



ISI DEPOLU HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ KURUTMA SİSTEMİ

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

ISI DEPOLU HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ KURUTMA SİSTEMİ

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**KARABÜK
Eylül 2021**

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU tarafından hazırlanan “İSİ DEPOLU HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ KURUTMA SİSTEMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Alper ERGÜN

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/09/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (DÜ)

Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim 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.”

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISI DEPOLU HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ KURUTMA SİSTEMİ

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Alper ERGÜN

Eylül 2021, 58 sayfa

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin oldukça elverişli olması, kolay ulaşımı, çevreci ve ekonomik olması nedenleriyle ülkemizde birçok alanda kullanımını artmaktadır. Kurutma sektörü de bu alanlardan biridir. Endüstride yüksek kurutma maliyetlerini azaltma ve daha iyi kalitede ürün elde etmek için güneş enerjili kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde bu sistemleri geliştirebilmek adına araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten fotovoltaik (PV) modüller ve güneş enerjisiyle havayı ısıtılabilme imkanı sağlayan havalı güneş kolektörü, güneş ışınımını artıracak şekilde tasarlanmış bir yoğunlaştırıcı içerisinde kullanılmıştır. PV modüllerin arkasına monte edilen spiral şekilde ki bakır borular vasıtasıyla hem PV modül soğutulurken verimi artırılmış hem de buradan kazanılan enerji, bir ısı değiştirici kullanılarak kolektöre giren havaya ön ısıtma yapmak için kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin kullanılabilirliğini sürdürmesi adına kolektör içerisinde kullanılan faz değiştiren malzeme parafin mumu ile enerji depolanması yapılabilmektedir.

Bu sayede bulutlu günlerde ve belli bir saate kadar güneş battıktan sonra kurutma işleminde süreklilik sağlanmıştır. Kendi kullandığı gücü ürettiği enerjiyle karşılayabilen sistem aynı zamanda kullanılan mikro işlemcili otomasyon sistemiyle üzerinde bulunan verileri kayıt altına alabilmiş, nem kontrolünü kendi yapabilmektedir. Deneyde kurutulacak ürün olarak nane seçilmiştir ve 3,3125 su/g kuru madde nem içeriğinden 0,0625 su/g su/g kuru madde nihai nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Ortalama kurutma verimi %40'dır. Deney süresince ortalama kabin sıcaklığı 30 °C ölçülmüştür. Bu değer nane kurutma kalitesi verimini ortalama %65 olarak hesaplamamıza olanak sağlamıştır. Konsantrasyon oranı 1,2 olarak hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan PV modüllerin ortalama elektriksel verimi yaklaşık %10 civarındadır.

Anahtar Sözcükler : Güneş Enerjisi, Kurutma Sistemleri, Havalı Güneş Kolektörü, Enerji depolama, Parafin mumu.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DRYING SYSTEM WITH HEAT STORAGE SOLAR AIR COLLECTOR

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy System Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Alper ERGÜN

September 2021, 58 pages

In recent years, since the solar energy, one of the renewable energy sources, is quite convenient, easily-accessible, environmentally-friendly and economical, its usage in many fields in our country is increasing. Drying sector is also one of these fields. In industry, in order to decrease high drying costs and to obtain more qualified products, solar drying systems are used. All over the world and in our country, in order to be able to improve these systems, researches are done. In this study, photovoltaic (PV) modules generating electrical energy from the solar energy and a solar air collector that provides the opportunity to be able to heat the air by means of the solar energy have been used inside a concentrator designed in such a way that it increases the solar radiation. By means of copper pipes in spiral shape that have been mounted behind the PV modules; both PV modules' efficiency has been increased by making them cooled and the energy gained from here, has been used in order to pre-heat the air entering the collector, by using a heat exchanger. For the system designed, in order to maintain its availability; energy storage has been possible by means of paraffin wax, material used

inside the collector. That way: on cloudy days and until a certain hour after the sunset, continuity in the drying process has been obtained. The system which is able to compensate the power it uses by the energy it generates, by means of the automation system with microprocessor used has also been able to register the data that exist on it and to control the humidity spontaneously. In the experiment, mint has been chosen as the product to be dried and it has been dried from the humidity content of 3,3125 water/g dry material until the final humidity content of 0,0625 water/g dry material. Average drying efficiency is 40%. During the experiment, the average cabin temperature has been measured as 30 °C. This value has given us the opportunity to calculate the mint drying quality efficiency as 65% on average. The concentration rate has been calculated as 1,2. The average electrical efficiency of PV modules used in the system is approximately 10%.

Key Word : Solar Energy, Drying System, Air Collector, Energy Storage, Paraffin wax.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sűresince her tűrlű ilgi ve desteęi bana saęlayan, her takıldıęım noktadan beni yűnlendirmeleri ve bilgilendirmeleriyle ileri taőıyan, çalıőmamı bilimsel temeller altında bitirebilmeme olanak saęlayan, bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıęım hocalarım sayın Doç. Dr. Alper Ergűn ve sayın Ar. Gűr. Mehmet Onur Karaaęaç'a teőekkűrlerimi sunarım.

Proje numarası FLY-2020 2388 olan bu çalıőmayı destekleyen Karabűk Ŭniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinasyon Birimine teőekkűr ederim.

Bu sűrete her zaman yanımda olan, tűm desteklerini canı gűnűlden bana sunan can aileme sonsuz teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
GÜNEŞ ENERJİSİ	4
2.1. GİRİŞ	4
2.2. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	5
2.3. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI.....	7
2.4. FOTOVOLTAİK (FV) TEKNOLOJİLERİ	7
2.4.1. PV Hücrelerinde Kayıplar.....	9
2.4.2. PV-T Sistemler.....	10
2.5. HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ.....	12
BÖLÜM 3	15
FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER (FDM).....	15
3.1. GİRİŞ	15
3.2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER	17
3.2.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanıldığı Alanlar	18

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	19
KURUTMA	19
4.1. GİRİŞ	19
4.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI	20
4.2.1. Direkt Tip Kurutucular	22
4.2.2. İndirekt Tip Kurutucular	22
4.2.3. Hibrit (Doğrudan ve Dolaylı) Tip kurutucular	23
4.3. NANE KURUTMA	23
4.4. LİTERATÜR TARAMASI.....	24
BÖLÜM 5	30
MATARYEL YÖNTEM	30
BÖLÜM 6	37
SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ	37
6.1. TERMODİNAMİK ANALİZLER.....	37
6.2. BELİRSİZLİK ANALİZİ	40
BÖLÜM 7	42
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	42
7.1. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye için güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	6
Şekil 2.2. Güneş paneli, güneş modülü ve güneş hücresine ait görünüm	8
Şekil 2.3. Güneş hücresi yapısı	9
Şekil 2.4. Panellerde meydana gelen kayıplar.....	9
Şekil 2.5. 0-75 °C sıcaklıklarındaki P-V grafiği ve I-V grafiği.....	10
Şekil 2.6. Başlıca PV/T uygulama alanları.....	11
Şekil 2.7. Tipik havalı kolektörler.....	12
Şekil 2.8. Havalı kolektör kısımları.....	13
Şekil 3.1. Enerji depolama yöntemleri	15
Şekil 3.2. Gizli ve duyulur ısı.....	16
Şekil 3.3. Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması	17
Şekil 4.1. Kurutma cihazlarının ısı transferine dayalı sınıflandırılması.....	21
Şekil 4.2. Kurutucuların sınıflandırılması.....	22
Şekil 4.3. Tipik bir indirekt kurutucu	23
Şekil 5.1. Akış diyagramı.....	30
Şekil 5.2. Sistemin görünüşü.....	31
Şekil 5.3. Tasarlanan ısı depolu havalı kolektörün detayları	31
Şekil 5.4. Panel arkasına kaplanan bakır borular	32
Şekil 5.5. Kurutma kabini	32
Şekil 5.6. Otomasyon sistemi.....	33
Şekil 5.7. Verilerin eldesi.....	35
Şekil 7.1. Kabin, çevre sıcaklığı ile yoğunlaştırılmış ışınımın karşılaştırılması.....	43
Şekil 7.2. Konsantrasyon oranı	44
Şekil 7.3. Panel arkası sıcaklığı ile elektriksel verimin zamana bağlı değişimi	45
Şekil 7.4. Enerji kazançları	46
Şekil 7.5. Kurutma verimi.....	47
Şekil 7.6. Zamana bağlı MC değişimi.....	48
Şekil 7.7. Kurutma kalitesi verimi	49
Şekil 7.8. Toplam enerji kazanımı	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	6
Çizelge 5.1. Kurutucu sistemde kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.	34
Çizelge 5.2. Parafin mumunun özellikleri.....	34
Çizelge 5.3. Kontrol ekipmanlarının özellikleri ve belirsizlik analizi	36

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO_2	: Karbondioksit
NO_x	: Azot Oksitler
SO_x	: Kükürt Oksitler
kWh	: Kilowattsaat
DC	: Direct Current (Doğru akım)
ZnO	: Çinko Oksit
nm	: Nanometre
TiO_2	: Titanyum Dioksit
T_e	: Erime Noktası Sıcaklığı
ρ	: Yoğunluk
L	: Gizli Isı
k	: Isı İletkenliği
c	: Özgül Isı
m	: kütle (kg)
mA	: Miliamper
V	: Volt
kg	: Kilogram
\dot{Q}_s	: Parafin Mumunun Katı Fazı İçin Isıl Enerji Kazancı
\dot{Q}_{LT}	: Faz Değişimi Süresince Isıl Enerji Kazancı
\dot{Q}_L	: Parafin Mumunun Sıvı Fazı İçin Isıl Enerji Kazancı
T_{pw}	: Parafin Mum Sıcaklığı
\dot{Q}_{PV}	: PV Modülden Elde Edilen Isı
\dot{Q}_{HE}	: Isı Değiştirici İle Sisteme Aktarılan Isı
\dot{Q}_{SAC}	: Havalı Kolektörden Elde Edilen Isı
T_{SAC}	: Kolektör Sıcaklığı
η_0	: Standart Test Koşullarındaki Verim

