
<i>Flammulina velutipes</i>	17.6	73.1	1.9	0.7	378
<i>Lentinula edodes</i>	13.4-17.5	67.5-78	4.9-8	7.3-8	387-392
<i>Pleurotus ostreatus</i>	10.5-30.4	57.6-81.8	1.6-2.1	7.5-8.7	345-367
<i>Volvariella volvacea</i>	21.3-43	50.9-60	0.7-6.4	4.4-13.4	254-374

Çizelge 9.11. Çeşitli mantarlarda vitamin içeriği (mg/100g kuru madde) [185]

Mantar Türü	Thiamine	Niacine	Riboflavin	Askorbik asit
<i>Agaricus bisporus</i>	1.1	55.7	5	81.9
<i>Auricularia</i>	0.2	1.6	0.9	-
<i>Flammulina velutipes</i>	6.1	106.5	5.2	46.3
<i>Lentinula edodes</i>	7.8	54.9	4.9	0
<i>Pleurotus ostreatus</i>	1.16-4.8	108.7	4.7	0
<i>Volvariella volvacea</i>	0.35-1.2	4.88-91.9	1.63-3.30	20.2

Mantar çabuk bozulan bir ürün olduğundan tüketim süresi kısa olması gerektiği gibi kurutma süresinin de kısa olması gerekir. Eğer kurutma işlemi süratli yapılmayacaksa mantarın larva ve parazitlerden arındırılmış olması gereklidir, aksi halde kurutma süresi içinde bozulabilir. Bununla birlikte, kurutma fırınlarında, ince gözlü tel ya da paslanmaz çelik kafesten altlıklar kullanılması kurutma için faydalı olacaktır. Ayrıca, mantar direk güneş altında veya içinde hava sirkülasyonunun olmadığı fırınlarda kurutulması sakıncalı olabilir.

Kurutulmuş mantar kurutulduğu haliyle kullanılabildiği gibi öğütülerek mantar unu haline getirilerek de kullanılabilmektedir. Kurutulan mantarlar, genel bir kural olarak bir süre ılık su içerisinde bekletilmesiyle kuru ağırlığının yaklaşık 6- 8 katına çıkar. Böylece taze mantar gibi de kullanılabilir. Kurutulacak mantar temizlendikten sonra siparişe göre veya kullanım amacına göre 1-2 mm kalınlıklardan 5-8 mm kalınlıklara kadar küçük parçalara ayrılır. Küp şeklinde kesilip kurutulanlar, çorbalarda veya

yemeklik konservelerde kullanılır. 1-2 mm'lik dilimler halinde kesilerek kurutulan mantarlar, değirmenden geçirilerek mantar unu yapılır. Elde edilen mantar unu; boya ve ilaç sektöründe veya sos, mantar çorbası yapımında veya çorbalarda baharat (tatlandırıcı) olarak gıda sektöründe kullanılır.



Şekil 9.7. Kurutulmuş mantar tipleri

Pek çok alanda kullanılan kurutulmuş mantar ihracat yapılan bir sektör haline gelmiştir. Ancak son yıllarda artan maliyetler nedeniyle mantar üretiminde azalma olmuş dolayısıyla kurutulmuş mantar üretimi de bundan etkilenmiştir. Çizelge

9.12’de yıllara göre kurutulmuş mantar ihracat miktarları ve gelirleri verilmektedir. Çizelge 9.13’te ise yıllara göre kurutulmuş mantar ithalat miktarları ve giderleri verilmektedir.



Şekil 9.8. Mantarın ilaç sektöründe kullanımı

Çizelge 9.12. Yıllara göre kurutulmuş mantar ihracat miktarları ve gelirleri [2,180]

Kurutulmuş Mantar		1994	1995	1996	1997	1998	1999
İhracat	Ton	38.6	64.4	233.9	36.7	68	21
	1 000 \$	2 810	5 289	3 252	1 713	1 972	2 490
Kurutulmuş Mantar		2000	2004	2005	2006	2007	
İhracat	Ton	35	19	27	34	21	
	1 000 \$	999	1 071	1 243	2 389	1 710	

Çizelge 9.13. Yıllara göre kurutulmuş mantar ithalat miktarları ve giderleri [180]

Kurutulmuş Mantar		1995	1996	1997	1998
İhracat	Ton	51	54.8	53.2	45.3
	1.000 \$	1 062	857	605	469

Kaliteli ürün elde edebilmek ve aynı zamanda ısı ve enerji ekonomisi sağlayabilmek için kurutma hızı büyük öneme sahiptir. Kurutma hızı, üründeki su kütlesinin birim zamanda birim alandan buharlaştırılmasıyla belirlenir. Diğer ürünlerin kurutulmasında olduğu gibi mantarın kurutulmasında da sıcaklık ve nem en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Bunlara ek olarak kurutma şekli, hava hızı, ürün miktarı ve mantarın fiziksel yapısı kurutmayı etkileyen diğer faktörlerdir.

9.3.1. Mantar kurutma havası sıcaklığının ve son nemin kurutmaya etkisi

Kurutma havası sıcaklığının arttırılması, diğer ürünlerin kurutulmasında olduğu gibi mantarın kurutulmasında da kurutma zamanını kısaltmaktadır. Ancak kurutma sıcaklığının çok yüksek olması durumunda üründe, hem şekil bakımından hem de, bünyesinde protein kaybına sebep olup lezzetini kaybedeceğinden, tat bakımından bozulmalara sebep olmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta yapılan kurutmalarda enerjinin verimsiz kullanılması söz konusudur. Mantar kurutmada kurutma sıcaklığı 50 °C ideal olarak kabul edilmektedir.

Mantar düşük asitli yiyecek olduğundan örnekler önce güvenli nem seviyesi olan % 15-16 nem içeriğine düşürülmeli sonrasında ise mikroorganizmaların ürememesi için gerekli ve yeter şart olan son nem içeriği olan % 10 değerinin altına düşürülmelidir.

.

Bala ve ark. (2009) tarafından güneş tünel kurutucusunda yaptıkları deneylerde, mantarların 37 °C'den 66.5 °C'ye kurutma odası sıcaklığında ve yaklaşık 8 saatte nem oranı yaklaşık % 89.41'den % 6.14'e düşürülmüştür. Aynı kuruma döneminde geleneksel güneşte kurutma metoduyla, kurutulan mantarlarda nem oranı % 89.41'den % 15'e azalmıştır [186].

Midilli ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada, mantarların 50 °C sıcak hava kullanılarak laboratuvar tip bir kurutucuda 5-6 saatlik bir kurutma periyodunda kurutulabileceğini belirlemişlerdir [187]. Kulshreshtha ve ark. (2009) tarafından, mantar kurutulmasında kurutma hava sıcaklığının 50 °C'de yapılması ile daha iyi bir kuru ürün, daha iyi rehidrasyon özellikleri, daha az çekme ve daha açık renk elde edilmiş olması nedeniyle bu sıcaklık ideal sıcaklık olarak kabul edilmiştir [188]. Ancak, Lidhoo ve ark (2008) tarafından yapılan çalışmada farklı işleme tabi tutulmasıyla farklı bir sıcaklık değerinin daha uygun olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmada, mantar dilimleri haşlandıktan sonra 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C ve 85 °C sıcaklıklarda, yaklaşık % 5 nem içeriğine kadar sıcak hava kullanılarak kurutulmuştur. Mantar çorbası ve rehidre edilmiş dilimleri değerlemede, güvenli sıcaklık oluşturmak için esmerleşme indeksi renk ve rehidrasyon kalite göstergesi

mantar kurutma için kullanılmıştır. Tüketiciler tarafından kabul edilebilir ve arzulanan kalitede bir ürün üretilmesinde rehidrasyon oranı 2.9 ve 65 °C'deki sıcak havanın mantar kurutması için uygun olduğu belirtilmiştir [189]. Buna ek olarak Helvacı ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışma optimum kurutma havası giriş sıcaklığının 65-68 °C arasında olabileceğini göstermiştir [190].

Bilindiği üzere ürün kurutmada ürün kurutulmasının çok daha hızlı yapıldığı fakat enerji sarfiyatının yüksek olduğu ve ürün kalitesinden ödün verilen elektrik ısıtıcılı kurutma kabinleri kullanılmaktadır. Eksis firması tarafından yapılan denemede yaklaşık 60 °C'deki kurutma havası ile buharda haşlanmış mantarlar yaklaşık 120-150 dakikada, ön işlem yapılmamış mantarlar ise yaklaşık 150 dakikada kuruduğu gözlenmiştir [148].

Nehru ve ark. (1995), çalışmalarında “Pleurotus Florida” mantarlarını günlük 2.5 kg kurutma kapasiteli bir güneşli kurutucuda test etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; mantarların nem içeriğini % 92.6'dan, % 10'a indirmek için gerekli kurutma zamanı ortalama 5.5-6.5 saat olarak bulunmuştur [191].

Jambrak ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada İngiltere'deki süpermarketlerde satılan 9.7 g nem /g kuru madde değerlerine sahip Agaricus biosporus türü mantarlar 0.4 g nem /g kuru madde değerlerine düşürülmüştür [192]. Xanthopoulos ve ark. (2007) ince katman kurutma modeli uygulayarak Agaricus bisporus mantarlarını 50-65 °C sıcaklık ve 1-5 m/s hava hızlarında 8-16 saatte kurutmuşlardır [193]. Gothandapani ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada ortalama nem değeri % 91,4 olan taze mantarlar kurutulduğunda % 11 nem değerine düşmüştür. Aynı nem içeriğine ince katman kurutmada 110-120 dakikada, akışkan yataklı kurutmada 80-120 dakikada ulaşılırken güneşte kurutmada 8-9 saatte ulaşılmıştır [194].

İşletme koşulları gerektirmediği takdirde, denge nemine ulaşmaya kadar beklemek renk açısından dezavantaj oluşturur. Kuruma sonuna doğru, dilimler, nem içeriklerindeki azalma nedeniyle yüzey sıcaklığı hızla artar. Yüzey sıcaklığındaki

artma, karamelizasyon ve Maillard reaksiyonlarının hızını da arttıracığından, mantar dilimlerinin kurutucu içinde uzun süre kalmaları halinde renkleri hızla koyulaşır [190].

Sonuç olarak; sıcaklık artışına ve kullanılan yönteme göre mantar kuruma süresi 2 saat ile 16 saat gibi büyük bir değişim aralığında gerçekleşmektedir. Son nem değeri ise mantar türüne göre % 4-15 arasında değişmektedir. İnternet ortamında satışı yapılan kurutulmuş mantarların son nem değerleri % 6-12 değerlerindedir.

9.3.2. Mantar kurutma havası hızının kurutmaya etkisi

Kurutmada sıcaklık kadar hava hızı da önemlidir. Kurutmanın doğal konveksiyon ile yapılması halinde hava hareketinin az olduğundan mantarlar üzerinde nemli bir tabaka oluşur. Bu durum kuruma hızını azaltır. İdeal kurutulmuş mantar elde edebilmek için hava sirkilasyonu gereklidir. Hava sirkilasyonunu artırmak kurutmayı hızlandırabilir.

Kulshreshtha ve ark. (2009), akışkan yataklı bir kurutucuda mantar kurutulmasında hava hızının artırılmasıyla kuruma süresinin marjinal olarak düştüğünü belirtmişlerdir [188]. Ancak hava hızının da çok fazla arttırılması bazı istenmeyen durumların ortaya çıkmasına sebebiyet verebilir. Örneğin; suyun mantar yüzeyinden buharlaşarak uzaklaşması ile, katı içinden yüzeye aktarılma hızı aynı ise; mantar, kalınlığında önemli bir azalma olmaksızın kurutulabilir. Kurutmanın son safhalarında bu hızı eşdeğer tutmak oldukça zordur; hava hızı ile sıcaklığa bağlı olarak kalınlıkta belli bir oranda azalma gözlenebilir [190].

Pal ve Chakraverty (1997), 45 °C, 50 °C ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 ve 1.6 m/s hava hızı koşullarında ön işlemin mantarın kuruma karakteristiklerine ve bunların kaliteye etkilerini belirledikleri bir çalışma yapmıştır. Kuruma süresi ve kalite dikkate alındığında 50 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 m/s hava hızında hem ön işlem görmüş hem de görmemiş mantarlar için iyi kalitede kuru ürünler

sağlanabileceğini belirtmişlerdir [195].

9.3.3. Mantar miktarının kurutmaya etkisi

Ürün kurutmasında, kurutma zamanı ile kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı arasında ters orantı oluşurken, kurutulacak ürün miktarı ile kurutma zamanı arasında doğru orantı oluşmaktadır. Bununla birlikte kurutulacak mantar miktarı kurutma sonunda elde edilen mantarın renk değerini belirlemektedir.

Kulshreshtha ve ark. (2009), kurutulacak mantar miktarını yarı yarıya azalttıklarında kurutma zamanı yaklaşık % 48 oranında düşmüştür. [188]. Diğer bir deyişle, kurutulacak ürün miktarı ne kadar artarsa, kurutma zamanı da yaklaşık olarak ürün miktarını artırdığınız oranda uzamaktadır. Ayrıca yük miktarı arttırıldığında ürün renginde kararmalar görülebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, ürün miktarının aşırı azaltılması yine üründe kararmalara sebebiyet verebilir.

9.3.4. Mantarın fiziksel yapısının kurutmaya etkisi

Mantarlar, çok çeşitli fiziksel yapılarda olmasıyla geniş bir fiziki görünüm yelpazesine sahiptirler. Mantarların sadece fiziksel özellikleri itibariyle bile kurutma karakteristikleri farklı olacaktır ki, fiziksel yapılarının yanında kimyasal özelliklerinin de farklı olması nedeniyle kuruma karakteristikleri aynı olmayacaktır.

Mantarlar, dilimlenerek kurutulması gerçekleştirildiği gibi bütün olarak da kurutulması mümkün olmaktadır. Mantarlar, hangi muhafaza yöntemi ile işlem görürse görsün mümkün olduğunca tüketime hazır hale getirilerek piyasaya sürülmelidir. Bu nedenle boyutları, doğrama veya dilimleme işlemi ile küçültülebilir. Böylece; istenen ısının dilimlenen mantarların merkezine ulaşması daha kolay olduğundan uygulanacak kurutma (ve pişirme) işleminin süresi azaltılmış olur. Mantarların doğranarak boyutlarının küçültülmesi, ambalajlama ve depolama işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, doğranmış ya da dilimlenmiş ham maddenin görüntüsü daha iyi olmaktadır. Kurutulacak mantar siparişe göre veya kullanım

amacına göre 0.5-8 mm kalınlıklara kadar küçük parçalara ayrılarak işlem yapılır. Kurutulacak mantarların ince dilimlenmesi kurutma süresini kısıltacaktır. Hatta dilimlenen veya bütün olarak kurutulacak olan mantarların iğne ile üzerine delikler açılması hem kurutmanın kısılmasını hem de mantarın homojen kurumasını sağlayacaktır. Örneğin; Toğrul ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların infrared kurutucuda kurutma havası sıcaklığının 50 °C'den 80 °C'ye çıkarılmasıyla 0.5, 1.0 ve 1.5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma görülmüştür. Sıcaklık ve kalınlıktaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir [196].

10. MATERYAL VE METOT

10.1. Teorik Analiz

10.1.1. Kurutma işlemi için gerekli enerji miktarının hesaplanması

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 sağlanmaktadır.

Güneş enerjisi sisteminin enerji analizi

Güneş enerjisi (GE) sistemi; güneş kolektörü, sıcak su deposu, devirdaim (sirkülasyon) pompası, bağlantı boruları ve genleşme tankı gibi elemanlardan oluşmaktadır. Sistemin en önemli elemanı kolektörüdür. Bu sebeple kolektörden sağlanan faydalı enerji önem arz etmektedir.

Türkiye’de kullanılan güneş kolektörlerinin % 95’ini düzlemsel güneş kolektörleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada da tarafımızdan uygulaması yapılan sistemde düzlemsel güneş kolektörleri kullanılmıştır. Bu nedenle yalnızca düzlemsel kolektörlerle ilgili hesaplamalar yapılacaktır.

Kolektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yutulur ve ancak geri kalan kısmı yutucu yüzeye ulaşır. Yutucu yüzeye gelen enerjinin bir kısmı taşıyıcı akışkana geçerken (faydalı ısı), bir kısmı kolektörün ısıtılmasında kullanılır, geri kalan ışınım, taşınım ve iletimle çevreye gider. Düz kolektörler için enerji dengesi;

$$A_t (\tau\alpha)I = Q_k + Q_f + Q_d \quad (10.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Q_k , ısınım, taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı; Q_f , akışkana geçen enerji; Q_d , depolanan enerji; A_t , faydalı yüzey alanı; I ,

kolektör üzerine gelen güneş ışıdır [197].

Bir düzlemsel güneş kolektöründen çevreye olan ısı kaybı; alttan, üstten ve yanlardan ışıdır, taşıdır ve iletim ile oluşan ısı kayıplarının toplamıdır. Genellikle ısı kaybının yaklaşık % 80'i kolektörün üst kısmından, geriye kalan kısmın üçte ikisi alt, üçte biri ise yan yüzeylerden gerçekleşmektedir. Düzlemsel güneş kolektöründen çevreye olan ısı kaybı;

$$K_T = K_{alt} + K_{yan} + K_{üst} \quad (10.2)$$

şeklinde yazılabilir. Alt yüzeyden oluşan ısı kaybı;

$$K_{alt} = \frac{k_a}{L_a} \quad (10.3)$$

yazılabilir. Burada; k_a , yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı; L_a , yalıtım malzemesinin kalınlığıdır.

Yan yüzeylerden olan ısı kaybı;

$$K_{yan} = \frac{k_a}{L_y} \cdot \left(\frac{\text{Kolektör çevresi} \cdot \text{K. derinlik}}{\text{Kolektör alanı}} \right) \quad (10.4)$$

yazılabilir. Burada L_y , kolektör alanıdır.

$$K_{üst} = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_y} \left[\frac{T_y - T_{çev}}{N + f} \right]^{0.33}} + \frac{1}{h_{td}} \right]^{-1} + \left[\frac{\sigma(T_y + T_{çev})(T_y^2 + T_{çev}^2)}{[\varepsilon_L + 0.05N(1 - \varepsilon_L)]^{-1} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_s} - N} \right] \quad (10.5)$$

$$h_{td} = 5,7 + (3,8V) \quad (10.6)$$

$$f = (1 + 0,04h_{td} + 0,0005h_{td}^2)(1 + 0,091N) \quad (10.7)$$

$$c = 250[1 - 0,0044(s - 90)] \quad (10.8)$$

Burada h_{td} , dıştaki saydam örtü ile çevre arasındaki taşınım ile ısı geçiş katsayısı V , rüzgar hızı (m/s); N , saydam örtü sayısı (adet); T_y , yutucu yüzey sıcaklığı (K); T_{cev} , çevre sıcaklığı (K); σ , Stefan-Boltzman sabiti (5.67×10^{-8} W/m²K); ε_L , yutucu yüzeyin ışıyım yayma oranı; ε_s , saydam örtünün ışıyım yayma oranı; $s(drc)$, kolektör eğimidir.

Kolektör yüzey alanı;

$$F_k = \frac{Q}{\eta \cdot I_{TOP}} \quad (10.9)$$

eşitliği ile bulunur [198].

Bir borudan faydanılan ısı miktarı;

$$Q_f = (d + w)bF_v[S - K(T_a - T_{cev})] \quad (10.10)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada d , boru dış çapı; w , borular arasındaki mesafe; K , ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)'dir [197].

Kolektörlerden elde edilen faydalı enerji;

$$\dot{Q} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (10.11)$$

eşitliğiyle basit olarak hesaplanabilir.

Çevre sıcaklığının gün doğuşu ve batışı arasındaki değişimi;

$$T_{\text{cev}} = T_{\text{ort}} + \frac{\Delta T}{2} + \text{Cos} \left[\frac{180}{t_g} (Z_g - 14) \right] \quad (10.12)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada Z_g , güneş zamanı; t_g , gün uzunluğu; T_{ort} , günlük ortalama dış sıcaklık (K); ΔT , günlük ortalama en yüksek-en düşük dış sıcaklık farkıdır.

Kolektörlerin hesaplanan ay için günlük ortalama verimlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere kolektör ortalama sıcaklığı:

$$t_{kol} = \frac{t_{don} + t_{ist}.2}{3} \quad (10.13)$$

eşitliği ile hesaplanır. β eğimli kolektör yüzeyine gelen günlük ortalama anlık toplam ışıınım:

$$I_t = \frac{I + R_{kol}}{T.3600} \quad (10.14)$$

Kolektör verimi yılın her ayında farklılık gösterdiğinden, verime bağlı olarak toplayıcı alanı seçiminde 12 aya göre ayrı hesap yapmak gerekmektedir.

Kolektör verimi:

$$\eta_{kol} = a - b[(t_{kol} - t_{ort}) / I_t] \quad (10.15)$$

eşitliği ile hesaplanır. Gerekli kolektör alanında bulunan değerler aşağıda verilen eşitliklerde yerine konarak hesaplanacak olursa;

Toplam alan;

$$A_{gka} = \frac{Q_{gün}}{I \cdot R_{kol} \cdot \eta_{kol}} \quad (10.16)$$

Gerekli ışın toplayıcı sayısı;

$$N = \frac{A_{top}}{A_{kol}} \quad (10.17)$$

Bir kolektörün topladığı faydalı enerji:

$$Q_f = A_t \cdot I_e \cdot \eta_t \quad (10.18)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kolektör ısı kazanç faktörü; faydalı enerjinin, yutucu yüzeyin her noktasında akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranıdır ve

$$F_t = \frac{mc_p (T_\zeta - T_s)}{A_t [S - K(T_g - T_{\zeta ev})]} \quad (10.19)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kolektörde toplanan enerjinin, kolektör üzerine gelen güneş ışınlamına oranı kolektör verimi olarak ifade edilir. Ancak kolektörün verimi; giriş suyu sıcaklığı, çevre sıcaklığı, debi ve ışınlam değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Toplam ısı kayıp katsayısı da bu parametrelere bağlı olarak değişim gösterir. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığının sabit olması halinde yaklaşık olarak günlük ortalama kolektör verimi (anlık kolektör verimi);

$$\eta_K = \frac{Q_f}{A_t I} = F_t \left[(\tau\alpha)_e - K \left(\frac{T_g - T_{\zeta ev}}{I} \right) \right] \quad (10.20)$$

olarak ifade edilir ve verilen eşitlikte yerine yazılırsa;

$$Q_f = A_t \cdot [F_t \cdot (\tau\alpha)_e \cdot I_e - F_t \cdot K \cdot (T_{tg} - T_{tç})] \quad (10.21)$$

ifadesi elde edilir.

Yutucu yüzeyin akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerji;

$$Q_f = A_t \cdot [S - K \cdot (T_g - T_{çev})] \quad (10.22)$$

olarak yazılır.

Isı pompası sisteminin güneş kolektörü destekli evaporatörün (G_{ke}) verimi için;

$$\eta_{KV} = \frac{Q_{Gg}}{I_{TOP}} 100 \quad (10.23)$$

eşitliğinden faydalanılır. Bunun için kolektör yüzeyine gelen enerjinin (I) hesaplanması gerekmektedir. Bu, uzun uzun hesaplanabilmekle bereber bir solarmetre ile de hesaplanabilir. Tasarlanan ve uygulaması yapılan sistemde toplam güneş ışınlımından elde edilen enerjiyi bulmak için (Ws/m^2) cinsinden ölçüm yapılabilen bir solarmetre kullanılmıştır.

Devirdaim pompa debisi; güneş enerjisi sistemlerinde pompa debisi, kolektörlerin $1 m^2$ yüzeyinden saatte 60-80 litre suyu devrettirecek kapasitede seçilmesi uygundur. [118]. Ancak hazırlanan sistemde kritik noktalar, depolama tankı, sürtünme ve sıcak su ihtiyacı dikkate alındığında bu değerler yüksektir

Pompa gücü;

$$N_p = \frac{H_m \cdot Q_p \cdot g}{\eta} \quad (10.24)$$

eşitlikten bulunur. Burada; N_p , pompa gücü (W); H_m , toplam manometrik yükseklik

(mss) (depolama tankı ile kritik devredeki kolektör arasındaki yükseklik ve sürtünme kayıplarının toplamıdır, kritik devredeki sürtünme kayıpları toplam yüksekliğin % 10-15'i alınabilir); Q_p , pompa debisi (lt/sn); g , yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn^2); η , pompa verimi (% 70-80 alınabilir)

Depo hacmi; güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde kullanılan sıcak su deposu hacminin kolektör yüzey alanına oranı yaklaşık olarak 50 l/m^2 alınabilir [199]. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde kullanılan kullanma sıcak suyu depo hacmi;

$$V_{depo} = \frac{m_i(t_k - t_s)}{(t_{\ddot{u}} - t_k) + (t_k - t_s)} \quad (10.25)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada; $t_{\ddot{u}}$, suyun depolama tankındaki maksimum sıcaklığını; t_k , kullanma suyu sıcaklığını; t_s , şebeke suyu sıcaklığını; m_i , kullanma sıcak suyu ihtiyacını (litre/gün); V_{depo} , depo hacmini (litre) belirtmektedir.

1 m^3 su, $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ısıtıldığı zaman 4.198 kJ 'lük enerji depolar, öyleyse ısı depolama tankındaki suyu ısıtmak için gerekli enerji Eşitlik 10.11'den hesaplanır.

Isı depolama tankının enerji balansı ise;

$$(\rho \cdot cp \cdot V_{st}) \frac{dT_{st}}{dt} = q_s - q_{Ls} - q_{stl} \quad (10.26)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bu formül için yardımcı eşitlikler ise;

$$q_{Ls} = m_L \cdot cp \cdot \Delta T \quad (10.27)$$

$$q_{stl} = U_{st} \cdot A_{st} \cdot \Delta T \quad (10.28)$$

$$A_{st} = 1.845(2 + h/D)V_{st}^{2/3} \quad (10.29)$$

ile ifade edilir.

Devirdaim (sirkülasyon) pompasının enerji analizi;

$$W_p = m_p.(h_{out} - h_{in}) \quad (10.30)$$

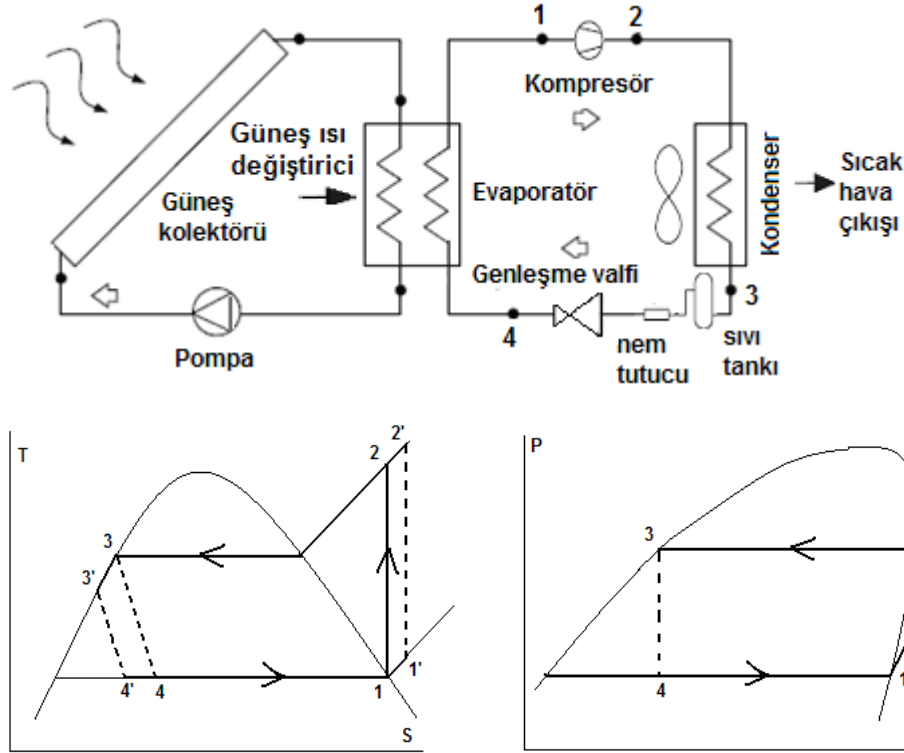
eşitliği ile hesaplanır.

Isı pompası ve GDIP sistemlerinin ısı analizi

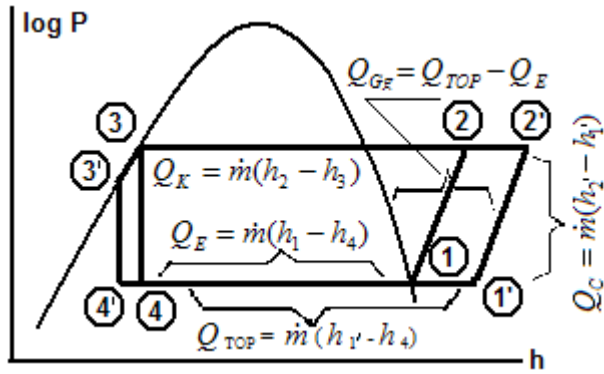
Termodinamiğin I. Kanunu enerjinin korunumu ilkesine göre; ısı pompasının enerji eşitliği olarak evaporatörden sisteme alınan ısı enerjisi ($\dot{Q}_{Evap}$) ile kompresörde harcanan enerji ($\dot{Q}_{Komp}$) toplamı kondenserden kurutma havasına aktarılan ısıya ($\dot{Q}_{Kond}$) eşittir. Bu nedenle; kondenserden kurutma havasına aktarılan enerji miktarı Eşitlik 4.1'den hesaplanır.

Deney düzeneğindeki güneş destekli su-hava ısı pompası sistemi, p-h ve T-s diyagramları Şekil 10.1'de verilmektedir. Şekildeki ($T_{1'} - T_1$) aşırı kızdırma sıcaklığını ve ($T_{3'} - T_3$) ise aşırı soğutma sıcaklığını göstermektedir. Bu iki sıcaklık arttıkça ısıtma tesir katsayısı da artar.

Kullanılan soğutucu akışkanın log P-h diyagramında; (h_1-h_2) kompresör giriş çıkışını, (h_2-h_3) kondenser giriş çıkışını, ($h_3=h_4$) ise kılcal boru giriş çıkışını ifade eder. Tasarlanan sistem ile diyagram farklılaştırılmıştır. Buna göre çevrim 1'-2'-3'-4' şeklini almıştır. Şekil 10.2'de GDIP sisteminin ayrıntılı Log P-h diyagramı verilmektedir.



Şekil 10.1. GDIP sistemi deney düzeneği, T-s ve P-h diyagramları



Şekil 10.2. GDIP sisteminin ayrıntılı Log P-h diyagramı

Sistemde dolaşan soğutkanın (soğutucu akışkanın) kütleli debisi;

$$Q_K = \dot{m}(h_2' - h_3') \quad (10.31)$$

eşitliği ile hesaplanır. Ayrıca aşağıdaki eşitlik yardımıyla da hesaplanabilir [116].

$$\dot{m} = \frac{\eta_v \cdot V_s \cdot S_d}{V_{\dot{o}z} \cdot 60} \quad (10.32)$$

Burada; $\dot{m}$, IP devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s]; V_s , kompresörün strok hacmi [m^3 /dev]; η_v , kompresörün hacimsel verimi; S_d , kompresörün devir sayısı [dev/dak]; $V_{\dot{o}z}$, kompresörün girişinde soğutucu akışkanın özgül hacmi [m^3 /kg] olarak tanımlanmıştır.

Kondenserin ısıtma veya kurutma havasına verdiği ısı;

$$Q_{ve} = Q_{Kond} \cdot S_h \quad (10.33)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Isı pompası çalışma süresi (S_h) ile sistem çalışma süresi farklı olacaktır. Çünkü sistemde gerekli ısının sağlanması neticesinde ısı pompası çalışmayacaktır.

Isı pompası sisteminde, yoğuşturucu alanının takriben % 85'i yoğuşturma olayına hizmet eder ki kondenserin asli görevi de budur. Alanının % 5'i kızgınlığın alınmasına ve % 10'u ise aşırı soğutmaya hizmet eder.

Isı pompasının yoğuşturucusundan alınan ısı miktarı;

$$Q_{Kond} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (10.34)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Isı pompası sisteminde kompresör gücü;

$$Q_{Komp} = \dot{m}(h_2' - h_1') \quad (10.35)$$

Isı pompası kompresörüne verilen güç;

$$\dot{W}_{Komp} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\eta_m} \quad (10.36)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada η_m , kompresörün mekanik verimi'dir.

Sistemde evaporatör kapasitesi ise;

$$Q_{Evap} = \dot{m}(h_1' - h_4') \quad (10.37)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada; h_2 , akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi [kJ/kg]; h_3 , Akışkanın yoğuşturucu çıkışındaki entalpisi [kJ/kg]; h_1 , akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi [kJ/kg]; h_4 , akışkanın buharlaştırıcı girişindeki entalpisi [kJ/kg] olarak tanımlanmıştır [116].

Sistemde kondenserden atılan ısı miktarı ($\dot{Q}_{Kond}$) aşağıdaki eşitlik yardımı ile de hesaplanabilir;

$$\dot{Q}_{Kond} = \dot{m}.C_p.(T_{K\check{c}h} - T_{Kgh}) \quad (10.38)$$

$$\dot{m} = \rho.\dot{V} \quad (10.39)$$

Eşitlikte ($\dot{V}$); kurutma havasının hacimsel debisi, (ρ); kurutma havasının yoğunluğu, ($T_{K\check{c}h}$); kondenserden çıkan hava sıcaklığı ve (T_{Kgh}) ise kondersere giren havanın sıcaklığıdır.

Kondenser sıcaklığı (T_K) ile evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı ($COP_{C,h}$) Carnot çevrimi ile aşağıdaki eşitlik ile belirlenir [117].

$$COP_{C,h} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (10.40)$$

Bir IP sisteminde ısıtma tesir katsayısı;

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{Komp}} \quad (10.41)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. IP ile birlikte kullanılan diğer sistemler bütününe performans katsayısının hesabı;

$$COP_{tüm} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{tüm}} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{Komp} + \Sigma \dot{W}_{Fan} + \Sigma \dot{W}_{pomp}} \quad (10.42)$$

eşitliği ile bulunur.

