



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ VAKUM TÜPLÜ  
KURUTUCUNUN KAPASİTE DEĞİŞİMİNİN  
PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Ümmügülsüm SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Ekim-2022**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ VAKUM TÜPLÜ  
KURUTUCUNUN KAPASİTE DEĞİŞİMİNİN  
PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Ümmügülsüm SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür DEMİR**

**Ekim-2022**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Ümmügülsüm SAĞLAM tarafından hazırlanan “Güneş Enerjili Vakum Tüplü Kurutucunun Kapasite Değişiminin Performansa Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 28/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Kemal BALKI  
Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık  
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

.....

#### Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Özgür DEMİR  
Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik ve  
Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

.....

#### Üye

Dr. Öğretim Üyesi Mehmet AKÇAY,  
Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik ve  
Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

.....

Yukarıdaki sonuç;  
Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından BAP-21-MMF-4902-04 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ümmügölsüm SAĞLAM

Tarih: 28/09/2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## GÜNEŞ ENERJİLİ VAKUM TÜPLÜ KURUTUCUNUN KAPASİTE DEĞİŞİMİNİN PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ümmügülüm SAĞLAM

Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür DEMİR

Enerjinin ve gıdanın önemi son beş ayda yaşanan Rusya-Ukrayna savaşı ile bir kere daha gündeme gelmiştir. Rus doğalgazının ve tahıllarının Avrupa'ya gönderimi durunca adeta ekonomi devi ülkeler çaresiz kalmış ve bir arayış içerisine girmişlerdir. Bu da bize enerjide bağımsız olmanın önemini bir kere daha göstermiştir. Dünya devletleri çevreci enerji politikasına yönelmektedir. Ülkemizde de yenilenebilir enerji potansiyeli en büyük olan güneş enerjisidir. Son yıllarda güneş enerjisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Enerji kadar gıda da ülke politikalarında önemli rol oynamaktadır. Kuru gıdalar raf ömürlerinin uzun olmasından, depolama kolaylığından ve her daim ulaşılabilir olmalarından dolayı tercih edilirler. Yapılan bu çalışmada enerjisini güneşten alan, birçok gıdanın kurutulabileceği bir vakum tüplü kurutma fırını tasarım imalatı yapılmıştır. Tasarımı ve imalatı yapılan fırında vakum tüpü sayısı değiştirilerek kuruma parametreleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Etüvde kurutulan mantarın kül ağırlığı 3,7 su/ g kuru madde bulunmuştur. Kurutma fırınına 50 g alınarak kurutulan mantar ise sekiz saat sonunda tartıldığında 4,9 su/g kuru madde gelmiştir. Kurutma havası sıcaklığı 28,9-70,5 °C aralığında, gün içerisinde hava durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Sekiz vakum tüpü ile başlanan deneyin her gün bir tüp eksilterek verileri alınmıştır. Verilerin yarım saatlik ortalamaları alınarak grafiklendirilmiş ve yorumlanmıştır. Sekiz vakum tüpünden dört vakum tüpüne kadar kabin sıcaklığında değişiklik görülmemiştir. Dört kabin tüpünden sonra ise kabin sıcaklığı tüp sayısına bağlı olarak azalmıştır. Işınım ile kurutma havası sıcaklığı paralellik göstermiştir. Işınım arttıkça kurutma havası sıcaklığı artmış, ürün ağırlığı azalmıştır. Kurutma işlemleri sonucu mantar 4,9 su/g kuru maddeye kadar kurutulmuştur. Buda bize deneyimizin sonucu olarak tam kuru ağırlığa % 90,2 yaklaştığımızı göstermektedir. Ulaşılan veriler tasarlanan sistemin verimli olduğunu desteklemektedir. Sistemin verim hesabı yapıldığında dört vakum tüpü ile %66 verime ulaşılmıştır. Ulaşılan bu veriler tasarlanan sistemi desteklemektedir.

2022, 42 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Kurutma, Vakum Tüplü Kurutucu

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOLAR POWERED VACUUM TUBE DRYER CAPACITY CHANGE ON PERFORMANCE**

**Ümmüglüm SAĞLAM**

**Muş Alparslan University  
Natural and Applied Science  
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

**Advisor: Assist Prof. Dr. Özgür DEMİR**

The importance of energy and food has once again come to the fore with the Russia-Ukraine war in the last five months. When the shipment of Russian natural gas and grains to Europe stopped, the economy giants became desperate and went on a quest. This once again showed us the importance of being independent in energy. World states are turning to environmentalist energy policy. Solar energy is the biggest renewable energy potential in our country. In recent years, a lot of research has been done on solar energy. Food, as well as energy, plays an important role in country policies. Dry foods are preferred because of their long shelf life, ease of storage and accessibility at all times. In this study, a vacuum tube solar drying oven design, which is environmentally friendly, takes its energy from the sun and can dry many foods, has been made. The drying parameters were analyzed experimentally by changing the number of vacuum tubes in the furnace, which was designed and manufactured. The ash weight of the mushroom dried in the oven was found to be 3.7 water/g dry matter. When the mushroom dried by taking 50 g into the drying oven was weighed after eight hours, 4.9 water/g dry matter was obtained. The drying air temperature varied in the range of 28.9-70.5 °C, depending on the weather during the day. The data of the experiment, which started with eight vacuum tubes, were taken by reducing one tube every day. The half-hour averages of the data were graphed and interpreted. From eight vacuum tubes to four vacuum tubes, there was no change in cabin temperature. After four cabin tubes, cabin temperature decreased depending on the number of tubes. Radiation and drying air temperature showed parallelism. As the radiation increased, the drying air temperature increased and the product weight decreased. As a result of the drying processes, the mushroom was dried up to 4.9 water/g dry matter. This shows us that, as a result of our experiment, we approached 90.2% of the full dry weight. The obtained data supports that the designed system is efficient. When the efficiency calculation of the system was made, an efficiency of 66% was reached with four vacuum tubes. These obtained data support the designed system.

**2022, 42 Pages**

**Keywords:** Solar Energy, Drying, Vacuum Tube Dryer

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması ve oluşturulması süresince bilimsel tecrübeleri ile yol gösteren tez danışmanım sayın Dr. Öğretim Üyesi Özgür DEMİR' e ve eğitim aldığım süre zarfında bilgilerinden faydalandığım tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin yanı sıra her daim yardımlarını hissettiğim, beni destekleyen, varlıklarıyla onure olduğum Muş Alparslan Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokul Sekreteri eşim Ömer SAĞLAM' a ve Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu' nda Öğretim Görevlisi kız kardeşim Esmenur Kıvrak İLERİ' ye tüm desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarına maddi olarak destek veren Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi'ne (BAP-21-MMF-4902-04) teşekkür ederim.

Ayrıca son olarak en büyük teşekkürüm ise bizlere hem annelik hem babalık yapmak durumunda kalan canım annem Aysel KIVRAK ve bu süre boyunca ihmal ettiğim ve varlığıyla güç bulduğum oğlum M. Arif SAĞLAM içindir.

Ümmügülsüm SAĞLAM  
MUŞ-2022

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri .....	3
1.1.1 Yenilenemeyen enerji .....	3
1.1.2 Yenilenebilir enerji .....	3
1.2 Güneş Enerjisi .....	4
1.3 Muş İlinin Güneş Enerji Potansiyeli .....	4
1.4 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları .....	6
1.5 Güneş Enerjili Kurutucuların Sınıflandırılması .....	6
1.6 Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri Bölümleri.....	7
1.6.1 Dağıtılmış (Dolaylı Tip) doğal dörkülasyonlu güneş enerjili kurutucular .....	8
1.6.2. Entegre (Direkt Tip) doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucular .....	9
1.6.3. Kombine tip doğal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucuları .....	10
1.6.4. Rüzgârla dönen pervaneli kombine tip güneş enerjili kurutucusu.....	11
1.6.5. Aktif güneş enerjili kurutucular .....	11
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>12</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>19</b>
3.1 Deney Sisteminin Tasarımı.....	19
3.2 Deney Sisteminin İmalatı.....	20
3.2.1 Vakum tüpleri .....	20
3.2.2 Kurutma kabini .....	21
3.2.3 Kullanılan ölçüm cihazları .....	22
3.2.4 Ağırlık ölçümleri.....	23
3.2.5 Sıcaklık ve nem ölçümleri .....	24
3.2.6 Veri toplama ve izleme cihazı .....	24
3.2.7 Yük hücresi transmitteri.....	25
3.2.8 Yük hücresi .....	25
3.2.9 Etüv .....	25
3.3 Teorik Analiz .....	26
3.3.1 Mantarın başlangıç nem miktarının belirlenmesi .....	26
3.3.2 Enerji analizi .....	28
3.3.3 Güneş enerjili kurutucularda ısıl verim hesabı .....	29

<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>30</b>
4.1 Tüp Sayısı Sıcaklık İlişkisi .....	30
4.2 Sıcaklık Ağırlık İlişkisi .....	31
4.3 Yaş ve Kuru Esasa Göre Nemlilik Değişimi .....	31
4.4 Tüp Sayısı Verim İlişkisi .....	32
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>34</b>
5.1 Sonuçlar .....	34
5.2 Öneriler .....	34
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>36</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

A	:	Boru yüzey alanı ( $m^2$ )
A	:	Çıkış menfezi açıklık alanı ( $a * b$ ), ( $m^2$ )
$c_p$	:	Özgül ısı ( $kJ/kg^{\circ}C$ )
I	:	Işınım değeri ( $W/m^2$ )
$I_{ort}$	:	Ortalama ışınım değeri ( $W/m^2$ )
$M_1$	:	Kurutmadan önceki nem (%)
$M_2$	:	Kurutmadan sonraki nem (%)
$W_s$	:	Su ağırlığı (g)
k	:	Ürünün kuru ağırlığı (g)
$m_h$	:	Hava miktarı (kg/h)
$\eta_s$	:	Saatlik sistem veriminin yüzdeliği,
% $N_{yb}$	:	Yaş baza göre nem oranı (%)
% $N_{kb}$	:	Kuru baza göre nem oranı (%)
p	:	Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$Q_g$	:	Sisteme giren enerji (kJ/h)
$Q_{\check{c}}$	:	Sistemden çıkan enerji (kJ/h)
$T_{\check{c}}$	:	Çıkan hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_g$	:	Giren hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	:	Sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ )
V	:	Hava hızı (m/s)
W	:	Ağırlık kaybı (g)
$W_1$	:	İlk ağırlık (g)
$W_2$	:	Son ağırlık(g)

### Kısaltmalar

EİGM	:	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
GEPA	:	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
KA	:	Etüvde kurutulan kuru madde ağırlığı
$NM_{KA}$	:	Kuru ağırlığın nem miktarı ( $g_{su} / g_{kuru\ madde}$ )
$NM_{YA}$	:	Yaş ağırlığın nem miktarı ( $g_{su} / g_{yaş\ madde}$ )

YA : Yaş ürün ağırlığı  
YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası .....	4
Şekil 1. 2 Muş ili toplam güneş radyasyonu haritası .....	5
Şekil 1. 3 Muş ili aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süresi.....	5
Şekil 1. 4 Güneş enerjisinin kullanılarak tarım ürünlerinin kurutulma yöntemleri.....	6
Şekil 1. 5 Güneş enerjili kurutma sistemlerinde işlem aşaması .....	7
Şekil 1. 6 Kurutucu bölümlerinde tipik temel dizaynı.....	8
Şekil 1. 7 Dolaylı tip güneş enerjisi kurutucu çalışma dizaynı .....	9
Şekil 1. 8 Direkt tip güneş enerjili kurutucu çalışma dizaynı.....	10
Şekil 1. 9 Kombine tip güneş enerjili kurutucu çalışma dizaynı .....	10
Şekil 1. 10 Rüzgar İle Dönen Pervaneli Kombine Tip Güneş Enerjili Kurutucusu Çalışma Prensibi .....	11
Şekil 3. 1 Tasarımı ve imalatı yapılan güneş enerjili kurutucu ve bölümleri.....	19
Şekil 3. 2 Vakum tüpleri.....	21
Şekil 3. 3 Kurutma kabini iç kısmı ve kabinin dış görünüşü.....	21
Şekil 3. 4 Deney seti .....	22
Şekil 3. 5 Kullanılan dijital tartı. ....	23
Şekil 3. 6 Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı.....	24
Şekil 3. 7 Veri toplama ve izleme cihazı .....	24
Şekil 3. 8 Yük hücresi transmitteri .....	25
Şekil 3. 9 Yük hücresi.....	25
Şekil 3. 10 Etüv .....	26
Şekil 3. 11 Dijital Terazı.....	26
Şekil 4. 1 Tüp sayısı sıcaklık ilişkisi grafiği.....	30
Şekil 4. 2 Ürün ağırlık değişimim grafiği.....	31
Şekil 4. 3 Kurutma sırasında zamanla kuru esasa göre nemlilik değişimi .....	32
Şekil 4. 4 Kurutma sırasında zamanla yaş esasa göre nemlilik değişimi .....	32
Şekil 4. 5 Tüp sayısı verim ilişkisi grafiği.....	33

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 3. 1</b> Ölçüm yapılan noktalar.....	20
<b>Tablo 3. 2</b> Kullanılan ölçü aletleri ve teknik özellikleri.....	22



## 1. GİRİŞ

Bulduğumuz zamanda tüm dünyada olduğu gibi hızla büyüyen nüfusumuz ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi, ülkemizin sınırlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, üretim ve tüketim arasındaki fark hızla büyümekte ve enerjiye olan ihtiyacımız her geçen gün artmaktadır.