β	: Elektriksel Verimin Termal Katsayısı
τ_c	: Geçirgenlik Katsayısı
α_c	: Emicilik Faktörü
δ_c	: Paketleme Faktörü
\dot{E}_l	: Elektrik Gücü
η_{sc}	: Havalı Kolektörün Genel Termal Verimi
η_m	: Modül Verimi
MC	: Kuru Bazda Kurutulmuş Ürünlerin İlk Nem İçeriği
MR	: Kurutma Deneyleeri Sırasında Nem Oranı
DR	: Kurutma Deneyleeri Sırasında Kuruma Hızı
$SMER$: Özgül Nem Çekme Oranı

KISALTMALAR

PV	: Photovoltaik (Foto Voltaik)
PV/T	: Photovoltaik/ Termal
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
Gepa	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
FV	: Fotovoltaik
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
FDM	: Faz Değiştiren Malzemeler
LHTS	: Latent Isı Termal Depolama
TRNSYS	: Transient System Simulation Tool
TES	: Termal Enerji Depolama
SAC	: Havalı Güneş Kolektörü
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir ülkedir. Bu kaynaklar arasında özellikle güneş enerjisine artan ilgi son yıllarda giderek hızlanmıştır. Güneş enerjisinin etkili kullanımını yaygınlaştırmak ise; büyük önem taşımaktadır. Artan enerji arzı çeşitli kaynaklara olan arayışı da beraberinde getirmiştir. Bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmış ve hem çevreci olması hemde sürekli kullanım avantajına sahip olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artmıştır.

Ortalama güneşli bir havada kullanabildiğimiz güneş enerjisi yaklaşık 1 kW / m²'dir ve bu enerjiden gün başlangıcından, gün bitişine kadar faydalanılabilir. Son zamanlarda güneş enerji teknolojilerin kullanımının artmasıyla birlikte güneş enerjisi kurutma sistemlerinde, su ısıtıcılarda, binaların ısıtılması ve soğutulmasında etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Güneş enerjisinin gıda kurutulmasında kullanılması ise, sadece günümüzde değil, geçmişten beri ürünlerin kullanımı ve muhafazası bakımından çok önemli bir işlemdir [1].

Teknoloji geliştikçe başta gıda sektörü olmak üzere kurutma ihtiyacı her geçen gün artmakta ve bundan dolayı kurutma işlemi için farklı metotlar aranmaktadır. Her malzemenin ayrı kuruma ve fiziksel karakteristiği bulunmaktadır. Bu durum doğru kurutucu ve kurutma metodunu seçmeyi zorunlu kılar.

Temel termik kurutma sistemlerinden olan güneş enerjisi ile kurutma sistemleri yatırım maliyetlerinin haricinde bir maliyet getirmediğinden sıklıkla tercih edilmektedir. Sadece enerji tasarrufu sağlamakla yetinmeyen güneş enerjili kurutucular zamandan da tasarruf etmemizi sağlar. Kurutulan ürünün kalitesini,

çevreyi koruyarak yükselten ve verimliliği arttırmayı hedefleyen bu yöntem yapay kurutma sistemlerini de desteklemektedir.

Dünya’da pek çok ülkede çeşitli ürünlerin kurutulmasında kullanılan güneş enerjili kurutma yöntemi maddi, sosyal ve çevresel açıdan gereklilik içermektedir. Ürün israfını önleyen ve kaliteyi arttıran bu sistemlerin yaygınlaşması çevre ve enerji açısından oldukça faydalıdır.

Gıdada kurutmanın amacı; meyve ve sebzelerin besinsel değerlerini kaybetmeden uzun süre korunabilmesidir. Bu kurutma ile besindeki su yüzdesi eksiltilerek meyve asidi, amino asit gibi faydalı olmayan enzimlerin faaliyetlerinde önüne geçmiş olunur. Güneş enerjisinin bütün bu avantajlarının yanı sıra en büyük dezavantajı ise; sadece gündüz vakitlerinde yararlanılabilmektedir. Bazı malzemeler sürekli bir kurutma işlemi gerektirmekte, bu durum da güneş enerjisinin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinin depolanması ve depolanan enerjinin güneş olmadığı akşam saatlerinde veya güneş ışınların azaldığı vakitlerde kullanılması gerekmektedir [2].

Yapılan tez çalışmasında; PV panellerin ve ısı depolu havalı kolektörün bulunduğu bir kurutucu tasarlanıp imal edilmiştir. PV/T sistemle hem panellerin verimi artırılmış hem de buradaki enerji güneş kolektörüne giren havanın ön ısıtılmasında kullanılması amaçlanmıştır. Galvenizli sacdan yapılan yoğunlaştırıcı vasıtasıyla güneş ışınımının kolektöre girmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda faz değiştiren malzeme olan parafin mum ile enerji kolektörde depolanarak sistemin sürekliliği sağlanmıştır. Bu sayede sistemin yazın bulutlu günlerde veya düşük ışınımlı havalara sahip olan kış mevsiminde bile kullanılmasına imkan sağlanmıştır. Kurutma süresi kısaltılmış ve istenilen nem oranı kontrol edilmiştir. Bu durum homojen bir kurutma yapabilmeye imkan vermiştir. Kapalı ve yalıtılmış kabin sayesinde geleneksel kurutma yöntemine göre tozlanmadan, yağmurdan ve rüzgardan kaynaklanan kayıpların önüne geçilmiştir.

Yapılan bu çalışma; genel bilgiler, literatür çalışması ve deneysel çalışma ana başlıklarından yola çıkılarak oluşturulmuştur. İlk bölüm olan ‘Giriş’ kısmında çalışmanın kısa özetinden bahsedilmiştir.

İkinci bölüm güneş enerjisi üzerinedir. Güneş enerjisi hakkında genel bilgiler vererek dünyada ve ülkemizde kullanım alanları gösterilmiştir. Özellikle deneysel sistemde kullanılan güneş panelleri ve güneş kolektörleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölüm faz değıştiren malzemeler ile ilgili bölümdür. FDM'lerin kullanım amaçları, türleri, kullanım alanları anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde kurutma, kurutmanın önemi ve kurutma sistemlerinden bahsedilmiş ve tüm bölümler adına literatür taraması sunulmuştur.

Beşinci bölümde çalışmanın amacı anlatılmış, deneysel çalışmada kullanılan mekanik ve elektriksel malzemeler hakkında bilgi verilerek çalışmanın yöntemi tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde sistemin performans analizi ve belirsizlik analizinde kullanılacak denklemler verilmiştir.

Son bölüm olan yedinci bölümde sonuçlar gösterilmiş ve çalışmanın hedefi ve ulaşılan sonuç arasında değerlendirmeler yapıp yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ

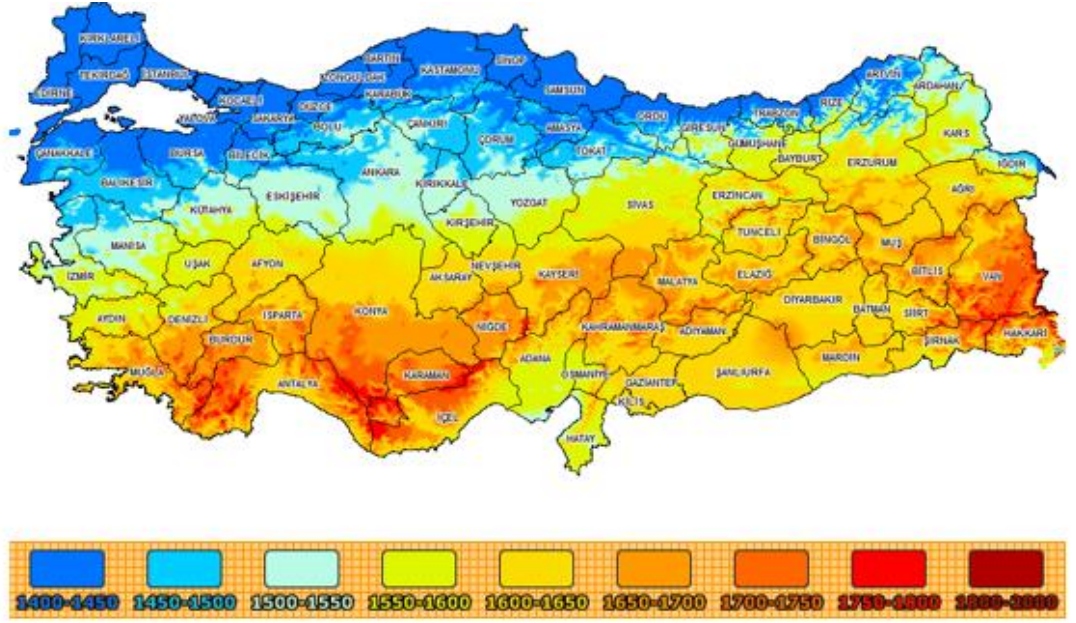
2.1. GİRİŞ

Enerji, günlük yaşamın her anında ve yapılan her etkinlikte insanın en önemli gereksinimlerinden olmuştur. Yaşadığımız yüzyılda enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. İnsanoğlu enerji ihtiyacını yenilenemeyen ya da yenilenebilen enerji kaynaklarından karşılamaktadır. İhtiyacın büyük çoğunluğunu karşılayan yenilenemeyen fosil yakıtlar sürekli azalmakta buna ek olarak fosil yakıt kullanmanın olumsuz etkileri sebebiyle, Dünyada ortam sıcaklığı yükselmesi, buzulların erimesi, Londra tipi veya Los Angeles tipi hava kirlilikleri gibi birçok istenmeyen olaylar meydana gelmektedir. Bu olumsuzluklarla birlikte sadece insanlar değil; toprağın, suyun kirlenmesi ile Dünyada yaşayan tüm hayvanlar ve bitkilerde çok büyük zarar görmektedir. Fosil yakıtların kullanılmasıyla CO₂, NO_x ve SO_x emisyonları önemli miktarlarda artış göstermiştir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) 2007 yılı raporuna göre, sera gazı salımlarının aynı oranda artmaya devam etmesi halinde 2100 yılı küresel ortalama sıcaklığının 2010 yılı değerlerine göre 2,6-4,8 °C artacağı ve kümülatif CO₂ eşdeğer (CO₂-eş) salım miktarlarının 5.185-7.005 Gton CO₂-eş aralığına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca SO_x, atmosferik olaylarla asit yağmurlarını oluşturması nedeniyle ekolojik dengeleri tamamen etkilemektedir. Bu ortam insanları temiz, çevreyi kirletmeyen, güvenilebilir ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Yer altı kaynaklarında fosil yakıt bulundurmayan ülkeler için ise aynı zamanda birincil enerji üretiminde bağımsızlık anlamına gelmektedir. Yurtiçi yapılan birçok araştırma göstermiştir ki yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen zamanda artmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir [3].