Sistem işi;

$$\dot{W}_{sist} = \dot{W}_{Komp} + \dot{W}_{Fanlar} + \dot{W}_{Pomp} \quad (10.43)$$

olarak yazılabilir. $\dot{W}_{sist}$, sisteme verilen toplam güç [kW]; $\dot{W}_{Pomp}$, devir daim pompalarına verilen güç [kW].

Tarafımızdan hazırlanan deney düzeneğinde fazladan güneş kolektöründen gelen hat üzerinde bir de sulu kondenser (ısı değiştirici) bulunduğundan bu sulu kondenserin kullanılması halinde tüm sistemin etkinlik katsayısı;

$$COP_{sist} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{sist}} = \frac{\dot{Q}_{Kond} + \dot{Q}_{ID}}{\dot{W}_{Komp} + \Sigma \dot{W}_{Fan} + \Sigma \dot{W}_{pomp}} \quad (10.44)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir.

Sürekli akışlı sürekli açık sistem için enerjinin ve kütlenin korunumu kanunu uygulanarak eşitlikler verilmiştir. Kütlenin korunumu kanununun genel eşitliği kurutma sistemine uygulandığında;

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_o \quad (10.45)$$

eşitliği elde edilir.

Enerjinin korunumunun genel eşitliği;

$$\dot{Q}_K - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_{ia} \left(h_{oa} - h_{ia} + \frac{u_o^2 - u_i^2}{2} \right) \quad (10.46)$$

şeklinde olup, eşitlikte sistemin diğer kısımlarındaki kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

Kurutma esnasında enerji çözümlemeleri için kurutma havasının bağıl nemi;

$$\phi = \frac{wP}{(0.622 + w)P_{satT}} \quad (10.47)$$

Kurutma havasının entalpisi;

$$h = CpT + wh_{satT} \quad (10.48)$$

eşitlikleri ile hesaplanır [117].

Kurutma sürecinde kurutma odasında enerjinin kullanılma oranı; [168].

$$EUR_{dc} = \frac{\dot{m} \cdot (h_{ia} - h_{oa})}{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{ia} - T_{aai})} \quad (10.49)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Kurutma havasının ısı analizi

Kurutma odasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kWh/m³ olarak hesaplanır. Kurutma için gerekli olan toplam ısı miktarı;

$$Q_{VTOP} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + \dots \quad (10.50)$$

olarak harcanan veya kaybolan ısıların toplanması ile bulunur. Mahal veya fırın duvarlarının ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T \quad (10.51)$$

Üflenlen havanın ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_2 = v \cdot c_2 \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (10.52)$$

ve mahalden veya fırından çevre havasına olan kayıpları karşılamak için harcanan enerji de;

$$q_3 = K \cdot A \cdot \left[\frac{(t_k + t_{iç})}{2} - t_d \right] Z \quad (10.53)$$

eşitlikleri ile bulunur. Fırın içerisindeki ürünlerin ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_4 = m_f \cdot c_f \cdot \Delta T_k \quad (10.54)$$

Üründeki nemin buharlaştırılması için gerekli enerji;

$$q_5 = S_a \cdot q_{5a} \quad (10.55)$$

kg başına verilen ısı;

$$q_{5a} = [h_{ss}'' - h_s'] \quad (10.56)$$

eşitlikleri ile bulunur [92].

Ayrıca, ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji kurutma sisteminde zorlanmış taşınım söz konusu olduğundan dolayı aşağıdaki eşitlik ile de hesaplanabilir [200].

$$\dot{Q}_e = 0.016 \frac{k}{L} C(Re Pr)^n [P(T_u) - \phi P(T_c)] \quad (10.57)$$

Üründen buharlaştırılan nem miktarı ise;

$$\dot{m}_{ev} = \frac{\dot{Q}_e}{q_g} A_t t = 0.016 \frac{k}{L q_g} C.(Gr.Pr)^n . [P.(Ta - \phi.P(T_c))].A_t . t \quad (10.58)$$

eşitliği ile hesaplanabilir [201].

Eşitlik 10.58’de $0.016 \frac{k}{L q_g} [P.(Ta - \phi.P(T_c))].A_t . t$ ifadesine Z denirse eşitlik;

$$\frac{\dot{m}_{ev}}{Z} = C.(Gr.Pr)^n \quad (10.59)$$

şeklinde yazılabilir [202].

Kurutma odası duvarlarından ısı kaybı;

$$\dot{Q}_{duvar} = k.A\Delta T \quad (10.60)$$

Kanal duvarlarından ısı kaybı;

$$\dot{Q}_{kanal} = k.A.\Delta T \quad (10.61)$$

Kanal kesit alanı;

$$A = \dot{V} / v = a.b \quad (10.62)$$

Burada; A, kanalın kesit alanı (m²); $\dot{V}$, hacimsel hava debisi (m³/s).

Dairesel hava kanallarından kaybedilen ısı; [142].

$$Q_{dkanal} = \frac{2\pi.L.\Delta t}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\alpha_d r_3}} \quad (10.63)$$

eşitliği ile ifade edilir. $\lambda_1=0.23$ W/mK (PVC boru), $\lambda_2=0.034$ W/mK (Sytrapor),

Kurutma havası ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında zorlanmış taşınım için Reynold ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olan Nusselt sayıları;

α_i için cebri konum;

$$Nu = \frac{\alpha_1.d_h}{\lambda} \quad (10.64)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu.\lambda}{d_h} \quad (10.65)$$

$$Nu = C.Re^m.Pr^n.\left(\frac{d}{h}\right)^p \quad (10.66)$$

$$Re = \frac{\omega.d_h}{v} \quad (10.67)$$

Kurutma havası ısı taşınım katsayısının yuvarlak kanallarda α_d 'i bulmak için tabii konveksiyon şartları uygulandığında Grashof ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olan Nusselt sayıları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir.

$$Nu = C.Gr^m.Pr^n \quad (10.68)$$

$$Gr = \frac{\beta.g.\theta.h^3}{\nu^2} \quad (10.69)$$

hacimsel genleşme sayısı (β);

$$\beta = \frac{1}{t + 273} \quad (10.70)$$

bulunabilir.

Havanın kütleli debisi;

$$\dot{m}_{hava} = \varpi.A.\rho \quad (10.71)$$

şeklinde olup burada; $\dot{m}_{hava}$, havanın kütleli debisi (kg/s); ϖ , hava hızı (m/s) olarak verilmiştir.

Sistemin kütleli hava debisi;

$$\dot{m}_{hava} = \dot{Q}_{max} / (h_{üf} - h_{oda}) \quad (10.72)$$

Burada; $\dot{Q}_{max}$, odanın ısı kazancı veya kaybı yükü (W); h , üfleme ve oda havasının entalpileri (kJ/kg).

Hacimsel hava debisi;

$$\dot{V}_{hava} = \dot{m}_{hava} / \rho_{hava} \quad (10.73)$$

eşitliğinden bulunur.

Doymuş havanın -20 °C ile + 70 °C aralığındaki taşıyacağı en fazla özgül nem;

$$W = 0,6218 \frac{P_d(t_k)}{101,325 - P_d(t_k)} = 0,6218 \frac{x_w}{x_a} \quad (10.74)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada; W , özgül nemi (kg/kg); 101.325 mbar, atmosfer basıncını (kpa); $P_d(t_k)$, t_k sıcaklığındaki su buharının doyma basıncını (kpa); x_a , kuru havanın mol ağırlığı; x_w , su buharının mol ağırlığını göstermektedir.

Doyma derecesi (boyutsuz);

$$\mu = \frac{W}{W_s} \quad (10.75)$$

ile hesaplanır. Burada; μ , doyma derecesini (boyutsuz); W_s , aynı sıcaklıktaki doymuş havanın özgül nemini (kg nem/kg kuru hava) ifade eder.

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 ($SMER_{IP}$), ya da fan gücü ve elektrikli cihazların verimleri bütün sistemin toplam özgül nem çekme oranını verir ($SMER_{sist}$). Bu oranlar;

$$SMER_{IP} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (10.76)$$

$$SMER_{sist} = \frac{SMER_{IP}}{(1 + \dot{W}_c / \dot{W}_f)} \eta_{el} \quad (10.77)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır [168].

Deney düzeneğindeki kurutma hücresine giren havanın taşıdığı enerji;

$$Q_{kalan} = Q_{kh} + Q_1 + Q_{Gg} - (Q_2 + Q_{duvar} + Q_{kanal} + Q_{taze}) \quad (10.78)$$

Kondenserden havaya aktarılan ısı;

$$Q_{kh} = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (10.79)$$

Yardımcı kondenserden havaya aktarılan ısı;

$$Q_{ykh} = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (10.80)$$

Güneş enerjisi sistemindeki 1 nolu sulu kondenserden havaya aktarılan ısı;

$$Q_1 = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (10.81)$$

Güneş enerjisi sistemindeki 2 nolu sulu kondenserin havadan çektiği ısı;

$$Q_2 = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (10.82)$$

Sistemin güneş kolektöründen (Gg) fazladan kazandığı enerji;

$$Q_{Gg} = Q_{TOP} + Q_E \quad (10.83)$$

eşitliğinden yararlanılır.

Islak havada bulunan su buharı, kendi sıcaklığından daha düşük (çiylene sıcaklığı altında) soğuk yüzeye çarptığında tuttuğu gizli ısıyı vererek yoğunlaşmaktadır. 2 nolu

sulu kondenserde kurutma havasının nemi alınırken, sıcaklığı da düşer ancak, yoğuşma gizli ısısı kondenserde tekrar kazanılır. Islak havanın verdiği gizli ısı;

$$Q_{2g} = m.r \quad (10.84)$$

eşitliğiyle bulunur. VAV kutusu ile dışarıdan sisteme taze hava alınmaktadır. Dönüş havası (nemli hava) ile taze hava (az nemli hava) VAV kutusu vasıtasıyla karışarak karışım havasını oluşturur. Kütle korunumu yasasına göre kuru hava için;

$$m_1 + m_2 = m_3 \quad (10.85)$$

yazılabilir. Bu karışım havasının eşitliği su buharıyla birlikte yazılırsa eşitlik;

$$m_1.w_1 + m_2.w_2 = m_3.w_3 \quad (10.86)$$

olur. Buradan;

$$\frac{(w_1 - w_3)}{(w_3 - w_2)} = \frac{m_2}{m_1} \quad (10.87)$$

yazılabilir.

Enerjinin korunumu yasasına göre ise kütleli konumu;

$$\frac{(h_1 - h_3)}{(h_3 - h_2)} = \frac{m_2}{m_1} \quad (10.88)$$

eşitliği ile hesap edilebilir. VAV ile dışarıdan alınan taze havanın ısı hesabı;

$$\dot{Q}_{taze} = \dot{m}.(h_{iç} - h_{taze}) \quad (10.89)$$

ile yapılır. Burada; $\dot{Q}_{taze}$, dış havanın oda ısı yüküne katkısı (W); $\dot{m}$, dış havanın kütleli debisi (kg/s); h , iç ve dış havaların entalpilerini (kJ/kg) belirtmektedir.

Fanın seçimi, kanal sisteminin basınç düşümü ve hava debisi göz önüne alınarak yapılmıştır. Basınç düşümü hesaplanırken, önceden seçilen hava hızları ve kesit ölçülerine göre kanal için özel (lokal) ve doğrusal (lineer) basınç düşümleri kullanılarak bulunmuştur.

Fan gücü;

$$\dot{W}_f = \dot{V} \cdot \Delta p / \eta \quad (10.90)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada; $\dot{W}_f$, fan gücü (W); $\dot{V}$, havanın hacimsel debisi (m^3/s); Δp , toplam basınç düşümü (Pa); η , fan verimi'dir.

Nem oranı (MR-moisture ratio), kurutma hızı (DR-drying rate) ve nem içeriği (MC-moisture content) değerleri aşağıdaki formüllerden hesaplanır.

$$MC_{db} = \frac{M_i - M_d}{M_d} \cdot 100 \quad (10.91)$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (10.92)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (10.93)$$

10.2. Deney Düzenekinin Hazırlanması ve Deney Düzenekği

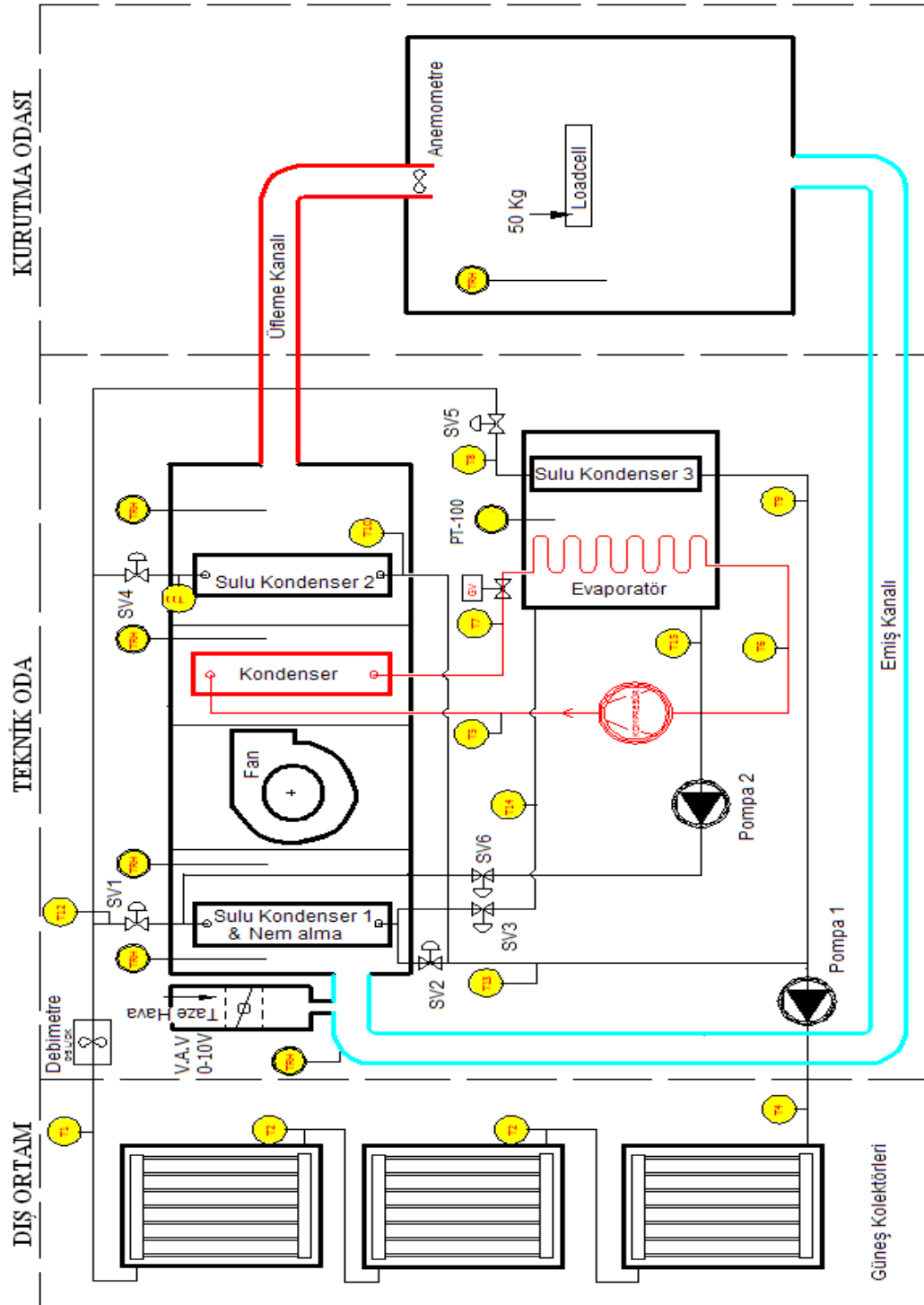
Güneş destekli ısı pompası ile ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretim sisteminin kurutma amaçlı kullanımı için Ankara ilinde (40 °N, 33 °E), Gazi Üniversitesi

Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Eğitimi Anabilim Dalı bahçesine kurulmuştur. Sistem, eskiden kereste kurutma amaçlı olarak kullanılan kurutma odası ve makine dairesine kurulmuştur.

Bu çalışmada; sıcak hava için temel beklentiler göz önüne alınarak, ısıtma ve kurutma için sıcak hava üretmek amacıyla sistem tasarımı hazırlanmış ancak bu bölümde sadece ürün kurutma deneyleri anlatılmaktadır. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birleşimine dayanan sıcak hava üreticisinin verim analizleri, ürün kurutulmasında denenmek üzere tertip edilmiştir. Sıcak hava üreticisi her ne kadar mantar kurutulmasında kullanılmışsa da farklı ürünler kurutulabildiği gibi sıcak hava ihtiyacı duyan birçok alanda rahatlıkla kullanılabilme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür.

Tasarlanan ve imalatı yapılan güneş enerjisi ve ısı pompasının birlikte kullanıldığı sistem; ısı pompası devresi (kompresör, yoğuşturucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), kurutucu filtre (dryer), kılcal boru), eksenel fan, süreç kontrol donanımları ve güneş enerjisi devresinden (kolektörler, pompa vb) oluşmaktadır. Tasarlanarak imalatı yapılan ve tam otomatik olarak çalışan güneş enerjisi ve ısı pompasının birlikte kullanıldığı sıcak hava üretim cihazının genel görünüşü Şekil 10.3'te verilmiştir.

Sistem, üç akışkan devresinden oluşmaktadır. Bunlar; gaz (soğutucu akışkan), su ve hava devreleridir. Sistem, temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır; ısı üreticisi (güneş enerjisi devresi), ısı sağlayıcı (ısı pompası sistemi) ve ısı aktarıcı (fan veya devirdaim pompası). Sistemler; gaz-hava, gaz-su-hava, su-hava şeklinde birleşimler oluşturulabilmektedir. Bu sistemler, ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 10.3. GDIP sistemli sıcak hava üretim cihazı

Sistemde mantar kurutulması için uygun olan şartlar (kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı) sistem tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulmuştur. İmalatta kullanılan donanımların kapasitelerinin kurutma şartlarına uygun olarak

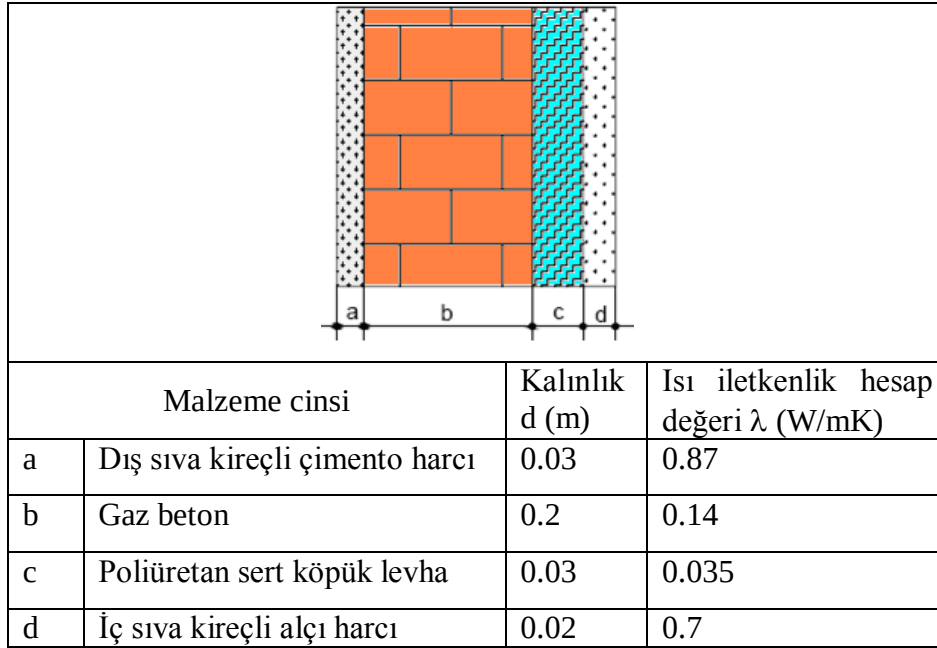
belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Tasarım aşamasında sistemde kurutma havasının neminin çekilmesinin ekonomik olacağı düşünülmüştür. Sistemde kurutulacak olan mantarların başlangıç nem miktarının çok yüksek olması (% 93) hali hazırda sistemin nem alma için uygun şartların sistem tasarımında hazırlanmış olması bunun başlıca nedenidir. Kurutma öncesinde hazırlıklar ve kontrol işlemleri mantarın kurutma kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle kurutma işlemine başlanmadan önce kurutulacak ürün kurutmaya hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 10.1. Sistem elemanlarının enerji eşitlikleri

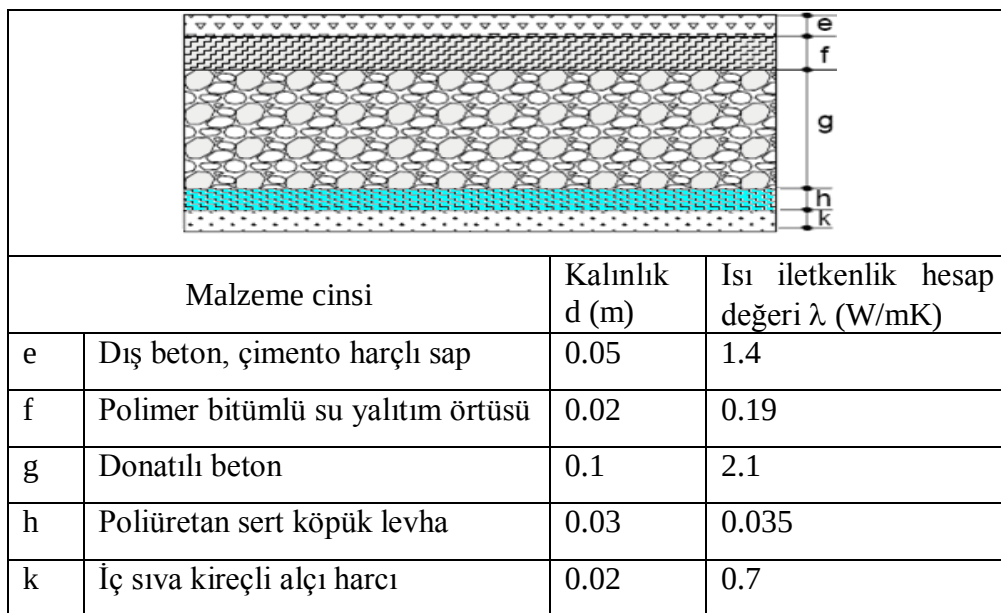
Elemanlar	Kütlesel debi	Enerji eşitliği
Güneş kolektörleri	$\dot{m}_{S1} = \dot{m}_{S2}$	$\dot{Q}_{kol} = \dot{m}_S c p_S (T_2 - T_1)$ $\dot{Q}_{ışınım} = A_{kol} I_T$
Kompresör	$\dot{m}_{gb1} = \dot{m}_{gs1} = \dot{m}_r$	$\dot{W}_{Komp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1)$
Kondenser	$\dot{m}_{gs1} = \dot{m}_{gs2} = \dot{m}_r$ $\dot{m}_{S2} = \dot{m}_{S3} = \dot{m}_S$ $\dot{m}_{S4} = \dot{m}_{S5} = \dot{m}_S$ $\dot{m}_{S3} = \dot{m}_{S4} = \dot{m}_S$	$\dot{Q}_{Kond} = \dot{m}_r (h_2 - h_3)$ $\dot{Q}_{Kond} = \dot{m}_S c p_S (T_2 - T_3)$ $\dot{Q}_{Kond} = \dot{m}_S c p_S (T_5 - T_4)$ $\dot{Q}_{Kond} = \dot{m}_S c p_S (T_3 - T_4)$
Genleşme valfi	$\dot{m}_{gb2} = \dot{m}_{gs2} = \dot{m}_r$	$h_3 = h_4, h_{gb2} = h_{gs2}$
Evaporatör	$\dot{m}_{gb1} = \dot{m}_{gb2} = \dot{m}_r$	$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_4 - h_1)$
Pompa 1	$\dot{m}_{S1} = \dot{m}_{S6}$	$\dot{Q}_{P1} = \dot{m}_{Ss} (h_6 - h_1)$
Pompa 2	$\dot{m}_{Ss1} = \dot{m}_{Ss2}$	$\dot{Q}_{P2} = \dot{m}_{Ss} (h_2 - h_1)$
Isı pompası	$\dot{m}_{rgir} = \dot{m}_{rçık}$	$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{Komp}}$
Tüm sistem	$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_{çık}$	$COP_{sist} = \frac{\dot{Q}_{Kond}}{\dot{W}_{sist}}$

Çizelge 10.1’de sistem elemanlarının enerji eşitlikleri ayrıntılı olarak verilmektedir. Buradaki enerji eşitliklerinde kullanılan simgeler Şekil 10.4’te verilen deney

duvarı, dışarıdan içeriye doğru sırasıyla kireçli sıva, gaz beton duvar, poliüretan köpük ve kireçli alçı harcından oluşmaktadır. Duvar ayrıntısı Şekil 10.5’de verilmektedir. Kurutma odası tavan yapısının ayrıntısı ise Şekil 10.6’de gösterilmektedir.

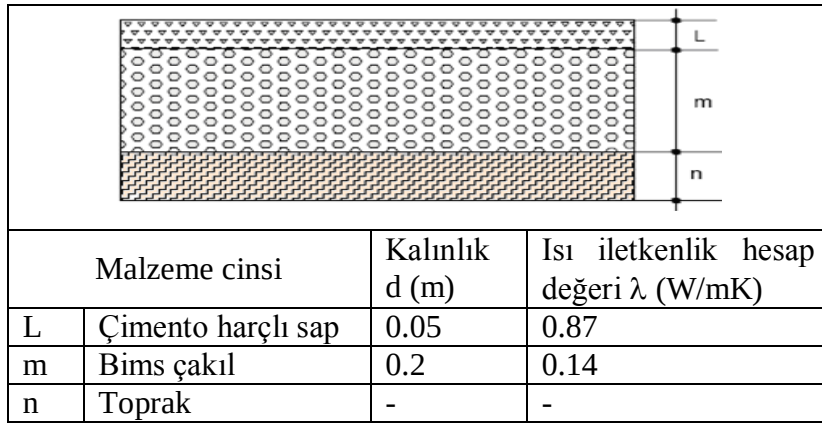


Şekil 10.5. Kurutma odası dış duvarı ve özellikleri [99]

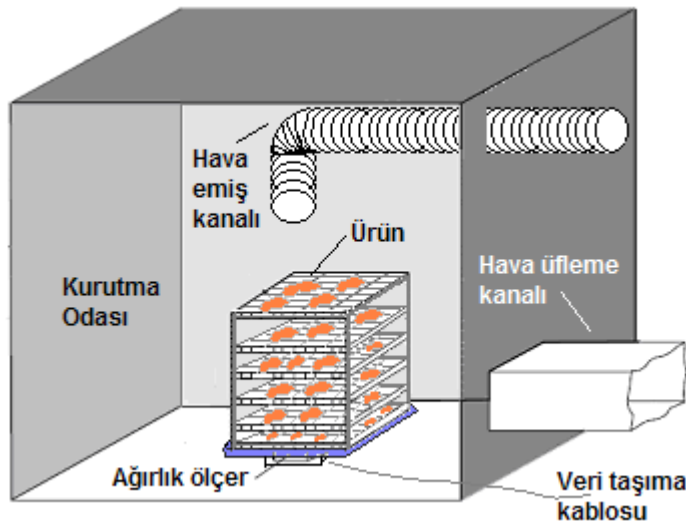


Şekil 10.6. Kurutma odası tavanı ve özellikleri [99]

Kurutma odası taban yapısının ayrıntısı Şekil 10.7’de gösterilmektedir. Kurutma odasının içerisine ağırlık ölçer (load-cell), load-cell bağlantı düzeneği ve bu düzeneğin üzerine de kurutulacak olan ürünlerin serpiştirilmesi için tarafımızdan imal edilen ızgaralı düzenek yerleştirilmiştir. Kurutma odasının ayrıntısı Şekil 10.8’da verilmiştir.



Şekil 10.7. Kurutma odası tabanı ve özellikleri [99]



Şekil 10.8. Kurutma odası

Büyük hacimde kurutma deneylerinden sonra kurutma odasının içerisine monte edilebilecek şekilde 1 m³ hacminde daha kullanışlı ve yalıtımı daha iyi olan bir kurutma kabini kurulmuştur. Büyük odaya benzer şekilde hazırlanan kurutma

kabininde 4 cm kalınlığında yalıtım kullanılmıştır. Kabinin 2 noktasına sıcaklık ve nem sensörleri yerleştirilmiştir. Kabinin içerisine sürgülü ızgaralar konulmuştur. Bu ızgaraların giriş çıkışı için kabine kapaklı bir ağız yapılmıştır. Hazırlanan bu kurutma odasıyla ilgili resimler “Ekler” bölümünde verilmektedir.

10.2.2. Güneş enerjisi devresi

Seri bağlı üç adet düzlemsel güneş kolektörü, ısı depolama tankı, arzu edilen duruma göre birbiriyle senkronize veya ayrı ayrı çalışacak şekilde sisteme yerleştirilmiş üç adet sulu kondenser, dolaşım pompası ve genleşme tankından oluşmaktadır. Kolektörler yatayla 40° açı yapmakta olup güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Enerji üretimi, seri olarak bağlanan üç adet güneş kolektöründen sağlanmaktadır. Güneşten gelen enerji, toplayıcılar (ışın toplaçları) tarafından emilerek kolektörler içerisinden geçen akışkana aktarılmaktadır. Eğimli yüzeye gelen anlık güneş ışınımı (I_T) değerleri Duffie ve Beckman (1991) tarafından verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

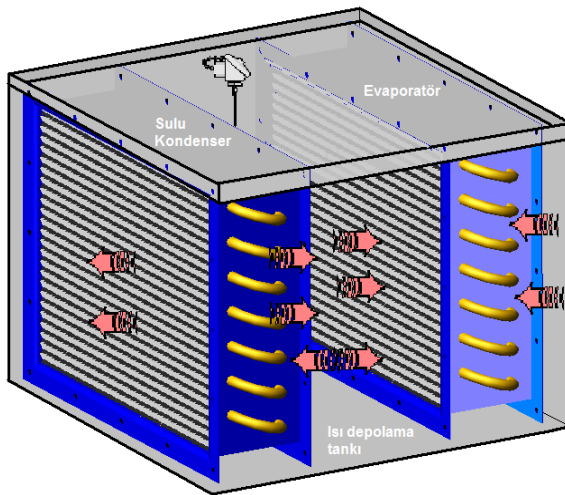
Güneş enerjisi devresinde % 100 su kullanılabileceği gibi, eksi dış ortam sıcaklığı altında donmayı önlemek için glikol-su karışımı (salamuralı) suyun kullanılması gerekmektedir. Güneş kolektörlerinde ısı taşıyıcı akışkan olarak % 40 glikollü su kullanılmıştır. Karışım bu haliyle yaklaşık -25 °C sıcaklığa kadar koruma sağlamaktadır.

Akışkanın devir daimi bir dolaşım pompasıyla gerçekleştirilmektedir. Akışkan, güneşten aldığı ısı enerjisini, deney düzeneğindeki sulu kondenser vasıtasıyla ve sistem fanı yardımıyla kurutma odasına bırakır. Sonrasında akışkan, ısı aktarma tankı içerisinde bulunan ikinci bir sulu kondensere basılır. Burada akışkan, sulu kondensere girerken enerjisini sıvı banyosuna bırakır. Sıvı banyosuna bırakılan ısı enerjisi, ısı pompasının evaporatörüyle çekilerek kondenser vasıtasıyla kurutma fırınına aktarılır. Sıvı banyosundan çıkan düşük enerjili çalışma akışkanı, güneş kolektörlerine pompalanır ve sistemde sürekli dolaşımı sağlanır.

Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde su, 10 °C'den 90 °C'ye ısıtıldığında, hacmi, ilk hacminin % 3.55 oranında artar. Sudaki sıcaklığa bağlı bu genleşmeyi alabilmek üzere genleşme deposu kullanılmıştır. Genleşme deposunun hacminin belirlenmesinde 1m² kolektör yüzeyi için yaklaşık 4 litre depo hacmi esas alınır ilkesinden yola çıkarak, tasarlanan sistemde 6m² kolektör alanı olduğundan, 24 litre kapasitesinde kapalı genleşme tankı son kolektörün çıkışına monte edilmiştir.

Isı aktarımı: güneş kolektörlerinden gelen ısı ya direkt olarak veyahut da ısı pompası ile bir fan vasıtasıyla mahal içerisine doğru olmaktadır. Bir diğer ısı aktarım sistemi ise 2 nolu pompanın bulunduğu sulu sistemdir.

Isı depolama: kullanılan toplayıcı miktarına, yani toplam kolektör alanına göre tayin edilen ve toplayıcılardan elde edilen sıcak suyun toplandığı kapta oluşur. Güneş enerjili sıcak su sisteminde, genellikle toplayıcıya göre 1m² toplayıcı yüzey alanı için 70-100 litre hacminde tanklar seçilir. Isıl enerji ihtiyaç duyulduğunda var olmak zorundadır. Dolayısıyla bu tür sistemlerde ısıtma, soğutma veya her iki amaç için de kullanılabilen ısı enerjisi depolanma tankı gereklidir. Isı depolama tankında enerji depolanması, duyulur ve gizli olmak üzere iki şekilde olabilmektedir. Isıl enerjinin başka bir enerji türüne çevrilmeden direkt ısı olarak depolanması dönüşüm kayıplarını yok ederek yüksek verim elde edilmesini sağlar.