Enerjinin tanımı iş yapabilme kabiliyetidir. Enerjinin dönüşebilirliği ise ekserji olarak adlandırılır. Başka bir tanımlamaya göre ise “belli termodinamik şartlarda belli bir miktar enerjinin diğer bir enerji biçimine dönüştürülebilen, en yüksek miktarına ekserji” denilir. Herhangi bir dönüşüme uğrayıp uğramamasına göre enerjiler birincil enerji ve ikincil enerji olarak iki kısma ayrılırlar. Doğadaki enerjiler (güneş, rüzgâr, petrol, kömür, hidrolik, nükleer, jeotermal ) birincil enerjidir. Birincil ya da ikincil enerjinin dönüştürülmesi ile oluşan enerji ise ikincil enerji (termik, kimyasal, mekanik, elektromanyetik, ışık enerjisi) olarak tanımlanır (Yalçın, 2010).

Ülkelerin enerji kaynakları üzerindeki çalışmaları konumu ve coğrafi özelliklerine göre değişmektedir. Bizim ülkemizdeki çalışmaların büyük kısmını güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar oluşturmaktadır. Güneş enerjisi dünyada tüketilen enerjinin kat be kat fazlasıdır. Bu kadar büyük ve sınırsız bir enerjiden en verimli şekilde yararlanmak hem ülke ekonomimiz hem dünyamızın geleceği için çok önemlidir. Güneş enerjisinden en avantajlı şekilde faydalanmak için birçok sistemler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu sistemlerle meyvelerin, sebzelerin ve aromatik bitkilerin uzun süre kullanılabilmesi için belirli yöntemlerle kurutulmaları sağlanır. Kurutma işlemi çeşitli yöntemlerle içerdeki suyun uzaklaştırılarak, gerek enzimatik gerek mikrobiyolojik olarak maddenin daha dayanıklı hale getirilmesidir. Kurutma işlemi daha çok gıda maddelerinin kurutulmasında kullanılsa da kâğıt, çimento, kereste, kimya sanayi gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır. Aynı miktardaki yaş ve kuru ürün kıyaslandığında kuru ürünlerin enerji değerleri daha fazladır (Dündar, 2007).

Ülkemizde kurutma işlemi güneş enerjisi potansiyelimiz yüksek olduğundan dolayı çoğunlukla açık sergide yapılmaktadır. Bu tür kurutma yönteminin;

- Tozlanma, hijyenik ortam sağlanamaması
- Böcek ve fare gibi haşerelere açık halde olması

- Hava koşullarına bağlı olması
- Mikroorganizma üremesine açık olması
- Üründe bozulma ve kararmaların olması
- Kurutma zamanının ayarlanamaması vb. gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Ülkemizde kurutulmuş meyve, sebze ve baharatlar bir endüstri kolu haline gelmiştir. Üretimlerinin en hızlı ve en kaliteli şekilde yapılıp ihracatının zamanında sağlanması, ülkemiz ekonomisi açısından çok önemlidir. Bunun için uygun kurutma yöntem ve tekniklerinin seçilmesi gerekir. Güneş enerjili kurutma sistemlerinin;

- Ürün kayıplarının engellenmesi
- Hijyenik koşulların sağlanabilmesi
- Ürün kalitesinin artırılması
- Sürenin azaltılarak zaman tasarrufu sağlanması
- Atmosfer koşullarına bağlı olmayıp güneş ışığının olduğu her daim kurutma yapılabilmesi gibi özellikleri bu sistemi açıkta kurutmaya üstün kılmaktadır (Çiçek, 2011).

Bu sayılan özelliklerin yanında güneş enerjili sistemlerin en büyük tercih sebebi fosil yakıt kullanmadan sadece yenilenebilir ve sonsuz bir enerji kaynağı olan güneşten faydalanmak enerji verimliliği açısından çok çok önemlidir. Bizim gibi petrol ve doğalgazda büyük oranda dışa bağımlı olan bir ülke için bulunmaz bir nimettir (Demir, 2012).

Ülkemizin önemli ihracat kollarından birisi kuru meyve ihracatıdır. 2020 yılı ilk yarısında 271.200 ton kuru meyve 134 ülkeye ihraç edilerek 605 milyon dolarlık pazar payına sahip olmuştur. Özellikle Covid-19 salgını sürecinde sağlıklı beslenmenin önemi bir kere daha anlaşılmış ve salgın döneminde birçok sektörde ihracat oranları düşerken kuru meyve sektöründe düşüş çok sınırdan kalmış ve insanların sağlıklı beslenmeye yönelmesiyle beraber ihracat oranları artışa geçmiştir (Anonim, 2021).

Çalışmada amaç vakum tüplü güneş enerjili bir kurutma fırını tasarım-imalatı yapılarak mantar kurutulması hedeflenmektedir. Sekiz vakum tüplü tasarlanan fırının tüp sayısı azaltılarak, kurutma parametrelerinin (sıcaklık, nem, ışınlam, kütle vb. ) ve bu

parametrelerin kurutma üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesini kapsamaktadır.

### **1.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri**

Enerji kaynakları çeşitli özelliklere göre sınıflandırılabilirken, genel olarak kaynağın oluşumuna bağlı yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar olarak iki kısma ayrılır.

#### **1.1.1 Yenilenemeyen enerji**

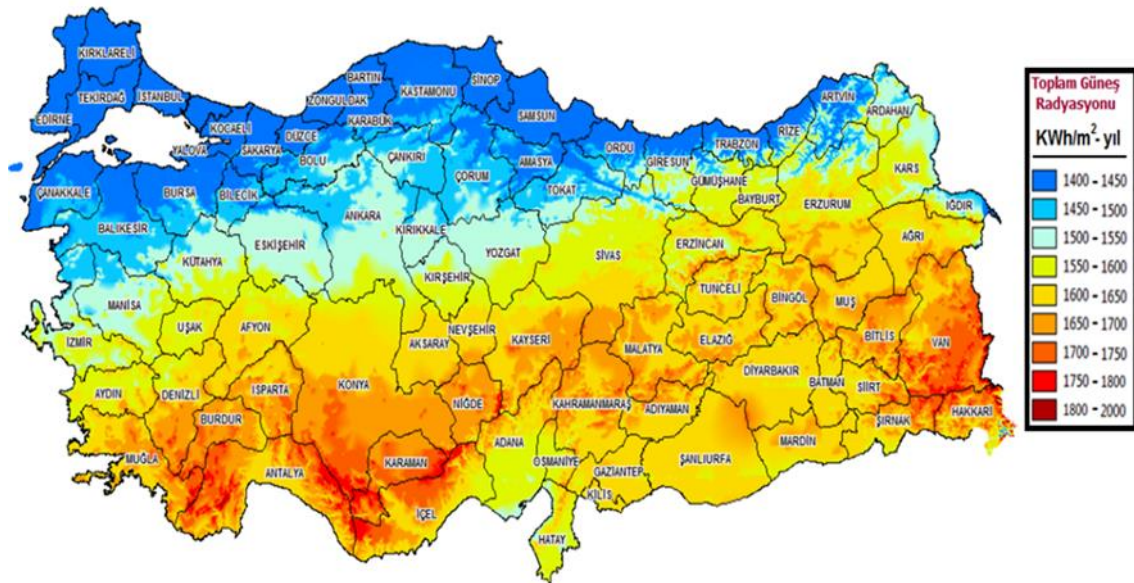
Oluşumları gibi yenilenmeleri de çok uzun zaman alan enerji kaynaklarıdır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerjide kullanılan Uranyum, Toryum gibi radyoaktif elementler yenilenemeyen enerji kaynaklarını oluşturur. Dün olduğu gibi bugünde dünyada kullanılan birincil enerji kaynağı yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Endüstriyel alanda çok büyük bir kullanım alanı olan fosil yakıtların, atmosfere saldıkları sera gazları (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>) etkisiyle oksijen oranı azalır, karbondioksit oranı artar, küresel ısınma ve asit yağmurları oluşur. Bu olaylar sonuçta iklim değişikliğine neden olur. Bunların hepsi bir döngü halindedir.

#### **1.1.2 Yenilenebilir enerji**

Yenilenebilir enerji doğada var olan kaynaklardan elde edilen ve doğa tarafından da takviyesi devam eden yani sürekliliği olan anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları: Güneş, Rüzgar, Biokütle, Jeotermal, Hidroelektrik, Hidrojen enerjisi, Dalga enerjisidir. Günümüzde dünyamızın da ülkemizin de ana enerji kaynağı fosil yakıtlardır. Belirli bir zaman daha bu şekilde ana kaynak olmaya devam edecektir. Fosil yakıtlar her ne kadar ülkelerin jeopolitik konumlarından kaynaklı var olsalar da ülkelerin ekonomik anlamdaki güçleri, dağılımda önemli etkenlerden birisidir. Gerek çevre sağlığı açısından, gerek kaynakların tükenmemesi açısından gerekse kullanıcılar açısından canlıların tamamını ilgilendiren yenilenebilir kaynaklar üzerine son zamanlarda çalışmalar yoğunlaşmıştır. Devlet tarafından yatırımcıyı teşvik edecek mekanizmalar oluşturmak ve küçük yatırımcıyı bürokratik işlem süreçlerinden arındıracak bir yapı geliştirmek, yenilenebilir enerji alalındaki çalışmaları hem destekler hem geliştirir (Kanat, 2019).

## 1.2 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kaynağı güneş olan temiz, yenilenebilir, doğal bir enerjidir. Sonsuz bir enerjiye sahip olan güneşin kaynağını ısı ve parlak ışık oluşturmaktadır. Aslında güneş çekirdeğinde barındırmakta olduğu füzyon sürecinden ortaya çıkmakta olan ışınım kaynaklı bir enerjidir. Nükleer enerji dışındaki yeryüzündeki enerjilerin kaynakları doğrudan ya da dolaylı olarak güneştir.



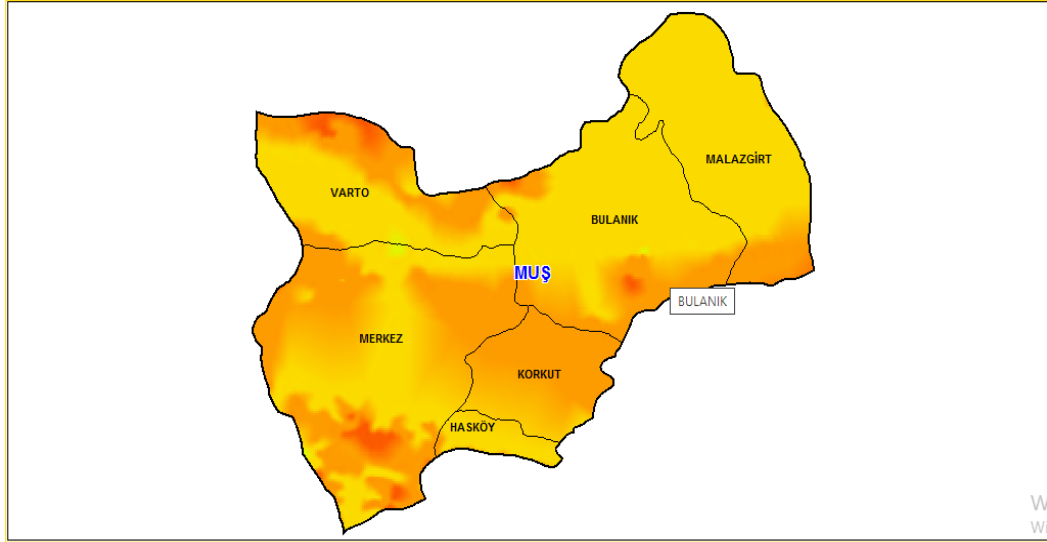
Şekil 1. 1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) (YEGM, 2020)

Yakın bir gelecekte enerji arzının karşılanmasında dünyanın en önemli enerji kaynağı olacak güneş enerjisinden en verimli ve etkili şekilde faydalanılmalıdır. Ülkemiz ışınım değeri açısından oldukça verimli değerlere sahiptir. Şekil 1.1' de Türkiye genelinde güneş enerjisi potansiyel değerleri haritası yer almaktadır. Haritada da görüldüğü gibi en az güneşlenen bölgemiz Karadeniz bölgesi en fazla güneşlenen bölgemiz ise Güney Doğu Anadolu bölgemizdir. Ülkemizde ortalama günlük 7.4 saat güneşlenme süresi bulunmaktadır.