2.2. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Dünyanın en temel enerji kaynağı güneş enerjisidir, kullanılan enerji kaynakları arasında tükenmez ve en temiz enerji kaynaklarından birisidir. Güneşten Dünyaya gelen enerji toplamı bir yılda 1,5 katrilyon MW/h'dir. Bu miktardaki bir enerji Dünya üzerindeki insanların harcadığı enerji miktarının 28.000 katıdır. Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre; Güneşten Dünyaya 1,5 saatte vuran güneş ışığı tüm insanlığın bir yıllık enerji gereksinimini karşılayacak miktardadır. IEA, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi tüketiminin %11 gibi büyük bir oranının güneşten sağlanacağını öngörmektedir ve 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının senelik %7,6 büyüme hızı ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacağını bildirmektedir [4].

Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeden daha avantajlıdır. Türkiye'de ortalama olarak senelik güneşlenme süresi 2640 h/m^2 (24 saatte topla 7,2 saat), ortalama yıllık ışınım şiddeti 1311 kWh/m^2 (24 saatte 3,6 saat) olarak hesaplanmıştır. Ülkemiz yılda 110 günle yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması durumunda, günde birim metrekaresinden 1100 kWh'lık güneş enerjisi üretebilir [5]. Şekil 2.1'den de görüleceği üzere ülkemizin güney bölgelerine doğru metrekareye düşen senelik ortalama güneş ışınımı miktarı artmaktadır. Mutlak ve özel konumu gereği en az radyasyon alan bölgemiz Karadeniz bölgesidir. Bu bölgedeki yıllık metrekareye yağın yağış miktarı güneş ışınımına engel olmaktadır. Orta Anadolu orta derecede ışınım alırken Doğu Anadolu bölgesi yüksek değerlerde ışınım potansiyeline sahiptir. Orta Anadolu bölgesine ek olarak Güney Ege bölgesinde orta derece ışınım potansiyeline sahip bölgelerimizdendir. Ülkemizde coğrafi olarak daha güneyde bulunan Akdeniz bölgesinin doğusu ve Güney Doğu Anadolu bölgesinin sağ alt ucu güneş radyasyon değeri iyi olan bölgemizdir [6].



Şekil 2.1. Türkiye için güneş enerjisi potansiyeli haritası [7].

Çizelge 2.1’de aylara göre ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli gösterilmiştir. En yüksek güneşlenme süresi ve toplam güneş enerjisine yaz aylarında özellikle temmuz ayında ulaşıldığı görülmektedir [7].

Çizelge 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

2.3. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI

Güneş enerjisinden günümüz teknolojisi ile insanoğlu iki farklı ana başlıkta faydalanmaktadır. Bunlar ısı uygulamalar ve elektrik üretimidir. Isıl uygulamalarda öncelikli hedef güneş enerjisinden ısı eldesidir. Sonradan bu ısı direkt kullanılabilir veya elektrik üretimi için faydalanılabilir. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik eldesi için ise Fotovoltaik piller denen malzemeler kullanılır.

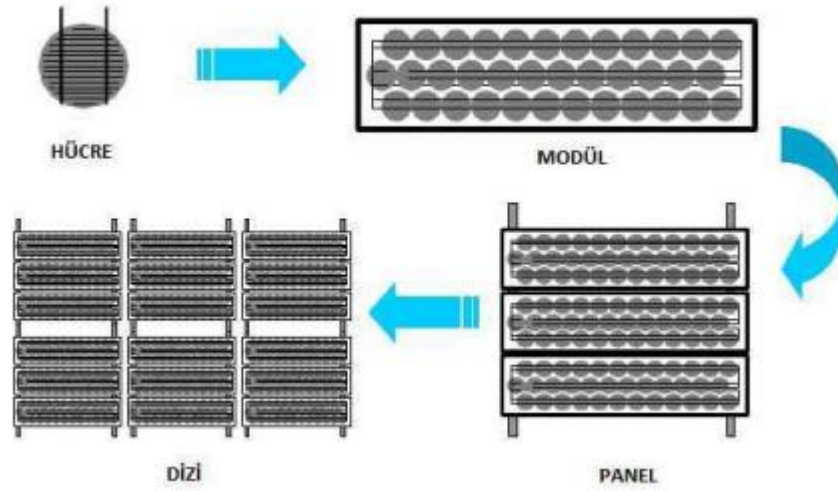
Güneş enerjisi uygulamaları sıcaklık değerlerine göre üç grupta incelenir. 20-100 °C arasına düşük sıcaklık uygulamaları, 100-300 °C derece arasına orta sıcaklık uygulamaları, 300 °C'den yüksek sıcaklık değerlerindeki uygulamalara ise yüksek sıcaklık uygulamaları olarak adlandırılır. Düşük sıcaklık uygulamalarına sıcak su eldesi, bina ısıtılması-soğutulması, sera ısıtılması, sulama, deniz suyundan tatlı su eldesi, kurutma, güneş ocakları ve fırınları, PV sistemler, vb. olarak sayılabilir. Orta sıcaklık uygulamaları için endüstriyel kullanımda buhar üretimi ve elektrik üretimi, büyük ısıtma-soğutma sistemleri örnek olarak gösterilebilir. Parabolik çanak ve merkezi alıcılarla elektrik üretimi ise yüksek sıcaklık uygulamalarına örnektir [8].

2.4. FOTOVOLTAİK (FV) TEKNOLOJİLERİ

Güneş enerjisi çevre kirlenici etkisi bulunmayan elektrik ve ısı enerjisi elde edilen yenilenebilir bir enerjidir. Günümüzde güneşten doğal yollar ile gelen bu enerji birçok farklı şekilde kullanılabilir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı ise güneşten yeryüzüne gelen ışınları güneş hücreleri aracılığı ile yakalayıp her türlü elektrikli alette kullanabileceğimiz elektrik akımına dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Yunancada ışık manasında kullanılan 'photo' ve elektrik akımını bulan Alessandra Volt'tan 'voltaic' kelimeleriyle oluşturulmuştur. Kısaca PV olarak adlandırılırlar [9].

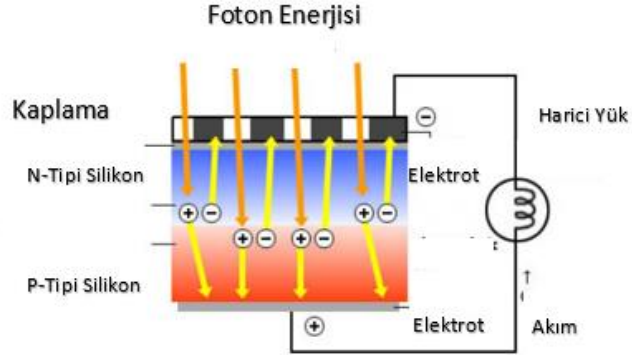
PV paneller yani güneş panelleri belli modüllerde oluşturulmuştur. İçlerinde bir çok silikondan yapılmış solar hücreler bulunmaktadır. Solar hücreler, başka bir ara eleman gerekmeden yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde olabilir. Piyasada yüzey alanları genel olarak 100 cm² ve kalınlıkları ise 0,1 ile 0,4 mm

arasında bulunmaktadır. Hücrelerin yapısına göre verimleri %5 ile %20 arasındadır. Modül tarafından üretilen akım ve güç, güneş radyasyonunun yoğunluğu ile orantılıdır. Çıkış akımı ve işlem voltajı, düşen güneş radyasyonu değerlerine ve yük karakteristiği grafiğine bakılarak belirlenebilir [10]. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç wattan megawatlara kadar sistem oluşturulur. Şekil 2.2’de güneş hücresinden diziye kadar oluşumu gösterilmiştir [11].



Şekil 2.2. Güneş paneli, güneş modülü ve güneş hücresine ait görünüm [11].

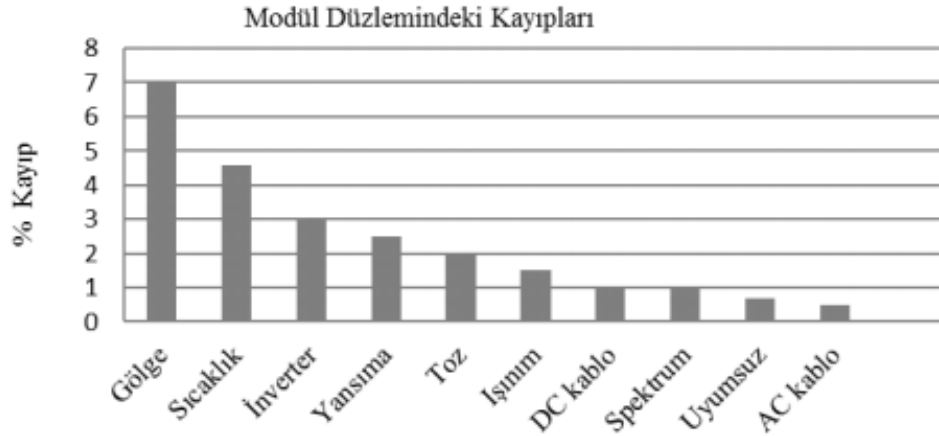
PV hücrelerin çalışması foton hareketiyle başlar. Şekil 2.3’te yapısı gösterilen yarıiletken güneş hücresinin yüzeyine düşen güneş ışığıyla gelen fotonların bir kısmı yansır geri kalanıysa güneş hücresi tarafından soğurulur. Soğurulmuş olan fotonlar enerjilerini hücredeki atomlara aktarır. Fotonların enerjisi en az elektronu atomdan koparabilecek ya da boşlukları hareket ettirebilecek büyüklükte ise elektronların ya da boşlukların hareket etmesi sağlanır. Böylelikle bir devreden geçen elektrik akımı oluşturulur [12].



