

**GÜNEŞ ENERJİLİ,  
ISI BORULU, NEM KONTROLLÜ  
KURUTUCUDA AROMATİK ÜRÜNLERİN  
(NANE, MAYDANOZ, BİBERİYE) KURUTULMASI**

**2010  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Ali Etem GÜREL**

**GÜNEŞ ENERJİLİ, ISI BORULU, NEM KONTROLLÜ KURUTUCUDA  
AROMATİK ÜRÜNLERİN (NANE, MAYDANOZ, BİBERİYE)  
KURUTULMASI**

**Ali Etem GÜREL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2010**

Ali Etem GÜREL tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ, ISI BORULU, NEM KONTROLLÜ KURUTUCUDA AROMATİK ÜRÜNLERİN (NANE, MAYDANOZ, BİBERİYE) KURUTULMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/06/ 2010

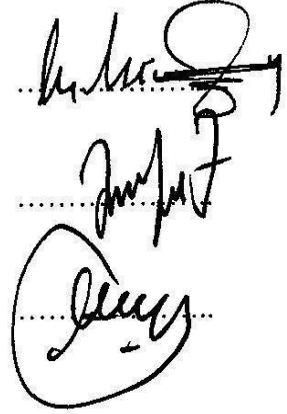
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)



...../...../2010

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Ali Etem GÜREL

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GÜNEŞ ENERJİLİ, ISI BORULU, NEM KONTROLLÜ KURUTUCUDA AROMATİK ÜRÜNLERİN (NANE, MAYDANOZ, BİBERİYE) KURUTULMASI**

**Ali Etem GÜREL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ**

**Haziran 2010, 57 sayfa**

Bu çalışmada, güneş enerjili ve nem kontrollü bir kurutucunun tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan kurutucuda; Nane, Maydanoz ve Biberiye kurutulması deneysel olarak analiz edilmiştir. Kurutucuda, bağıl nem değeri yükselen ve kurutma özelliği azalan fırın havası bir kanal damperi ile tahliye edilerek nem kontrolü sağlanmıştır. Nane, Maydanoz ve Biberiye sırası ile 5,66 g su/g kuru madde, 7,33 g su/g kuru madde ve 2,7 g su/g kuru madde nem miktarlarından; 0,28 g su/g kuru madde, 0,28 g su/g kuru madde ve 0,18 g su/g kuru madde nem miktarlarına kadar 8 saatte kurutulmuşlardır. Kurutma sonrası yapılan analizler, kurutucuda yapılan ağırlık ölçümlü ve nem kontrollü kurutmanın ürün kalitesini arttırdığını göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş enerjisi, kurutma, nem kontrolü.

**Bilim Kodu** : 626.11.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DRYING OF AROMATIC PRODUCTS (MINT, PARSLEY, ROSEMARY) WITH HUMIDITY CONTROL IN HEAT PIPE SOLAR DRYER**

**Ali Etem GÜREL**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assit Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**June 2010, 57 pages**

In this study, solar dryer and humidity controlled has been designed and manufactured. Designed and manufactured dryer experimentally analyzed by Mint, Parsley and Rosemary. In dryer, increasing the relative humidity of drying air can be evacuated, which can operate automatically, humidity control provided with a channel grill. Mint, Parsley and Rosemary were dried from the moisture contents of 5,66 g water/g dry matter, 7,33 g water/g dry matter and 2,7 g water/g dry matter to 0,28 g water/g dry matter, 0,28 g water/g dry matter and 0,18 g water/g dry matter respectively in humidity controlled solar dryer in a period of 8 hours. The analysis of after drying showed increases product quality by weight measurement and humidity controlling in solar dryer.

**Key Words** : Solar energy, drying, humidity control.

**Science Code** : 626.11.01

## TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yrtlmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrbelerinden yararlandığım, ynlendirme ve bilgilendirmeleriyle alışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Sezayi YILMAZ'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Deneysel alışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. İlhan CEYLAN ile Yrd. Doç. Dr. Emrah DENİZ'e, ayrıca maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için babam Ahmet GÜREL'e ve annem Ayten GÜREL'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. KURUTMANIN ÖNEMİ .....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI .....	3
1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 2 .....	8
KURUTMA SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI .....	8
2.1. DOĞAL KURUTMA .....	8
2.2. TEKNİK KURUTMA .....	9
2.3. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR .....	9
2.3.1. Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular .....	11
2.3.1.1. Doğrudan güneş enerjili kurutucular .....	11
2.3.1.2. Dolaylı güneş enerjili kurutucular .....	12
2.3.1.3. Birleşik tip güneş enerjili kurutucular .....	13
2.3.2. Kurutucudan geçen kurutma havasının akış biçimine göre güneş enerjili kurutucular .....	13
2.3.2.1. Pasif kurutucular (Basit Kurutucular) .....	14



	<u>Sayfa</u>
2.3.2.2. Aktif kurutucular (Zorlanmış Taşınım) .....	16
2.3.3. Kurutma hacminde dolaşan havanın sıcaklığına göre güneş enerjili kurutucular.....	20
<b>BÖLÜM 3</b> .....	<b>21</b>
<b>NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>21</b>
3.1. NANE’NİN ÖZELLİKLERİ .....	21
3.2. MAYDANOZ’UN ÖZELLİKLERİ.....	22
3.3. BİBERİYE’NİN ÖZELLİKLERİ .....	22
3.4. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN KURUTULMASI.....	23
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>25</b>
<b>DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI</b> .....	<b>25</b>
4.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI.....	25
4.2. DENEY SİSTEMİNİN İMALATI .....	26
4.2.1. Isı borulu güneş kollektörü.....	26
4.2.2. Kurutma kabini .....	28
4.2.3. Ölçüm cihazlarının tanımı .....	30
4.2.3.1. Nem ölçümleri.....	30
4.2.3.2. Sıcaklık ölçümleri.....	32
4.2.3.3. Ağırlık ölçümleri .....	33
4.2.3.4. Su aktivitesi ölçümü.....	33
<b>BÖLÜM 5</b> .....	<b>35</b>
<b>TEORİK ANALİZ</b> .....	<b>35</b>
5.1. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN BAŞLANGIÇ NEM MİKTARININ BELİRLENMESİ.....	35
5.2. KURUMA SÜRESİNCE ÜRÜNDEKİ NEM ORANININ DEĞİŞİMİ .....	36
5.3. ÖZGÜL NEM ÇEKME ORANI (ÖNÇÖ) .....	36
5.4. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN KURUTMA SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	36
5.5. ENERJİ ANALİZİ.....	37
5.6. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCUNUN VERİMİ .....	38

	<u>Sayfa</u>
5.7. SU AKTİVİTESİ DEĞERLERİ .....	39
BÖLÜM 6 .....	40
DENEYSEL ANALİZ .....	40
6.1. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	40
6.1.1. Güneş ışıını değeri .....	40
6.1.2. Kurutma havası sıcaklıkları .....	42
6.1.3. Kurutucu ortam bağıl nem değeri .....	43
6.1.4. Ürünlerde meydana gelen ağırlık değışı .....	44
6.1.5. Ürünlerde meydana gelen nem içeriğı değışı .....	46
6.1.6. Nem oranı değışı (No).....	47
6.1.7. Ürünlere ait özgül nem çekme oranları (Önço) .....	48
6.1.7. Ürünlere ait su aktivitesi değeri ( $a_w$ ) .....	49
BÖLÜM 7 .....	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kurutma yöntemleri .....	8
Şekil 2.2. Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı.....	10
Şekil 2.3. Doğrudan güneş enerjili kurutucu.....	12
Şekil 2.4. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucu .....	12
Şekil 2.5. Birleşik tip güneş enerjili kurutucu.....	13
Şekil 2.6. Çadır tipi kurutucu .....	15
Şekil 2.7. Sera tipi kurutucu .....	16
Şekil 2.8. Fanlı tip güneş enerjili kurutucu .....	16
Şekil 2.9. Oda tipi fanlı kurutucu .....	17
Şekil 2.10. Aktif ve pasif kurutucu tipleri.....	18
Şekil 2.11. Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucu.....	19
Şekil 2.12. Fotovoltaik panel destekli zorlamalı konveksiyonlu kurutucu.....	20
Şekil 3.1. Türkiye'nin yıllara göre nane, maydanoz ve biberiye üretim miktarları.....	21
Şekil 4.1. Güneş enerjili nem kontrollü kurutucu (GENKK).....	26
Şekil 4.2. Kanatçıklı ısı boruları.....	27
Şekil 4.3. Kullanılan kollektör ve ısı boruları .....	28
Şekil 4.4. Isı borulu kollektör.....	28
Şekil 4.5. Kurutucu içerisinde kullanılan raf .....	29
Şekil 4.6. Güneş enerjili nem kontrollü kurutucu.....	29
Şekil 4.7. Kullanılan nem sensörü.....	30
Şekil 4.8. Çalışmada kullanılan higrostat .....	31
Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan termohigrometre .....	32
Şekil 4.10. Çalışmada kullanılan su aktivitesi ölçüm cihazı.....	33
Şekil 4.11. Ölçü Aletleri ve Bağlantıları.....	34
Şekil 6.1. Güneş ışınımı değerleri .....	41
Şekil 6.2. Deneylere ait ortalama güneş ışınımı ve kurutma havası sıcaklıkları.....	42
Şekil 6.3. Zamana göre kurutma havası sıcaklıkları.....	43

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 6.4. Kurutucu havası bağıl nem değerleri .....	44
Şekil 6.5. Biberiye için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi .....	45
Şekil 6.6. Maydanoz için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi .....	45
Şekil 6.7. Nane için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi .....	46
Şekil 6.8. Ürünlerde zamana göre meydana gelen nem içeriği değişimi.....	47
Şekil 6.9. Nem oranının kurutma süresine bağlı olarak değişimi .....	48
Şekil 6.10. Biberiye yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri .....	50
Şekil 6.11. Nane yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri .....	51
Şekil 6.12. Maydanoz yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Bazı ürünlerin ilk ve son nem içerikleri .....	24
Çizelge 4.1. Nem sensörünün (HT2W) teknik özellikleri .....	31
Çizelge 4.2. Higrostatın (LTR 5) teknik özellikleri.....	31
Çizelge 4.3. Termohigrometre (Testo - 635) teknik özellikleri.....	32
Çizelge 4.4. Deney sisteminde kullanılan ölçüm ve kontrol cihazları.....	34
Çizelge 5.1. Bazı toksin maddelerin oluşumu için gerekli minimum su aktivitesi değerleri .....	21
Çizelge 6.1. Ürünlerden hesaplanan önço değerleri .....	49
Çizelge 6.2. Ürünlerden ölçülen su aktivitesi değerleri.....	49

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$NM_{YA}$	: Yaş maddeye göre ürün içerisindeki nem miktarı(g su/g yaş madde)
$NM_{KA}$	: Kuru maddeye göre ürün içerisindeki nem miktarı(g su/g kuru madde)
$Y_A$	: Kurutmadan önce numune kütlesi (g)
$K_A$	: Kurutmadan sonra numune kütlesi (g)
$\dot{m}$	: Havanın kütleli debisi (kg/s)
$\dot{m}_d$	: Saatlik kuruma miktarı (g/h)
$a_w$	: Su aktivitesi
$\omega$	: Özgül nem (g/kg)
$\dot{W}_f$	: Fan gücü (W)
$h$	: Entalpi (kJ/kg)
$T$	: Sıcaklık (°C)
$V_i$	: Havanın hacimsel debisi (m <sup>3</sup> /s)
$C_{p,air}$	: Havanın özgül ısısı (kJ/kg °C)
$\dot{Q}$	: Kurutma havasına aktarılan enerji (kJ/s)
$A$	: Kollektör yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$I$	: Güneş radyasyonu (Ws/m <sup>2</sup> )
$NO$	: Nem oranı
$NM$	: Nem miktarı (%)
$\text{ÖNÇÖ}$	: Özgül nem çekme oranı (g/Wh)

## KISALTMALAR

mp	: Nem üretimi
oa	: Çıkış havası
ia	: Giriş havası
wi	: Su girişi
wo	: Su çıkışı
SC	: Güneş kollektörü
GENKK	: Güneş enerjili nem kontrollü kurutucu

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Kurutma, sanayinin birçok dalında yaygın olarak (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) uygulanmaktadır. Kurutma, genel olarak gıdaların kurutulmasında nemin, gıda maddesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Kurutma işlemleri özellikle kurutulan ürünlerin dayanımını arttırmak için kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Bu işlemin sık uygulandığı alanlar kerestelerin ve gıda maddelerinin kurutulmasıdır. Kereste kurutma işlemlerinde ürünün dayanımını arttırmanın yanında kerestenin işlenebilirliğini arttırmakta kurutma ile mümkün olmaktadır. Ayrıca yapılan kurutma ile birlikte üründe zararlı canlıların oluşumu engellenmektedir. Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın birçok amacı vardır ve bunların belki de en belirgin olanı, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminin diğer amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği arttırmaktır [1].

Kurutma işlemi uzun yıllardan beri özellikle gıda maddelerinin dayanımını arttırmak için uygulanmaktadır. Bu uygulamalar genellikle güneş altında kontrolsüz değişen hava şartlarında yapılmaktadır. Bu tip geleneksel yöntemler hem ürünlerin kurutma sürelerini uzatmakta hem de uzun süren kurutma periyodundan dolayı ürünlerin tat, koku gibi özelliklerinin bozulmasına yol açmaktadır.



## 1.1. KURUTMANIN ÖNEMİ

Bugün sanayide kurutma işleminin uygulandığı alanlar çok geniştir. Çoğu 1960 öncesi yıllarda tasarlanmış kurutma sistemlerinde enerji optimizasyonu zorunlu hale gelmektedir. Bu yıllarda, enerjinin bol ve ucuz olması nedeniyle uygulamalarda enerji tasarrufuna yönelik işlemler göz ardı edilmiştir.

Fakat 1973 yılında yaşanan küresel ekonomik kriz neticesinde, mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanımı dünyada ve Türkiye’de büyük bir önem kazanmıştır. Enerji bunalımı özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeleri daha çok etkilemektedir. Çünkü gelişmekte olan ülkeler devamlı artan boyutta bir enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar.

Enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını termik ve hidroelektrik santrallerden karşılayan Türkiye’de, üretilen enerjinin %39’u sanayide, %30’u konutlarda, %21’i ulaştırmada ve %5’i tarımda tüketilmektedir [2].

Bütün bu bilgiler ışığında, doğabilecek bir enerji darboğazında ilk etkilenecek alanların konutlar ve sanayi sektörü olduğu açıkça görülmektedir. Günümüz koşullarında dahi enerji alımı yapmak zorunda olan Türkiye için geleceğe yönelik tahminler olumlu bir izlenim vermemektedir. Bu durumda iki seçenek vardır; yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji vb.) veya daha az enerji tüketmeye çalışmak. Birinci yöntem dışa bağımlı pahalı bir yatırımı ve yeni teknolojileri gerektirmektedir. İkinci yöntem ise, araştırmalarla ve mühendislik tasarımlarıyla sağlanabilir. Enerji tasarrufu, gelecekteki enerji açığına kapatacak yeterlilikte olmasa da, sorunun geciktirilmesinde büyük bir katkı sağlayacaktır. Kurutma işlemlerinde ise zaman, enerji ve maliyet kavramları düşünüldüğünde kurutma işleminin, enerji tüketimi yönünden optimizasyonu zorunlu hale gelmektedir. Pek çok sanayi kolunda enerjinin tüketiminin esas payını, kurutma işlemi için tüketilen enerji oluşturmaktadır.

Kurutma işlemleri günümüzde çok iyi anlaşılammamaktadır. Uygun teknolojilerin kullanımı sonucu önemli miktarda enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Kurutma

sisteminin tasarlanmasında amaç, en az enerji ile en kısa sürede, en kaliteli ürünün elde edilmesi olmalıdır [3].

## 1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmada, ısı borulu güneş enerjili, nem kontrollü bir kurutucu imal edilerek, Karabük şartlarında aromatik bitkilerin (Nane, Maydanoz ve Biberiye) daha kısa ve daha ucuz kurutma maliyetleri ile kurutulması amaçlanmıştır.

## 1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sarsılmaz (1998), tasarladığı döner sütunlu silindirik kurutucuda Elazığ ve Baskil yörelerinde yetişen farklı büyüklük ve kalitedeki kayısıların kurutulmasını amaçlamıştır. Yapılan çalışmada, güneş enerjisi destekli kurutucudan elde edilen kayısıların nem değişim oranları ile doğal olarak açıkta kurutulan kayıslardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, toplayıcı ve kollektörün performansı ile kayısıların kuruma hızı ve dönme hızının homojenliğe olan etkisi karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, açıkta yapılan kurutmaya göre güneş enerjisi destekli kurutucuda yapılan kurutmanın ürün kalitesinin arttığı gözlemlenmiştir [4].