Şekil 10.9. Sistemde kullanılan ısı depolama tankı

Sistemdeki ısı depolama tankı yapısı Şekil 10.9’da gösterilmiştir. Bu tank içerisindeki su doğrudan güneş enerjisi devresine bağlı değildir. Güneş enerjisi devresinden gelen hat üzerine sulu kondenser konulmuş ve bu kondenser tank içerisine ısı pompasının evaporatörü ile birlikte daldırılmıştır. Evaporatörün bulunduğu tank içerisine giren yüksek su sıcaklığı evaporatörün daha fazla ısı çekmesine yardımcı olacağından ve dolayısıyla sistemin COP’unu (performans katsayısını) arttıracığından bu şekilde tasarlanmıştır.

Soğuk su hattı: devirdaim pompası, soğuk su depolama tankı ve sulu kondenserden oluşmaktadır. Tank içerisindeki sıvı banyosundaki soğuk su arzuya göre bir dolaşım pompası (P2) yardımıyla tesisat üzerinde bulunan sulu kondenserden geçerek kurutma havasından nem çekerek tekrar tanka pompalanır.

10.2.3. Isı pompası sistemi

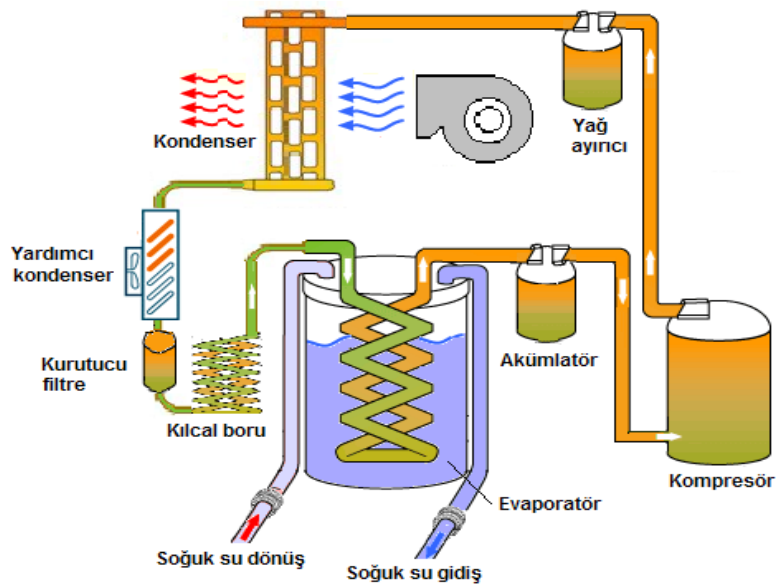
Sistem; kompresör (ekowat), buharlaştırıcı (evaporatör), yoğuşturucu (kondenser), gaz deposu (akümülatör), yağ ayırıcı (oil seperatör), kurutucu filtre (dryer), kılcal boru ve kontrol elemanlarından oluşmaktadır. İşgören akışkan olarak R 404A’nin kullanıldığı gaz devresi mekanik buhar sıkıştırımlı çevrime göre çalışmaktadır.

Güneş enerjisinden ısı çekme isteği ve soğuk suyun bile enerjiyle dolu olduğu gerçeğinden yola çıkılarak ısı pompası sisteme uyarlanmıştır. Nem yönünden fakir (kuru) havanın daha çabuk ısınacağı düşünülerek iç havanın nemini çekebilmek için, hava fırına girmeden neminin alınabileceği şekilde tasarlanmıştır. Nemi alınan ve sıcaklığı düşen havanın güneş enerjisi ve IP’nın kondenseri ile tekrar ısıtılmaktadır.

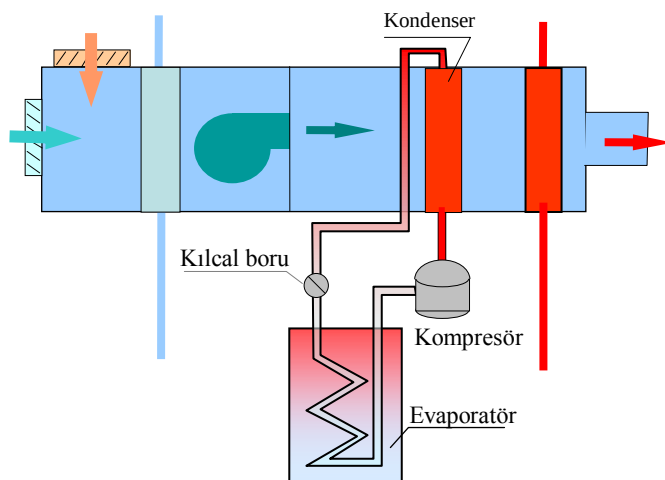
Isı pompası sisteminde kullanılan soğutucu akışkan R404A; % 44 R125 + % 4 R134a + % 52 R143a’dan oluşmaktadır. R502 ve R22 için alternatif olarak kabul edilen zeotropik bir karışımdır. Mol ağırlığı 97.6 kg/kmol, buharlaşma sıcaklığı -46.5 °C, 1 atm’de buharlaşma gizli ısı 201.5 kJ/kg, 25 °C’de sıvı yoğunluğu 1048 kg/m³, 25 °C’de ısı iletim katsayısı 0.0394 W/mK, kritik sıcaklık 72.1 °C, kritik basınç 3.73 bar ve ozon delme potansiyeli sıfır’dır. HCFC içerdiğinden nihai bir alternatif

olmayıp 2030 yılına kadar kullanılabilir. Teorik termodinamik özellikleri R22 kadar iyi olmamakla birlikte sistem verimi R22'ye göre % 5 daha iyidir. Ayrıca ısı transfer özelliği oldukça iyidir. Tüm bu özelliklerden hareketle soğutucu akışkan olarak R 404A seçilmiş ve sistem o yönde hazırlanmıştır.

Deney düzeneğinde kullanılan ısı pompası ve ısı pompasının deney düzeneğindeki konumu sırasıyla Şekil 10.10 ve Şekil 10.11'de gösterilmiştir.



Şekil 10.10. Deney düzeneğinde kullanılan ısı pompası



Şekil 10.11. Isı pompasının deney düzeneğinde kullanılması

Sistemdeki ısı pompası, su-hava ısı pompası olup genel olarak üç amaca hizmet etmektedir. Bunlar; havanın ısıtılması, güneş enerjisi sisteminden gelen sudan ısı çekilmesi (dolayısıyla depodaki suyun soğutulması) ve nem alma işleminin gerçekleştirilmesine yardımcı olmasıdır. Evaporatörde giren enerjiyi artırmak ve bir miktar da enerji depolamak için evaporatör, güneş enerjisi sisteminin ısı depolama tankı içerisine yerleştirilmiştir. Bu durumda evaporatör sıcaklığı, kompresör giriş-çıkış basıncı, kondenser sıcaklığı (basınca bağlı olarak) ve güneş kolektöründen gelen suyun sıcaklığına bağlı olarak artacaktır. Güneş kolektöründen alınan enerji depolama tankındaki suya aktarılmakta ve buradan da hava ısıtmada kullanılmak üzere ortama aktarılmaktadır.

10.2.4. Sistem detayları ve kontrol işlev sistemi

Kontrol işlev sistemi: PLC, HMI ve yazılımı, SCADA, sistemin yönlendirilmesinde kullanılan ölçü aletleri (sıcaklık, basınç ve nem sensörleri vb) ile senkronize çalışan kontrol kartları, devirli fan, kompresör, data-logger, selenoid valfler, frekans inverterleri, kontaktörler, higrostat, ve benzeri sistemlerin birlikte birbiriyle uyumlu kullanıldığı bir dizi elektronik-mekanik kontrol elemanları tarafından oluşturulmuştur. Sistemin süreç kontrolü için bir PLC ve SCADA sistemi tasarlanmıştır. Protokol olarak Modbus protokolü kullanılmıştır. Sistem panosunda; 8 analog giriş, 8 dijital giriş, 4 analog çıkış (0-10V), 6 role ve 2 adet de SSR kullanılmıştır. Kurutma esnasında tüm veriler bir yazılım sayesinde bilgisayar ekranından takip edilmiş ve belirlenen sürelerde kayıt altına alınmıştır.

Veri toplama ve izleme sistemi: fırın içerisindeki ölçüm noktalarının değerleri, uygun saha donanımları hissediciler yardımıyla denetim işleminde kullanılmak üzere toplanmakta ve denetim bilgisayarına gönderilmektedir. Bu denetim bilgisayarından veri toplama sistemine bağlı bütün noktalar izlenebilmektedir. İzlenen veriler SCADA yazılımı üzerinden değiştirilebilme özelliğine sahiptir. İnvertör çıkışlarından biri hava devir-daim fanına bağlı olup invertör kurutma odası içerisindeki sıcaklığa bağlı olarak gelen geri besleme sinyali frekans değerini ayarlamakta ve fanın devir sayısını değiştirmektedir. İnvertör çıkışlarından diğeri ise güneş enerjisi sistemindeki

devirdaim pompasına bağlı olup inventör kurutma odası içerisindeki sıcaklığa bağlı olarak gelen geri besleme sinyali frekans değerini ayarlamakta ve pompanın devir sayısını değiştirmektedir. Fan ve pompa sayısal on-off olarak ve manuel değer girerek de çalıştırılabilmektedir. Deney düzeneğindeki elemanlar ile ilgili bilgiler Çizelge 10.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 10.2. Deney düzeneğindeki elemanlar ile ilgili bilgiler

<i>Sistem elemanı</i>	<i>Özellik</i>	<i>Marka</i>
Güneş Kolektörü (3 adet)	Düzlemsel Tek camlı 2 m ² , 2+2+4 lt	ERASLAN ve ŞİMŞEK
Genleşme Tankı	24 lt	EMA
Isı pompası Kompresör Yoğuşturucu Yardımcı Yoğuşturucu Buharlaştırıcı Soğutucu akışkan	Hermetik 1.1 kJ/h Hava soğutmalı 1260kcal Hava soğutmalı 500kcal Su soğutmalı R404A	KOMBİ Özel üretim Özel üretim Özel üretim
Sulu kondenser 1	280 kcal	Özel üretim
Sulu kondenser 2	980 kcal	Özel üretim
Sulu kondenser 3	980 kcal	Özel üretim
Fan 1	0.37 kJ/h	----
Fan 2	0.06 kJ/h	----
Selenoid Valf (8adet)	1" ve 3/4", 0.5-16 bar, -20+80 °C, 220V	FABER, TORK
Sirkülasyon pompası 1	0.37 kJ/h, 5-40 lt/dk	PEDROLLO
Sirkülasyon pompası 2	0.04 - 0.09 kJ/h	ALARKO
VAV kutusu	5VA, 3W, AC/DC 24V, 50/60 Hz	BELİMO NMW-D2M
Transformatör	EI-7635, 24V-220V, 50VA, 50/60Hz	EKA
Dijital sıcaklık kontrolör	PC440, 100-240V	ORDEL
Kontrol paneli	2 adet İnvertör, 2 adet kontaktör, 4 adet okuyucu kart, Sensör bordu, PLC, Şalter ve benzeri ekipman	Özel üretim
İnvertor (driver) 2 adet	VFD-ED, 0.1-600Hz, 230V 1faz, 460V 3faz,	DELTA
Program	Visual basic programı	Özel Üretim
PC	Notebook	HP

Sistemde kurutma odası havasının nem değerine göre hareket eden bir damper kontrol sistemi bulunmaktadır. Damper kapağına bağlı olan AC servo motor kurutma havası nemine bağlı olarak SCADA yazılımından gönderilen komut ile uygun konuma gelmektedir.

Kontrol işlev sistemi, deney düzeneğindeki elemanların doğru ve hata payının en az olduğu otomatik kontrolde çalışmasının sağlanması için hayati öneme sahiptir. Kontrol işlev sisteminin deney düzeneğindeki elemanlarla senkronize çalışabilmesi için sistem elemanlarına uygun yapıda olmalıdır. Bu yapıyı oluşturmak için sistem elemanları detaylı incelenmelidir. Çizelge 10.2’de deney düzeneğindeki elemanlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Çizelge 10.3’de ise kurutma fırınında kullanılan elektrikli cihazların güçleri verilmektedir.

Çizelge 10.3. Kurutma fırınında kullanılan elektrikli cihazların güçleri

CİHAZ	GÜÇ (kJ/h)
Kompresör (R 404a)	1.1
Fan	0.37
Yardımcı yoğuşturucu fanı	0.17
Pompa 1	0.37
Pompa 2	0.04 – 0.09
VAV kutusu	0.003
Ağırlık ölçer	---
PC	0.05

Ölçü aletleri ve bağlantıları: nem ve sıcaklık sensörü, sıcaklık sensörü (PT-100), ağırlık ölçer, anemometre, basınç transmitteri, manometre ve debimetre gibi ölçü aletleri sisteme bağlanmıştır. Deney düzeneği üzerindeki duyargaların konumları Şekil 10.3’te gösterilmiştir. Bu duyargalardan alınan bilgiler sensör bordu ve kart bordu tarafından işlenerek bir program vasıtasıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan bilgiler üzerinden programın izin verdiği noktalardaki (hava hızı, üfleme sıcaklığı gibi) değerler isteğe göre düzenlenebilmektedir. Sistem üzerinden bazı verileri okuyabilmek için kullanılan klasik ölçüm cihazları ve özellikleri Çizelge 10.4’te, sistem üzerine monte edilmiş ölçü aletleri ve özellikleri ise Çizelge 10.5’te verilmektedir.

Çizelge 10.4. Ölçüm cihazları ve özellikleri

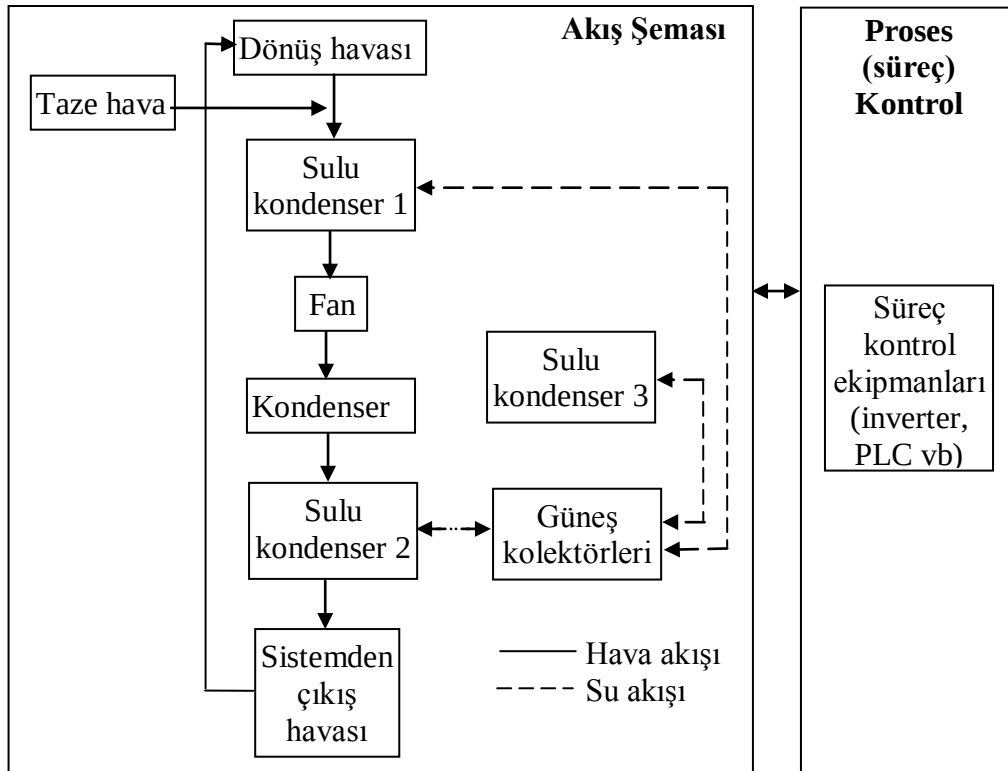
CİHAZ	MARKA	ÖZELLİK
Nem ve sıcaklık ölçüm cihazı	TESTO	Dijital termohigrometre Ölçüm aralığı -10 ile +70 °C, 5 - 95 % RH Hassasiyet $\pm 3 \text{ RH} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Hız ve sıcaklık ölçüm cihazı	TESTO	Sıcaklık -20 ile +70 °C, Hız 0 - 20 m/s Hassasiyet 0.01 m/s 0,1 °C Teleskobik kanal probu Heated wire, NTC sensör.
Nem ölçer	TESTO	Ölçüm aralığı 6 - 44 %, hassasiyet $\pm 1\%$

Çizelge 10.5. Ölçü aletleri ve özellikleri

CİHAZ	MARKA	ÖZELLİK
Nem ve sıcaklık sensörü	Notion Control	HTTD, (0-10VDC), 15-35VA/DC, -50-125 °C, 5 - 95 % RH
Sıcaklık sensörü	ELİMKO	Giriş Pt-100, R/T Tip, Skala 0-70 °C Besleme 24 V-DC, Çıkış 4-20 mA
Sıcaklık sensörü	---	LM35, -55-150 °C, 10mV/°C
Ağırlık ölçer	HBM	Tip- Pw 16C3/100 kg, Kapasite 100 kg Doğruluk Sınıfı C3 Hassasiyet $2.0 \text{ mV/V} \pm 0.2$
Ağırlık çevirici	ELİMKO	Tip – E-7574-A, Giriş 2 mV/V Çıkış 4-20 mA, Besleme 220 V Doğruluk 0.5
Basınç transmitteri	SİCK	0-10 bar, Çıkış 4-20 mA
Anemometre	Özel Üretim	Kanat adedi 5, Kanat çapı 18 cm
Kontrol kartı	Özel Üretim	Özel Üretim

Sistemde kurutma havası sıcaklığı proses kontrol ekipmanı ile set edilen değerde PLC kontrol sistemi ile tutulur. Set edilen sıcaklık değeri (istenilen kurutma havası sıcaklığı), hissedicilerden gelen bilgi ile okunan değerden büyük olduğunda; fan daha az debide havayı üfler. Eğer set değeri, hissedici (sensör) ile okunan değerden küçük olduğunda, fan daha fazla debide havayı üfler. Böylece kurutma havası sıcaklığı set edilen değerde tutulmaya çalışılır. Dolayısıyla sistemde kurutma esnasında oluşabilecek sıcaklık dalgalanmaları önlenmiş olur. Sistem, üzerinde çeşitli seneryoların uygulanmasına izin vermektedir. Bu seneryolar eşliğinde sistem farklı amaçlara hizmet edebilmektedir. Bu seneryolarda selenoid valflere (SV) ve diğer elektronik cihazlara büyük görevler düşmektedir.

Seneryo 1: Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin kurutma için yeterli olması durumudur. Bu durumda sistem sadece ısıtma yapar, nem alma işlemi yapmaz. Güneş kolektörlerinden çıkan sıcak su, pompa 1 vasıtasıyla ya sadece SV4 açılarak kondenser 2 üzerinden geçirilerek tekrar güneş kolektörlerine basılır ve bir döngü oluşturarak bu işlem tekrarlanır. Veyahut da güneş kolektörlerinden çıkan sıcak su, pompa 1 vasıtasıyla SV1 ve SV2 açılarak kondenser 1 ve SV4 açılarak kondenser 2 üzerinden geçilerek tekrar güneş kolektörlerine basılarak çevrim oluşturulur. Bu durumda kondenser 1’de ön ısıtma yapılmış olur. Veyahut da güneş kolektörlerinden çıkan sıcak su pompa 1 vasıtasıyla SV4 ve SV5 açılarak kondenser 2 ve kondenser 3 üzerinden geçirilip tekrar güneş kolektörlerine basılarak çevrim oluşturulur. Bu durumda hem ısıtma yapılmış hem de ısı depolanmış olur. Sadece güneş enerjisi sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı Şekil 10.12’de gösterilmektedir.

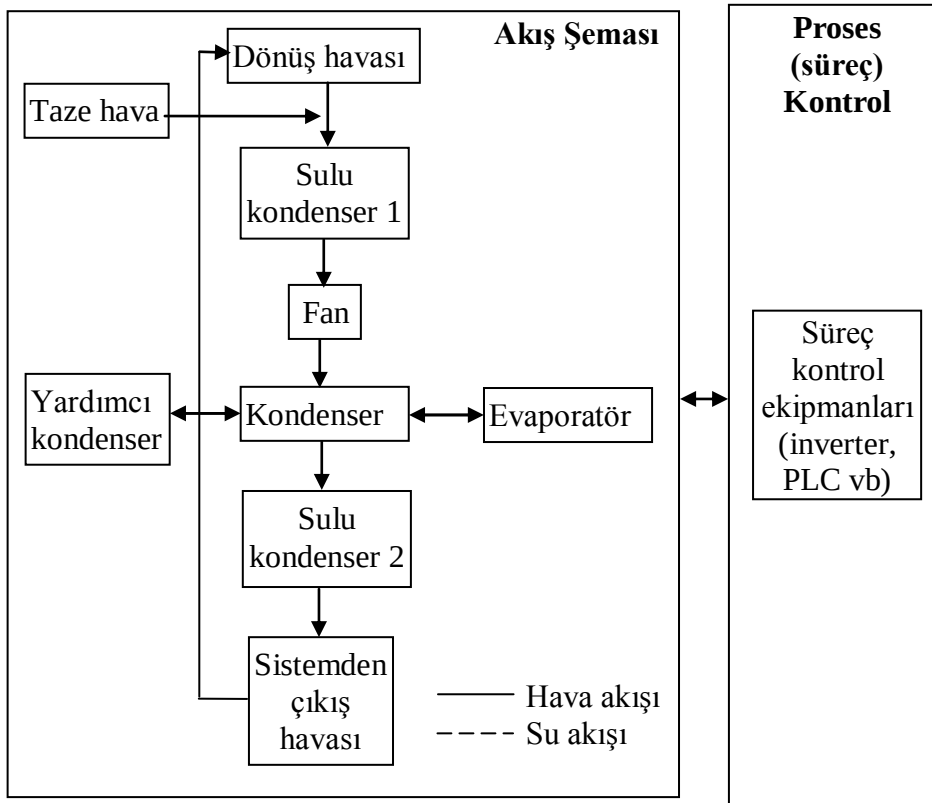


Şekil 10.12. Sadece güneş enerjisi sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı

Amaç sadece ısı depolamak olduğu durumda ise pompa 1 çalıştırılıp sadece SV5 açılarak kondenser 3 devreye sokulur. Bu durum ısı pompasının çalıştığı zamanlarda

da ısı pompası evaporatörüne ısı sağlamak amacıyla kullanılabilir. Öte yandan, direkt olarak bir fan yardımıyla ısı enerjisi sıcak hava formunda mahale verilmektedir. Faydalı ısının negatif olduğu yani gün içerisindeki güneş ışıınının az olduğu saatlerde devirdaim pompası otomatik olarak durdurulmaktadır.

Seneryo 2: Sistemde güneş enerjisinden elde edilen ısının yetersiz olması durumudur. Dolayısıyla ısı pompası devreye girecektir. Isı pompası, depo içerisindeki ısıyı evaporatör yardımıyla çekerek kurutucu içerisine yerleştirilmiş ısı pompası kondenserinden bir fan vasıtasıyla çekilen ısı kurutma odasına verilmektedir. Yani kurutucu, enerji kaynağı olarak sadece ısı pompasının yoğunlaştırıcısından faydalanmaktadır. Sadece ısı pompası sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı Şekil 10.13'te gösterilmektedir.

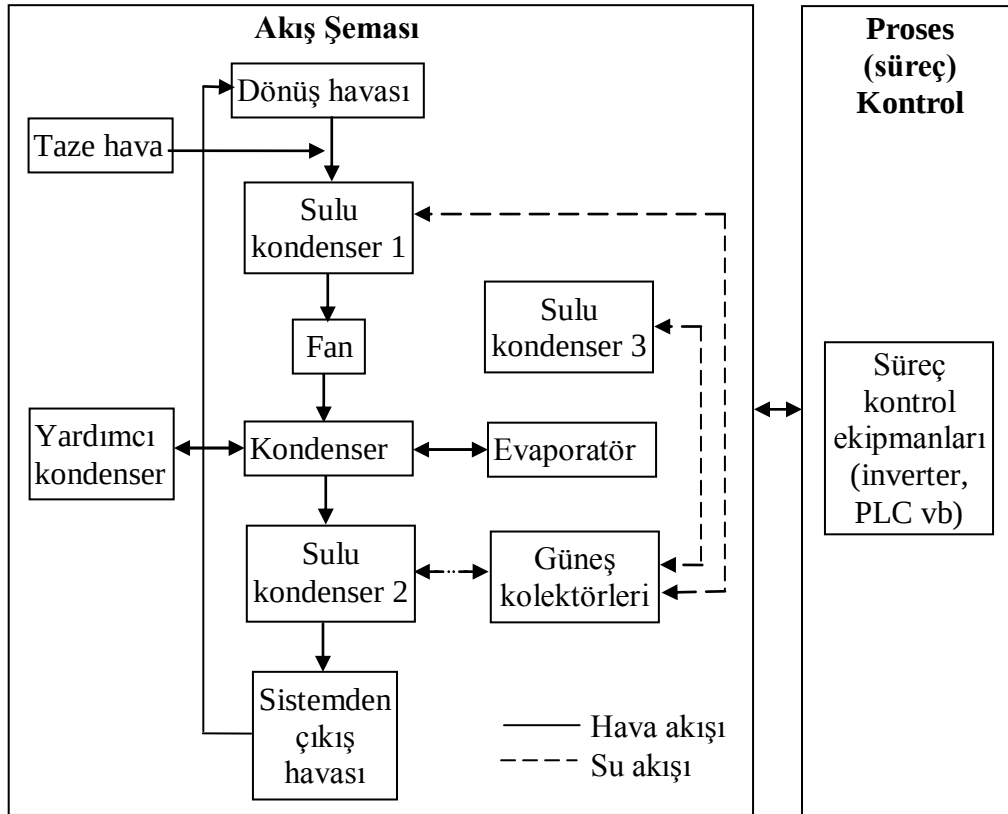


Şekil 10.13. Sadece ısı pompası sisteminin kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı

Kurutma havası sıcaklığının artması ile birlikte yoğunlaştırucu ısı atmakta zorlanacağından emniyet için dışarıya bir yardımcı yoğunlaştırucu konulmuştur.

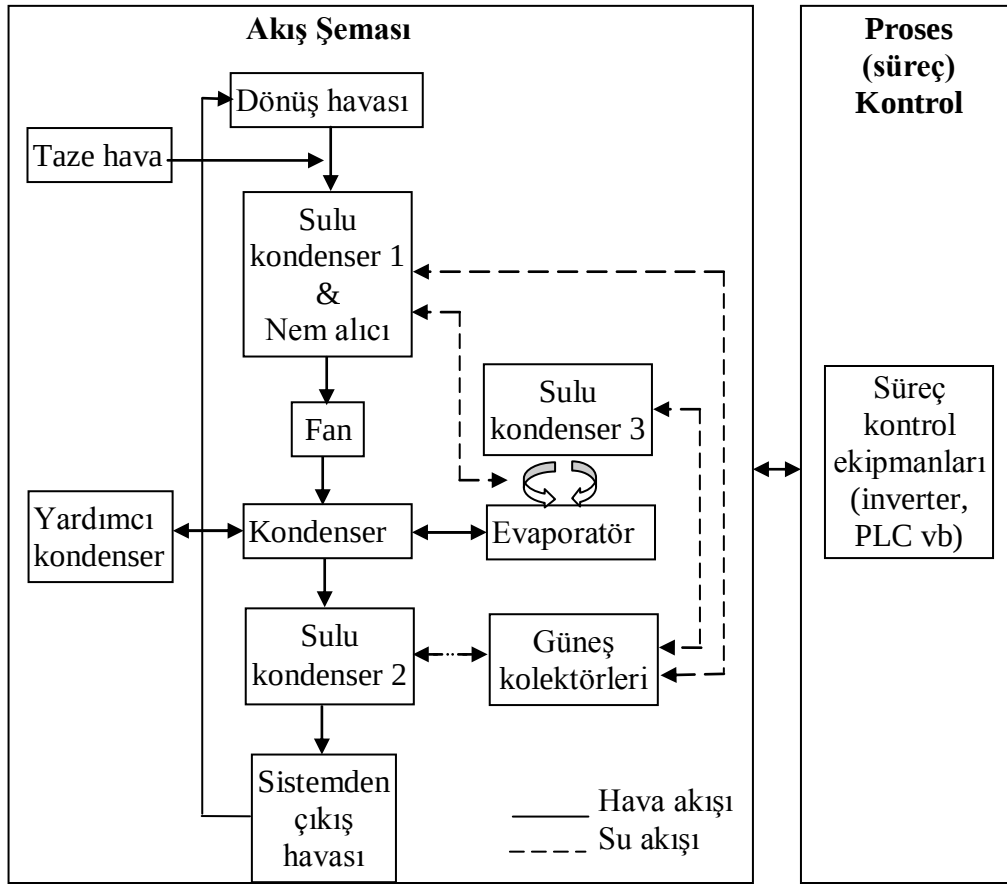
Sistemde sıcaklık ve nem kontrolü, kurutma fırını içerisine monte edilen iki adet sıcaklık-nem sensörlerine bağlı bir proses kontrol cihazı ile oransal olarak yapılmaktadır. Kurutma için uygun görülen sıcaklığa ulaşıldığında süreç kontrol cihazı fanın devrini düşürmekte veya kompresörü ve yardımcı yoğuşturucusuna ait fanı devreden çıkarmaktadır. Yoğuşturucudan kurutma havasına atılan ısı, depo içerisine konulan ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısı ile depodaki sudan çekilmektedir. Kompresör çalıştığı sürece kurutma havasına yoğuşturucudan ısı atımı ve depo içerisinde bulunan buharlaştırıcı vasıtasıyla sudan ısı çekimi devam eder. Ta ki, güneş enerjisinden elde edilen ısınmın yeterli olması halinde güneş enerjisi devresini destekleyecek veya IP devreden çıkacaktır.

Seneryo 3: Güneş enerjisi devresi ve ısı pompası devresinin birlikte çalıştığı durumdur. Güneş enerjisi devresi, hem direkt ısıtma sağlarken hem de ısı pompasına ısı sağlarken ısı pompası devresi ise, depodan aldığı ısıyı kurutma odasına taşır.



Şekil 10.14. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birlikte kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı

Elbette ki bu esnada sistemde bulunan fan, frekans konvektörlü olduğundan, sıcaklığa göre hız kontrolü ile sistemde sıcaklığın durağan olmasında yardımcı olacaktır. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerine ilave olarak gerektiğinde (IP devredeyken) pompa 2'nin bulunduğu soğuk su devresi ve VAV kutusu devresi de birbiriyle uyumlu bir biçimde çalışır. Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin birlikte kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı Şekil 10.14'te, güneş enerjisi, ısı pompası ve nem alma sistemlerinin birlikte kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı ise Şekil 10.15'te gösterilmektedir.



Şekil 10.15. Güneş enerjisi, ısı pompası ve nem alma sistemlerinin birlikte kullanıldığı akış ve süreç kontrol şematik diyagramı

Bu seneryoda sistemden nem alma veya sisteme nemi daha düşük taze hava alma işlemleri yapılabilmektedir. Kurutma fırını çalıştığı müddetçe içerisindeki ürünlerin

nemi, ısı pompası sisteminden ve/veya güneş enerjisi sisteminden aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır.

Dolayısıyla, kurutma havasının nemi zamanla artacaktır. Nemi artan kurutma havasının nem alma yeteneği azalacağından, bu hava, kurutma fırınından ya dışarı atılmalı ya da içerisindeki nem çeşitli metotlarla yoğunlaştırulmalıdır. Esasen havanın içindeki nem mevcut şartlarda; havayı çiy noktası sıcaklığının altına düşürmekle, basınç etkisiyle ve kimyasal yollarla olmak üzere üç şekilde alınmaktadır.

Yapılan kurutma deneyindeki bu senaryoda, hava sisteme girmeden çiy noktası sıcaklığının altına düşürülüp, içinde bulunan nem alınarak, tekrar ısıtılıp kurutma hücresine verilmektedir. Yoğuşurma işlemi soğuk yüzeyde sistem havasının çiy noktası sıcaklığının altında bir sıcaklıktaki soğuk yüzeyde gerçekleştirilmektedir. Bu yoğuşurma işlemi gelişigüzel olmamaktadır. Havanın neminin alınabilmesi için inilmesi gereken yoğuşma noktası sıcaklıkları havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak değişmektedir. Havanın, sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak yoğuşma noktası sıcaklıkları Çizelge 10.6'da verilmiştir.

Çizelge 10.6. Havanın, sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak yoğuşma noktası sıcaklıkları [203]

Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl nem için °C'de yoğuşma noktası sıcaklığı (T _s)							
	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
30	0,864	1,161	1,445	1,715	2,047	2,322	2,592	2,835
25	1,35	1,809	2,268	2,7	3,159	3,618	4,023	4,455
20	2,835	3,78	4,752	5,724	6,642	7,641	8,532	9,423
15	5,292	7,02	8,802	8,613	12,29	14,12	15,77	16,34
10	6,966	9,234	11,69	13,85	16,31	18,74	20,93	23,09

Soğuk su devresi; içerisinde ısı pompasının evaporatörü ve kondenser 3 bulunan bir depo, depo üzerinde bir tane PT-100, selenoid vanalar, kondenser 1 ve pompadan (P2) oluşmaktadır. Isı pompası sisteminin buharlaştırıcısı vasıtasıyla sudan çekilen ısı belirli bir seviyeye ulaştığında pompa (P2) çalıştırılarak, düşük sıcaklıktaki depo suyunun santral içerisindeki ısı değiştiricisinden geçirilmesi düşünülmüş ve sistem o şekilde tasarlanmıştır. Hazırlanan deney setinde, kurutma havasının neminin aşırı

artmasında ya dışarıdan nemi daha düşük taze hava alınacak ya da 2 nolu pompanın bulunduğu sistem devreye girerek kurutma havası, ürün üzerinden geçtikten sonra dışarı atılmayarak, sulu evaporatör olarak da kullanılabilen kondenser 1 üzerinden geçirilir. Süreç kontrol cihazı yardımıyla devirdaim ettirilerek kurutma havası nemi düşürülür. Bu durumda, hem sistemin atık ısısından faydalanılacak hem de depo içerisinde donma olması engellenir. Böylece, sistemdeki sulu evaporatör (kondenser 1), buharlaşma gizli ısısının bir kısmını sıcak ve nemli olan atık kurutma havasından çeker. Kurutma havası, çiy noktası altındaki bir yüzey ile temas ettirildiğinde içerisindeki nem yoğuşacağından, yoğuşan su, soğutucu batarya altındaki yoğuşma suyu haznesinde toplanmaktadır.