## 1.3 Muş İlinin Güneş Enerji Potansiyeli

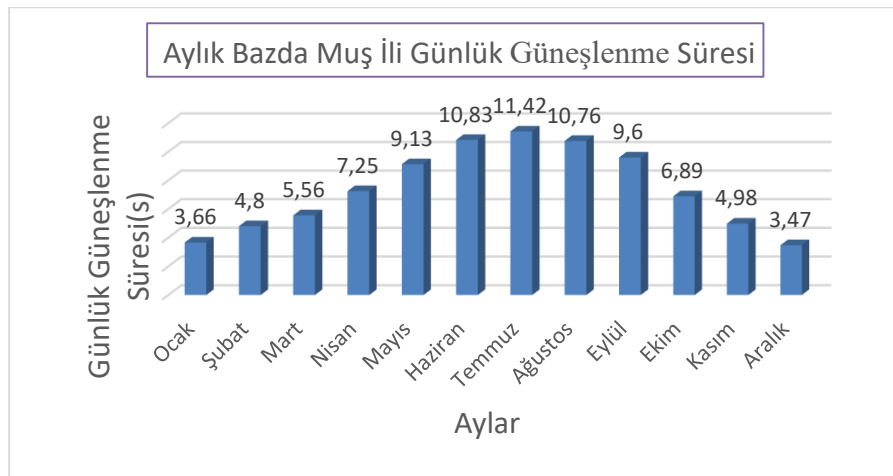
Yapılan deneysel çalışmada vakum tüpü sayısının kurutma parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler Muş ili (38.73466, 41.49067), Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü içerisinde 22, 23, 27, 28, 29, 30 Eylül 2021 ve 01, 05 Ekim 2021 tarihlerinde yapılmıştır. Deneyin yapıldığı tarihler güneş enerjisi potansiyelinin ortalama

olduğu aylardır. Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi Muş ili yıllık toplam güneşlenme radyasyon değeri 1600-1700 KWh/m<sup>2</sup> arasındadır. Haritadaki turuncu renk ve tonlarındaki alanlar Güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu alanları göstermektedir. İlin güneyine doğru bu potansiyel Şekil 1.2’ de görüldüğü gibi artmaktadır.



Şekil 1. 2 Muş ili toplam güneş radyasyonu haritası (GEPA) (EGM, 2022)

Şekil 1.3’ te Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasından alınan veriler doğrultusunda hazırlanan grafikte, Muş ilinin aylara göre günlük güneşlenme süreleri değerleri verilmiştir. En yüksek değerler Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir.



Şekil 1. 3 Muş ili aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süresi

## 1.4 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

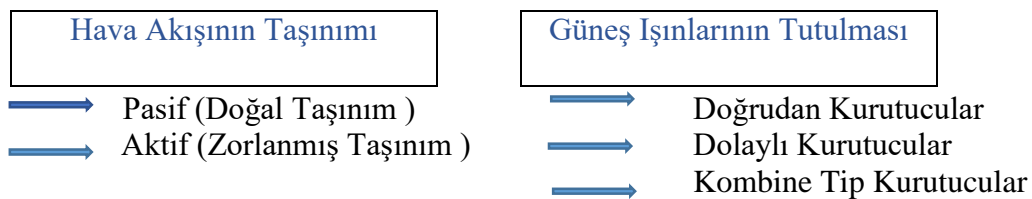
Günümüzde, gelişen teknoloji ile birlikte güneş enerjisinin kullanım alanları artmakta ve değişik sahalarda yer almaktadır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- Evlerin ve diğer binaların elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında,
- Bina, ev ve seralar gibi çeşitli mekânların ısıtılması ve sıcak su eldesinde,
- Soğutma işlemlerinde,
- Kurutma işlemlerinde,
- Suyun damıtılması işlemlerinde,
- Bahçe aydınlatmasında, taşıt yollarının ve sokakların aydınlatılmasında,
- Trafik işaret lambalarının enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında,
- Hesap makinelerinde ve saatlerde,
- Cep telefonlarının ve diğer taşınabilir cihazların şarj edilmesi işlemlerinde,
- Yapay uydularda ve güneş kuleleri

Güneş enerjisinin sürekli var olmaması ve süresinin belirli saatlerde olması dolayısı ile depolanma zorunluluğunun olması olumsuz yanlarıdır (Kılıç, 2015).

## 1.5 Güneş Enerjili Kurutucuların Sınıflandırılması

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi kurutucularının sınıflandırması Şekil 1.4' te görüldüğü gibi doğrudan ve teknik olarak genel bir şekilde sınıflandırılabilir. Bu kurutucular için her geçen gün teknik sınıfa yönelim artsa da, kırsal kesimde yaygın olarak kontrolsüz şekilde güneş altında açıkta doğal kurutma yöntemi uygulanmaktadır.



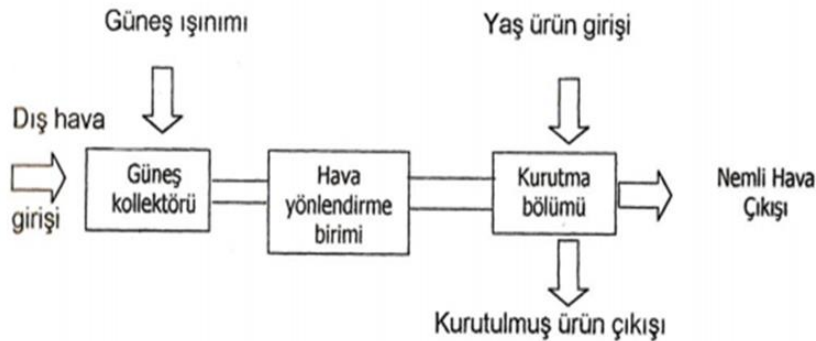
Şekil 1. 4 Güneş enerjisinin kullanılarak tarım ürünlerinin kurutulma yöntemler

## 1.6 Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri Bölümleri

Öncelikle kurutma işlemi bir cisim içerisinde bulunan sıvı miktarının cisim için yok edilmesi işlemidir. Bu işlem yapılırken ısıdan yararlanır. Kurutma işlemi gıdalar için, gıdanın içinde yer alan suyun yeterli ısı ile birlikte gıdadan uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Bu işlem sonucunda en önemli unsur en uzun süre gıdanın dayanması ve aynı zamanda da steril bir ortamda gerçekleşmesini sağlamaktır (Ceylan, 2002).

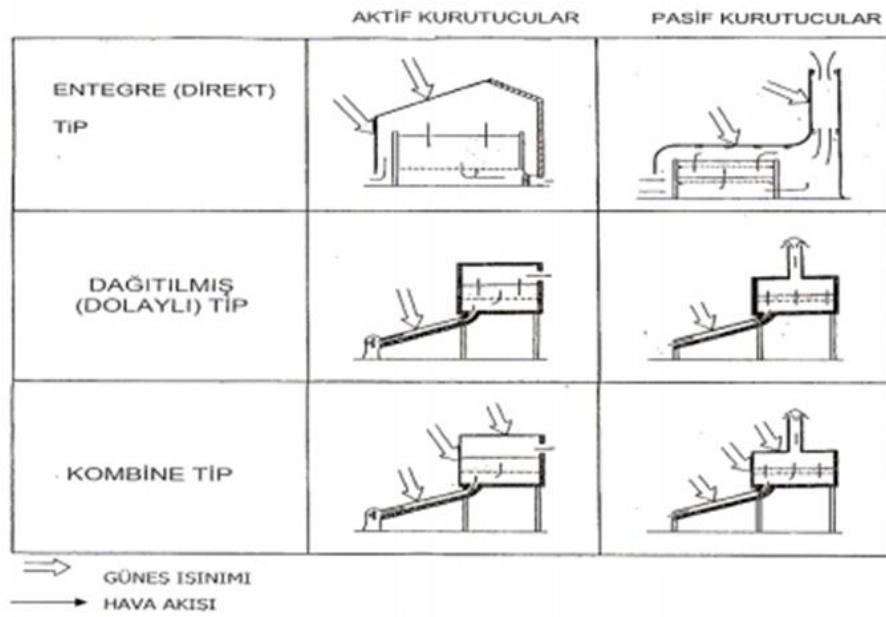
Temelde iki ana başlıkta bölümlendirme söz konusudur. Bunlar ise; Kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular (Doğrudan güneş enerjili kurutucular, Dolaylı güneş enerjili kurutucular, Birleşik tip güneş enerjili kurutucular) ve kurutucudan geçen kurutma havasının akış biçimine göre güneş enerjili kurutucular Pasif (Doğal Taşınım) Kurutucular, Aktif (Zorlamalı Taşınım) Kurutucular'dır.

Güneş enerjili kurutma sistemleri gerekliliği, herhangi bir besinin kurutulmaya bırakılması sonucu ortaya çıkacak süre ve verimlilik kestirilemeyeceğinden en uygun yöntemin seçilmesi kurutma işlemleri seçiminde oldukça önemli unsurların başında gelir. Örneğin her besin gıdası içerisinde ki su oranları aynı olmadığından kurutma işlemleri süreleri, verimliliği ve ortamı da farklılık arz edecektir. Tüm bunlardan yola çıkılarak güneşten faydalanılacak ışınım için sistemler belirli bölümlendirmeler şeklinde sınıflandırılmışlardır. Güneş enerjili kurutma sistemleri denilince düşük ısı da daha fazla bir hava akışı ile gerçekleştirilen kurutma sistemleri söz konusu olmaktadır. Şekil 1.5' te görüldüğü gibi güneş enerjili kurutucuların genel sistemi, dış ortamdan gelerek, güneş kolektörlerinde ısınan havanın, kurutma bölümünde ürün ile temas edip nemli hava çıkışı biriminden sistemi terk etmesi şeklindedir.



Şekil 1. 5 Güneş enerjili kurutma sistemlerinde işlem aşaması (Ekechukwu O. V ve ark. 1999)

Kurutma sistemlerinde ürünlerin kuruma süreleri her bir ürün için kurutma için gerekli olan enerji miktarlarıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bundan dolayı her bir üründe ürün kalitesinden ödün vermeme adına kurutma hızının önemi ortaya çıkmaktadır. Tüm bunlardan ötürü kurutucular için en iyi yaklaşımı kurutulacak her bir ürün için özellikleri göz önünde bulundurularak seçime gitmektir. Şekil 1.6' da kurutucu tipleri temel olarak gösterilmiştir. Şekil 1.6' da görüldüğü gibi aktif taşınımlı kurutucularda hava bir sistem sayesinde sistemi dolaşırken, pasif taşınımlı sistemde herhangi bir fan desteği olmaksızın hava doğal akışında sistemi tamamlar.

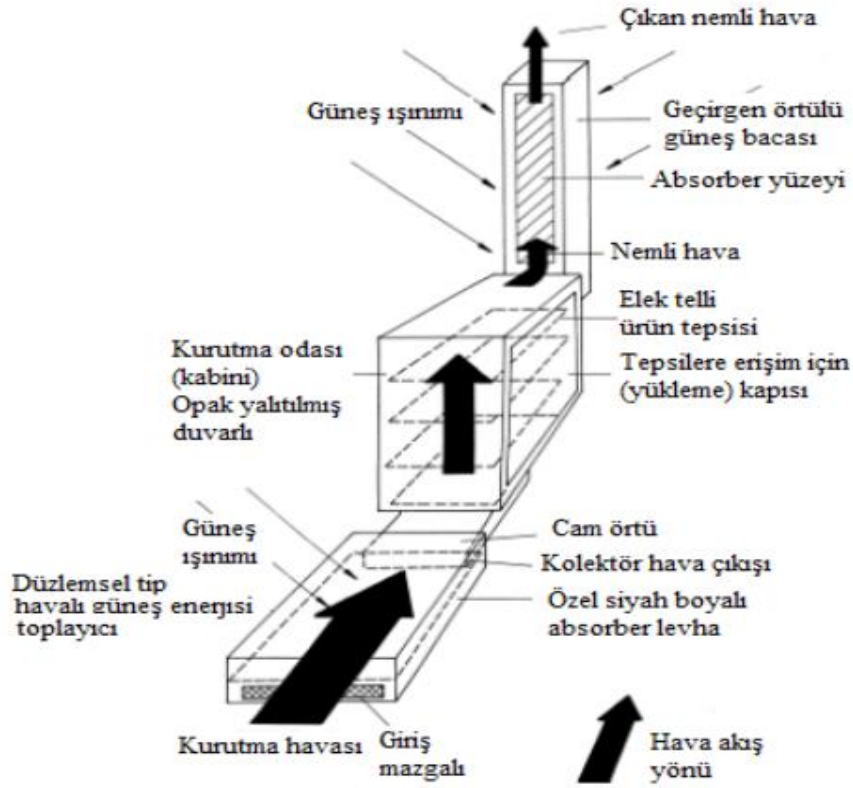


Şekil 1. 6 Kurutucu bölümlerinde tipik temel dizaynı (Ekechukwu O. V ve ark. 1999)

### 1.6.1 Dağıtılmış (Dolaylı Tip) doğal dircülasyonlu güneş enerjili kurutucular

Odacıklardan oluşan bölümler içerisinde ızgara ve raflar ile yerleştirilen besinlerin hava dolaşımı yardımıyla kurutulduğu bir sistemdir. Bu sistemde güneş ışınları direk olarak besinler ile etkileşime geçirilmez. Bu sayede direk etkileşimden kaynaklanacak olan zararlar da ortadan kalkmış olur. Çeşitli besinler direk güneş ışığına maruz kaldığında gerek renksel gerek içeriksel bozulmalar meydana gelebilir. Bu yüzden bu tür besinlerde dolaylı tip doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucu seçilmesi oldukça başarılı sonuçlar verecektir. Bu sitem diğer sistemlere oranla daha yüksek ısıda çalışma

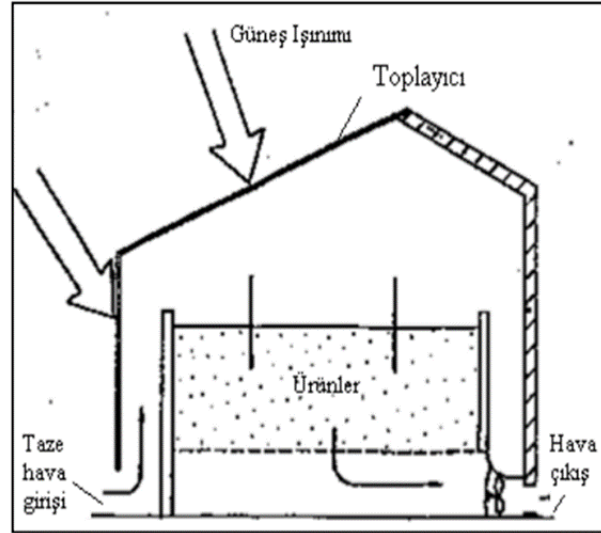
ortamına sahiptir. Bunun yanı sıra maliyet ve kurulum açısından da dezavantaja sahiptir. Şekil 1.7’ de bu kurutucuların çalışma şeması yer almaktadır.



