

**GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTUCU İLE  
SERA TİPİ KURUTUCUDA DEFNE YAPRAĞI  
KURUTULMASI VE KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Özge DEMİR**

**GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTUCU İLE SERA TİPİ  
KURUTUCUDA DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI VE KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Özge DEMİR**

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

**KARABÜK  
Mayıs 2012**

Özge DEMİR tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTUCU İLE SERA TİPİ KURUTUCUDA DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI VE KURUTMA PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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. 20/ 04/2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

.../...../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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.”*

Özge DEMİR

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GÜNEŞ ENERJİLİ ISI BORULU KURUTUCU İLE SERA TİPİ KURUTUCUDA DEFNE YAPRAĞI KURUTULMASI VE KURUTMA PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Özge DEMİR**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Sezayi YILMAZ**

**Mayıs 2012, 65 sayfa**

Bu tez çalışmasında güneş enerjili ısı borulu kurutucu ile güneş enerjili sera tipi kurutucuda eşit şartlarda defne yaprağı kurutulması ve kurutma parametrelerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan sistemlerde kurutulacak defne yapraklarının başlangıç nem miktarı 1,02 g su / g kuru madde olarak etüv fırınında saptanmıştır. güneş enerjili ısı borulu kurutucu için 28°C - 50°C sıcaklık aralığında ortalama 0,6 m/s hava hızı ile 26-27-28 Temmuz 2011 tarihlerinde yapılan kurutma işlemi sonucu ürün son nem miktarları sırasıyla 0,279 g su / g kuru madde - 0,285 g su / g kuru madde - 0,268 g su / g kuru madde değerine indirilmiştir. Güneş enerjili sera tipi kurutucu için ise 36°C – 52 °C sıcaklık aralığında ortalama 0,3 m/s hava hızı ile kurutma yapıldığında son nem miktarları sırasıyla 0,063 g su / g kuru madde - 0,055 g su / g kuru madde - 0,051 g su / g kuru madde olarak bulunmuştur. Sistemlerde kurutulan ürünlerin son nem miktarları incelendiğinde; güneş enerjili sera tipi kurutucu, güneş enerjili ısı borulu kurutucuya göre daha kısa sürede

kurutma standartlarına daha yakın bir kuruma sağlanmıştır. Kuru ürünlerin fiziksel özellikleri incelendiğinde güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kuruyan ürünlerin renk ve şekil özellikleri standart değerlere daha yakın olarak görölmektedir. Sistemlerin günlük ortalama ısı verimleri incelendiğinde güneş enerjili sera tipi kurutucuda %47.34, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda %44.67 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş enerjisi, ısı borulu kurutucu, sera tipi kurutucu, defne yaprağı

**Bilim Kodu :** 708.3.015

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **BAY LEAF DRYING THROUGH A SOLAR POWERED HEAT PIPED DRYER AND A GREENHOUSE TYPE DRYER AND COMPARISON OF THE DRYING PARAMETERS**

**Özge DEMİR**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mechanical Education Department**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof Dr. Sezayi YILMAZ**

**May 2012, 65 pages**

In this thesis study, it has been targeted that bay leaf is dried under equal conditions through a solar powered heat piped dryer and a solar powered greenhouse type dryer, and the drying parameters are compared. The initial moisture content of the bay leaves to be dried in the systems, whose design and production are made, have been determined as 1,02 water/g dry matter in the drying oven. As a result of the drying operation performed on the dates of July 26-27-28, 2011 through a solar powered heat piped dryer under the temperature range of 28°C - 50°C and an air speed of 0,6 m/s on average, the final moisture contents of the product have been reduced to the values 0,279 g water/g dry matter - 0,285 g water/g dry matter - 0,268 g water/g dry matter respectively. Whereas when drying was performed through a solar powered greenhouse type dryer under the temperature range of 36°C – 52 °C and an air speed of 0,3 m/s on average, the final moisture contents have been found out as 0,063

g water / g dry matter - 0,055 g water / g dry matter - 0,051 g water / g dry matter respectively. Upon examination of the final moisture contents of the products dried in the systems; the solar powered greenhouse type dryer provided a drying closer to the drying standards in a shorter time when compared to the solar powered heat piped dryer. Upon examination of the physical properties of the dry matters, it is evident that the color and shape properties of the products, dried through a solar powered heat piped dryer are closer to the standard values. Upon examination of the daily average thermal efficiencies of the systems, the dryer efficiencies have been calculated as 47.34 % for the solar powered greenhouse type dryer; whereas as 44.67 % for the solar powered heat piped dryer.

**Key Words** : Solar power, heat piped dryer, greenhouse type dryer, bay leaf

**Science Code** : 708.3.015



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Sezayi YILMAZ'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca kendi imal ettiği deney setinin tarafımdan deęiőtirilerek kullanımına izin veren Düzce Üniversitesi Düzce Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi Ali Etem GÜREL'e de teşekkür ederim.

Deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen eşim, Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi Özgür DEMİR'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	4
1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
BÖLÜM 2. ....	9
KURUTMA SİSTEMLERİ VE YÖNTEMLERİ .....	9
2.1. KONVEKSİYON TİPİ KURUTUCULAR.....	10
2.1.1. Kurutma Odaları .....	10
2.1.2. Kabin Tipi Kurutucular .....	10
2.1.3. Bantlı Kurutucular.....	10
2.1.4. Tünel Kurutucular .....	10
2.1.5. Döner Kurutucular .....	11
2.1.6. Düşey Silindirik Kurutucular.....	11
2.1.7. Sprey Kurutucular .....	11
2.1.8. Hava Süpürmeli Döner Kurutucular .....	11
2.1.9. Pnömatik Kurutucular .....	12
2.2. KONDÜKSİYON TİPİ KURUTUCULAR.....	12
2.2.1. Silindir Kurutucular .....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.2.2. Film Kurutucular.....	12
2.2.3. Vakum Kurutucular.....	12
2.2.4. Dondurularak Kurutma.....	13
2.3. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR VE SINIFLANDIRILMALARI.....	13
BÖLÜM 3. ....	17
3.1. DEFNE YAPRAĞININ ÖZELLİKLERİ VE KURUTMA PARAMETRELERİ.....	17
3.1.1. Defne Yaprağının Özellikleri .....	17
3.1.2. Defne Yaprağı Kurutma Parametreleri .....	19
3.2. DEFNE YAPRAĞI İLE İLGİLİ STANDARTLAR .....	20
3.3. TEORİK ANALİZ.....	21
3.3.1. Defne Yaprağının Başlangıç Nem Miktarının Belirlenmesi .....	21
3.3.2. Enerji Analizi.....	22
3.3.3. Güneş Enerjili Kurutucuların Isıl Verimi.....	25
BÖLÜM 4. ....	27
METERYAL VE METOT .....	27
4.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI .....	27
4.2. DENEY SİSTEMİNİN İMALATI.....	28
4.2.1. Güneş Enerjili Isı Borulu Kurutucu İmalatı .....	28
4.2.2. Sera Tipi Kurutucu İmalatı.....	30
4.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM NOKTALARI.....	31
4.4. METOT.....	32
BÖLÜM 5. ....	33
DENEYSSEL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME .....	33
5.1. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	33
5.1.1. Deney Sonuçları ve Değerlendirme .....	33
5.1.2. Ürünlerde Meydana Gelen Ağırlık Değişimi .....	36
5.1.3. Defne Yapraklarının Saatlik Nem Oranları.....	38
5.1.4. Sistem Verimleri .....	40

5.2. ÜRÜNLERDE MEYDANA GELEN FİZİKSEL DEĞİŞİKLİKLER.....	43
BÖLÜM 6. ....	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53
EK AÇIKLAMALAR A. PSİKROMETRİK DİYAGRAMLAR.....	54
EK AÇIKLAMALAR B. DENEY SONUÇLARI .....	58
EK AÇIKLAMALAR C. ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR .....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Kurutma sistem ve tesislerinin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.2. Tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılma yöntemleri .....	14
Şekil 2.3. Güneş Enerjili Kurutucuların Sınıflandırılması.....	15
Şekil 3.1. Defnenin Türkiye’deki yayılış alanları.....	17
Şekil 3.2. Defne bitkisinde yapraklar ve çiçek tomurcukları.....	18
Şekil 3.3. Çalışmanın sistematığıne ilişkin blok diyagram .....	20
Şekil 3.4. Sistemlerin enerji dengesi.....	22
Şekil 4.1. Kurutucular .....	28
Şekil 4.2. Isı borusunun yapısı.....	29
Şekil 4.3. Isı boruları .....	30
Şekil 4.4. Kurutma Fırınları .....	31
Şekil 4.5. Dene sistemlerinde ölçüm noktaları.....	32
Şekil 5.1. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (26 Temmuz 2011) .....	35
Şekil 5.2. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (27 Temmuz 2011) .....	35
Şekil 5.3. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (28 Temmuz 2011) .....	36
Şekil 5.4. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (26 Temmuz 2011) .....	37
Şekil 5.5. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (27 Temmuz 2011) .....	37
Şekil 5.6. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (28 Temmuz 2011) .....	38
Şekil 5.7. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (26 Temmuz 2011).....	39
Şekil 5.8. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (27 Temmuz 2011).....	39
Şekil 5.9. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (28 Temmuz 2011).....	39
Şekil 5.10. Saatlik performans değerleri (26 Temmuz 2011) .....	40
Şekil 5.11. Saatlik performans değerleri (27 Temmuz 2011) .....	42

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 5.12. Saatlik performans değerleri (28 Temmuz 2011) .....	43
Şekil 5.13. Ürünler.....	44
Şekil 5.14. Mikroskobik doku değişimi .....	44
Şekil 5.15. Kuru ürünler.....	45
Şekil EK. A. 1. Dış hava ve kurutucu havalarının psikrometrik diyagramda gösterilmesi (26 Temmuz 2011).....	55
Şekil EK. A. 2 Dış hava ve kurutucu havalarının psikrometrik diyagramda gösterilmesi (27 Temmuz 2011).....	56
Şekil EK. A. 3. Dış hava ve kurutucu havalarının psikrometrik diyagramda gösterilmesi (28 Temmuz 2011).....	57

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Kuzgunkaya E. H. defne kurutma deney verileri.....	7
Çizelge 5.1. Güneş enerjili sera tipi kurutucu için enerji ve verim hesaplamaları.....	41
Çizelge 5.2. Güneş enerjili ısı borulu kurutucu için enerji ve verim hesaplamaları...	41
Çizelge EK B.1. Deney sonuçları (26 Temmuz 2011) .....	59
Çizelge EK B.2. Deney sonuçları (27 Temmuz 2011) .....	60
Çizelge EK B.3. Deney sonuçları (28 Temmuz 2011) .....	61
Çizelge EK C.1. Ölçüm ve hesaplamalar (26 Temmuz 2011) .....	63
Çizelge EK C.2. Ölçüm ve hesaplamalar (27 Temmuz 2011) .....	64
Çizelge EK C.3. Ölçüm ve hesaplamalar (28 Temmuz 2011) .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$I_{ort}$ :	Saatlik ortalama ışıınım değeri ( $W/m^2$ )
$I_1$	İlk ışıınım değeri ( $W/m^2$ )
$I_2$ :	İkinci ışıınım değeri ( $W/m^2$ )
$A$ :	Kollektör yüzey alanı ( $m^2$ )
$\dot{Q}_g$ :	Sisteme giren enerji (kj/h)
$m_h$ :	Sistemlerde dolaşan kütlelel hava miktarı (kg/h)
$V$ :	Hava hızı (m/s)
$A$ :	Çıkış menfezi açıklık alanı ( $a * b$ ), ( $m^2$ ),
$\rho$ :	Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$c_p$ :	Özgöl ısı (kj/kg $^{\circ}C$ ),
$\Delta T$ :	Sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ ), ( $\Delta T = T_{\check{c}} - T_g$ )
$T_{\check{c}}$ :	Çıkış havası sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),
$T_g$ :	Giriş havası sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),
$\dot{Q}_{\check{c}}$ :	Sistemden çıkan enerji (kj/h)
$\Delta i$ :	Entalpi farkı ( $i_{\check{c}} - i_g$ ) (kj/kg)
$i_{\check{c}}$ :	Çıkış havasının entalpisi (kj/kg)
$i_g$ :	Giriş havasının entalpisi (kj/kg)
$U_L$ :	Kollektör toplam ısı geçirgenlik katsayısı (kj/m $^2$ h $^{\circ}C$ )
$A$ :	Toplam yüzey alanı ( $m^2$ )
$\Delta T$ :	Kollektör ve dış ortam sıcaklıkları farkı ( $^{\circ}C$ )
$\dot{Q}_{kollektör}$ :	Kollektörden olan ısı kayıpları (kj/h)
$n_s$ :	Saatlik sistem verimi (%)
$n_o$ :	Günlük sistem verimi (%)
$\sum \dot{Q}_{\check{c}}$ :	Sistemden çıkan günlük toplam enerji (kj/h)
$\sum \dot{Q}_g$ :	Sisteme giren günlük toplam enerji (kj/h)



## KISALTMALAR

YA: Ürün yaşı ağırlığı (g)

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

$NM_{KA}$  : Nem miktarı kuru ağırlık (g su / g kuru madde)

$NM_{YA}$  : Nem miktarı yaş ağırlık (g su / g yaş madde)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ülkemizin tıbbi aromatik bitkiler ihracatında, ilk sırayı kekik, ikinci sırayı ise kurutulmuş defne yaprağı almaktadır. Defne ikinci sırada gelmekle birlikte, dünya kuru defne yaprağı tüketiminin % 95'ini ülkemiz karşılamaktadır. Bu nedenle kurutulmuş defne yaprağı ihracatı güvenilir bir ticari potansiyele sahip olarak görülmektedir (Yağcıoğlu, 2001).

Kurutma, kurutulan ürün içinde sıvı halde bulunan nemin çeşitli yöntemlerle ürün içerisinden uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma, gıda, atık, endüstriyel ve kimyasal ürünler hatta mineraller için uygulanan bir işlemdir. Kurutma işleminin birçok farklı yöntemleri yüzyıllardır uygulanmaktadır. Bu farklı yöntemler sanayileşme sürecinde ciddi bir teknolojik gelişme göstermiş olsa da, kırsal kesimlerde halen doğal yöntemler kullanılmaktadır. Kurutma yaygın olarak organik gıda maddeleri için uygulanmakta olup, meyve, sebze, tahıl, kuruyemiş vb. gıda ürünleri üzerinde güvenle ve rahatlıkla uygulanabilen, ürünün hasat zamanından tüketiciye ulaşma zamanına kadar geçen sürede, üreticisine, pazarlamacısına ve tüketiciye çeşitli yararlar sağlayan bir işlemdir. Kurutma işleminin, ürünlerin erken hasat yapabilmesi, depolama alanından tasarruf sağlanması, raf ömrünün uzaması gibi konularda faydalı olduğu bilinmektedir. Direk güneş ışınımı altında sergi yapılarak kurutulan ürünler bakteri oluşumu, toz, kir, istenmeyen canlılarla temas açısından olumsuz sonuçlar vermektedir. Bu şekilde kurutulan ürünlerin yapısal özellikleri uluslararası sağlık kuruluşlarının kalite değerlerine uygun değildir. Kaliteli kuru ürün elde edilebilmesi enerji tüketiminin artışına neden olurken, bu tüketimin en aza indirilmesi veya aynı enerji ile daha fazla kuru ürün elde edilebilme çabası gün geçtikçe daha da önemli bir hal almaktadır.

Kurutma, karmaşık yapısıyla birçok bilim insanının uzun yıllardır ilgisini çekmiş ve hala da çekmeye devam etmektedir. Kurutma işleminde uzun yıllardan beri süregelen temel araştırma alanı; kurutma havası koşulları, kurutucu tipleri, enerji maliyeti ve gıda kalitesini etkileyen parametrelerin belirlenmesi olmuştur (Hussain, 2001).

Enerji verimliliği 1973 yılındaki küresel kriz sonrasında önem kazanmış üzerinde çalışılmaya değer bir kavram haline almıştır. Fosil yakıtlarda yaşanan dar boğazlar, azalan kaynak karşısında artan fiyatlar, insan hayatında her noktada kullanılan enerjii önemli bir hale getirmiştir. Ülkemiz birincil enerji kaynakları açısından dışa bağımlıdır. Petrol ve doğalgaz ihtiyacının büyük bölümünü dışarıdan satın almaktadır.

Dünyada yaşanacak bir enerji krizi sanayi kollarını, konut ve hizmetleri, ulaştırma ve ülkenin yaşam damarı olan tarımı olumsuz etkileyecektir. Ülkemiz insanları için enerji ve enerjiye bağlı tüketim kalemleri büyük bir bütçe kalemi haline gelmektedir. Ulaşımında çoğunlukla petrol ve türevleri kullanılırken ısınmada linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Yaşamın her alanında her zaman kullandığımız elektrik enerjisinin üretimi için yine büyük ölçüde fosil yakıt kullanılmaktadır. Fosil yakıtlara bu denli bağımlı enerji politikamız bu kaynakların büyük kısmının dış alımla elde edildiği gerçeği ile birleşince enerji kullanım oranı ve fiyatlandırılmasında söz sahibi olmamız imkansız bir hale gelmektedir. Bu şartlar dahilinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ülkemizde enerji ihtiyacının karşılanması açısından önemli bir yere sahiptir. Çok üretmek anlayışı, yerini enerji maliyetlerinin artması neticesinde üretileni verimli kullanma anlayışına terk ederken her alanda olduğu gibi kurutma alanında da enerji verimliliği, kurutma maliyetinin azaltılması noktasında önemli bir hal almıştır.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966 - 1982 yıllarında ölçülen güneşlenme

süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt Dairesi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, yılda 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir (Kamil, 2006).

Kurutma işlemlerinde ise zaman, enerji ve maliyet kavramları düşünüldüğünde kurutma işleminin, enerji tüketimi yönünden optimizasyonu zorunlu hale gelmektedir. Uygun teknolojilerin kullanımı sonucu önemli miktarda enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Kurutma sisteminin tasarlanmasında amaç, daha az enerji ile en kısa sürede, en kaliteli ürünün elde edilmesi olmalıdır (Ceylan, 2002).

Kurutma sistem tasarımı veya seçimi ulusal ekonomi için enerji bazında ne kadar önemli görülüyorsa kurutulmuş ürünün iç piyasada talep karşılayabilirliği hatta ihraç edilebilirliği de o derece önem arz etmektedir. Bu bağlamda aromatik bitkiler incelendiğinde kurutulmuş kekik ve defne yaprağının ülkemiz için ticari anlamda önemli olduğu görülecektir.

Son beş yıllık tıbbi ve aromatik bitkiler dışsatım değerleri incelendiğinde, dışsatımı yapılan kurutulmuş defne yaprağı miktar olarak kimyon, kekik, keçiboynuzu ve kapariden sonra en fazla dışsatımı yapılan beşinci bitkisel ürün konumundadır. 1999 yılında 3.783 ton ve 7.246 milyon \$'lık dışsatım değeri, yıllarla birlikte artmış ve 2003 yılında 5.099 ton ve 8.233 milyon \$ değerine ulaşmıştır. Defne yaprağı dışsatımı yapılan ülkelerin başında Hong Kong, ABD, Almanya ve Brezilya gelmektedir. 2001-2003 yıllarına ait dış ticaret verilerine göre ülkemizden yıllık ortalama 500 bin \$ değerinde defne uçucu yağı ihraç edilmektedir. Ayrıca, defne meyvelerinden sıkma veya suyla kaynatma yoluyla üretilen sabit yağ sabun yapımında kullanılmak üzere özellikle Arap ülkelerine ihraç edilmektedir. Tamamı doğal floradan toplanan defne yaprakları ve üretilen uçucu yağı ülkemizin ülkemiz açısından önemli bir yere sahip olmasına karşın, aşırı toplamalar, bazı yıllar fiyatların düşmesine ve aynı zamanda doğa tahribine neden olmaktadır. Bu nedenlerle,

toplamalar kontrollü yapılmalı ve uygun yörelere büyük tarımsal işletmeler kurulmalıdır (Özgüven vd., 2005).

### **1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI**

Çalışmada, son yıllarda yaygın kullanım alanı olan ve ticari değere sahip aromatik bitkilerden defne yapraklarının güneş enerjili yapay kurutucular ile kurutulması amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak kurutma işleminde farklı iki tip yapay kurutucu kullanılmaktadır. Kurutuculardan birisi güneş enerjili ısı borulu kurutma sistemi, diğeri sera tipi kurutucudur. Her iki kurutucuda da defne yaprakları standart değerlere ulaşmaya kadar kurutulacaktır. Çalışma kurutma sistemlerinde kurutma parametrelerinin (sıcaklık, nem, hava hızı, vb.) deneysel olarak incelenmesini, kurutma sürelerini ve sistemlerin verimlerinin mukayese edilmelerini kapsamaktadır.

### **1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Güneş enerjili kurutucular ve güneş enerjisi destekli kurutucularla ilgili son yıllarda oldukça önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların temeli enerji ekserjisi üzerine olmaktadır. Endüstrinin kurutma işlemlerine bakış açısı kurutma maliyeti ve kurutmada ürün kalitesini ön plana almaktadır. Bu nedenle kurutma maliyetini düşürmek temelini de ek enerji destekleri oluşturmaktadır. Ek enerjiler ise genelde alternatif enerji kaynaklarıdır. Kurutma işlemlerine uygulanabilecek en uygun alternatif enerji kaynağı güneş enerjisidir. Mevcut ise jeotermal enerji ve ısı pompası uygulamalarında kurutma işlemlerinde tercih edilen kaynak ve yöntemlerdir.