Eğer kurutma santral girişinde bulunan VAV kutusu ile bağıl ve özgül nemi düşük olan dış havadan bir miktar hava alarak iç hava ile karışım sağlanıyor ise, bu durumda, sıcak ve nemli olan iç havanın özgül ve bağıl nemi düşerek sıcaklığı bir miktar azalacaktır. Elbette sıcaklıktaki azalma tekrar yoğuşturucuda telafi edilebilecek düzeylerde olmaktadır.

11. DENEYLERİN YAPILIŞI

Bu noktaya kadar genel bilgiler üzerinde durulmuş ve deney düzeneğine ait çeşitli bilgiler verilmiştir, bu noktadan sonra deney düzeneği üzerinde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen bilgiler sunulmaktadır.

Güneş ışınının ölçümü; deneylerin yapıldığı 2011 yılı Nisan-Mayıs-Haziran ayları boyunca solarmetre ile ölçülerek solarmetreye bağlı data-logger'a (veri kaydediciye) kaydedilerek yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan değerler ile karşılaştırma yapılmıştır.

Kurutmaya başlamadan önce bir takım çalışmalar yapılmalıdır. Bunlardan ilki mantar numunelerinin tam kuru ağırlığının ve kuru baza göre başlangıç nem miktarının belirlenmesidir. Bundan sonraki aşamalar ise şöyledir;

Mantar numunelerindeki son rutubet hali tespit edilip bu nem miktarında numunelerin olması gereken ağırlık saptanması yapılır.

Bu işlemlerden sonra numuneler, kurutma odası içerisindeki ağırlık ölçer (load cell) üzerine yerleştirilerek kurutma işlemine başlanır.

24 saat çalışma esasına göre çalışan sistemde, mantar içerisindeki nem, ağırlık değişimi metodu ile takip edilerek, mantar numuneleri istenilen ağırlığa ulaştığında kurutma işlemi sonlandırılır. Kurutma işlemi bitiminde manuel ölçüm cihazı ile mantardaki son nem miktarı ölçülerek kontrol edilir ve işlem sonunda sonuçlar değerlendirilir.

11.1. Tam Kuru Ağırlığın Tespiti

4 mm kalınlığında ince kıyılmış mantarlardan numune alınarak 103 ± 2 °C'de sabit tutulan bir fırında 24 saat boyunca üç ayrı numune sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak ilk ve son nem muhtevası tespit etme yöntemiyle mantar numunelerinin

tam kuru ağırlığı bulundu. 24 saatlik kurutma zaman aralığında ağırlık değişiminin tespiti için fırından saatte bir çıkarılarak ağırlıkları ölçülen numunelerden elde edilen veriler kaydedilmiştir. Ta ki, birbirini takip eden 2 ölçüm sonunda ağırlığın % 1'den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edilmiş ve tam kuru ağırlık tespit edilmiştir. Bu işlem üç ayrı numune için tek tek yapılarak, üç adet tam kuru ağırlık değeri bulunmuş ve bu üç değerın ortalaması alınmıştır. Buna göre; 50 g mantar numunesinin tam kuru ağırlığı 3.51 g olarak bulunmuştur. Kurutulacak mantar numunelerinin deney sonundaki son ağırlığı 50 g için $3.51 \times 1.07 = 3.75$ g olarak bulunmuştur.

Yaş ağırlığı ve tam kuru ağırlığı bilinen mantarların başlangıç nem miktarı, kuru baza göre Eş. 8.3 kullanılarak belirlenmiştir. Mantarların kuru baza göre başlangıç nem miktarı;

$$SO_{KA} = \frac{50 - 3.51}{3.51}$$

$$SO_{KA} = 13.25 \text{ g su/g kurumadde}$$

olarak bulunmuştur. Mantarların kuru baza göre son nem miktarı ise;

$$\frac{3.75 - 3.51}{3.51} = 0.07 \text{ g su / g kuru madde}$$

olarak bulunmuştur. Mantar numunelerinin başlangıç nem içeriği;

$$(50 \times 2) - (3.51 \times 2) = \% 92.98 (\% 93)$$

olarak bulunmuştur. 2 000 g mantarın nem içeriği % 93'den % 7 nem miktarına kadar kurutulduktan sonra olması gereken ağırlığı;

$$0.07 = \frac{YA_{\%7} - 3.51}{3.51}$$

$$YA_{\%7} = 3.75 \text{ g (50 g için)}$$

$$YA_{\%7} = 150 \text{ g (2 000 g için)}$$

olarak bulunmuştur.

2 000 g kurutulacak mantarın tam kuru ağırlığı 140.4 g, kurutma sonrası son ağırlığı ise 150 g olarak bulunmuştur. Tasarlanan ve uygulaması yapılan deney setinde 4 mm kalınlığında ve 2 000 g ağırlığında mantarlar, kurutma odasında kurutulduğunda 150 g'a ulaştığında kurutma sonlandırılmıştır.

11.2. Mantarların Kurutulması

Yeni hasat edilmiş olarak alınan mantarlar ıslak bezle temizlenerek kurutma için belirlenen miktar hazır hale getirilmiştir. Geri kalan ürün plastik torba içerisinde +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır. Kurutulacak olan mantarlara, kurutma koşullarının etkisinin net olarak gözlenebilmesi için kurutma öncesi sülfite batırma veya beyazlatma veyahut da haşlama gibi ön işlemler uygulanmamıştır. Başlangıç nem miktarları belirlenen mantarlar, kurutma odasına yerleştirilerek kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Mantar düşük asitli yiyecek olduğundan örnekler önce güvenli nem seviyesi olan % 15-16 nem içeriğine düşürülmüş sonrasında ise mikroorganizmaların ürememesi için gerekli ve yeter şart olan son nem içeriği olan % 10 değerinin altına düşürülmüştür. Kurutulmuş mantarın bir nevi sigortası olan bu şart deneyler sonunda sağlanmıştır. Mantar numunelerinin son nem içeriği % 7 değerine düşürülmüştür.

Mantar için uygun kurutma havası sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak, kurutma havası sıcaklık değerleri 30/35 °C, 45 °C ve 55 °C olarak belirlenmiştir. Buna göre bu sıcaklıklarda 2000 g ağırlığında ve 4 mm kalınlıklarında dilimlenmiş

mantarların; sistemde istenilen kurutma havası sıcaklığı yazılım programından set edilerek kurutma işlemi başlatılmıştır. Kurutma sırasında hava akımı, mantar dilimleri üzerinde homojen bir nem dağılımını sağlayabilmesi ve durgun hava tabakasının oluşumunu engellenmesi için tepsilere paralel olarak verilmiştir. Bununla birlikte, kurutma işlemi esnasında bilgisayar programı ekranında görülen tüm veriler (sıcaklık, nem, ağırlık, debi, hava hızı vb) kayıt altına alınmıştır. Ayrıca bu ekrandan sistemde bulunan kontrol elemanlarının çalıştırıp durdurma işlemleri kolaylıkla yapılabilmektedir.

11.3. Kurutma İşleminin Sonlandırılması

Yapılan kurutma işlemlerinde kurutma havasının 30/35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan her bir deney için son nem miktarları, su aktivitesi ve duyu analizi gibi bazı hususlar gözetilerek kontroller yapılmış ve kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Kurutucuda kurutulan mantarların kurutma sonrası renk ve duyu olarak tat analizleri yapılmıştır.

12. DENEY SONUÇLARI

Tasarlanan, imal edilen ve deneysel olarak analizi yapılan, güneş destekli ısı pompalı sistemde sıcaklığının yaklaşık 8-24 °C arasında ve bağıl nemin % 50-90 arasında olduğu çeşitli dış hava şartlarında ısıtma ve kurutma amaçlı olarak onlarca deney yapılmıştır. Sistemin deneysel olarak incelenebilmesinde ısıtma için bir mahal seçilmiş ve bu mahalin ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistem, ısıtma için seçilen mahali 24 saat esasına göre çalışarak 22 °C’de tutmuştur. Kurutma yapılırken aynı zamanda ısıtma da yapıldığından ve yapılan çalışmanın bütünlüğü açısından ısıtma ile ilgili deney sonuçlarına bu çalışma içerisinde yer verilmemiştir. Kurutma için ise “agaricus bisporous” türü mantar seçilmiştir. Seçilen bu ürünün kurutulması ile sistemin performans deneyleri yapılmış ve deneysel sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Bu deneyler; sadece ısı pompasıyla, sadece güneş enerjisiyle ve güneş enerjisi destekli ısı pompası şeklinde olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kurutma işlemine başlamadan önce; tam kuru ağırlığı 140.4 g olan 4 mm kalınlıklarında 2 000 g mantar numunesinin % 92.98 (% 93) başlangıç nem miktarından % 7 nem miktarına kadar kurutulduktan sonra olması gereken ağırlığı 150 g olarak hesap edilmiştir. Tasarlanan ve uygulaması yapılan sistemde kurutma odası içerisine raflara konan 2 000 g mantar kurutma süreci sonunda 150 g’a düştüğünde deney sonlandırılmıştır.

Kurutma sisteminde enerji, kurutma odasının ısıtılması ve kurutma odasında mantarların içindeki nemin buharlaştırılması için harcanmıştır. Kurutma işleminin başlangıcında mantarlardaki nemin buharlaştırılması ve kurutma odasının ısıtılması için harcanan enerjiden dolayı dönüş havasının sıcaklığı düşük olmuştur. Bu yüzden kurutmanın başlangıcında enerjinin kullanılma oranı her bir kurutma havası sıcaklığı için yüksek olmuştur. Ancak kurutma esnasında kurutma odasında kullanılan enerji miktarı mantarlardaki nem miktarının azalmasıyla buna paralel olarak azalmıştır. Buharlaştırılan nem miktarının azalmasıyla kurutma havasının iç enerji değişimi de azalmış, bunun paralelinde kurutucuda faydalanılan enerji de azalmıştır. Ayrıca,

kurutucuda buharlaştırılan nem miktarının azalması ile ekserji verimi de artmıştır.

Kurutma sisteminde ürünün içindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji, güneş enerjisi sistemi ve ısı pompası kondenseri tarafından sağlanmıştır. Bütün sistem için ısıtma tesir katsayısı Eş.10.44'den hesaplanmıştır. Genel olarak çoğu kurutulmuş gıdanın su aktivitesi (a_w) nispeten düşüktür. Güvenli saklama için tipik olarak kurutulmuş gıdanın su aktivitesi 0.6'dan daha az düzeyde olması önerildiğinden bu değerin altına inilmiştir. Mantarın su aktivitesi Eş. 8.2 ile hesaplanmıştır. Yakındaki süpermarketten alınan mantarlar, önce ıslak bezle temizlenip üzerlerindeki su kalıntıları uzaklaştırıldıktan sonra 4 mm kalınlığında doğranmıştır. Artan mantarlar buzdolabında muhafaza edilmiştir. Deneyler Mayıs ayı içerisinde çoğunlukla parçalı bulutlu ve yağmurlu gün ve gecelerde yapılmıştır.

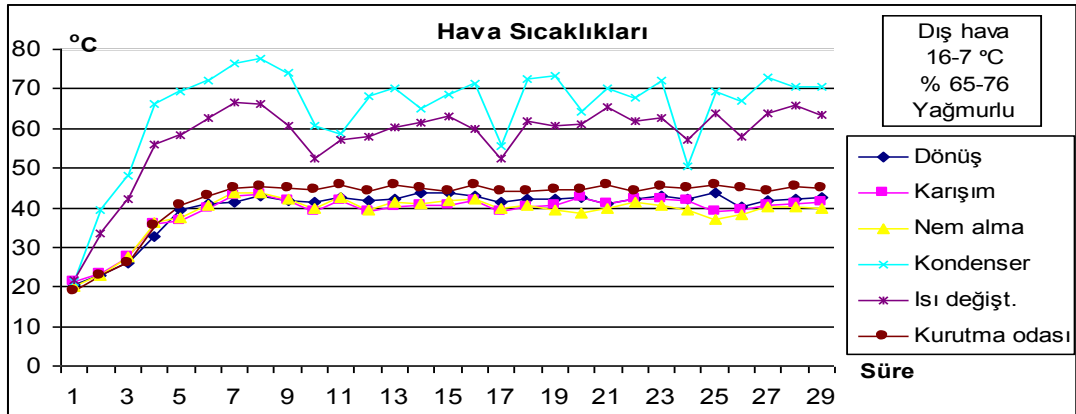
12.1. Sadece Isı Pompasıyla Kurutma Deneyleri

Mantarlar önce 8 m³ gibi büyük bir hacimde 1.2 m/s hava hızında kurutulmak istenmiştir. Bu hacimde pek çok deney yapılmıştır. Ancak deneylerde ısı pompasının çok zorlandığı gözlenmiştir. Ayrıca mahali yüksek sıcaklıklara ulaştırmak, ürünleri kurutmak çok uzun sürdüğünden ve enerji tüketiminin fazla oluşundan dolayı daha küçük bir kurutma kabini tasarlanarak deneyler yapılmıştır. Aşağıda 8 m³ hacmindeki kurutma fırınında yapılan deneylerden bir tanesine ait sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre deney setinin 8 m³ hacmindeki bir mahali 45 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta 14 saat tutabilme yeteneğine sahip olduğu görülmektedir.

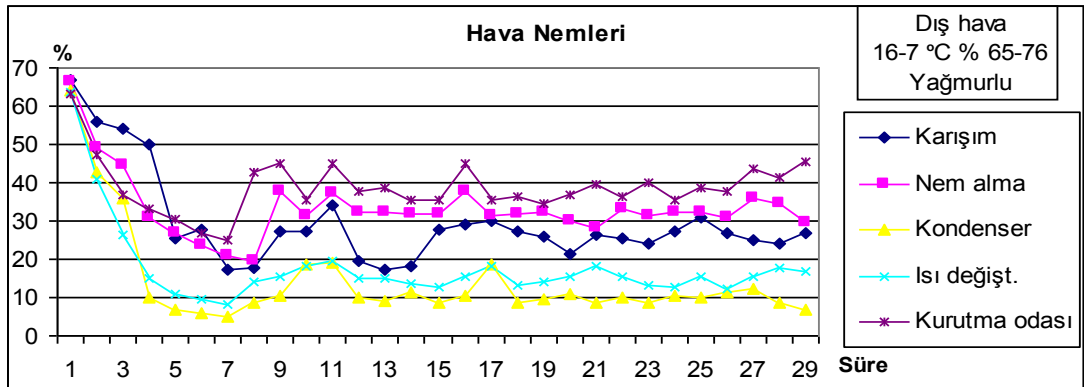
8 m³ hacimde 45 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar 8 m³ hacmindeki kurutma fırınında sadece ısı pompası kullanılarak 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.1'de verilmiştir. Şekil 12.2'de kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.3'de ise mantarlardaki nem

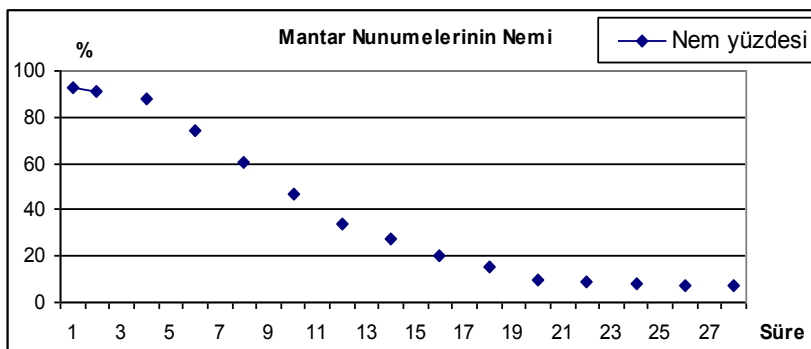
miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir. Kurutma odasında sıcaklık ve nemin belirli zamanlarda yükselmesi ve düşmesi sistemin kompresörünün belirli zamanlarla çalışıp durması ve pompa devrinin süreç kontrol cihazı ile oransal olarak kontrol edilmesinden kaynaklanmıştır. Bu deneyde veriler 30 dk ara ile alınmıştır. Deney sırasında dışarıdan taze hava alınmamıştır.



Şekil 12.1. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 12.2. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi

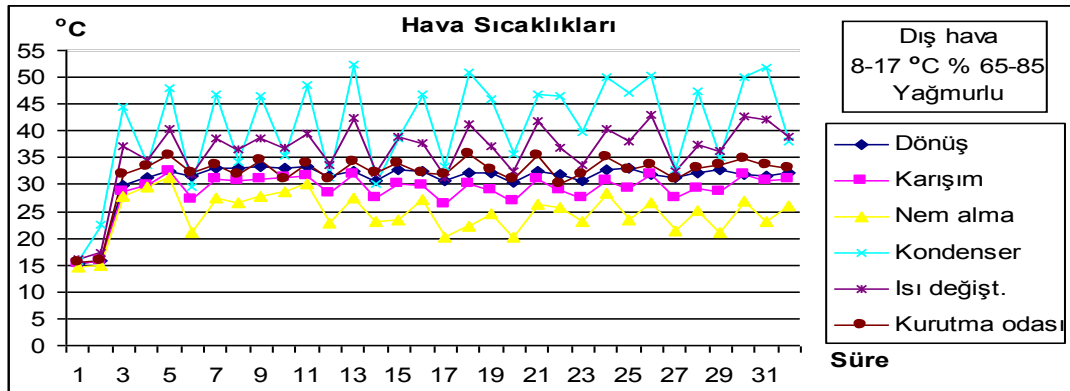


Şekil 12.3. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi

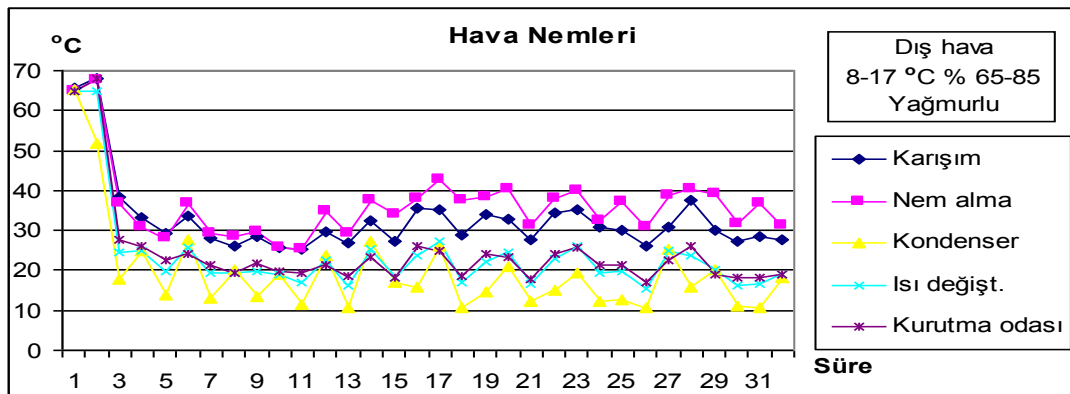
Bundan sonraki deneyler 1 m³'lük kurutma kabiniinde yapılmıştır. Deneylerde genellikle veriler 5 dk ara ile alınmış, mantar ağırlıkları ise 30 dk ara ile alınmıştır. Deneyler sırasında dışarıdan taze hava alınmamıştır.

30/35 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

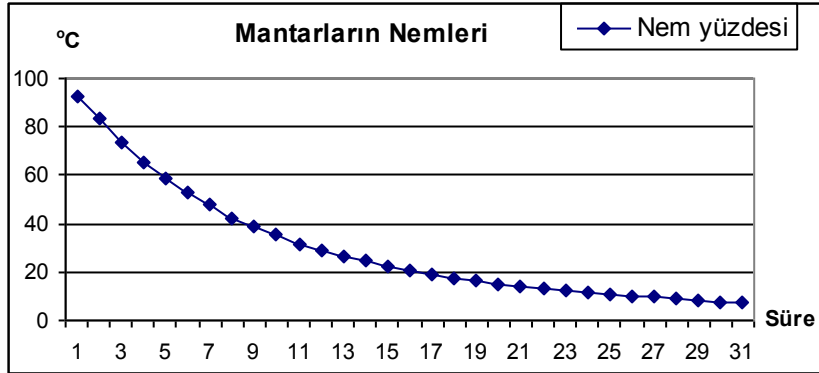
Deney setinde mantarlar sadece ısı pompası ile 30/35 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur ve 15 saat gibi uzun bir sürede kurumuştur. Bu deneyde veriler 30 dk ara ile alınmıştır. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.4'de verilmiştir. Şekil 12.5'de kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.6'da ise mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 12.4. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C)



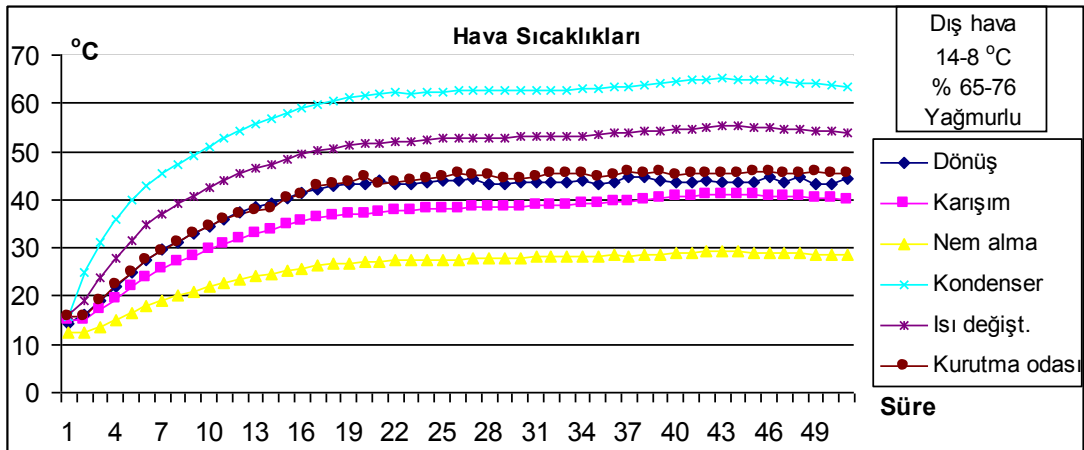
Şekil 12.5. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C)



Şekil 12.6. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (IP30/35°C)

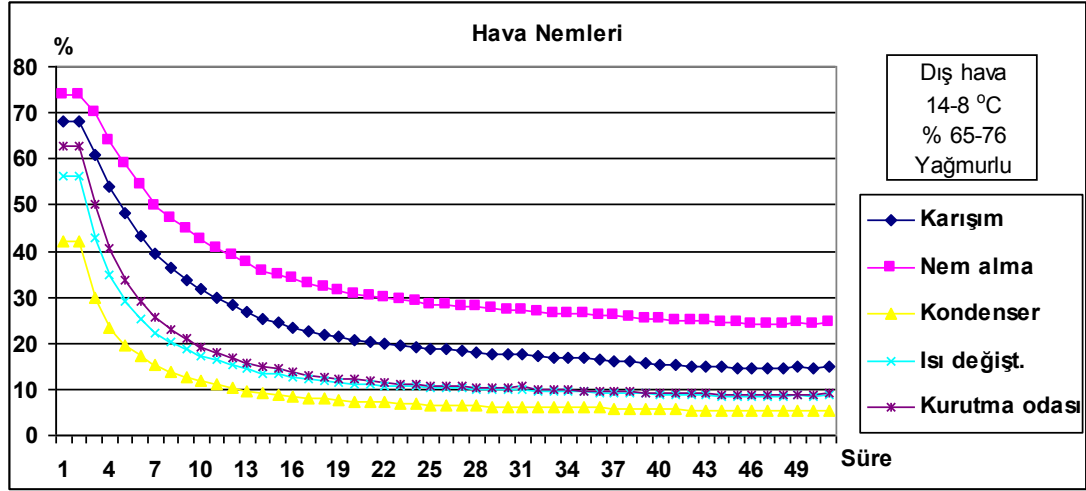
45 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar sadece ısı pompası kullanılarak 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.7'de verilmiştir.

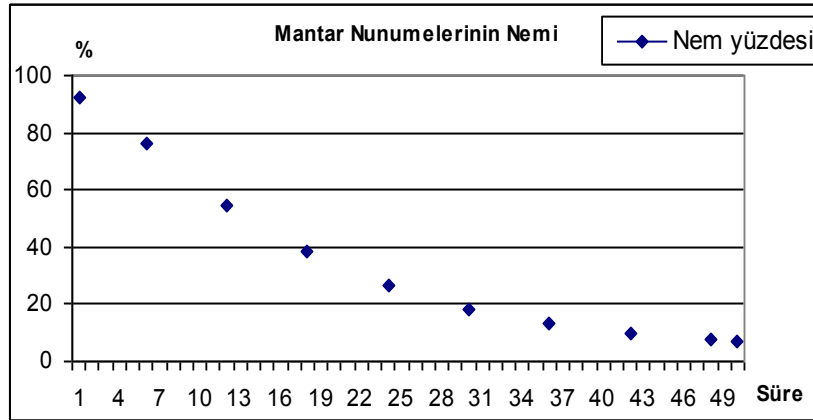


Şekil 12.7. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (IP45°C)

Şekil 12.8'te kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.9'da ise mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



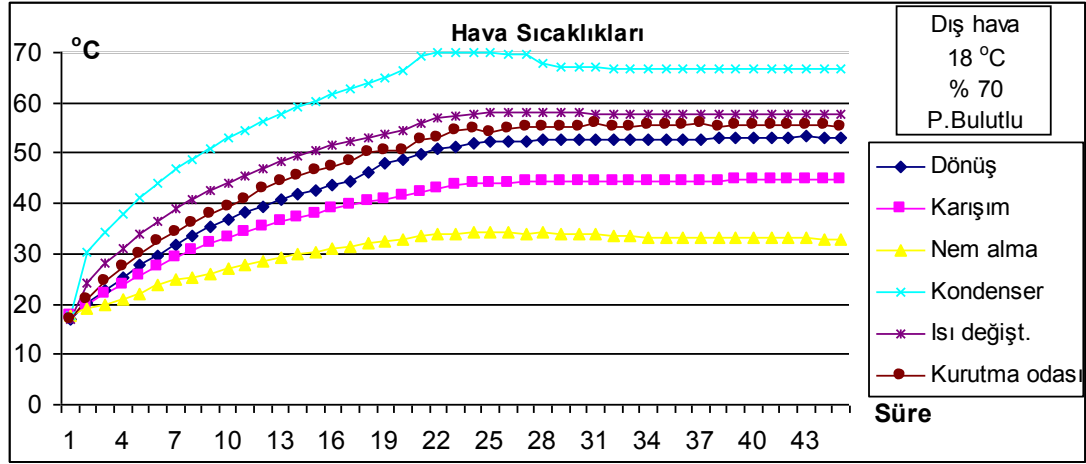
Şekil 12.8. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (IP45 °C)



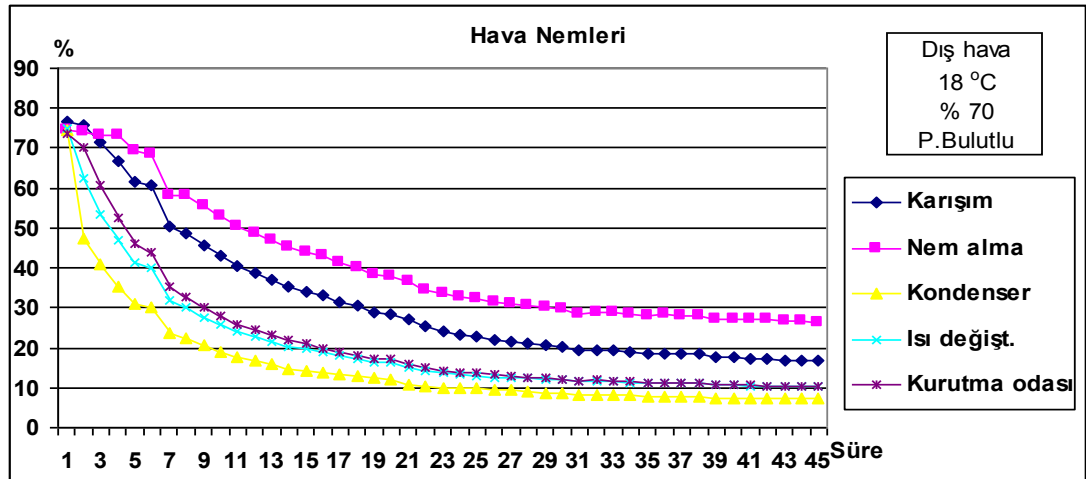
Şekil 12.9. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (IP45 °C)

55 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

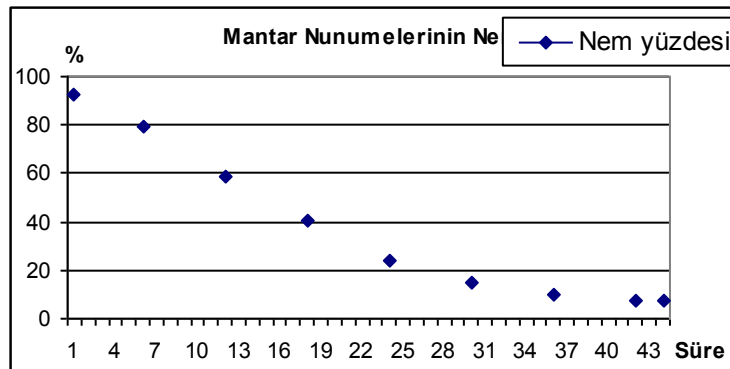
Deney setinde mantarlar sadece ısı pompası kullanılarak 55 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.10'da verilmiştir. Şekil 12.11'de kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.12'de ise mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



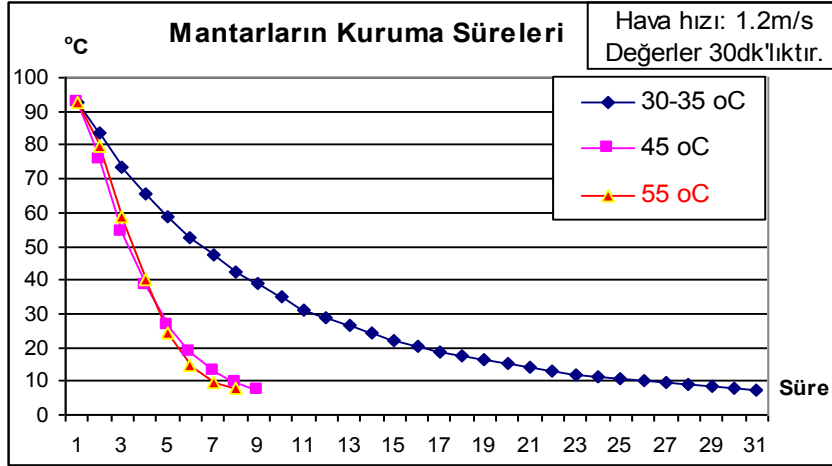
Şekil 12.10. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağılı olarak değişimi (IP55°C)



Şekil 12.11. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağılı olarak değişimi (IP55 °C)



Şekil 12.12. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağılı olarak değişimi (IP55 °C)



Şekil 12.13. IP ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi

Sadece ısı pompasının kullanılmasıyla 30/35 °C, 45 °C ve 55 °C’lerde yapılan deneylerde grafiklerde de görüleceği üzere kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok geç ulaşılmıştır. Kurutma odasında istenilen sıcaklığa ulaşmak 1-1.5 saat almaktadır. Sistemin soğuk oluşu, hava kanalında çok sayıda elemanın oluşu ve nem alma ünitesinin devrede oluşu bunun başlıca sebepleridir.

Sistem elemanlarının harcadığı enerjiler Çizelge 10.7’de verilmiştir. Isı pompalı kurutucu için gerekli enerji miktarı fanlarda, pompalarda, kompresörde ve kontrol panelinde kullanılan enerji miktarıdır. Kurutma sisteminde ürünün içindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji IP kondenseri tarafından sağlanmıştır. COP_{sist} her bir kurutma havası sıcaklığı için hesaplanmıştır. Kurutulan mantarlar için kurutucuda IP için Eş. 10.76’dan özgül nem çekme oranı ($SMER_{IP}$), bütün sistem için Eş. 10.77’den özgül nem çekme oranı ($SMER_{sist}$) bulunmuştur. Çizelge 12.1’de IP ile yapılan yukarıdaki deneylere ait veriler yer almaktadır.