Apaydın (2007), Aydın yöresinde incir kurutmada kullanılacak olan doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun modellenmesi üzerine yaptığı çalışmada, hava sıcaklığı, rüzgâr, bağıl nem ve güneş ışınımı değerlerinin kuruma davranışına etkilerini araştırmış ve bu değerleri çoklu regresyon analizine tabi tutarak ayrılabilir nem oranı ile olan ilişkisini ortaya koymuştur [5].

Eliçin ve Saçılık (2005), güneş enerjili tünel tip bir kurutucuda elma kurutulmasını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, elma dilimleri %82 (yaş ağırlığa göre) ilk nem içeriğinden %11 son nem içeriğine kadar tünel tipi kurutucuda 1,5 gün açık alanda ise 2 gün kurutulmuşlardır. Deneysel olarak elde edilen kuruma verileri Page, Logarithmic and Wang and Singh modellerinde kullanılmış ve modellerin katsayıları doğrusal olmayan regresyon tekniği ile belirlenmiştir. Organik elmanın kuruma

davranışını iyi karakterize edecek model, çeşitli istatistiksel karşılaştırma yöntemleri ile belirlenmiştir [6].

Pekmez (2004), yaptığı çalışmada, nane yapraklarının tepsili kurutucu, donduruculu kurutucu ve dolaylı güneş enerjili kurutucu olmak üzere üç farklı kurutucuda kurutulmasını incelemiştir. Çalışmada, 65°C sıcaklıkta 1 m/s hava hızıyla ve 60°C sıcaklıkta 2 m/s hava hızıyla güneş enerjili kurutucu ve tepsili kurutucuda kurutulan nanelerin kuruma özelliklerini incelemiştir. Pekmez, kurutma süresi boyunca kurutma metotlarının (güneş enerjili ve tepsili kurutma) nanenin nem miktarı üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı tespit etmiştir [7].

Durmuş ve Kurtbaş (2002), yaptıkları çalışmada, Elazığ yöresinde yetişen kayısıların yine aynı bölge şartları altında güneş enerjisi yardımıyla kurutulmasında, kayısı yüzey sıcaklığını deneysel olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada, havalı güneş kollektörü olarak ondülin yüzey profilli yeni bir tip kollektör tasarlanmıştır. Hava debisinin ayarlanmasıyla tepsili kurutucuda giriş hava sıcaklığı 27°C ile 49°C aralığında değiştirilmiştir. Deneysel boyunca kayısılar sürekli tartılarak kayısındaki kütle kaybı tespit edilmiş ve kurutulan ürünün renk ve tat değişimleri sürekli kontrol altında tutulmuştur [8].

Yaldız (2001) yaptığı çalışmada, havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılması hedeflemiştir. Yaldız, bu ürünlerin 30, 40, 50, 60 ve 70°C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kurutma havası hızlarında kurutma sürelerini belirlemiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre en uygun şartlarda kurutma süresi pırasa için 27,66 saat, havuç için ise 22,32 saat olarak bulunmuştur [9].

Yılmaz ve Yavuz (2006), yaptıkları çalışmada, ölçtükleri temel kurutma parametrelerini standart kurutma verileri ile karşılaştırarak sistemde kurutma işleminin bilgisayar ortamında otomatik olarak kontrolünün yapılabilirliğini deneysel olarak incelemiştir. İmal ettikleri sistemde, kurutulacak değişik ürünlerin standart verileri girildiğinde kurutma işlemi otomatik olarak gerçekleşmiştir [10].

Koyuncu ve Pınar (2001), kırmızıbiber için bir güneşli kurutucu tasarımı konulu çalışmalarında, kırmızıbiberin kurutulmasında kullanılabilecek doğal akışlı güneşli kabin tip bir kurutucu tasarlamışlardır. Bu kurutucunun, kuruma süresince çevre koşullarının ürün üzerindeki olumsuz etkilerini son derece azalttığını ve kaliteyi yükselttiğini belirlemişlerdir. Ayrıca kurutucunun kullanılmasıyla, 1 kg ürün için gerekli kuruma süresinin 3,5 saatten 1,28 saate düşürülerek 2,73 kat azaltılabileceği tespit etmişlerdir [11].

Yılmaz (2000), Güneş pili tahrikli bir güneşli kurutucunun geliştirilmesi ve kurutulmuş domates üretiminde teorik ve deneysel olarak incelenmesi üzerine yaptığı çalışmada, güneş pili destekli bir kurutucuyu tasarlamış ve denemiştir. Kabin, fotovoltaik sistem, hava kanalları ve havalı düzlemsel kollektörden oluşan kurutucuda, materyal olarak domates kullanılmıştır. Sonuçta sistemin verimliliğinin oldukça yeterli olduğu ancak kapasitesinin geliştirilmesi gerektiği düşüncesine varmıştır [12].

Akpınar ve Biçer (2003), siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi konulu çalışmalarında, deneylerde 60, 70 ve 80°C'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanıp, 1 ve 1,5 m/s'lik kurutma havası hızları kullanmışlardır. Deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hız-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek kuruma hızı 80°C sıcaklıkta ve 1,5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise 60°C sıcaklığında ve 1 m/s kurutma havası hızında elde edilmiştir [13].

Rossello et al. (1992), patates küplerinin sıcak hava ile kuruma kinetiklerini tanımlamak için basit bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Kurutulan 1 cm'lik patates küpleri üzerinde hava akısının ve hava sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Hesaplanan ve deneysel olarak bulunan ortalama nem oranının uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir [14].

Simal et al. (1994), küp şeklinde kesilmiş patateslerin birinci azalan kurutma periyodundaki ısı transferi katsayılarını tespit etmek için bir model önermişlerdir. Bu

periyot esnasında ısı ve kütle transferini bir arada olan bir fiziksel olay olarak göz önüne almışlardır. Numune içerisindeki sıcaklık hesaplamasını makroskopik ısı transferi dengesini kullanarak yapmışlardır. Isı transfer katsayısı için tespit edilen rakamın literatürdeki diğer sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir [15].

Sarsavadia et al. (1999), soğanın ince tabakada kurumasını tespit etmek için dijital tartım mekanizmalı yığın tipi bir deneysel bir kurutucu geliştirmişlerdir. Tuzlanmış soğan dilimlerini ince tabakada kuruma hızlarını dört değişik hava hızında (0,25-1 m/s), dört değişik kurutma havası sıcaklığında (50-80°C) ve üç değişik havanın relatif neminde (%10-20) tespit etmişlerdir [17].

Jannot and Coulibaly (1998), havalı güneş ısıtıcısı ve kurutucu odasından oluşan bir güneş kurutucuda havalı güneş ısıtıcısının performansını belirlemek için buharlaşma kapasitesi olarak adlandırılan yeni bir indeks sunmuşlardır. Buharlaşma kapasitesini hesaplamak, ısıl etkinlik indeksiyle bu yeni indeksin bir karşılaştırılmasını yapmışlar ve sunulan yeni yaklaşımın üstünlüğünü ispat etmek için detaylandırılmış bir metot sunmuşlardır [19].

Ivanova et al. (2002), geliştirdikleri meyve ve sebze kurutucusunun enerji analizini ve ekonomik etkinliğini araştırmışlardır. Etkili kuruma ısısının güneş enerjisi, jeotermal ve atık sular, dönüşümlü kaynak veya hem dönüşümlü hem de dönüşümsüz enerji kaynaklarından elde edilebileceğini belirtmişlerdir [18].

Rodivoje (2003), gıdaları kurutmak için üç orijinal dizayn gerçekleştirmiştir. İlk olarak güneş enerjisini birlikte ve doğrudan kullanarak değişik biyolojik malzemeleri kurutmak için iki tip mobil güneş kurutucudan, ikinci olarak havalı güneş kolektörü, fotovoltaj sistem ve güneş enerjisi ve son olarak da havalı güneş kolektörü ve rüzgar motorunun birlikte kullanıldığı dizaynlardan bahsetmiştir [19].

Hollick (1999), farklı gıda ürünlerinin kurutulmasında havayı ısıtmak için büyük ölçüde enerjiye ihtiyaç olduğu ve kurutma işleminde güneş enerjisinden yararlanma imkanı olduğuna değinmiştir. Ticari kurutmanın, çiftçiler tarafından pratikte uygulanan güneş altında doğal ortamda yapılan kurutmadan farklı olduğunu

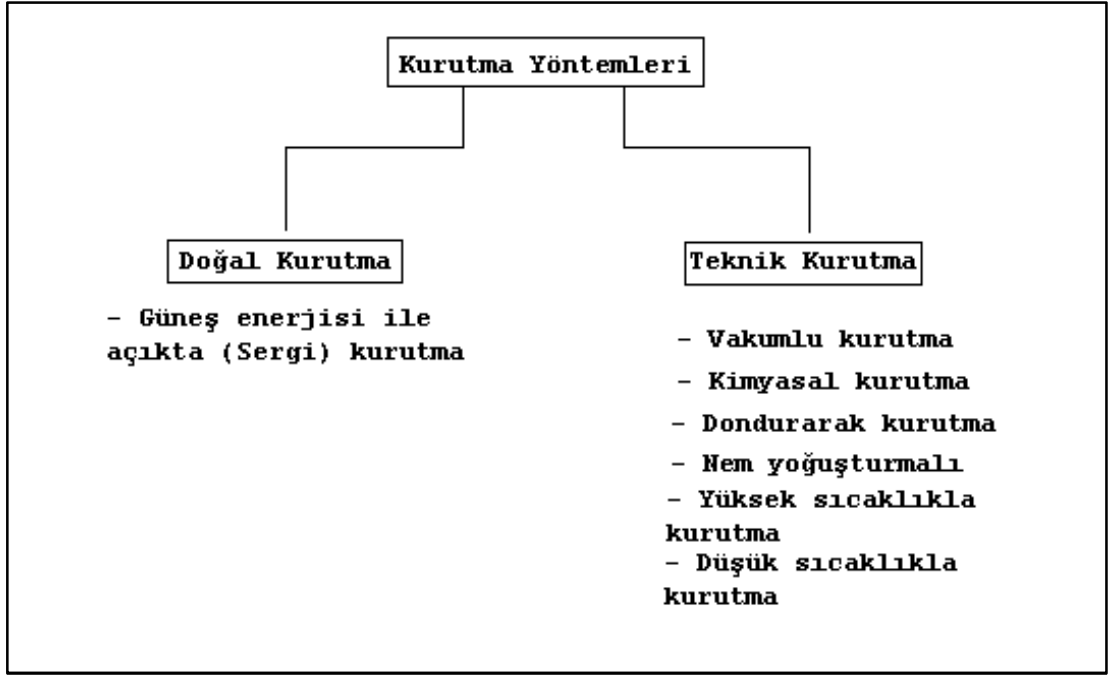
belirtmiştir. Yaptığı çalışmada yoğuşmalı güneş kollektörü kullanılmış ve Hindistan da yapılmış bir uygulama çalışmasının diğer benzer kurutma çalışmalarıyla bir araştırma özetini sunmuştur. Ticari kurutma işlemlerinin, küçük değişikliklerle güneş enerjili sistemlere dönüşebileceğini ve geri ödeme süresinin iki yıl olduğunu göstermiştir [20].

Yapılan bu çalışmada ise ilk yatırım maliyeti düşük, işletme giderleri fazla olmayan bir güneş enerjili nem kontrollü kurutucu (GENKK) ile nane, maydanoz ve biberiye kurutulması deneysel olarak incelenmiş ve sistemle ilgili kurutma parametreleri belirlenmiştir.

## BÖLÜM 2

### KURUTMA SİSTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Günümüzde kurutulma işlemlerinde kullanılan sistemler Şekil 2.1’de görülmektedir. Kurutma yöntemlerini doğal ve teknik kurutma olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.



Şekil 2.1. Kurutma yöntemleri

#### 2.1. DOĞAL KURUTMA

Doğal kurutmada ürünün kurutulması kontrol edilemeyen sıcaklık, bağıl nem ve hava hareket etkisi altında gerçekleşmektedir. Isınma doğrudan veya dolaylı olarak gelen güneş ışınlarının etkisi ile olmakta, hava ve sıcaklığa bağlı olarak nem alma miktarları değişmektedir. Sıcak hava soğuk havadan daha çok nem alabilmektedir.

Çok farklı olan ve kontrol edilemeyen hava şartları nedeniyle kuruma kontrolsüzdür ve her zaman çeşitli kurutma kusurlarının oluşma tehlikesi bulunmaktadır [21].

Doğal kurutmanın diğer bir sakıncası da kurutma süresinin, havanın yerel sıcaklık ve bağıl nemine, ortalama rüzgar hızına ve kurutmaya başlama mevsimine bağlı olarak değişmesidir.

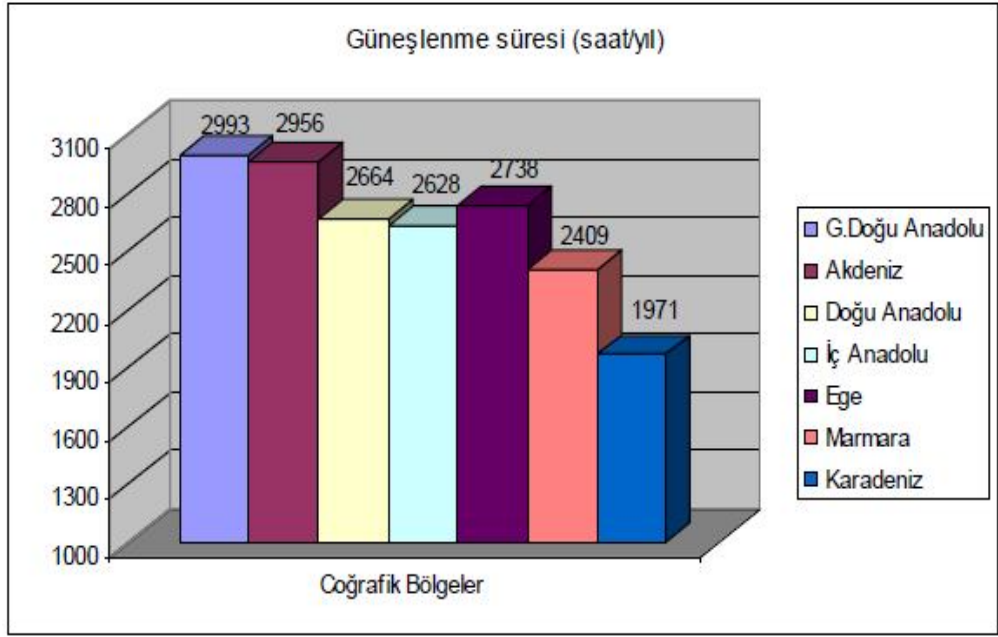
## **2.2. TEKNİK KURUTMA**

Teknik kurutma, kurutulacak ürün neminin kuruma son değerlerine belli bir süreçte kontrollü olarak indirgenmesi olarak tanımlanır. Kuruma işlemine dış müdahale yapılarak belli bir süreçte ürünün kuruma son değerlerine kontrollü olarak gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, soğutma, nem alma gibi) sistemlerin bütününe kurutma sistemleri denir ve kurutma sistemleri, kurutma işleminde uygulanan yönteme göre adlandırılır [21].

## **2.3. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR VE SINIFLANDIRILMASI**

Coğrafi konumu nedeniyle dünyanın güneş kuşağı içerisinde yer alan Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengindir. Şekil 2.1'de Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir.





Şekil 2.2. Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı [5].

Güneş enerjisi bol, sürekli, yenilenebilir ve bedava bir enerji kaynağıdır. Temiz ve bedava bir enerji kaynağı olan güneş Türkiye’de doğal kurutmada en yaygın kurutma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de kurutma işlemi genellikle, Ağustos ayından Ekim ayı ortalarına kadar doğrudan güneş ışığına maruz bırakılarak yapılmaktadır. Açıkta güneşten yararlanılarak kurutma, ekonomik olmasına karşın zararlılara, toz, toprak gibi istenmeyen yabancı maddelere açık oluşu, yağmur ve aşırı rüzgâr gibi durumlarda kurutmaya ara verilmesi ve kuruma süresinin uzaması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Bu olumsuz etkilerden dolayı açıkta güneşli kurutmanın sakıncalarının ortadan kaldırılması ve maliyetin azaltılması için güneş enerjili kurutucular kullanılması daha avantajlıdır. Güneş enerjisinin kullanıldığı kurutma sistemlerinin geliştirilmesi ürünlerin kalitesi ve temizliği açısından önemlidir.