Şekil 1. 7 Dolaylı tip güneş enerjisi kurutucu çalışma dizaynı (Ekechukwu O.V ve ark. 1999)

### 1.6.2. Entegre (Direkt Tip) doğal sirkülasyonlu güneş enerjili kurutucular

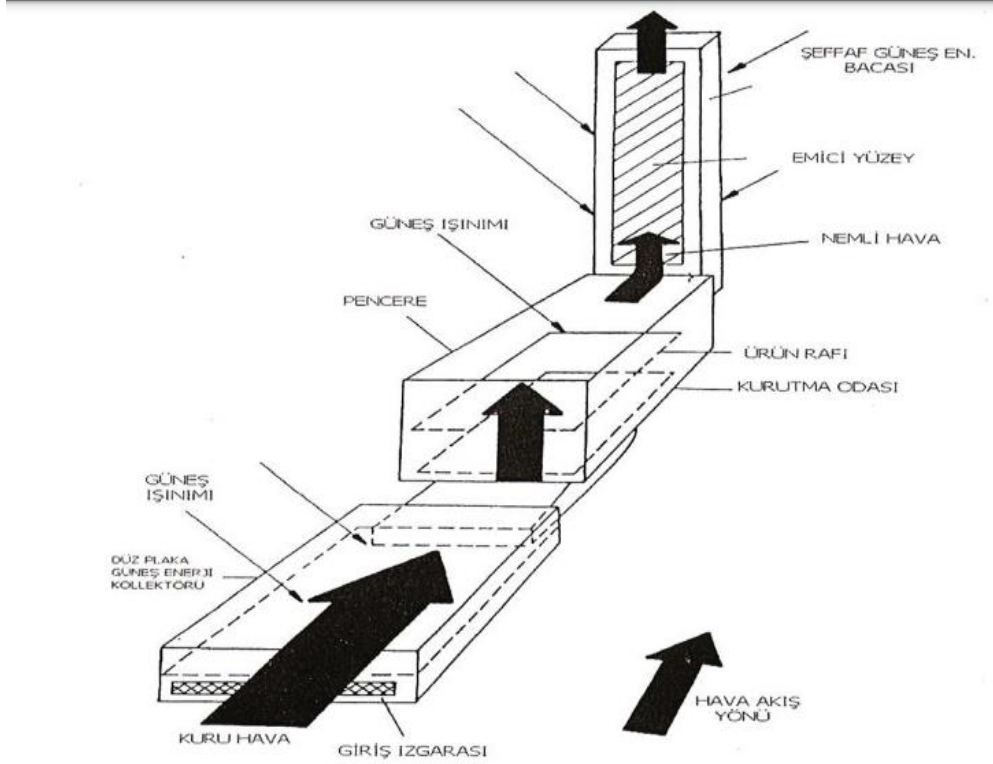
Bu tip kurutucularda ürün şeffaf bir alana alınıp güneş ışınlarından direk olarak faydalanılıp işleme geçmesi sağlanır. Bu tip kurutucular, üzüm ve hurma türlerinde renklerin bu kurutma yöntemi ile daha kaliteli sonuçlar vermesinden tercih edilmelidir. Aynı zamanda Arap kahvesi içinde bu yöntem kahvenin sağlık açısından daha pozitif sonuçlar vereceğinden bu yöntem tercih edilmelidir. Direkt tip güneş enerjili kurutucu çalışma dizaynı Şekil 1.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. 8 Direkt tip güneş enerjili kurutucu çalışma dizaynı (Ekechukwu O.V. ve ark. 1999)

### 1.6.3. Kombine tip doğal sirkülasyonlu güneş enerjisi kurutucuları

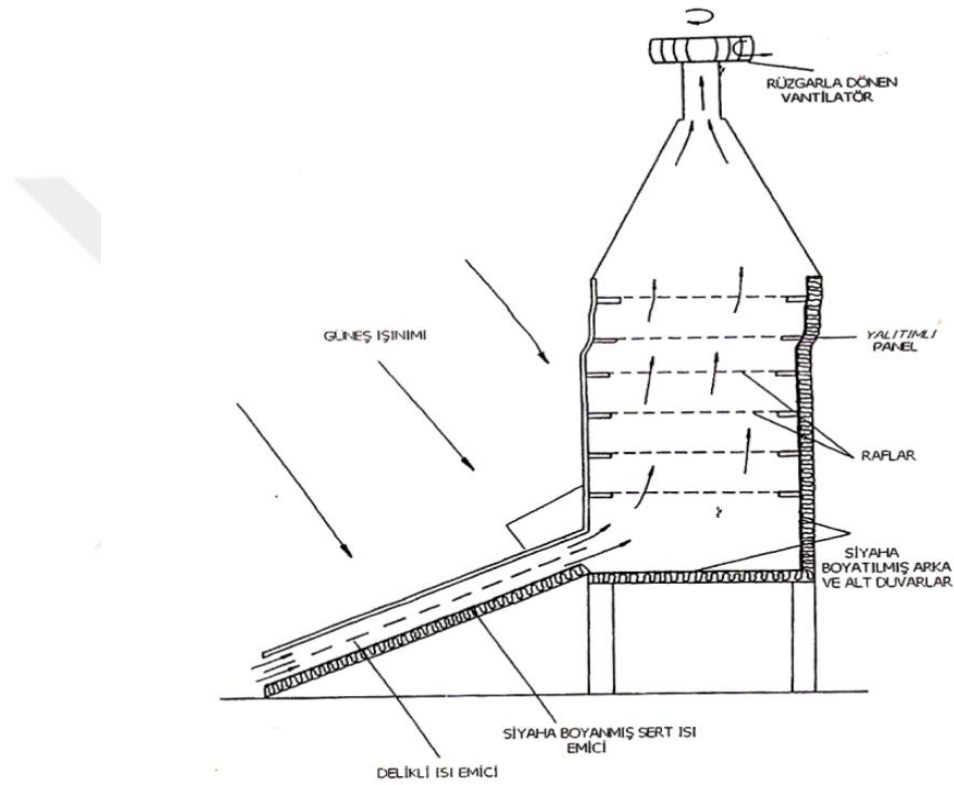
Bu tip kurutucular dolaylı ve direkt tip kurutucularının birleşimini içermektedir. Şekil 1.9’ da bu tip kurutucuların çalışma dizaynına yer verilmiştir.



Şekil 1. 9 Kombine tip güneş enerjili kurutucu çalışma dizaynı (Ekechukwu O.V. ve ark. 1999)

#### 1.6.4. Rüzgârla dönen pervaneli kombine tip güneş enerjili kurutucusu

Şekil 1.10’ da görüldüğü gibi bu tip kurutucuların tepesinde vantilatör bulunmaktadır. Bu sistemlerde sıcaklık ve hava akışı hareketli bir kapak yardımıyla kontrol edilmektedir. Bu sistemlerde hava akışı için giriş ve çıkış arasında ek bir kanal olmaması maliyeti oldukça düşürmektedir. Aynı zamanda bu kanalın bulunmaması ısı kayıplarını da düşürmektedir. Şekil 1.10’ da bu tip kurutucuların çalışma dizaynı gösterilmektedir.



Şekil 1. 10 Rüzgar İle Döner Pervaneli Kombine Tip Güneş Enerjili Kurutucusu Çalışma Prensibi (Ekechukwu O.V. ve ark. 1999)

#### 1.6.5. Aktif güneş enerjili kurutucular

Bu sistemler ısıtmada farklı tip kurutucular kullanabildiklerinden tamamıyla güneş enerjisine bağımlı değildir. Farklı sirkülasyonlarda fanlar barındırmaktadırlar. Güneş enerjisi tüm zamanlar elimizde bulunmadığından geceleri fosil yakıtlar ile de işlemlerini sürdürmektedirler. Diğer bir adıyla bu tip kurutucular ‘Hibrit Güneş Enerjili Kurutucu’ olarak da bilinmektedirler.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde Güneş enerjili kurutma sistemleri uygulamaları ile ilgili ilişkilendirilen çalışmalar incelenmiş ve özetlerine yer verilmiştir.

Ceylan, Güneş enerjili kurutma fırınında kurutma havası neminin kontrolü adlı çalışmasında; güneş enerjisi destekli, temeli ısı pompası sistemine dayanan, nem yoğunlaştırması yapabilecek bir nem kontrol üniteli kurutma fırını, tasarlayarak kurutma havasının tekrar çevrimde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kereste çeşitlerini kurutarak tasarlanan ünitenin kurutma işlemlerinde kurutma havası nemini alabileceği ve gerektiğinde sisteme tekrar nem verilebileceği sonucunu bildirmiştir (Ceylan, 2002).

Dündar, Standart düz kollektörlü güneşli su ısıtma sistemleri ile vakum tüplü güneşli su ısıtma sisteminin verim ve performanslarının, Karabük ili şartlarında deneysel olarak karşılaştırılarak incelenmesi isimli çalışmasında, aynı özellik ve eşit ölçülere sahip üç adet güneşli su ısıtma sistemi imal etmiştir. Bu sistemleri ikişerli olarak deneye tabi tutmuştur. Yapılan on dört deney sonucunda, vakum tüplü güneşli su ısıtma sistemi % 51,97 verim ile ilk sırayı almıştır. Onu % 43,7 verim ile cam kasalı kolektör, % 40,7 verim ile günümüzde en çok kullanım alanı olan standart ahşap kasalı kolektör izlemiştir. Vakum tüplü güneşli su ısıtma sisteminin performans ve veriminin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca diğer sistemlerin çalışmadığı düşük ışıyım değerlerinde, vakum tüplü güneşli su ısıtma sistemin çalıştığı bu sebepten ötürü her mevsim kullanılabilceği, düşük sıcaklıklarda ise antifriz kullanımı gerektirmeyeceği sonucu bildirilmiştir (Dündar, 2007).

Çiçek, Yassı yapraklı ürünlerin vakum tüplü güneş enerjili kurutucuda kurutulması isimli çalışmasında; nane, maydanoz ve defneyaprağından 50'şer gr alınarak, güneş enerjili doğal sirkülasyonlu kurutma sistemi, güneş enerjili cebri sirkülasyonlu kurutma sistemi ve doğrudan güneş altında sergide kurutma olarak üç farklı şekilde Karabük ili şartlarında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Doğal sirkülasyonlu kurutmanın verimi % 17,3 iken cebri sirkülasyonlu kurutucunun verimi % 26 olarak hesaplanmıştır. Güneşte sergide kuruyan ürünlerin daha kısa sürede kuruduğu fakat tozlandığı, koku ve renk kalitesinin düştüğü görülmüş ve güneş enerjili kurutma sistemlerinin açık sergide kontrolsüz kurutmaya göre avantajlı olduğu bildirilmiştir (Çiçek, 2011).

Demir, Güneş enerjili ısı borulu kurutucu ile sera tipi kurutucuda defneyaprağı kurutulması ve kurutma parametrelerinin karşılaştırılması, isimli çalışmada defneyaprağı kurutulması için iki sistem tasarım-imalatı yapmıştır. Güneş enerjili ısı borulu kurutucunun ilk ve son nem, sıcaklık ve hava hızı değerlerinin, güneş enerjili sera tipi kurutucunun değerlerine göre kurutma parametresi standartlarına daha yakın bir kurutma işlemi sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Güneş enerjili sera tipi kurutucunun, güneş enerjili ısı borulu sisteme göre şekil olarak standartlara daha yakın olduğu sonucuna ulaşmıştır. Sistemlerin günlük ortalama ısı verimleri güneş enerjili sera tipi kurutucuda % 47.34, güneş enerjili ısı borulu kurutucuda % 44.67 olarak hesaplandığından, sera tipi kurutucunun zamansal açıdan avantajlı olduğu bildirilmiştir (Demir, 2012).