Çizelge 12.1. IP ile yapılan deneylere ait detaylar

Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Başlangıç ve son nem (gsu/g kuru madde)	COP_{sist}	$SMER_{IP}$ (kg/kWh)	Kurutma süresi
30/35	0.93-0.07	1.4	0.12	15 saat
45	0.93-0.07	2.1	0.26	4 saat 10dk
55	0.93-0.07	2.3	0.46	3 saat 40dk

12.2. Sadece Güneş Enerjisiyle Kurutma Deneyleri

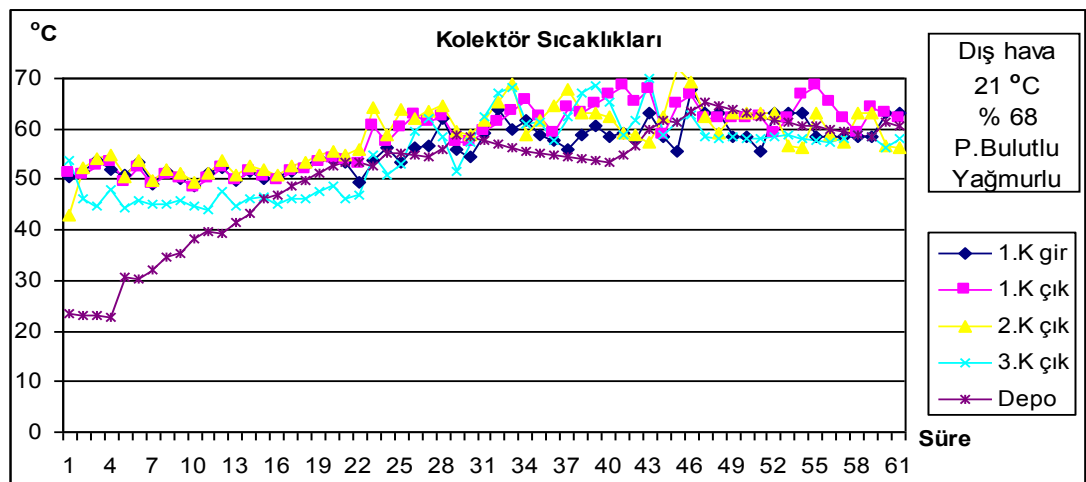
Kurutma işleminde ürünün içindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji güneş enerjisi ısı değiştiricisi tarafından sağlanmıştır. Deneyler sırasında aynı zamanda mantarlar güneşe sererek de kurutulmuştur. Kuruma süreleri 6-9 saat arasında gerçekleşmiştir.

30/35 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar sadece güneş enerjisiyle 30/35 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmamıştır. Çünkü kuruma uzun sürmekte ve sistem performansı düşük olarak gerçekleşmektedir.

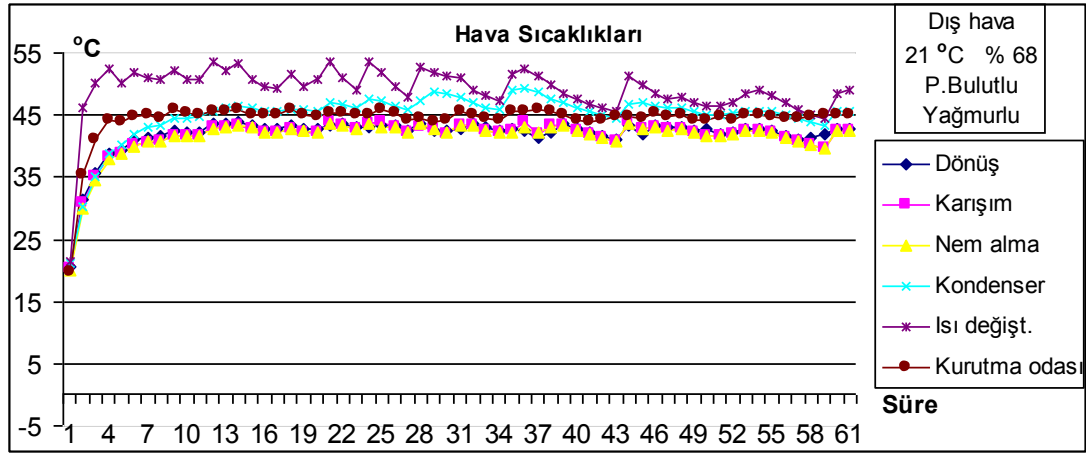
45 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar sadece güneş enerjisiyle 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Dolaşım pompasının PLC'den frekans kontrollü olarak zaman zaman debisi azaltılmıştır. Deneyde, güneş kolektörlerinden sağlanan ısı kurutma odasında kullanılmadığında selenoid valf (SV5) açılarak depo sıcaklığı 23 °C'den 65 °C'ye kadar çıkarılmıştır.

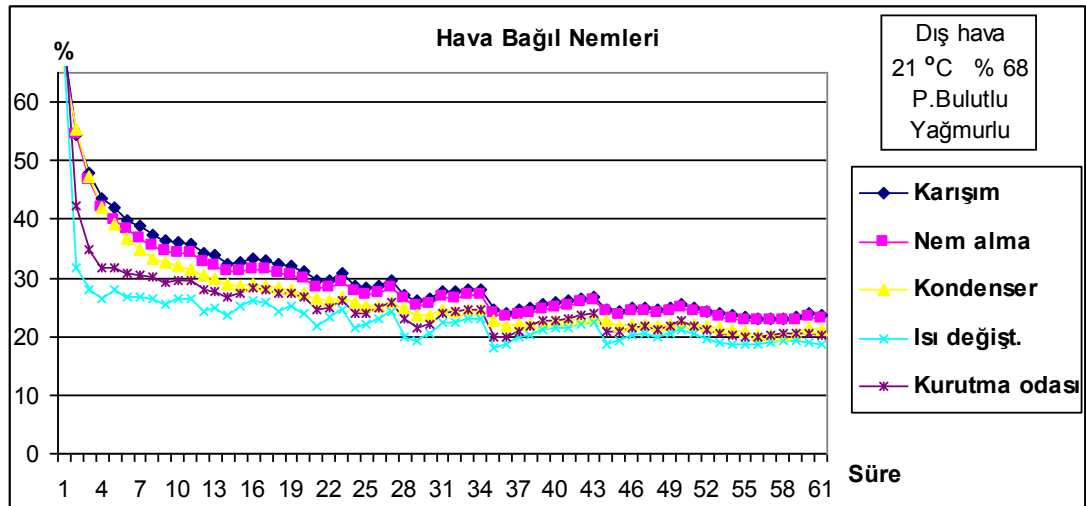


Şekil 12.14. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)

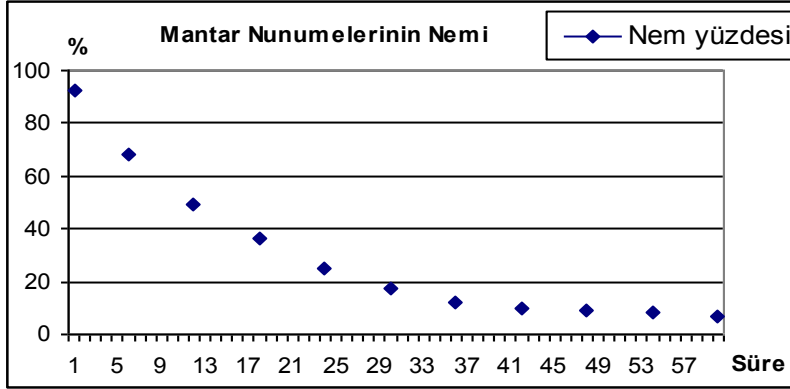
Sistem bazen aynı anda hem kurutma odasına hem de depoya ısı sağlamıştır. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.14’de, kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.15’de verilmiştir. Şekil 12.16’da kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.17’de ise mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 12.15. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)



Şekil 12.16. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)

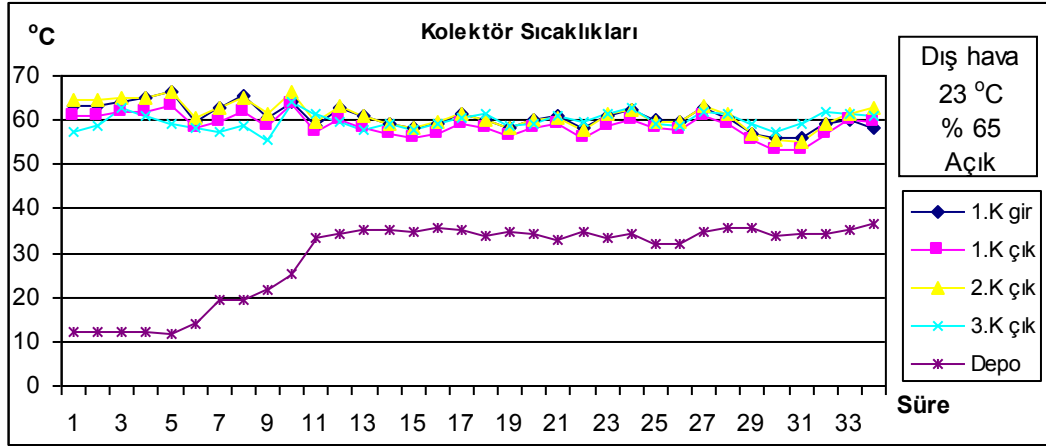


Şekil 12.17. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GE45°C)

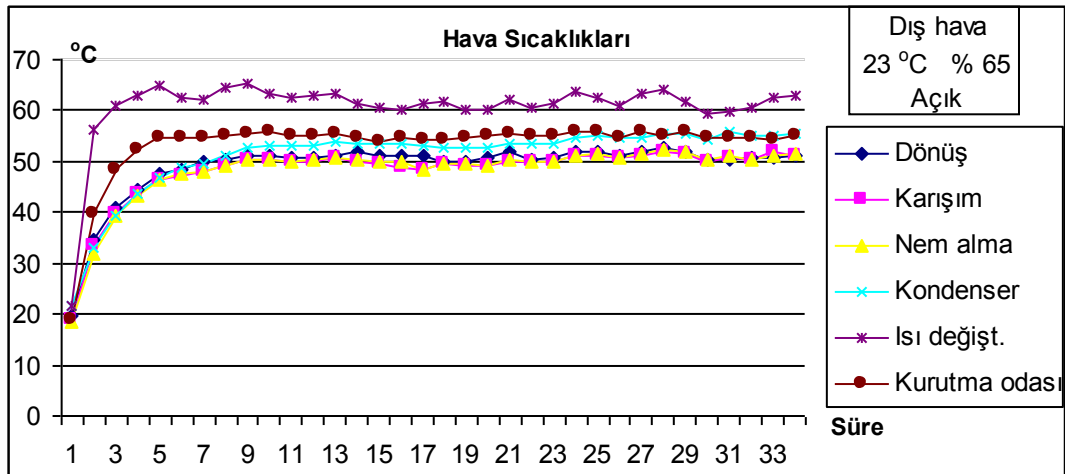
55 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar sadece güneş enerjisi sistemi kullanılarak 55 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Devirdaim pompasının PLC'den frekans kontrollü olarak zaman zaman debisi azaltılmıştır. Deneyde, kurutma odası sıcaklığı 55 °C'ye ulaştığında selenoid valf (SV5) açılarak depo sıcaklığı 12 °C'den 36 °C'ye kadar çıkarılmıştır. Sistem bazen aynı anda hem kurutma odasına hem de depoya ısı sağlamıştır. Deney, aynı sıcaklıktaki IP deneyinden kısa sürmüştür. Çünkü başlangıçta güneş kolektörlerinde 55-60 °C hazır sıcak su olması kurutma odası sıcaklığını çok kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaştırmıştır. Ayrıca bu deney, GDIP ile yapılan deneyden de kısa sürmüştür. Çünkü GDIP deneyine IP ile başlanmış ve istenilen ısıya ulaşana kadar çalışmıştır bu nedenle deney uzamıştır. Aynı zamanda nem alma ünitesi de bu süreyi uzatmıştır.

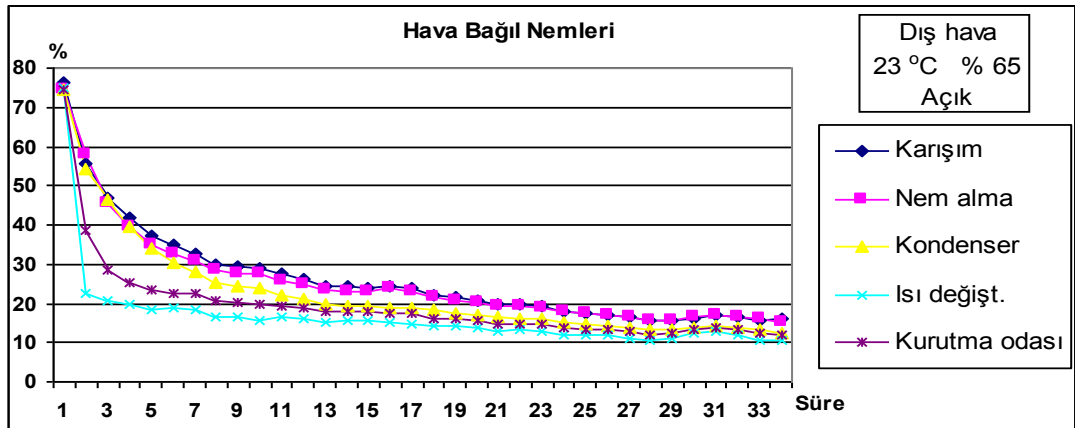
Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.18'de, kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.19'da verilmiştir. Şekil 12.20'de kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.21'de mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir. Şekil 12.22'de ise güneş enerjisiyle yapılan deneylerin karşılaştırılması verilmiştir.



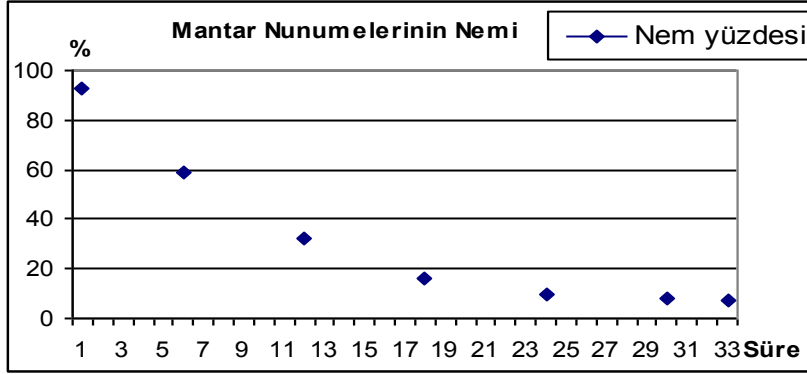
Şekil 12.18. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)



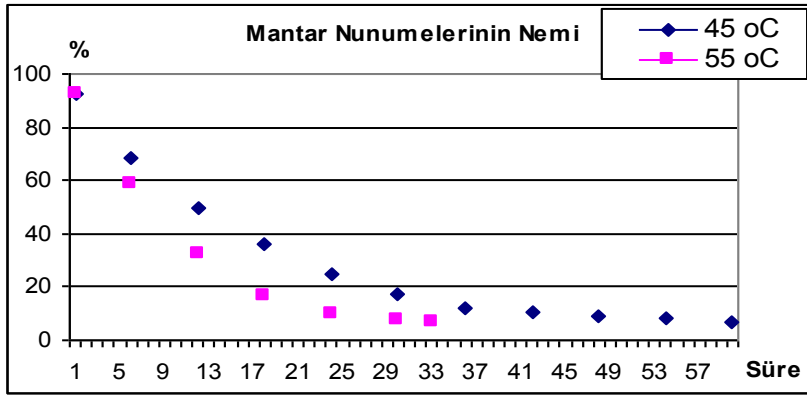
Şekil 12.19. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)



Şekil 12.20. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)



Şekil 12.21. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GE55°C)



Şekil 12.22. GE ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi

Sadece güneş enerjisi sistemi kullanılarak 45 °C ve 55 °C'lerde yapılan deneylerde grafiklerde de görüleceği üzere kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok çabuk ulaşılmıştır. Güneş kolektörlerinde yüksek sıcaklıkta hazır su bulunması ve hava kanalında son eleman oluşu bunda etkili olmuştur. Buna karşın sadece güneş enerjisinin kullanıldığı deneylerde nem alma olayının olmayışı ısı pompasına göre bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Çizelge 12.2. GE ile yapılan deneylere ait detaylar

Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Başlangıç ve son nem (gsu/g kuru madde)	COP _{sist}	SMER _{GE} (kg/kWh)	Kurutma süresi
30/35	0.93-0.07	Düşük	Düşük	Uzun
45	0.93-0.07	3.1	0.77	5 saat
55	0.93-0.07	3.8	0.92	2 saat 45dk

12.3. Güneş Destekli Isı Pompasıyla Kurutma Deneyleri

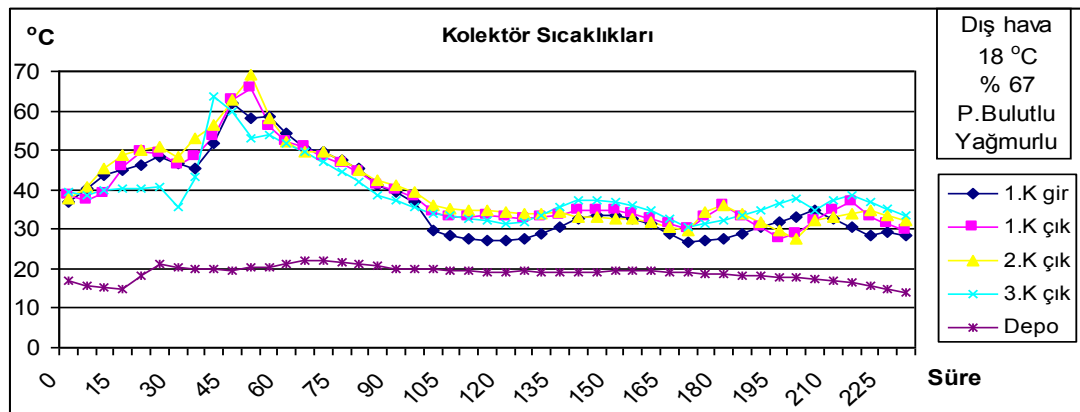
Kurutma işleminde ürünün içindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji güneş enerjisi ısı değiştiricisi ve ısı pompası kondenseri tarafından sağlanmıştır. Deneyler sırasında aynı zamanda mantarlar güneşe sererek de kurutulmuştur. Kuruma süreleri 8-12 saat arasında gerçekleşmiştir.

30/35 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar güneş destekli ısı pompasıyla 30/35 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmamıştır. Çünkü kuruma uzun sürmekte ve sistem performansı düşük olarak gerçekleşmektedir.

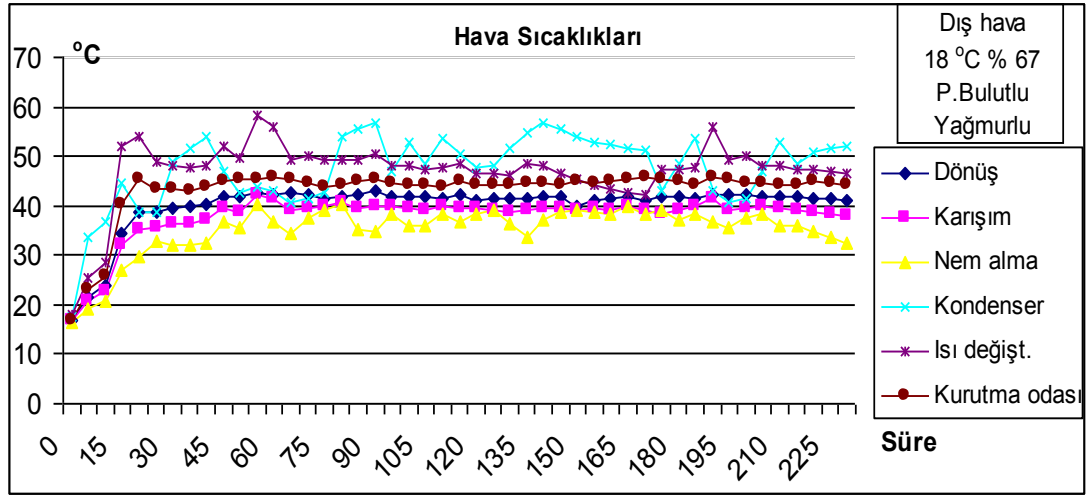
45 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar güneş destekli ısı pompasıyla 45 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Dış hava şartları güneş ile deney yapılmasına müsait olmadığından deney ısı pompasından sağlanan ısı kullanılarak başlanmış ve deneyin büyük çoğunluğunda da devam etmiştir. Zaman zaman güneş yüzünü gösterdiğinde ısı güneşten sağlanmıştır. Ancak yağmur nedeniyle havanın kapanmasıyla depoyu ısıtacak enerji sağlanamamıştır.

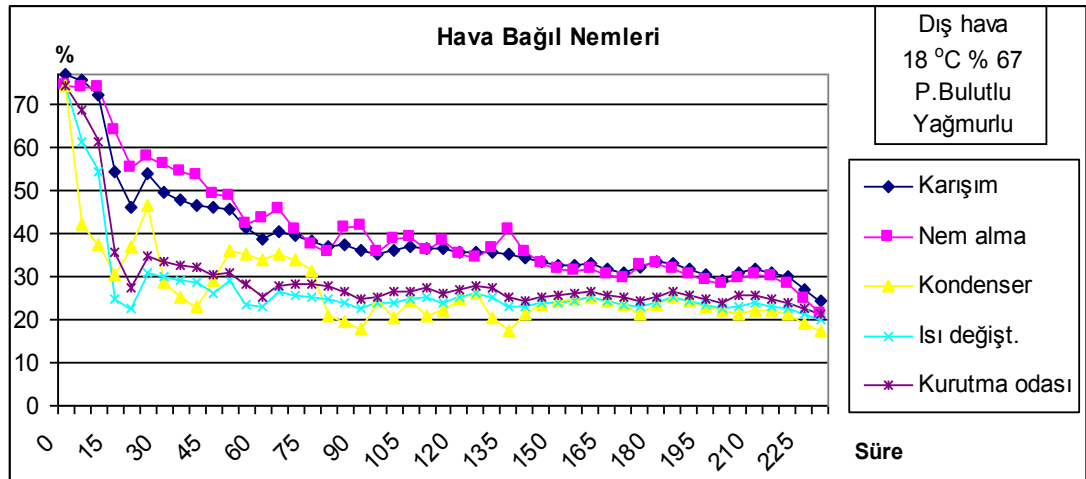


Şekil 12.23. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C)

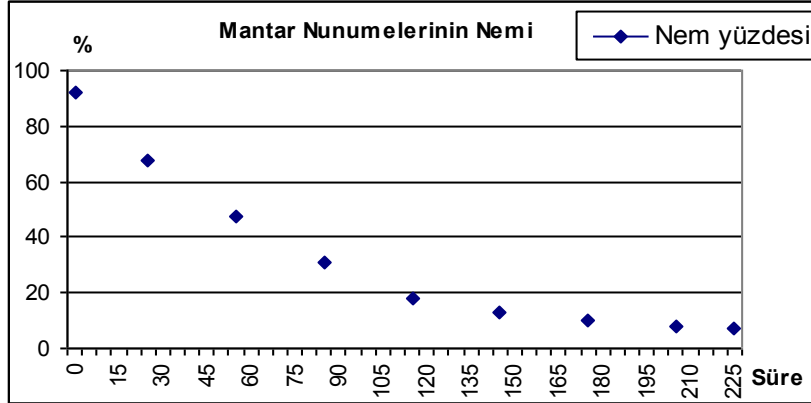
Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.23’de, kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.24’de verilmiştir. Şekil 12.25’te kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 12.26’da ise mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 12.24. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C)



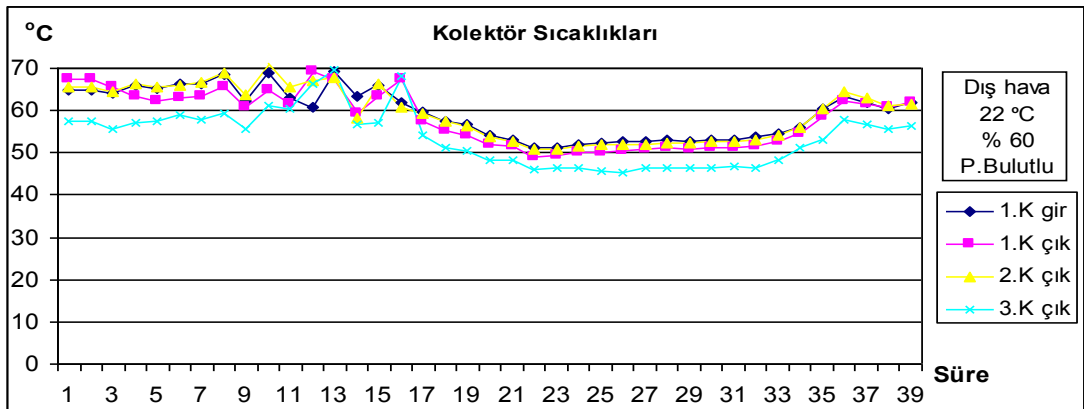
Şekil 12.25. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C)



Şekil 12.26. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP45°C)

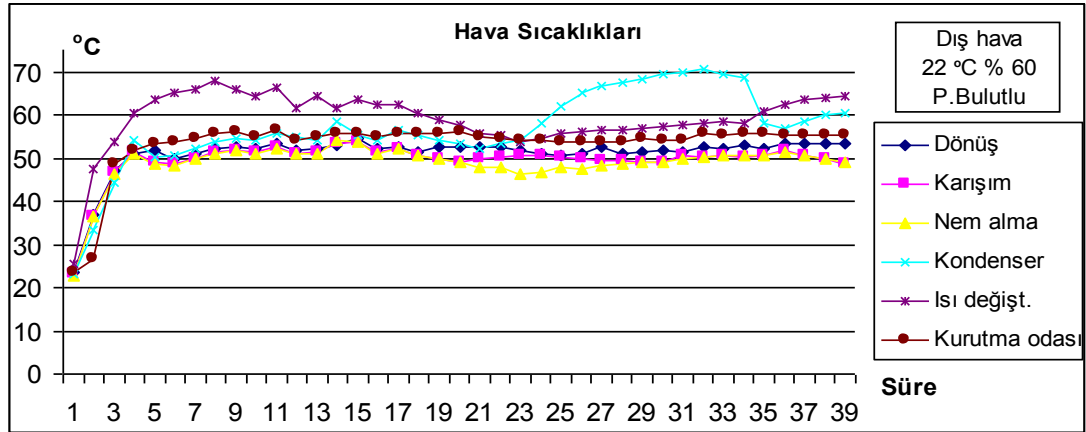
55 °C kurutma havası sıcaklığında kurutma deneyi

Deney setinde mantarlar güneş destekli ısı pompasıyla 55 °C kurutma havası sıcaklığında ve 1.2 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Deney güneş kolektörlerinden sağlanan ısı kullanılarak başlanmıştır. Kolektör sıcaklıklarının yaklaşık 65 °C olması nedeniyle kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok hızlı ulaşılmıştır. Sirkülasyon pompası deneyde zaman zaman frekans kontrollü olarak çalışmıştır. Yağmur bulutlarından dolayı istenilen sıcaklık elde edilemediğinden grafiklerden görüleceği üzere kolektör sıcaklıklarının düşük seyrettiği noktalarda sistem ısı pompası ile desteklenmiştir.

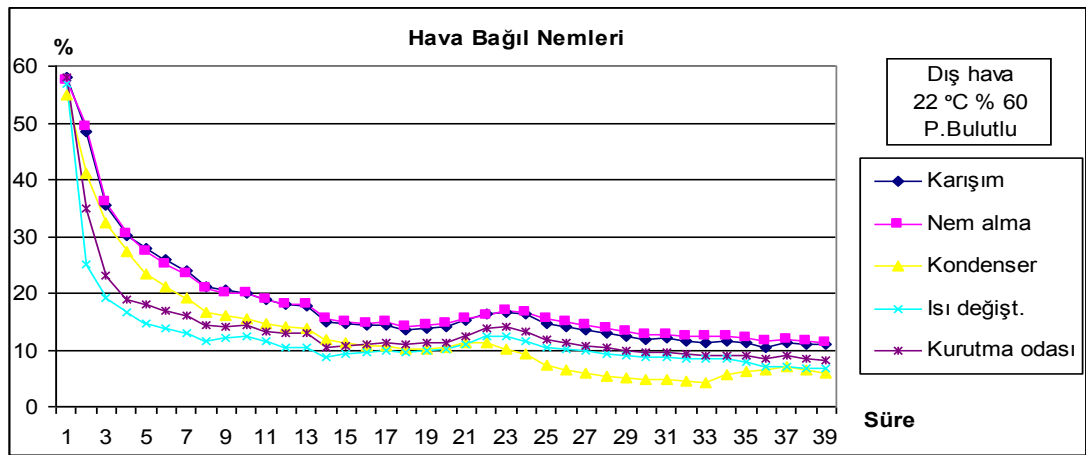


Şekil 12.27. Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C)

Kolektörlerde su sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.27’de, kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 12.28’de verilmiştir. Şekil 12.29’da kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir.

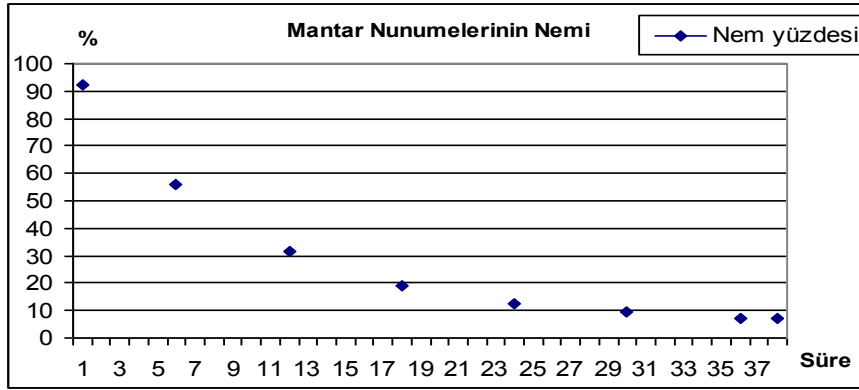


Şekil 12.28. Kurutucudaki hava sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C)

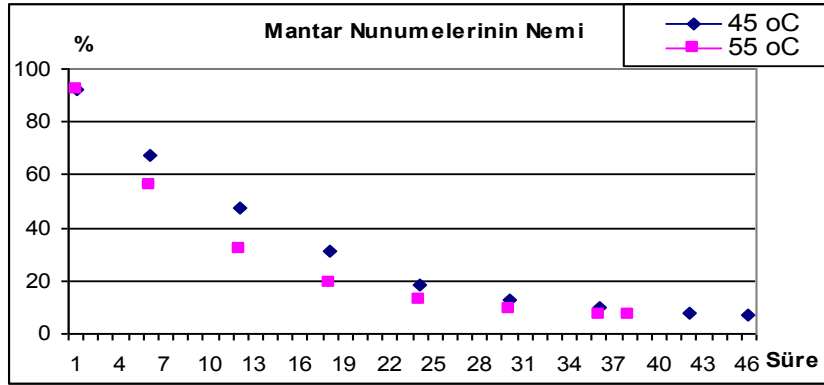


Şekil 12.29. Kurutucudaki hava nemlerinin zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C)

Şekil 12.30’da mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir. Şekil 12.31’de ise güneş destekli ısı pompasıyla yapılan deneylerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 12.30. Mantarlardaki nem miktarının zamana bağlı olarak değişimi (GDIP55°C)



Şekil 12.31. GDIP ile yapılan çeşitli kurutma sıcaklıklarındaki deneylerdeki kuruma sürelerinin değişimi

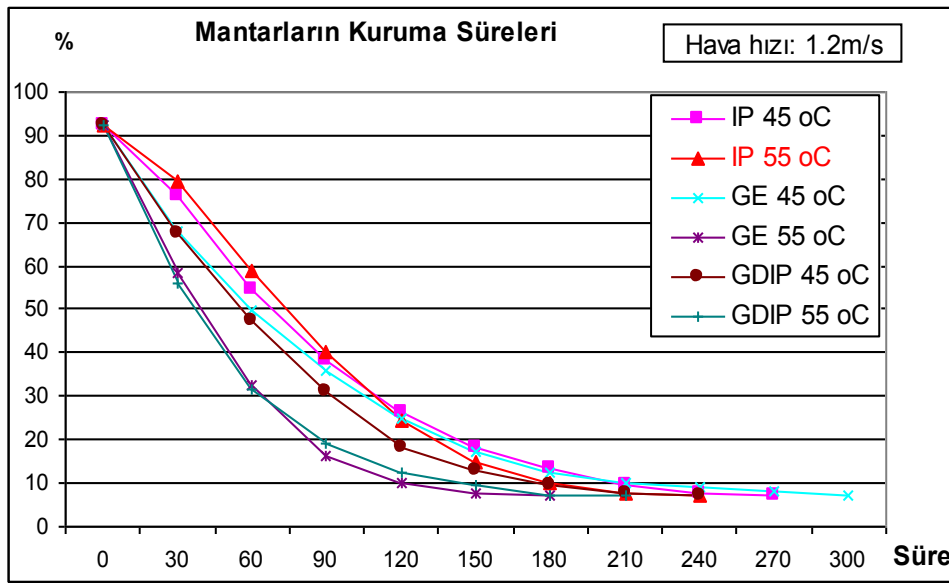
Çizelge 12.3. GDIP ile yapılan deneylere ait detaylar

Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Başlangıç ve son nem (gsu/g kuru madde)	COP _{sist}	SMER _{GDIP} (kg/kWh)	Kurutma süresi (saat)
30/35	0.93-0.07	Düşük	Düşük	Uzun
45	0.93-0.07	2.9	0.47	3 saat 50dk
55	0.93-0.07	3.1	0.74	3 saat 10dk

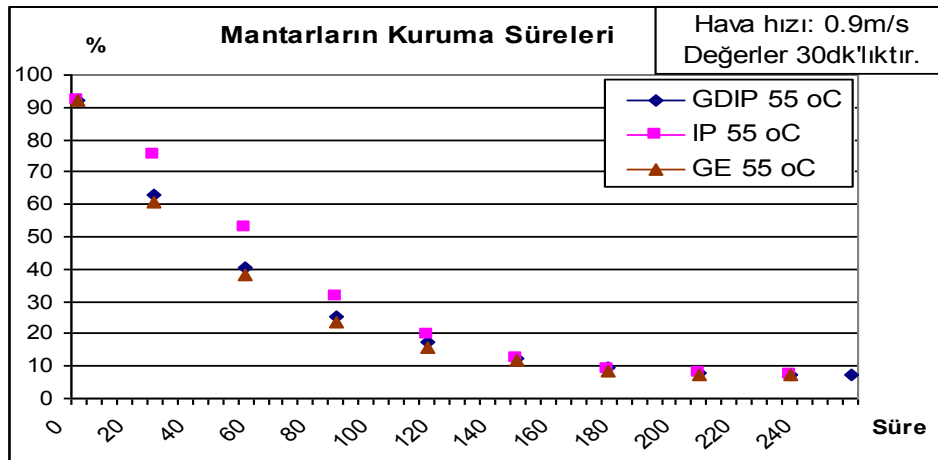
Hem güneş enerjisinden hem de ısı pompasından yararlanılarak 30/35 °C, 45 °C ve 55 °C'lerde yapılan deneylerde grafiklerde de görüleceği üzere kurutma odasında istenilen sıcaklığa güneş enerjisiyle başlandığında çok çabuk ulaşılmıştır. GDIP sistemi çalıştığında; güneş kolektörlerinde yüksek sıcaklıkta hazır su bulunması, ısı pompası çalıştığında nem almanın da gerçekleşmesi, depoda ısı depolanması ve ısı pompasına depodan ısı sağlanması sistemin avantajları sayılabilir.