Şekil 2.3. Güneş hücresi yapısı [12].

2.4.1 PV HÜCRELERİNDE KAYIPLAR

Günümüz teknolojisi ile üretilen güneş panelleri geçmişe nazaran çok ilerlemiş olmasına rağmen verim düzeyi hala istenilen seviyelerde değildir. Verimi etkileyen bu faktörleri inverter, kablolar vb. olarak sistemsel ve gölgelenme, sıcaklık, tozlanma gibi çevresel faktörler olarak ikiye ayırabiliriz. Tüm bu faktörlerle üretilen enerjinin büyük bir kısmı kaybolmakta ve verim oldukça düşmektedir [13].



Şekil 2.4. Panellerde meydana gelen kayıplar [13].

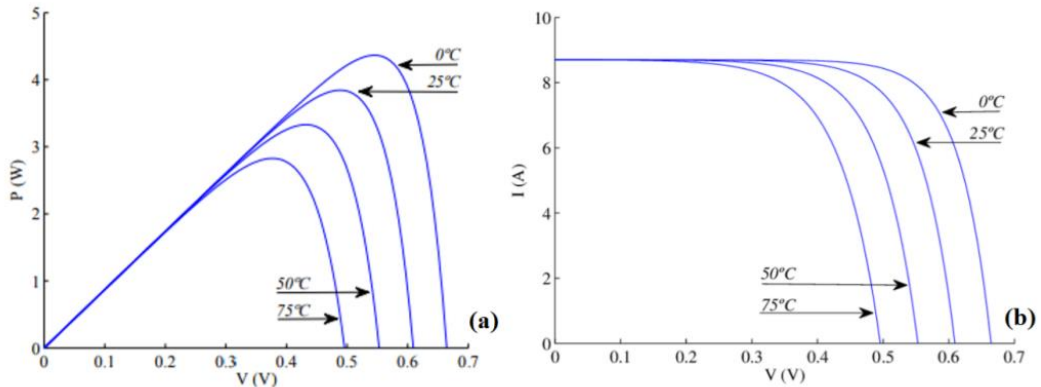
Gölgelenme: PV dizelerinde gölgelenen bölge ile gölgelenmeyen taraf arasındaki ışınım farkı gölgelenme kayıplarını meydana getirir. Gölgelenme kayıplarını ölçmek güneşin sürekli hareketi ve gölgeyi oluşturabilecek yaprak vb. cisimlerin hareketleri nedeniyle oldukça zordur. Bunun yanı sıra PV modüllerden herhangi birinin gölgelenmesi tüm sistemin verimini düşürür. Çünkü sistemin çok sayıda çalışma noktasına sahip olmasına neden olur [14].

Tozlanma: Çapı 500 μm 'den ufak olan her türlü katı cisim kısacası tozlar panellerde üretilen enerjiyi büyük miktarda düşürmektedir. Toz ve diğer kirlenici maddeler paneller üzerinde birikerek ince bir tabaka oluştururlar. Bu tabaka gelen güneş ışığını soğurup dağıtır ve bu durum panel üzerine düşen ışınımı dolayısıyla verimi azaltmaktadır [15].

Hücre Sıcaklığı: Fotovoltaik sistemlerde ortam ve hücre sıcaklığı olmak üzere iki farklı sıcaklık gözlemlenir. Sistemin monte edileceği çevrenin nominal hava sıcaklığına ortam sıcaklığı denir [16]. Hücre sıcaklığı ise optimum olarak 25 °C'de değerlendirilmektedir. Sıcaklık bu değerin üstüne çıktığında gerilim düşmekte ve verim kaybı oluşmaktadır [17]. Bu sebeple ısı, elektronların akışına direnç olarak düşünülebilir. Tüm bu nedenlerden sıcaklığı istenilen değer aralığında tutmak mühimdir. Bunun için soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Fazla ısıdan yararlanmak ve panel verimlerinin artırılması adına PV/T sistemler oluşturulmuştur.

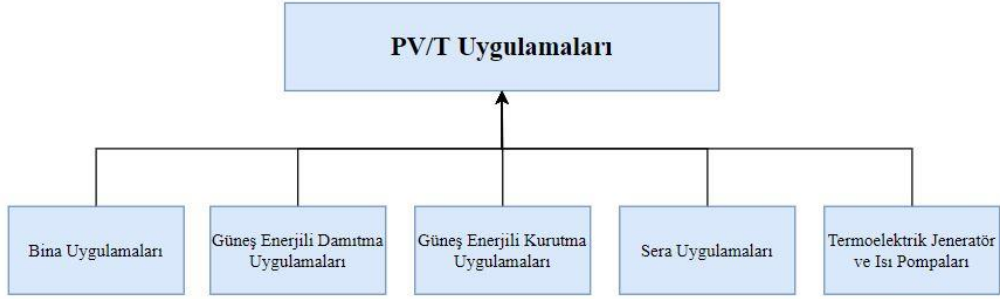
2.4.2 PV-T SİSTEMLER

Fotovoltaik panele gelen güneş radyasyonunun bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, kalan kısmı ise panel sıcaklığını artmasına neden olarak verim ve güç kaybına yol açar. Şekil 2.5'te sıcaklığa bağlı güç, volt ve akım değerleri değişimi gösterilmiştir [18].



Şekil 2.5. 0-75 °C sıcaklıklarındaki P-V grafiği ve I-V grafiği [18].

PV sistemlerden daha fazla enerji elde edebilmek ve hücre sıcaklığının artmasıyla meydana gelen verim kayıplarını azaltmak amacıyla emilen ısıyı uzaklaştırmak için fotovoltaiik termal (PV/T) sistemler geliştirilmiştir. Kristal silikon panel çalışma ortamındaki her bir derece sıcaklık artışı için %0,45-0,6 oranında hücre verimlerinde azalma meydana gelir [19] [20] [21]. Bu durumun önüne geçilmesi için PV hücrelerin soğutulduğu ve bu ısının başka bir proste değerlendirildiği kojenerasyon uygulamaları son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde atık ısı, harici bir enerji üretiminde kullanılır [22]. Genel olarak PV/T uygulamaları Şekil 2.6'da görülen 5 ana başlıkta gösterebiliriz.



Şekil 2.6. Başlıca PV/T uygulama alanları [23].

PV/T sistemleri 4 ana kategoriye ayırabiliriz. Bunlar, PV/T sıvı kolektörler, PV/T hava kolektörler, ısı borulu PV/T kolektörler ve PV/T-FDM kolektörlerdir [23].

PV/T Sıvı Kolektörler: Suyun ucuz olması ve kolay bulunabilmesiyle hava soğutmalı sistemlerden sonra en çok kullanılan tiptir. Havalı tipe göre verimleri daha yüksektir. Aynı zamanda sıvıların, nispeten yüksek ısıl iletkenliği ve daha az hacim gereksinimi olmasıda havalı tipe göre avantajlarıdır. Kullanılan akışkana göre verimleri değişmektedir.

PV/T Hava Kolektörler: Hava soğutmalı PV sistemlerdir. Tasarıyla birlikte verimi çok fazla değışede ortalama %20-%40 arasında bir verime sahiptir. Verimleri PV modül ve termal verimlerin toplanmasıyla bulunur. Sistemin kilit noktası hava akış hızıdır. Maliyetleri ve basitliğiyle birlikte yaygın olarak kullanılabilirler [23].

Isı Borulu PV/T Kolektörler: Bir ısı borusu ve güneş kolektörünün bir araya getirilerek oluşturulur. Havanın soğuk olduğu yerlerde suyun donma ihtimali olduğu için su soğutmalı sistemler kullanmak uygun değildir. Çünkü suyun düşük bir sıcaklıkta donması ve hacimde bir artış meydana gelmesinden dolayı sistem zarar görebilir [24].

PV/T-FDM Kolektörler: Faz değiştiren malzemeler enerji depolamak için kullanılır. Faz değiştiren malzemelere ısı verildiğinde ve erime noktasına ulaştığında makul bir ısınmaya maruz kalır. FDM füzyon gizli ısısını kullanır ve katı fazından sıvı fazına geçer. Isı girişi olmadığında faz değiştiren malzeme depoladığı enerjiyi bırakarak kendi fazına döner. Gizli füzyon ısısı, ısı iletkenliği, kimyasal kararlılığı yüksek olan faz değiştiren malzemeler PV modül soğutması için uygundur [23].