Günhan vd., defne yapraklarının kurutulmasının matematiksel modeli adlı çalışmalarında; defne yaprağı için laboratuvar ölçekli bir kurutucuda matematiksel modelleme yapılmıştır. Isı pompalı kurutucu kabini içinde kurutucunun kullanılabilir enerji etkinliğinin kurutma havası sıcaklığının artmasıyla yükseldiğini göstermiştir. Deneysel defne yaprağı 40 °C, 50 °C, 60 °C hava sıcaklığında ve % 5, 10, 15 bağıl nem oranlarında güneş altında kurutulmuştur. Daha önce ortaya koyulmuş olan 15 model birbiriyle karşılaştırılmış ve deney sonuçları da analiz edilerek yeni bir model ortaya konulduğu bildirilmiştir (Günhan vd., 2005).

Kuzgunkaya vd., Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulan toprak kaynaklı ısı pompalı kurutma sisteminde, Mart 2005'den Ağustos 2006'ya kadar ısıtma modunda ölçümler yapmışlardır. Kurutma havası sıcaklığının, kurutma prosesinin ekserji kayıpları, ekserji verimleri ve ekserjetik iyileştirme potansiyeli üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları özetleyecek olursak; kurutucunun ekserji verimlerinin, kurutma havası sıcaklığının yükselmesi ile arttığı, defne yaprakları, 40 °C ile 50 °C sıcaklık aralığında, % 16'dan % 19'a kadar değişen bağıl nemlerde ve 0,5 m/s kurutma havası hızında, 9 saatlik kuruma periyodu boyunca, başarılı bir şekilde kurutulduğu, kurutucunun ekserji veriminin, iki farklı yaklaşım kullanılarak belirlendiği. Bunlardan ilki, ürün ekserjisinin, ekserji girdisine oranına dayandırılırken, ikincisi ise, ürün/yakıt temeline göre hesaplandığı ve bu ekserji verimliliği değerlerinin, ilki için % 81,35 ile % 87,48 arasında, ikincisi içinse, % 9,11 ile % 15,48 arasında değiştiğinin bulunduğu ortaya koyulmuştur (Kuzgunkaya vd., 2006).

Demir vd., sıcak hava ile kurutulmuş defne yapraklarının matematiksel modellemesi ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi adlı çalışmalarında defne yaprakları (*Lauris nobilis L.*) 40 °C, 50 °C, 60 °C hava sıcaklığında ve % 5, 10, 15 bağıl nem oranında Güneş altında kurutulmuş; sıcak hava da kurutulmasıyla oluşan kalite değişikliği olup olmadığını görmek için de gölgelendirilmiştir. Sonuç olarak defne yaprakları için 60 °C hava sıcaklığında kuruma sırasında hiçbir önemli kalite kaybı olmadığı sonucuna varılmıştır (Demir vd., 2004).

Gürel, güneş enerjili, ısı borulu, nem kontrollü kurutucuda aromatik ürünlerin (nane, maydanoz, biberiye) kurutulması başlıklı çalışmada; güneş enerjili nem kontrollü bir kurutucunun tasarımını ve imalatını yapmıştır. 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 (Gürel, 2010).

Doğan, kurutmada güneş enerjisinden daha iyi faydalanabilmek için güneş kolektöründe ısı borusu kullanmıştır. Isı boruları ile Güneşten alınan enerji kurutma havasına aktarılmış, bu sıcak hava, kurutulmak istenilen materyalin üzerine salınmıştır. Kurutulmak istenen materyal bünyesindeki su, sıcak havanın etkisiyle buharlaştırılarak, kurutma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde kurutma olayı Güneşin direkt radyasyon etkisinden uzak, gölgede kurutulduğu için, ürün üzerinde, dışarıdaki serbest Güneşte kurutmada görülen bazı mahzurlar ortadan kalkmıştır. Ayrıca kuruma süresinin de dışarıdaki serbest kurutmaya göre kısaldığı tespit edilmiştir (Doğan, 1999).

Doğan, kendi tasarlayıp, imal ettiği dört ayrı tip hava ısıtma kolektörü (tabii dolaşimli düz kolektör, tabii dolaşimli boru ısıtmalı oval kolektör, kapalı sistem ısı borulu düz kolektör ve hava ön kurutmalı cebri sistem düz kolektör) aynı şartlarda deneyerek verimlerini ve kurumaya olan etkilerini karşılaştırmıştır. Kolektörlerin ısıtma yüzeyleri 1.0 m<sup>2</sup> olarak tasarlanmış ve hava debileri deney sırasında hava akış miktarına göre debi ölçerle (anemometre) tespit edilmiştir. Sözü edilen 45° kolektörlerin Güneşten aldıkları ısıyı havaya aktarma miktarları, kolektör çıkış havası sıcaklığı ölçülerek bulunmuştur. Yapılan deneyler neticesinde ön kurutmalı kolektörün havasının daha çabuk ısındığı tespit edilmiştir (Doğan, 2001).

Demir, sera tipi bir kurutucu içerisinde ve dış ortamda çekirdeksiz üzüm ve incir kurutmuştur. Kurutma öncesi çekirdeksiz üzümlerin bir kısmı K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve zeytinyağı içeren çözeltiye bandırılarak kurutulmuştur. Ön işlem uygulanan üzümler sera içinde 4 günde, sera dışında ise 7 günde ticari depolama nemine ulaşırken, bandırılmadan kurutulan üzümler ise sera içinde 7 günde, sera dışında 15 günde istenilen nem düzeyine inmiş olduğu bildirilmiştir (Demir, 1989).

Kuzgunkaya, doktora tez çalışması için güneş enerjisi destekli jeotermal ısı pompalı kurutucuda defne yaprağını 42 °C – 45 °C sıcaklıkta kurutulmuş ve deney sonuçlarını Çizelge 1.1’de vermiştir. Çizelge 1.1 incelendiğinde defne yaprağı için kurutma

esnasında kütle değişimi yaklaşık % 50 oranında gerçekleşmiştir. 42 - 45 °C sıcaklık değerlerinde kurutma süresi 9 saat olarak tespit edilmiştir (Kuzgunkaya, 2006).

Çizelge 1.1. Kuzgunkaya'ya ait defne kurutma deneyi verileri (Kuzgunkaya, 2006).

Zaman	16.06.2005	17.06.2005	14.07.2005
h	G	g	G
0	10,2767	8,6903	7,0439
1	9,3485	7,4836	6,4568
2	8,3948	6,237	5,9003
3	7,4883	5,7832	5,4215
4	6,8142	5,307	4,9885
5	6,35	4,9445	4,6056
6	5,9617	4,7236	4,3084
7	5,6521	4,5855	4,1043
8	5,4991	4,5111	3,94
9	5,3982		3,8272

Göker vd., orman yan ürünlerinden Akdeniz defnesi isimli çalışmalarında defne yaprağının kurutulması ile ilgili “2 kg yaş defne yaprağından 1 kg kuru yaprak; 10 kg meyveden 1 kg yağ elde edilmektedir. Herhangi bir nedenle ıslanan yaprağın tekrar kuruma esnasında renk lekeleri oluşturması standardı düşürmektedir” bilgisini ortaya koymuşlardır (Göker vd., 1983).

Belghit vd., aromatik bitkilerin zorlanmış taşınımıyla kuruma kinetiklerinin deneysel çalışılması adlı çalışmalarında; mine çiçeği için zorlanmış taşınımıyla çalışan laboratuvar kurutma tüneli kullanılmış, sıcaklığın kuruma hızını etkileyen başlıca faktör olduğu doğrulanmıştır (Belghit et al., 2000)

Banout vd., kırmızı biberin kurutulması için çift geçişli güneş enerjili kurutucunun tasarımı ve performans değerlendirilmesi başlıklı çalışmalarında; yeni tasarlanmış çift geçişli güneş enerjili kurutucunun performansı, Orta Vietnam'da kırmızı biberin kurutulması için tipik kabin kurutucusu ve klasik bir açık hava güneş enerjisi kurutucusunun performansı ile kıyaslanmıştır. Kuruma süreleri (geceler de dahil) istenilen nem içeriğine (% 10) ulaşmak için sırasıyla 32 ve 73 saat olarak belirlenmiştir. Açık hava güneş enerjisi ile kurutma boyunca istenilen nem içeriğine



93. saat (geceler de dahil) sonunda bile ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Çift geçişli güneş enerjili kurutucunun Orta Vietnam'da kırmızı biberlerin kurutulması için daha uygun ve ekonomik bir teknik olduğu ortaya koyulmuştur (Banout et al.,2011).

Chen vd., kapalı tip güneş enerjisiyle kurutma yöntemi kullanarak limon dilimlerinin üzerindeki kurutucu etkinin araştırılması başlıklı çalışmalarında, Deneysel nitelikteki kapalı tip kurutucu ile birlikte fotovoltatik sistem geliştirilmiştir. Doğrudan Güneş ışığının yansımaları önlemek ve ham materyale kuruma süresince ekstradan doğrudan güneş enerjisiyle kuruma sağlamak için yüksek iletim camlarıyla birlikte saydam kuruma kabinleri dizayn edilmiştir. Limon dilimleri güneş enerjisiyle kapalı tip kurutma yöntemiyle kurutulmuş ve sonuçlar 60 °C sıcak havayla kurutmaya karşılaştırılmıştır. Sonuçlar kapalı tip güneş enerjisiyle kurutma yöntemiyle kurutulan limon dilimlerinin duyu parametreleri açısından daha kaliteli olduğu ortaya koyulmuştur (Chen et al., 2005).

Yaşartekin, Güneşi dikey ekseninde belirli aralıklarla izleyen, güneş enerjili kabin tipi bir kurutucu ile elma kurutma deneylerinde kurutucunun kullanım olanaklarını ve verimliliklerini incelemiş ve açık havada kurutmaya karşılaştırmıştır. Kurutucuda kuruma hızının doğal kuruma hızından daha düşük olduğu bildirilmiş, bunun nedeninin kurutucu içerisinde hava dolaşımının zayıf olmasından kaynaklandığını bildirilmiştir (Yaşartekin, 1991)

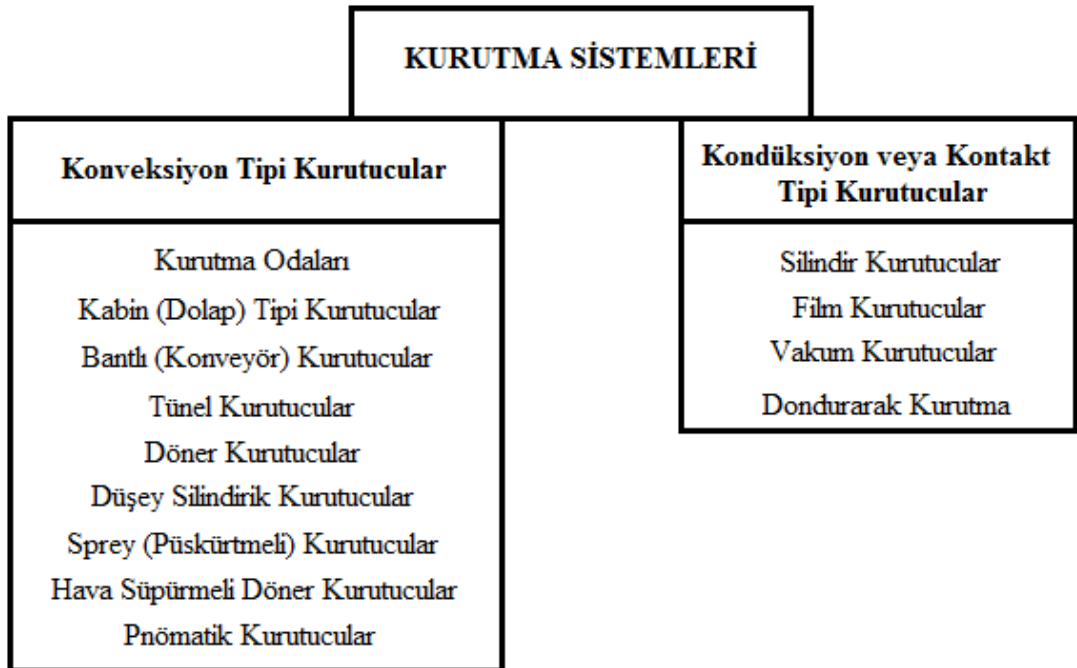
Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde her geçen gün güneş enerjisi destekli yapay kurutucular ile aromatik bitkilerin kurutulması ve kurutma maliyetlerinin azaltılması için çalışmaların devam ettiği görülmektedir. Kurutma işleminde enerji maliyetleri ürün fiyatlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun için kurutma sistemlerinin alternatif enerji sistemleri ile desteklenmesi neredeyse zorunlu hale gelmektedir. Kurutulmuş aromatik ürünlerin (kekik, nane, defne vb.) kuru ürün kalitesi de son derece önemlidir. Kuru ürün içerisinde kalan nem oranları, şekli, rengi ve kalitesi pazar paylarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle kurutma sistemlerinin tasarımında bu kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır.

## BÖLÜM 2

### KURUTMA SİSTEMLERİ VE YÖNTEMLERİ

Belli bir süreçte ürünün kuruma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, nem verme vb.) ünitelerin bütününe de “kurutma sistemi” denir (Ceylan ve Doğan, 2004).

Genel olarak kurutma yöntemlerini doğal ve yapay kurutma olmak üzere iki başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Endüstriyel alanda her iki yöntem de yaygın olarak uygulanmaktadır. Doğal kurutma yöntemlerinde kurutma şekli ve kurutma süreci tamamen bölgenin iklim şartlarına bağlı değişiklikler gösterir. Kütle transferi esasına göre çalışan kontrollü ve belirli bir sürece bağlı olarak kurutmanın gerçekleştirildiği yapay kurutma sistemlerini Şekil 2.1’deki gibi sınıflandırmak mümkündür (Yılmaz ve Yavuz, 2006).



Şekil 2.1. Kurutma sistem ve tesislerinin sınıflandırılması (Ceylan, 2002).

## **2.1. KONVEKSİYON TİPİ KURUTUCULAR**

### **2.1.1. Kurutma Odaları**

Kurutulacak malzemenin sıcak hava dolaştırılan bir oda veya kapalı hacim içerisine düzgün bir şekilde yerleştirilip, her bir parçanın kurutucu akışkan ile maksimum alanda temas etmesini sağlayan sistemlerdir. Bu yöntem tuğla, ahşap levhalar gibi geniş hacimlere sahip malzemelerin kurutulması için özellikle uygundur (UETM, 1997).

### **2.1.2. Kabin (Dolap) Tipi Kurutucular**

Bu tip kurutucularda malzeme yassı bir şekilde kurutmanın yapılacağı tepsilere yayılır ve izolasyonlu kurutma kabini içinde raflara yerleştirilir (Fırat, 1997). Sıcak havanın malzemelerin üzerinden geçerek ürünün kurutulması sağlanır.

Bu tür kurutucular, boyalar, pigmentler, kimyasal maddeler, gıda maddeleri, seramik eşyalar, tekstil ürünleri gibi çok geniş bir alana yayılmış malzemelerin kurutulması amacıyla kullanılabilirler (UETM, 1997).

### **2.1.3. Bantlı (Konveyör) Kurutucular**

Bu kurutucularda malzeme sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutma kabini içinde hareket eder. Bu esnada malzemelerin arasından sıcak kurutma havası üflenir (Güngör ve Özbalta, 1991).

### **2.1.4. Tünel Kurutucular**

Bu tip kurutucular özellikle çok büyük miktardaki veya çok iri taneli malzemeler için uygundur (UETM, 1997). Malzeme raf veya bantlar üzerinde tünelde hareket eder. Tüneldeki hava akımı hem paralel hem de zıt akışlı olabileceği gibi, sadece paralel ya da sadece zıt akışlı olabilir.

### **2.1.5. Döner Kurutucular**

Bu tip kurutucular, hava geçişine müsait silindirik tamburdan meydana gelir. Hava akımı malzeme hareketine paralel veya zıt olabilir (Özkoç, 1981).

### **2.1.6. Düşey Silindirik Kurutucular**

Düşey bir silindir içerisine yerleştirilmiş çok sayıda ortak eksenli tepsi veya raftan oluşan bu kurutucuda kurutulacak malzeme en üst rafa beslenir, itelenmek ve aynı zamanda bir döner tırmık veya kazıyıcı vasıtasıyla altüst edilmek suretiyle karıştırılır, harmanlanır. Malzeme bir kez karıştığında ortak eksenli rafta bulunan yarıktan bir aşağıda bulunan rafa dökülür. Kurutucu akışkan genellikle bir rafın veya tepsinin dış kısmını, bir sonrakinin iç kısmını yalayacak şekilde malzeme üzerinde dolaştırılır (UETM, 1997).

### **2.1.7. Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular**

Başlangıçtaki nem miktarı yüksek ve sıvı halde bulunan gıda maddelerine uygulanabilecek en iyi kurutma yöntemidir (Evranoz ve Çataltaş, 1991).

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 (Aktaş, 2007).

### **2.1.8. Hava Süpürmeli Döner Kurutucular**

Bazı malzemelerin hem pülverize hale gelmesi, hem de kurutulması gerekir. Bu iki işlemi aynı anda gerçekleştirmek için hava süpürmeli döner kurutucular kullanılmaktadır. Örnek olarak tarımsal kireç veya tebeşir taşından tebeşir tozu elde edilmesi gösterilebilir (UETM, 1997).

### **2.1.9. Pnömatik Kurutucular**

Bu tip kurutucular, kimyasal malzemeler, kil veya özel formda olan kentsel atıklardan elde edilen çamurlar gibi kuru temele göre % 3'ten % 900'e kadar olan geniş bir alanda nem içeren malzemelerin kurutulması için kullanılırlar (UTEM, 1997).

## **2.2. KONDÜKSİYON TİPİ KURUTUCULAR**

### **2.2.1. Silindir Kurutucular**

Çok yaygın bir şekilde tekstil ve kağıt sanayilerinde kullanılan bu tür kurutucularda tabakalar veya uzun şeritler halinde olan malzemenin kurutulması için silindirler bulunmaktadır (UTEM, 1997).

### **2.2.2. Film Kurutucular**

Bu tür kurutucular, macunumsu malzemelerin, lapa benzeri yumuşak malzemelerin ve sıvıların kurutulmasında kullanılmaktadır (UTEM, 1997). Genel olarak iki tip film kurutucu kullanılmaktadır. Bunlar tek veya çift silindirli kurutuculardır. Tek silindirli tipte, ısıtılmış silindir doğrudan ürün çamuruna veya çözeltilisine daldırılarak, silindir yüzeyinde ürüne ait film tabakası oluşturulur. Çift silindirli tipte ise birbirine paralel olarak yerleştirilmiş iki adet ısıtılmış silindir vardır. Böylece, ürün silindirlerin arasına ve üstüne beslenebilmektedir (Evranoz ve Çataltaş, 1989).

### **2.2.3. Vakum Kurutucular**

Vakumda kurutma düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda kaynaması prensibiyle çalışır. Vakumlu döner ve vakumlu tepsi kurutucular olmak üzere ikiye ayrılır. Buharla veya sıcak su ile ısıtılan raflar üzerinde bulunan malzeme ısıtılarak kurutma gerçekleşir (Gündüz ve Özbalta, 1991).

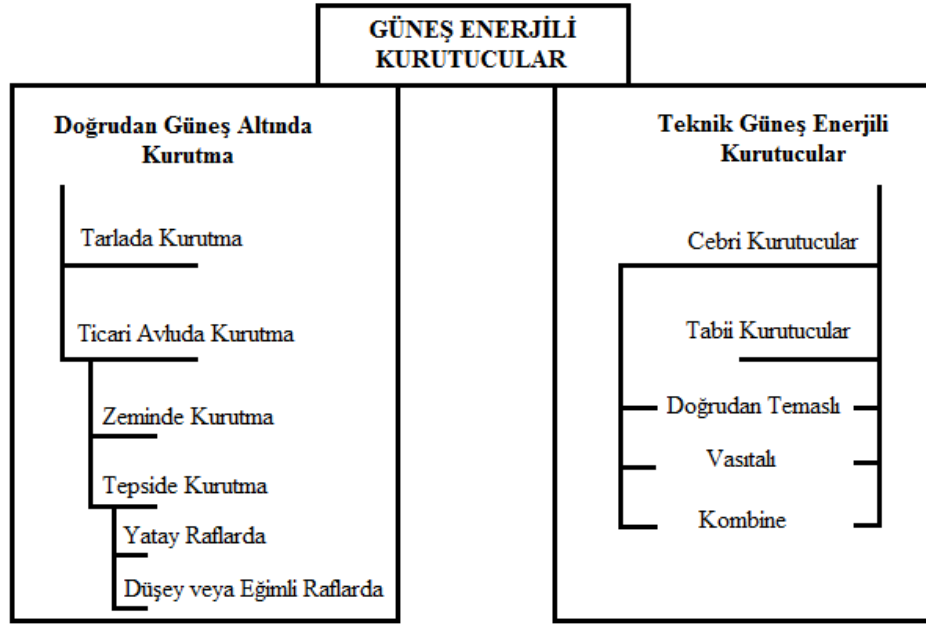
#### **2.2.4. Dondurarak Kurutma**

Dondurmalı (şoklama) kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, asılar, deniz ürünleri vb. ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışınım ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğuşur veya kimyasal kurutucu ile soğurur. 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 (Aktaş, 2007).