12.4. Kurutma Deneylerinin Karşılaştırılması

Deney setinde mantarlar 30/35 °C, 45 °C ve 55 °C kurutma havası sıcaklığında ve 0.9 m/s ve 1.2 m/s hava hızlarında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Şekil 12.32’de 1.2 m/s hava hızlarında yapılan deneylerin süre bakımından karşılaştırılması verilmiştir.

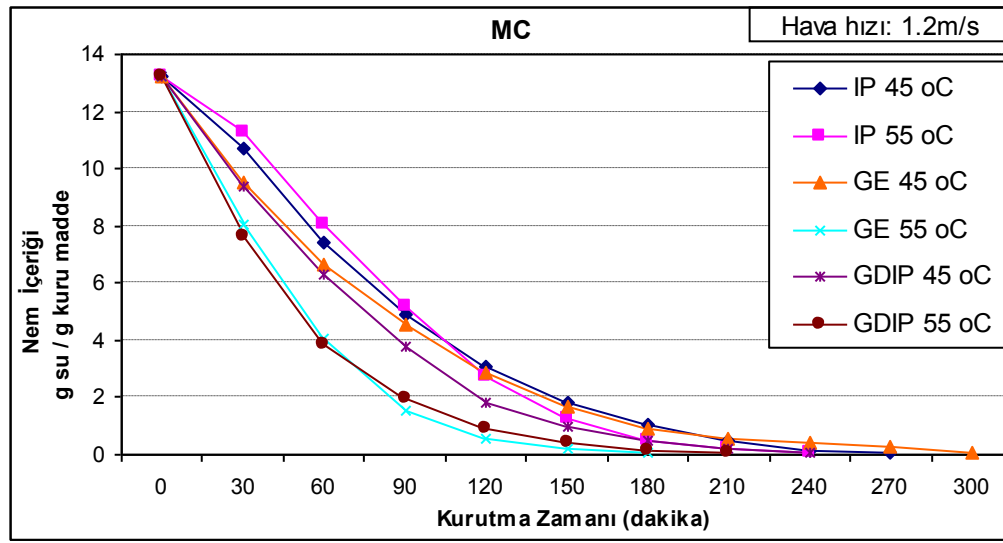


Şekil 12.32. 1.2 m/s hava hızında yapılan deneylerin süre bakımından karşılaştırılması

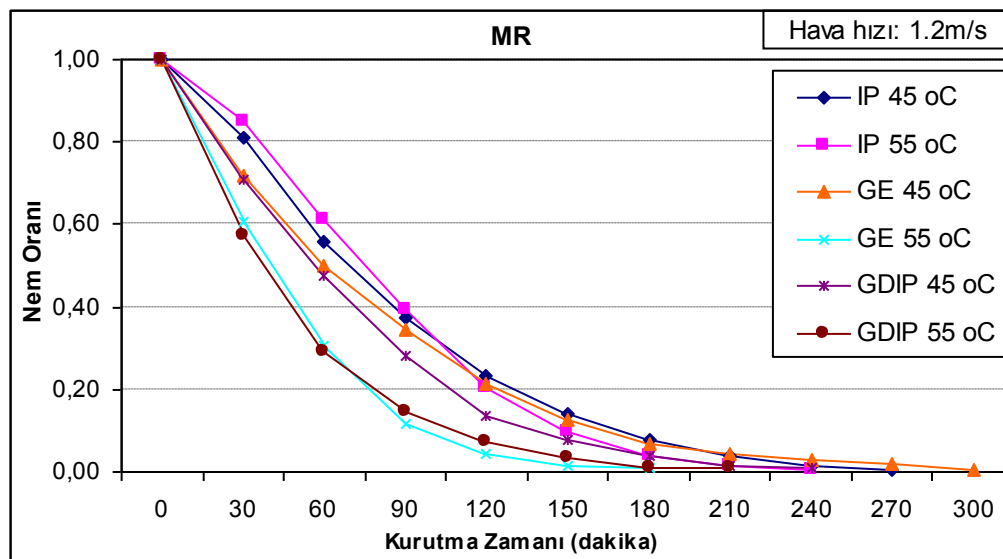


Şekil 12.33. 55 °C ve 0.9 m/s şartlarında deneylerin süre bakımından karşılaştırılması

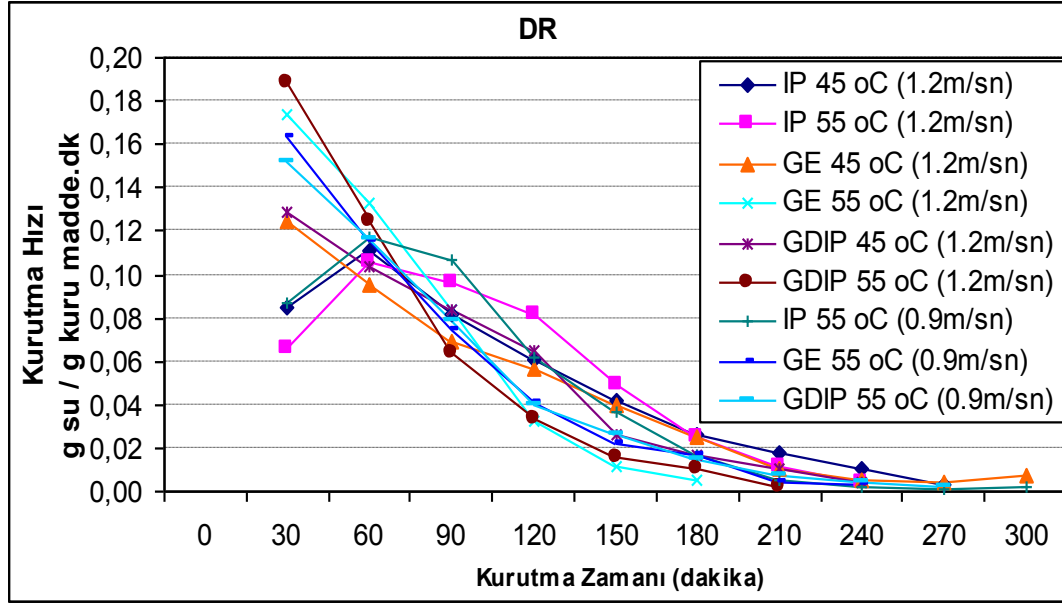
Deney setinde mantarlar 55 °C kurutma havası sıcaklığında ve 0.9 m/s hava hızında kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Şekil 12.33'de 0.9 m/s hava hızında yapılan deneylerin süre bakımından karşılaştırılması verilmiştir. Eş. 10.92, 10.93 ve 10.94'den hesaplanarak elde edilen nem içeriği (MC), nem oranı (MR) ve kurutma hızı (DR) değerleri grafikler halinde Şekil 12.34, Şekil 12.35 ve Şekil 12.36'da verilmiştir.



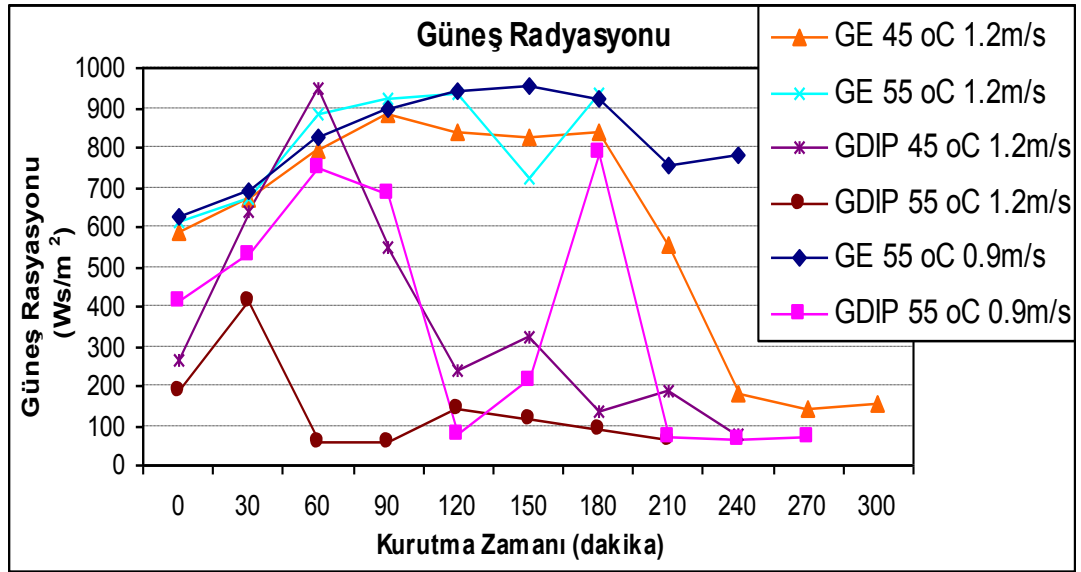
Şekil 12.34. Zamana bağlı olarak nem içeriği



Şekil 12.35. Zamana bağlı olarak nem oranı



Şekil 12.36. Zamana bağlı olarak kurutma hızı



Şekil 12.37. Zamana bağlı olarak güneş radyasyon değerleri

Şekil 12.37’de zamana bağlı olarak güneş radyasyon değerleri görülmektedir. Çizelge 12.4’te tasarlanan ve deneyleri yapılan sistemin avantaj ve dezantajları karşılaştırılmıştır. Çizelge 12.5’te ise tasarlanan ve deneyleri yapılan sistemde elde edilen veriler gösterilmiştir.

Çizelge 12.4. Tasarlanan ve deneyleri yapılan sistemin karşılaştırılması

Sistem	Nem alma	İstenilen sıcaklığa	Güç tüketimi
IP	Evet	Çok yavaş (1-1.5 saatte)	Yüksek
GE	Hayır	Hızlı (15-20dk)	Az
GDIP	Evet/Hayır	Hızlı/Yavaş (15dk-1 saatte)	Normal

Çizelge 12.5. Deneylerde elde edilen veriler

	1.2 m/s hava hızında						0.9 m/s hava hızında		
	IP 45°C	IP 55°C	GE 45°C	GE 55°C	GDIP 45°C	GDIP 55°C	IP 55°C	GE 55°C	GDIP 55°C
SMER (kg/kWh)	0.26	0.46	0.77	0.92	0.47	0.74	0.35	0.71	0.66
COP	2.1	2.3	3.1	3.8	2.9	3.1	1.6	2.5	2.3
EUR	0.42	0.47	0.6	0.66	0.51	0.53	0.45	0.55	0.5
Kurutma süresi(dk)	250	220	300	165	230	190	285	240	260
2 000 gr 4 mm dilimlenmiş mantar									
Başlangıç ve son nem (gsu/g kuru madde) 0.93-0.07									

Şekil 12.38 ve Şekil 12.39’da ise kurutma deneylerinde elde edilen kurutulmuş mantarların resimleri verilmiştir. Burada renk açısından 45 °C’de kurutma sıcaklığına tabi tutulan mantarların görece daha iyi olduğu görülmektedir.



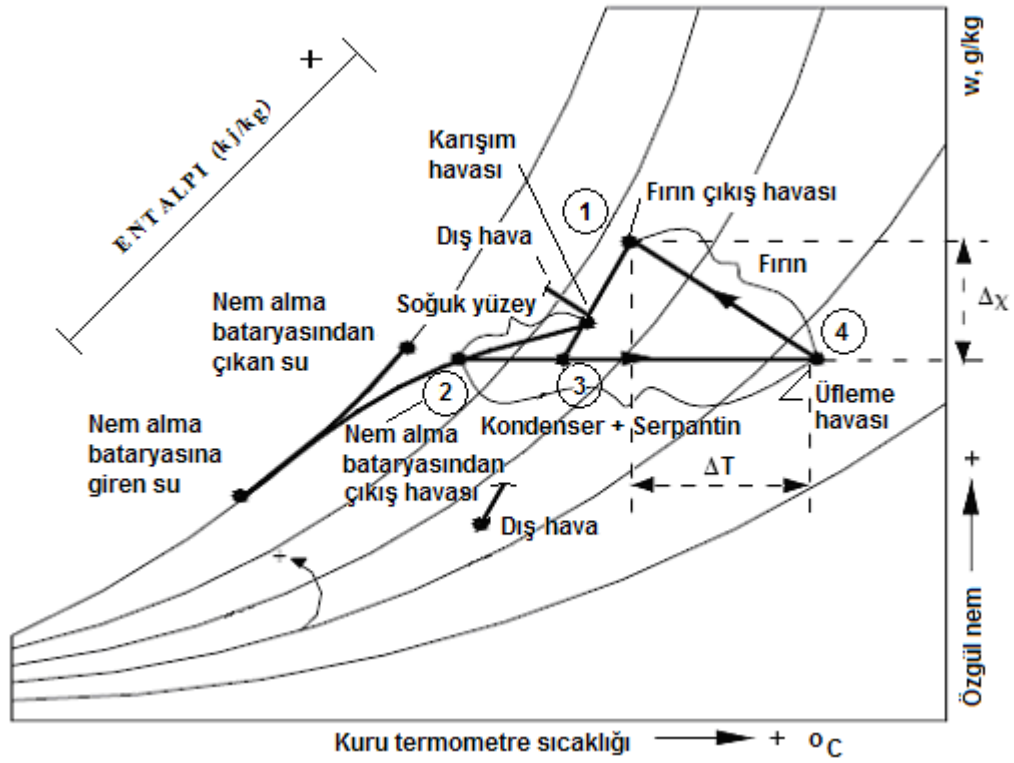
Şekil 12.38. 0.9m/sn hava hızında yapılan deneylerde elde edilen kurutulmuş mantarlar



Şekil 12.39. 1.2m/sn hava hızında yapılan deneylerde elde edilen kurutulmuş mantarlar

Kurutma sisteminde kurutma işlemi esnasında sistem havasının psikrometrik izahı Şekil 12.40'ta verilmiştir. Su deposundaki soğuk suyun bir pompa ile serpantinde dolaştırılmasıyla serpantin yüzey sıcaklığının çiy noktası altına düştüğü noktada sistemde dolaşan nemli hava serpantin yüzeyinde yoğuşmaya başlamaktadır. Hava, nem alıcı serpantinden geçerken değişim eğrisi “1-2” olmaktadır. “2” noktası nem alma serpantininin verimine göre değişiklik gösterir. “3” noktası da kondenser ve sıcak serpantinden çıkan hava (kurutma fırınına üflenene hava) şartını göstermektedir. “3”

noktası kondenser ve serpantin kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. “3-4” kurutma fırını giriş ve çıkış değişim eğrisidir. “3” şartında kurutma fırınına giren ve ürünün nemini alan hava, kuru termometre sıcaklığı ΔT kadar düşer. Bu arada Δx kadar mutlak nemi yükselir.



Şekil 12.40. GDIP kurutma sisteminde kurutma havasının psikometrik izahı

13. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz dünyasında mekân ısıtmasında çoğunlukla ya fosil yakıtlı ürünler ya da fosil yakıtla üretilen ürünler kullanılmaktadır. Benzer şekilde kurutma işlemi de güneşte kurutma ve fosil yakıtlı (genellikle fosil yakıt ile üretilmiş elektriği kullanan elektrikli ısıtıcı) kurutma fırınlarında olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Her iki uygulamanın da olumlu ve olumsuz yönleri mevcuttur. Güneşte kurutma ile aflatoksin oluşması, esmerleşme, buruşma ve acılaşıma oluşmaktadır. Elektrikli ısıtıcı kullanılan ısıtıcı ve kurutucularda enerji tüketimi yüksek, fosil yakıtlı ısıtıcı ve kurutucularda ise uygulama hem zahmetli hem de çevreye zarar vericidir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak; enerjisini daha verimli kullanan ve kurutma kusurlarını ortadan kaldıran bir sistem tasarlanmış ve uygulanmıştır.

Bu tez çalışmasının özellikle deney sonuçları kısmındaki verilerden hareketle güneş destekli ısı pompası sisteminin ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretiminde kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır. Sistem, bir mahalin ısıtma yükünü sağlayabilecek kapasitededir. Buna göre, güneş destekli ısı pompası sistemlerinin yeni teknolojileri kullanarak ısıtma sistemlerinde klasik ısıtma sistemlerinin yerine alternatif bir ısıtma oluşturabileceği söylenebilir.

Isıtma ve kurutma havası sıcaklığı ve nemi ve buna ek olarak kurutulan ürünün ağırlığı gibi değerlerin ölçülerek bilgisayar yardımı ile takibinin otomatik olarak yapılıyor olması sistemin en büyük avantajıdır. Diğer bir önemli avantajı da; sistemin üç manevra kabiliyetine sahip olmasıdır. Buna ek olarak sistemde, ısıtma veya kurutma yapılırken aynı zamanda da ısı depolanabilmektedir. Buna karşın diğer sistemlerde olduğu gibi bu sistem performansı da güneş enerjisinden ve ısı pompasından sağlanan yük bakımından değerlendirildiğinde; iklimden, kaynak sıcaklık limitinden, kolektör tipi ve alanından, depolama tankının boyutlarından ve otomasyon sisteminden çoğunlukla etkilenmektedir.

Sistem, tarafımızdan tasarlanarak imalatı yapılmış, sistemde başarılı deney sonuçları elde edilmiş ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Tasarlanan, imal edilen ve

deneysel olarak analizi yapılan güneş destekli ısı pompalı sistemde farklı sıcaklık ve hava hızlarında ısıtma ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sistem, hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla farklı senaryolar eşliğinde PLC kontrollü olarak ortam sıcaklığı, nem oranı, ürün ağırlığı vb değerlerin analog-dijital hissediciler sayesinde izlenerek uygun şartlar oluşturulmuştur. Böylece ucuz, kaliteli ve sürdürülebilir olan bu sistem ile; hem ürünler, daha az enerji girdisiyle ve daha kontrollü olarak kurutulabilmiş hem de mahallerin daha ekonomik ısıtılabilindiği görülmüştür.

Sistemin ısıtma için deneysel olarak incelenebilmesinde bir mahal seçilmiş ve bu mahalin ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistem, ısıtma için seçilen mahali 24 saat esasına göre çalışarak 22 °C’de tutmuştur. Sistemin kurutma için deneysel olarak incelenebilmesinde ise “agaricus bisporous” türü mantar seçilmiştir. Güneş enerjisi ve ısı pompasının ayrı ayrı veya birlikte kullanılabildiği güneş destekli ısı pompalı kurutma fırınında farklı sıcaklık ve hava hızlarında seçilen bu ürünün kurutulması ile sistemin performans deneyleri yapılmış ve deneysel sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Sıcaklığının yaklaşık 7-25°C arasında ve bağıl nemin % 40-% 95 arasında olduğu gece ve gündüz dış hava şartlarında onlarca deney yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sistem; farklı modlarda otomatik veya manuel olarak çalışarak çeşitli reaksiyonlara cevap verebilecek şekildedir.
- Sıcaklığının yaklaşık 7-25°C arasında ve nemin % 40-% 95 arasında olduğu gece ve gündüz dış hava şartlarında sistem sorunsuz olarak çalışabilmiştir.
- Deneyler; sadece ısı pompasıyla, sadece güneş enerjisiyle ve her iki sistemin birlikte kullanılabildiği üç farklı modda yapılmıştır.
- Sadece güneş enerjisi kullanılarak yapılan deneylerde veya güneş enerjisiyle başlanılan deneylerde kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok çabuk ulaşılmıştır. Sistemde istenilen sıcaklığa; sadece ısı pompası kullanıldığında çok yavaş (1-1.5 saatte), sadece güneş enerjisi kullanıldığında hızlı (15-20 dk’da) ve güneş destekli ısı pompası veya ısı pompası destekli güneş enerjisi kullanıldığında ise hızlı/yavaş (15 dk-1 saatte) ulaşılmıştır.

- Isıtma veya kurutma esnasında ortam havası sıcaklığı ortalama olarak 1 °C hassasiyette tutulabilmektedir.
- Kurutma sisteminde ağırlığı 2 000 g olan 4 mm şeklinde dilimlenmiş mantarlar; 0.9 m/s ve 1.2 m/s hava hızlarında % 92.98 (% 93) nem değerinden % 7 nem (kuru baz) değerine kadar 30-35 °C, 45 °C ve 55 °C kurutma havası sıcaklıklarında sadece ısı pompası kullanılarak, sadece güneş enerjisi kullanılarak ve tüm sistem (güneş destekli ısı pompası) kullanılarak kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mantarlar, sadece ısı pompası kullanılarak 220-250 dakikada, sadece güneş enerjisi kullanılarak 165-300 dakikada, güneş destekli ısı pompası kullanılarak 190-230 dakikada kurutulmuştur. Elde edilen veriler Çizelge 12.5'te detaylı olarak görülmektedir.
- Sistemde kurutma havası sıcaklık değeri arttıkça, kurutma süresi de kısalmıştır.
- Kurutma sisteminde, 30-35 °C gibi düşük sıcaklıklardaki kurutma işlemlerinin 15 saat gibi çok sürelerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- Güneş destekli ısı pompalı PLC kontrollü sistemde COP değerleri ortalama; sadece ısı pompası kullanıldığında 2.2, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 3.5 ve tüm sistem (güneş destekli ısı pompası) için 3.0 olarak hesaplanmıştır.
- Evaporatörün bulunduğu depoya giren yüksek su sıcaklığı sistemin COP'unu (performans katsayısını) arttırmıştır.
- Güneş destekli ısı pompalı PLC kontrollü sistemde enerjinin kullanılma oranları (EUR) ortalama; sadece ısı pompası kullanıldığında 0.45, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 0.63 ve tüm sistem (güneş destekli ısı pompası) için 0.52 olarak hesaplanmıştır.
- Güneş destekli ısı pompalı PLC kontrollü sistemde özgül nem çekme oranları (SMER) ortalama; sadece ısı pompası kullanıldığında 0.36 kg/kWh, sadece güneş enerjisi kullanıldığında 0.80 kg/kWh ve tüm sistem (güneş destekli ısı pompası) için 0.62 kg/kWh olarak hesaplanmıştır.
- Mantar kurutma sıcaklığının 50 °C'nin altında kalması gerekliliği tespit edilmiştir. Bu sıcaklığın üstünde mantarlar protein kaybına uğradığından lezzetini kaybetmektedir.
- Kurutulmuş mantar dilimleri renk bakımından değerlendirilmiş ve optimum şartların belirlenmesi için kriter olarak kullanılmıştır. Renk ve tat bakımından

en uygun kurutma sıcaklığı 45 °C olarak tespit edilmiştir.

- Sistemin enerji tüketimi bakımından en verimli olduğu an sadece güneş enerjisinin kullanıldığı durumdur. Sistemin verimlilik bakımından en üstün olduğu an ise güneş destekli ısı pompasının kullanıldığı durumdur.
- Sadece güneş enerjisiyle yapılan deneylerde veya güneş enerjisiyle başlanılan deneylerde kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok çabuk ulaşılmıştır.
- Deneyler sırasında mantarlar aynı zamanda güneşe sererek de kurutulmuştur. Deney setinde sadece güneş enerjisi sistemiyle yapılan deneyler sırasında mantarlar, güneşte 6-9 saatte kururken güneş destekli ısı pompası ile yapılan deneyler sırasında ise 8-10 saatte kurumıştır. Güneşe serilerek kurutulan mantarlar ile deney setinde kurutulan mantarlar sadece renk bakımından karşılaştırıldığında bile negatif yönde bariz fark görülmüştür.
- Mevcut durumda ürünlerde; aflatoksin (küf) oluşumu, esmerleşme, acılaşıma ve buruşma gibi başlıca kurutma kusurları oluşmaktadır. Ayrıca; kurutma süresi de oldukça uzundur. Tarafımızdan yapılan PLC kontrollü, güneş destekli ısı pompalı kurutma fırını ile mantarda, kurutma esnasında oluşabilecek kurutma kusurları oldukça azaltılmıştır.
- Deneyler sırasında dış hava sıcaklığının düşük olması ve depo içerisindeki su sıcaklığının havanın çiy noktası sıcaklığının altına düşmesi neticesinde soğuk yüzeyde nem alma işlemi gerçekleşmiş buna karşın ısı pompası çalışma süresi de uzamıştır.
- Kurutma işlemlerinde ürünün içindeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji güneş enerjisi ısı değiştiricisi ve ısı pompası kondenseri tarafından sağlanmıştır. Bu çalışma ile ısı pompası kondenserinin ve güneş enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.
- Ürün kurutulmasında kurutma havası sıcaklık değerlerinin genellikle düşük (30 °C - 50 °C) olması nedeniyle güneş destekli ısı pompalı kurutucunun ek bir ısı kaynağına ihtiyaç duymaksızın rahatlıkla kullanılabilirliği tespit edilmiştir.
- Çalışması yapılan güneş enerjisi destekli ısı pompalı sitem; otel, hastane, okul, sera, alışveriş merkezi ve konutlarda ısıtma amaçlı kullanılmasının yanında her türlü ürün kurutulmasında kısacası sıcak hava gereksinimi duyulan yerlerde uygulanabilir.

- Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak yapılan tez çalışmasında kurutulacak ürünün fiziki ve kimyasal özelliklerine göre kurutma havası sıcaklığının, bağıl neminin, hızının ve kurutulacak ürün ağırlığının kontrol edilebilirliği, incelenen sistemde mantar kurutularak gösterilmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen veriler ışığında aşağıdakilere dikkat edilmesi uygun görülmüştür.

Yapılan çalışmada güneş enerjisi devresinin sistem performansına katkısının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Ancak, güneş enerjisi sistemi ısı değiştiricilerinde yüksek akış oranı, yüksek pompalama fazladan güç tüketimine ve daha düşük COP değerlerinin elde edilmesine neden olacağından dikkat edilmelidir.

Ürün üzerindeki hava hızı dağılımı homojen bir kurutma için önemlidir. Bu nedenle dağılımın homojen olması kurutmayı pozitif yönde etkiler. Bunun yanında kurutulacak ürün miktarı ne kadar artarsa, kurutma zamanı da yaklaşık olarak ürün miktarını artırdığınız oranda uzamaktadır. Ayrıca yük miktarı arttırıldığında ürün renginde kararmalar görülebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, ürün miktarının aşırı azaltılması yine üründe kararmalara sebebiyet verebilir.

Kurutma işleminin yapıldığı dönemde dış hava iklim şartlarına göre kurutma havası bağıl nemine bağlı olarak dışarıdan sisteme alınan hava miktarı belirlenmeli ve havanın özellikleri iyi etüd edilmelidir. Dış hava neminin iç hava nemine yakın olması ve dış hava sıcaklığının iç hava sıcaklığından çok düşük olması sisteme ekstra yük bindireceği unutulmamalıdır.

Sistemdeki hava kanalı içerisinde çok fazla eleman olduğundan önündeki veya arkasındaki çalışmayan sistem elemanı ısı çekerek verimi düşürmektedir. Şöyle ki; ısı pompasının çalışmadığı durumda (sadece güneş enerjisi sistemi devredeyken) kondenser, ısı pompasının çalıştığı durumda ise ısı değiştirici kendi üzerine ısıyı alarak sistem dengesini bozmakta ve kurutma odasının istenilen sıcaklığa çıkarılması zaman almaktadır. Ayrıca hava kanalında çok fazla eleman olması hava hızını

dolayısıyla hava debisini azaltmaktadır.

Bu sisteme ısı pompası devresi, toprak kaynaklı olarak da uygulanabilir. Depo hacmi daha büyük seçilebilir. Ayrıca düz güneş kolektörleri yerine daha maliyetli ancak daha verimli vakum tüplü kolektörler kullanılabilir.

Isı pompasının uzun süreli çalışması durumunda depodaki ısı çok düşük sıcaklıklara düşmesi neticesinde evaporatör çevresinde buzlanmaya yol açmaktadır. Bunun sonucunda evaporatörden ısı çekişi zorlaşmakta ve kompresörün aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Sistemdeki depo daha büyük seçilebilir veya nem alma ünitesindeki pompa daha büyük kapasiteli seçilebilir.

Sistem ve SCADA geliştirilebilir. Sistem SCADA’ında tanımlı denetim noktalarına isteğe bağlı olarak ekleme-çıkartma yapılabilir, bazı kısıtlamalar konulabilir. Sisteme çeşitli ekran alarmları tasarlanabilir hatta verilerin bir trend olarak izlenebilmesi veya bu noktalardan alınan bilgilerin istatistiksel amaçlarla kaydedilip istendiği anda bazı istatistiksel trendlerinin görüntülenmesi ve raporlanması sağlanabilir.

Yaz koşullarında, daha düşük enerji girdisi, daha yüksek ısı artışı sağlanmış fakat kış koşullarında ise yaz koşullarının tersi bir hal ile karşılaşmıştır. Sistemde devirli kompresör kullanılması halinde yaz aylarında kompresörün kapasitesi düşürülebilir. Azaltılan kompresör devri, sistemin daha stabil olmasını ve akabinde sistemin COP değerinde de bir iyileşme sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Subaşı, Z. T., “Enerji verimliliği ve pasif evler”, *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 84, s 34-37, Temmuz-Ağustos (2010).
2. Kahyaoğlu A. G., “Kurutulmuş sebzeler”, *TC. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi*, SITC No 056.1, Armonize no 0712, (2008).
3. Sporn, P. and Ambrose, E. R., “The heat pump and solar energy”, In: *Proceedings of the World Symposium on Applied Solar Energy*, Phoenix, Ariz, November 1-5, (1955).
4. Chaturvedi, S. K. and Mei, V. C., “Thermal performance of SAHP system with combined collector/evaporator”, *AIAA Terrestrial Energy Systems Conference*, AIAA 79- 0976, Orlando, Florida, (1979).
5. Freeman, T. L., Mitchell, J. W. and Audit, T. E., “Performance of combined solar heat-pump systems”, *Solar Energy*, 22:125-135, (1979).
6. Huang, B. J. and Chyng, J. P., “Integral type solar-assisted heat pump water heater”, *Renewable Energy Congress V II*, 731-734, (1998).
7. Ito, S., Naokatsu, M. and Takahashi, H., “Solar assisted heat pump system”, *Trans Jpn Soc Mech Engrs*, 54:1503, (1988).
8. Aziz, W., Chaturvedi, S. K. and Kheireddine, A., “Thermodynamic analysis of two-component, two-phase flow in solar collectors with application to a direct-expansion solar-assisted heat pump”, *Energy*, 24:247-259, (1999).
9. O’Dell, M. P., Mitchell, J. W. and Beckman, W. A., “Design method and performance of heat pump with refrigerant-filled solar collectors”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 106:159-164, (1984).
10. Matsuki, K., Shinobu, Y. and Yoshikawa, M., “A prototype direct-expansion solar heat pump system”, *ASHRAE Trans.*, 93:15, (1987).
11. Morrison, G. L., “Simulation of packaged solar heat-pump water heaters”, *Solar Energy*, 53:249-257, (1994).
12. Chaturvedi, S. K., Chen, D. T. and Kheireddine, A., “Thermal performance of a variable capacity direct expansion solar-assisted heat pump”, *Energy Conversion Management*, 39:181-191, (1998).
13. Chyng, J. P. and Huang, B. J., “Integral type solar-assisted heat pump water heater”, *Renewable Energy Congress V II*, 731-734, (1998).

14. Axaopoulos, P., Panagakis, P. and Kyritsis, S., "Experimental comparison of a solar-assisted heat pump vs. a conventional thermosyphon solar system", *Int J Energy Res*, 22:1107-1120, (1998).
15. Hulin, H., Xinshi, G. and Yuehong, S., "Theoretical thermal performance analysis of two solar-assisted heat-pump systems", *Int J Energy Res*, 23:1-6, (1999).
16. Ito, S., Miura, N. and Wang, K., "Performance of a heat pump using direct expansion solar collectors", *Solar Energy*, 65:189-196, (1999).
17. Torres-Reyes, E., Cervantes de Gortari, J., "Optimal performance of an irreversible solar-assisted heat pump". *Energy International Journal*, 1(2):107-111, (2001).
18. Kuang, Y. H., Wang, R. Z. and Yu, L. Q., "Experimental study of solar assisted heat pump system for heat supply", *Energy Conversion and Management*, 44 (7): 1089-1098, (2003a).
19. Huang, B. J., Chyng, J. P. and Lee, C. P., "Performance analysis of a solar assisted heat pump water heater", *Solar Energy*, 74:33-44, (2003).
20. Li, S. H., Wu, W. B., Zhang, X. S. and Yin, Y. G., "Experimental study and performance analysis on a solar-assisted heat pump water heater", *Journal of Southeast University*, 35 (1): 82-85, (2005).
21. Li, Y. W., Wang, R. Z., Wu, J. Y. and Xu, Y. X., "Experimental performance analysis on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater", *Applied Thermal Engineering*, 27:2858-2868, (2007).
22. Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. and Ulah, M. Z., "The performance of a solar assisted heat pump water heating system", *Applied Thermal Engineering*, 21:1049-1065, (2000).
23. Gorozabel Chata, F. B., "Analysis of a direct expansion solar-assisted heat pump using different refrigerants", Masters Thesis, *Old Dominion University*, (2002).
24. Ji, J., Keliang, L., Tin-Tai, C., Gang, P. and Hanfeng, H., "Thermal analysis of PV/T evaporator of a solar-assisted heat pump", *International Journal of Energy Research*, 31:525-45, (2007).
25. Mohanraj, M., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C., "Performance prediction of a direct expansion solar assisted heat pump using artificial neural networks", *Applied Energy*, 86:1442-1449, (2009).
26. Tleimat, B. W. and Howe, E. D., "A solar-assisted heat pump system for heating and cooling residences", *Solar Energy*, 21(1):45-54, (1978).