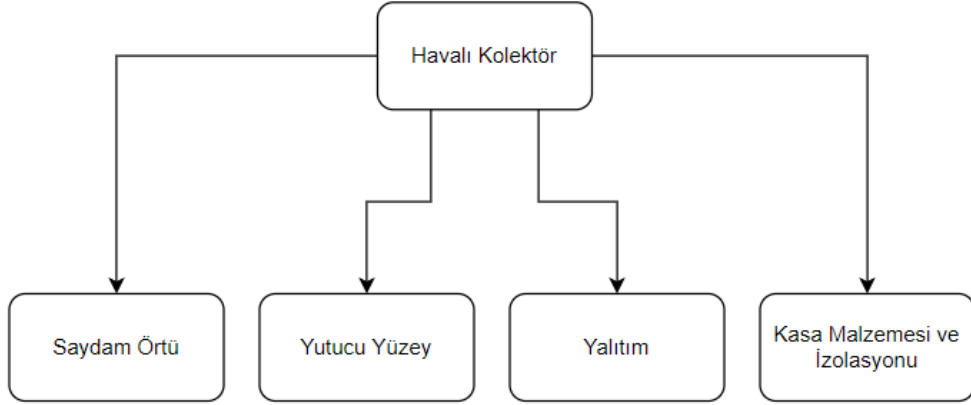
2.5. HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisini ısı enerjisine çevirmeye yarayan ve akışkan olarak hava kullanan sistemlere havalı güneş kolektörleri denir. Ara bir akışkana gerek olmadan ısıyı direkt olarak havaya aktarırlar. Tarım ve endüstri malzemelerinin kurutulması, seraların ısıtılması, soğutma bina iklimlendirilmesi vb. alanlarda kullanılmaktadırlar [25]. Şekil 2.7'de tipik bir havalı güneş kolektörü gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tipik havalı kolektörler [26].

Şekil 2.8’de gösterilen havalı kolektörler genel olarak 4 ana kısma ayrılır [26].



Şekil 2.8. Havalı kolektör kısımları [26].

Saydam Örtü: Saydam örtünün kolektörü dış etkilerden koruması ve aynı zamanda kolektöre gelen güneş ışınlarını iyi geçirirken, kızıl ötesi ışınları az geçirmesi gerekmektedir. Piyasada ucuz olması, her an erişilir olması, kullanım ömrünün uzun olması, dış ortama karşı dayanıklı olması ve yutucu yüzeyden gerçekleşen ışınları bırakmaması gibi avantajlarından dolayı en fazla cam kullanılır [26].

Yutucu Yüzey: Yutucu yüzey kolektörün verimini belirleyen kısımdır. Yutucu yüzeyde kullanılan malzemenin geometrisi, çeşidi, rengi bu sebeple çok önemlidir. Yutucu yüzeyde kullanılan malzemenin ısıya ve zamana bağlı etkilerden deforme olmaması, kolay temizlenmesi özellikle yüzeyine gelen ışınları iyi absorbe edebilmesi beklenir. Pürüzsüz olmalıdır [27].

Yalıtım: Kolektörlerde yalıtım malzemesi olarak daha çok cam yünü, taş yünü veya poliüretan köpük kullanılır. Yalıtım kalınlığı poliüretan köpükler için minimum 9,5 cm cam yünler içinse 50-100 mm arası seçilmelidir [27].

Kasa Malzemesi ve İzolasyonu: Kolektörlerde kasa malzemesi olarak sac, galvanizli sac veya ağaç malzemeler kullanılabilir. Sıcağa karşı dayanıklılığı düşük olmasından dolayı metal kasalar daha çok tercih edilir. Aynı zamanda daha sağlamdır. Alüminyum kullanılarak metal malzemenin ağırlık sorunu da çözülebilir. Yukarıda belirtilen yalıtım malzemelerin kullanılmasıyla ısı kayıpları önlenir. Kasanın

kolektörü güvenli bir şekilde taşınması gerekmektedir. Saydam örtü temizliği için kolay çıkarılıp takılabilecek şekilde dizayn edilmelidir [28].

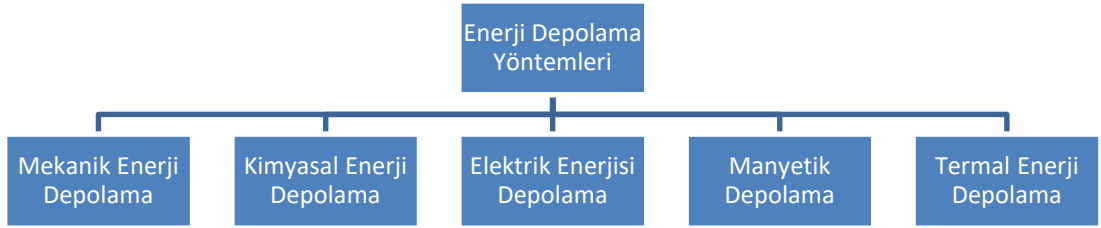
Kısımları kısaca anlatılan havalı kolektörlerin bakımları basittir. Sıvı güneş kolektörlerine nazaran sızıntı problemleri daha azdır. Temel sorunu yutucu yüzey ile hava akımı arasındaki ısı transfer katsayısının düşük olmasıdır. Bu durum ısı verimi düşürmektedir [29]. Isıl verimi artırmak adına yutucu yüzeye kanatçıklar takılması [30], yutucu yüzeye ‘V’ şekli verilmesi , yutucu yüzeyi özel malzemelerle kaplanması [31], gibi tasarımlar denenmiştir. Tüm bu düzenlemeler ısı verimi iyileştirirken, özellikle yüksek hacimsel hava debilerinde basınç kayıplarını önemli bir miktarda artırmaktadırlar [32].

BÖLÜM 3

FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER (FDM)

3.1. GİRİŞ

Enerji depolama, var olan enerjinin istenilen zamanda kullanılmak üzere belirli bir süre tutulma işlemidir. Güneş enerji sistemlerinde gündüz depolanan enerjinin gece vakitlerinde kullanılması bu işleme örnek olabilir [33]. En genel anlamda Şekil 3.1’de gösterilen beş farklı yolla enerji depolamak günümüz şartlarında mümkündür [34].



Şekil 3.1. Enerji depolama yöntemleri [34].

Mekanik Enerji: Üç ana türü bulunmaktadır. Bunlar volan, basınçlı gazlar ve sudur. Volanlar kısa süreli depolamalarda dairesel hareketleri depolamak için kullanılır. Akarsularda, barajlarda yükselti farkından yararlanılarak suyun enerjisi kullanılır. Yer çekimi etkisiyle kinetik enerji miktarı artırılır. Aynı etki gazlarda da sıkıştırma işlemiyle gerçekleşir. Basıncı artırılan gazlar içinde mekanik enerji depolar. En güzel örnek olarak kompresörler gösterilebilir [35].

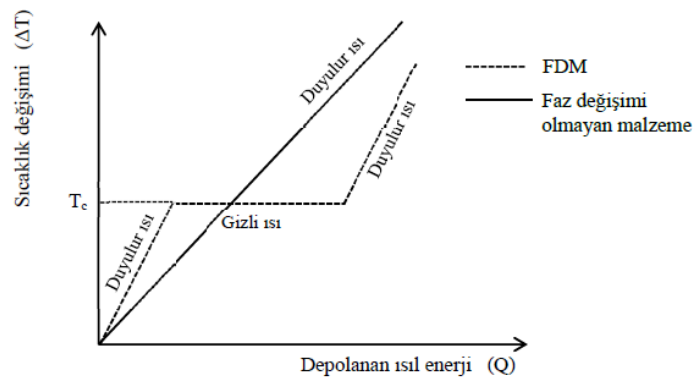
Kimyasal Enerji Depolama: Isı açığa çıkaran yani ekzotermik reaksiyonlarda enerji açığa çıkar. Bu enerji daha önce kimyasal bileşiklerin oluşturduğu kimyasal bağlarda depolanmıştır. En çok kullanılan kimyasal enerji depolama yöntemi hidrojen veya amonyaktır [36].

Biyolojik Enerji Depolama: Literatürde üzerinde çok fazla çalışma olmadığı gözükken bu depolama türü, uzun süreli enerji depolama gerektiğinde daha çok kullanılmaktadır. Kimyasal yolla enerji depolamaya benzer şekildedir.

Manyetik Enerji Depolama: Bu depolama yönteminde enerji bobin içerisinde geçiren DC akımın oluşturduğu manyetik alan içerisinde depolanmaktadır. Ana malzemeleri bobin, soğutma ünitesi ve güç şartlandırıcısıdır. Sistemin doğru çalışabilmesi ve verimin yüksek kalabilmesi adına soğutma hayati bir öneme sahiptir. Çok hızlı şarj olup çok hızlı deşarj olabilirler [37].

Termal Enerji Depolama: Güneş yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir ve birçok farklı yolla kullanılabilmesi bizler için oldukça önem arzeder. Bahsi geçen bu yollar arasından güneş enerjisini termal olarak depolamak literatürde oldukça bulunan, üzerinde çalışılan bir konudur [38].

Termal enerji depolama şekilleri; gizli ısı depolama, duyulur ısı depolama ve termokimyasal depolama olmak üzere üç çeşittir. Bunların içinden en etkili yöntem madde içerisinde faz değişimini kullanarak yüksek enerjiyi depolayabilen gizli ısı depolamadır. Şekil 3.2’de FDM kullanılan ve FDM kullanılmayan iki farklı yapının sıcaklığa göre gizli ve duyulur ısı grafiği verilmiştir [38].



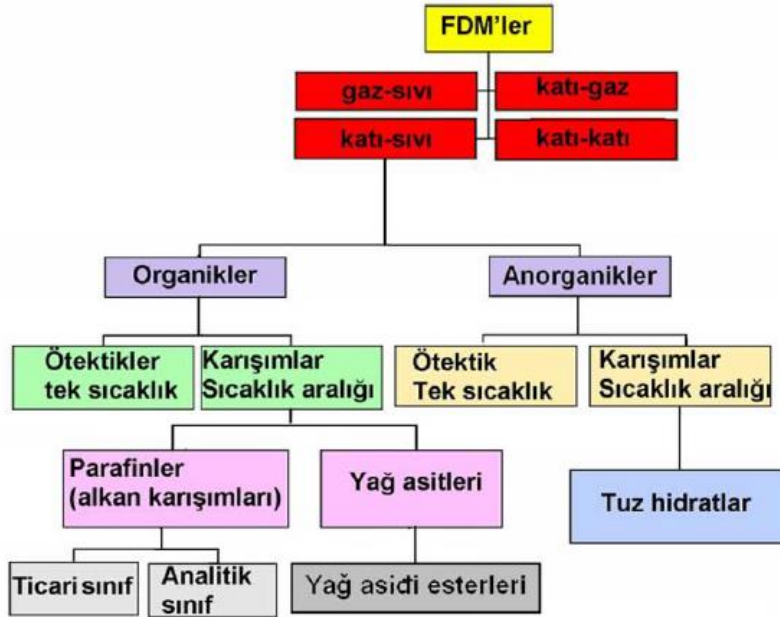
Şekil 3.2. Gizli ve duyulur ısı [38].