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

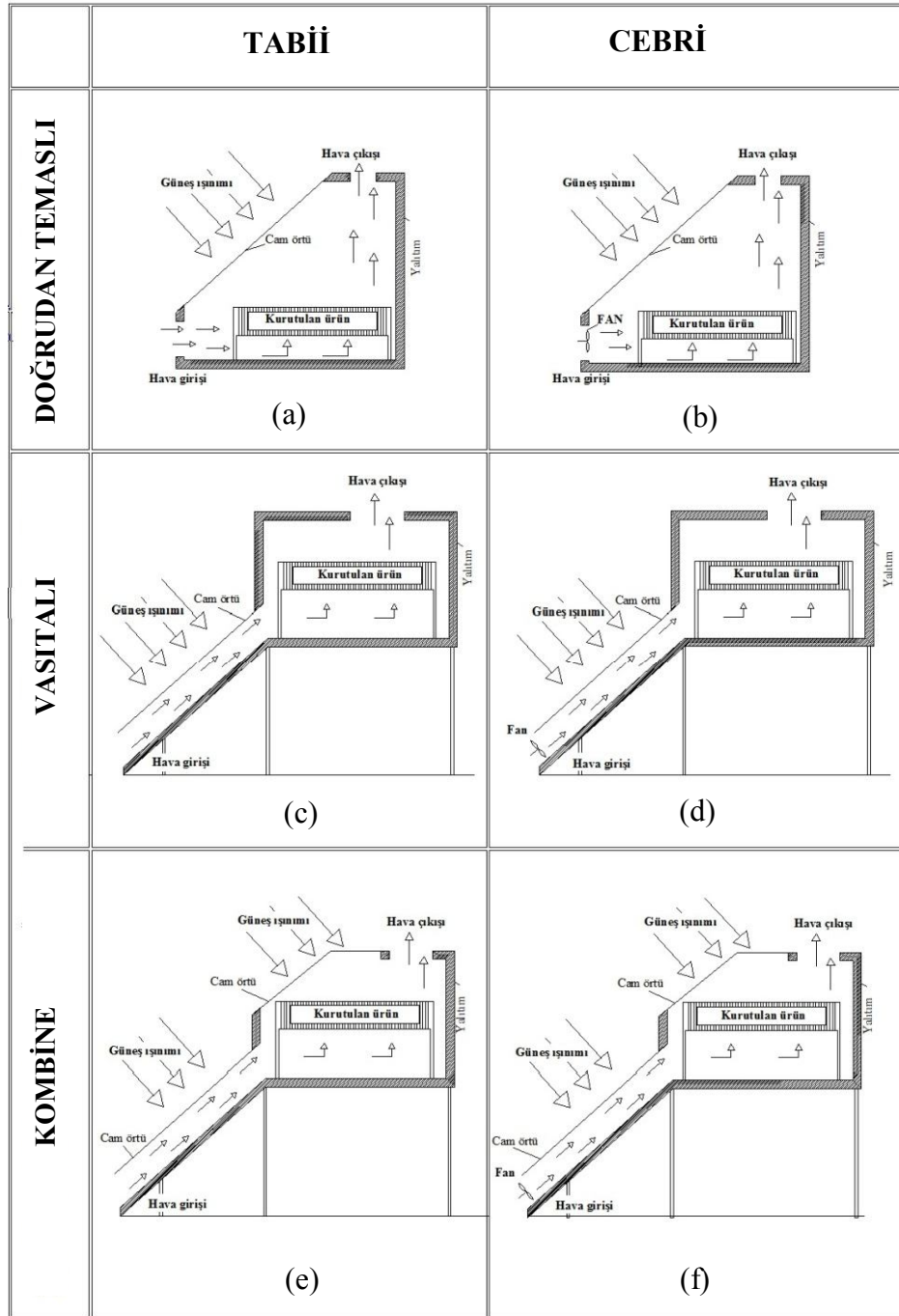
Güneş enerjili kurutucular, genel olarak konveksiyon tipi kurutucuların kurutma odaları kapsamında değerlendirilebilirler. Doğal ve yapay uygulamaları mevcuttur. Bu kurutucular genellikle sistem bazında konveksiyon tip kurutucular olarak değerlendirilir. Güneş altında açıkta gerçekleştirilen doğal kurutma yöntemi kontrolsüz olarak kırsal kesimde yaygın olarak yılın belirli dönemlerinde gerçekleştirilen kurutma şeklidir. Güneş enerjili yapay kurutucular ise teknik kurutucular olarak adlandırılır. Yapay kurutucuları Şekil 2.2'deki gibi havanın sistemlerde dolaşım şekline göre tabii dolaşimli ve cebri dolaşimli kurutucular şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Güneş enerjili teknik kurutucuları, ürün ile güneş enerjisinin teması ve kurutma havasının sistem içerisindeki dolaşım durumuna göre sınıflandırması Şekil 2.3'deki gibi yapılabilir. Bu kurutucuların her biri tabii dolaşimli olabileceği gibi sisteme hava hareketini sağlayan ve uygun kurutma havası hızları temin edecek fanlar ile cebri dolaşimli hale getirilebilir.



Şekil 2.2. Tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılma yöntemleri (Mujumdar, 1997).

Şekil 2.3'te kabin tipi cebri ve tabii kurutucuların şematik resmi görülmektedir. Tabii tip güneş enerjili kurutuculara, çadır tipi, güneş kabinleri, sera tipi ve baca tipi kurutucuları, cebri tip güneş enerjili kurutuculara ise güneş pili, rüzgar enerjisi, güneş kolektörü v.b. alternatif enerji ile çalışan, fana sahip kurutucular gösterilebilir (Ekechukwu ve Norton, 1999).



Şekil 2.3. Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması, a)Tabii dolaşimli doğrudan temaslı kurutucular, b)Cebri dolaşimli doğrudan temaslı kurutucular, c)Tabii dolaşimli vasıtalı kurutucular, d)Cebri dolaşimli vasıtalı kurutucular, e)Tabii dolaşimli kombine kurutucular, f)Cebri dolaşimli kombine kurutucular.

Kurutulacak ürünün güneşle doğrudan teması güneş enerjili kurutucularda ayırıcı bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün Şekil 2.3.a ve Şekil 2.3.b’de



görüldüğü üzere kabin, sera ya da çadır içinde doğrudan güneşle temas halinde ise doğrudan temaslı güneş enerjili kurutucu adını alabilmektedir.

Kurutucu içerisindeki ürün doğrudan güneşle temas içinde değilse, Şekil 2.3.c ve Şekil 2.3.d'de görüldüğü gibi ışıınımı alan yüzey sadece kurutma havasını ısıtıcı nitelikte ise vasıtalı tip güneş enerjili kurutucu olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sistemlerde kurutma havası ışıınıma maruz kalmayan kapalı bir kabin içerisinde bulunan ürün üzerinden geçirilmesi prensibi ile çalışmakta olup ürünün fiziksel (renk, şekil vb.) özelliklerinin büyük ölçüde korunmasını sağlamaktadır. Bu uygulama ile kurutulan üründe özellikle renk değişimi en aza indirilebilmektedir.

Doğrudan temaslı ve vasıtalı sistemler farklı ürünler için alternatif kurutma imkanı sağlamakla birlikte iki sistem bir arada da kullanılarak kombine kurutucu sistemler geliştirilmiştir. Şekil 2.3.e ve Şekil 2.3.f'de görüldüğü üzere güneş ışıınımı hem kurutma havasını ısıtma maksatlı hem de ürünün direk güneş ışıınımına maruz kalarak kurumasına imkan sağlamaktadır. Bu sistemlerde kısmen fiziksel özellikler korunurken daha hızlı ve etkin kurutma gerçekleştirilebilmektedir.

## BÖLÜM 3

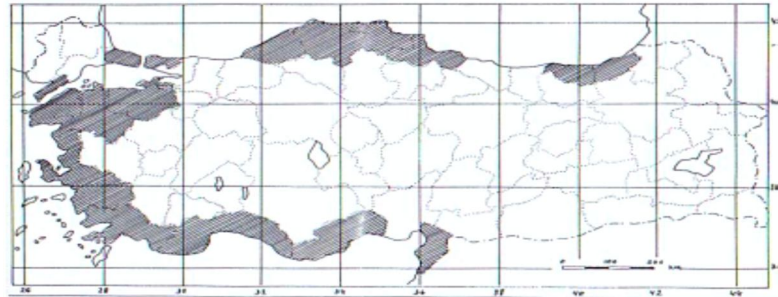
### KURUTMA ESASLARI, STANDARDLARI VE TEORİK ANALİZ

#### 3.1. DEFNE YAPRAĞI ÖZELLİKLERİ VE KURUTMA PARAMETRELERİ

##### 3.1.1. Defne Yaprağının Özellikleri

Defne veya Tehnel Ağacı (*Laurus nobilis* L.) olarak ta bilinen defne, bir maki elemanı olup, kışın yapraklarını dökmeyen, 2-15 m boyunda, yuvarlak taçlı, sık dallı, dioik küçük ağaçlar veya ağaççıklardır (İlisulu, 1992; Zeybek ve Zeybek, 1994; Er ve Yıldız, 1997; Tanker vd.,1998; Baytop, 1999; Brickell, 1981; Bown, 1995; Erden, 2005).

Ana yayılış alanı Akdeniz Havzası ve Küçük Asya olan tür Türkiye’de bütün kıyı şeridinde doğal olarak bulunmaktadır. Hatay’dan başlayarak Kuzeydoğu Karadeniz’e kadar yayılış göstermekte ve subtropik iklimin etkisi oranında içerilere kadar gidebilmektedir (Atalay, 2002). En yaygın olduğu iller Balıkesir, Bursa, İstanbul, Zonguldak, Kastamonu, Sinop, Trabzon, Rize, İzmir, Muğla, Antalya, Mersin, Hatay, ve Maraş olup, yayılış alanları 0–1200 m rakımları arasında değişmektedir (Davis, 1982).



Şekil 3.1. Defnenin Türkiye’deki yayılış alanları (Davis,1982).

Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi yaprakları dar eliptik bir yapıda 5–10 cm uzunlukta, 2–3 cm genişlikte, basit derimsi, kenarları dalgalı ve kısa saplıdır, her iki uca doğru sivrilmiştir. Üst yüzü parlak koyu yeşildir. Yapraklarının kısa ve kalın bir sapı vardır. Taze yapraklar ince, açık yeşil damarlı, kırmızıya çalan sarı renkte, daha sonra açık yeşil olup, aromatik kokusu azdır (Kayacık, 1963; Lewis, 1984; Baktır, 1991).



Şekil 3.2. Defne bitkisinde yapraklar ve çiçek tomurcukları.

Yapraklarında tanen, acı madde, alkaloidler (reticuline, boldine vs.), flavonoidler ve uçucu yağ bulunur. Uçucu yağda sineol (% 35-50), ögenol, geraniol, linalool ve pinenler mevcuttur. Bu bitkinin yapraklarında (Folium Lauri) hoş kokulu uçucu yağ (Aetheroleum Lauri) vardır. Yapraklardaki uçucu yağ oranı % 0,5-4,69 arasında olup, yağın kalitesi bölgelere göre değişmektedir. İçel, Muğla, Bursa ve Sinop bölgelerindeki defne yapraklarından elde edilen uçucu yağların ester ve aldehit miktarı ile serbest ve toplam alkol miktarları farklıdır. Muğla defne yaprağında % 17,78 estere karşılık, Sinop defne yaprağında % 7,61 ester bulunmaktadır (İlisulu, 1992; Zeybek ve Zeybek, 1994; Er ve Yıldız, 1997; Tanker vd., 1998; Baytop, 1999; Brickell, 1981; Bown, 1995).

Defne yaprakları ağızda çiğnenirse ağız kokularını giderir, sindirim salgılarını artırır, mideyi, iştah açar, hazmı kolaylaştırır, barsak gazlarını giderir, terletici, mikrop öldürücü, barsak kurtlarını dökücü, yapraklarından yapılan gargara diş çürümelerini önler, expectorant, mukolitik, antiviral, antifungal, antibakteriyel, kas

gevşetici, böcek öldürücüdür (Asımgil, 1993; Baytop, 1999; Schnaubelt, 1999; Rose, 1999; Wyk ve Wink, 2004; Erden, 2005).

Kurutulmuş yapraklar kuru incir ambalajlanmasında, et ve balık yemeklerinde baharat olarak kullanılmaktadır. Yapraklardan subuharı distilasyonu ile meyvelerden presleme ile elde edilen yağlar, özellikle sabun sanayiinde ve cilt merhemleri hazırlanmasında kullanılmaktadır (Zeybek ve Zeybek, 1994).

### **3.1.2. Defne Yapağı Kurutma Parametreleri**

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

Defne ağacından kesilen dallar ya birbirlerine dayandırılarak dik bir vaziyette ya da “presleme” adı verilen yöntemle dallar yapraklarıyla birlikte yere serilerek kurutulur. Yapraklar kuruyup düzgün bir şekil aldıktan sonra, dallar çırpılarak toplanır ve koni şeklinde hazırlanmış bir hazneye doldurulur. Haznedeki aşağıya dökülen yapraklar işçiler tarafından, kalitesine göre 4 gruba ayrılır. Yarasız ve hastaliksız olanlar 1. kalite, diğerleri 2, 3 ve 4. kalite şeklinde sınıflandırılır. İlk üç sınıfa ayrılan yapraklar ihraç edilmek üzere paketlenirken 4. kalite yapraklar yağı çıkarılmak üzere ayrılır. Bu yapraklardan distilasyon yöntemi ile “defne (tehnal) yağı” elde edilir (Özhatay vd., 1997).

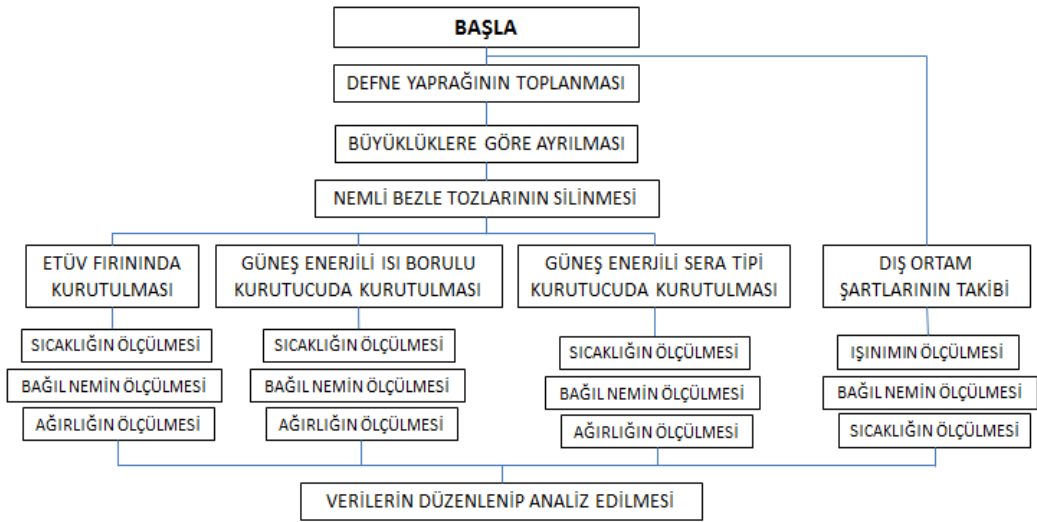
Defne yaprağının hasat yapıldıktan hemen sonra işleme konulması gerektiğini unutmamak gerekir. Yapılan çalışmalar yüksek uçucu yağ oranı elde etmek amacıyla defne yapağı için hava akımlı kurutucudaki en uygun kurutma sıcaklığının 50 °C olduğu sonucuna varılmıştır (Erden, 2005). Ayrıca daha yüksek kurutma sıcaklıkları uçucu yağ kaybına neden olmaktadır. 2 kg yaş defne yapağından 1 kg kuru yaprak; 10 kg meyveden 1 kg yağ elde edilmektedir. Herhangi bir nedenle ıslanan yapağın tekrar kuruma esnasında renk lekeleri oluşturması standardı düşürmektedir bilgisini ortaya koyulmuştur (Göker ve Acar, 1983). Buradan da anlaşılacağı üzere kurutma

sonucunda yaklaşık olarak % 50 oranında bir ağırlık değişimi olması gerekmektedir. Bir başka çalışmada ise kurutma havası sıcaklığına ilişkin “defne yaprakları 60 °C hava sıcaklığında kuruma sırasında hiçbir önemli kalite kaybı yaşamamıştır” denilmektedir (Demir vd., 2004).

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

- Sıcaklığının en fazla 60 °C seviyesinde olması,
- Kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranının ise yaklaşık % 50 olması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışmada izlenmesi düşünülen kurutma sistematığı Şekil 3.3’de blok diyagram olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmanın sistematığına ilişkin blok diyagram.

### 3.2. DEFNE YAPRAĞI İLE İLGİLİ STANDARTLAR

Gıda sektöründe baharat olarak kullanılan yassı yapraklı ürünlerin kurutulması ve kurutulduktan sonrası için birçok standart bulunmaktadır. Halen yürürlükte olan madde – mamul türündeki TS 1017 “defne yaprağı” isimli standardın uluslararası

karşılığı ISO 6576 (1984)'dır. Defne yaprağı için TS 1017'ye bakıldığında; aroma, renk ve koku özellikleri belirlenmektedir. Ürünlerin kurutulması işleminden sonra bu standartlara uygunluğu belirlenir. Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) 1017 sayılı defne yaprağı standardında (1985), defne yaprağı tanımlanırken deri gibi esnek , dar elips biçiminde kenarları hafif ondüle, ucu sivri veya küt kısa üst yüzü yeşil alt yüzü sarıya yakın yeşil renkte olmalıdır denmektedir. Kuru defne yaprağı için ise yumuşak, üst yüzü parlak, alt yüzü mat renkte olmalı, damarları üst yüzden hafif alt yüzden belirgin olarak görülmelidir diye tanımlanmaktadır. Defne yaprağı rutubet miktarı TS2134'e göre tayin edildiğinde ağırlıkça % 8'i geçmemelidir. defne yapraklarının sınıflandırılması; ekstra, birinci, sıra malı, kalbur altı şeklinde yapılmış, ekstra sınıfta yaprak boyu en az 25 mm, en çok 100 mm; yaprak eni en az 20 mm, en çok 45 mm olarak verilmiştir. Aroma ve lezzet açısından yaprak ezildiğinde defneye özgü hoş, keskin koku ve buruk acı tat duyulmalıdır. Defne yaprağında yabancı koku, özellikle küf kokusu olmamalıdır (TS 1017).

### **3.3. TEORİK ANALİZ**

#### **3.3.1. Defne Yaprağının Başlangıç Nem Miktarının Belirlenmesi**

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

Etüv fırınında kurutulmuş başlangıç nem miktarının belirlenebileceği gibi kuru esasa ve yaş esasa göre Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 kullanılarak da hesap yapılabilmektedir.

Ürünlerin kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı;

$$NM_{KA} = \frac{YA-KA}{KA} \quad (3.1)$$

Ürünlerin yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı;

$$NM_{YA} = \frac{YA-KA}{YA} \quad (3.2)$$

Burada;

YA: Ürün yağ ağırlığı (g),

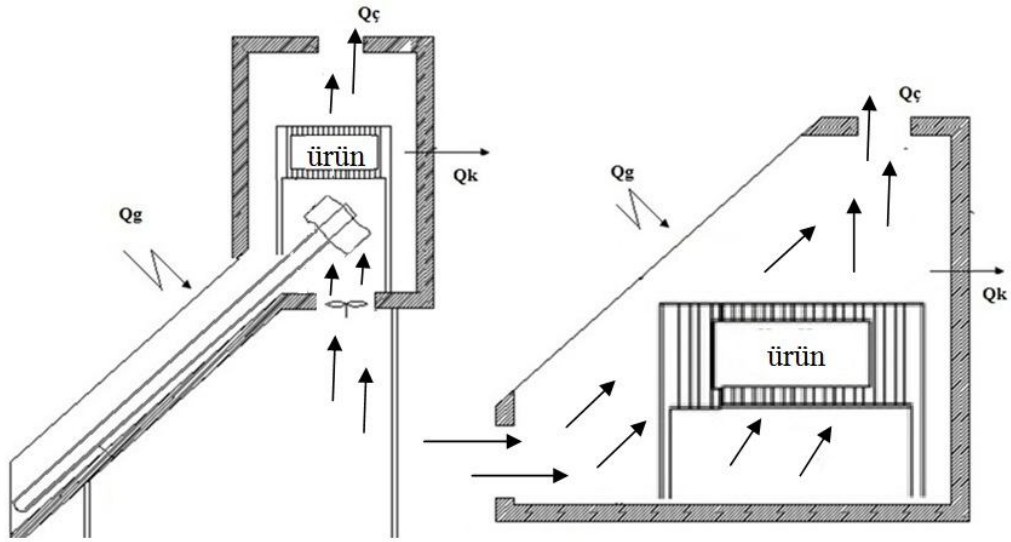
KA: Ürünün etüv fırınında edilen kuru madde ağırlığı (g),

$NM_{KA}$  : g su / g kuru madde,

$NM_{YA}$  : g su / g yağ madde,

olarak bulunur.