27. MacArthur, J. W., Palm, W. J. and Lessmann, R. C., "Performance analysis and cost optimization of a solar-assisted heat-pump system", ***Solar Energy***, 21:1-9, (1978).
28. Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. and Ulah M. Z., "The performance of a solar assisted heat pump water heating system, ***Applied Thermal Engineering***, 21:1049-1065, (2001).
29. Hatheway, F. M. and Converse, A. O., "Economic comparison of solar assisted heat pumps", ***Solar Energy***, 27:561-569, (1981).
30. Yamankaradeniz, R., "Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, ***İTÜ***, İstanbul, (1982).
31. Çomaklı, Ö., "Güneş kolektörlü enerji depolu ısı pompası sisteminin deneysel ve teorik incelenmesi", Doktora Tezi, ***Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Trabzon, (1991).
32. Kaygusuz, K., Çomaklı, Ö. and Ayhan, T., "Solar-assisted heat pump systems and energy storage", ***Solar Energy***, 47: 383-391 (1991).
33. Yamankaradeniz, R. and Horuz, I., "The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days", ***International Communications in Heat and Mass Transfer***, 25 (6): 885-898, (1998).
34. Yumrutaş, R. and Ünsal, M., "Analysis of solar aided heat pump system with seasonal thermal energy storage in surface tanks", ***Energy***, 25:1231-1243, (2000).
35. Badescu, V., "First and second law analysis of solar assisted heat pump based heating system", ***Energy Conversion and Management***, 43:2539-2552, (2002).
36. Nuntaphan, A., Chansena, C. and Kiatsiriroat, T., "Performance analysis of solar water heater combined with heat pump using refrigerant mixture", ***Applied Energy***, 86:748-756, (2009).
37. Li, H. and Yang, H., "Study on performance of solar assisted air source heat pump systems for hot water production in Hong Kong", ***Applied Energy***, 37 (9): 2818-2825, (2010).
38. Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K. and Ayhan, T., "Solar-assisted heat pump and energy storage for residential heating", ***Solar Energy***, 51 (5): 357-366, (1992).
39. Kaygusuz, K. and Ayhan, T., "Experimental and theoretical investigation of combined solar heat pump system for residential heating", ***Energy Conversion & Management***, 40:1377-1396, (1999).

40. Kurun, E., “Güneş toplacından faydalanmanın bilgisayarla hesabı”, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 84 s., (1994).
41. Chaturvedi, S. K., Chen, D. T. and Kheireddine, A., Thermal Performance of a Variable Capacity Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pump, **Energy Convers**, 39: 3/4: 181-191, (1998).
42. Kaygusuz, K., “Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump”, **Renewable energy**, 21: 79-102, (2000).
43. Esen, M., “Thermal performance of a solar aided- latent heat store used for space heating by heat pump”, **Solar Energy**, 69 (1): 15-25, (2000).
44. Kuang, Y. H., Wang, R. Z. and Yu, L. Q., “Experimental study of solar assisted heat pump system for heat supply”, **Energy Conversion and Management**, 44:1089-1098, (2003b).
45. Kuang, Y. H., Sumathy, K. and Wang, R. Z., “Study on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heating system”, **International Journal of Energy Research**, 27 (5), 531-548, (2003c).
46. Yuehong, B., Tingwei, G., Liang, Z. and Lingen, C., “Solar and ground source heat-pump system”, **Science Direct.**, 78: 231-245, (2004).
47. Yamaç, Ö., “Güneş enerjili destekli ısı pompalarının teorik incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 95, (2005).
48. Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., “Experimental performance analysis of a solar assisted ground source heat pump greenhouse heating system”, **Energy and Buildings**, 37 (1): 101-110, (2005a).
49. Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., “Experimental investigation of the performance of a solar assisted ground source heat pump system for greenhouse heating”, **International Journal Energy Research**, 29:217-231, (2005b).
50. Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., “Performance analysis of a solar assisted ground source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study”, **Building and Environment**, 40:1040-1050, (2005c).
51. Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., “Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground source heat pump greenhouse heating system”, **Applied Thermal Engineering**, 25:1459-1471, (2005d).
52. Özgener, Ö. and Hepbaşlı A., “Modeling and performance evaluation of ground source (geothermal) heat pump systems”, **Energy and Building**, 39 (1), 66-75, (2006).

53. Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., “A Parametrical study on the energetic and exergetic assessment of a solar-assisted vertical ground-source heat pump system used for heating a greenhouse”, ***Building and Environment***, 42:11-24, (2007a).
54. Çağlar, A., “Theoretical and experimental performance analysis of a solar assisted heat pump”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü***, Ankara, (2006).
55. Kuang, Y. H. and Wang, R. Z., “Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system”, ***Solar Energy***, 80:795-803, (2006).
56. Uçar, A. and Inalli, M., “Exergoeconomic analysis and optimization of a solar-assisted heating system for residential buildings”, ***Building and Environment***, 41:1551-1556, (2006).
57. Trillat-Berdal, V., Souyri, B. and Fraisse, G., “Experimental study of a ground-coupled heat pump combined with thermal solar collectors”, ***Energy and Buildings***, 38 (12) 1477-1484, (2006).
58. Trillat-Berdal, V., Souyri, B. and Achard, G., “Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors”, ***Applied Thermal Engineering***, 27:1750-1755, (2007).
59. Hepbaşlı, A., “Exergetic modeling and assessment of solar assisted domestic hot water tank integrated ground-source heat pump systems for residences”, ***Energy and Buildings*** 39:1211-1217, (2007b).
60. Gündüz, A. B., “Bilecik ilinde güneş enerjisi destekli ısı pompasıyla sıcak su üretiminin performansı”, ***Yüksek Lisans Tezi***, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2007).
61. Dikici, A. and Akbulut, A., “Performance characteristics and energy-exergy analysis of solar-assisted heat pump system”, ***Building and Environment***, 43 (11), 1961-1972, (2008).
62. Han, Z., Zheng, M., Kong, F., Wang, F., Li, Z. and Bai, T., “Numerical simulation of solar assisted ground-source heat pump heating system with latent heat energy storage in severely cold area”, ***Applied Thermal Engineering***, 28:1427-1436, (2008).
63. Qi, Q., Deng, S. and Jiang, Y., “A simulation study on a solar heat pump heating system with seasonal latent heat storage”, ***Solar Energy***, 82:8:669-675, (2008).
64. Wang, H. and Qi, C., “Performance study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump system for residential buildings”, ***Energy and Buildings***, 40:1278-1286, (2008).

65. Bakırcı, K., Çomaklı, K., Özyurt, Ö. ve Yılmaz, M., “Güneş kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji analizi”, *Mühendis ve Makina*, cilt 50, sayı 590, (2009).
66. İnternet: DOPA, “Güneş destekli ısı pompası”, <http://www.dopa.com.tr>, (2010).
67. Li, H., Dai, Y., Dai, J., Wang, X. and Wei, L., “A solar assisted heat pump drying system for grain in-store drying”, *Front. Energy Power Eng.*, China, 4(3): 386–391, DOI 10.1007/s11708-010-0003-3, (2010).
68. Chen, P. Y. S., Helwer, W. A., Roen H. N. and Barton, D. J., “Experimetal solar dehumidifier kiln for lumber drying”, *Forest Products J.*, Southern Illinois University, Usa, 32(9): 35-41, (1982).
69. Baines, P. G., “A comparative analysis of heat pump dryers”, Ph.D. Thesis, *University of Otago*, New Zealand, 1-10, (1986).
70. Öz, E. S., “Güneş enerjili kondenzasyonlu bir kurutma fırınında kereste kurutulması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s 2-14, Ankara, (1988).
71. Çomaklı, Ö., Ayhan, T. ve Kaygusuz, K., “Karadeniz bölgesi için iklimlendirme amaçlı güneş kolektörlü enerji depolu ısı pompası sistemi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü*, Trabzon, 1-4, (1990).
72. Theerakulpisut, S., “Modeling heat pump grain drying system”, Ph.D. Thesis, *University of Melbourne*, 1-11, (1990).
73. 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).
74. Rossi, S. J., Neues, I. C. and Kicokbusch, T. G., “Thermodynamics and energetic evaluation of a heat pump applied to drying of vegetables”, *Drying '92* (Mujumdar AS, ed.), Amsterdam: Elsevier Science, 1475-1483, (1992).
75. Coşkun, S., “Kurutma işlemlerinde ısı pompası ile enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa, 83-84, (1993).
76. Strommen, I. and Kramer, K., “New Applications of Heat Pumps in Drying Proces”, *Drying Technology*, 12 (4): 889-901, (1994).
77. Best, R., Cruz, J. M., Gutierrez, J. and Soto, W., “Experimental results of a solar assisted heat pump rice drying system”, *Renew Energy*, 9:690-694, (1996).
78. Filho, O. A. and Strommen, I., “The application of heat pump in drying of

- biomaterials”, *Drying Technology*, 14(9): 2061-2090, (1996).
79. Oktay, Z., “Isı pompası destekli bir kurutucunun performansına etkiyen etkenlerin araştırılması”, *Tesisat Kongresi*, 1-2, (1997).
 80. 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).
 81. Prasertsan, S. and Saen-Saby, P., “Heat pump drying of agricultural materials”, *Drying Technology*, 16: 235-250, (1998).
 82. Lopez, A., Pique, M. T., Boatella, J., Ferran, A., Garcia, J. and Romero, A., “Drying characteristics of the hazelnut”, *Drying Technology*, 16(3-5): 627-649, (1998).
 83. Chou S. K., Hawlader M. N. A., Ho J. C. and Chua K. J., “On the study of a two stage heat pump cycle for drying of agricultural products”, *Proceedings of the ASEAN Seminar and Workshop on Drying Technology*, Phitsanulok, Thailand, June 3–5, (1998).
 84. Chua, K. J., Chou, S. K., Hawlader M. N. A. and Ho, J. C., “A two-stage heat pump dryer for better heat recovery and product quality”, *Journal of the Institute of Engineers*, Singapore, 38(6): 8-14, (1998).
 85. Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader M. N. A. and Ho J. C., “Heat pump drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on convective drying kinetics and color change”, *Drying Technology*, 18(5): 907-936, (2000).
 86. Achariyaviriya, S., Sopanronnarit, S. and Terdyothin A., “Mathematical model development and simulation of heat pump fruit dryer”, *Drying Technology*, 18(1-2): 479-491, (2000).
 87. Bhattacharya, S. C, Ruangrunchaikul, T. and Pham, H. L., “Design and performance of a hybrid solar/biomass energy powered dryer for fruits and vegetables”, *Proceedings of World Renewable Energy Congress VI*, Part IV Brighton, 1161-1164, (2000).
 88. Coşkun, S., “Basit nem alıcılı ısı pompalı sürekli kurutma sisteminin simülasyonu”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2): 79-96, (2002).
 89. Teeboonma, U., Tiansuwan, J. and Soponronnarit, S., “Optimization of heat pump fruit dryers”, *Journal of Food Engineering*, 59: 369-377, (2003).
 90. Hawlader, M. N. A., Chou, S. K., Jahangeer, K. A., Rahman, S. M. A. and

- Eugene Lau, K. W., "Solar assisted heat-pump dryer and water heater", *Applied Energy*, 74:185-93, (2003).
91. Özdemir, M., Yıldız M. ve Gürçan S. T., "Mekanik kurutmada hava sıcaklığının önemli Türk fındık çeşitlerinden tombul'un kalitesine etkisi", *Okyanus Bilgi Ambarı*, 1-4, (2004).
 92. Aktaş, M., Ceylan İ. ve Doğan, H., "Isı pompalı endüstriyel fındık kurutma fırınının modellenmesi", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, *Politeknik Dergisi*, 8(4): 329-336, (2005).
 93. Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan H., "Isı pompalı kurutma odasında elma kurutulması", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25(2): 9-14, (2005).
 94. Aktaş, M., Ceylan, İ., Yılmaz, S., "Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer", *Desalination*, 239:266-275, (2009).
 95. Phani, K. A. and Greg, J. S., "Re-circulating heat pump assisted continuous bed drying and energy analysis", *International Journal of Energy Research*, 29: 961-972, (2005).
 96. Fatouh, M., Metwally, A. B., Helali A. B. and Shedid, M. H., "Herbs drying using a heat pump dryer", *Energy Conversion and Management*, 47(15-16): 2629-2643, (2006).
 97. Hawlader, M. N. A. and Jahangeer, K. A., "Solar heat pump drying and water heating in the tropics", *Solar Energy*, 80(5): 492-499, (2006).
 98. Hawlader, M. N. A., Rahman, S. M. A. and Jahangeer, K. A., "Performance of evaporator-collector and air collector in solar assisted heat pump dryer", *Energy Conversion and Management*, 49:1612-1619, (2008).
 99. Ceylan, İ., "Programlanabilir (PLC) ısı pompalı kurutucunun tasarımı, imalatı ve kereste kurutma işleminde deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
 100. Ceylan, İ., Aktaş, M. and Doğan H., "Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump", *Applied Thermal Engineering*, 27: 216-222, (2007).
 101. Aktaş, M., "Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
 102. Çakmanus, İ., "Türkiye'nin enerji problemleri ve çözüm önerileri", *Mühendis ve Makine*, Sayı 492, 29-34, (2001).
 103. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), "Güneş enerjisi",

<http://www.eie.gov.tr>, (2009).

104. Yılmaz, T. ve Memlük, Y., “Vadilerde rüzgâr ve güneş hareketlerine bağlı planlama ve tasarım olanakları, Ankara Büyükesat vadisi örneği”, **Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 21(2), 193-204, Antalya, (2008).
105. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), “Mavi kitap 2010”, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, **ETKB-Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı**, sy 64, Ankara, (2010).
106. Weiss, W., Bergmann, I. and Stelzer, R., “IEA-SHC solar heat worldwide, markets and contribution to the energy supply 2007, edition 2009”, IEA Solar Heating&Cooling Programme 2007, p11, **AEE-Institute for Sustainable Technologies**, Gleisdorf, Austria, (2009).
107. Resch, G., Klessmann, C., Lamers, P., Panzer, C. and Haas, R., “Overview on solar energy technologies and market trends”, **Turkey Renewable Energy Workshop**, Ankara, 18 June (2009).
108. Schramek, R. S., “Isıtma + klima tekniği el kitabı 97/98”, **TTMD teknik yayın**, no:11, s 509, Altan matbaacılık, (2003).
109. Öz, E., S., Menlik, T. and Aktaş, M., “Güneş enerjili tabii sirkülasyonlu endirekt sıcak su hazırlama sistemlerinde kanatçık kullanmanın ısı analizi”, **Teknoloji Dergisi**, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, 189-195, Karabük, (2004).
110. Menlik, T., “Tabii sirkülasyonlu güneş enerjili sıcak su hazırlama tesislerinde direkt ve endirekt sistemlerin performanslarının karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 44-45, (1999).
111. Aktaş, M., Ceylan, İ. ve Doğan, H., “Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin ısı analizi”, **Politeknik Dergisi**, Cilt: 8 Sayı: 3 s.263-269, (2005).
112. Bayram, A., “Farklı yapım özelliklerine sahip doğal dolaşimli güneşli su ısıtma sistemlerinin deneysel karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 25-49, (2001).
113. Hepbaşlı, A. ve Ertöz, Ö., “Geleceğin teknolojisi: Yer kaynaklı ısı pompaları”, **4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi**, 445-492, (1999).
114. Kıncay, O. ve Çilingir, D., “Toprak kaynaklı ısı pompalı sistemler ile doğal gaz ve LPG sistemlerinin ekonomik incelenmesi”, **Tesisat Dergisi**, 84, 188-195, (2002).
115. Henderson P. C., Hewitt, N. J. and Mongey, B., “An economic and technical

- case for a compressor / expander unit for heat pumps”, *International Journal Of Energy Research*, 24, 831-842, (2000).
116. Dikici, A., Akbulut, A. ve Gülçimen, F., “Güneş ve hava kaynaklı ısı pompası sisteminin deneysel incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, Cilt: 46, Sayı: 544, sy 41-51, Ankara, (2005).
 117. Çengel, Y.A. and Boles, M.A., “Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik”, *Literatür Yayıncılık*, 887s, (1996).
 118. Uyarel, A.Y. ve Öz, E. S., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, *Emel Matbaacılık*, (1987).
 119. İnternet: Gürsel, K., “Otomatik kontrol ve ölçme teknikleri”, Elimko Elektronik İmalat ve Kontrol Ltd. Şti., www.emo.org.tr/ekler/c0592c2f4067cf9_ek.pdf, Ankara, (2010).
 120. Kurtulan, S., “PLC ile endüstriyel otomasyon”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, 1-13, (1999).
 121. İnternet: <http://www.scribd.com/doc/6736715/PLC-Ders-Notu>, (2011).
 122. MEGEP, “Elektrik elektronik teknolojisi, temel PLC sistemleri”, Ankara, (2007).
 123. Karabacak, M., “İleri kumanda teknikleri”, İskenderun, sy 96-106, (2005).
 124. İnternet: <http://www.hmyoelk.sakarya.edu.tr/bilgifazlasi/plc/>, (2011).
 125. Harris, J., Neme, C. and Calwell, C., “Residential heat pump water heaters: Energy efficiency potential and industry status”, *Prepared for Natural Resources Defense Council*, November (2005).
 126. Swardt, C. A. D. and Meyer, J. P., “A performance comparison between an air-source and a ground-source reversible heat pump”, *International Journal of Energy Research*, 25:899-910, (2001).
 127. Hepbaşlı, A., Akdemir, O. and Hancıoğlu, E., “Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system”, *Energy Conversion and Management*, 44:527-48, (2003).
 128. Biaou, A. L. and Bernier, M. A., “Achieving total domestic hot water production with renewable energy”, *Building and Environment*, 43:651-60, (2008).
 129. Sloane, B. D., Krise, R. C. and Kent, D. D., “Energy utilization systems”, Inc., Demonstration of a heat pump water heater, *A Subcontracted Report*, ORNL/Sub-7321/3, December (1979).

130. Harata, I., Takagi, S., Wakabayashi, I., Sakai, M., Tetuka, H., Toshou, T., “The development of the storage tank water heater by thermoelectric technology”, ***In: Proceedings of The 17th International Conference on Thermoelectrics***, ICT; p. 547-50, (1998).
131. Ito, S. and Miura, N., “Studies of a heat pump using water and air heat sources in parallel”, ***Heat Transfer Asian Research***, 29:473-90, (2000).
132. Ji, J., Chow, T., Pei, G., Dong, J. and He, W., “Domestic air-conditioner and integrated water heater for subtropical climate”, ***Applied Thermal Engineering***, 23:581-92, (2003).
133. Morrison, G., Anderson, T. and Behnia, M., “Seasonal performance rating of heat pump water heaters”, ***Solar Energy***, 76:147-52, (2004).
134. Zhang, J., Wang, R. Z. and Wu, J. Y., “System optimization and experimental research on air source heat pump water heater”, ***Applied Thermal Engineering***, 27:1029-35, (2007).
135. Sakai, I., Terakawa, M. T. and Ohue, J., “Solar space heating and cooling with bi-heat source heat pump and hot water supply system”, ***Solar Energy***, 18:525-32, (1976).
136. Chyng, J. P., Lee, C. P. and Huang, B. J., “Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater”, ***Solar Energy***, 33-44, (2003).
137. Huang, B. J., Lee, J. P. and Chyng, J. P., “Heat-pipe enhanced solar-assisted heat pump water heater”, ***Solar Energy***, 78:375-81, (2005).
138. Guoying, X., Xiaosong, Z. and Shiming, D., “A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater”, ***Applied Thermal Engineering***, 26:1257-65, (2006).
139. Huang, B. J., “Advancing the development of solar building technology for the future”, ***View National Taiwan University’s presentation at the GRP- King Abdullah University of Science and Technology***, (2010).
140. Gündüz A. B., “Bilecik ilinde güneş enerjisi destekli ısı pompasıyla sıcak su üretiminin performansı” Yüksek Lisans Tezi, ***Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Makine Mühendisliği, (2007).
141. Aktaş, M., “Güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir kurutucuda kırmızı biber kurutulmasının deneysel incelenmesi”, ***Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi***, Cilt:13, Sayı: 1, s. 1-6, (2010).
142. Doğan, H., “Isı borulu güneş kolektörü ile meyve ve sebze kurutulmasında

- önemli parametrelerin belirlenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (1995).
143. Günerkan, H., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, **Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, 36(13): 1-10, Mart-Nisan (2005).
 144. Güner, M., “Kurutmanın bilimsel temelleri, kurutma modelleri ve güneşli kurutucular”, **Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları**, yayın no: 1205, derlemeler: 48, Ankara, (1991).
 145. Yağcıoğlu, A., “Tarım ürünleri kurutma tekniği”, **EÜ Ziraat Fakültesi Yayınları**, no: 536, (1999).
 146. Akyurt, M., Sevilir, E., Söylemez, E. ve Selçuk, K., “Güneş enerjisi ve bazı yakıtlarla meyve ve sebze kurutulması”, **TÜBİTAK proje no: TOAG-97**, yayın no: 299, Ankara, (1971).
 147. Ertekin, C., “Bazı sebze ve meyvelerin kurutulması”, Tarım ürünleri kurutma tekniği çalıştay, **E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü Çalıştaylar Dizisi**, no:1, s.33-57, 21-22 Mart, Bornova, İzmir, (2002).
 148. İnternet: <http://www.kurutma.net/index.html>, (2010).
 149. Jangam V. S., Law C. L. and Mujumdar A. S., “Drying of foods, vegetables and fruits volume 1”, **ISBN: 978-981-08-6759-1**, p 10-12, (2010).
 150. Ceylan, İ., “Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, (2002).
 151. Karakoç, H. ve Gökşin, H. A., “Nemlendirme tekniği”, **Havak Teknik Yayınları**, Pamukkale matbaacılık, s 45, (2010).
 152. Doğan, Z. S. ve Tuncer, İ. K., “Kahramanmaraş kırmızı biberinin fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanarak doğal koşullarda ve plastik örtü alt güneş toplayıcılarıyla kurutulması üzerine bir araştırma”, **Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Fakültesi Dergisi**, 1-18, Adana, (1989).
 153. Sitiphong, N., Therdoon, P., Klongpanich, W. and Sıratnapanta, T., “Drying characteristics of soybean and groundnut”, Grain Postharvest Systems, **Proceedings of The Tenth ASEAN Technical Seminar on Grain Postharvest Technology**, 137-147, Thailand, (1989).
 154. Sarsavadia, P., Sawhney, R., Pangavhane, D. R. and Singh, S. P., “Drying behavior of brined onion slices”, **Journal Food Engineering**, 40:219-226, (1999).
 155. Mastekbayeva, G. A., Bhatta, C. P., Leon, M. A. and Kumar, S., “Experimental

studies on a hybrid dryer”, **Paper presented at the ISES 99 Solar World Congress**, Israel, 4-9 July (1999).

156. Internet: <http://www.dryerturk.com>, (2010).
157. Tiwari G. N., “Sustainable energy research at solar energy park IIT Delhi”, **Centre for Energy Studies**, Indian Institute of Technology (IIT) Delhi & BAG Energy Research Society (BERS), (2010).
158. Chou S. K. and Chua, K. J., “Heat pump drying systems”, In: Mujumdar, A.S., (3rd Ed.), **Handbook of Industrial Drying**, (2006).
159. Daghigh, R., Ruslan, M. H., Sulaiman, M. Y. and Sopian, K., “Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14: 2564–2579, (2010).
160. Nassikas, A. A., Akritidis, C. B. and Mujumdar, A. S., “Close- cycle heat pump dryer using super heated steam: An application to paper drying”, In: Mujumdar A.S., ED. **Drying ‘92**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp. 1085-1098, (1992).
161. Mason, R. L. and Blarcom, A. V., “Drying macadamia nuts using a heat pump dehumidifier”, **In Development and Application of Heat Pump Dryer**, Brisbane, Australia, 1-7, (1993).
162. Carrington, C. G., Bannister, P., Bansal, B. and Sun, Z., “Heat pump dehumidification of timber: Process improvements”. **Proc. Conf. Institution of Professional Engineers**, Vol. 2, Part 1, Dunedin, New Zealand, pp. 73-77, (1996).
163. Carrington, C. G., Barneveld, N. J. and Bannister, P., “Development of the ECNZ electric heat pump dehumidifier drier pilot plant”, **Proc. Conf. Institution of Professional Engineers**, Vol. 2, Part 1, Dunedin, New Zealand, pp. 68-72, (1996).
164. O’Neill, M. B., Rahman, M. S., Perera, C. O., Smith, B. and Melton, L. D., “Colour and density of apple cubes dried in air and modified atmosphere”, **International Journal of Food Properties**, 1 (3): 197–205, (1998).
165. Strommen, I., Eikevik, T. M. and Odilio, A. F., “Optimum design and enhanced performance of heat pump dryers”, **Proceedings of the first Asian-Australian Drying Conference**, Bali, Indonesia, Abudullah, K., Tamaunan, A.H., and Mujumdar, A.S., (Eds.), 68, (1999).
166. Chou, S. K., Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Tan, M. and Tan, S. L., “Study on the osmotic pretreatment and infrared radiation on drying kinetics and colour changes during drying of agricultural products”, **ASEAN Journal on Science**

and Technology for Development, 18 (1):11-23, (2001).

167. Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. A. and Ho, J. C., "Convective drying of banana, guava and potato pieces: Effect of cyclical variations of air temperature on convective drying kinetics and colour change", *Drying Technology*, 18 (5):907-936, (2000).
168. Oktay, Z. and Hepbaşlı, A., "Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener dryer", *Energy Conversion & Management*, 44:1193-207, (2003).
169. Kohayakawa, M. N., Silveria-Junior, V. and Telis-Romero, J., "Drying of mango slices using heat pump dryer" *Paper Presented at The Proceedings of The 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo, Brazil, 22-25 August (2004).
170. Hawlader, M. N. A., Perera, C. O. and Tian, M., "Properties of modified atmosphere heat pump dried foods", *Food Engineering*, 74:392-401, (2006).
171. Chegini, G., Khayaei, J., Rostami, H.A. and Sanjari, A. R., "Designing of a heat pump dryer for drying of plum", *Journal of Research and Applications In Agricultural Engineering*, 52, no. 2: 63-65, (2007).
172. Phoungchandang, S., "Simulation model for heat pump-assisted dehumidified air drying for some herbs", *World Journal of Agricultural Sciences* 5, 2: 138-42, (2009).
173. Güngör, A. ve Özbalt, N., "Endüstriyel kurutma sistemleri", *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, Bildiriler Kitabı 2: 737-747, İzmir, (1997).
174. Kuzgunkaya H. E., "Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı (jeotermal) ısı pompalı bir kurutucunun enerji ve ekserji analizi" Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2006).
175. Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, "Tarım ürünlerinin kurutulmasında ve depolanmasında göz önüne alınacak fizyolojik etkenler", *Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar* 2, 10-15, (1993).
176. İnternet: "Yaşam ve mantar", <http://wb332306.bahnhofbroadband.se/>, (2010).
177. İnternet: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) <http://faostat.fao.org>, (2010).
178. Chang, S. T., "World production of cultivated edible and medicinal mushrooms in 1997 with emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. in China", *International J. Med. Mush.*, 1: 291-300, (1999).

179. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), <http://www.tuik.gov.tr>, (2010).
180. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “Bitkisel üretim özel ihtisas komisyonu sebzeçilik alt komisyon raporu”, **DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı**, 2647-ÖİK: 655, Ankara, (2001).
181. Hekimoğlu, B. ve Altındeğer, M., “Samsun ilinde sebze üretim sektörü”, **Samsun Tarım İl Müdürlüğü Yayınlar Strateji Geliştirme Birimi**, Samsun, (2009).
182. Ege Yaş Meyve Sebze İhracatçıları Birliği, “2009-2010 dönemi çalışma raporu”, **EYMSİB**, İzmir, sy 13, 15 Nisan (2010).
183. Çiftçi ve Köy Dünyası Dergisi, cilt 18, sayı 217, Ocak (2003).
184. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), TS 2410 Türk Standardı (Revize), “Kültür mantarları-taze”, Kasım (2005).
185. Boztok, K. ve Erkip, N., “Meşe mantarının (*Lentinula edodes*) ağaç kütükleri üzerinde yetiştiriciliği”, **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 39(1), s: 149-155, ISSN 1018-8851, (2002).
186. Bala, B. K., Morshed, M. A. and Rahman, M. F., “Solar drying of mushroom using solar tunnel dryer”, **International Solar Food Processing Conference**, (2009).
187. Midilli, A., Olgun, H. and Ayhan, T., “Experimental studies of mushroom and polen drying”, **International Journal of Energy Research**, 23: 1143-1152, (1999).
188. Kulshreshtha, M., Singh, A., Deepti and Vipul, “Effect of drying conditions on mushroom quality”, **Journal of Engineering Science and Technology**, Vol. 4, No. 1, 90-98, School of Engineering, Taylor’s University College, (2009).
189. Lidhoo, C. K. and Agrawal, Y. C., “Optimizing temperature in mushroom drying”, **Journal Food Processing & Preservation**, 32:6: 881-897(17), December (2008).
190. Helvacı, Ş. Ş., Yapar, S. ve Peker, S., “Mantar kurutulması için bazı pratik öneriler”, **Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Güncel Konular Serisi**, No:1, Kurutma Temel İlkeleri ve Endüstriyel Uygulamaları, (eds. S. Peker, S. Yapar), 47-52, İzmir, (1999).
191. Nehru, C., Kumar, V., Maheswari, C. and Gothandapani, L. “Solar drying characteristics of oyster mushroom”, **Mushroom Research**, (4.1), 27-30, India, (1995).

192. Jambrak, A. R., Mason T. J., Paniwnyk, L. and Lelas, V., "Accelerated drying of button mushrooms, brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties", **Journal of Food Engineering**, 81:88-97, (2007).
193. Xanthopoulos, G., Lambrinos, G. and Manolopoulou, H., "Evaluation of thin-layer models for mushroom (*Agaricus bisporus*) drying", **Drying Technology**, 25:9, 1471-1481, (2007).
194. Gothandapani, L., Parvathi, K. and Kennedy, Z. J., "Evaluation of different methods of drying on the quality of oyster mushroom (*Pleurotus* sp)", **Drying Technology**, 15(6-8), p 1995-2004, (1997).
195. Pal, U. S. and Chakraverty, A., "Thin-layer convection-drying of mushrooms", **Energy Conversion and Management**, 38 (2):107-113, (1997).
196. Toğrul, H., Toğrul, İ. ve İspir, A., "Mantarların ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi", **III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı**, Antalya, (2005).
197. Kılıç, A. ve Öztürk, A., "Güneş enerjisi", **Kıpaş Dağıtımculuk**, s. 328, (1983).
198. Shariah, A. M., Al-Akhras, M. A. and Al-Omari, I. A., "Optimizing the tilt angle of solar collectors", **Renewable Energy**, 26:587-598, (2002).
199. Shariah, A. M. and Lo, F., "The optimization of tank volume to collector area ratio for thermosyphon solar water heater", **Renewable Energy**, 7:289-300, (1996).
200. Malik, M. A. S., Tiwari, G. N., Kumar, A. and Sodha, M. S., "Solar distillation", **Oxford, Pergamon Press**, 1-50, (1982).
201. Dilip, J. and Tiwari, G. N., "Effect of greenhouse on crop drying under natural and forced convection I: Evaluation of convective mass transfer coefficient", **Energy Conversion and Management**, 45: 765-783, (2004).
202. Kumar, A. and Tiwari, G. N., "Effect of shape and size on convective mass transfer coefficient during greenhouse drying (GHD) of jaggery", **Journal of Food Engineering**, 73: 121-134, (2006).
203. TS 825, "Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı", **Bayındırlık ve İskân Bakanlığı**, (2008).

EKLER

EK-1 Sıcaklığa göre düzenlenmiş doymuş su ve su buharı tablosu

Sıcaklık T (°C)	Entalpi		Entropi	
	Doymuş sıvı hs (kJ/kg)	Doymuş buhar hb (kJ/kg)	Doymuş sıvı ss (kJ/kgK)	Doymuş buhar sb (kJ/kgK)
0	-0,040	2501,600	0,000	9,158
2	8,390	2505,200	0,031	9,105
5	21,005	2510,750	0,076	9,027
10	41,990	2519,900	0,151	8,902
15	62,940	2529,050	0,224	8,783
20	83,860	2538,200	0,296	8,668
25	104,770	2547,300	0,367	8,559
30	125,660	2556,400	0,436	8,455
35	146,560	2565,400	0,505	8,354
40	167,450	2574,400	0,572	8,258
45	188,350	2583,500	0,638	8,166
50	209,260	2592,200	0,704	8,078
55	230,165	2600,950	0,768	7,993
60	251,090	2609,700	0,831	7,911
65	272,025	2618,350	0,893	7,832
70	292,970	2626,900	0,955	7,757
75	313,935	2635,400	1,015	7,684
80	334,920	2643,800	1,075	7,613
85	355,915	2652,000	1,134	7,545
90	376,940	2660,100	1,193	7,479
95	397,990	2668,150	1,250	7,417
100	419,060	2676,000	1,307	7,355

EK-2 Sıcaklığa göre düzenlenmiş % 40 glikollü su ve su buharı tablosu

Sıcaklık	Entalpi		Entropi	
T (°C)	Doymuş sıvı hs kJ/kg)	Doymuş buhar hb (kJ/kg)	Doymuş sıvı ss kJ/kgK)	Doymuş buhar sb kJ/kgK)
0	-0,032	2032,087	0,000	7,439
5	17,151	2049,716	0,062	7,369
10	34,450	2067,416	0,124	7,304
15	51,882	2084,589	0,185	7,239
20	69,463	2102,436	0,245	7,180
25	87,211	2120,318	0,305	7,125
30	105,107	2138,271	0,364	7,072
35	123,168	2155,910	0,424	7,021
40	141,381	2173,618	0,483	6,973
45	159,795	2191,793	0,542	6,928
50	178,382	2209,698	0,600	6,886
55	197,112	2227,408	0,657	6,845
60	216,018	2245,185	0,715	6,806
65	235,137	2263,259	0,772	6,770
70	254,428	2281,315	0,829	6,736
75	273,913	2299,398	0,886	6,704
80	293,499	2316,830	0,942	6,672
85	313,346	2334,785	0,999	6,643
90	333,383	2352,716	1,055	6,615
95	353,620	2370,670	1,111	6,590
100	373,939	2387,870	1,166	6,563

EK-3 Suyun ısı özellikleri

Sıcaklık - t - (°C)	Mutlak basınç - p - (kN/m ²)	Yoğunluk - ρ - (kg/m ³)	Özgül hacim - v - 10 ⁻³ (m ³ /kg)	Özgül ısı - c _p - (kJ/kgK)	Özgül entropi - e - (kJ/kgK)
0 (Buz)		916.8			
0.01	0.6	999.8	1.00	4.210	0
4 (max. yoğunluk)	0.9	1000.0			
5	0.9	1000.0	1.00	4.204	0.075
10	1.2	999.8	1.00	4.193	0.150
15	1.7	999.2	1.00	4.186	0.223
20	2.3	998.3	1.00	4.183	0.296
25	3.2	997.1	1.00	4.181	0.367
30	4.3	995.7	1.00	4.179	0.438
35	5.6	994.1	1.01	4.178	0.505
40	7.7	992.3	1.01	4.179	0.581
45	9.6	990.2	1.01	4.181	0.637
50	12.5	988	1.01	4.182	0.707
55	15.7	986	1.01	4.183	0.767
60	20.0	983	1.02	4.185	0.832
65	25.0	980	1.02	4.188	0.893
70	31.3	978	1.02	4.191	0.966
75	38.6	975	1.03	4.194	1.016
80	47.5	972	1.03	4.198	1.076
90	70.0	965	1.04	4.208	1.192
100	101.33	958	1.04	4.219	1.307

Max. yoğunluk 4 °C'de - 1,000 kg/m³, 1.940 slugs/ft³

Özgül ağırlık 4 °C'de - 9.807 kN/m³, 62.43 Lbs./Cu.Ft, 8.33 Lbs./Gal., 0.1337 Cu.Ft./Gal.