Enerji maliyetlerinin giderek artması kurutma alanında güneş enerjisi kullanma olanaklarının araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Kurutma alanında güneş enerjisinden yararlanmak diğer alanlara göre daha uygulanabilir niteliktedir. Tarımsal ürünlerin ve orman ürünlerinin mevsimlik olarak kurutulması güneş enerjili sistemlerle mümkündür. Özellikle güneşten elde edilebilecek ışınım oranının en fazla olduğu yaz aylarında güneş enerjisi kullanılarak yapılan kurutma, en iyi faydayı

sağlayacaktır. Araştırmalar güneş enerjisinden kurutma alanında üç ana yöntemle yararlanılabileceğini ortaya konmuştur [5].

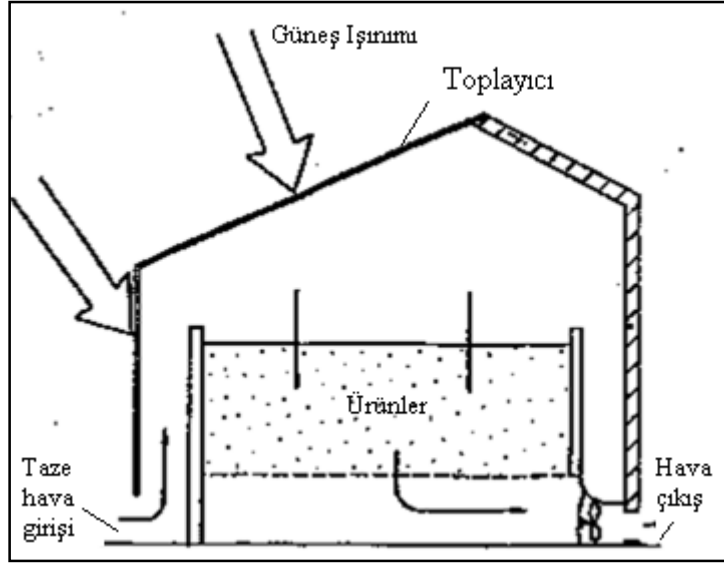
### **2.3.1. Kurutulan Ürünün Güneş Etkisinde Kalış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular**

Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimi, doğrudan etkileşimli ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan kurutucularda ürün güneşin etkisi altında ve güneşi görürken, dolaylı kurutucularda ürün kapalı bir ortama yerleştirilerek güneşin doğrudan etkisinden korunmakta ve güneş enerjisi ile ısıtılan havanın kurutma odasına sevkiyle taşınım etkili bir ısı geçişi sağlanarak ürün kurutulmaktadır. Doğrudan kurutucularda ise, ürüne ısı geçişi taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşmektedir [5]. Bu tip kurutucular üç sınıfta toplanabilir.

- Doğrudan Güneş Enerjili Kurutucular
- Dolaylı Güneş Enerjili Kurutucular
- Birleşik Tip Güneş Enerjili Kurutucular

#### **2.3.1.1. Doğrudan Güneş Enerjili Kurutucular**

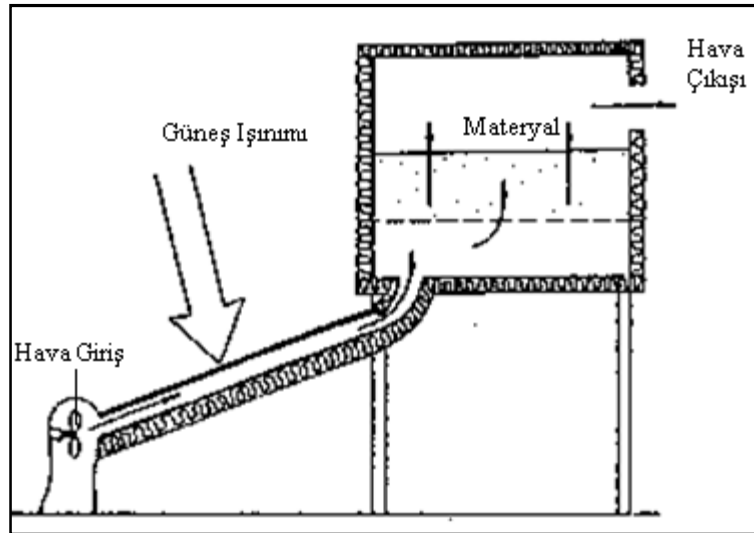
Bu tip kurutucularda, toplayıcıda toplanan enerji doğrudan tüketim ortamına aktarılmaktadır. Toplanan enerjinin, tüketilen enerjiye eşit olduğu, yani kurutma için yeterli olduğu durumlarda uygulanır. Bu şekildeki kurutmalar ürünlerde vitamin kaybı, enzim bozulması ve istenmeyen renk değişimlerini meydana getirdiği için pek tercih edilmemektedir. Bu tip kurutmaya örnek olarak ise sera tipi, kubbeli ve çadır tipi güneşli kurutucular gösterilebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Doğrudan güneş enerjili kurutucu [5].

### 2.3.1.2. Dolaylı Güneş Enerjili Kurutucular

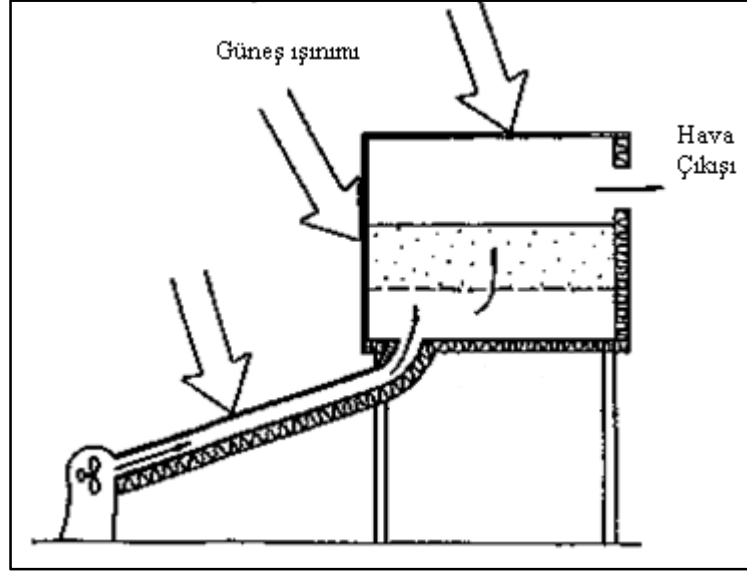
Bu kurutucularda kurutma kapalı bir hacimde gerçekleşmekte ve bu sayede ürünler güneşin zararlı etkilerinden korunmaktadırlar.



Şekil 2.4. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucu [5].

### 2.3.1.3. Birleşik Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Doğrudan ve dolaylı kullanım yöntemleri birlikte uygulanabilmektedir. Bu tip sistemlerde ürün, güneş ışınımının doğrudan etkisi altında kapalı bir hacimde kurutulur.



Şekil 2.5. Birleşik tip güneş enerjili kurutucu [5].

### 2.3.2. Kurutucudan Geçen Kurutma Havaasının Akış Biçimine Göre Güneş Enerjili Kurutucular

Kurutma havaasının akışının aktif veya pasif şekilde gerçekleştiği kurutuculardır. Aktif taşımada, kurutma havaası bir fan yardımıyla kurutucu içerisinde dolaştırılmaktadır. Pasif taşımada ise, kurutma havaası ısınan havanın doğal bir şekilde yükselmesiyle oluşmaktadır. Bu kurutucular iki şekilde tasarlanabilir. Bunlar;

- Pasif Kurutucular (Doğal Taşınım)
- Aktif Kurutucular (Zorlanmış Taşınım)

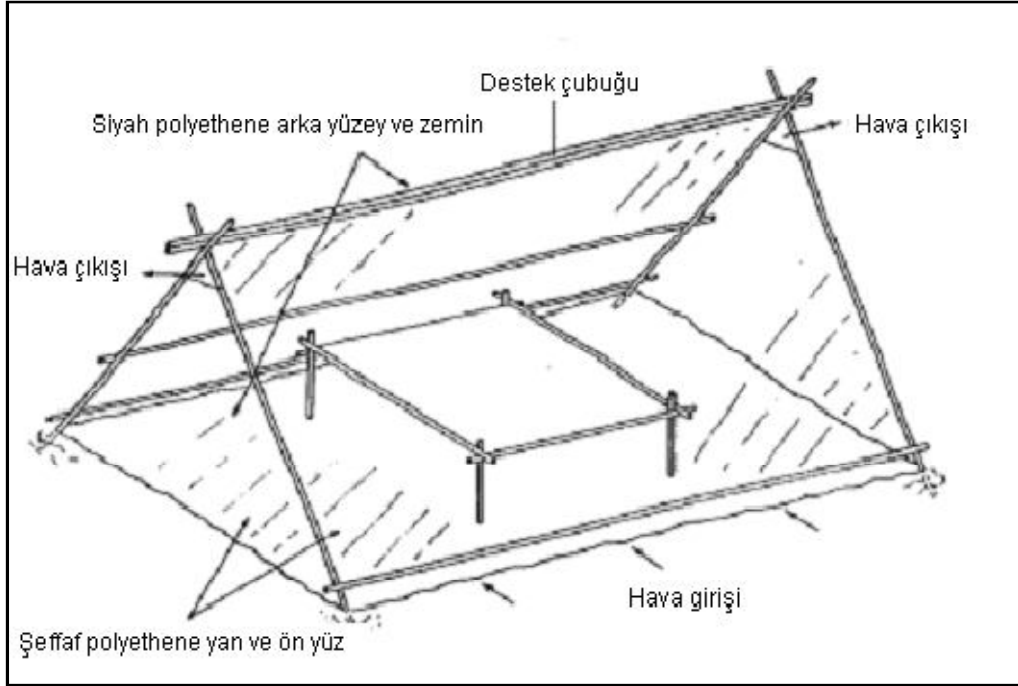
### 2.3.2.1. Pasif Kurutucular (Basit Kurutucular)

Bu tip kurutmada, kurutucu havası doğal bir şekilde ısınan havanın yükselmesi prensibine göre kurutucu içerisinde dolaşmaktadır. Bu tip sistemlerde, hava hızı debisi ve sıcaklık kontrolü yapılamaz ancak kuruluş ve işletme maliyetleri düşüktür. Pasif tipli kurutucular;

- Güneş Kabinleri,
- Çadır veya Seralar ve
- Baca Tipi Kurutuculardır.

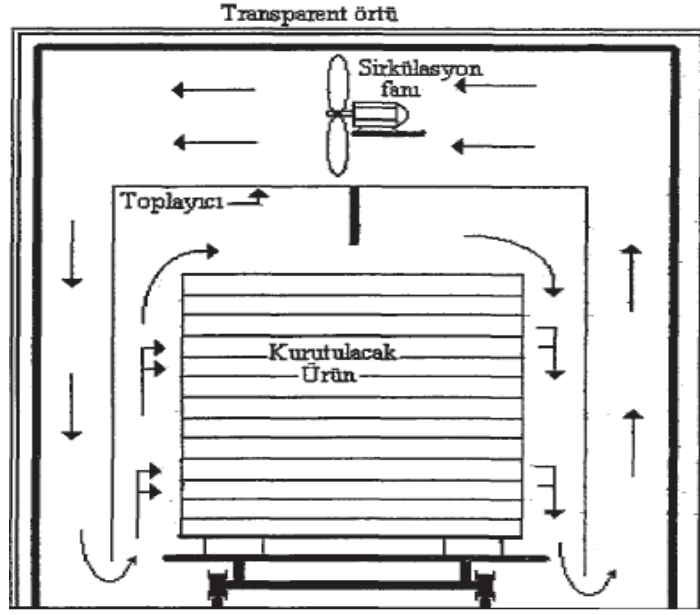
Kabin tipi kurutucular, en basit yapıları kurutuculardan bir tanesidir. Genelde kabin tipi kurutucular, tek veya iki kat saydam örtüyle kaplanmış, belirli bir eğimle kapanan bir kapak ile yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal sacdan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan kabinden oluşmaktadır. Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmalıdır. Kurutucu içinde hava hareketi; tabanda ve ön kenarda bulunan deliklerden çevre havasının içeri girmesiyle ve ısınmış ve nemli havanın arka kenardaki üst deliklerden kabini terk etmesiyle meydana gelmektedir [5].

Çadır tipi kurutucuların özelliği kollektör ile kurutma çemberinin birleştirilmiş olmasıdır. Bu sistem çok düşük bir maliyet gerektirir. Kullanılan çadırın amacı ürünü toz, yağmur ve rüzgârdan korumaktır. Kullanılan ürünler ise genellikle meyve, balık ve kahve gibi ürünlerdir. Çadır tipi bir kurutucu Şekil 2.6'da gösterilmiştir [22].



Şekil 2.6. Çadır tipi kurutucu [22].

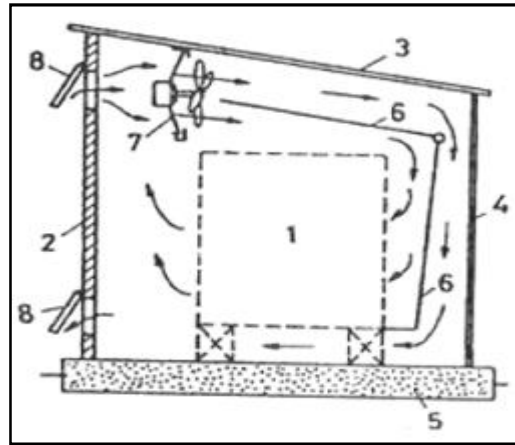
Sera tipi kurutucular, bitkisel üretim için kullanılan seraların kurutma amacına uygun olarak değiştirilmiş biçimleridir. Kontrol imkânları daha geniş olup kurutulacak ürün miktarının çok olduğu durumlarda tercih edilmektedirler. Seranın dış örtüsü güneş ışınlarına dayanıklı olmalıdır. Isı tutumunu artırmak için sera tabanının siyaha boyanmış beton veya metal yüzeyle kaplanması gerekmektedir. Ayrıca güneş ışınlarının doğrudan ürün üzerine gelmesi istenmediğinde, ürünleri içine alan siyah yüzeyli bir örtü kullanılması gerekmektedir. Sera içerisinde havanın düzgün dağılımını ve yeterli hava akışını sağlamak için, seranın uzun kenarları boyunca ve tabanında, çevre havası girişi için açıklıklar bırakılmalıdır. Nemli sera havasının dışarı atılması için sera tavanında açıklık bırakılmalıdır. Açıklıklardan yabancı zararlıların girmemesi için ağla kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, açıklıklardan yağmur girişini önlemek için gerekli kapak veya perdeler eklenmelidir [5].



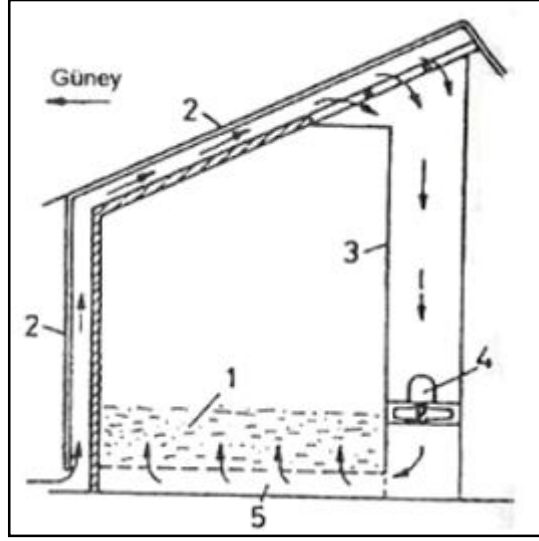
Şekil 2.7. Sera tipi kurutucu [23].

### 2.3.2.2. Aktif Kurutucular (Zorlanmış Taşınım)

Ürünü kurutmak için kullanılan havanın bir fan yardımıyla kurutucu içerisinde dolaştırıldığı kurutuculardır. Bu tip kurutucularda fan hızı ayarlanarak, kurutucu içerisinde dolaştırılacak olan kurutma havasının debisi kontrol edilebilir. Özellikle hava hızının önemli olduğu kurutma uygulamalarında bu tip kurutuculardan faydalanılır. Şekil 2.8 ve 2.9’da aktif kurutucular gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Fanlı tip güneş enerjili kurutucu [22].