### 3.3.2. Enerji Analizi



Şekil 3.4. Sistemlerin enerji dengesi.

Sistemlerin enerji analizini sisteme giren ( $\dot{Q}_g$ ), çıkan ( $\dot{Q}_ç$ ) ve kayıp ( $\dot{Q}_k$ ) enerjileri oluşturmaktadır (Şekil 3.4). Sistemlere giren ( $\dot{Q}_g$ ) enerji güneş ışınımıdır. Kolektörlerin yüzeyinden ölçülen yarım saatlik ( $W/m^2$ ) ışıma değerlerinin saatlik ortalamaları Eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır. Kolektör yüzey alanları da dikkate alınarak giren enerjinin ( $\dot{Q}_g$ ) bulunmasında Eşitlik 3.4'ten faydalanılmıştır.

$$I_{ort} = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (3.3)$$

$$\dot{Q}_g = I_{ort} * A * 3.6 \quad (3.4)$$

Burada,

$I_{ort}$ : saatlik ortalama ışınım değeri (W/m<sup>2</sup>)

$I_1$ : ilk ışınım değeri (W/m<sup>2</sup>)

$I_2$ : ikinci ışınım değeri (W/m<sup>2</sup>)

A: kollektör yüzey alanı (a \* b), (m<sup>2</sup>)

$\dot{Q}_g$ : sisteme giren enerji (kJ/h),

olarak bulunur.

Sistemden çıkan enerji ( $\dot{Q}_c$ ) güneş enerjisi ile giriş havasının ısınarak ürün üzerinden geçmesi ve ürün şeklinde sistemlerden çıkmaktadır. Bu enerjinin miktarının bulunmasında sistemlerde dolaşan havanın hızları (m/s) ile birlikte giriş ve çıkış menfez açıklıklarının alan hesabından sistemde dolaşan hava miktarları Eşitlik 3.5 ile hesaplanır.

$$\dot{m}_h = V * A * \rho * 3600 \quad (3.5)$$

Burada,

$\dot{m}_h$ : sistemlerde dolaşan kütleli hava miktarı (kg/s),

V: hava hızı (m/s),

A: çıkış menfezi açıklık alanı (a \* b), (m<sup>2</sup>),

$\rho$ : havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),

olarak bulunur.

Kütleli debiler hesaplandıktan sonra sistemden çıkan enerji ( $\dot{Q}_c$ ) giriş ve çıkış sıcaklıkları farkından Eşitlik 3.6 ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_h * c_p * \Delta T \quad (3.6)$$



Burada,

$\dot{m}_h$ : hava miktarı (kg/h),

$c_p$ : özgül ısı (kJ/kg°C),

$\Delta T$ : sıcaklık farkı (°C),

$T_ç$ : çıkış havası sıcaklığı (°C),

$T_g$ : giriş havası sıcaklığı (°C),

$\dot{Q}_ç$ : Sistemden çıkan enerji (kJ/h),

olarak bulunur.

Giren, çıkan havaların sıcaklık ve bağıl nem değerleri dikkate alınarak bu havaların psikrometrik diyagramdan entalpi değerleri (kJ/kg) bulunarak da sistemden çıkan enerji Eşitlik 3.7 ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_ç = \dot{m}_h * \Delta i \quad (3.7)$$

Burada,

$\dot{m}_h$ : hava miktarı (kg/h),

$\Delta i$ : entalpi farkı ( $i_ç - i_g$ ) (kJ/kg),

$i_ç$ : çıkış havasının entalpisi (kJ/kg),

$i_g$ : giriş havasının entalpisi (kJ/kg),

olarak bulunur.

Sistemlerde kayıp enerjileri ( $\dot{Q}_k$ ) kollektör yüzeyinden, kasasından ve kurutucu kabinlerinden kaynaklanan ısı kayıpları oluşturur. Eşitlik 3.8 ile hesaplanabilir.

$$Q_{kayıp} = Q_{kabin} + Q_{kollektör} \quad (3.8)$$

Kollektörlerden olan ısı kayıpları Eşitlik 3.9 ile hesaplanabilir Burada;

$$\dot{Q}_{kollektör} = U_L * A * \Delta T \quad (3.9)$$

Burada,

$U_L$ : Kollektör toplam ısı geçirgenlik katsayısı ( $\text{kJ/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ )

A: Toplam yüzey alanı ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T$ : Kollektör ve dış ortam sıcaklıkları farkı ( $^\circ\text{C}$ )

$\dot{Q}_{\text{kollektör}}$ : Kollektörden olan ısı kayıpları ( $\text{kJ/h}$ ) olmaktadır.

Toplam ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde kollektör cam yüzeyinden, yan yüzeyinden ve alt yüzeyden ısı kayıpları ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Kollektörlerin cam örtü sayısı, kasa malzemesi, yalıtımı, akışkan boruları, rüzgar hızı ve eğim açıları toplam ısı geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Genellikle tek örtülü alüminyum kasadan imal 3-5 cm cam yünü ile yalıtılan ve rüzgarsız ortamlarda bulunan kollektörler için toplam ısı geçirgenlik katsayısı ( $U_L$ ) 6 – 8  $\text{W/m}^2\text{K}$  arasında alınabilmektedir. Mukayese edilen sistemlerde dış ortam şartları ile sistemlerin kollektör yüzey alanları ve kurutma kabin malzemeleri aynı özelliklerde olduğundan kayıp enerjiler her iki sistemde de aynıdır. Bu nedenle sistemler için kayıp enerjiler ihmal edilir.

### 3.3.3. Güneş Enerjili Kurutucuların Isıl Verimi

Sistemlerin ısı verimi sistemlerden çıkan enerjinin sisteme giren enerjinin oranı şeklinde ifade edilir. Burada sistemlerden kayıp enerjiler ihmal edilerek sistemlerin saatlik ısı verim değişimleri ( $\eta_s$ ) Eşitlik 3.10, kurutma süreci boyunca sistemlerin günlük ısı verimleri ise ( $\eta_o$ ) Eşitlik 3.11 ile hesaplanır.

$$\eta_s = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_g} * 100 \text{ (\%)} \quad (3.10)$$

$$\eta_o = \frac{\sum \dot{Q}_c}{\sum \dot{Q}_g} * 100 \text{ (\%)} \quad (3.11)$$

Burada;

$n_s$  : saatlik sistem verimi (%),

$\dot{Q}_c$  : sistemden çıkan enerji (kj/h),

$\dot{Q}_g$  : sisteme giren enerji (kj/h),

$n_o$  : günlük sistem verimi (%),

$\Sigma\dot{Q}_c$  : sistemden çıkan günlük toplam enerji (kj/h),

$\Sigma\dot{Q}_g$  : sisteme giren günlük toplam enerji (kj/h),

olarak bulunur.

## BÖLÜM 4

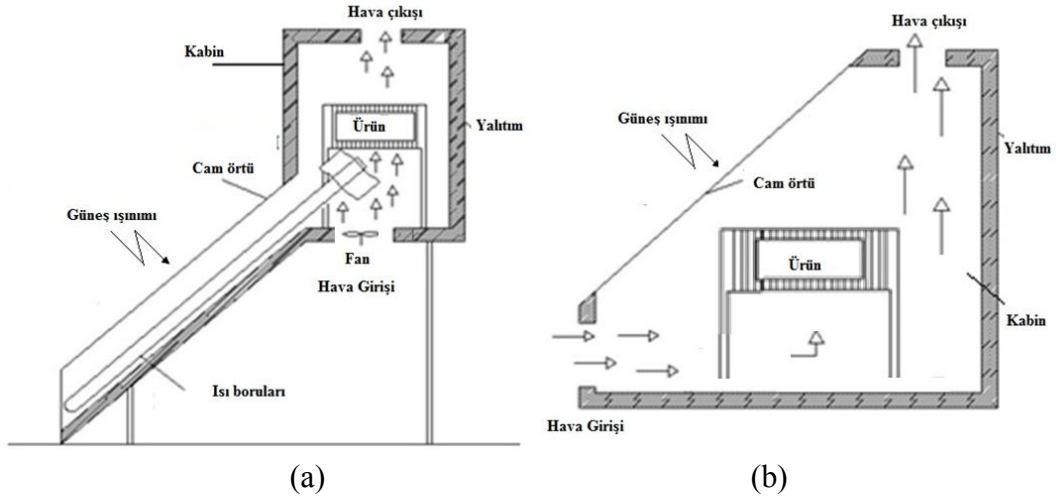
### METERYAL VE METOT

#### 4.1. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI

Çalışmada; her ikisi de güneş enerjisiyle çalışan iki farklı aromatik bitki kurutucu sistem tasarlanarak imal edilmiştir. Sistemlerden biri güneş enerjili ısı borulu kurutucu, diğeri sera tipi kurutucudur. Sistemlere genel olarak bakıldığında aralarındaki en büyük fark, güneş enerjisini kullanım şekilleridir. Güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutma havasını ısıtmak için ısı boruları kullanılmaktadır. Sera tipi kurutucuda ise kurutma havası kabin içindeki ürün üzerine gelerek sera etkisi ile ısınmaktadır. Diğeri bir fark ise; güneş enerjili ısı borulu sistemde kurutma havası dolaşımı fan ile yapılırken, sera tipi kurutucuda kurutucu havası ısınan havanın doğal hareketinden oluşmaktadır.

Her iki sistemin güneş ışınımına maruz kaldıkları kolektör yüzey alanı ve kurutma kabin hacimleri eşit boyutlara sahiptir. Isı borulu sistemin kolektör alanı ve sera tipi kurutucunun cam yüzey alanı 0.7 m<sup>2</sup> dir. Kurutma kabin hacimleri de her iki sistem için 1 m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Kurutma fırınlarının kabin imalatlarında kullanılan yalıtım malzemesi için 40 mm kalınlığında 32 densite yoğunluğunda, 0,040 W/mK ısı iletkenlik değerine sahip ekstrüde polistren (XPS) tercih edilmiştir.

Isı borulu sistem yapay tip güneş enerjili kurutucu sınıfında yer alırken sera tipi sistem doğrudan temaslı tabii sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucudur. Şekil 4.1.a.'da görülen sistemde güneş enerjisi ürünle direk temas etmeyecek şekilde ısı borulu sistem olarak tasarlanmışken, Şekil 4.1.b.'deki sera etkili kurutucu sistemde ürünler güneşe direk maruz kalacak biçimde tasarlanmıştır.

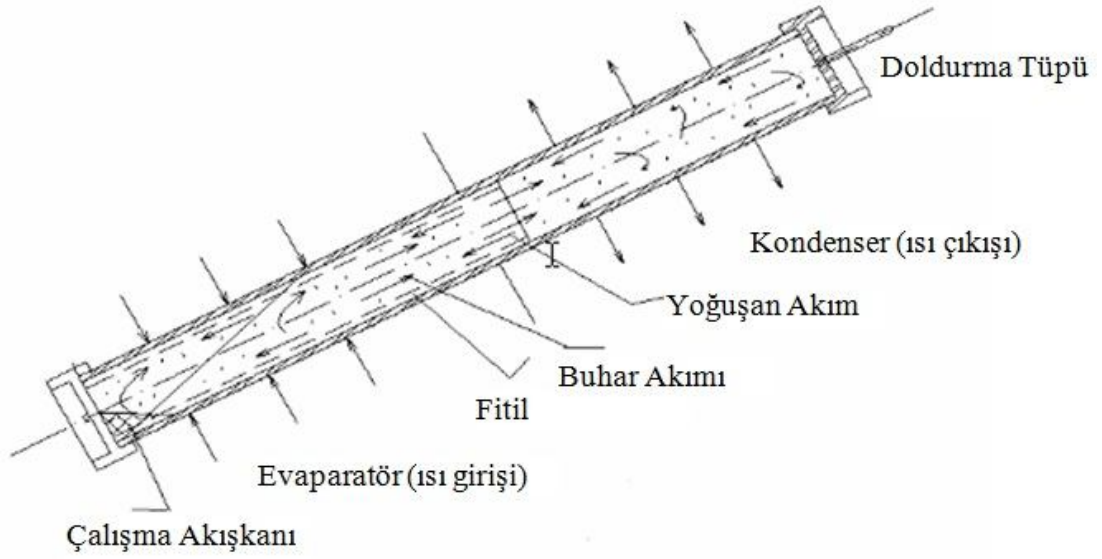


Şekil 4.1. Kurutucular, a) Güneş enerjili ısı borulu kurutucu, b) Güneş enerjili sera tipi kurutucu.

## 4.2. DENEY SİSTEMLERİNİN İMALATI

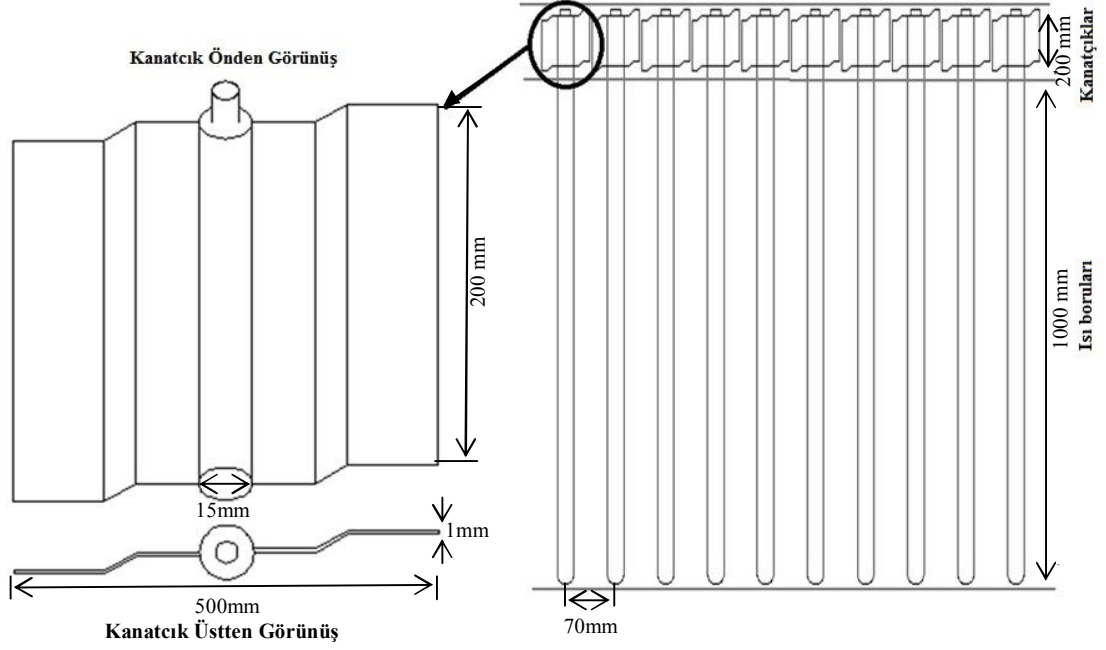
### 4.2.1. Güneş Enerjili Isı Borulu Kurutucu İmalatı

Isı borusu esas itibariyle, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi içinde ısı borusu akışkanı (metanol, etanol, amonyak, saf su v.b) bulunan, havası alınmış (vakumlu) kapalı bir borudan ibarettir. Borunun iç yüzeyine ince gözenekli (pirinç, bakır, çelik, bez vb.) malzemelerden fitil yerleştirilir. Çalışma sırasında buharlaştırıcı (evaporatör) bölgesine uygulanan ısı, ısı borusu akışkanının bir bölümünü buharlaştırır ve kısa zamanda kabın tamamını saf buharla doymuş hale getirir. Sistemden ısı çekilmesiyle birlikte, yoğuşurucu (kondenser) bölgesinde kap duvarı yüzeyi soğuk olacağı için bu bölgede yoğuşma başlar. Açığa çıkan yoğuşma ısı, ısı borusu malzemesine ve kanatçıklarına aktarılır. Yoğuşan sıvı, yerçekimi takviyeli ısı borusunda yerçekimi etkisiyle ve fitil kılcal kuvvetleri ile buharlaştırıcıya döner ve çevrim tamamlanır. Buharlaşma gizli ısı büyük olduğundan dolayı önemli miktarda ısı kabın bir ucundan diğer ucuna çok az bir sıcaklık farkı ile taşınır. Bundan dolayı yapı çok yüksek bir ısı iletkenliğine sahip olur (Uyarel ve Öz, 1987).



Şekil 4.2. Isı borusunun yapısı (Uyarel ve Öz, 1987).

Isı borulu güneş kollektörü, kurutma havası için gerekli ısı enerjisinin sağlandığı ve kollektöre entegre edilmiş kasa sayesinde bu enerjinin kurutma ünitesine aktarıldığı sistemdir. Sistemde kullanılan ısı borusu,  $0.70 \text{ m}^2$  yüzey alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kollektörde  $15 \text{ mm}$  çapında on adet ısı borusu kullanılmış ve kazanılan ısı miktarını arttırmak için her bir ısı borusuna bakır malzemedan  $1 \text{ mm}$  et kalınlığında ve  $100 \text{ mm}$  eninde kanatçıklar monte edilmiştir. İmal edilen kanatçıklı ısı boruları Şekil 4.3.a. ve 4.3.b. gösterilmiştir. Sistemde kullanılan kolektör ısı borulu düzlemsel güneş kollektörü olup toplam  $0.70 \text{ m}^2$  yüzey alanına sahiptir. Kollektörün imalinde, 10 adet ısı borusu  $0.2 \text{ mm}$  kalınlığındaki bakır plaka üzerine aralarında  $70 \text{ mm}$  boşluk olacak şekilde yerleştirilerek elektrik direnç kaynağı ile bakır levhaya puntalanmıştır. Yanlarda kasa ile borular arasında  $30 \text{ mm}$  boşluklar vardır. Punta işleminden sonra borular ve bakır levha mat siyaha boyanarak emici yüzey (absorblama) oluşturulmuştur. Isı borularının kanatçıkları kurutma kabini içine yerleştirilmiştir. Isı borularının çalışma sıvısı etanol olup, yerçekimi etkisi esaslı çalışmaktadırlar. Daha sonra taban ve yan yüzeyleri  $5'$ er cm cam yünü ile yalıtılmış ve ahşap malzemedan imal edilen kasa içerisine yerleştirilerek üzeri  $4 \text{ mm}$  kalınlığında cam örtü ile kaplanmıştır. Isı borularının uç kısımları (kondenser) üzerine ısı kanatçıkları yerleştirilerek kurutucu kabin içerisinde kalacak biçimde montajı yapılmıştır.



Şekil 4.3. Isı boruları, a) Isı borusu kanatçıkları üstten ve önden görünüş; b) Kanatçıklı ısı boruları önden görünüş.

Materyallerin kurutulması amacıyla tasarlanan kurutucu kabin, 1 m yüksekliğinde ve yine 1 m genişliğinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Alt bölümde bulunan fanlar dış havayı ısı borusu kanatçıkları üzerinden geçirerek ısınan havanın direk ürün üzerinden geçmesini ve ürün üzerinden alınan nemle dış havaya atılmasını sağlayacak şekilde kurutma fırını çalışma şekli düzenlenmiştir. Alt ve üst kısımda bulunan otomatik kontrol ile açılıp kapanan menfezler sökülmiş kurutma havası devamlı taze hava ile beslenip nemli hava atmosfere atılmıştır. Sistemin çıkış menfezi açık alanı 270 x 300 mm boyutlarındadır. Kurutulacak ürünlerin üzerinden uygun bir hava dağılımının sağlanması için 40 x 40 x 5 cm ölçülerinde paslanmaz çelik telden imal edilen istif kafesi kullanılmıştır.

#### 4.2.2. Sera Tipi Kurutucu İmalatı

Sera tipi kurutucu imalatı için köşebent ve profillerden bir iskelet oluşturulmuş, imal edilen iskeletin yalıtımı 40 mm kalınlığında 32 densite yoğunluğunda 0,040 W/mK ısı iletkenlik değerine sahip ekstrüde polistren (XPS) ile sağlanmış olup alt ön tarafında hava girişi için, üst tarafında hava çıkışı için menfez açıklığı bırakılmış ve mat siyah boya ile boyanmıştır. Hava çıkış menfezinin açık alanı boyutları 270 x 300

mm' dir. Eğimli bölümde ise 2 mm' lik cam kullanılmış olup, poliüretan köpükle yalıtımı sağlanmıştır. Son olarak deney setinin arka tarafındaki 1.4 m x 0.7 m'lik bölüm ürün girişi çıkışı için açılabilir hale getirilmiştir. Şekil 4.4.'de her iki sistemin bitmiş hali görülmektedir.