3.2. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER

FDM yani faz değiştiren malzemeler gizli ısıyı depolama kabiliyeti bulunan organik veya inorganik malzemelerdir [39]. Faz değişimi esnasında ortamda bulunan enerjiyi toplar. Devamında depoladığı bu enerjiyi geri salar ve böylece ısı regülasyonu sağlanmış olur.

Çevre sıcaklığı, kullanılan FDM'nin erime noktasına kadar arttığında, malzeme erimeye başlar. Bu işlem sırasında çevredeki ısıyı devamlı soğurur. Malzeme tarafından soğurulmuş olan ısı, kimyasal reaksiyonda kullanılarak maddenin kimyasal yapısını bozar.

Tersi durumda, FDM'nin katı hale geçme sıcaklığı çevre sıcaklığından fazla olduğunda faz değiştiren malzeme katı faza geçiş yapmaya başlar bu süreç faz değiştiren malzeme içerisindeki ısıyı çevreye geri yarar.



şekil 3.3. Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması [40].

şekil 3.3' te Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

İnorganik FDM: $M.nH_2O$ formülü inorganik FDM'leri tanımlar. Formülde geçen M bir inorganik bileşiktir. İnorganik FDM'ler diğer bir ismiyle tuz hidratlar oldukça iyi derecede ısı depolayabilme özelliklerinden dolayı çok önemlidirler. Maliyetlerinin ucuz olması, kolaylıkla ulaşılabilmesi, ergime ısılarının yüksek olması gibi avantajlarının yanında faz bozulması, soğuma sırasındaki aşırı düşük sıcaklıklara inme gibi dezavantajları bulunur.

Organik FDM: Farklı yağ asitleri, parafinler vb. organik faz değiştiren malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Oda sıcaklığında mum kıvamına sahip olan parafinler ağır hidrokarbonlardan oluşan malzemelerdir. Kimyasal olarak incelendiğinde parafin mumları zincir sonlarında 2-metil grupları gibi düşük miktarda kuvvetli zincire sahip hidrokarbonlardan oluşurlar. Gizli ısı depolama maddeleri olarak anılmalarının en büyük sebepleri yüksek erime gizli ısısına sahip olmalarındandır. Toksik değildirler. İnorganik FDM'lerin dezavantajı olarak verilen tüm unsurlar organik FDM'lerin avantajlarıdır. Korozif değildirler [40].

3.2.1 Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanıldığı Alanlar

Faz değiştiren malzemeler günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılabilirler. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır [41];

- Sıcak gıda ürünlerinin taşınmasında ve muhafazasında
- Elektronik cihazların soğutulmasında
- Çeşitli tekstil ürünlerinde
- Sağlık uygulamalarında kan numunelerinin ve organ taşımacılığında
- Ameliyat masalarında sıcak ve soğuk terapilerinde
- Binaların ısıtılmasında ve soğutulması işlemlerinde
- İnşaat sektöründe yalıtım amacıyla
- Seraların iklimlendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

BÖLÜM 4

KURUTMA

4.1. GİRİŞ

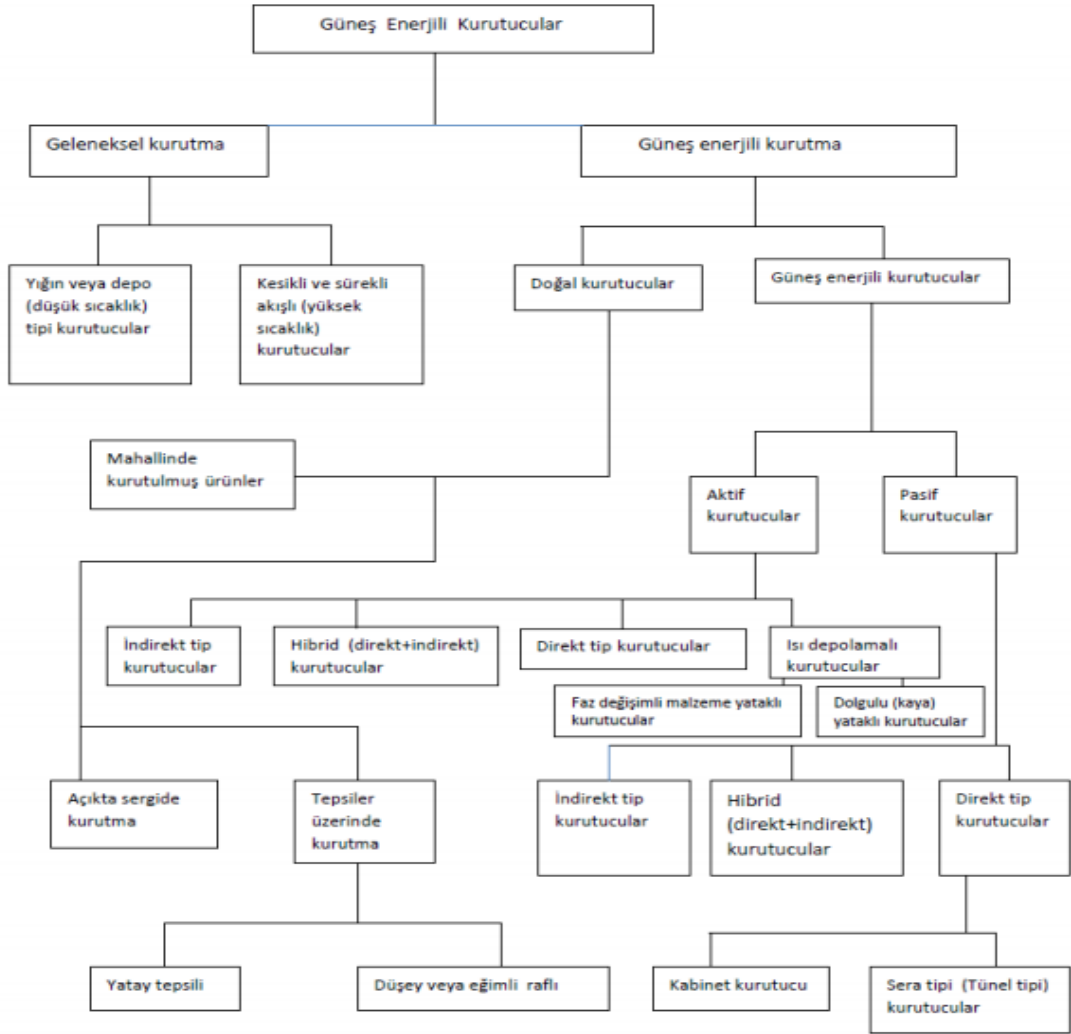
Kurutma; malzemede bulunan nemin istenilen düzeyde alınma işlemine denir. Kurutma, çoğu sanayi dalında temel işlemlerden biridir. Bu durum kurutmanın ne kadar hayati bir öneme sahip olduğunu göstergesidir. Gıda sanayisinde kurutmaya meyve ve sebzelerin besin değerlerini kaybetmeden uzun süre saklanabilmesi ve korunabilmesi amaçlanır. Bu sebeple kurutulan gıda maddesinin besin değeri azalmamalı, görüntüsü güzel, tadı hoş, çiğnenmesi kolay olmalıdır. Kurutma işlemi ile besin maddesindeki su yüzdesi azaltılarak meyve asidi, aminoasit gibi zararlı enzimlerin faaliyeti de durdurulmaktadır. Kurutulan ürünün uzun süre saklanmasında sıcaklık, ışık, bağıl nem, istif ve paketleme şekli gibi depolama şartları da bozulma durumunu büyük oranda etkileyebilmektedir. Kurutma sırasında kabuk sertleşmesi, patlak-yarık teşekkülü, kararma, büzülme, aroma maddelerinin uçması gibi bozuklukların oluşmasını önlemek için kurutma şartları iyi ayarlanmalı ve düşük sıcaklıkta hızlı kurutma sağlanmalıdır. Kurutma hızı ve kurutma zamanı birbiriyle ters şekindedir. Kurutma hızı arttıkça kurutma süresi kısalmaktadır. Bundan dolayı kurutma hızını en uygun değerde tutmak çok önemlidir [42]. Kurutma işlemi için çok değişik tasarımlar bulunmaktadır.

Temel olarak sıvı alma işlemi sıkıştırma ve ya santrifüjde yapılıyorsa mekanik kurutma olarak adlandırılır. Tekstil sektöründe kumaş malzemeler daha çok mekanik kurutma ile kurutulmaktadır. Mekanik kurutma her ne kadar daha uygun maliyetli olsada çoğu malzeme bu kurutma çeşidine uymadığı için termal kurutma sistemleri piyasada daha çok kullanılmaktadır [43].

Termal kurutma sistemlerinde hal değişimi zorunludur. Kurutma işlemi, kurutulacak malzemenin içindeki sıvının buharlaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Termal kurutma sistemleri arasında güneş enerjisi ile kurutma da birçok kola ayrılmaktadır. Ülkemiz de dahil olmak üzere gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerde üreticiler halen ürünlerini boş alanlara güneş altında sererek kurutmaktadırlar. Bu yöntem güneş enerjisi ile kurutmanın en temel şeklidir. Ancak istenilen kalite ve kuruma hızı bu yöntemle elde edilemez. Malzemenin kurutma işleminde sonra korunması, uzun süre saklanabilmesi, gıda ürünü ise lezzetini kaybetmemesi ve besin değerinin düşmemesi beklenir. Aynı zamanda çevreyi kirletmemesi ve kuruma sresinin istenilen seviyede olması şarttır. Bu nedenle güneş enerjisi kullanan kurutma sistemleri tasarlanmakta ve kullanılmaktadır.