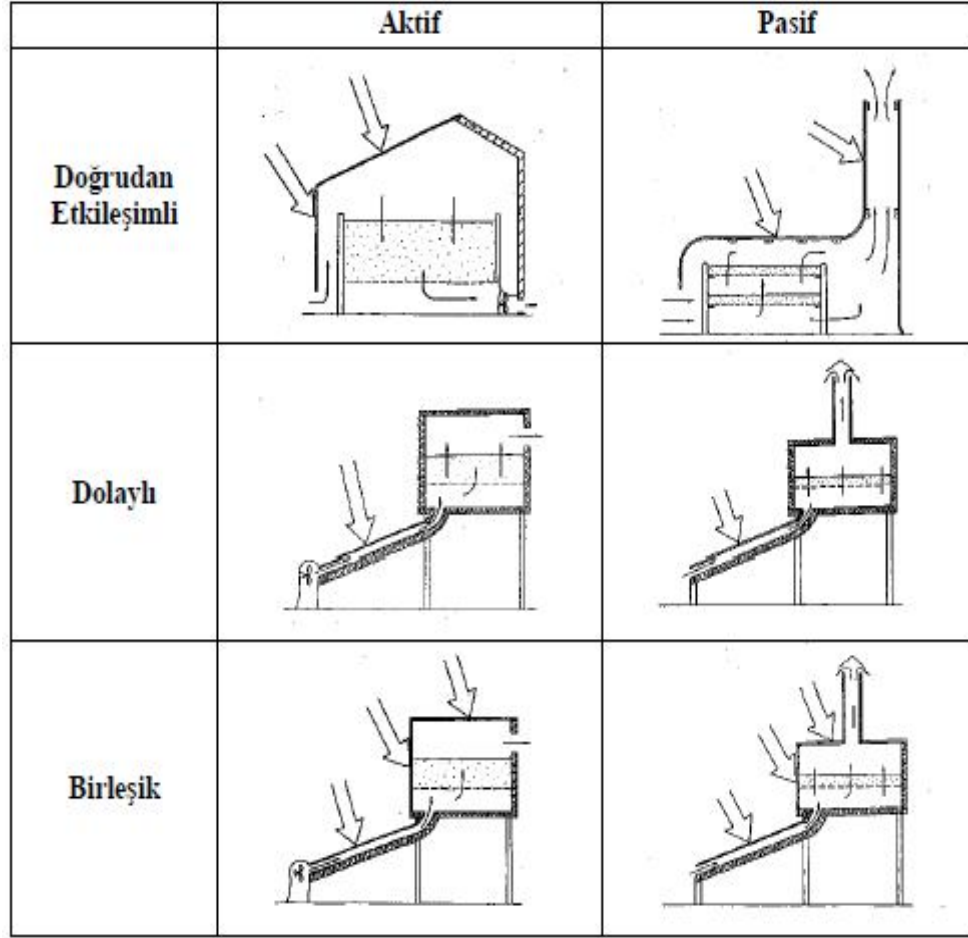
Şekil 2.9. Oda tipi fanlı kurutucu [22].

Şekil 2.8’de görülen fanlı tip güneş enerjili kurutucu beton taban (5) üzerine kurulmuştur. 3 ve 4 numara ile görülen ışık geçirebilen bir malzeme ile örtülü yüzeylerden giren güneş ışınları toplaç görevi yapan siyaha boyalı alüminyum yüzeyleri (6) ısıtır. Bir fanla (7) üflenlen hava bu yüzeylerin her iki tarafından geçirilerek ısıtılır ve kurutulacak ürünlerin bulunduğu ortamdan geçirilir. Şekilde bulunan 8 numaralı hava giriş ve çıkış damperleri ve alüminyum yüzeylerin eğimleri değiştirilerek dış havanın ürün yüzeyine doğrudan yönelmesi ya da içerideki havanın dolaşımı sağlanır [22].

Şekil 2.9’da görülen oda tipi fanlı kurutucuda yapının güneye bakan duvarı (2) ve çatı yüzeyleri (2) ışık geçiren bir örtü ile kaplanmıştır. Isı yalıtımı yapılmış ve siyaha boyanmış yüzey ile örtü arasındaki bölgede bulunan ısıtılmış hava bir fan yardımı (4) ile emilerek 3 numaralı kanaldan geçer ve delikli döşeme üstüne yığılı ürünün içinden geçerek ürünü kurutur [22].

Aktif ve pasif kurutucular, güneşten etkileşimlerine ve havanın akışına göre sınıflandırılabilirler. Şekil 2.10’da hava akımına göre sınıflandırılmış aktif ve pasif kurutucular gösterilmiştir.



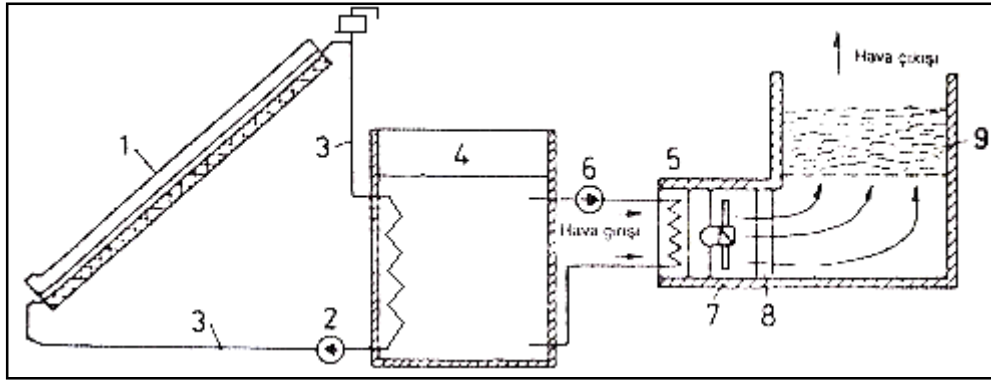


Şekil 2.10. Aktif ve pasif kurutucu tipleri [5].

Şekil 2.10’da açıkça görüldüğü gibi aktif sistemlerde, kurutucu havası fanlar vasıtasıyla sağlanmakta ve bu hava klapeler vasıtasıyla sistemden atılmaktadır. Pasif sistemlerde ise, hava akımı doğal bir şekilde yükselir ve bacalar aracılığı ile dışarı alınır. Doğrudan etkileşimli sistemlerde seçici yüzey direk olarak güneş ışınlarını kurutma ortamına depolar. Dolaylı güneş enerjili kurutucularda, kurutucu ortama sağlanacak olan kurutma havası, kollektörlerden sağlanarak sisteme aktarılır ve kullanılır. Birleşik sistemlerde ise hem doğrudan etkileşim hem de kollektörler kullanılmaktadır.

Güneş enerjili fanlı kurutucularda ısı depolarından da yararlanır. Güneş enerjisinin yeterli olduğu dönemlerde toplanan ısının bir bölümü ısı depolarında depolanır ve gereksinim duyulduğunda, depolanan bu ısı kurutma havasının ısıtılmasında kullanılır. Isı depolama malzemesi olarak genellikle su, taş havuzları ve sentetik bazı

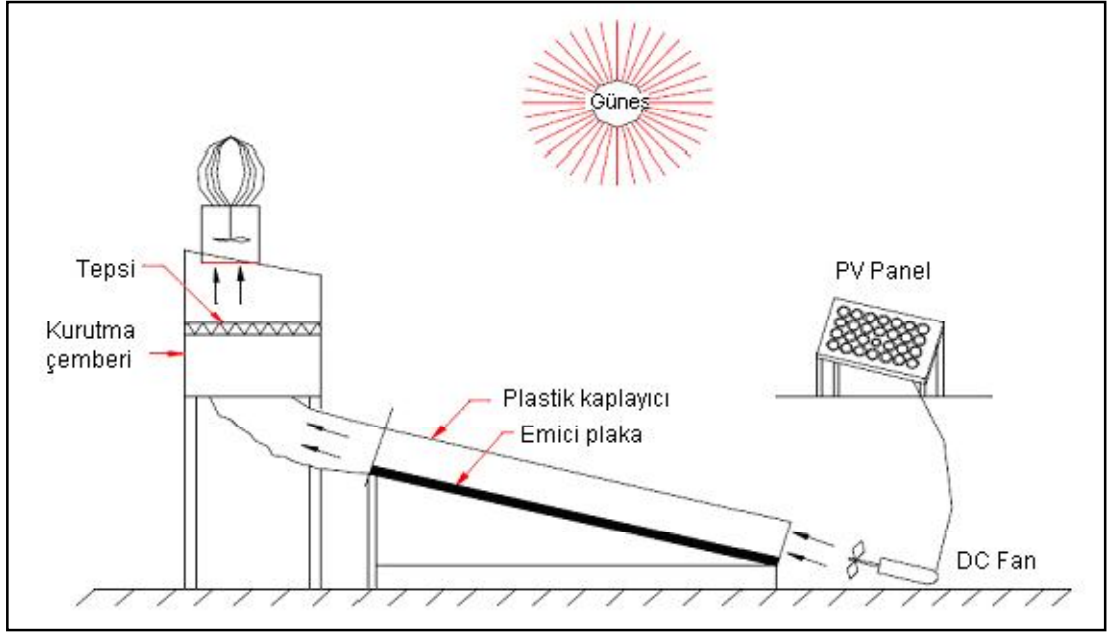
materyaller kullanılır. Bu ısı depolarının yararları ise; güneş enerjisinin olmadığı ya da yetersiz olduğu zamanlarda da kurutma yapılabilmesi ve güneş enerjisinin çok yoğun olduğu dönemlerde bu enerjinin bir bölümü depolandığında ürünün aşırı sıcak havada zarar görmesinin önlenmesidir. Isı depoları pahalı bir yatırım oldukları için karar vermeden önce çok iyi bir teknik ve ekonomik analiz yapılmalıdır [5]. Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucunun ana unsurları Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Sulu tip ısı deposuna sahip güneşle kurutma yapan bir kurutucu [5].

Isı deposundaki (4) su bir pompa (2) ve boru sistemi (3) ile toplayıcıdan (1) geçirilerek ısıtılır. Depodaki sıcak su başka bir pompa ile (6) emilerek ısı değiştiriciye gönderilir (5). Kurutma havası bir fan (7) yardımı ile emilir ve kurutulacak ürüne alttan verilir. Eğer bu hava yeterince ısıtılmadıysa (8) ek ısıtıcı ile ısıtılır (doğal gaz, LPG, elektrik) [5].

Zorlamalı konveksiyonun bir diğer kullanımı ise fotovoltaik panel destekli kurutucu sistemidir. Bu tip kurutucular plastikle kaplanmış düz kollektörlerden, kurutma çemberinden ve fandan oluşmaktadır. Bu sistemde havanın maksimum sıcaklık artışı 30 derece civarındadır. Güneş panelinde elde edilen enerji fanı çalıştırmak için kullanılır. Bu sistem Şekil 2.12’de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.12. Fotovoltaik panel destekli zorlamalı konveksiyonlu kurutucu [5].

### 2.3.3. Kurutma Hacminde Dolaşan Havanın Sıcaklığına Göre Güneş Enerjili Kurutucular

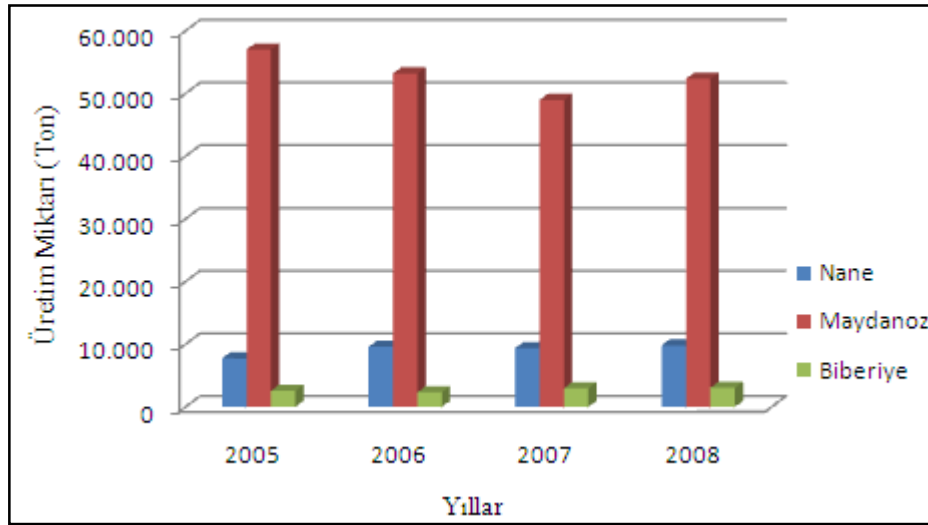
Kurutma havası sıcaklığına göre kurutucular çevre sıcaklığında veya çevre havası sıcaklığından yüksek sıcaklıklı kurutucular olarak sınıflandırılabilirler. Kurutma hacmine giren hava sıcaklığı; çevre sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta olabilir. Kollektör bulunan sistemlerde daha yüksek sıcaklıklarda hava girişi sağlanabilmektedir [5].

Bütün bu güneş enerjili kurutma sistemlerinin dışında özellikle endüstride, çok büyük bir işlem kapasitesine sahip sanayi tipi kurutucular kullanılmaktadır.

## BÖLÜM 3

### NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN ÖZELLİKLERİ

Türkiye’de her coğrafi bölgede ve her iklimsel koşulda yetişebilen nane, maydanoz ve biberiye, özellikle içeriğindeki antioksidan maddelerle insan sağlığına son derece faydalı bitkiler olarak büyük miktarda tüketilmektedir. Taze olarak çok uzun ömürlü olmayan bu bitkiler, bütün bir yıl boyu tüketilmek için hasat zamanlarından sonra kurutulma işlemlerine tabi tutulurlar. Özellikle Akdeniz bölgesinde taze olarak salatalarda tüketilen bu bitkiler, kurutulma sonucunda yemeklerde baharat olarak geniş bir kullanım oranına sahiptirler. Şekil 3.1’de Türkiye’nin yıllara göre nane, maydanoz ve biberiye üretim miktarları verilmiştir [24].



Şekil 3.1. Türkiye’nin yıllara göre Nane, Maydanoz ve Biberiye üretim miktarları

#### 3.1. NANE’NİN ÖZELLİKLERİ

Nane, içeriğindeki uçucu yağlar nedeniyle tıbbi faydaları en fazla olan bitkiler arasındadır. Nane, özellikle sindirim sistemi hastalıkları için uzun yıllardır tedavi amacıyla tüketilmektedir. Antispazmodik özelliği sayesinde mide ağrıları ve gazdan

doğan bağırsak kramplarında etkilidir. Kabızlık ve ishal Őikayetlerinde de bu etkisini gösterir. İnsan sağlığı ve sanayi açısından büyük bir önemi olmasına ve dış ülkelerde kullanımı giderek artmasına karşın, ülkemizde naneye gereken değer ancak son yıllarda verilmeye baŐlanmıŐtır. Tarım Bakanlığı istatistiklerinde, 1950’li yıllarda 40–50 hektarlık üretim alanı, 1980’li ve 1990’lı yıllarda 60–75 dekara ve 2000’li yıllarda 408-750 hektara kadar yükselmiŐtir. Üretim 1950’li yıllarda 300–400 ton, 1980’li ve 1990’lı yıllarda 400–600 tona ve 2000’li yıllarda 2198-5000 tona çıkmıştır. 2008 yılı resmi kayıtlarına göre ise nane üretim miktarı, 9824 ton olarak belirlenmiştir.

### **3.2. MAYDANOZ’UN ÖZELLİKLERİ**

Kültür bitkisi olarak dünyanın hemen hemen her yerine yayılmıŐ olan maydanoz, eski Yunanlılar ve Romalılar zamanından beri tıbbi uygulamalarda ve baharat olarak yiyeceklerde kullanılmaktadır. Maydanoz, ateŐ düŐürücü ve idrar sökücü özelliklere sahip bir bitkidir.

Türkiye’de bütün bir yıl boyunca pazarlarda bulunabilen maydanoz, yemek ve salatalarda bol miktarda tüketilir. Üreticilere yıl boyunca sürekli gelir sağlayarak ekonomik gelirden önemli bir yer tutar. Maydanoz, lkemizde ticari olarak Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde üretilirken, uygun iklim koşullarında Türkiye’nin bütün bölgelerinde yetiŐtirilebilir.

### **3.3. BİBERİYE’NİN ÖZELLİKLERİ**

Biberiye, çok eskiden beri kültürü yapılan ve esas kökeni Akdeniz Bölgesi olan bir bitkidir. Bugün en çok kültürü yapılan lkeler, Fransa, İspanya, Portekiz, İngiltere, İtalya, Yunanistan, Yugoslavya, Tunus, ABD ve Meksika’dır.