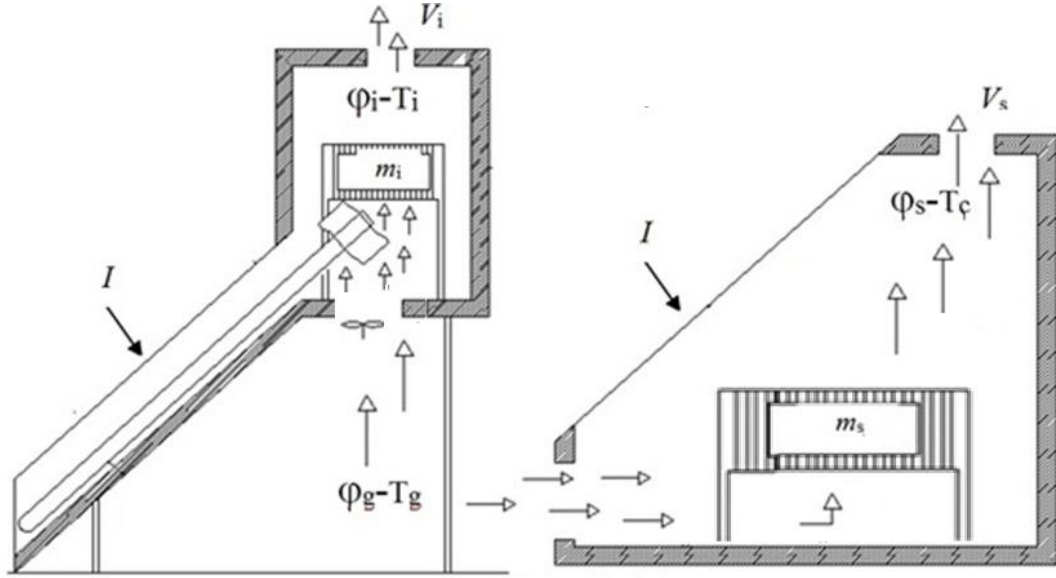


Şekil 4.4. Kurutma fırınları.

### 4.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM NOKTALARI

Sistemlerde kurutma verilerinin belirlenebilmesi için Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi; kurutma havası giriş sıcaklık ve bağıl nemi her iki sistem için  $\phi_g$ -  $T_g$  noktalarından, güneş ışınımı ölçümü yine iki sistem içinde  $I$  noktasından, kurutma havasının bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı, ve kurutulan ürün ağırlık değişimleri ile hava hızları ısı borulu sistemde sırasıyla  $\phi_i$ ,  $T_i$ ,  $m_i$ ,  $V_i$  noktalarından, sera tipi kurutucuda sırasıyla  $\phi_s$ ,  $T_\zeta$ ,  $m_s$ ,  $V_s$  noktalarından ölçülmüştür.





Şekil 4.5. Deney sistemlerinde ölçüm noktaları.

#### 4.4. METOT

Çalışmada deneysel metot kullanılacaktır. Sistemler aynı şartlarda ve aynı özelliklere sahip, eşit ağırlıklarda ürünler yerleştirilerek kurutma deneyleri yapılacaktır. Deneylerde her iki sistem içinde ışınım, sıcaklık, nem, hava hızı, ağırlık ölçümleri yapılarak her yarım saatte bir kayıt edilecektir. Deneyler esnasında kullanılacak bağıl nem ve sıcaklık ölçüm cihazı Testo firmasına ait 635 model Termohigrometredir. Ölçüm aralığı; bağıl nem %0 - %100, sıcaklık (- 50) – 150 °C'dir. Ölçüm hassasiyeti; %0 - %100 bağıl nemde  $\pm 0,3$  ve (- 50) – 150 °C sıcaklıkta  $\pm 0,5$ 'dir. Rezolasyon; %0.1 rh 0.1°C (-50 ile +200°C arasında) 1°C (+200.1 ile +1000°C arasında) 0,1 hPa (mbar) dır. Ürünlerde meydana gelen anlık kütle değişimini ölçmek için, Kern marka, en fazla 3100 g ölçebilen, 0.01 g hassasiyete sahip dijital terazi kullanılacaktır. Güneş ışınımını ölçmek üzere toplam ışınım değerini gösterebilen,  $\pm\%$  1,5 toleransa sahip,  $W/m^2$  cinsinden ve en fazla  $1500 W/m^2$  ölçüm yapan Haenni marka, solar118 model pirradymetre kullanılacaktır. hava hızları ise yine Testo firmasına ait 410-1 model pervaneli anemometre ile ölçülecektir.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

#### 5.1. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce her iki kurutma sistemi için ön hazırlıklar yapılmıştır. İlk olarak saat 09:00'da sistemler güneşe çıkarılmış her ikisi de güneye bakacak şekilde yerleştirilerek ön ısıtma yapmaları amacıyla 30 dakika beklenmiştir. Bu 30 dakika boyunca kurutma işleminden hemen önce hasadı yapılması gereken defne yaprakları dallarından toplanmış ve ön hazırlıkları yapılmıştır. Ön hazırlık olarak toplanan defne yaprakları hasar durumlarına göre ayrılmış deneylerde kullanılmak üzere sadece sağlam olanlar ayrılmıştır. Yaprakların sorunlu olan sapları kesilerek düzeltilmiştir. Bu yapraklar büyüme esnasında maruz kaldıkları toz ve pisliklerden arındırılmak için nemli bir bezle silinmişlerdir. 30 dakikanın sonunda yapraklar istif şekli olan şişe dizilme usulüne uygun olarak hazırlanarak sistemlere yerleştirilmişlerdir.

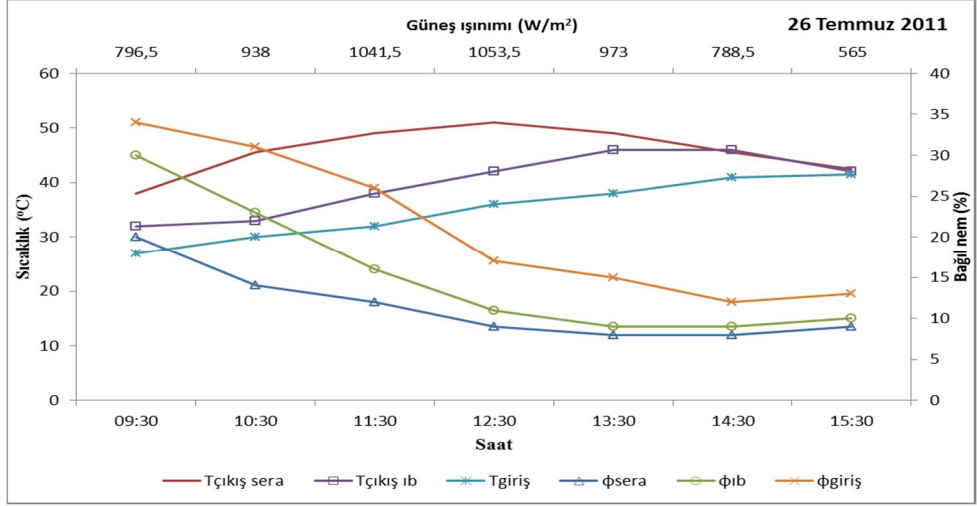
Sistemlerin ikisine de eşit başlangıç ağırlıklarına sahip olmaları için 40'ar gram defne yaprağı yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi boyunca dizim yapılan bu şişler homojen kuruma sağlamak ve sera tipi kurutucuda güneşe maruz kalan alanlardaki bölgesel renk değişimlerinden korunmak için bir kez ters çevrilmiş ve yaprakların tamamının aynı kurutma sürecinden geçmesi sağlanmıştır.

##### 5.1.1. Deneylerin Sonuçları ve Değerlendirme

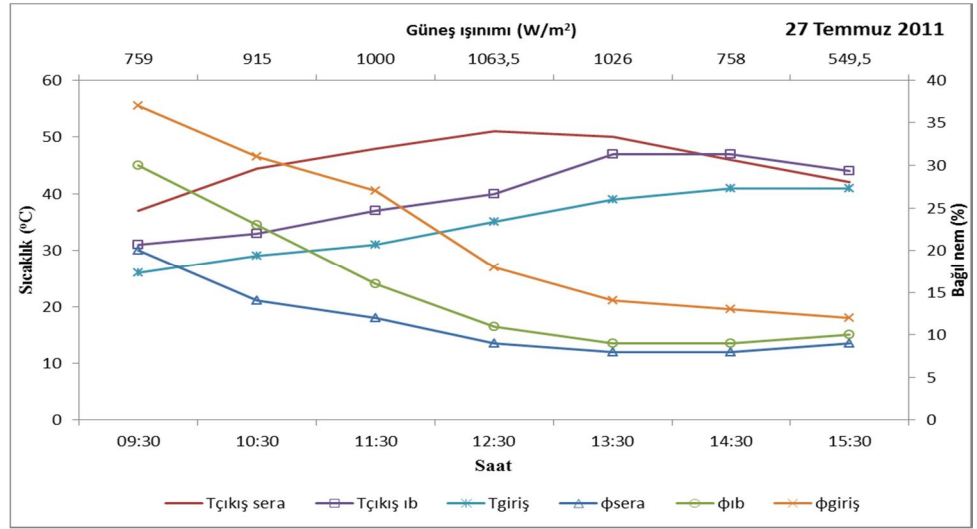
26–27–28 Temmuz 2011 günlerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar tablolar şeklinde Ek B.1, Ek B.2, Ek B.3'te verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde zamana bağlı güneş ışınım değeri ve dış ortam sıcaklığı artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak kurutma sistemlerinin giriş havası şartları değişkenlik göstermektedir

(Şekil 5.1, 5.2,5.3). Deneilerin başlangıcında dış ortam (giriş) sıcaklıkları her iki sistem içinde yaklaşık 24 °C, ışınım değerleri de yaklaşık 800 W/m<sup>2</sup> dir. Bu giriş sıcaklık şartında ve ortalama bu ışınım değerinde bir saat sonunda, giriş havası sıcaklığı 30 °C olurken sera tipi kurutucuda kurutma havası sıcaklığı 45 °C, ısı borulu kurutucuda ise 35 °C'ye yükselmiştir. Sera tipi kurutucuda hızlı bir sıcaklık artışı gerçekleşmiş kurumanın 2. saatinde 50 °C'ye kadar çıkmıştır. Bu artış öğlen saatlerinden sonra ışınım değerlerinin düşüşüne paralel olarak düşmüştür. Isı borulu kurutucuda ise kurutma havası sıcaklığı artışı saat 14:30'a kadar devam etmiş ondan sonra çok az düşüş göstermiştir. Sera tipi kurutucuda kurutma havası sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı farkı 3 günlük deney grafikleri incelendiğinde ortalama 5-8 °C arasında, sera tipinde ise 8- 14 °C arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3). Giriş havasının bağıl nem değeri dış ortam sıcaklığının artışına paralel bir düşüş göstermektedir ancak her iki sistemde de kurutma havası sıcaklıklarının bağıl nem değerleri giriş havasının bağıl nem değerlerinden düşük olarak görülmektedir. Sistemlere giriş ve çıkış havasının özellikleri 26-27-28 Temmuz 2011 tarihleri için sırasıyla Ek A.1, Ek A.2, Ek A.3'de yer alan psikrometrik diyagramlarda görülmektedir. Diyagram incelendiğinde kurutma havasının (sistemlerden çıkış) özgül nem değerleri daima giriş havasının özgül nem değerlerinden büyüktür.

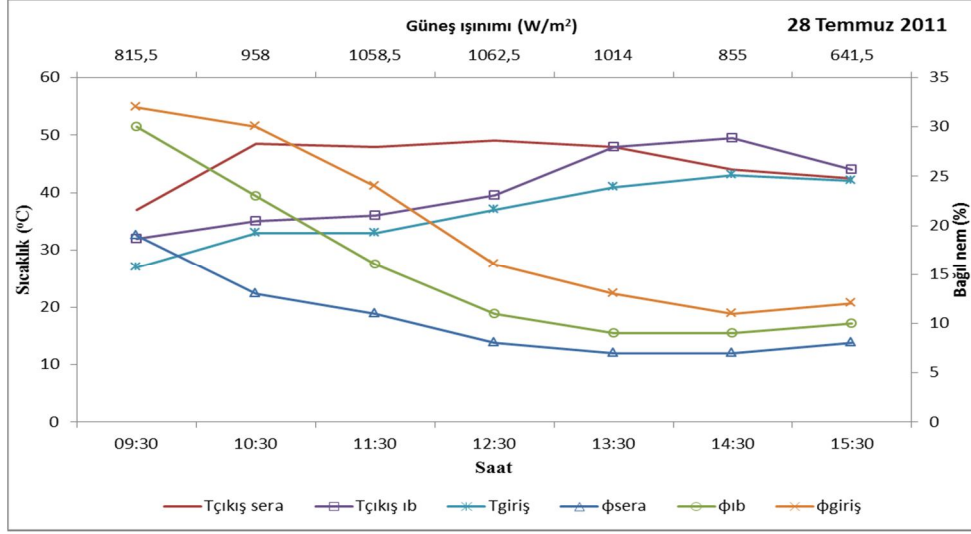
Üç günlük deney verileri incelendiğinde kurutucularda maksimum kurutma havası sıcaklığı sera tipi kurutucuda yaklaşık 50 °C, ısı borulu sistemde ise 48 °C çıkmıştır. Günlük ortalamaları alındığında kurutma süresince sera tipi ve ısı borulu kurutucular için sırasıyla 1. gün (26 Temmuz 2011) 46 °C, 40 °C, 2. gün (27 Temmuz 2011) 45.5 °C 40,5 °C ve 3. gün (28 Temmuz 2011) 45 °C 41.5 °C'olarak belirlenmektedir. Dış ortam bağıl nem değeri ile kurutuculardaki kurutma havası bağıl nem değerleri arasında da deneylerin başlangıcında yaklaşık olarak sera tipi kurutucuda % 15 fark, ısı borulu sistemde % 6 fark varken dış ortam sıcaklığının ve ışınım değerlerinin artmasına bağlı olarak bu fark sera tipi kurutucuda % 3 , ısı borulu kurutucuda % 2'ye kadar düşmektedir.



Şekil 5.1. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (26 Temmuz 2011).



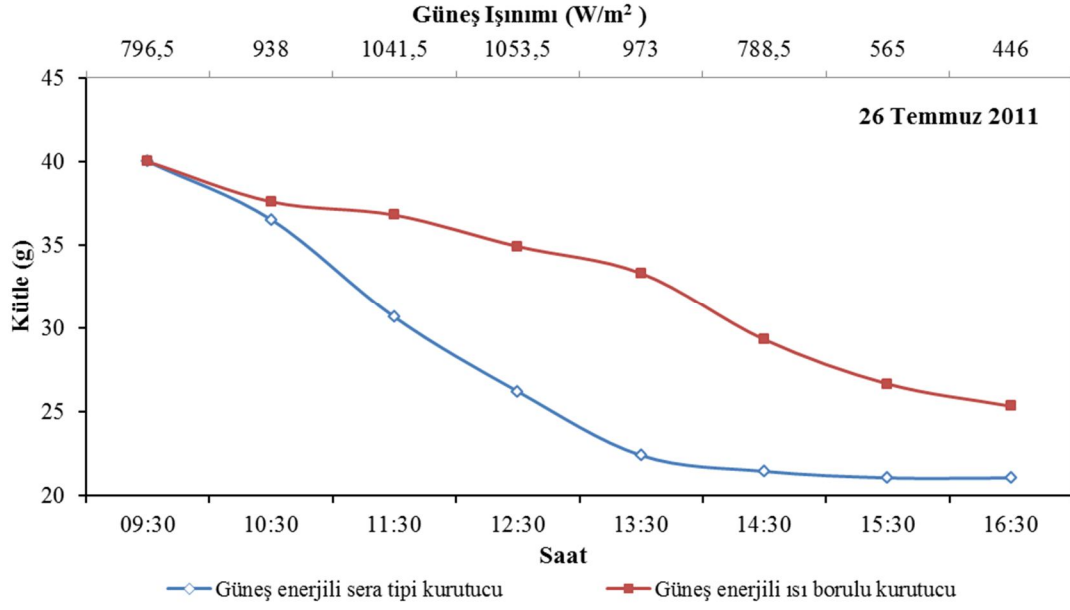
Şekil 5.2. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (27 Temmuz 2011).



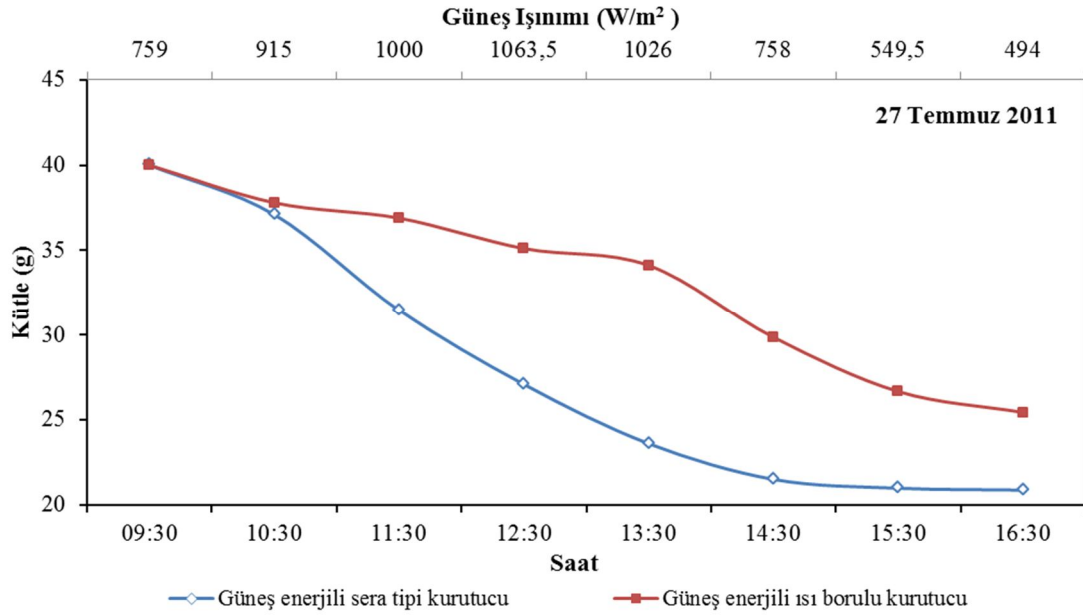
Şekil 5.3. Zamana ve ışınımına göre dış hava, kurutma havası sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri (28 Temmuz 2011).

### 5.1.2. Ürünlerde Meydana Gelen Ağırlık Değişimi

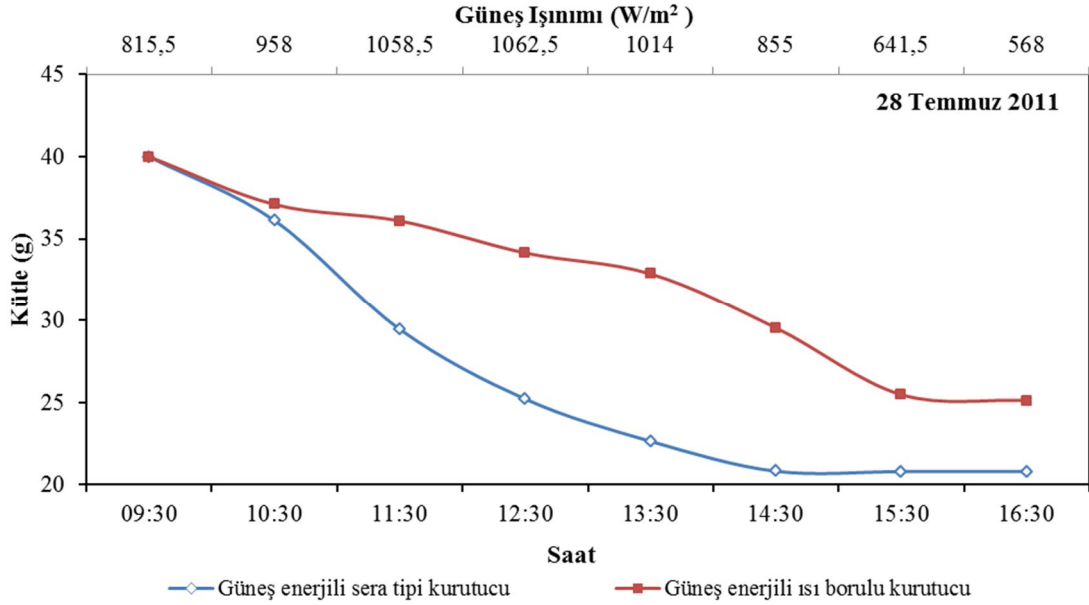
Kurutulan ürünlerde meydana gelen zamana göre ağırlık değişimi; imalatı yapılan kurutucu sistem yapıları, güneş ışınımı, kurutma havası sıcaklığı, ürünlerin başlangıç nem miktarı, dış ortam şartlarını etkileyen toz, duman, hava hızı, rüzgar, sıcaklık, nem vb. birçok değişkenin etkisi ile değişmektedir. Ürünlerin yaş ağırlıkları her iki sistem içinde eşit olarak deneylere başlanmış olup güneş enerjili sera tipi ve güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürün ağırlığının ışınımına göre değişimi Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.4. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (26 Temmuz 2011).



Şekil 5.5. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (27 Temmuz 2011).



Şekil 5.6. Zamana ve ışınımına göre ürünlerdeki (kuruma miktarı) kütle değişimi (28 Temmuz 2011).

Deneylere başlamadan önce defne yaprakları için etüv fırınında yapılan kurutma işlemi sonucunda 100 g defne yaprağının 50.5 g nem içerdiği 49.5 g kuru madde olarak fırından çıktığı belirlenmiştir. Bu değerler ışığında deneylerde kullanılacak 40 g defne yaprağı için etüv fırını değerine göre 19.8 g kuru madde ağırlığı tespit edilmektedir. Başlangıç nem miktarları ise yaş ağırlık esasına göre 0.505 g su / g yaş madde ve kuru ağırlık esasına göre 1.02 g su / g kuru madde olarak Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'den hesaplanmıştır.