Ezen, Vakum tüplü güneş kolektörlerinin teorik ve deneysel incelenmesi adlı çalışmada, Isparta ili şartlarında Ağustos ayında, verimi düz toparlayıcı güneş kolektöründen çok daha fazla olan ve  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  ve  $60^{\circ}$  gibi farklı açılardan çalışacak bir vakum tüplü güneş kolektörü kurmuştur. Günün her saatinde ortam sıcaklığı, depo sıcaklığı, güneş radyasyonu, su giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve yapılan değerlendirmeler sonucu  $45^{\circ}$  açığa sahip olan vakum tüplü güneş kolektöründe en yüksek verime ulaşıldığı bildirilmiştir (Ezen, 2010).

Gültekin, Şanlıurfa şartlarında patlıcan kurutulmasında güneş enerjili kurutma makinesi geliştirilmesi isimli tez çalışmada ülkemizin güneşlenme oranı en yüksek olan Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve bölge içerisinde yine en yüksek güneşlenme süresine sahip Şanlıurfa ili tercih edilmiştir. Üzerine gelen güneş ışınlarını toplayarak ısı enerjisine çeviren ve bu ısı ile raflarda bulunan ürünlerin nemini aldıktan sonra, sistem bacasından çıkan bir güneş enerjili kurutma fırını tasarımı yapılmıştır. Toplam ağırlığı 500 g patlıcanlar 10 mm kalınlığında dilimlere ayrılmış, 1,2 m/s ve 1,7 m/s hava hızlarında  $30^{\circ}$ -  $65^{\circ}$ C derece sıcaklık aralığında kurumaya bırakılmış, %92 nem oranından %8 nem miktarına ulaşmaya kadar kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda kuruma zamanı, yüzde ağırlık kaybı ve ürün kalitesi gibi parametreleri karşılaştırmak için yan tarafta güneşte açık sergide patlıcan kurutulmuştur. Yapılan üç farklı deneme sonucu, güneş enerjili kurutma fırınında kurutulan patlıcanların açık sergide kuruyanlara göre renklerinin daha açık ve parlak olduğu bildirilmiştir. Güneş enerjili kurutma fırınının daha yüksek kurutma sıcaklığı sağlayarak zamandan tasarruf sağladığı ve tozlanma, böcek gibi

olumsuz etkilere kapalı olduğu için daha temiz bir yöntem olduğu sonucuna ulaşıldığını bildirmiştir (Gültekin, 2016).

Gürel, Güneş enerjili ısı borulu nem kontrollü kurutucuda aromatik ürünlerin (Nane, maydanoz, biberiye ) kurutulması isimli çalışmasında; kurutma havasının bağıl nemini ölçen, bir higrostat, hava damper motoruna bağlanarak, nem kontrolünü sağlayan, güneş enerjili kurutma fırını tasarım imalatı yapmıştır. Güneş enerjili nem kontrollü bu kurutma fırınında nane, maydanoz ve biberiyeden 100'er g alınarak, 09.00 - 17.00 saatleri arasında 8 saat kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Ürünlerde meydana gelen nem içerik değerlerindeki değişimler, kütle değişimleri, kurutma havası sıcaklıkları, bağıl nem gibi veriler incelenmiş ve deneysel analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda:

- Çalışma sistemi basit olan GENKK sisteminin imalatı düşüktür,
- Sistemde kullanılan nem atıcı sayesinde kurutma havası sıcaklığı 60<sup>0</sup>C' ye kadar çıkmış, buda sistemin verimini yükselterek kuruma süresini kısaltmıştır,
- Enerji kaynağı olarak Güneş'in kullanılması petrol, doğalgaz gibi pahalı kaynaklara oranla kurutma maliyetini düşürmüştür,
- Nem kontrollü kurutmanın ürün kalitesi arttırdığı görülmüştür,
- Nem oranı düşük, kuruma süresi kısa olan ürünler için GENKK sisteminin rahatlıkla kullanılabileceği,
- Kurutulan ürünlerin sekiz saat içerisinde kurutulma işlemlerinin tamamlanmasının, sistemin avantajları olarak bildirmiştir.
- Sistemin enerji kaynağını depolayamadığından, kurutma işlemini gece devam ettirememesi,
- Kurutucunun sıcaklık kontrolü sağlanamadığı için kurutulacak ürünlerin yüksek sıcaklığa dayanıklı ürünler olması gerektiği,
- Kurutulan ürünlerin uygun sıcaklık değerlerinin üzerinde kurutulmasından kaynaklı renk değişikliğine uğraması, sistemin dezavantajları olarak bildirilmiştir (Gürel, 2010).

Cankurtaran, Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi isimli çalışmasında; enerji depolama sistemli güneş enerjili kurutma fırınında, çileğin kuruma parametrelerini incelemiştir. Sistemin güneş battıktan sonra da kurutma işlemine devam edebilmesi için faz değişim malzemesi olarak parafin

kullanılmıştır. Bu sayede gündüz güneş ışığından depoladığı enerjiyi akşam kurutma kabineine ileterek, kuruma işlemine ara verilmemesi sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada kültür çileği kullanılmıştır. Ağırlığı 3 kg olan çilekler temizlenip ayıklandıktan sonra  $3 \pm 2$  mm kalınlığında dilimlenerek kurutma tepsilerine dizilmiş ve % 96 nem içeriğinden % 27 nem içeriğine kadar kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma süresinde kurutma sıcaklığı ölçülmüş ve sıcaklık değişimi dengede tutulmaya çalışılmıştır. 3 mm kalınlığa sahip çilekler  $51^{\circ}\text{C}$  derece sıcaklıkta 6-8 saat arası bir kuruma süresinde istenen nem oranına ulaşmışlardır. Yapılan çalışma sonucu enerji depolama sistemli güneş enerjili kurutma sisteminin ticari boyutta tarımsal ürünü kurutabileceği, kurutma sektöründe verimli bir şekilde kullanılabilirliği ve daha yüksek kalitede ürünler elde edilebileceği sonucuna ulaşılmış, geliştirilen bu sistemin ilk yatırım ve işletme maliyeti düşük olduğundan kurutma sektöründe yaygın bir şekilde kullanılabilirliği bildirilmiştir (Cankurtaran, 2018).

Ceylan Programlanabilir (PLC) ısı pompalı kurutucunun tasarımı, imalatı ve kereste kurutma işleminde deneysel incelenmesi isimli doktora tezi çalışmasında; kavak ve çam cinsi kerestelerin kurutulup analizlerinin yapılması amacıyla ısı pompalı endüstriyel tipte bir kurutucu tasarlayarak imal etmiştir. Kurutma havası sıcaklığı, ürün ağırlığı ve nem değerleri bilgisayar ile ölçülerek sistem 24 saat çalıştırılmıştır. Kontrol ve ölçüm sistemleri kullanmak her ne kadar ilk yatırım maliyetini artırmış gözükse de kurutma odası hacminin artırılması ya da azaltılması ölçüm düzeneğinin maliyetini etkilemeyecektir. Kavak ve çam kerestelerinin kurutulma işlemlerinin deneysel analizi sonucu; Düşük kapasiteli elektrikli ısıtıcı kurutma fırınlarının tercih edilmesi yerine, enerjisini daha verimli kullanması açısından bu çalışmadaki gibi bir ısı pompalı endüstriyel kurutma fırınının kullanılması daha doğru olacaktır (Ceylan, 2007).

Kaya, Güneş enerjili ısı borulu kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel analizi konulu tez çalışmasında; ısı borulu düzlemsel güneş kolektörü, kurutma işlemi sırasında kullanılan enerji ihtiyacının azaltılması için ısı geri kazanımlı bir kurutma sistemi tasarlamıştır. Kurutma sistemi sabit 1m/s kurutma hızında, ürün kütle kaybı ve kalitesi, ısı geri kazanımının sisteme aktarımı, farklı ışınım değeri, kurutma havası sıcaklığının değişimlerini deneysel olarak incelemiş ve analizlerini yapmıştır. Sisteme ürün ekmeden yapılan deneyde, kapalı çevrim içerisinde sabit hızda ortalama  $770 \text{ W/m}^2$  ışınım değerinde, kurutucu içi sıcaklık dış ortam sıcaklığının % 49 fazlası olarak  $14.63^{\circ}\text{C}$

üstüne çıktığını gözlemlemiştir. Toplam ağırlığı 200 g olan 5 mm' lik dilimlenen kiviler etüve konularak kurumaya bırakılmıştır. Deneysel sonucu ortalama 39,4 g değerine kadar kuruma olduğu ve ürün ağırlığının %80 azaldığı belirlenmiştir. İşlem boyunca harcanan enerjinin % 73'ü ısı borulu kollektör tarafından % 27'si ısı geri kazanım ünitesi tarafından karşılanmıştır. Sonuç olarak;

- Literatür araştırmalarında yaş bazda kivinin 0,83 kuru bazda 4,88 g su/g kuru madde olduğu çalışmada kivinin başlangıç yaş baz ağırlığı 0,83 g su/g kuru bazda ise 4,94 g su/g kuru madde olarak bulunduğundan çalışma sonucu ve literatür araştırmaları uyum içerisindedir.
- Kurutulan kivi için su aktivitesi değeri, nem içeriği değerlerine de bakıldığında kuru meyveler için önerilen aralıkta ( $a_w = 0,60-0,65$ ) olduğu gözlemlenmiş ve su aktivitesi değeri kuru meyveler için önerilen aralıkta çıktığından kurutulan üründe bozulma ve küf oluşumu gözlemlenmemiştir.
- Ürünlerde % 80 oranında kütle kaybı hesaplanarak enerji tasarrufu sağlanmış, ürünler yer kaplamadan kapalı ortamda kurutulduklarından dış ortamın olumsuz etkilerine maruz kalmadan sağlıklı bir kurutma gerçekleşmiştir. Duyusal analizler ve hesabı yapılan kütle değişimlerine göre kurutma işlemi başarılı olmuştur. Kurutulan kivilerin ikiye katlandığında esnek yapıda oldukları ve renklerinde bir bozulma olmadığı gözlemlendiği bildirilmiştir (Kaya, 2021).

Apaydın, Aydın yöresinde incir kurutmada kullanılacak olan doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun modellenmesi isimli çalışmada doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucu imal etmiştir. Tarımsal ürünlerin kurutulması amaçlanan kurutucuda incir kurutulmuş ve kuruma davranışları deneysel olarak analiz edilmiştir. Dört ayrı zaman periyodunda 40' ar adet incir kurutulmuş ve kuruma süreleri ve kurutucunun etkinliği karşılaştırılmıştır. Doğal akımlı güneş enerjili kurutucuda kurumaya bırakılan, tesadüfi olarak seçilen 10 adet incirin her iki saatte bir kütle ve nem değişimi takip edilmiştir. Kuruma davranışını etkileyen parametreler olan hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, havanın bağıl nemi, güneş ışınımı değerleri dikkate alınarak nem değeri ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucu incirlerin depolanması için % 23 olan nem içeriği seviyesine gelmesinde hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, havanın bağıl nemi, güneş ışınımı değerlerinin önemli düzeyde etkili olduğu gözlenmiştir. Güneş ışınımının yüksek olduğu

saatlerde incirde meydana gelen kütle kaybı fazla olmuştur. Rüzgar hızının yüksek olması ve hava bağıl neminin düşük olması kurutma süresini kısaltan parametrelerdir. Tasarlanan doğal akımlı kurutucunun üst cam yüzeyi 26° açıyla yerleştirildiği için kurutucu içerisinde gölge oluşmamış hava kurutma dolabının arka yüzeyindeki hava kanalından girip incirlerin içerisinden geçerek bacaya açılan hava kanalından çıkmaktadır. Kurutulan incirler TS 541 standardına uygun olduğundan çalışma sonucu olarak kurutucunun amacına yönelik tasarlandığı ve etkinliğinin oldukça iyi olduğu bildirilmiştir (Apaydın, 2007).

Ceylan ve ark., Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması adlı çalışmalarında ilk yatırım maliyeti düşük, enerji gideri az, basit bir kurutma fırını imal ederek kontrollü bir şekilde elma kurutmuşlardır. Havalı güneş kolektörlü kurutma fırınının doğal kurutma ile mukayese edildiğinde, hem kurutma süresinin kısaldığı hem de kurutulan ürünün kalitesinin arttığı bildirilmiştir. Çalışma sonucu Türkiye' nin güneş enerji potansiyeli yüksek olduğundan dolayı kurutma uygulamalarında güneş enerjisinden yararlanmanın enerji ekonomisi açısından çok önemli olacağı sonucuna varılmıştır (Ceylan ve ark., 2006).