Donma sıcaklığı - 0 °C

Kaynama sıcaklığı - 100 °C

Erime gizli ısı - 334 kJ/kg

Buharlaşma gizli ısı - 2,270 kJ/kg

Kritik sıcaklık - 380 °C - 386 °C

Kritik basınç - 221.2 bar, 22.1 MPa (MN/m²)

Özgül ısı kapasitesi (su) - 4.187 kJ/kgK

Özgül ısı kapasitesi (buz) - 2.108 kJ/kgK

Özgül ısı kapasitesi (su buharı) - 1.996 kJ/kgK

Isıl genleşme (4 °C'den 100 °C'ye) - 4.2x10⁻²

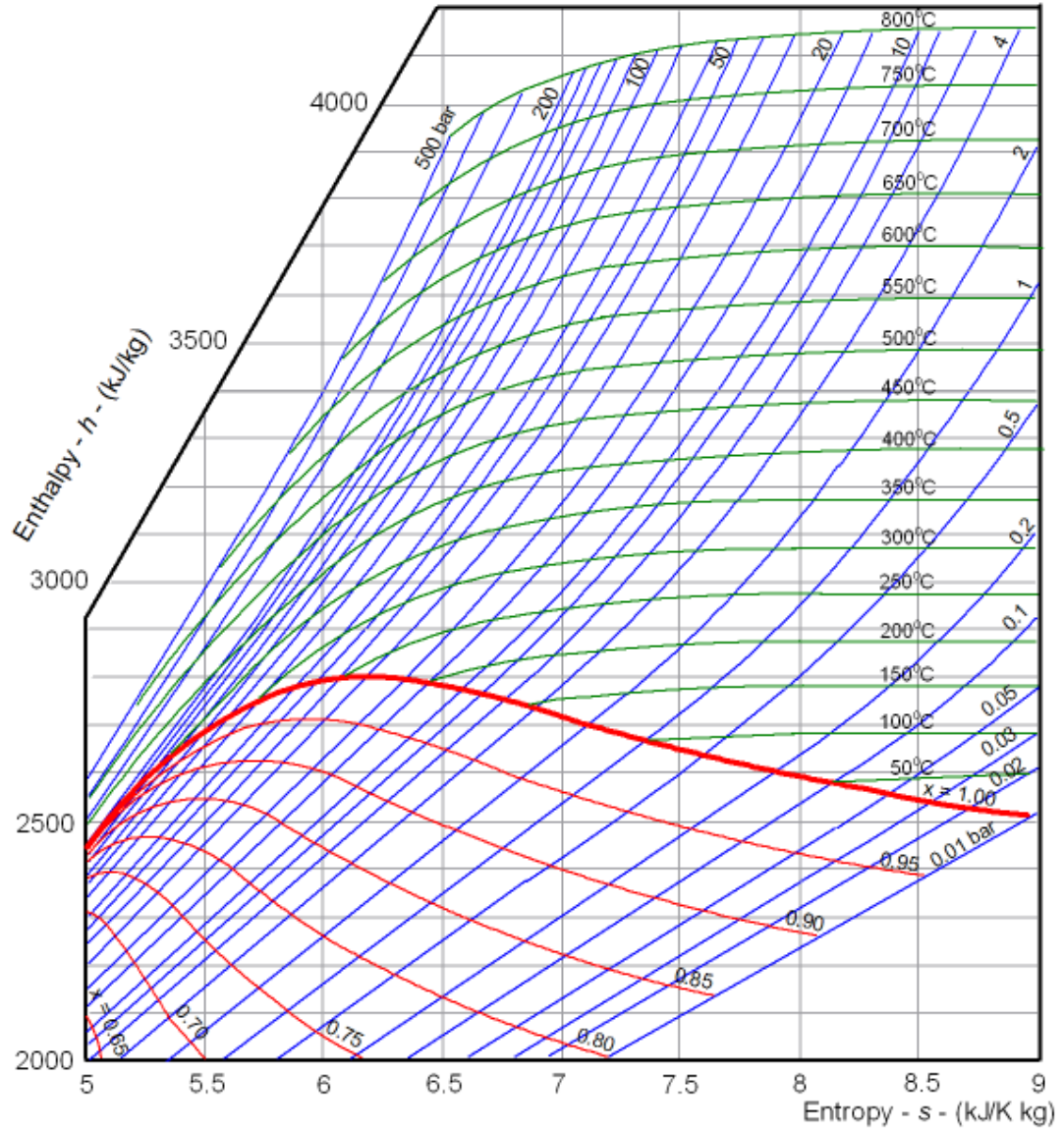
1 kg/m³ = 0.001 g/cm³ = 0.0005780 oz/in³ = 0.16036 oz/gal (UK) = 0.1335 oz/gal (U.S.) = 0.0624 lb/ft³ = 0.000036127 lb/in³ = 1.6856 lb/yd³ = 0.010022 lb/gal (UK) = 0.008345 lb/gal (U.S.) = 0.0007525 ton/yd³

1 N/m² = 1 Pa = 1.4504x10⁻⁴ lb/in² = 1x10⁻⁵ bar = 4.03x10⁻³ suda = 0.336x10⁻³ ft su = 0.1024 mm su = 0.295x10⁻³ civada = 7.55x10⁻³ mm civa = 0.1024 kg/m² = 0.993x10⁻⁵ atm

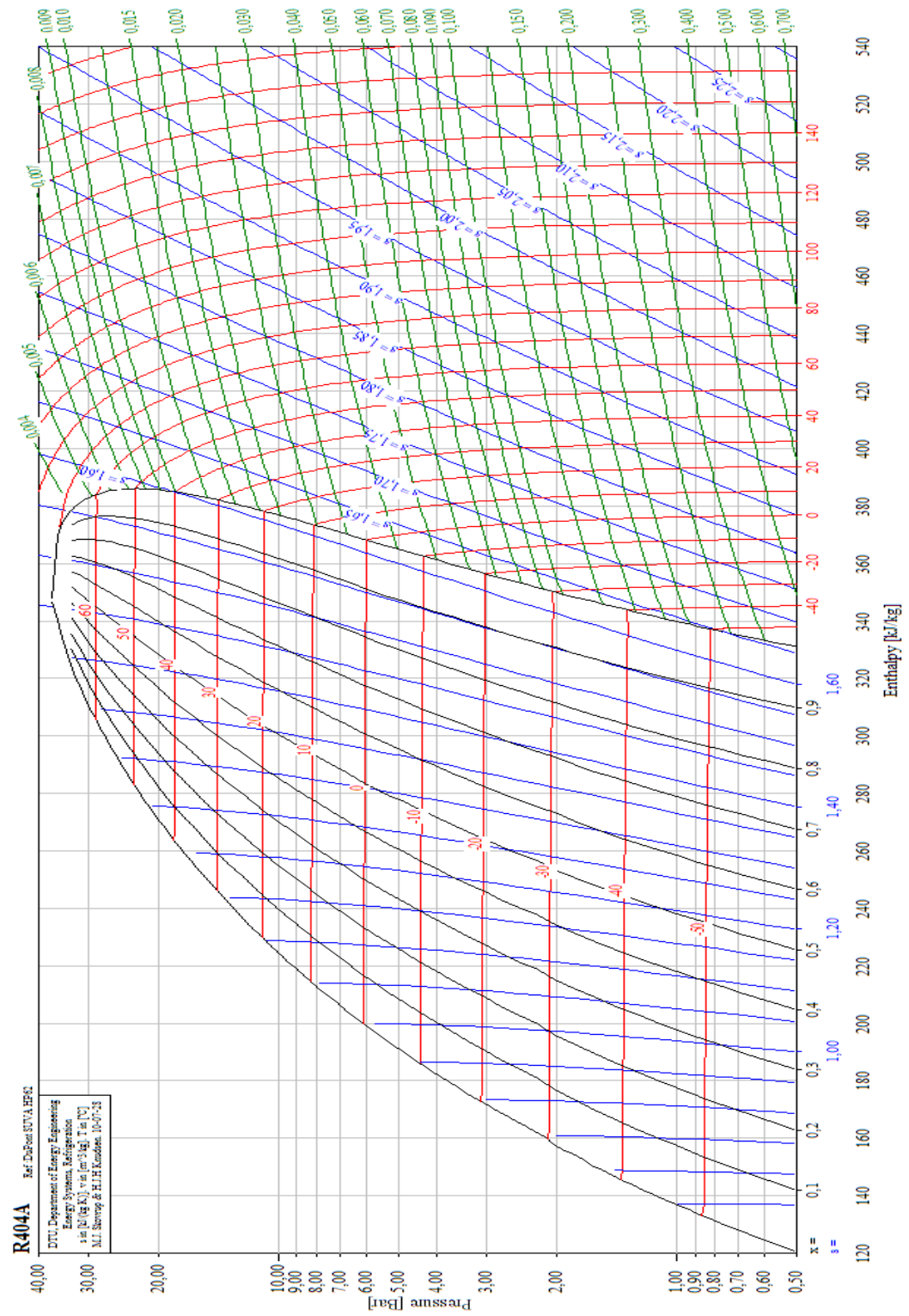
1 m³/kg = 16.02 ft³/lb_m = 27680 in³/lb_m = 119.8 US gal/lb_m = 1000 lt/kg

1 kJ/(kg K) = 0.2389 kcal/(kg °C) = 0.2389 Btu/(lb_m °F)

EK-4 Su-buhar için Mollier diyagramı (h-s diyagramı)



EK-5 R404A Ph diyagramı



EK-6 R404A için kılcal boru seçimi

Soğutma Kapasitesi		Kılcal Boru	
ASHRAE Şartları (kcal/h)	CECOMAF Şartları (W)	İç Çap (mm)	Uzunluk (m)
3086	3024	2,0	1,5
2637	2584	2,0	2,0
2390	2342	1,8	1,5
2021	1981	1,8	2,0
1877	1839	1,8	2,5
1697	1663	1,8	3,0
1526	1495	1,5	1,5
1312	1286	1,5	2,0
1160	1137	1,5	2,5
1070	1049	1,5	3,0
982	962	1,5	3,5
863	846	1,2	1,5
736	721	1,2	2,0
650	637	1,2	2,5
595	583	1,2	3,0
536	525	1,0	1,5
456	447	1,0	2,0
403	395	1,0	2,5
364	357	1,0	3,0
335	328	1,0	3,5
295	289	0,8	1,5
261	256	0,8	2,0
230	225	0,8	2,5
216	212	0,7	1,5
184	180	0,7	2,0
164	161	0,7	2,5
148	145	0,7	3,0
144	141	0,6	1,5
123	121	0,6	2,0
109	107	0,6	2,5
99	97	0,6	3,0
89	87	0,5	1,5
75	74	0,5	2,0
67	66	0,5	2,5

EK-7 Soğutucu olarak kullanılan maddelerin fiziksel ve termodinamik özellikleri

Soğutucu Madde	Mol ağırlığı (Kg/Kmol)	Buharlaştırma sıcaklığı (°C)	Kritik sıcaklık (°C)	Kritik basınç (bar)	Ozon Delme Potansiyeli
R 11	137.37	23.8	198	44.1	1
R 12	120.91	-29.8	111.8	41.1	1
R 13	104.46	-81.4	28.8	38.7	-
R 22	86.47	-40.8	96.2	49.9	0.055
R 23	70.01	-82.1	24.3	4.87	0
R 32	52.02	-51.7	78.2	5.8	0
R113	187.38	47.6	214.1	3.44	0.8
R114	170.92	3.8	145.7	32.5	0.8
R115	154.47	-39.1	79.9	3.15	0.6
R123	152.93	27.9	183.8	36.7	0.02
R125	120.02	-48.1	66.3	3.63	0
R134a	102.03	-26.1	101.1	40.6	0
R141b	116.95	32.0	204.7	-	0.11
R143a	100.04	-24.1	104.9	3.59	0
R152a	66.05	-24	113.3	4.52	0
R290 Propan	44.10	-42.1	96.8	42.6	0
R401A	94.44	-33.1	108	9.6	0.037
R402A	101.55	-49.2	75.5	4.13	0.021
R404A	97.60	-46.5	72.1	3.73	0
R407A	90.010	-45.5	82.6	4.54	0
R407B	102.94	-47.3	76.0		0
R410A	72.56	-50.5	72.5	4.96	0
R500	99.33	-33.8	105.5	44.3	0.7
R502	111.65	-46.6	82.2	40.8	0.3
R507	98.90	-46.7	70.9	3.79	0
R600 Bütan	58.13	-0.4	152	3.8	0
R600a İzobütan	58.13	-11.7	135	3.65	0
R717 Amonyak	17.03	-33.3	132.3	113.3	0
R718 Su	18.02	100	374.2	22.1	0
R744 CO2	44.01	-78.4 subl.*	31.1	73.7	0
R764 Sülfürdioksit	64.07	-10.0	157.5	7.88	0

EK-8 Düşük basınçtaki hava özellikleri

Sıcaklık - T - (K)	Entalpi - h - (kJ/kg)	Nispi Basınç - p_r -	İç Enerji - u - (kJ/kg)	Özgül Hacim - v_r -
200	200	0.336	143	1707
250	250	0.733	178	979
300	300	1.39	214	621
350	350	2.38	250	422
400	401	3.81	286	302
450	452	5.76	323	224
500	503	8.41	359	171
550	555	11.9	397	133
600	607	16.3	435	106
650	660	21.9	473	85
700	713	28.8	512	70
750	767	37.4	552	58
800	822	47.8	592	48
900	933	75.3	675	34.3
1000	1046	114	759	25.2
1100	1161	167	845	18.9
1200	1278	238	933	14.5
1300	1396	331	1023	11.3
1400	1515	451	1114	8.9
1500	1636	602	1205	7.2
1600	1758	791	1298	5.8
1700	1880	1025	1392	4.8
1800	2003	1310	1487	3.9
1900	2127	1655	1583	3.3
2000	2252	2068	1679	2.8
2100	2377	2559	1775	2.4
2200	2503	3138	1872	2.0

EK-9 Kuru hava özellikleri

Sıcaklık (K)	Özgül ısı kapasitesi		Özgül ısılar oranı - k - (c_p/c_v)	Dinamik vizkosite - μ - 10^{-5} (kg/m s)	Isıl iletkenlik 10^{-5} (kW/m K)	Prandtl Numarası	Kinematik vizkosite (1 atm) - ν - 10^{-5} (m ² /s)	Yoğunluk (1 atm) - ρ - (kg/m ³)
	- c_p - (kJ/kgK)	- c_v - (kJ/kgK)						
175	1.0023	0.7152	1.401	1.182	1.593	0.744	0.586	2.017
200	1.0025	0.7154	1.401	1.329	1.809	0.736	0.753	1.765
225	1.0027	0.7156	1.401	1.467	2.020	0.728	0.935	1.569
250	1.0031	0.7160	1.401	1.599	2.227	0.720	1.132	1.412
275	1.0038	0.7167	1.401	1.725	2.428	0.713	1.343	1.284
300	1.0049	0.7178	1.400	1.846	2.624	0.707	1.568	1.177
325	1.0063	0.7192	1.400	1.962	2.816	0.701	1.807	1.086
350	1.0082	0.7211	1.398	2.075	3.003	0.697	2.056	1.009
375	1.0106	0.7235	1.397	2.181	3.186	0.692	2.317	0.9413
400	1.0135	0.7264	1.395	2.286	3.365	0.688	2.591	0.8824
450	1.0206	0.7335	1.391	2.485	3.710	0.684	3.168	0.7844
500	1.0295	0.7424	1.387	2.670	4.041	0.680	3.782	0.7060
550	1.0398	0.7527	1.381	2.849	4.357	0.680	4.439	0.6418
600	1.0511	0.7640	1.376	3.017	4.661	0.680	5.128	0.5883
650	1.0629	0.7758	1.370	3.178	4.954	0.682	5.853	0.5430
700	1.0750	0.7879	1.364	3.332	5.236	0.684	6.607	0.5043
750	1.0870	0.7999	1.359	3.482	5.509	0.687	7.399	0.4706
800	1.0987	0.8116	1.354	3.624	5.774	0.690	8.214	0.4412
850	1.1101	0.8230	1.349	3.763	6.030	0.693	9.061	0.4153
900	1.1209	0.8338	1.344	3.897	6.276	0.696	9.936	0.3922
950	1.1313	0.8442	1.340	4.026	6.520	0.699	10.83	0.3716
1000	1.1411	0.8540	1.336	4.153	6.754	0.702	11.76	0.3530
1050	1.1502	0.8631	1.333	4.276	6.985	0.704	12.72	0.3362
1100	1.1589	0.8718	1.329	4.396	7.209	0.707	13.70	0.3209
1150	1.1670	0.8799	1.326	4.511	7.427	0.709	14.70	0.3069
1200	1.1746	0.8875	1.323	4.626	7.640	0.711	15.73	0.2941
1250	1.1817	0.8946	1.321	4.736	7.849	0.713	16.77	0.2824
1300	1.1884	0.9013	1.319	4.846	8.054	0.715	17.85	0.2715
1350	1.1946	0.9075	1.316	4.952	8.253	0.717	18.94	0.2615
1400	1.2005	0.9134	1.314	5.057	8.450	0.719	20.06	0.2521
1500	1.2112	0.9241	1.311	5.264	8.831	0.722	22.36	0.2353
1600	1.2207	0.9336	1.308	5.457	9.199	0.724	24.74	0.2206
1700	1.2293	0.9422	1.305	5.646	9.554	0.726	27.20	0.2076
1800	1.2370	0.9499	1.302	5.829	9.899	0.728	29.72	0.1961
1900	1.2440	0.9569	1.300	6.008	10.233	0.730	32.34	0.1858

EK-10 Sıcaklık ve doyma yüzdesine bağlı olarak 1m^3 havada gram olarak bulunan nem miktarı (g nem/m^3 hava)

Hava Sıcaklığı (°C)	Doyma Yüzdesi														
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
	1m^3 havada gram olarak bulunan nem miktarı (gr nem/m^3 hava)														
-7	0,864	1,01	1,161	1,334	1,445	1,574	1,715	1,877	2,047	2,184	2,322	2,457	2,592	2,714	2,835
-1	1,35	1,58	1,809	2,025	2,268	2,484	2,7	2,943	3,159	3,389	3,618	3,821	4,023	4,239	4,455
4	1,998	2,268	2,592	2,916	3,24	3,537	3,915	4,131	4,536	4,941	5,346	5,643	5,94	6,251	6,561
10	2,835	3,348	3,78	4,266	4,752	5,211	5,724	6,21	6,642	7,142	7,641	8,087	8,532	8,978	9,423
13	3,402	3,969	4,536	5,13	5,67	6,21	6,831	7,398	7,938	8,519	9,099	9,626	10,15	10,69	11,23
16	4,023	4,698	5,346	6,048	6,75	7,344	8,073	8,748	9,396	10,1	10,8	11,42	12,04	12,68	13,31
18	4,725	5,508	6,264	7,101	7,884	8,64	9,45	10,26	10,96	11,87	12,77	13,5	14,23	14,97	15,71
20	5,292	6,156	7,02	7,668	8,802	9,612	8,613	11,45	12,29	13,2	14,12	14,94	15,77	16,05	16,34
21,1	5,535	6,48	7,398	8,37	9,288	10,13	11,12	12,04	12,96	13,99	15,01	15,88	16,74	17,08	17,42
21,7	5,805	6,75	7,695	8,667	9,585	10,53	11,58	12,56	13,5	14,5	15,5	16,39	17,28	18,18	19,09
22,2	5,94	6,966	7,938	8,964	9,936	10,88	11,99	12,96	13,91	14,93	15,96	16,89	17,82	18,75	19,68
22,8	6,156	7,182	8,181	9,261	10,26	11,23	12,34	13,37	14,34	15,43	16,52	17,48	18,44	19,4	20,36
23,3	6,399	7,425	8,451	9,558	10,61	11,64	12,8	13,88	14,88	15,97	17,06	18,05	19,04	20,02	21,01
23,9	6,534	7,668	8,721	9,855	10,96	12,02	13,12	14,26	15,26	16,47	17,69	18,66	19,63	20,66	21,68
25	6,966	8,154	9,234	10,31	11,69	12,77	13,85	15,2	16,31	17,52	18,74	19,83	20,93	22,01	23,09
26,7	7,668	8,91	10,13	11,34	12,83	14,01	15,2	16,69	17,87	19,22	20,57	21,76	22,95	24,14	25,33
29,4	8,964	10,48	11,85	13,26	15,01	16,39	17,79	19,52	20,93	22,5	24,08	25,47	26,87	28,26	29,65
32,2	10,1	11,8	13,37	14,93	16,88	18,47	20,06	22,01	23,57	25,33	27,08	28,66	30,24	31,82	33,4
35	12,15	14,18	16,2	18,23	20,25	22,28	24,3	26,33	28,35	30,38	32,4	34,43	36,45	38,48	40,5
37,8	13,88	16,17	18,5	20,79	23,11	25,43	27,73	30,05	32,4	34,68	36,96	39,29	41,61	43,92	46,22
40,6	16,01	18,68	21,33	24	26,68	29,35	32,02	34,7	37,34	40,03	42,71	45,37	48,03	50,71	53,38
43,3	17,98	21,6	24,68	27,76	30,86	33,94	37,02	40,1	43,2	46,28	49,36	52,45	55,54	58,62	61,7
48,9	24,17	28,19	32,21	36,23	40,26	44,28	48,33	52,35	56,38	60,4	64,42	68,46	72,5	76,52	80,54
54,4	30,94	36,1	41,26	45,41	51,57	56,73	61,88	67,04	72,2	77,36	82,51	87,67	92,83	97,98	103,1
60	39,61	46,22	52,81	59,43	66,02	72,6	79,22	85,81	92,5	99,06	105,6	112,2	118,8	125,4	132
65,6	50,22	58,59	66,96	75,33	83,7	92,07	100,4	108,8	117,2	125,6	133,9	142,3	150,7	159	167,4
71,1	63,02	73,52	84,02	94,53	105	115,5	126	136,5	147	157,5	168	178,6	189,1	199,6	210,1
76,7	78,49	91,58	104,7	117,7	130,8	143,9	157	170,1	183,1	196,2	209,3	222,4	235,4	248,5	261,6
87,8	118,3	138	157,7	177,4	197,1	216,8	236,5	256,2	275,9	295,7	315,4	335,1	354,8	374,5	394,2
93,3	144,5	168,5	192,6	216,6	240,7	264,8	288,9	312,9	337	361	385	409,2	433,4	457,4	481,4

EK-11 Havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak yoğuşma noktası sıcaklığı

Hava sıcaklığı (T) °C	Bağıl nem için °C'de yoğuşma noktası sıcaklığı T _s ¹⁾													
	%30	%35	%40	%45	%50	%55	%60	%65	%70	%75	%80	%85	%90	%95
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

¹⁾ Yaklaşık değer alınırken doğrusal enterpolasyon yapılmalıdır.

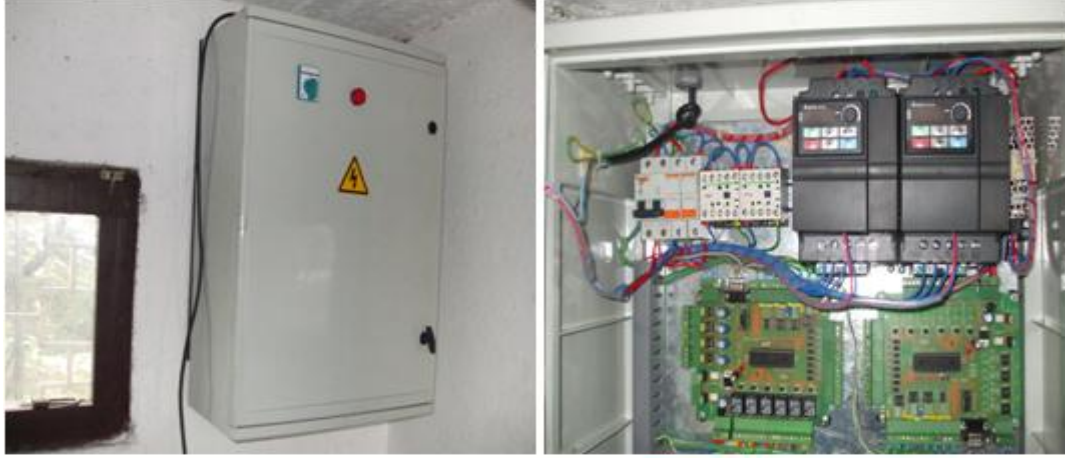
EK-12 Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminden görüntüler



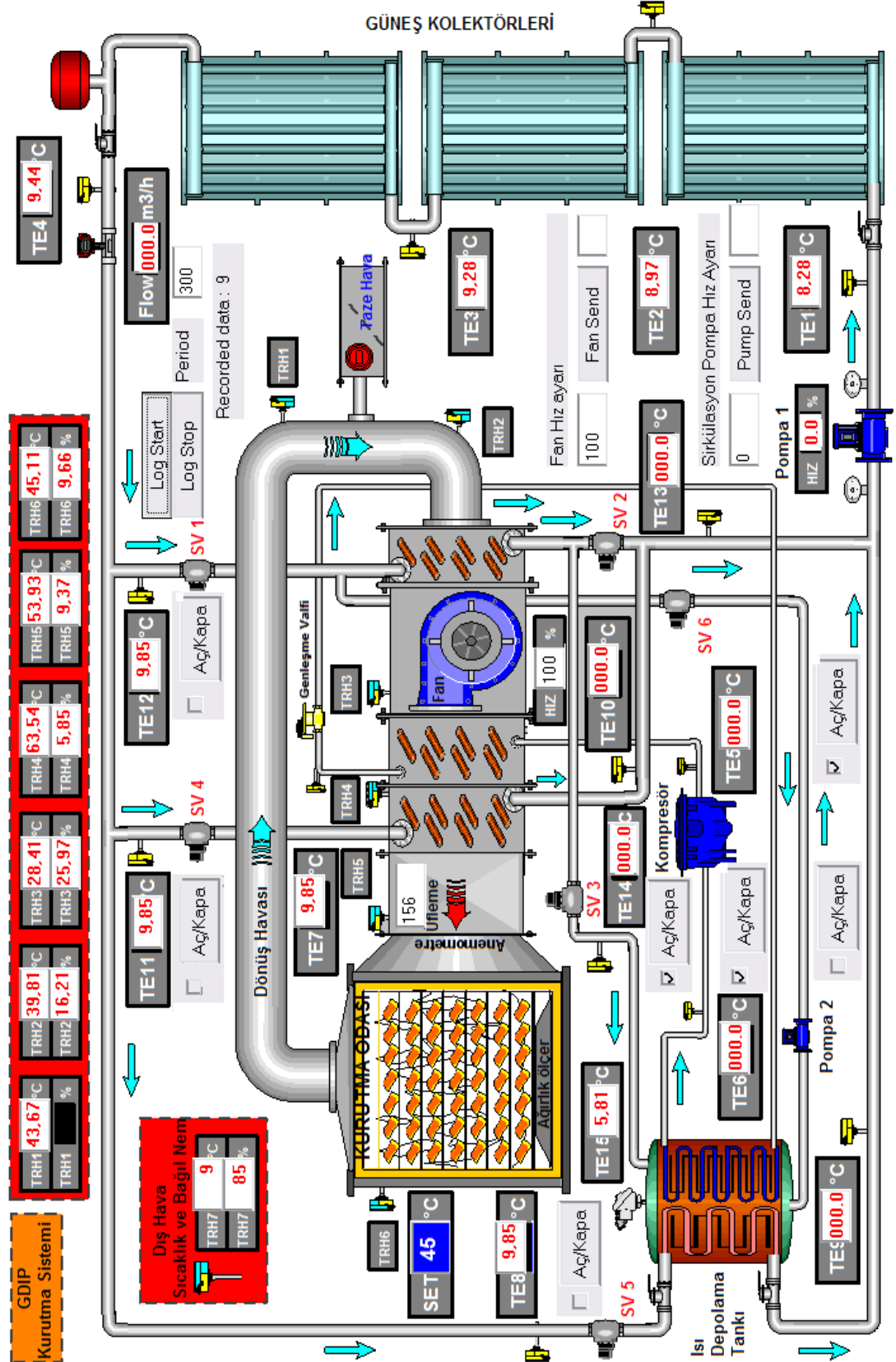
EK-12 (Devam) Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminden görüntüler



EK-12 (Devam) Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminden görüntüler



EK-13 Güneş destekli ısı pompalı sıcak hava üretim sisteminin HMI görüntüsü



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞEVİK, Seyfi
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.07.1978, Çanakkale
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 312 251 06 78
 Faks : 0 312 354 90 77
 e-mail : seyfisvk@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü	2003
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü	2000
Lise	Çan Endüstri Meslek Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000	İntem Doğalgaz Taahhüt Ltd. Şti.	Teknik Eleman
2001	Yortan Pazarı İlköğretim Okulu	Vekil Öğretmen
2002-2003	Zonguldak Karaelmas Ünv. Tek. Eğt. Fak. Makine Eğitimi Bölümü	Öğretim Görevlisi (Part-time)
2002-2003	Zonguldak Karaelmas Ünv. Karabük MYO İklimlendirme & Soğutma Bölümü	Öğretim Görevlisi (Part-time)
2003-2004	Hilal Doğalgaz Vaillant Bayi	Teknik Eleman
2004-	AYEN Ostim Enerji Üretim A.Ş.	İşletme Operatörü
2005-2006	Zirve Mühendislik Ltd. Şti.	İşletme Sahibi
2006	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Makine Eğitimi Bölümü	Öğretim Görevlisi (Part-time)

Yayınları

Ulusal Hakemli Dergilerdeki Yayınlar

- 1) Şevik, S., “Gaz türbini giriş havası soğutması”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Dergisi*, 46:31-36, Ankara, (2006).
- 2) Şevik, S., “Ters ozmoz (Reverse Osmosis) teknolojisinin enerji santrali su şartlandırılmasında kullanımı”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Dergisi*, 47:24-32, Ankara, (2007).
- 3) Şevik, S., “Enerji verimliliği ve Türkiye’de enerji verimliliği”, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Dergisi*, 51:26-33, Ankara, (2007).
- 4) Şevik, S., “Küresel ekonomik kriz ve Türk enerji sektörüne yansımaları”, *Enerji ve Çevre Dergisi*, 68:40-48, (2009).

Ulusal ve Uluslararası Bildiriler

- 1) Şevik, S., “Antalya ilinin yaz aylarında artan enerji yüküne klimaların etkisi”, *İklim 2007 II. Ulusal İklimlendirme Kongresi*, Bildiriler kitabı, 83-96, Antalya, (2007).
- 2) Şevik, S., “Şebeke suyu basıncının su tüketimi üzerindeki etkileri”, *8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, Bildiriler kitabı, 566-575, İstanbul, Türkiye, (2008).
- 3) Şevik, S., “Kombine çevrim güç santralleri buhar kazanı dahili su şartlandırması”, *ICCI 2008, 14. Uluslararası Enerji ve Çevre Teknolojileri Sistemleri Fuar ve Konferansı*, poster bildirisi, Bildiriler kitabı, 367-372, İstanbul, Türkiye, (2008).
- 4) Şevik, S., “Küresel ekonomik kriz ve Türk enerji sektörüne yansımaları (6 Ay)”, *ICCI 2009, 15. Uluslararası Enerji ve Çevre Teknolojileri Sistemleri Fuar ve Konferansı*, Bildiriler kitabı, 214-218, İstanbul, Türkiye, Mayıs (2009).
- 5) Şevik, S., “Küresel ekonomik kriz ve Türk enerji sektörüne etkileri (9 Ay)”, *Türkiye 11. Enerji Kongresi Fuar ve Konferansı*, İzmir, Ekim (2009).

Diğer

Katkı, Süleyman Demirel Üniversitesi VI. Öğrenci Sempozyumu (2006)

İZODER Jüri Özel Ödülü, “Yalıtım ve Ekonomi” konulu makale yarışması, (2009)

Hobiler

Paraşüt, Masa tenisi, Seyahat etmek, Doğa yürüyüşü