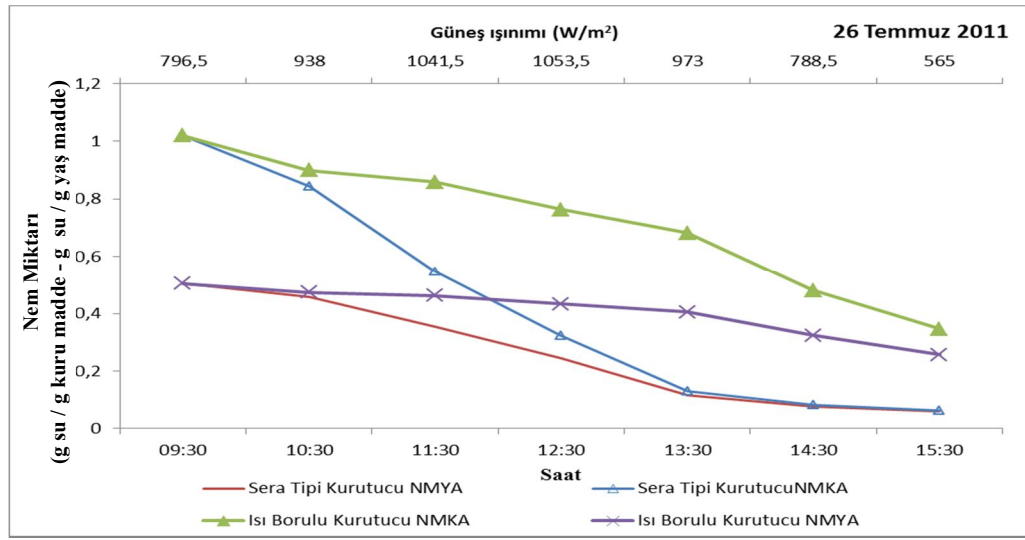
40 g ağırlıklarla başlanan 7 saatlik deneyler sonunda, sera tipi kurutucuda sırasıyla, 21.06 g, 20.89 g, 20.81 g kuru defne yaprağı elde edilmiştir. Etüv fırını sonuçlarına göre kurutma sağlanamamış görünse de literatürde belirtilen kuruma kriterlerine göre tam kurutma gerçekleşmiştir. Güneş enerjili ısı borulu kurutucuda ise sırasıyla 25.33 g, 25.45 g, 25.12 g ağırlığa kadar inilmiş etüv değeri ve literatürde belirtilen kuruma kriterlerine göre kurutma olayı aynı sürede tamamlanamamıştır.

### 5.1.3. Defne Yapraklarının Saatlik Nem Oranları

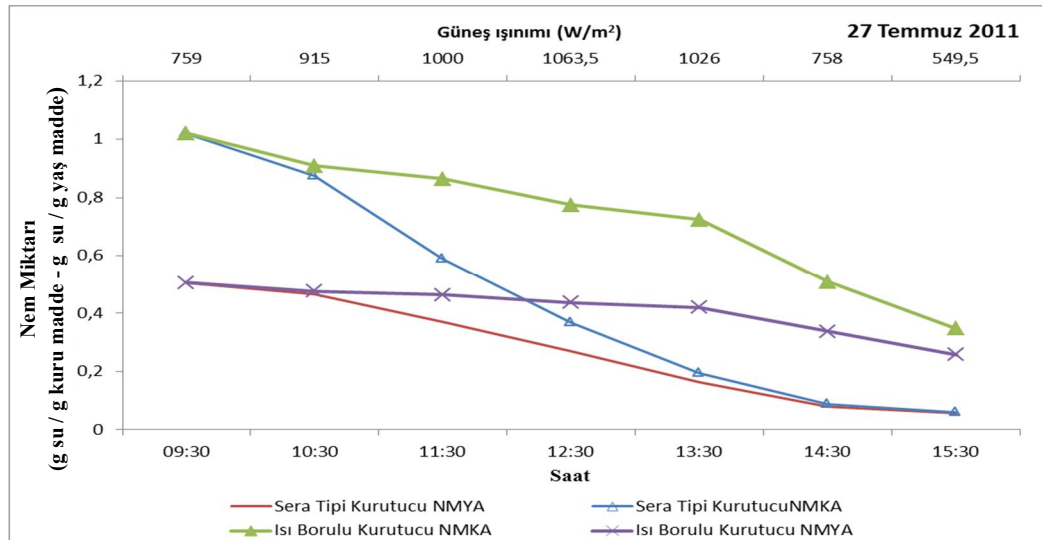
Sistemlerde kurutulan ürünlerin saatlik kütle değişimleri alınarak, kuru ve yaş esasa göre nem miktarları eşitlik 3.1 ve 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan nem

oranları grafiklendirilerek Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir. Formülde kullanılan kuru ağırlık değeri 19.8 g olarak alınmıştır.

Yaş ağırlık değerleri ise veri takibi yapılan saatte ölçülen ürün ağırlıkları alınmıştır. Hesaplanan değerler 26 – 27 – 28 Temmuz 2011 tarihleri için sırasıyla Ek C.1, Ek C.2, Ek C.3’deki tablolarda yer almaktadır.

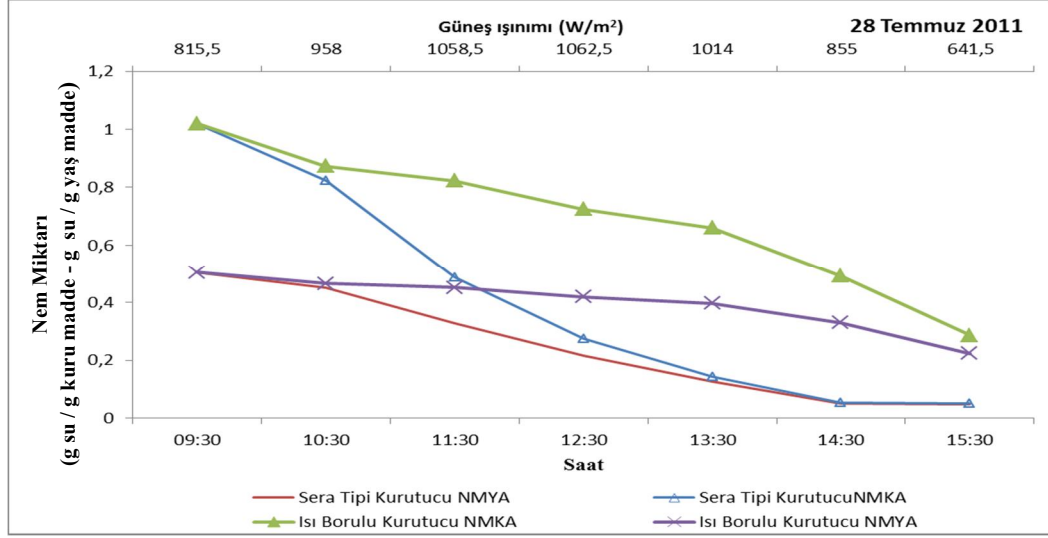


Şekil 5.7. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (26 Temmuz 2011).



Şekil 5.8. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (27 Temmuz 2011).





Şekil 5.9. Zamana ve ışınımına göre nem oranları (28 Temmuz 2011).

Kuru ağırlığa göre başlangıçta ürünlerin nem değerleri her iki kurutucu için 1.02 g su / g kuru madde, yaş ağırlığa göre ise 0.505 g su / g yaş madde olarak bulunmuştur. Bu değerler 3 günlük deneylerde sırası ile ısı borulu sistemde deneyler sonunda yaklaşık 0.34,- 0.34,- 0.28 g su / g kuru madde ve 0.25,-0.25,-0.22 g su / g yaş madde olarak belirlenmiştir. Sera tipi kurutucuda ise bu değerler 0.063,-0.060,-0.051 g su / g kuru madde ve 0.059,- 0.057,- 0.048 g su / gr yaş madde olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde ısı borulu kurutucu sistemde kurutma sonunda kuru ve yaş esasa göre elde edilen sonuçlarda % 8-10 arsında fark mevcuttur. Bu oran sera tipi kurutucuda % 0.4 (binde dört)'e kadar düşmektedir. Bu sonuçlara göre sera tipi kurucuda ürün standart kuruma değerlerine çok yakın değerlerde kurumuş, ısı borulu sistemde ise aynı süre içinde tam kuruma gerçekleşmemiştir.

#### 5.1.4. Sistem Verimleri

Sistem verimlerinin hesaplanmasında Ek B.1, Ek B.2 ve Ek B.3'de yer alan yarım saatlik ölçümler sonucu elde edilen sıcaklık, bağıl nem ve ışınım gibi değerlerin ortalamaları alınarak saatlik verilere dönüştürülmüştür. Hesaplamalar için Eşitlik 3.3'ten Eşitlik 3.12'ye kadar olan formüllerden faydalanılmış, ısı kayıpları ( ) göz ardı edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan hava hızları sıcaklık artışına bağlı olarak az da olsa değişiklik göstermiştir. Deneyler süresince günlük hız ölçümlerinin ortalaması olarak güneş enerjili sera tipi kurutucuda hız 0,3 m/s, güneş enerjili ısı borulu kurutucu için ise 0,6 m/s olarak alınmıştır. Hava hızları ve kesit kullanılarak hacimsel debi bulunmuş ve psikrometrik diyagramdan havanın giriş ve çıkış şartlarına bağlı elde edilen yoğunluk değeri ile birlikte kullanılarak kütleli debi Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır. Giren ( $Q_g$ ) ve çıkan ( $Q_c$ ) enerjiler Eşitlik 3.4 ve 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonunda elde edilen veriler Çizelge 5.1 de ve 5.2’de her iki sitem içinde ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.1. Güneş enerjili sera tipi kurutucu için enerji ve verim hesaplamaları (26 Temmuz 2011)

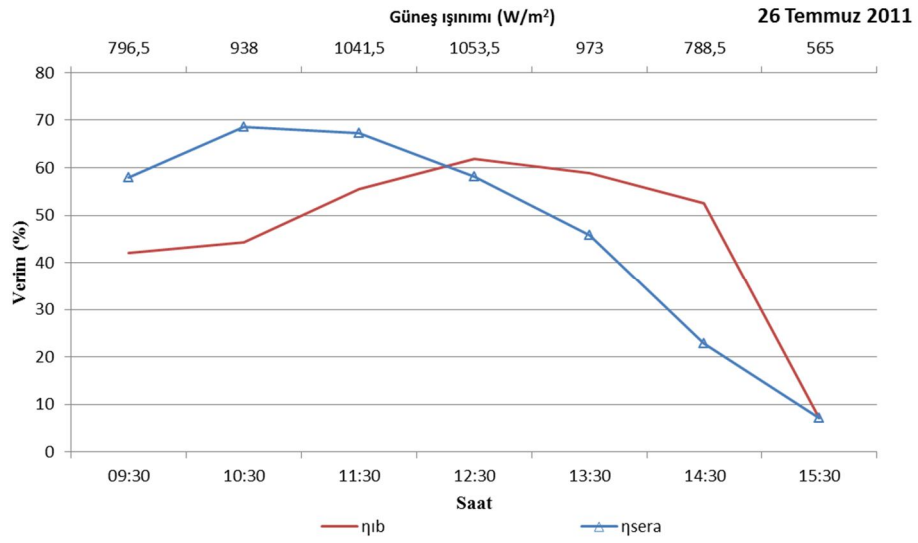
t	Is	Tç sera	Tg	$\dot{Q}_g$	$\dot{Q}_c$	$\eta_s$
h	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	kJ/h	kJ/h	%
09:30	796,5	38	27	2007,18	1163,2	57,95187
10:30	938	45,5	30	2363,76	1622,12	68,62451
11:30	1041,5	49	32	2624,58	1768,05	67,36494
12:30	1053,5	51	36	2654,82	1541,08	58,04841
13:30	973	49	38	2451,96	1122,98	45,79908
14:30	788,5	45,5	41	1987,02	455,133	22,90529
15:30	565	42,5	41,5	1423,8	100,933	7,088984
				$\Sigma Q_g=15513,2$	$\Sigma Q_c=7773,5$	$\eta_o= \%48.85$

Çizelge 5.2. Güneş enerjili ısı borulu kurutucu için enerji ve verim hesaplamaları (26 Temmuz 2011)

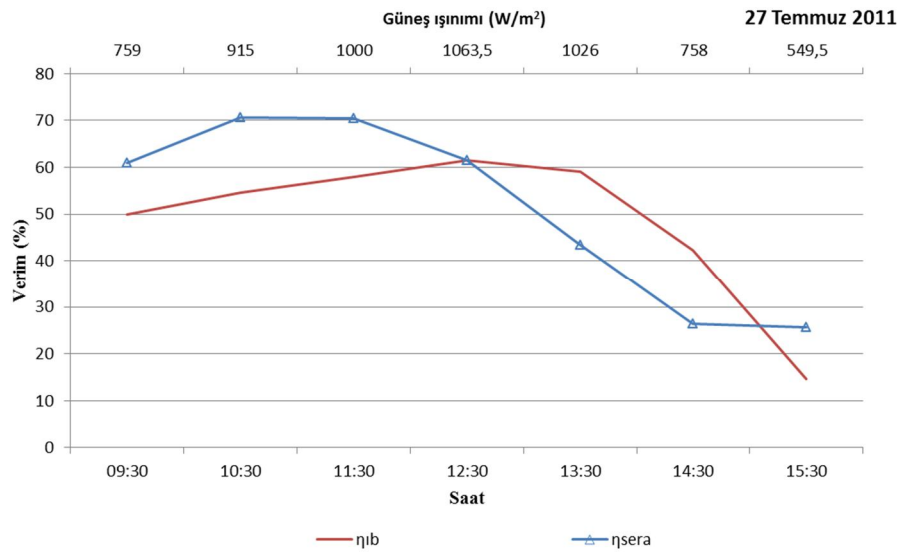
t	Is	Tç tb	Tg	$\dot{Q}_g$	$\dot{Q}_c$	$\eta_s$
h	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	kJ/h	kJ/h	%
09:30	796,5	31	27	2007,18	845,962445	42,1468
10:30	938	35	30	2363,76	1046,52821	44,2739
11:30	1041,5	39	32	2624,58	1456,03846	55,477
12:30	1053,5	44	36	2654,82	1643,81944	61,9183
13:30	973	45	38	2451,96	1441,8813	58,8053
14:30	788,5	46	41	1987,02	1044,09043	52,5455
15:30	565	42	41,5	1423,8	101,104502	7,10103
				$\Sigma Q_g=15513,2$	$\Sigma Q_c=7579,4$	$\eta_o= \% 46,03$

Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilen veriler ışığında 26 Temmuz 2011 tarihi için günlük ortalama verim Eşitlik 3.10’dan güneş enerjili sera tipi kurutucu için ,% 48,85, güneş enerjili ısı borulu kurutucu için % 46,03 olarak hesaplanmıştır.

26-27-28 Temmuz 2011 tarihli enerji ve verim hesabına ilişkin çizelgeler Ek C.1, Ek C.2, Ek C.3’de yer almaktadır. Çizelgeler kullanılarak oluşturulan saatlik performans değerlerine ilişkin grafikler ve Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

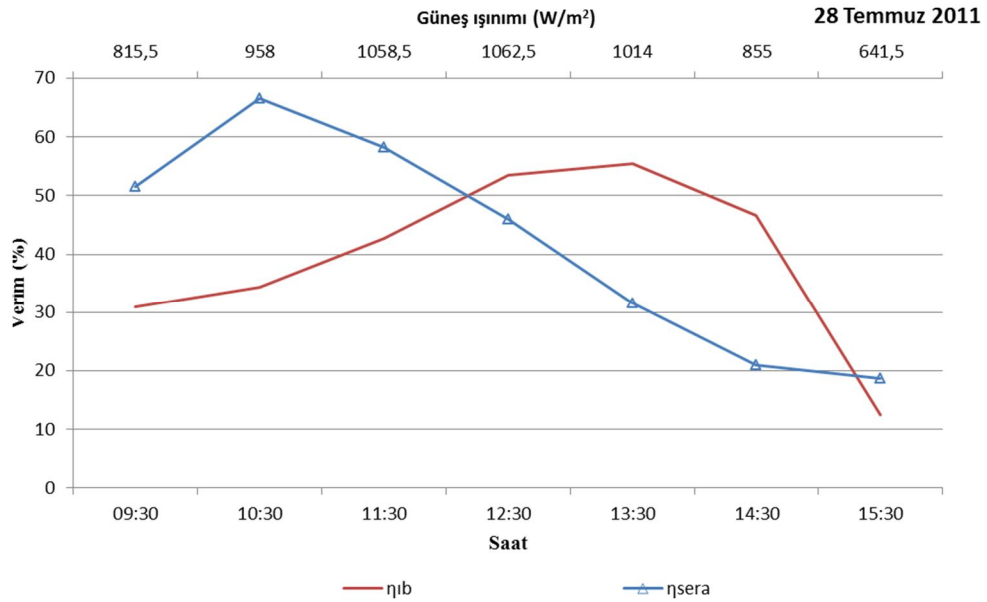


Şekil 5.10. Saatlik performans değerleri (26 Temmuz 2011).



Şekil 5.11. Saatlik performans değerleri (27 Temmuz 2011).

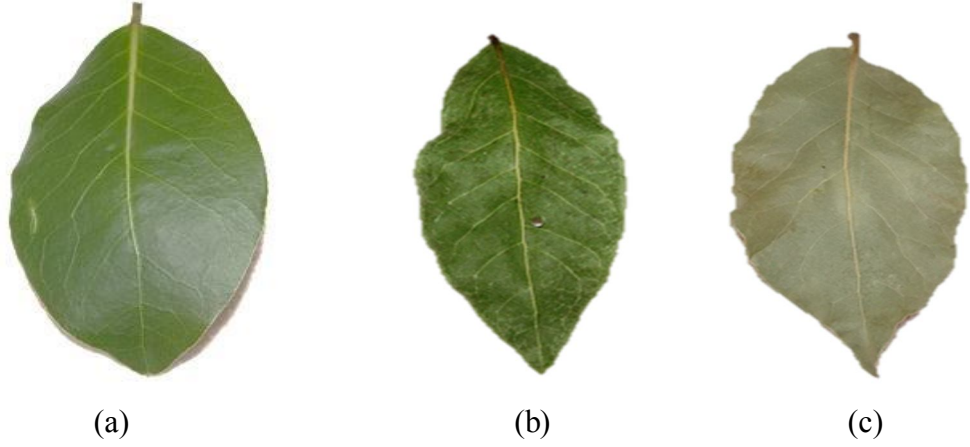
Şekil 5.10, 5.11, 5.12 incelendiğinde sistemlerin bu üç gün için ortalama verimleri güneş enerjili sera tipi kurutucuda %48.85 - %51.25 - %41,92, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda %46.03 - %48.56 - 39.42 olarak hesaplanmıştır. Saatlik performans değerlerinde ortak özellik olarak sera tipi kurutucu sabah erken saatlerde rejime girerek daha verimli olmuş ilerleyen saatlerde verim değerleri düşmeye başlamıştır. Güneş enerjili ısı borulu kurutucu ise daha geç rejime girerek saatlik performans değerleri öğle saatlerinde yükselmiştir. Buradan elde edilen sonuç güneş enerjili ısı borulu kurutucunun ataleti yüksektir dolayısıyla daha yüksek ışıınım değerlerine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 5.12. Saatlik performans değerleri (28 Temmuz 2011).

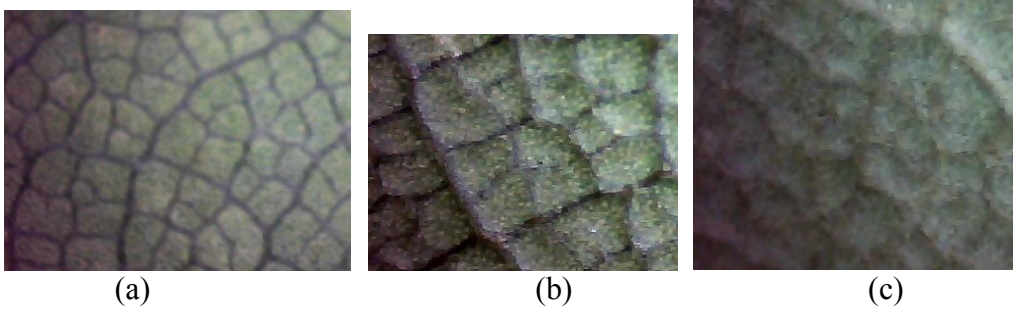
## 5.2. ÜRÜNLERDE MEYDANA GELEN FİZİKSEL DEĞİŞİKLİKLER

Kurutma işlemleri neticesinde defne yaprakları güneş enerjili ısı borulu kurutucuda güneşe direk maruz kalmadıkları için Şekil 5.13’de görüldüğü üzere renk değişimi fazla yaşanmazken, güneş enerjili sera tipi kurutucuda güneş ışıınının direk nüfuz ettiği yaprak rengini yeşilden kahverengiye dönüştürmüştür.