Biberiye, kan dolaŐımını hızlandırıcı özelliği nedeniyle özellikle damar tıkanıklıklarının giderilmesinde tedavi edici bir özelliğe sahiptir. Mide ve bağırsakları uyarıcı etkiye sahip olan biberiyenin, özellikle vücuttaki kanser hücrelerinin ve yağ bezelerinin kaybolmasındaki etkileri bilinmektedir.

Coğrafi özellikleri nedeniyle ülkemizde bol miktarda bulunan biberiye maalesef yeteri kadar ilgi görememektedir. Biberiye, günümüzde özellikle kimya sektöründe ilaç yapımında ve kurutulduktan sonra çay olarak kullanılmaktadır.

#### **3.4. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN KURUTULMASI**

Nane, biberiye, maydanoz gibi bitkiler içerdikleri uçucu yağlar ve antioksidan maddeler sebebiyle tıbbi bitkiler sınıfında yer almaktadır. Bu konumları nedeniyle bu bitkilerin kurutulmasında özellikle dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasında sıcaklık ve nem miktarları, kurutmaya etki edebilecek en önemli parametrelerdir.

Tıbbi ve aromatik bitkiler, özel durumlarından dolayı ürüne has tasarlanmış kurutucularda kurutulmalıdır. Yüksek oranda su içeren bu bitkiler hasattan sonra en kısa sürede kurutulmalıdır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasında en önemli faktör kurutma ortamı sıcaklığı olup, 30 ile 50 °C arasında olması uygundur [22,25].

Kurutma işleminde kurutulacak ürünlerin ilk ve son nem değerlerini bilmek doğru bir işlem yürütmek ve uygun saklama koşullarını sağlamak açısından çok önemlidir. Çizelge 3.1’de bazı sebze ve meyvelerin ilk ve son nem içerikleri verilmiştir. Tarım ürünlerinin bünyesindeki su miktarının, ürünün depolanma süresi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ürün, bünyesinde ne kadar az miktarda su içerirse o kadar uzun süre saklanabilir.

Kurutma tekniği açısından herhangi bir ürünün içinde bulunduğu hava şartlarına bağlı olarak içerebileceği kadar suyu bulundurması durumundaki nemine, denge nemi adı verilir. Ürün, denge neminin en küçük değerine çevre havası bağıl neminin %0 ve en yüksek değerine de çevre havası bağıl neminin %100 olması durumunda ulaşır. Bu değerler sırasıyla en küçük denge nemi ve en büyük denge nemi şeklinde tanımlanabilir. Üründeki su buharı kısmi basıncı ile çevre havasının kısmi basıncı arasındaki fark, denge nemini belirleyen en önemli unsurdur. Tarım ürünlerinin belirli sıcaklık değerinde ulaşacağı denge nemi değerinin bilinmesi, kurutma ve depolama işlemleri sırasında önemli kolaylıklar sağlamaktadır [26].

Çizelge 3.1. Bazı ürünlerin kuru baza göre ilk ve son nem içerikleri [26].

<b>Ürün</b>	<b>İlk Nem İçeriği (%)</b>	<b>Son Nem İçeriği (%)</b>
Adaçayı	62	11
Biberiye	70	10
Fesleğen	80	6
İncir	77,5	26
Kekik	72,9	7.5-11,4
Nane	80	11
Maydanoz	83	12
Oğulotu	77	11
Zencefil	87-93	5

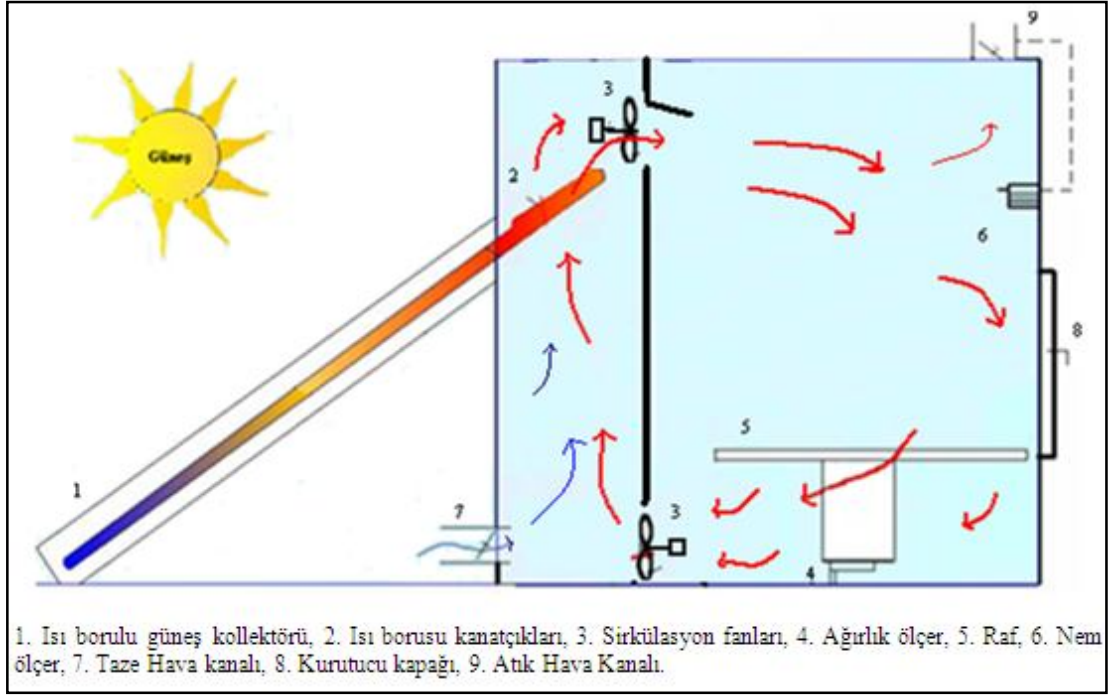
## BÖLÜM 4

### DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI

#### 4.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI

Bu çalışmada, Karabük ili şartlarında nane, maydanoz ve biberiye kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Sistemde enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden faydalanılması düşünülmüş ve bu amaçla ısı borulu, kanatçıklı bir kollektör tasarlanmıştır. Kurutma fırını içerisine yerleştirilen ürünlerin nemi, ısı borulu güneş kollektöründen aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışacak ve bunun sonucunda nemi artan hava, zamanla kurutma yeteneğini kaybedecektir. Güneş enerjili nem kontrollü kurutucuda (GENKK) bağıl nemi artan hava higrostat vasıtasıyla kumanda edilen kanal damperinden dışarıya atılacaktır. Kurutma sisteminde nem kontrolünün sağlanabilmesi için hava damperinin otomatik açılıp kapatılmasını sağlayan bir damper motoru kullanılmıştır. Damper motoru bir higrostatla kontrol edilecek ve uygun nem değerleri bu sayede kontrol edilebilecektir. Tasarımı yapılan GENKK'nın şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.





Şekil 4.1. Güneş enerjili nem kontrollü kurutucu (GENKK).

## 4.2. DENEY SİSTEMİNİN İMALATI

Sistem temel olarak; güneşten sağladığı ısıyı kurutucuya aktaran ısı borulu güneş kolektörü ve kurutma işleminin gerçekleştiği kurutucu kabin olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Bu iki ana bölüm Şekil 4.1’de görülmektedir.

### 4.2.1. Isı Borulu Güneş Kolektörü

Isı borulu güneş kolektörü, kurutma havası için gerekli ısı enerjisinin sağlandığı ve bu enerjinin kurutma ünitesine aktarıldığı sistemdir. Sistemde kullanılan ısı borulu kolektör,  $0.54 \text{ m}^2$  yüzey alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kolektörde 15 mm çapında on adet ısı borusu kullanılmış ve kazanılan ısı miktarını arttırmak için her bir ısı borusuna kanatçıklar monte edilmiştir. İmal edilen kanatçıklı ısı boruları Şekil 4.2 ve 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kanatçıklı ısı boruları



Şekil 4.3. Kullanılan kolektör ve ısı boruları

Sistemde kullanılan kolektör ısı borulu düzlemsel güneş kolektörü olup toplam 0.7 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Kolektörün imalinde, 10 adet 120 cm uzunluğunda bakır malzemeden ısı boruları hazırlanmıştır. Isı borularının çalışma sıvısı etanol olup yerçekimi etkisi esaslı çalışmaktadırlar. Hazırlanan ısı boruları 0.2 mm kalınlığında ve mat siyah şasi boyası ile boyanmış emici plakalar üzerine direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Daha sonra taban ve yan yüzeyleri 5'er cm cam yünü ile yalıtılmış ve ahşap malzemeden imal edilen kasa içerisine yerleştirilerek üzeri 4 mm

kalınlığında cam ile kaplanmıştır. Isı borularının uç kısımları (Kondenser) üzerine ısı kanatçıkları yerleştirilerek kurutucu kabin içerisinde kalacak biçimde montajı yapılmıştır.

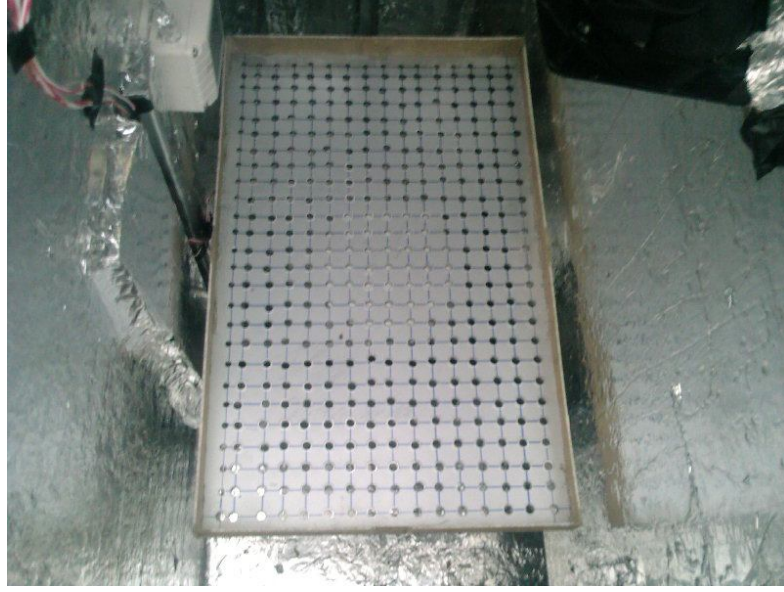


Şekil 4.4. Isı borulu kollektör

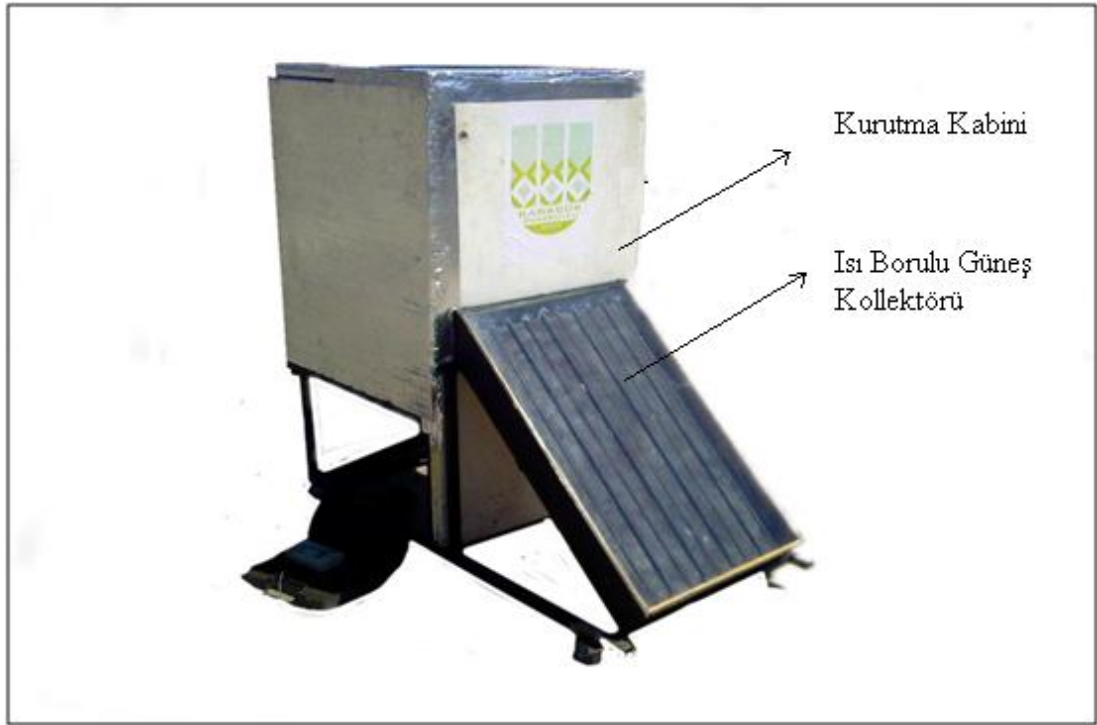
#### **4.2.2. Kurutma Kabini**

Materyallerin kurutulması amacıyla tasarlanan kabin tip kurutucu, 1 m yüksekliğinde ve yine 1 m genişliğinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Dış çevresi ahşap malzeme ile imal edilen kurutucu kabinde, ısı kaybının önlenmesi için kabinin çevresi Ekstrüde Polistren ile yalıtılmıştır.

Kurutucuda ürünlerin kurutulduğu raf, alüminyum malzemeden yapılmış olup hava geçişini sağlayabilmek için belirli aralıklarla delikler açılmıştır. Ürünlerde meydana gelen anlık ağırlık kaybının tespiti için raf altında bir ağırlık ölçer (load cell) tasarlanmıştır. Şekil 4.5'te kurutucuda kullanılan raf ve kurutma ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kurutucu içerisinde kullanılan raf



Şekil 4.6. Güneş enerjili nem kontrollü kurutucu

### 4.2.3. Ölçüm Cihazlarının Tanımı

Sistemde kurutma verilerinin belirlenebilmesi için; kurutma havasının bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, dış ortam bağıl nemi ve dış ortam rüzgar hızı ölçülmüştür.

#### 4.2.3.1. Nem Ölçümleri

Kurutma işlemlerinde özellikle kurutucu içerisindeki bağıl nem miktarının bilinmesi ve kontrol altında tutulması büyük bir öneme taşımaktadır. Kurutma kabindeki kurutma havasının bağıl neminin ölçülmesi için Lae Electronic firmasına ait HT2W duvar tipi nem ölçer kullanılmıştır. Şekil 4.7’de nem ölçerinin (HT2W) Fotoğrafi ve Çizelge 4.1’de teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Kullanılan nem sensörü (HT2W)

Çizelge 4.1. Nem sensörünün (HT2W) teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	%0 - %100 bağıl nem
Hassasiyet	±%5 bağıl nem (%25 - %75 bağıl nem)
Çalışma sıcaklığı	0 – 75 °C (sensör), 0 – 50 °C (Elektronik)
Çıkış sinyali	0 – 1 Vdc
Besleme	12 Vdc – 0,2W

Kurutma havasının bağıl neminin okunması ve klape motorunun belirlenen nem değerlerinde çalışabilmesi amacıyla nem sensöründen aldığı bağıl nem miktarını elektrik sinyallerine dönüştürerek otomatik kontrol yapabilen, dijital bir higrostat kullanılmıştır. Şekil 4.8’de Lae Electronic firmasına ait LTR-5 model higrostatın görüntüsü ve Çizelge 4.2’de teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Çalışmada kullanılan higrostat (LTR 5).

Çizelge 4.2. Higrostatın (LTR 5) teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	(-50)-(+120) °C
Çözünürlük	0.1/1 °C, °F
Sapma	NTC10K: <±0,3°C (-40 °C – 70 °C) PTC1000: <±0,5°C (-50 °C – 120 °C)
Besleme	230 V, ±10%, 50 – 60 Hz, 3W

#### 4.2.3.2. Sıcaklık Ölçümleri

Kurutma uygulamalarında sıcaklık çok önemli bir etkidir. Özellikle kurutma havasının sıcaklığının tespiti, kurutma özelliklerinin belirlenmesinde hayati bir öneme sahiptir. Çalışmada dış hava sıcaklıklarının ve bağıl neminin ölçülmesi için Testo firmasına ait 635 model Termohigrometre kullanılmıştır. Şekil 4.9’da cihazın görüntüsü ve Çizelge 4.3’te cihaza ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan termohigrometre (Testo - 635).