Demir, Kızılötesi Kurutucuda Nane Bitkisinin Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi isimli araştırma makalesi çalışmasında halojen lambalı bir kurutma sistemi tasarım imalatı yaparak nane bitkisi kurutmuştur. 50°C, 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C sıcaklıklarda kurumaya bırakılan nane bitkisinin optimum kuruma sıcaklığı bulunmaya çalışılmıştır. Harcanan özgül enerji tüketim değerleri literatür ile mukayese edildiğinde verimli bir kurutma sisteminin ortaya koyulduğu bildirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu nane bitkisinin 70°C altındaki sıcaklıklarda kurutulduğunda içeriğindeki nemin fazlaca kaldığı, 70°C üstündeki sıcaklıklarda kurutulduğunda ise ürün renginde değişimler meydana geldiği ve nane bitkisi için optimum kurutma sıcaklığının 70°C olduğu bildirilmiştir (Demir, 2019).

Demir, Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Defne Yaprağı Kurutulması isimli çalışmasında; cebri dolaşimli güneş enerjisi ile çalışan vakum tüplü bir kurutma fırınında defneyaprağı kurularak, kurutma süresi parametrelerini ortaya koymuştur. Plc bağlantılı bir bilgisayar sistemi ile yarım saat aralıklarla, kurutma havası hızı, vakum tüpü yüzey sıcaklığı, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemi, güneş ışınımı, kabin içi vakum tüpü yüzey sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, dış hava bağıl nemi ve kurutulan ürünlerdeki kütle

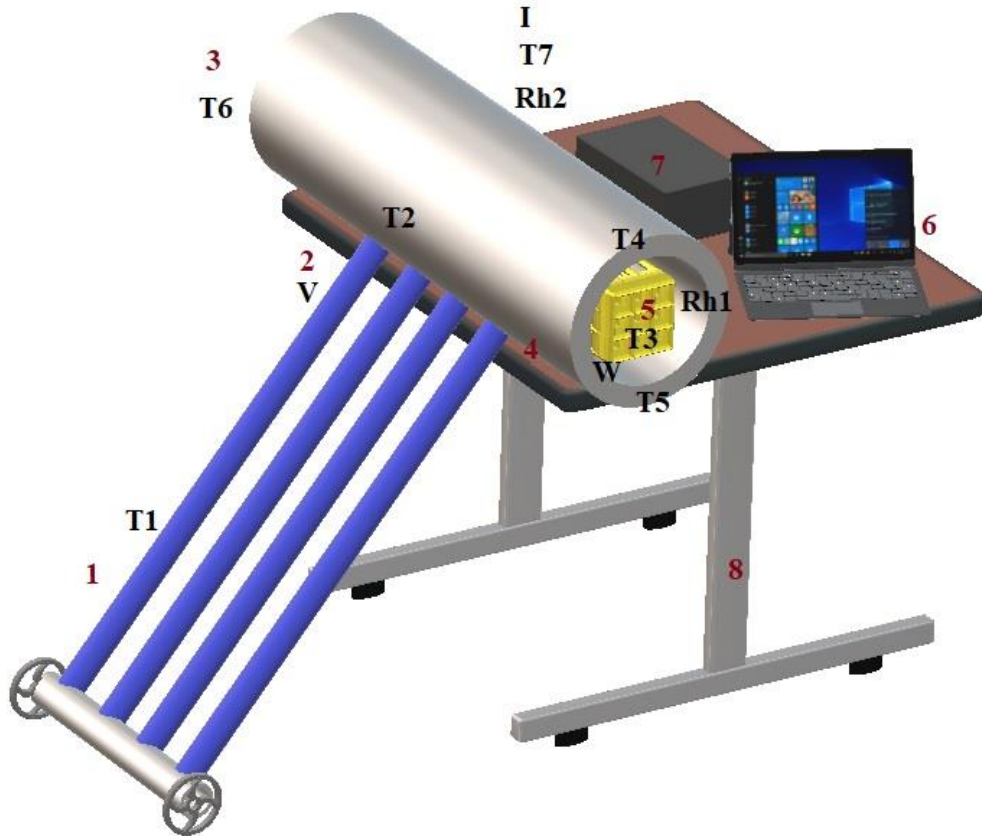
değişimi kayıt altına alınmıştır. Kabin içi bağıl nemi bir kapak yardımıyla istenilen değerlerde tutulmuştur. Yapılan deney sonucu defneyaprağının kuruma süresi güneş ışınım süresine bağlı olarak 7,5 saat, kurumuş defneyaprağı nem oranı 0,09 ve özgül nem çekme oranı ise 0,0018g/Wh olduğu bildirilmiştir (Demir, 2019).

Demir, Maydanozun kızılötesi kurutucuda optimum kurutma sıcaklığının belirlenmesi çalışmasında; kızılötesi ısıtıcılı kurutma fırını tasarım imalatı yapılmış ve maydanoz bitkisi 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C farklı sıcaklıklarda kurutularak optimum kuruma sıcaklığı belirlenmiştir. Maydanozun başlangıç nem oranı 5,89 g su/g kuru maddeden 0,0912 g su/g kuru maddeye düşmüştür. Özgül enerji tüketimi 19,80 MJ/kg-47,42 MJ/kg arasında bulunmuştur. Kuru ürün kaliteleri renk, koku, aroma ve enerji tüketimi değerleri göz önüne alınarak mukayese edildiğinde optimum kurutma sıcaklığının 70°C olduğu bildirilmiştir (Demir, 2019).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Deney Sisteminin Tasarımı

Bu çalışmada Muş ili şartlarında, Güneş enerjili vakum tüplü kabin tipi kurutma fırınının, vakum tüpü sayısı değiştirilerek farklı kurutma sıcaklığı ile kurutulan ürünlerin, aynı kurutucuda kurutula bilirliliği deneysel olarak incelenmiştir. Güneşten aldığı enerji ile içerideki havayı ısıtarak sisteme aktaracak açık ucu kurutma kabini içerisine gelecek şekilde sekiz adet vakum tüpü takılmıştır. Kabin içerisine kurutma kabı ve altına hassas terazi yerleştirilmiştir. Sistemin alt kısmındaki yere güneş ışınım şiddeti ölçen alet, bilgisayar sistemi ve veri toplama cihazı monte edilmiştir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada vakum tüpü sayısı gün aşırı değiştirilerek kurutmadaki etkisi incelenmiştir. Tasarımı ve imalatı yapılan sistem Şekil 3.1’ de gösterilmektedir. Şekil 3.1’ de gösterilen kısaltmaların açıklamaları Tablo 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Tasarımı ve imalatı yapılan güneş enerjili kurutucu ve bölümleri

- |                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| 1- Vakum Tüpleri | 5- Ürün tepsisi          |
| 2- Fan           | 6- Bilgisayar            |
| 3- Ayarlı menfez | 7- Veri toplama cihazı   |
| 4- Terazi        | 8- Deney seti taşıyıcısı |

**Tablo 3. 1** Ölçüm yapılan noktalar

Kısaltma	Ölçüm yapılan noktalar
T <sub>1</sub>	Vakum tüpü üst yüzey sıcaklığı
T <sub>2</sub>	Vakum tüpünün kurutma fırını içinde bulunan yüzeyinin sıcaklığı
T <sub>3</sub>	Ürün tepsisinin bulunduğu bölgenin sıcaklığı
T <sub>4</sub>	Kurutma kabini üst nokta sıcaklığı
T <sub>5</sub>	Kurutma kabini alt nokta sıcaklığı
T <sub>6</sub>	Nem denge menfezindeki hava sıcaklığı
T <sub>7</sub>	Ortam sıcaklığı
Rh <sub>1</sub>	Kabin içi bağıl nem
Rh <sub>2</sub>	Kabin dışı bağıl nem
W	Ürün ağırlık
I	Güneş Işınımı
V	Ürün üzerine gelen hava hızı

### 3.2 Deney Sisteminin İmalatı

Sistem temel olarak iki ana bölümden oluşur. Birinci kısım Güneş enerjisi ile ısıttığı havayı sisteme aktaran vakum tüpleri, ikinci kısım ise ısınan bu havanın kurutmada kullanılacağı kurutma kabini.

#### 3.2.1 Vakum tüpleri

İç içe geçmiş iki adet cam tüpten oluşmaktadır. İç tüpün dış yüzeyi güneş ışınlarını yüksek oranda emen selektif bir malzeme ile kaplıdır. İki cam tüp arasındaki boşluk ise, selektif yüzey üzerinde biriken ısı enerjisinin, taşınım yoluyla dışarı kaçmasını engellemektedir. Bu sayede ısı kaybı minimum düzeye inmektedir. Bu durum kış aylarında sistemin verimini çok yükseltmektedir. Ayrıca vakum tüplerinin yuvarlak oluşu, gün boyunca güneş ışınlarının daima dik olarak alınmasını sağlamakta bu da

sistemin verimine katkı sağlamaktadır. Tasarım imalatı yaptığımız sistemde sekiz adet vakum tüpü kullanılmıştır.



Şekil 3. 2 Vakum tüpleri

### 3.2.2 Kurutma kabini

Silindir şeklinde tasarlanan kurutma kabininin dış ve iç kısmı 3 mm krom saçtan oluşmaktadır. Bu iki saç arası 5 cm kalınlığında poliüretan köpük ile kaplanmıştır. İç kısımda gıda maddesi kurutulacağı için paslanmaz özelliğinden dolayı krom malzeme tercih edilmiştir. Yansıtıcı özelliği de olan kromun, ısı transferi sağlayarak ısının eşit olarak yayılması amaçlanmıştır. İçerisine kurutulacak ürünleri yerleştirmek amacıyla plastik bir süzgeç, süzgecin altına ürünlerde meydana gelecek kütle kayıplarının tespiti için bir dijital tartı, içerideki hava sıcaklığı ve bağıl nemi ölçen cihaz yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 3 Kurutma kabini iç kısmı ve kabinin dış görünüşü



Şekil 3. 4 Deney seti

### 3.2.3 Kullanılan ölçüm cihazları

Güneş enerjili vakum tüplü kurutma sisteminde kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3. 2 Kullanılan ölçü aletleri ve teknik özellikleri

Kullanılan Cihaz	Marka Model	Teknik Özellikleri	Hata Analizi
Dijital tartı	Desis Ehb 300	300 g kapasiteli 0,001g hassasiyetli	$\pm 0,012$ g

Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı	Blitz-sens TH2-3W-U	Sıcaklık Ölçüm Aralığı: -30..+70°C Nem Ölçüm Aralığı: 0..%100 Rh Sinyal Çıkışı:4..20 mA/ 0-10 V	$\pm 0,04^{\circ}\text{C}$ $\pm \%0,02$
Veri Toplama ve İzleme Cihazı	Graphtec GL 240	10 Kanallı	
Etüv	Kenton GX40	40 litre PID kontrollü $\pm 5-50^{\circ}\text{C}$	% 2
Yük Hücresi Transmitteri	Esit TR03	0-10V çıkış, 1 kanal röle çıkışı	0,03
Yük Hücresi	Celtron Lps	0,6 kg, alüminyum, tek nokta	$\pm 0,024$
Termokupl	K Tipi	$-180^{\circ} / +1300^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,004 \times T$
Işınım Ölçer	Blitz Sens Piranometre (C sınıfı)	LPY-CC-MV	

### 3.2.4 Ağırlık ölçümleri

Kurutulan ürünlerde meydana gelecek kütle kayıplarının anlık olarak ölçülüp kaydedilmesi deneyin doğru şekilde yorumlanması açısından son derece önemlidir. Bunun için kurutma kabini içerisine desis marka Ehb 300 model 0,001 g hassasiyetinde, şekil 3.5' de gösterilen dijital tartı yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 5 Kullanılan dijital tartı.

### 3.2.5 Sıcaklık ve nem ölçümleri

Kurutmada temel esas ürün içerisindeki nemi uzaklaştırmak olduğundan sistem içerisindeki sıcaklığın ve bağıl nemin bilinmesi ve kontrol altında tutulması oldukça büyük öneme sahiptir. Tasarlanan sistemde,  $-30..+70^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ölçüm aralığı ve  $0.. \%100$  Rh nem ölçüm aralığına sahip Blitz-sens marka TH2-3W-U model sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 6 Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı

### 3.2.6 Veri toplama ve izleme cihazı

Verilerin kaydedilmesi deneyin en önemli aşamalarından biridir. Dijital tartının ölçtüğü değerler, sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı değerleri ve güneş ışınımı ölçüm cihazı değerlerinin tümü bu cihaz tarafından anlık olarak kaydedilir. Daha sonra kaydedilen bu veriler yorumlanmak üzere alınır. Tasarlanan kurutma sisteminde Şekil 3.7' de görüldüğü gibi Graphtec marka GL 240 model 10 kanallı bir veri toplama ve izleme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 7 Veri toplama ve izleme cihazı

### 3.2.7 Yük hücresi transmitteri

Yük hücresi sinyallerini ileyerek endüstride kullanma olanağı sunan dijital mikro işlemcili bir ağırlık transmitterdir. Kurutucu sistemde kullanılan Esit TR03 marka modelli 0,03 hata payına sahip bir cihazdır.



Şekil 3. 8 Yük hücresi transmitteri

### 3.2.8 Yük hücresi

Yük hücresi bir kuvvet dönüştürücü veya kuvvet sensörüdür. Genel olarak ağırlık ölçmek için kullanılır. Burada kullanılan yük hücresi dijital tartıda ölçülen ağırlık kuvvetini elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılmaktadır. Celtron Lps marka modelli 0,6 kg alüminyum yapıda ve  $\pm 0,024$  hata payına sahip bir yük hücresi kullanılmıştır.