4.2. GüNEş ENERJİLİ KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI

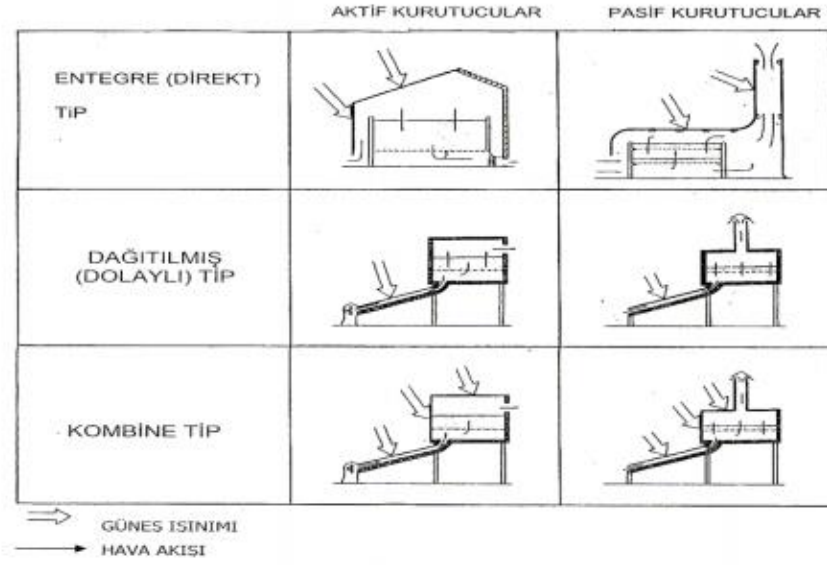
Güneş enerjisiyle kurutma kendi içinde bir çok şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan en çok kullanılanlarından biri şekil 4.1'de gösterilen ısı transferine dayanan bir sınıflandırma yöntemidir.



Şekil 4.1. Kurutma cihazlarının ısı transferine dayalı sınıflandırılması [2].

Geniş anlamda bakıldığında güneş enerjili kurutma sistemleri pasif ve aktif olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Doğal sirkülasyonlu ve geleneksel olarak adlandırılan sistemler pasif güneş enerji sistemleri olarak isimlendirilirken dış kuvvetler etkisinde olan güneş enerjisi kurutucu sistemlereyse aktif denilmektedir. Bu iki ana grup üç ayrı alt sınıfa ayrılmaktadırlar [2].

- Doğrudan (direkt) tip güneş enerjili kurutucular,
- Dolaylı (endirekt) tip güneş enerjili kurutucular,
- Hibrit (doğrudan ve dolaylı) güneş enerjili kurutucular.



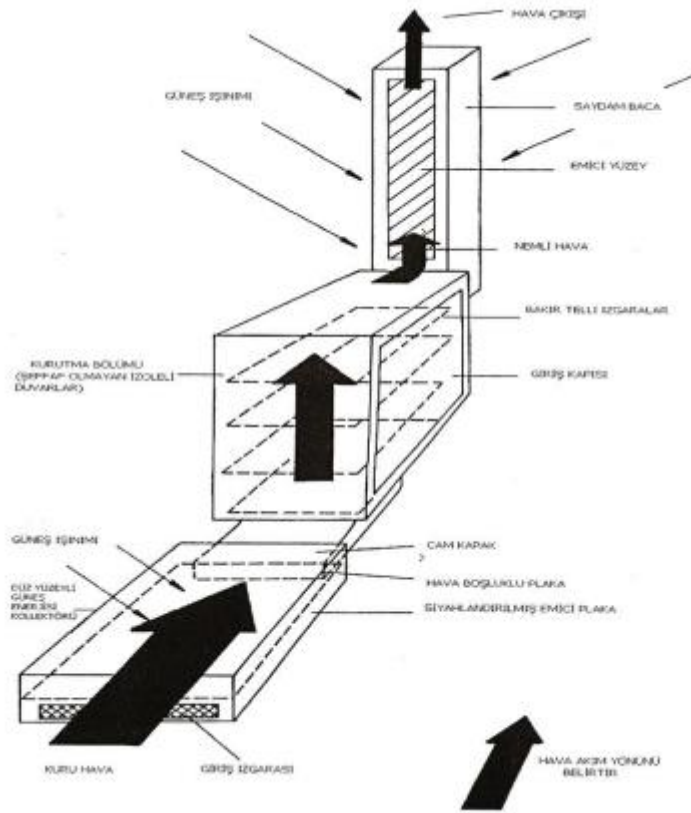
Şekil 4.2. Kurutucuların sınıflandırılması [2].

4.2.1 Direkt Tip Kurutucular

Adındanda anlaşılacağı üzere güneş ışığını direkt olarak kullanan kurutucu tipleridir. Kurutucu içerisinde ürün kurutma odaları bulunur ve bunlar saydam olup güneş ışığını içeri geçirebilmektedirler. Gelen güneş enerjisi direkt olarak ürünle temasa geçer ve ürüne nem kaybettirir. Aynı zamanda oda içerisinde artan sıcaklık havanın genişlemesine ve böylelikle bir hava sirkülasyonuna dönüştürür. Havanın bağıl nemi azalarak nem taşıma kapasitesi artar.

4.2.2 İndirekt Tip Kurutucular

İndirekt tip kurutucularda ürün odacıklarda veya raflarda bulunur. Ürünler direkt olarak güneş ışığı görmeden hava akımıyla ısıtılırlar. Hava kolektör vasıtasıyla ısıtılır. Ürünler direkt olarak güneş radyasyonundan etkilenmediği için radyasyon kaynaklı zararlar engellenmiş olunur. Bazı gıda ürünlerinin vitamin kaybını engellemek veya renk bozulmalarını önlemek için çok uygundur [3].



Şekil 4.3. İndirekt tip kurutucu sistemine bir örnek [3].

4.2.3 Hibrit (Doğrudan ve Dolaylı) Tip kurutucular

Hibrit kurutucularda ise doğrudan güneş ışığına mağruz bırakılan ürünler aynı zamanda fan yardımıyla hava akımıyla da ısıtılmaktadırlar.

4.3. NANE KURUTMA

Nane, dünyada birçok bölgede yetişen *Lamiceae* familyasına ait ticari değeri olan bir bitkidir. Dünyada 25 tür, Türkiye’de ise 12 tür ile yayılış göstermektedir. Bunların yanında birçok melez türde bulunmaktadır. *Mentha spicata L* türü ülkemizdeki en yaygın türüdür [44].

Nane ve benzeri özellikteki bitkiler antimikrobiyel, böcekleri uzaklaştırıcı ve antiviral özellikleri dolayısıyla kullanılmaktadır. Ayrıca romatizma ve sindirime iyi gelmesi adına yaprakları demlenerek tüketilmektedir [45].

Nane üretimini en büyük nedenlerinden biri uçucu yağının eldesidir. Bu yağın en önemli özelliği ise doğal mentoldür. Mentolün yanı sıra mentol, metil asetat, vb. bileşenlerde ticari değere sahiptir. Günümüzde dünya çapında nane ürünlerine talep git gide artmaktadır. Bu talebe karşılık en büyük üretim yıllık 16 000-ton civarı nane yağı üretimi ile Hindistan tarafından yapılmaktadır. Nane bahsedilen kullanım alanlarının dışında mutfaklarda da kullanılmaktadır. Ayrıca, antioksidan özellikleri olduğunda keşfedilmiştir [46].

Nane yaprakları taze veya kuru olarak tüketilebilmektedir. Ancak taze olarak uzun bir süre besin özelliklerini kaybetmeden kalamazlar. Bundan dolayı mutfaklarda baharat olarak kullanılacak veya gıda ve diğer endüstri alanlarında kullanılacak naneye kurutma işlemi uygulanmalıdır. Geleneksel kurutmada 20-25 °C'de 2 hafta süreyle kurutulma yapılmaktadır [47].

En yaygın kurutma yöntemi olarak güneş altında direkt kurutma gözüksede kalite açısından olumsuz sonuçlar gösterebilmektedir. Yeterli ışınım değerlerine her bölgede ulaşılamaması, çevresel koşullardan etkilenmesi, fermantasyon riski gibi etkenler göz önüne alındığında direkt güneş altında kurutma zamanla uzak durulan bir kurutma yöntemi haline gelmektedir. Bundan dolayı geleneksel yöntem yerine kurutma sistemleri kullanılmaktadır [48].

4.4. LİTERATÜR TARAMASI

PV panellerin su ile soğutulmasıyla birlikte verimini artırmak için birçok çalışma bulunmaktadır. Peng vd. (2017) tarafından yapılan bir deneysel bir çalışmada, panel yüzey sıcaklığının çıkış gücüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışma neticesinde, verimliliğin su soğutulmasıyla % 47 arttırıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu artış geri ödeme süresinide 15 yıldan 12 yıla indirmiştir.

Ceylan ve ark. (2019) tarafından çevre sıcaklığı ve güneş ışınımına bağlı olarak ısınan güneş panellerinin arkasından geçirilen hava ile soğutulmasının etkinliğini araştırmışlardır. Panellerdeki en önemli kayıplar, panel sıcaklığındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Panellerin soğutulmasıyla arka yüzey sıcaklığı düşer ve buna

bağlı olarak panellerin açık devre voltajı artar. Yaptıkları çalışmada güneş panelinin arkasından 0-5 m/s hızlarında geçirdikleri havanın farklı çevre ve güneş ışınım değerlerinde test etmişlerdir [49].