Çizelge 4.3. Termohigrometre (Testo - 635) teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	%0 - %100 Bağıl nem, (- 50) – 150 °C Sıcaklık
Ölçüm hassasiyeti	%0 - %100 Bağıl nemde $\pm 0,3$ ve (- 50) – 150 °C Sıcaklıkta $\pm 0,5$
Mutlak basınç	0 – 2000 hPa (mbar)
Rezolüsyon	%0.1RH 0.1°C (-50 ile +200°C arasında) 1°C ( +200.1 ile +1000°C arasında) 0,1 hPa(mbar)



#### 4.2.3.3. Ağırlık Ölçümleri

Kurutulan ürünlerde meydana gelen anlık kütle değişimi kurutma işleminin temelini oluşturmaktadır. Bu kütle değişiminin tam olarak belirlenmesi, yapılan hesaplamaların doğruluğu açısından son derece önemlidir.

Çalışmada meydana gelen anlık kütle değişiminin belirlenmesi amacıyla, Mettler Toledo marka, Excellence XS6002S model, 0,01 gram hassasiyette ölçüm yapabilen dijital terazi kullanılmıştır

#### 4.2.3.4. Su Aktivitesi Ölçümleri

Bir gıdanın su aktivitesi, onun mikrobiyolojik veya kimyasal-biyokimyasal yollarla bozularak kalitesi kaybetmesi üzerinde rol oynayan önemli bir etkidir.

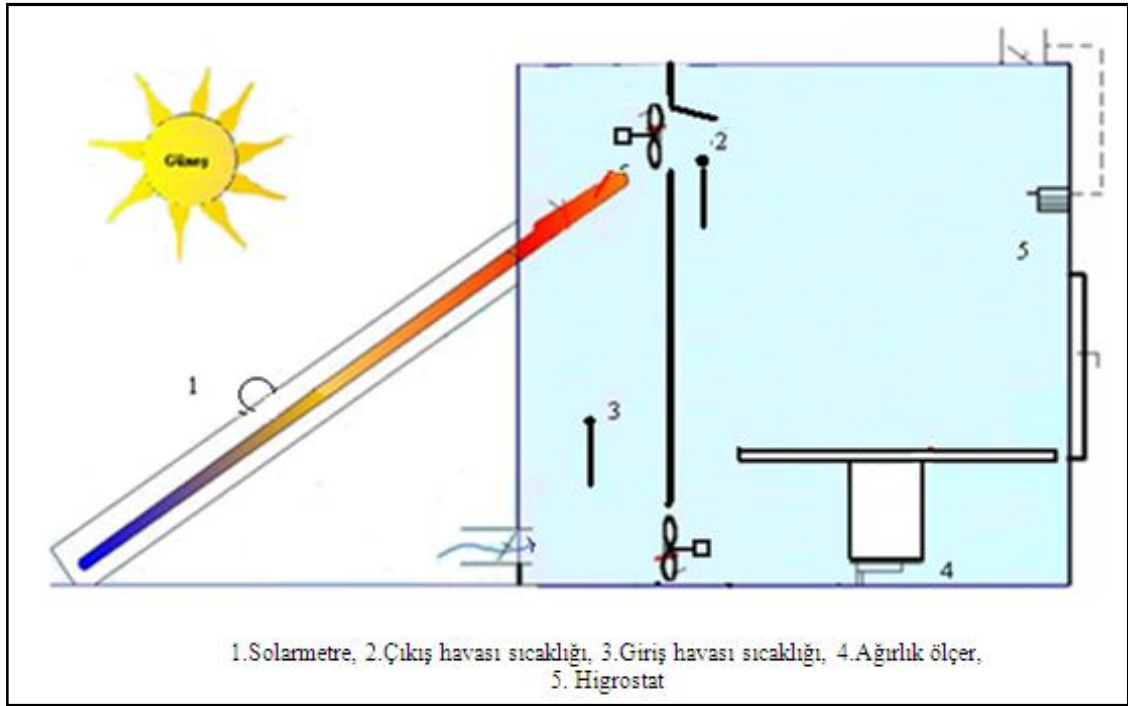
Ürünlerde meydana gelen su aktivitesi değerleri, Testo firmasına ait 650 model su aktivitesi ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 4.10'da bu cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.10. Çalışmada kullanılan su aktivitesi ölçüm cihazı



Sistemde kullanılan ölçüm aletlerinin bağlantıları Şekil 4.11’de şekilde gösterilmiştir



Şekil 4.11. Ölçü Aletleri ve Bağlantıları

Çizelge 4.4. Ölçüm ve Kontrol Cihazlarının Özellikleri

Kullanılan Cihaz	Özellikleri
Dijital Tartı	Mettler Toledo, Excellence XS6002S model, en yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti 0,01g
Hava Hızı ve Sıcaklık Ölçüm Cihazı	Testo, sıcaklık -20,+70°C, hız 0-20 m/s ölçüm hassasiyeti 0,01 m/s - 0,1°C heated wire - NTC sensör.
Sıcaklık ve Nemölçer	Testo, 635 model, 0-100% bağıl nemde $\pm 0,3$ ölçüm hassasiyeti -50,+150°C sıcaklıkta $\pm 0,5$ ölçüm hassasiyeti
Solarmetre	Haenni marka -130 model, en yüksek ölçülebilecek değer 1500 W/m <sup>2</sup> , ölçüm hassasiyeti $\pm \% 1,5$
Higrostat	Lae firmasına ait LTR 5 model, -50,+150°C ölçüm sıcaklığı, 0-100% bağıl nem

## BÖLÜM 5

### TEORİK ANALİZ

#### 5.1. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE’NİN BAŞLANGIÇ NEM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Tarım ürünlerinin tam kuru kütlelerinin, bir başka ifade ile içerisindeki nem miktarının bulunmasında birçok metot olmasına karşın en doğru ve kesin sonuç veren metot fırında kurutma metodudur. Ağırlık değişimine göre ürünlerdeki nem miktarının belirlenebilmesi için tam kuru ağırlıklarının belirlenmesi gerekir. Kurutma işlemine başlamadan önce ürünler (Biberiye, Maydanoz ve Nane) sırayla 110° C’de sabit tutulan bir fırında belirli aralıklarla ağırlık ölçümleri yapılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda ürünler tam kuru kabul edilir [1].

Ürünlerde kuru esasa göre hesaplanan su miktarı Eşitlik 5.1 ile hesaplanabilir:

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

Ürünlerde yaş esasa göre hesaplanan su miktarı eşitlik 5.2 ile hesaplanabilir.

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

## 5.2. KURUMA SÜRESİNCE ÜRÜNDEKİ NEM ORANININ DEĞİŞİMİ

Ayrılabilir nem oranı, kurutma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranını belirtmektedir [1].

$$NO = \frac{Y_A - K_A}{M_0 - K_A} \quad (5.3)$$

## 5.3. ÖZGÜL NEM ÇEKME ORANI (ÖNÇÖ)

Kurutulan üründen 1 gr nem kaldırmak için harcanması gereken enerjidir. Kurutma işlemlerinin en önemli verim etkinliği olan özgül nem çekme oranı (SMER) olarak tanımlanan bu ifade Eşitlik 5.4'te verilmiştir [1].

$$\text{ÖNÇÖ} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_f} \quad (5.4)$$

## 5.4. NANE, MAYDANOZ VE BİBERİYE'NİN KURUTMA SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

Otsu bitkilerin kurutma süresi tam olarak hesaplanamayan birçok faktöre bağlıdır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Ürünlerin başlangıç nemi ne kadar yüksek, sonuç rutubeti ne kadar düşükse kurutma süresi o kadar uzun olmaktadır.
- Kurutucu içerisindeki malzeme miktarının artması ile birlikte kurutma süresi de doğru orantılı olarak artmaktadır.
- Kurutma havası sıcaklığındaki artış ile birlikte ürünlerinden dışarıya doğru olan su akışı arttığından kurutma süresi de kısalmaktadır.

- Kurutma havasının hızı arttıkça doğru orantılı olarak kuruma hızı artar ve ters orantılı olarak kurutma süresi kısalmaktadır.
- Kurutma fırınının yapısı, fanların yeri, ısıtma şekli, nemlendirme düzeneği ve havalandırma gibi teknik donanımın kurutma süresi üzerine dolaylı olarak etkisi bulunmaktadır.
- Uygulanan kurutma yöntemi kurutma süresini doğrudan etkilemektedir. Nem yoğunlaştırma ile kurutmada süre çok uzun, vakumlu kurutmada ise kısadır [21].

## 5.5. ENERJİ ANALİZİ

Kuru hava için kütle korunumu;

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (5.5)$$

hava ile taşınan su buharı için kütle korunumu;

$$\sum (\dot{m}_{wi} - \dot{m}_{mp}) = \sum \dot{m}_{wo} \quad (5.6)$$

ya da,

$$\sum (\dot{m}_{ia} \cdot \omega_i + \dot{m}_{mp}) = \sum \dot{m}_{oa} \cdot \omega_o \quad (5.7)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Genel enerji korunumu denklemi;

$$\dot{Q}_{sc} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{ia} \cdot (h_{oa} - h_{ia}) \quad (5.8)$$

kurutucu içerisinde buharlaşma süresince enerji miktarı;

$$\dot{Q}_{sc} = \dot{m}_a \cdot (h_{ia} - h_{oa}) \quad (5.9)$$

kollektörden kazanılan enerji ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir;

$$\dot{Q}_{sc} = \dot{m}_{ia} \cdot C_{p,air} \cdot (T_{ia} - T_{oa}) \quad (5.10)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (5.11)$$

Eşitlikleri ile belirlenir. Ve

$$\dot{W} = \dot{m}_a \cdot (h_{ia} - h_{oa}) - [\dot{m}_a \cdot (h_{fg} - h_{fs})] \quad (5.12)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada “ $\dot{m}_{ia}$ ”, havanın kütleli debisi (kg/s), “ $C_p$ ”, havanın özgül ısı (kJ/kg°C), “ $\dot{V}_i$ ”, havanın hacimsel debisi (m<sup>3</sup>/s), “ $\rho_{ia}$ ”, havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>), “ $T_{ia}$ ” ve “ $T_{aa}$ ”, sırasıyla kollektöre giren ve çıkan ortalama sıcaklıklar (°C), “ $h$ ” entalpi (kJ/kg) olarak tanımlanır.

## 5.6. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCUNUN VERİMİ

Güneş enerjili kurutucudan elde edilecek verim Eşitlik 5.13 kullanılarak hesaplanabilir [1].

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{sc}}{A \cdot I_{TOP}} \quad (5.13)$$

Eşitlikte, “ $\dot{Q}_{sc}$ ”, kollektörden kazanılan enerji (W), “ $A$ ”, kollektörün toplam yüzey alanı (m<sup>2</sup>), “ $I_{TOP}$ ”, kollektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımından elde edilen enerji (Ws/m<sup>2</sup>) olarak tanımlanır.

## 5.7. SU AKTİVİTESİ DEĞERLERİ

Gıda içerisindeki su oranı bulunduğu çevre havası bağıl nemi ile dengeye ulaştığında, çevre havası bağıl neminin 100'e bölünmesi ile gıdaya ait mevcut su aktivitesi ( $a_w$ ) bulunmuş olur ve Eşitlik 5.14 ile gösterilebilir [27].

$$a_w = \frac{CBN}{100} \quad (5.14)$$

Çizelge 5.1'de bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bazı toksin maddelerin oluşumu için gerekli minimum su aktivitesi değerleri [27].

Oluşturulan mikotoksinler	Küfler	Minimum su aktivitesi değerleri ( $a_w$ )	
		Faaliyet için	Toksin üretimi için
Aflatoksin	Aspergillus flavus	0,82	0,83-0,87
	A. parasiticus	0,82	0,87
Ochratoksin	A. ochraceus	0,77	0,85
	Penicillium cyclopium	0,82-0,85	0,87-0,90
Patulin	P. expansum	0,81	0,99
	P. patulum	0,81	0,95
Stachybotryn	Stachybotrys altra	0,94	0,94

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ANALİZ

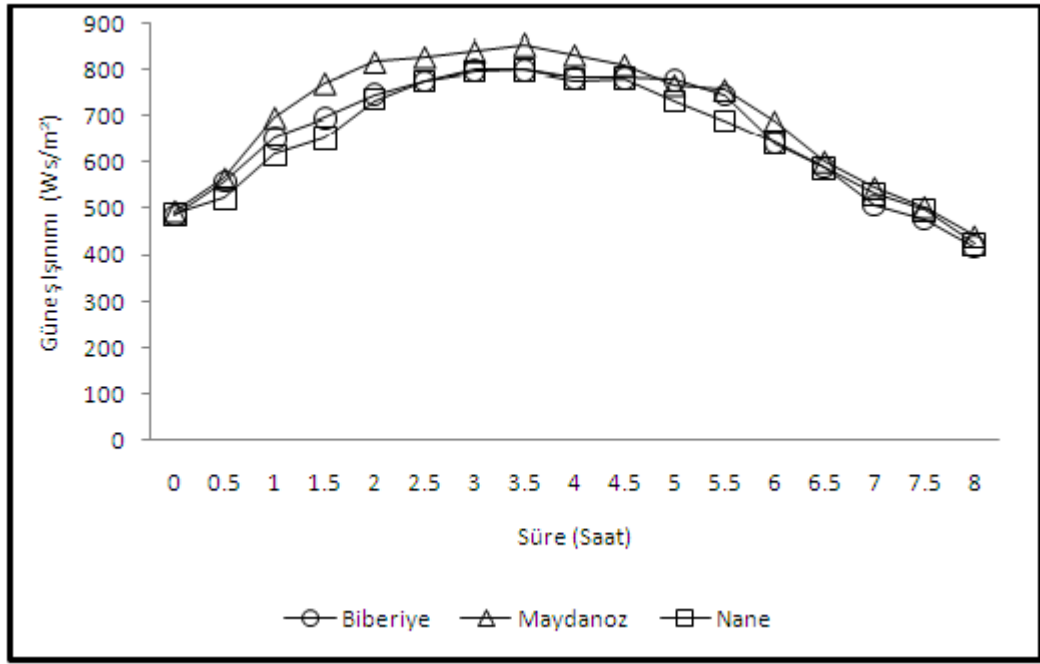
#### 6.1. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

GENKK'da Nane, Maydanoz ve Biberiye kurutulmasına ait deneyler her bir ürün için bir gün olmak koşuluyla üç günde tamamlanmıştır. Eşit başlangıç ağırlıklarına sahip (100gr) Nane, Maydanoz ve Biberiye, 09:00 ve 17:00 saatleri arasında 8 saat boyunca kurutulmuşlardır. Deneylerde kurutulacak ürünlerde meydana gelen kütle değişimleri, Nem içeriği değişimleri, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem miktarları gibi veriler izlenerek kaydedilmiş ve bu veriler analiz edilerek ürünlerin kuruma sisteminin kurutma özellikleri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Kurutma işlemine başlanmadan önce kurutulacak ürünlerin başlangıç nem miktarlarının bilinmesi gerekir. Bu değer, kütle değişimi yöntemine göre belirlenmiştir. Başlangıç nem miktarları, ürünlerin 110°C'de sabit tutulan bir fırında (Etüv) belirli aralıklarla ağırlık ölçümleri yapılarak kurutulmasıyla tespit edilmiştir. Bu ölçümlerde birbirini izleyen 2 ölçüm sonunda ağırlık değişiminin % 1'den az olması durumunda ürünler tam kuru kabul edilmiştir. Başlangıç nem miktarları Nane, Maydanoz ve Biberiye için sırasıyla 5,66 g su/g kuru madde, 7,33 g su/g kuru madde ve 2,7 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

##### 6.1.1. Güneş Işınımı Değerleri

Deneylerin gerçekleştirildiği günlere ait kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı değerleri 30 dakika arayla ölçülmüş ve Şekil 6.1'de verilmiştir.