Şekil 3. 9 Yük hücresi

### 3.2.9 Etüv

Tarım rnlerinin içerdiği nem miktarının bulunmasında birçok yöntem kullanılabilirken, en doğru ve kesin sonuç veren fırında kurutma yöntemidir. Deney için,

Kenton GX40 marka modeli, 40 litre hacimli, % 2 hata analizi verebilen bir etüv kullanılmıştır. 50 gr ağırlığındaki kültür mantarları 2 mm kalınlığında dilimlenerek kurumaya bırakılmıştır. Mantarın tam kuru ağırlığı 3,7 su/g kuru maddeye kadar düşmüş % 92,6 nem kaybı olmuştur. Kullanılan etüv ve dijital terazi Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 3. 10 Etüv



Şekil 3. 11 Dijital Terazi

### 3.3 Teorik Analiz

#### 3.3.1 Mantarın başlangıç nem miktarının belirlenmesi

Tarım ürünlerinin bünyelerinde barındırdıkları su miktarı o ürünün içerdiği % nem miktarı olarak tanımlanır. Ürünlerin içerisinde bulunan nem miktarı ürünün etüv fırınında kurutulması ile bulunur. Bu kurutma işleminde ürünün ağırlık takip edilir. Üründeki son iki ağırlık ölçümü arasındaki fark % 1’in altına inene kadar kurutma işlemine devam edilir. Bunun yanında nem miktarının belirlenmesinde yaş baz ve kuru baz tanımlarından birisi de kullanılabilir.

Eşitliklerde;  $W_s$  = Su ağırlığı (g)

$k$  = Ürünün kuru ağırlığı (g)

%  $N_{y.b}$  = Yaş baza göre nem oranı ( % )

%  $N_{k.b}$  = Kuru baza göre nem oranı ( % ) ifade eder.

Yaş baza göre nem miktarı, su ağırlığının tüm ürün ağırlığına oranı olarak tanımlanır.(ASAE, 1983)

$$\%N_{y.b} = \frac{W_s}{W_s + W_k} * 100 \quad (3.1)$$

Kuru baza göre nem miktarı ise, üründeki su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$\%N_{k.b} = \frac{W_s}{W_k} * 100 \quad (3.2)$$

Kuru ve yaş baza göre saptanan nem oranları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla birbirine çevrilebilir.

$$\%N_{k.b} = \frac{Ny.b}{100 - Ny.b} * 100 \quad (3.3)$$

Kurutma sırasında ürün bünyesinde bulunan su buharlaşarak gider ve bu süreçte ürün kütle kaybına uğrar. Üründe oluşacak kütle kaybı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

Eşitliklerde;

$W$  = Ağırlık kaybı (g.)

$W_1$  = İlk ağırlık (g.)

$W_2$  = Son ağırlık (g.)

$M_1$  =Kurutmadan önceki nem ( % )

$M_2$  =Kurutmadan sonraki nem ( % ) 'i ifade eder.

Ürünün ilk ağırlığı biliniyorsa;

$$W = W_1 - \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2}$$

Ürünün son ağırlığı biliniyorsa;

$$W = W_2 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

### 3.3.2 Enerji analizi

**Isı kaybı hesabı:** Sistemin ısı kaybı,  $Q = A \times u \times \Delta t$  formülü ile 1,921 kcal/h bulunmuş olup, sisteme giren enerjiler;

1 vakum tüpü ile 1224 kj/h,

2 vakum tüpü ile 2448 kj/h,

3 vakum tüpü ile 3672 kj/h,

4 vakum tüpü ile 4896 kj/h,

5 vakum tüpü ile 6120 kj/h,

6 vakum tüpü ile 7344 kj/h,

7 vakum tüpü ile 8568 kj/h,

8 vakum tüpü ile 9756 kj/h olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.

Sisteme giren enerji vakum tüplerinin güneşten absorbe ettiği toplam ışıdır.

Giren enerjinin bulunmasında aşağıdaki formüllerden faydalanılır.

Burada,

$$Q_g = I_{ort} \cdot A \cdot 3.6$$

$Q_g$ : sisteme giren enerji (kj/h),

$I_{ort}$ : ortalama ışıdır değeri ( $W/m^2$ )

$A$ : boru yüzey alanı ( $m^2$ )

olarak bulunur.

Sistemden çıkan enerji  $Q_{\dot{c}}$  hesabında

$$Q_{\dot{c}} = m_h \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Burada,

$m_h$ : hava miktarı (kg/h),

$c_p$ : özgül ısı (kj/kg°C),

$\Delta T$ : sıcaklık farkı (°C),

$T_c$ : çıkan hava sıcaklığı (°C),

$T_g$ : giren hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $Q_{\text{ç}}$ : sistemden çıkan enerji (kj/h),  
 olarak bulunur.

$$m_h = V * A * p * 3600$$

Burada,  
 $m_h$ : sistemlerde dolaşan kütleli hava miktarı (kg/s),  
 $V$ : hava hızı (m/s),  
 $A$ : çıkış menfezi açıklık alanı ( $a * b$ ), ( $\text{m}^2$ ),  
 $p$ : havanın yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  
 olarak bulunur.

### 3.3.3 Güneş enerjili kurutucularda ısı verim hesabı

Sistemlerin ısı verimleri çeşitli formüllerle bulunabilmektedir. Burada sistemin ısı kaybı hesabı ihmal edilerek sistemin günlük ısı verimi 3.4 eşitliğinden faydalanılarak bulunmuştur.

$$\eta_s = \frac{Q_{\text{ç}}}{Q_g} * 100 \% \quad (3.4)$$

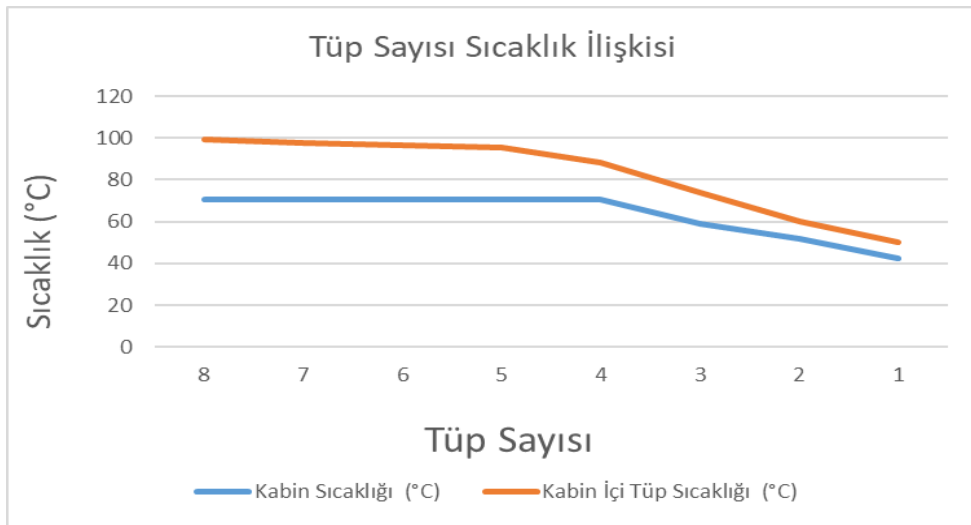
Burada,  
 $\eta_s$  = saatlik sistem veriminin yüzdeliği,  
 $Q_{\text{ç}}$  = sistemden çıkış enerjisi (kj/h),  
 $Q_g$  = sisteme giren enerji (kj/h),  
 olarak bulunur.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmada başlangıçta sekiz vakum tüpü sisteme dâhil edilerek o günkü kurutma parametreleri bilgisayar sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Deneyin yapıldığı her gün bir vakum tüpü eksiltilerek kuruma parametreleri kaydedilmiş ve çalışma sonunda yarım saate bir ortalama değerler alınarak, sonuçlar grafiklendirilmiş ve yorumlanmıştır.

##### 4.1 Tüp Sayısı Sıcaklık İlişkisi

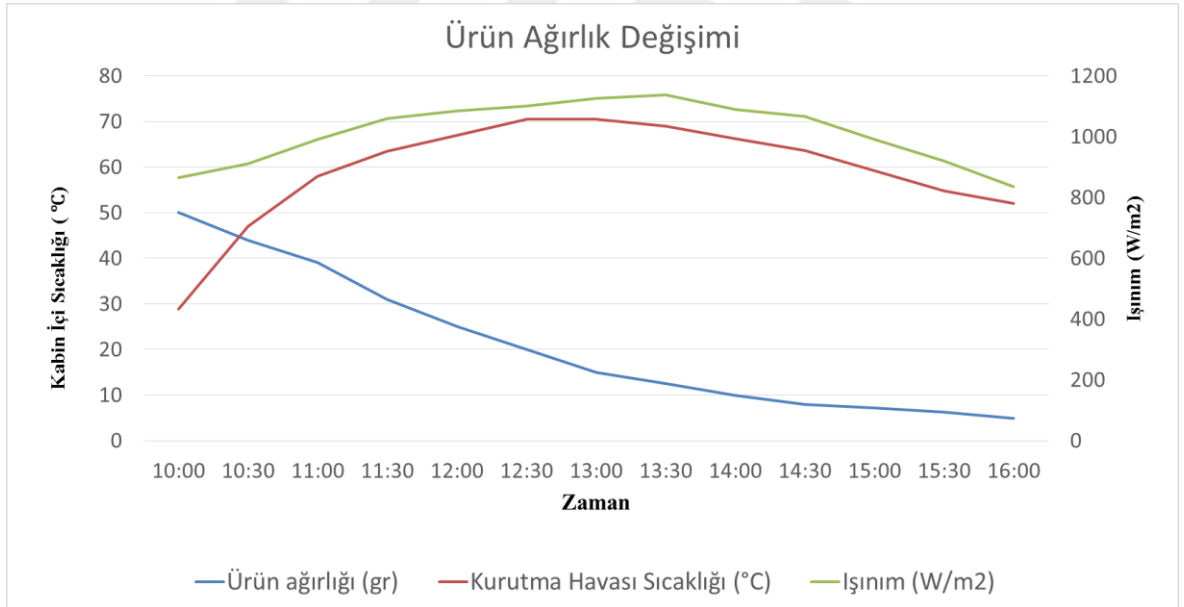
Deney sonuçlarının Şekil 4.1' deki grafiğe aktarıldığında görüldüğü üzere, sekiz vakum tüpünde 70,55°C sıcaklık elde edilirken bir vakum tüpü ile 42,3 °C sıcaklık elde edilmiştir. Bu sıcaklık değerleri aralığında birçok ürün kurutulabilir. 40-45 °C aralığında çay yaprakları, fındık, elma, kivi, buğday kurutulabilir. 50-55 °C aralığında patlıcan, domates, çilek, sarımsak, mısır, yer fıstığı, erik kurutulabilir. 55-60 °C aralığında üzüm, mantar, kayısı, incir kurutulabilir. 65-72 °C aralığında şeftali, armut, soğan, Hindistan cevizi, havuç, bezelye, yeşil fasulye, nane bitkisi, maydanoz, ananas, kırmızıbiber, patates, hintarmudu gibi ürünler kurutulabilir. Tüp sayısı sıcaklık ilişkisinde dört tüpe kadar kabin sıcaklığında herhangi bir değişiklik görülmezken dört tüpten sonra kabin sıcaklığında, tüp sayısına paralel olarak azalma görülmektedir. Buda bize bu kurutma işlemi için dört vakum tüpünün yeterli olduğunu ancak daha fazla ürün kurutulacak ise kabin hacmi artırılacağından hacme, göre vakum tüpü sayısı belirlenmesi gerektiği sonucuna ulaştırmaktadır.



Şekil 4. 1 Tüp sayısı sıcaklık ilişkisi grafiği

## 4.2 Sıcaklık Ağırlık İlişkisi

Kurutma sistemlerindeki amaç kurutulacak ürün içerisindeki su miktarını minimuma düşürmektir. Ürün içerisindeki su buharlaşarak uzaklaştığından kurutulan ürünlerde kütle kaybı olur. Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığı ile güneş ışınım değeri eğrileri paralellik göstermektedir. Güneş ışınım değeri sabah saatlerinden öğlen saatlerine doğru artış gösterirken akşam saatlerine doğru azalmaya başlamıştır. Vakum tüpü yüzeyine dik olarak gelen güneş ışığı tüp içerisindeki havayı ısıtarak taşınım yoluyla sisteme aktarır. Bu nedenle içerideki kurutma havası sıcaklığı da paralel olarak artış göstermiş olur. Aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığı ile güneş ışınımı arttıkça nemini kaybeden ürün kütle kaybına uğrar ve ağırlığı azalır. Etüv de tam kuru ağırlığı 3,7 su/g kuru madde olarak bulunan mantardan 50 gr alınarak kurutma kabinine yerleştirilmiştir. Kurutma işlemleri sonucu mantar 4,9 su/g kuru madde olarak tartılmıştır. Buda bize deneyimizin sonucu olarak tam kuru ağırlığa % 90,2 yaklaştığımızı göstermektedir.