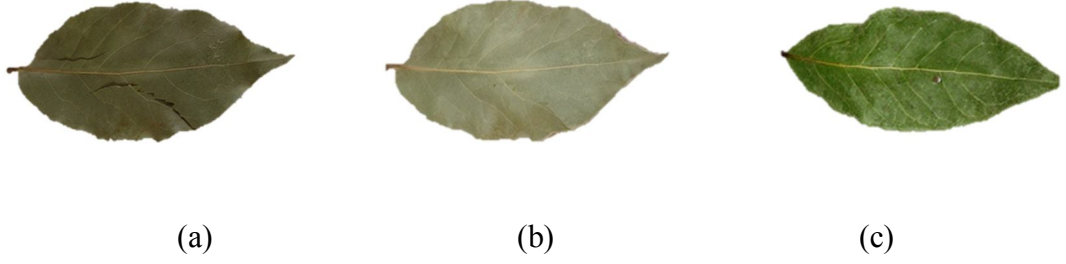
Şekil 5.13. Ürünler, a) Yaş defne yaprağı, b) Güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürün, c) Güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürün.

Kurutma sistemlerinin farklılığı çıplak gözle bakıldığında sadece renk farkına neden oluyor gibi görülmektedir Şekil 5.14’de ki mikroskopik yapı incelendiğinde güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürünlerin dokusal yapı bozukluğunun fazla olmadığı, bunun yanında güneş enerjili sera tipi kurutucuda dokusal yapı bozukluğunun daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Kurutma sonucu elde edilen ürünlerdeki renk değişiminde meydana gelen bu doku bozukluğundan kaynaklanmış olabileceği söylenebilir.



Şekil 5.14. Mikroskopik doku değişimi a)Yaş defne yaprağı, b) Güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürün, c) Güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürün.

Kurutduğumuz ürünleri birde piyasada satılan kuru defne yaprağı ile biçimsel ve renksel açıdan karşılaştıralım. Şekil 5.15. incelendiğinde güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürün ticari ürüne biçimsel ve yapısal açıdan benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.15. Kuru Ürünler, a) Ticari defne yaprağı, b) Güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürün, c) Güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürün.

Kurutulan defne yapraklarının genel olarak karşılaştırmasını yaparsak; ticari defne yaprağının aksine sistemlerde kurutulmuş olan yaprakların kuruma sonunda büzüştüğü gözlemlenmiştir. Güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürünlerin, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda kurutulan ürünlere göre direk güneşin altında kurumaları sebebiyle daha fazla büzüşme gösterdiği söylenebilir. Ayrıca güneş enerjili ısı borulu kurutucuda ürünlerdeki renk değişimi istif şekli değişsede homojen olurken güneş enerjili sera tipi kurutucuda yaprakların üst üste gelmesi yaprak renklerinde değişikliklere yol açmıştır. Dolayısıyla güneş enerjili sera tipi kurutucuda istif şekli yaprakların birbirlerini engellemeyeceği biçimde olmalıdır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, defne yaprağı kurutulması amacıyla iki farklı güneş enerjili kurutucu tasarlanıp imal edilmiştir. Kurutuculardan biri sera tipi olarak diğeri ısı borulu olarak dizayn edilmiştir. Her iki sistemde de kurutma havası açık sistem olarak tasarlanmış ürün üzerinden alınan nem hava ile birlikte atmosfere atılmıştır.

Kurutulan ürünün deneyleri sırasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Deneylerde kullanılan defne yaprağı için kuru ağırlığa göre hesaplanan başlangıç nem miktarı 1,02 g su / g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

Güneş enerjili ısı borulu kurutucu için 28 °C – 50 °C sıcaklık aralığında ortalama 0,6 m/s hava hızı ile kurutma yapıldığında 40 g yaş üründen 7 saatlik süre diliminde 26-27-28 Temmuz 2011 tarihleri için sırasıyla 25,33 g, 25,45 g, 25,12 g kuru ürün elde edilmiştir. Yaş ağırlık esasına göre son nem miktarları sırasıyla 0,218 g su / g yaş madde - 0,222 g su / g yaş madde - 0,211 g su / g yaş madde olarak hesaplanmıştır. Kuru ağırlık esasına göre hesaplandığında ise son nem miktarları sırasıyla 0,279 g su / g kuru madde - 0,285 g su / g kuru madde - 0,268 g su / g kuru madde olarak bulunmuştur.

Güneş enerjili sera tipi kurutucu için 36 °C – 52 °C sıcaklık aralığında ortalama 0,3 m/s hava hızı ile kurutma yapıldığında 40 g yaş üründen 7 saatlik süre diliminde 26-27-28 Temmuz 2011 tarihleri için sırasıyla 21,06 g, 20,89 g, 20,81 g kuru ürün elde edilmiştir. Yaş ağırlık esasına göre son nem miktarları sırasıyla 0,059 g su / g yaş madde - 0,052 g su / g yaş madde - 0,048 g su / g yaş madde olarak hesaplanmıştır. Kuru ağırlık esasına göre hesaplandığında ise son nem miktarları sırasıyla 0,063

g su / g kuru madde - 0,055 g su / g kuru madde - 0,051 g su / g kuru madde olarak bulunmuştur.

Günlük ortalama ısıl verimler 26-27-28 Temmuz 2011 tarihleri için sırasıyla güneş enerjili sera tipi kurutucuda %48.85 - %51.25 - %41,92, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda %46.03 - %48.56 – 39.42 olarak hesaplanmıştır.

Her iki sistemin ilk yatırım ve kurulum maliyetleri birbirine yakın değerlerdedir. Her iki sisteminde çalışması karmaşık değildir fakat sera tipi kurutucunun çalışması için işletme maliyeti yoktur. Diğer taraftan ısı borulu kurutucuda kullanılan fan için işletme maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sera tipi kurutucu işletme maliyetleri açısından daha avantajlıdır.

Her iki sistemde yazın nem oranı düşük, kurutma süresi kısa olan organik ürünlerin kurutulmasında rahatlıkla kullanılabilir.

Ürünlerin kurutulma süreleri incelendiğinde; sera tipi kurutucu, güneş enerjili ısı borulu kurutucuya nazaran daha çabuk kurutma sağlamış ve bu açıdan da daha avantajlı kabul edilmiştir.

Her iki sistemde de bağıl nem değeri sürekli artan ve kurutma özelliğini yitiren kurutma havasının direk atmosfere atılması sistem içinde nemin beklemesinin ve birikmesinin önüne geçerek kurutma hızını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

Enerji kaynaklarının kullanımı açısından bakıldığında her iki sistemde güneş enerjisi kullanırken güneş enerjili ısı pompalı kurutucu, fan desteği ile çalıştığı için elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Bahsi geçen elektrik enerjisi de güneş pillerinden sağlanabilir ölçüde olup gerektiğinde her iki sistemde başka bir enerjiye ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Ayrıca doğrudan veya dolaylı yolla fosil yakıt tüketimi yapmadıkları için çevreci özelliğe sahip kurutma sistemleri olarak değerlendirilebilir.

Sanayide defne yaprağı kurutma işlemi elektrik enerjisi veya katı, sıvı, gaz yakıt kazanı destekli sistemlerle yapılmakta ve kurutma maliyetleri ciddi seviyelere



yükselmektedir. Bu durum ürün maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Çalışmamızda kullandığımız sistemleri enerji maliyeti açısından incelediğimizde sadece güneş enerjili ısı borulu sistemde fanın çalışması için harcanılan elektrik enerjisi vardır. Burada harcanılan enerji sanayide kullanılan sistemlerle mukayese edildiğinde yok denecek kadar azdır. Bu nedenle kuru ürün maliyeti de daha düşük olacaktır.

Her iki kurutucuda aynı özelliklerde yaş defne yaprağı kurutulmuştur. Kuru ürün kaliteleri ticari ürün kalitesi ve kurutma standartları göz önüne alınarak incelenmiştir. Kurutma standartları açısından güneş enerjili sera tipi kurutucuda kurutulan ürün daha kaliteli iken, renk ve doku bakımından incelendiğinde güneş enerjili ısı borulu kurutucu da kurutulan ürün daha kalitelidir.

## KAYNAKLAR

Aktaş M., “Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 46-49 (2007).

Asımgil, A., “Şifalı Bitkiler” *Timaş Yayınları*, İstanbul, 80-81 (1993).

Atalay, İ., “Türkiye’nin Ekolojik Bölgeleri”, *Orman Bakanlığı*, İzmir, 163 (2002).

Baktır, İ., “Ağaçlar ve Çalılar”, *Akdeniz Üniversitesi Basımevi*, Antalya, 39-247 (1991).

Banout, J., Ehl, P., Havlik, J., Lojka, B., Polesny, Z. and Verner, V., “Design and performance evaluation of a double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum L.*)”, *Solar Energy*, 85 : 506–515 (2011).

Baytop, T., “Türkiye’de bitkiler ile tedavi (Geçmişte ve bugün)”. *İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, Nobel Tıp Kitapevleri*, İstanbul, (3255): 3-4, 226 (1999).

Belghit, A., M. Kouhila and B.C., “Boutaleb Experimental study of drying kinetics by forced convection of aromatic plants”. *Energ. Convers. Manage.*, (41): 1303-1321 (2000).

Bown, D., “Encyclopedia of herbs and their uses. the herb society of america” *Darling, Kindersley*, London, 252-387 (1995).

Brickell, C., “The royal horticultural society. a-z encyclopedia of garden plants” *Dorling Kindersley* London. New York. Stuttgart. Moscow, 584-595 (1981)

Kılıç, N., ”Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına dair yönetmelik”, *Kocaeli Ticaret Odası Ar-Ge Bülteni EİE*, 45-53 (2008).

Cengiz, Y., “Akdeniz defnesi (*Laurus nobilis*)”, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Raporlar Serisi*, Ankara, 5-12 (1979).

Ceylan, İ., “Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-4, (2002).

Ceylan, İ. ve Doğan, H., “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155-166 (2004).

Chen, H.-H., Hernandez, C. E. and Huang, T.-C, ."A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer",. ***Solar Energy***, 78 (1) : 97-103, (2005).

Davis, P.,H., "Flora of Turkey and East Aegean Islands", ***Edinburgh University Pres***, Birmingham, 54-57 (1982).

Demir, S., "Bazı meyvelerin sera içinde kuruma karakteristikleri", Doktora Tezi, ***Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Bornova-İzmir, 22-23 (1989).

Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and Degirmencioglu, A., "Mathematical modeling and determination of some quality parameters of air-dried bay leaves", ***Biosystems Engineering***, 88 (3) : 325-335 (2004).

Doğan, H., "Isı borulu güneş kollektörü ile kurutma", ***PAÜ Journal of Engineering Sciences***, 5 (1) : 921-925, (1999).

Doğan, H., "Kurutmada kullanılan hava ısıtma kollektörlerinin deneysel karşılaştırılması", ***Teknoloji***, (1-2) : 75-82 (2001).

Ekechukwu, O. V. and Norton, B., "Review or solar energy systems " ***II: An Overview of Solar Drying Technology, Energy Conversion and Management***, 40 : 615-655 (1999).

Er, C. ve Yıldız, M., "Tütün, ilaç ve baharat bitkileri", ***Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları***, Ankara, 220-223 (1997).

Evranoz, Ö. ve Çataltaş, İ., "Gıdaların Kurutulması", ***Ankara-Ofset***, İstanbul, 314-315 (1989).

Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E. ve Hepbasli, A., "Mathematical modelling of drying of bay leaves", ***Energy Conversion and Management***, (46) : 1667-1679 (2005)

Kuzgunkaya H. E., Hepbasli, A, "Exergetic performance assessment of a ground source heat pump drying system", ***International Journal of Energy Research***, 31 (8) : 767-770 (2006)

Göker, Y. ve Acar, M., İ., "Orman yan ürünlerinden Akdeniz defnesi", ***İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi***, İstanbul, 33 (1) : 27-30 (1983).

Güngör, A. ve Özbalt, N., "Endüstriyel kurutma sistemleri" ***3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı***, (2) : 740-747 (1997).

Gürel, A. E., "Güneş enerjili, ısı borulu, nem kontrollü kurutucuda aromatik ürünlerin (nane, maydanoz, biberiye) kurutulması", Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 32-45 (2010).

Hussain, M.M., "Investigation of heat and moisture transfer during solids drying", *King Fahd University of Petroleum and Minerals*, Dhahran, Suudi Arabia, (2001).

İlisulu, K., "İlaç ve baharat bitkileri", *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 63-75 (1992).

Karadeniz, T., "Şifalı meyveler (Meyvelerle beslenme ve tedavi şekilleri)" *Burcan Ofset Matbaacılık Sanayi*, Ordu, 66-67 (2004).

Kayacık, H., "Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 135-152 (1963).

Kuzgunkaya E.H, "Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompalı bir kurutucunun enerji ve ekserji analizi", Doktora Tezi, *Ege Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 37 (2006).

Lewis, Y.S, "Spices and herbs for the food industry", *Food Trade Pres*, Orpington, England, 662-671 (1984).

Mujumdar, A.S., "Drying fundamentals" (Industrial drying of foods, first edition, Ed.: C.G.J. Baker,)", *Blackie Academic Professional*, London, 7-29 (1997).

Özgülven, M., Sekin, S., Gürbüz, B., Şekeroğlu, N., Ayanoğlu, F. ve Ekren, S., "Tütün, tıbbi ve aromatik bitkiler üretimi ve ticareti", *TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi.*, Ankara, 481-505 (2005).

Özhatay, N., Koyuncu, M., Atay, S. ve Byfield, A., "Türkiye'nin doğal tıbbi bitkilerinin ticareti hakkında bir çalışma" *Doğal Hayatı Koruma Derneği*, İstanbul, 7-9 (1997).

Özkol, N., "İklimlendirme", *Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Matbaası*, Ankara, 237-239 (1981).

Rose, J., "375 Essential oil and hydrosols", *Frog Ltd. Berkeley*, California, 48-49 (1999).

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Sanayide enerji yönetimi esasları", *Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi*, Ankara, 12-18 (1997).

Schnaubelt, K., "Medical aromateraphy. healing with essential oils" *Frog Ltd. Berkeley*, California, 213-214 (1999).

Tanker, N., Koyuncu, M., ve Coşkun, M., "Farmasötik botanik", *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları*, 231-236 (1998).

Varınca, K.B. ve Gönüllü, M. T., "Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma", *UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 270-275 (2006).

Yaşartekin, Y., “Dikey ekseninde güneşi izleyen kabinet tipi bir kurutucuda elma kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü*, İzmir, 32-34 (1991).

Yılmaz, S. ve Yavuz, C., “Isı pompası destekli kurutma fırınlarında kurutma parametrelerinin kontrolü için alternatif bir yöntem”, *Teknoloji*, Karabük, 9 (4) : 349-356 (2006).

Wyk, B.E. and Wink, M., “Medicinal plants of the world”, *Timber Press*, Portland, Oregon, 186-188 (2004).

Zeybek, N., ve Zeybek, U., “Farmasötik botanik. kapalı tohumlu bitkiler (angiospermae) sistematığı ve önemli maddeleri”, *Ege Üniversitesi. Eczacılık Fakültesi Yayınları*, İzmir, 102-105 (1994).

## **ÖZGEÇMİŞ**

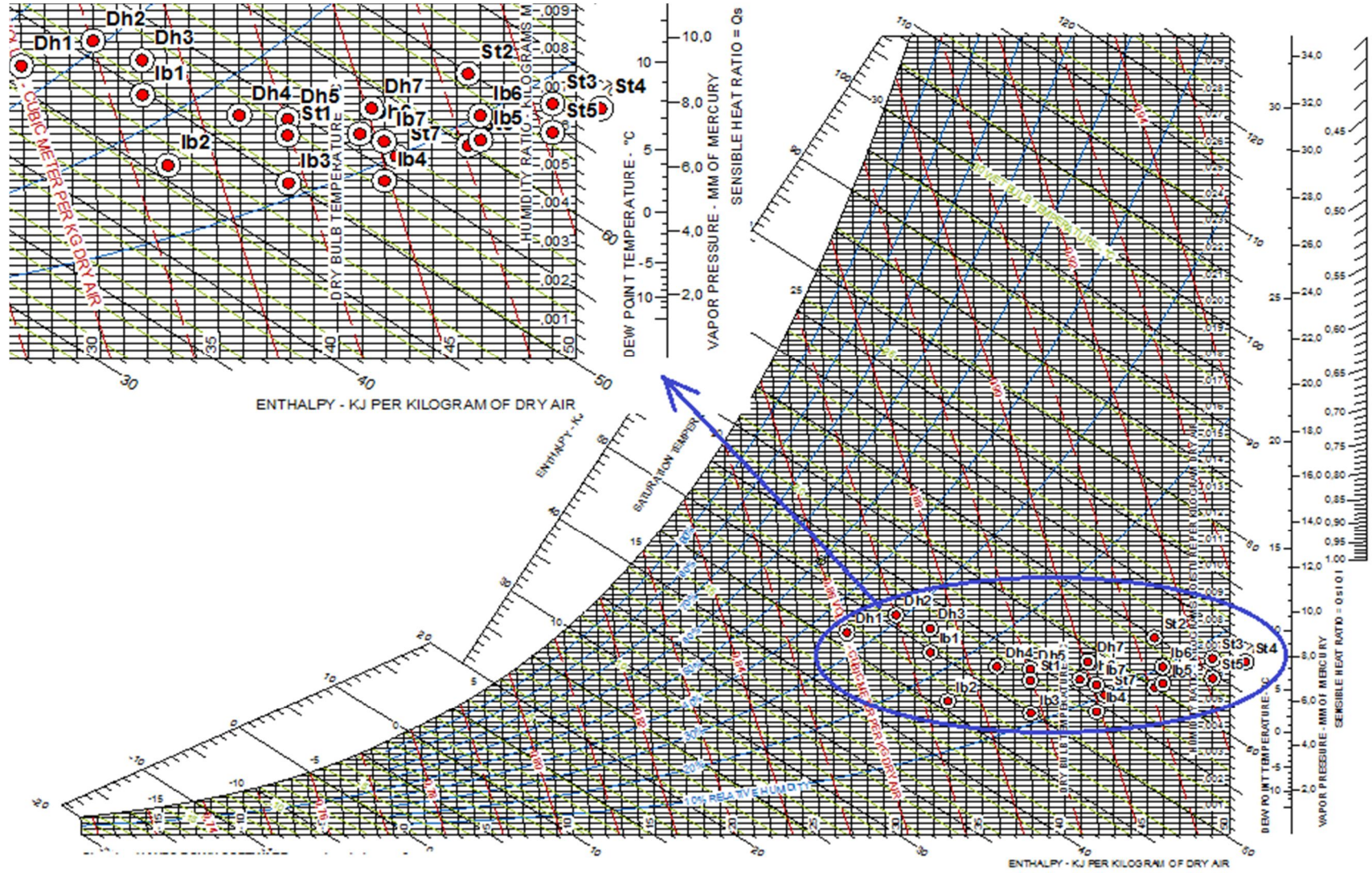
Özge DEMİR 1986 yılında Karabük’te doğdu. İlk öğrenimini Şirinevler İlköğretim okulunda, orta öğrenimini Yenişehir Atatürk İlköğretim Okulunda lise öğrenimini Karabük Demir Çelik lisesinde tamamladı. 2004 – 2006 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme ve Soğutma programından mezun oldu. Daha sonra 2006 – 2009 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. Şu anda Karabük Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Zafer Blokları 5. Blok Daire: 12 Merkez / SİNOP  
Tel : (532) 790 1739  
E-posta : ozge@odemir.net  
Web : www.odemir.net

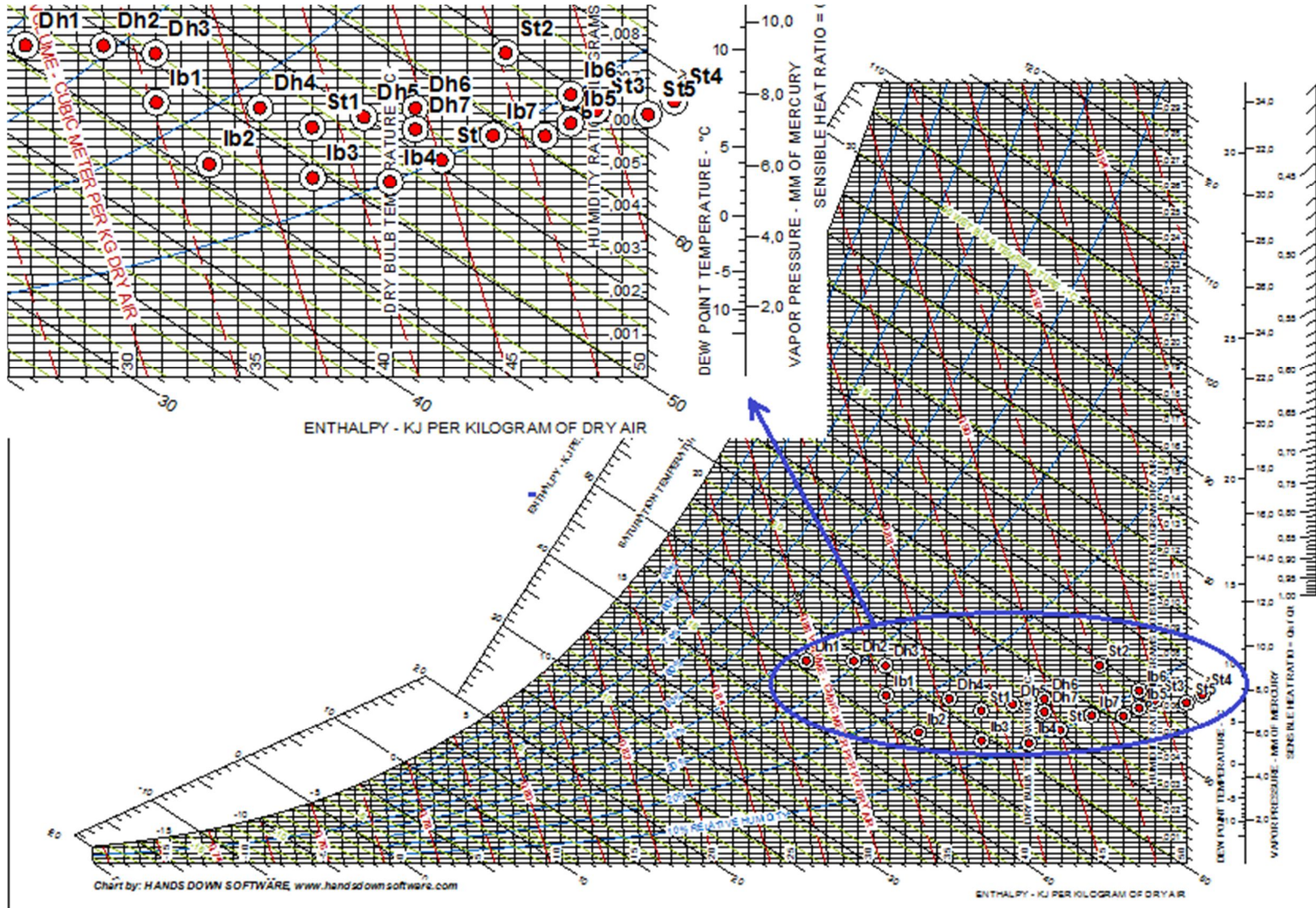
**EK AÇIKLAMALAR A.**  
**PSİKROMETRİK DİYAGRAMLAR**

Şekil Ek A.1. Dış hava ve kurutucu havaların psikrometrik diyagramda gösterilmesi (26 Temmuz 2011).