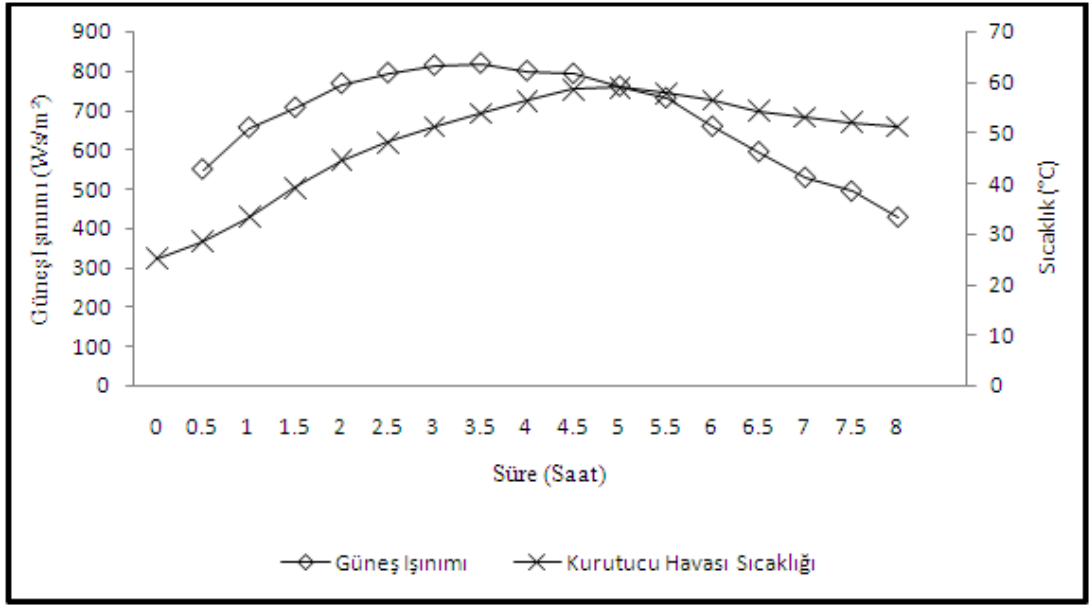


Şekil 6.1. Güneş ışıınımlı değerleri

Güneş ışıınımlı değerleri, kurutma ortamı sıcaklıkları ile benzer bir eğilim göstermektedir. Bunun nedeni birim alana düşen güneş ışıınımlı miktarının artmasıyla kollektörden kurutma ortamına aktarılan enerjinin artmasıdır. Güneş ışıınımlı miktarı her bir deney için sabah saatlerinden itibaren artmaya başlamış, öğle saatlerinde en yüksek değerine ulaşmış, akşam saatlerine doğru ise güneş ışıınımlıların dünyaya yatay olarak gelmeye başlaması ile birlikte azalma eğilimi göstermiştir.

Deneylerin yapıldığı günlere ait ortalama güneş ışıınımlı ve kurutma havası sıcaklıklarına ilişkin grafik Şekil 6.2’de verilmiştir.



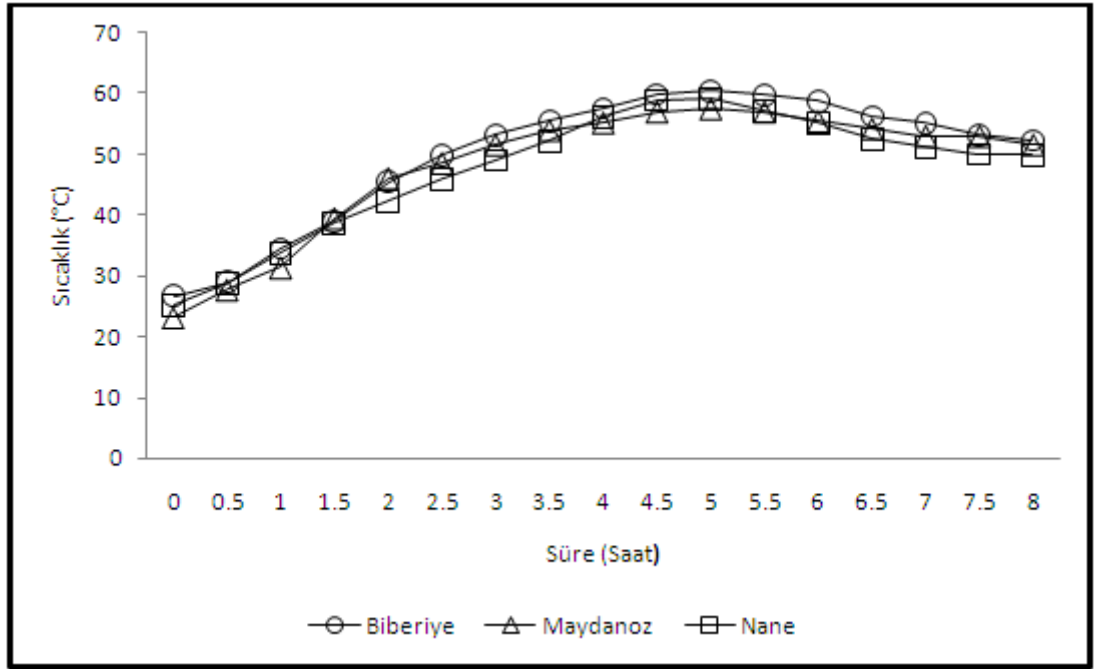


Şekil 6.2. Deney yapılan günlere ait ortalama güneş ışınımı değerleri ve kurutma havası sıcaklıkları

Kurutma havası sıcaklığı, güneş ışınım değerlerine paralel olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle güneş ışınımın arttığı saatlerde kurutma havası sıcaklığının arttığı, güneş ışınımın azaldığı akşam saatlerinde ise sıcaklığın azaldığı gözlemlenmektedir.

### 6.1.2. Kurutma Havası Sıcaklıkları

Kurutma havasının sıcaklığı, kurutma işlemini etkileyen en önemli faktördür. Kurutucu içerisindeki havanın sıcaklığı arttıkça üründen uzaklaşan nem miktarı artacak ve bu sayede kurutma süresi kısalmaktadır. Deneyler boyunca kurutucu içerisindeki hava sıcaklıkları 30 dakika ara ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Deneylere ait kurutma havası sıcaklıkları Şekil 6.3'te verilmiştir.

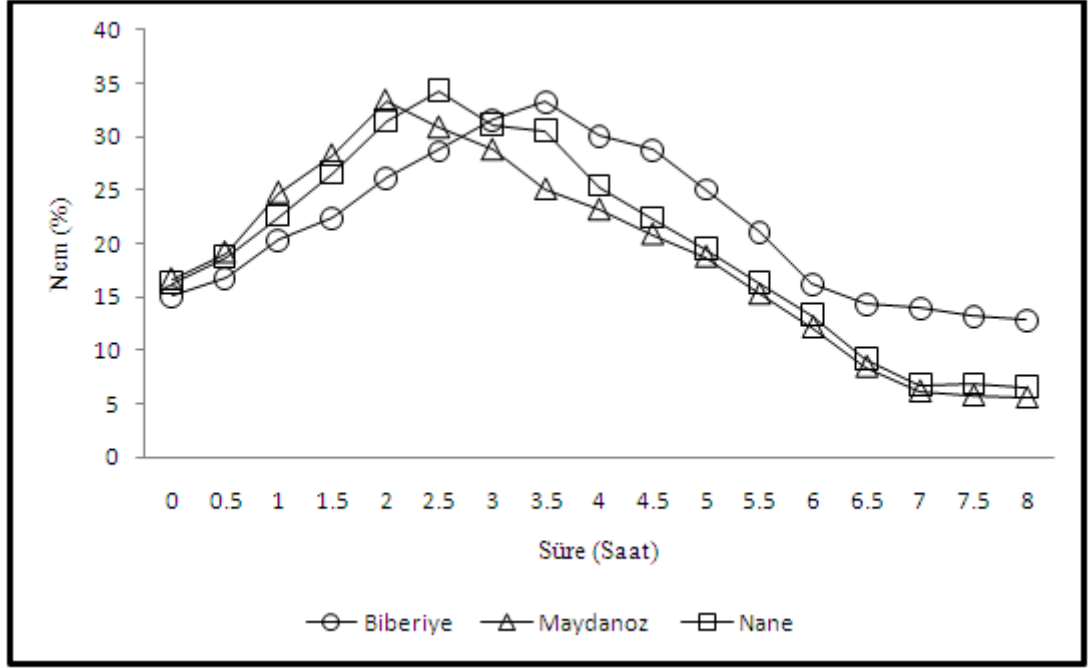


Şekil 6.3. Zamana göre kurutma havası sıcaklıkları

Kurutma havası sıcaklıkları deney yapılan günler boyunca benzer bir değişim göstermekle beraber özellikle Biberiye kurutma deneyinde en yüksek değere ulaşılmış ve kurutma havası sıcaklığı 61°C olarak belirlenmiştir. Deneylerin 5. saatinden itibaren güneş ışınım miktarının azalmasıyla kollektörden kurutucuya aktarılan enerji azalmış ve kurutma havası sıcaklığı düşmeye başlamıştır.

### 6.1.3. Kurutucu Ortam Bağlı Nem Değerleri

Üründen kurutma havasına aktarılan nem ile birlikte bağlı nemde artmıştır. Ürünlerdeki nem azaldıkça ve kurutma havası sıcaklığı arttıkça kurutmanın devamında bağlı nemde azalmıştır. Bu ilişki Şekil 6.4'te görülmektedir.

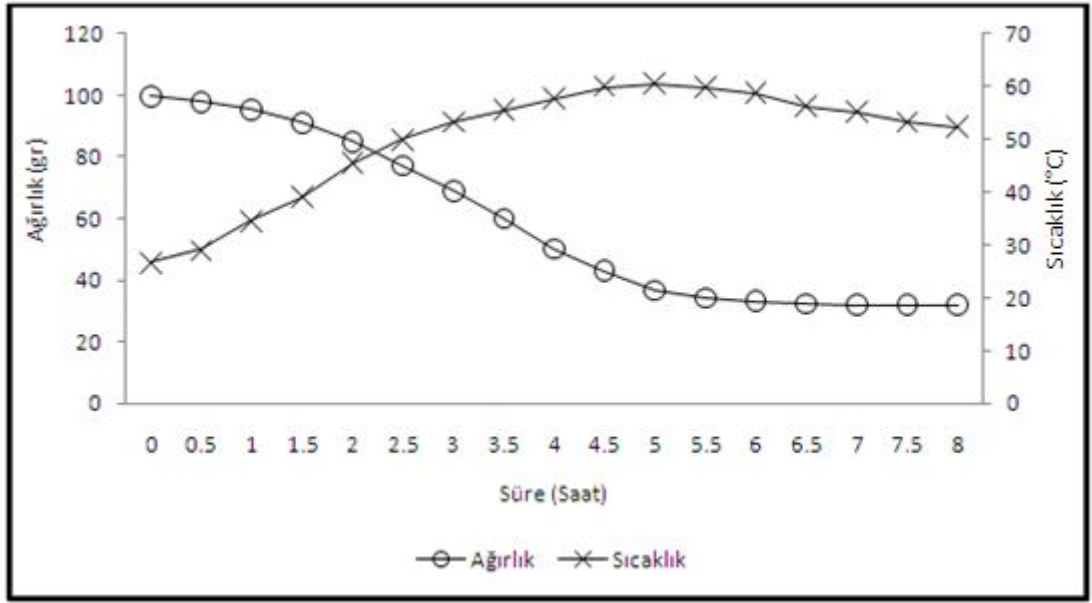


Şekil 6.4. Kurutucu havası bağıl nem değerleri

Deneyler sırasında %35 üst set değerine ayarlanan higrostat, kurutucu içerisindeki havanın bağıl nemi ayar değerine ulaştığında kanal damperini açarak bağıl nemi ve sıcaklığı yükselen havayı dışarı atmıştır. Higrostatın ayarlandığı alt ayar noktası olan %30 kurutucu bağıl nemine gelerek higrostat kanal damperini kapatmıştır.

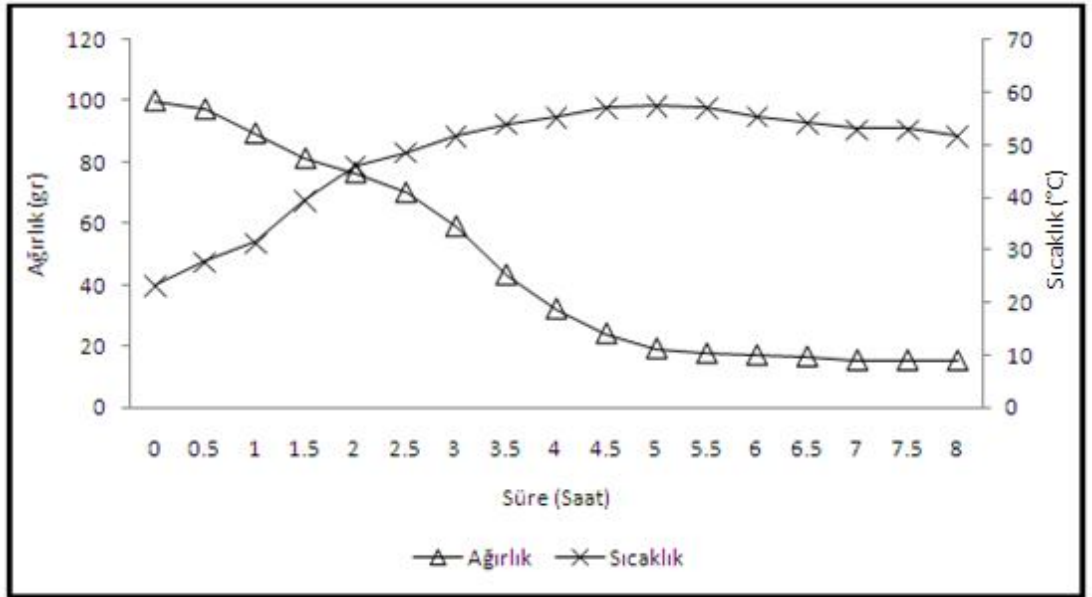
#### 6.1.4. Ürünlerde Meydana Gelen Ağırlık Değişimi

Kurutulan ürünlerde meydana gelen zamana göre ağırlık değişimi; güneş ışınımı, kurutma sıcaklığı, ürünlerin başlangıç nem oranı gibi birçok değişkenin etkisine göre ürünler arasında farklılık göstermektedir.



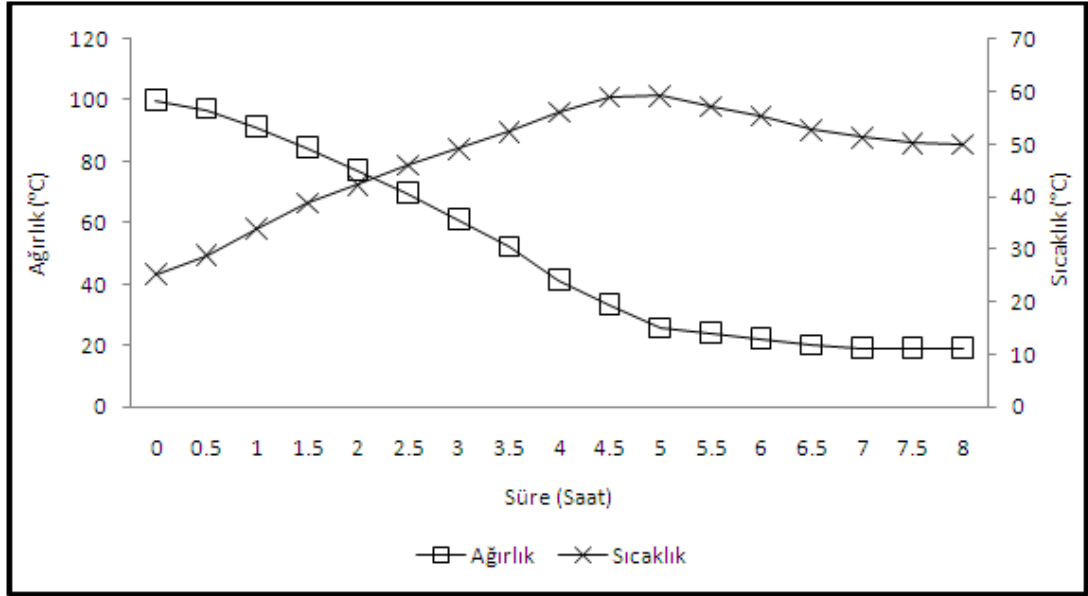
Şekil 6.5. Biberiye için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi

Şekil 6.5'te Biberiye kurutulması deneyine ait zamana göre ağırlık ve sıcaklık değişim grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde, özellikle kurutucu sıcaklığı artışıyla beraber üründe meydana gelen ağırlık değişiminin hızlı bir biçimde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Nane ve Maydanoz'a göre düşük bir başlangıç nemine sahip olan Biberiye'nin kuruma işlemi en yüksek ağırlıkta sonlanmıştır.



Şekil 6.6. Maydanoz için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi

Şekil 6.6’da verilen Maydanoz kurutulmasına ait deney sonuçlarından elde edilen grafik incelendiğinde, güneş ışınımının öğle saatlerinde artmasıyla beraber kurutucu içerisindeki sıcaklığın yükseldiği, bu durumun üründen kalkan nem miktarını arttırdığı ve dolayısıyla ağırlığının zamana göre azaldığı görülmektedir.