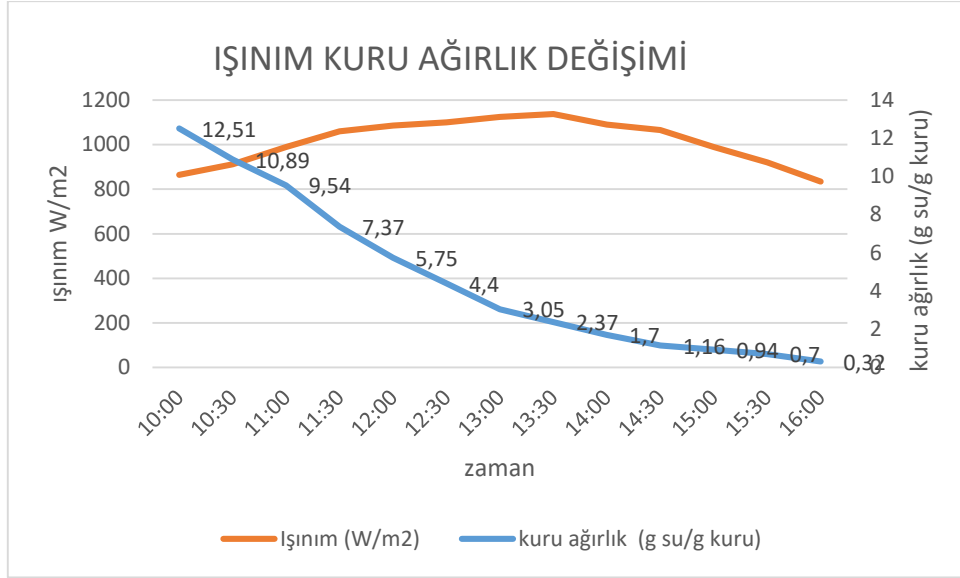


Şekil 4. 2 Ürün ağırlık değişimim grafiği

## 4.3 Yaş ve Kuru Esasa Göre Nemlilik Değişimi

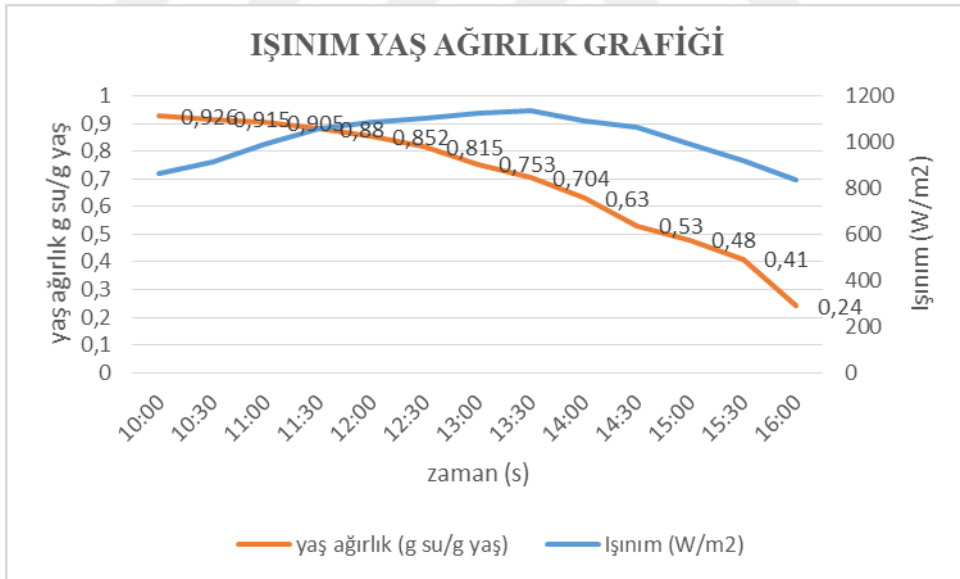
Yapılan deneyde kurutma süresi boyunca ürün içinden uzaklaşan su miktarı

$MRk = \frac{my - mk}{mk}$  formülü ile hesaplanarak Şekil 4.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Kurutma sırasında zamanla kuru esasa göre nemlilik değişimi

Yapılan deneyde kurutma süresi boyunca ürün içinde kalan su miktarı  $M_{Ry} = \frac{m_y - m_k}{m_y}$  formülü ile hesaplanarak Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Kurutma sırasında zamanla yaş esasa göre nemlilik değişimi

#### 4.4 Tüp Sayısı Verim İlişkisi

Harcanan enerji kurutma işleminde sistem veriminin en önemli parametresidir. Yapılan çalışmalarda genel olarak amaç daha az enerji harcayarak daha yüksek verim almaktır. Şekil 4.5' te görüldüğü üzere sistemden elde edilen en düşük verim %28 iken,

en yüksek verim %66' dır. Sistem verimi dört vakum tûpüne kadar artmış, daha sonrasında ise herhangi bir yüzdeler oranda değışiklik olmamıştır.



Şekil 4. 5 Tûp sayısı verim ilişkisi grafiği

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada vakum tüpü sayısı değişiminin kurutmaya olan etkisini incelemek amacıyla vakum tüplü güneş enerjili kurutucu tasarım- imalatı yapılmıştır. Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü bahçesinde yapılan deneye saat 10:00 da başlanarak 6 saat boyunca 50 gr kültür mantarı kurumaya bırakılmış ve deney saat 16:00 da sonlandırıldığında 4,9 gr mantar kalmıştır. Bu süre zarfında kurutma havası sıcaklığı 28,9 °C – 70,5 °C arasındadır. Tam kuru ağırlığı 3,7 su/g kuru madde olan mantarın içerişimde 1,2 g su kalmıştır. Bulunan sonuçlar literatürde Gürel' in (2010) ve Güzerel' in (2021) ulaştığı değerlerle paralellik gösterdiğinden verimli bir kurutma sistemi ortaya koyulduğu görülmektedir.

Tüp sayısı sıcaklık ilişkisinde sekiz tüpten dört tüpe kadar kabin sıcaklığında değişiklik görülmezken dört tüpten sonra kabin sıcaklığında tüp sayısına paralel olarak azalmıştır.

1 vakum tüpü kullanılarak 40-45 °C aralığında çay yaprakları, fındık, elma, kivi, buğday kurutulabilir.

2 vakum tüpü kullanılarak 50-55 °C aralığında patlıcan, domates, çilek, sarımsak, mısır, yer fıstığı, erik kurutulabilir.

3 vakum tüpü kullanılarak 55-60 °C aralığında üzüm, mantar, kayısı, incir kurutulabilir.

4 vakum tüpü kullanılarak 65-72 °C aralığında şeftali, armut, soğan, Hindistan cevizi, havuç, bezelye, yeşil fasulye, nane bitkisi, maydanoz, ananas, kırmızıbiber, patates, hintarmudu gibi ürünler kurutabilir.

Kurutma işlemleri sonucu mantar 4,9 su/g kuru maddeye kadar kurutulmuştur. Buda bize deneyimizin sonucu olarak tam kuru ağırlığa % 90,2 yaklaştığımızı göstermektedir.

Sistemin verim hesabı yapıldığında dört vakum tüpü ile %66 verime ulaşılmıştır. Ulaşılan bu veriler tasarlanan sistemi desteklemektedir.

### 5.2 Öneriler

Yapılan bu çalışmada enerji kaynağı olarak Güneş, kurutma ürünü olarak mantar kullanılmıştır. Güneş enerjisi kullanarak yapılan kurutma işlemleri fosil yakıtlara oranla kurutma maliyetini düşürür ve daha da önemlisi çevrecidir. Buna bezer çalışmalar

yapılarak değişik tip ve boyutlarda kurutma fırınları üretilerek farklı maddelerin kurutma parametreleri araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- Apaydın, N., (2007), “Aydın yöresinde incir kurutmada kullanılacak olan doğal akımlı bir güneş enerjili kurutucunun modellenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Fen bilimleri enstitüsü*, Aydın.
- Atız, A., Bozkurt, İ., Karakılıçık, M., 2014, Vakum tüplü kolektörlerin güneş havuzu performansı üzerine etkisi, *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 4 (1) 1-10.
- Büyükalaca, O. (2014), Düşük sıcaklıkta gıda kurutmak için güneş enerjisi destekli desisif bir kurutma sisteminin uygulanabilirliğinin araştırılması, *Tesisat mühendisliği*, sayı 143, s.47-54.
- Ceylan, İ. (2002), “Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Kurutma Havası Neminin Kontrolü”, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak.
- Ceylan İ, Aktaş M. ve Doğan H, 2006, *Politeknik Dergisi*, 9 (4), 289-294.
- Cankurtaran, E. (2018), “Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.
- Çatı, K., Yıldız, S., 2007, Türkiye’de Kuru Kayısı Üretim ve Pazarlama Problemleri ve Çözüm Önerileri, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21 (1), 337-360.
- Çay, V. V., Koçyiğit, F., Akyüz, M.K., Koçyiğit. Ş, 2017, Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemleri ve Tarımda Kullanımı, *International Engineering Conference*, 306-307.
- Çiçek, A. (2011), “Yassı yapraklı ürünlerin vakum tüplü güneş enerjili kurutucuda kurutulması”, Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Demir, Ö. (2012), “Güneş enerjili ısı borulu kurutucu ile sera tipi kurutucuda defneyaprağı kurutulması ve kurutma parametrelerinin karşılaştırılması”, Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Demir, Ö., 2019, Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Defne Yaprığının Kurutulması, *III. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi*, Nevşehir, 19. Sayfa.
- Demir, Ö., 2019, Maydanozun Kızılötesi Kurutucuda Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi, *I. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi*, Nevşehir, 6.Sayfa.
- Demir, Ö., 2019, Kızılötesi Kurutucuda Nane Bitkisinin Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 1094-1100.
- Demirtaş, C., (1996), “Fındık kurutma şartlarının belirlenmesi”, Doktora tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Dündar, R. (2007), "Standart düz kolektörlü güneşli su ısıtma sistemleri ile vakum tüplü güneşli su ısıtma sisteminin verim ve performanslarının Karabük ili şartlarında deneysel olarak karşılaştırılarak incelenmesi", Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Ezen, H.H. (2010), "Vakum tüplü güneş kolektörlerinin teorik ve deneysel incelenmesi", Yüksek lisans tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

- Gürel, A. E., Yılmaz, S ve Ceylan, İ., 2010, “Güneş enerjili ve nem kontrollü kurutucunun deneysel analizi”, *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (2): 178-187.
- Gürel, A.E. (2010), “Güneş enerjili, ısı borulu, nem kontrollü kurutucuda aromatik ürünlerin (nane, maydanoz, biberiye ) kurutulması”, Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Gültekin, R. (2016), ‘Şanlıurfa şartlarında patlıcan kurutulmasında güneş enerjili kurutma makinesi geliştirilmesi’, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.
- Güzerel, M., (2021), “İstiridye mantarında farklı kurutma yöntemlerinin kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Osmaniye.
- <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [08.02.2022]
- <https://turkish.alibaba.com/product-detail/solar-water-heater-1-8m-vaccum-tube-price-60810449647.html> [ Erişim tarihi 19.02.2022]
- <https://www.perpaotomasyon.com/graphtec-gl240-10-kanal-midi-veri-kaydedici-datalogger> [Erişim tarihi 19.02.2022]
- [https://www.esit.com.tr/tr/indikatorler\\_ve\\_kontrol\\_cihazlari/tr\\_3\\_yuk\\_hucresi\\_analog\\_sinyal\\_transmitter/urun/62](https://www.esit.com.tr/tr/indikatorler_ve_kontrol_cihazlari/tr_3_yuk_hucresi_analog_sinyal_transmitter/urun/62) [Erişim tarihi 19.02.2022]
- <https://www.sanayimalzemeleri.com/desis-ehb-300-dijital-hassas-terazi-hassasiyet-0-001-gr-max-300gr> [Erişim tarihi 19.02.2022]
- İzgi, C., (2012), “Farklı kurutma metotlarının domatesteki likopen miktarına etkisi”, Yüksek lisans tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Kanat, H. (2019), “Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi yatırımlarını etkileyen faktörler: Konya güneş enerjisi yatırımları analizi”, Yüksek lisans tezi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.
- Kaya, E. (2021), “Güneş enerjili ısı borulu kurutma sisteminin tasarımı ve deneysel analizi” Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Kılıç, Ç.F., 2015, Güneş Enerjisi Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makine*, 56 (671), 28-40.
- Kurt, H. (2019), “Senecio Vernalis Waldst. & Kit. Bitkisinin Doğal Bileşenlerinin Ekstraksiyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin Saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, 137.
- Şafak, M., (2019), “Güneş enerjili kurutma sistemlerinin çekirdeksiz kuru üzüm üretimine etkileri”, Yüksek lisans tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Özkan, M. 2021, *Tarım ve Orman Dergisi*.
- O.V. Ekechukwu O.V., Norton B., 1999, Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, *Energy Conversion & Management* 40, 615-655.
- Taşova, M., 2018, *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, 11 (2), 84-93.
- Top, V., Tontul, İ., Türker, S., 2019, Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Yöntemlerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 1110-1112.

Yavuz, A.H., 2020, Isı borulu vakum tüplü termoelektrik güneş jeneratörü tasarımı ve uygulaması, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 180-185.