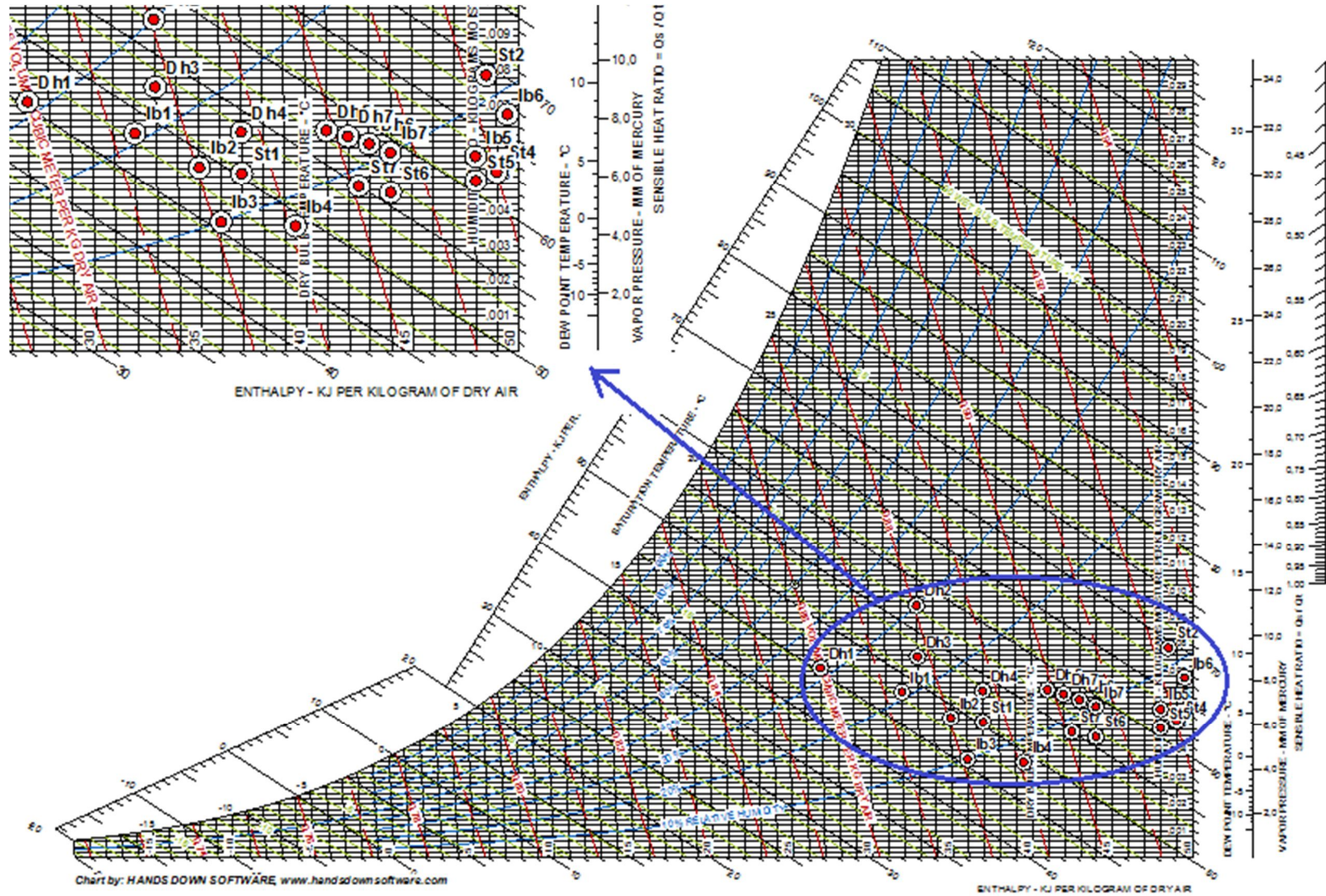




Şekil Ek A.2. Dış hava ve kurutucu havaların psikrometrik diyagramda gösterilmesi (27 Temmuz 2011).



Şekil Ek A.3. Dış hava ve kurutucu havaların psikrometrik diyagramda gösterilmesi (28 Temmuz 2011).



**EK AÇIKLAMALAR B.**

**DENEY SONUÇLARI**

Çizelge Ek B.1. Deney sonuçları (26 Temmuz 2011)

Saat	Dış Ortam			Güneş enerjili Isı Borulu Kurutucu			Güneş Enerjili Sera Tipi Kurutucu		
	Işınım	Sıcaklık	Bağıl Nem	Sıcaklık	Bağıl Nem	Kütle	Sıcaklık	Nem	Kütle
09:30	717	25,5	35	30,4	31,5	40	37,2	21,2	40
10:00	876	29	33,9	32,1	27,8	38,9	39	18,1	38,41
10:30	910	29,4	33,5	34,2	26	37,6	44	15,4	36,53
11:00	966	30	29	35,6	20	37,2	47	12,8	33,45
11:30	1035	31,5	28,1	37,3	18	36,8	48	12,6	30,66
12:00	1048	33	24,3	40	14,3	35,63	50,3	12	28,65
12:30	1060	35,6	17,4	42,8	11,4	34,92	50,8	9,3	26,21
13:00	1047	36,1	16,9	45	10	34,13	51,6	8,2	24
13:30	1010	34,7	16,8	45,2	9,5	33,31	50,4	8	22,4
14:00	936	40,5	13	45,7	8,3	32,29	46,9	7,2	21,81
14:30	857	40,8	11,5	46,4	8,4	29,31	46	7,6	21,45
15:00	720	42	11,9	45	8,7	27,54	45	8,2	21,06
15:30	610	41,9	12,4	44,8	9,6	26,66	44,8	8,8	21,06
16:00	520	41,1	12,8	39,2	10,5	25,98	44,2	9,6	21,06
16:30	446	40,5	13,1	38	11,4	25,33	40,2	10,1	21,06

Çizelge Ek B.2. Deney sonuçları (27 Temmuz 2011)

Saat	Dış Ortam			Güneş Enerjili Isı Borulu Kurutucu			Güneş Enerjili Sera Tipi Kurutucu		
	Işınım	Sıcaklık	Bağıl Nem	Sıcaklık	Bağıl Nem	Kütle	Sıcaklık	Nem	Kütle
09:30	682	24,3	37,9	28,5	30,3	40	36,4	23,2	40
10:00	836	27,6	35,6	32,5	25,8	39,1	38	18,4	38,81
10:30	895	28,7	32,2	33,6	24,2	37,8	44	16,5	37,1
11:00	935	29,9	30,1	35,8	21,3	37,4	45	13,2	34,52
11:30	991	30,6	29,3	36,4	19,1	36,9	46,8	13,9	31,48
12:00	1009	32,3	25,6	38,9	13,2	35,84	49,3	12,5	29
12:30	1042	34,8	18,5	41,2	12,6	35,12	50,8	9,9	27,1
13:00	1085	36,1	17,2	44	11,2	34,54	52,1	8,5	25,2
13:30	1058	38,7	14,3	45	10,6	34,13	51	8,1	23,62
14:00	994	39,3	14,1	48	9,4	32,58	49,3	7,5	21,66
14:30	832	41,6	13,2	46,3	8,9	29,87	47,8	7,3	21,52
15:00	684	41,3	12,1	44,6	8,2	28,24	45,1	7,9	21,87
15:30	598	41,1	11,8	43,5	9,3	26,68	44,9	8,5	21
16:00	501	40,2	12,5	41,4	9,9	26,12	44,1	9,6	20,89
16:30	494	39,9	12,8	41,3	10,4	25,45	41,1	10,3	20,89

Çizelge Ek B.3. Deney sonuçları (28 Temmuz 2011)

Saat	Dış Ortam			Güneş Enerjili Isı Borulu Kurutucu			Güneş Enerjili Sera Tipi Kurutucu		
	Işınım	Sıcaklık	Bağıl Nem	Sıcaklık	Bağıl Nem	Kütle	Sıcaklık	Nem	Kütle
09:30	739	26,4	32	29,6	29,5	40	36,3	20,1	40
10:00	892	29,6	31,6	31,3	25,8	38,3	38,6	17,8	37,98
10:30	945	29,9	31,2	35,7	23,2	37,1	47	14,8	36,12
11:00	971	30,6	28,2	37,9	19,4	36,8	50	11,7	31,52
11:30	1055	31,9	27,4	38	16,5	36,1	47,6	11,2	29,45
12:00	1062	33,7	20,5	39	13,2	34,93	49	10,4	27,71
12:30	1066	36,2	16,5	43,2	10,6	34,15	49,3	8,7	25,21
13:00	1059	36,9	15	45,7	9,2	33,5	49,6	7,6	23,21
13:30	1024	40,1	14,2	47,5	8,9	32,87	50,4	7,3	22,65
14:00	1004	41,2	12	49,4	7,8	31,98	48,5	6,2	20,87
14:30	915	43,6	10,5	49,8	7,6	29,54	48,2	6,9	20,83
15:00	795	43,2	10,7	46,6	7,9	26,92	46,8	7,3	20,81
15:30	682	42,6	11,2	44,6	8,4	25,48	46,4	7,9	20,81
16:00	601	41,8	11,9	42,3	9,8	25,35	43	8,7	20,81
16:30	568	41,5	12,3	41,7	10,1	25,12	41,9	9,1	20,81

**EK AÇIKLAMALAR C.**  
**ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR**

Çizelge Ek C.1. Ölçüm ve hesaplamalar (26 Temmuz 2011).

SERA TİPİ KURUTUCU ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARI																		
t	I	V	A	$\rho_h$	$\Phi_\zeta$	$T_\zeta$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_s$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_\zeta$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	NM <sub>KA</sub>	NM <sub>YA</sub>
h	W/m <sup>2</sup>	m/sn	m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	°C	°C	%	kg/h	kJ/kg°C	°C	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su / g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	796,5	0,3	0,0836	1,1712	20	38	27	34	25,29	1	11	1163,198362	2007,18	57,95187	40	19,8	1,02	0,5
10:30	938	0,3	0,0836	1,1591	14	45,5	30	31	25,03	1	15,5	1622,118722	2363,76	68,62451	36,53	19,8	0,84	0,45
11:30	1041,5	0,3	0,0836	1,1519	12	49	32	26	24,88	1	17	1768,046702	2624,58	67,36494	30,66	19,8	0,54	0,35
12:30	1053,5	0,3	0,0836	1,1379	9	51	36	17	24,57	1	15	1541,080728	2654,82	58,04841	26,21	19,8	0,32	0,24
13:30	973	0,3	0,0836	1,1307	8	49	38	15	24,42	1	11	1122,975058	2451,96	45,79908	22,4	19,8	0,13	0,11
14:30	788,5	0,3	0,0836	1,1202	8	45,5	41	12	24,19	1	4,5	455,1327792	1987,02	22,90529	21,45	19,8	0,08	0,07
15:30	565	0,3	0,0836	1,1179	9	44,5	41,5	13	24,14	1	3	302,7988656	1423,8	21,26695	21,06	19,8	0,06	0,05

63

ISI BORULU KURUTUCU ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARI																		
t	I	V	A	$\rho_h$	$\Phi_\zeta$	$T_\zeta$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_{ib}$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_\zeta$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	NM <sub>KA</sub>	NM <sub>YA</sub>
h	W/m <sup>2</sup>	m/sn	m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	°C	°C	%	kg/h	kJ/kg°C	°C	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su / g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	796,5	0,6	0,0836	1,1712	30	31	27	34	50,59	1	4	845,9624448	2007,18	42,14682	40	19,8	1,02	0,5
10:30	938	0,6	0,0836	1,1591	23	35	30	31	50,07	1	5	1046,528208	2363,76	44,27388	37,6	19,8	0,89	0,47
11:30	1041,5	0,6	0,0836	1,1519	16	39	32	26	49,76	1	7	1456,038461	2624,58	55,47701	36,8	19,8	0,85	0,46
12:30	1053,5	0,6	0,0836	1,1379	11	44	36	17	49,15	1	8	1643,819443	2654,82	61,9183	34,92	19,8	0,76	0,43
13:30	973	0,6	0,0836	1,1407	9	45	38	15	49,27	1	7	1441,881302	2451,96	58,80525	33,31	19,8	0,68	0,4
14:30	788,5	0,6	0,0836	1,1564	9	46	41	12	49,95	1	5	1044,090432	1987,02	52,54554	29,31	19,8	0,48	0,32
15:30	565	0,6	0,0836	1,1198	10	42	41,5	13	48,37	1	0,5	101,1045024	1423,8	7,101033	26,66	19,8	0,34	0,25



Çizelge Ek C.2. Ölçüm ve Hesaplamalar (27 Temmuz 2011).

SERA TİPİ KURUTUCU ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARI																		
t	l	V	A	$\rho_h$	$\Phi_{\zeta}$	$T_{\zeta}$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_s$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_{\zeta}$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	$NM_{KA}$	$NM_{YA}$
h	$W/m^2$	m/sn	$m^2$	$kg/m^3$	%	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	%	kg/h	$kJ/kg^{\circ}C$	$^{\circ}C$	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su /g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	759	0,3	0,0836	1,175	20	37	26	37	25,38	1	11	1166,9724	1912,68	61,0124	40	19,8	1,02	0,5
10:30	915	0,3	0,0836	1,1633	14	44,5	29	31	25,12	1	15,5	1627,9965	2305,8	70,6044	37,1	19,8	0,87	0,46
11:30	1000	0,3	0,0836	1,1558	12	48	31	27	24,96	1	17	1774,0328	2520	70,3981	31,48	19,8	0,58	0,37
12:30	1063,5	0,3	0,0836	1,1416	9	51	35	18	24,65	1	16	1649,1645	2680,02	61,5355	27,1	19,8	0,36	0,26
13:30	1026	0,3	0,0836	1,1271	8	50	39	14	24,34	1	11	1119,3997	2585,52	43,295	23,62	19,8	0,19	0,16
14:30	758	0,3	0,0836	1,116	8	46	41	13	24,10	1	5	503,80704	1910,16	26,3751	21,52	19,8	0,08	0,07
15:30	549,5	0,3	0,0836	1,1202	9	44,5	41	12	24,19	1	3,5	353,99216	1384,74	25,5638	21	19,8	0,06	0,05

ISI BORULU KURUTUCU ÖLÇÜM VE HESAPLAMALARI																		
t	l	V	A	$\rho_h$	$\Phi_{\zeta}$	$T_{\zeta}$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_{lb}$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_{\zeta}$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	$NM_{KA}$	$NM_{YA}$
h	$W/m^2$	m/sn	$m^2$	$kg/m^3$	%	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	%	kg/h	$kJ/kg^{\circ}C$	$^{\circ}C$	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su /g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	759	0,6	0,0836	1,175	30	30,5	26	37	50,76	1	4,5	954,7956	1912,68	49,9193	40	19,8	1,02	0,5
10:30	915	0,6	0,0836	1,1633	23	35	29	31	50,25	1	6	1260,3844	2305,8	54,6615	37,8	19,8	0,9	0,47
11:30	1000	0,6	0,0836	1,1558	16	38	31	27	49,93	1	7	1460,9682	2520	57,9749	36,9	19,8	0,86	0,46
12:30	1063,5	0,6	0,0836	1,1416	11	43	35	18	49,31	1	8	1649,1645	2680,02	61,5355	35,12	19,8	0,77	0,43
13:30	1026	0,6	0,0836	1,1271	9	46,5	39	14	48,69	1	7,5	1526,4541	2585,52	59,0386	34,13	19,8	0,72	0,41
14:30	758	0,6	0,0836	1,116	9	45	41	13	48,21	1	4	806,09126	1910,16	42,2002	29,87	19,8	0,5	0,33
15:30	549,5	0,6	0,0836	1,1202	10	42	41	12	48,39	1	1	202,28124	1384,74	14,6079	26,68	19,8	0,34	0,25

Çizelge Ek C.3. Ölçüm ve Hesaplamalar (28 Temmuz 2011).

SERA TİPİ KURUTUCU ÖLÇÜM VE HASAPLAMALARI																		
t	I	V	A	$\rho_h$	$\Phi_\zeta$	$T_\zeta$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_s$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_\zeta$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	NM <sub>KA</sub>	NM <sub>YA</sub>
h	W/m <sup>2</sup>	m/sn	m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	°C	°C	%	kg/h	kJ/kg°C	°C	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su / g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	815,5	0,3	0,0836	1,172	19	37	27	32	25,38	1	10	1057,72392	2055,06	51,4692	40	19,8	1,02	0,5
10:30	958	0,3	0,0836	1,147	13	48,5	33	30	25,12	1	15,5	1605,04526	2414,16	66,4846	36,12	19,8	0,82	0,45
11:30	1058,5	0,3	0,0836	1,148	11	48	33	24	24,96	1	15	1555,03022	2667,42	58,2972	29,45	19,8	0,48	0,32
12:30	1062,5	0,3	0,0836	1,134	8	49	37	16	24,65	1	12	1228,96414	2677,5	45,8997	25,21	19,8	0,27	0,21
13:30	1014	0,3	0,0836	1,12	7	49	41	13	24,34	1	8	808,691558	2555,28	31,6479	22,65	19,8	0,14	0,12
14:30	855	0,3	0,0836	1,113	7	47,5	43	11	24,10	1	4,5	452,207448	2154,6	20,988	20,83	19,8	0,05	0,04
15:30	641,5	0,3	0,0836	1,116	8	45	42	12	24,19	1	3	302,39257	1616,58	18,7057	20,81	19,8	0,05	0,04

28 TEMMUZ 2011 ISI BORULU KURUTUCU

t	I	V	A	$\rho_h$	$\Phi_\zeta$	$T_\zeta$	$T_g$	$\Phi_g$	$\dot{m}_{ib}$	$C_{p_h}$	$\Delta T$	$\dot{Q}_\zeta$	$\dot{Q}_g$	$\eta$	m	$m_{kuru}$	NM <sub>KA</sub>	NM <sub>YA</sub>
h	W/m <sup>2</sup>	m/sn	m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	°C	°C	%	kg/h	kJ/kg°C	°C	kJ/h	kJ/h	%	kg	kg	g su / g kuru madde	g su / g yaş madde
09:30	815,5	0,6	0,0836	1,172	30	30	27	32	50,76	1	3	634,634352	2055,06	30,8815	40	19,8	1,02	0,5
10:30	958	0,6	0,0836	1,147	23	37	33	30	50,25	1	4	828,410458	2414,16	34,3146	37,1	19,8	0,87	0,46
11:30	1058,5	0,6	0,0836	1,148	16	38,5	33	24	49,93	1	5,5	1140,3555	2667,42	42,7513	36,1	19,8	0,82	0,45
12:30	1062,5	0,6	0,0836	1,134	11	44	37	16	49,31	1	7	1433,7915	2677,5	53,5496	34,15	19,8	0,72	0,42
13:30	1014	0,6	0,0836	1,12	9	48	41	13	48,69	1	7	1415,21023	2555,28	55,3838	32,87	19,8	0,66	0,39
14:30	855	0,6	0,0836	1,113	9	48	43	11	48,21	1	5	1004,90544	2154,6	46,64	29,54	19,8	0,49	0,32
15:30	641,5	0,6	0,0836	1,116	10	43	42	12	48,39	1	1	201,595046	1616,58	12,4705	25,48	19,8	0,28	0,22