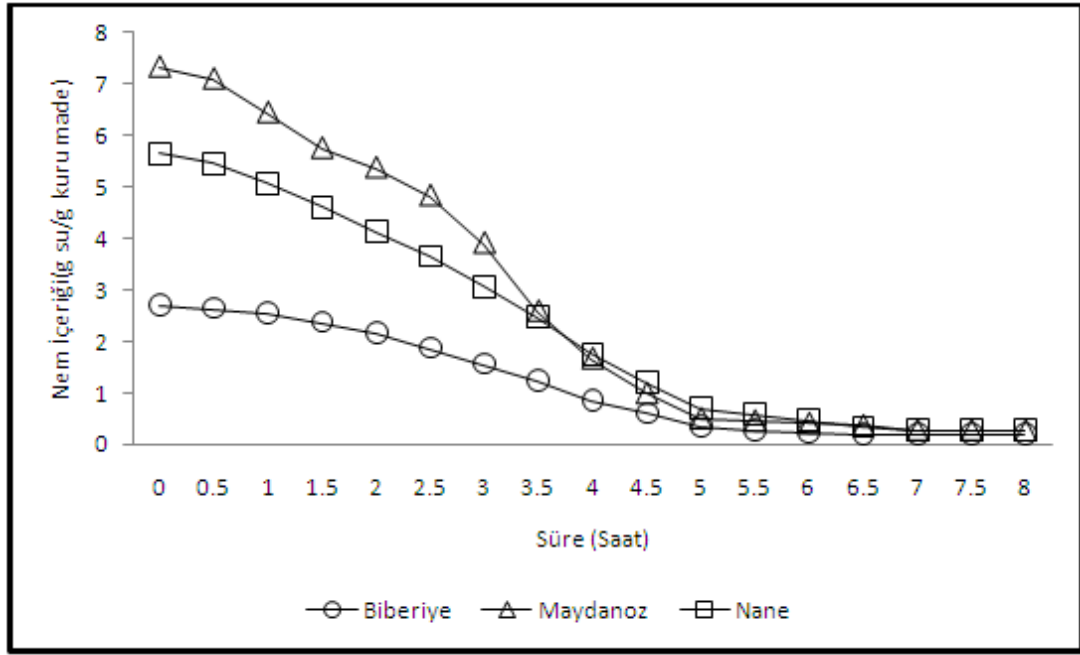


Şekil 6.7. Nane için zamana göre sıcaklık ve ağırlık değişimi

Şekil 6.7’de Nane için zamana göre sıcaklık ve kütle değişimine ilişkin grafik verilmiştir. Grafik, Biberiye ve Maydanoz kurutulması deneylerinde elde edilen veriler ile oluşturulan grafiklerle benzer bir eğilim göstermektedir.

#### 6.1.5. Ürünlerde Meydana Gelen Nem İçeriği Değişimi

Kuru baza göre ürünlerde meydana gelen nem içeriği değişimi Eşitlik 5.2’den hesaplanmış ve Şekil 6.8’de grafiksel olarak verilmiştir.

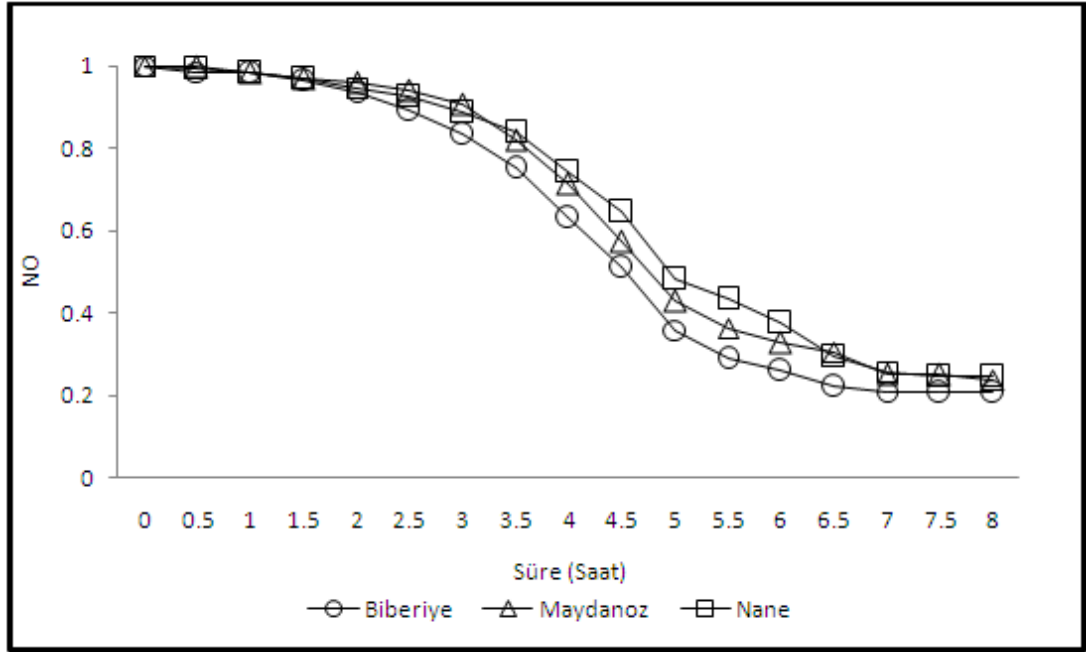


Şekil 6.8. Ürünlerde zamana göre meydana gelen nem içeriği değişimi

Nem içeriği değişimi, ürünlerin başlangıç nem miktarlarıyla orantılı olarak değişkenlik göstermekte olup özellikle kurutucu içerisindeki sıcaklığın artması neticesinde kurutma işleminin 2. ve 5. saatleri arasında hızlı bir değişim göstermektedir.

#### 6.1.6. Nem Oranı (NO)

Kurutma sırasında herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına oranı olarak tanımlanan ayrılabilir nem oranı, kurutulan her bir ürün için Eşitlik 5.3'ten hesaplanmış ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Nem oranının kurutma süresine bağlı olarak değişimi

Grafikten de görüleceği üzere başlangıç nem miktarları diğerlerine göre daha az olan Biberiye en düşük kuruma hızına sahip olmuştur. Ürünlerdeki serbest nemin alınmasından sonra kuruma sabit hızda kuruma periyodunda devam etmiştir.

#### 6.1.7. Ürünlere Ait Özgül Nem Çekme Oranları (ÖNÇO)

Kurutulan üründen 1 gr nem kaldırmak için harcanması gereken enerji olarak tanımlanan ÖNÇO, kurutma işlemlerinde kurutucu veriminin en önemli göstergesidir. Kurutulan ürünlere ait özgül nem çekme oranları Eşitlik 5.4 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.1' de verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, tam kuru ağırlık ve ÖNÇO değerleri arasında bir orantı olduğu görülmektedir. Tam kuru ağırlığı en fazla olan Biberiye en düşük Smer değerine sahip olmuştur. Tam kuru ağırlığı en düşük olan Maydanoz'un, kurutulma işleminde kurutucu içerisinde daha fazla nem kaldırılmış ve dolayısıyla ÖNÇO değeri daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.1. Ürünlerden hesaplanan ÖNÇO değerleri

Ürün	ÖNÇO (g/Wh)
Nane	0.2524
Maydanoz	0.2645
Biberiye	0.2129

#### 6.1.8. Ürünlere Ait Su Aktivitesi Değerleri ( $a_w$ )

Su aktivitesi değerleri her bir ürün için, Testo 650 model su aktivitesi ölçüm cihazı ile belirlenmiş ve sonuçlar çizelge 6.2’de verilmiştir.

Belirlenen su aktivitesi değerleri, Çizelge 4.5 referans alınarak yorumlanmıştır. Çizelgede belirtilen toksin madde ve küflerin oluşumu için gerekli minimum su aktivitesi değerleri incelendiğinde, kurutulan ürünlerden belirlenen su aktivitesi değerlerinin söz konusu maddelerin oluşumuna imkan vermeyecek değerlerde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.2. Ürünlerden ölçülen su aktivitesi değerleri

Ürün	Sıcaklık (°C)	Su aktivitesi ( $a_w$ )
Nane	24	0,561
Maydanoz	24	0,531
Biberiye	24	0,535

Şekil 6.10 - 6.12’de kurutulan ürünlerin kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri verilmiştir.





Şekil 6.10. Biberiye yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri



Şekil 6.11. Nane yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri



Şekil 6.12. Maydanoz yapraklarının kurutulmadan önce ve sonraki görüntüleri

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, nane, maydanoz ve biberiye kurutulması amacıyla Güneş enerjili nem kontrollü bir kurutucu tasarlanmış ve imal edilmiştir. GENKK, kurutma havasının bağıl nemini kontrol altında tutabilmesi sayesinde kurutma özelliğini kaybetmiş, yüksek bağıl neme sahip havanın, kurutma işlemi üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmaktadır.

Kurutulan ürünlerin deneyleri sırasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Kurutma sonrası yapılan analizler, dış ortamın kontrolsüz değişen hava şartlarında yapılan kurutmaya göre, kurutucuda yapılan ağırlık ölçümü ve nem kontrollü kurutmanın ürünün nem, renk ve koku kalitesini arttırdığını göstermiştir.
- GENKK'nun ilk yatırım ve işletme maliyetleri oldukça düşük, çalışması karmaşık değildir.
- GENKK özellikle yazın nem oranı düşük, kurutma süresi kısa olan ürünlerin kurutulmasında rahatlıkla kullanılabilir.
- Ürünlerin kurutulma süreleri incelendiğinde; bütün ürünlerin 8 saatlik periyotta kuruduğu gözlemlenmiş ve bu durumda GENKK'nun bir üstünlüğü olarak tespit edilmiştir.
- Kurutmada kuruma hızını etkileyen en önemli etkenlerden (Sıcaklık, hava hızı, nem miktarı vb) biri sıcaklıktır. Kurutucuda aynı havanın sirküle etmesi ve sistemden havanın sadece gerektiği zaman higrostat ve kanal damperi

kullanılarak atılması kurutma havası sıcaklığını 60°C kadar çıkarmıştır. Bu da sistem verimini yükselterek, ürünlerin kurutma sürelerini kısaltmıştır.

- Bağıl nemi artan kurutma havasının higrostat vasıtasıyla kanal damperi yardımı ile kurutucudan dışarıya atılıp, sisteme taze havanın alınması kurutma süresini azaltmıştır.
- Enerji kaynağı olarak Güneş enerjisinden yararlanılması, petrol ve türevi enerji kaynaklarının yüksek maliyetlerine kıyasla, kurutma maliyetini düşürmüştür. Bu açıdan bakıldığında, benzer çalışmalar için çok değişik tipte ve boyutlardaki güneş enerjili kurutucuların kullanılabileceği görülmüştür.
- GENKK'nun gece kurutma işlemine devam ettirememesi sistemin dezavantajı olarak gözükmektedir. Kurutma süresi uzun olan ürünler için sistemin ısı pompası ya da başka ek enerji kaynağı kullanılarak gece de kurutma işlemine devam ettirilebilmesi sağlanmalıdır.
- Kurutucuda herhangi bir sıcaklık kontrolü sağlanmadığından kurutulacak ürünün yüksek sıcaklıktan etkilenmeyen ürünler olması gerekmektedir. Ya da sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyen ürünler olmalıdır.
- Çalışmada başlangıç nem miktarları düşük olan ürünler kullanılmasından dolayı, bağıl nemi artan havayı dışarı atmak üzere tasarlanan kanal damperi seyrek olarak devreye girmiştir. Yüksek başlangıç nemine sahip ürünlerin kurutulması, kurutucu içerisindeki bağıl nem miktarını arttıracak ve bu durumda kanal damperi daha sık devreye girecektir.
- Ürünler sıcaklık kontrolü yapılmayan GENKK'da kurutulduğundan uygun kurutma sıcaklıklarının üzerinde kurutulmuştur. Bu yüzden yüksek sıcaklıktan kaynaklanan renk değişimleri gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Gürel, A. E., Yılmaz, S ve Ceylan, İ., “Güneş enerjili ve nem kontrollü kurutucunun deneysel analizi”, *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (2): 178-187 (2010).
2. Deniz, E., Gürel, A. E., Daşdemir, A ve Çamur, D., “Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness to owning cost of energy”, *Technology*, 12 (4): 283-290 (2009).
3. Ceylan, İ., “Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-4, (2002).
4. Sarsılmaz, C., “Güneş enerjisi destekli kayısı kurutma sistemi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 141-145, (1998).
5. Apaydın, N., “Aydın yöresinde incir kurutmada kullanılacak olan doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın, 2-18, (2007).
6. Eliçin, A. K ve Saçılık, K., “An experimental study for solar tunnel drying of apple”, *Journal of Agricultural Science*, 11(2): 207-211 (2005).
7. Pekmez, H., “Experimental study on drying of mint by solar tray and freeze dryers”, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep, 54-56 (2004).
8. Durmuş, A ve Kurtbaş, İ., “Yeni tasarlanan havalı kollektör yardımı ile Elazığ yöresi kayısılarının kurutulması ve kollektör verimi”, *Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Balıkesir, 401-408 (2002).
9. Yıldız, O. “Havuç ve pırasa kurutulmasında kurutma havası özelliklerinin kuruma karakteristiklerine etkisi”, *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Şanlıurfa, 412-417 (2001).
10. Yılmaz, S ve Yavuz, C., “Isı pompası destekli kurutma fırınlarında kurutma parametrelerinin kontrolü için alternatif bir yöntem”, *Teknoloji*, 9 (4): 237-244 (2006).
11. Koyuncu, T ve Pınar, Y., “Kırmızı biber için bir güneşli kurutucu tasarımı”, *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Şanlıurfa, 423-430 (2001).

12. Yılmaz, H. N., “Güneş pili tahrikli model bir güneşli kurutucunun geliştirilmesi ve kurutulmuş domates üretiminde teorik ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 30-35 (2000).
13. Akpınar, E. K ve Biçer, Y., “Siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1): 159-169 (2003).
14. Rossello, C., Simal, S., Berna, A and Mulet, A., “Simple mathematical model to predict the drying kinetics of potatoes”, *Journal of Agricultural Food Science*, 40 (12): 2374-2378 (1992).
15. Simal, S., Rosello, C., Berna, A and Mulet, A., “Heat and mass transfer model for potato drying”, *Chemical Engineering Science*, 49(22): 3739-3744 (1994).
16. Sarsavadia, P. N., Sawhney, R. L., Pangavhane, D. R and Singh, S. P., “Drying behaviour of brined onion slices” *Journal of Food Engineering*, 40(3): 219-226 (1999).
17. Jannot, Y and Coulibaly, Y., “The evaporative capacity as a performance index for a solar-drier air-heater”, *Solar Energy*, 63(6): 387-391 (1998).
18. Ivanova, D and Enimanev, Kr., Andonov, K., “Energy and economic effectiveness of a fruit and vegetable dryer”, *Energy Conversion and Management*, 44(5): 763-769 (2003).
19. Radivoje, M.T., “Small capacity mobile dryers for drying biological materials”, *Drying Technology*, 21(6): 1137-1150 (2003).
20. Hollick, J.C., “Commercial Scale Solar Drying”, *Renewable Energy*, 16(1-4): 714-719 (1999).
21. Ceylan, İ., “Programlanabilir (PLC) ısı pompalı kurutucunun tasarımı, imalatı ve kereste kurutma işleminde deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 44-46 (2007).
22. Yağcıoğlu, A., “Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, 536 (1999).
23. Öz E. S ve Uyarel A. Y., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, 189-190 (1980).
24. Türkiye İstatistik Kurumu “Bitkisel Üretim İstatistikleri”, [www.tuik.gov.tr/bitki](http://www.tuik.gov.tr/bitki), (2010).
25. Polatçı, A., Tarhan, S., “Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1):61-70 (2009).

26. Gülçimen, F., “Yeni tasarlanan havalı kollektör yardımı ile reyhan ve nane kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 18-22 (2008).
27. Ceylan, İ., Aktaş, M ve Doğan, H., “Isı pompalı kurutma fırınında elma kurutulması”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25(2): 9-14 (2005).

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Etem GÜREL, 1986 yılında İstanbul Bakırköy’de doğdu. İlk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. Bağcılar Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü’nden mezun oldu. 2004 yılında ZKÜ Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği Bölümü’ne girdi; 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl, KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Kocasinan Merkez Mah. Sakıp Sabancı Caddesi No:7/3  
Bahçelievler/İSTANBUL

Tel: (543) 429 25 43

E-posta: etemgurel@gmail.com