Kabul ve Yaşar (2017) yılında yaptıkları bir çalışmada, PV panelin arka yüzeyine yerleştirdiği borular içerisinden geçirdiği su ve hava ile soğutarak PV panellerin verimini artırmayı amaçlamışlardır. Su ile soğutma yapılan PV/T yüzey sıcaklığında %16'lık bir azalma sağlanırken, havayla soğutulan PV/T panellerin, hiç işlem uygulanmayan PV panellere göre yüzey sıcaklığının %8 daha fazla olduğu gözlenmiştir [50].

Kazem (2019) Umman dış hava şartlarında yaptığı çalışmada; su kullanarak yapılan PV/T tasarımların verimliliklerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda elektrik verimliliğinde fotovoltaiik termal sistemlerin, fotovoltaiik sistemlere göre yaklaşık %6 daha çok çıkış gücü verdiğini gözlemlemiştir [51].

Ceylan vd. (2014) tasarımlarında panellerin arkasından su sirkülasyonu için spiral şeklinde bir ısı değiştiricisi kullanmışlardır. Panellerin soğutulmasında kullanılan su ısıdıktan sonra güneş kolektöründe kullanılmıştır. 45 °C derecedeki deney şartlarında soğutma uygulanan modüllerin verimi, uygulanmayan modüllere oranla %3 daha yüksek çıkmıştır [52].

Önceki bölümlerde güneş panellerinin verimini düşüren en büyük etkilerden birinde sıcaklık olduğundan bahsedilmişti. Güneşten gelen ışınım miktarı arttıkça, üretilen elektrik enerjisi miktarı artarken aynı zamanda ışınım ile gelen sıcaklık verim kaybına neden olmaktadır. Fazla ısıyı sistemden çekmek adına faz değiştiren malzemeler kullanılabilir.

Faz değiştiren malzemelerle güneş enerjisi üzerinde çalışmalar literatürde incelendiğinde;

Preet vd. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmada çevre şartlarında PV panel, su soğutmalı PV/T sistem ve FDM ilavesiyle su soğutmalı PV/T tasarlamışlar ve bunları

karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda üç farklı kütleli debi kullanarak kütleli debinin elektriksel verime ve termal verime etkilerini gözlemlemişlerdir. Üç sistem içinde en iyi sonuçları en yüksek kütleli debide elde etmişlerdir. En yüksek modül sıcaklığı 85 °C olarak PV modülde ölçülmüştür. PV/T sistemde modüle göre sıcaklık düşümü %47 olarak ölçülürken bu oran FDM ilaveli sistemde %53 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Elektriksel verimleri kıyaslandıklarında PV/T sistemde %10,66 sonucuna karşılık FDM'li sistemde %12,6 olduğunu görmüşlerdir [53].

Hosseinzadeh vd. 2018'de PV/T sistemi tasarlamış ve üzerinde enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirmişlerdir. PV/T sistemlerine entegre edilmiş halde nanoakışkan FDM bulunmaktadır. FDM olarak organik parafin mum, nanoakışkan olarak ise ZnO/su kullanmışlardır. Deneylerinde üç farklı sistem kullanmışlardır. Bunlar geleneksel PV, nanoakışkanlı PV/T ve nanoakışkanlı PV/T-FDM şeklindedir. Deneylerin sonucunda, FDM kullanılan sistemin gücünün, geleneksel sisteme göre çıkış termal gücünün %29,6 arttığı gözlemlenmiştir [54].

Nabhan (2015) parafin mumu gibi faz değiştiren malzemelerin enerji depolamalarını incelediği bir çalışmada, parafin mumun termal iletkenliği, farklı kütle konsantrasyonu (% 1 wt., % 3 wt., % 5 wt) (10 nm) çaplı (TiO₂) nano parçacıkların eklenmesiyle artırmıştır. Faz değişim sıcaklığının, parafin mumuna (TiO₂) nanopartiküller ilave edilerek değiştiği saptamıştır. Kompozitlerin ısı iletkenliğinin artan sıcaklık ile düştüğünü bulmuştur. Termal iletkenlikteki artışın, nanopartikül ilavesi ile (% 5 ve % 15) arttığını görmüştür [55].

2008 yılında Cellura ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada PV paneller üzerinde FDM etkileri incelenmiştir. Erime sıcaklığı 28-38 °C olan FDM kullanılmıştır. Analiz sonucunda FDM kullanılmayan PV sistemin verimi %12 olarak bulunurken PV/FDM sistemin verimi ise %26 olarak bulunmuş ve FDM kullanılmasının verimi arttırdığı ispatlanmıştır [56].

Stritih ve Stropnik (2016) faz değiştiren malzemeler kullanarak PV panel verimlerini deneysel ve sayısal olarak gözlemlemişlerdir. Analiz için kullandıkları program TRNSYS ve deneylerinde kullandıkları faz değiştiren malzeme RT28HC'dir. Çalışma

sonucunda PV sistemin verimi % 11,4 iken PV/FDM sisteminin yıllık verimi ise %12,2 bulmuşlardır [57].

Norton vd. deneylerini Dublin’de dış ortam koşullarında aldıkları PV/T-FDM bir sistem tasarlamışlardır. Kurdukları PV/T-FDM sistem ile FDM'siz bir PV/T sistemi kıyasladıklarında, suyun ulaştığı sıcaklığın yaklaşık 5,5 °C daha yüksek olduğu saptamışlardır [58].

AK Bhardwaj vd. (2021) çeşitli bitkilerin kurutulmasını sağlayacak dolaylı tip güneş enerjili kurutucu geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri kurutma kabiniinde sadece gündüz ısı performansını değerlendirmemiş, gece performansını da kontrol altında tutmuşlardır. Gizli ısı depolanması için RT-42 tip parafin barındıran termal enerji depolama sahası, havalı güneş kolektörü, duyulur ısı depolama ortamı ile donatılmıştır. Deneyler 9,0 kg kediotu ile yapılmış ve 120 saatte kurutulmuştur. Termal enerji depolama ünitesi bulunan havalı güneş kolektörünün ortalama enerji verimliliği %26,1 olarak bulunurken termal enerji depolama ünitesi bulunmayanda ise bu oran %9,8 olarak saptanmıştır. Havalı güneş kolektörünün ekserji verimliliği, termal enerji depolama ünitesi bulunanda %0,81, bulunmayanda ise %0,14 olarak algılanmıştır. Kurutma kabiniinin η_{ex} değeri ise ortalama olarak %30,28 olarak kayda geçmiştir [59].

SM Shalaby ve M.A. Bek (2014) FDM uygulanan yeni bir dolaylı güneş kurutucusunun performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu incelemeyi iki farklı durum açısından ele almışlardır. İlk durum dolaylı tip güneş kurutucusu, FDM kullanılarak değerlendirilmiş, ikinci durumda ise FDM’siz olarak test edilmiştir. FDM kullanılırken elde edilen sonuçlar, kurutma sıcaklığının 1 günde 7 saat peş peşe sabit bir şekilde korunduğundan kurutma havası sıcaklığının stabil olduğunu göstermektedir. Bu sebeple de özellikle uçucu yağ özelliği taşıyan tıbbi bitkilerin kurutulması açısından uygun bulunmuştur. FDM olmayan ikinci durumda ise 3,5-6,5° °C daha fazla kurutma havası sıcaklığı sağlamıştır. Bunlara ek olarak orta derecede kurutma havası sıcaklığı sunmuştur [60].

Aymen El Khadraoui vd. (2017) faz değiştiren malzemeli (FDM) havalı güneş kolektörünün güneş ışığı almadığı vakitlerde etkisini değerlendirmek adına deneysel

bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında FDM kullanılan yeni bir havalı güneş kolektörünü, dolaylı tip güneş kurutucusuna entegre etmişlerdir ve buna bağlı performansı FDM'li ve FDM'siz olmak üzere iki farklı durumda incelemişlerdir. FDM kullanılan havalı güneş kolektörünün günlük enerji verimliliği %33,9 olduğu gözlemlenirken ekserji verimliliği ise %8,5 olarak ölçülmüştür. FDM kullanıldığında gece boyunca kurutma odası sıcaklığının, ortam sıcaklığından 4-16 °C daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ek olarak, kurutma odası bağıl nemi, ortam bağıl neminden %17 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [61].

Tan Sang Le vd. (2021) farklı ürünlerin standart nem koşullarına ve kurutmak için farklı zaman periyotlarına ihtiyaç duyduğunu esas alarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Verimli bir güneş kurutucusu tasarlamak adına güneş radyasyonu, havanın sıcaklığı, kuruyan havanın kütle akış hızı, bağıl nem, kurutma ürünlerinin cinsi, kütlesinin dikkate alınması gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Duyulur ısı malzemelerinin uygulanması güneş enerjisi kurutucularının gece çalışmasına da etki eder. Gece saatlerinde termal enerji depolama sistemi olmadığından dolayı güneş kurutucularıyla ürünlerin kurutulması homojen olmayan kuruma hızına sebebiyet vermektedir. Bu sebeptendir ki ürünlerin kurutulmasında güneş enerjisi cihazları çok gerekli görülmektedir [62].

Essalhi vd. (2018) yaptıkları çalışmada dolaylı tip güneş kurutucusu altında ve açık güneşte geleneksel yöntem ile üzüm kurutulmasının deneysel ve teorik analizi üzerinde incelemelerde bulunmuşlardır. Kurutma sonuçları, üzümleri %79,8 (w_b) başlangıç nem içeriğinden itibaren %20,2 (w_b) nihai nem içeriğine dek kurutulması için harcanan sürelerin dolaylı tip güneş kurutucusunda 120, açık güneşte geleneksel kurutma yöntemiyle 201 saat olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla dolaylı tip güneş kurutucusunda kullanılan depolama sistemi, açık güneşte geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında üzümlerin kuruma süresini azaltmıştır [63].

Chaatouf ve arkadaşları (2021) verimliliği ve dinamik davranışı iyileştirmek için FDM ile doldurulmuş bakır borular şeklinde bir ısı depolama sistemi ile entegre bir dolaylı tip güneş kurutucusunu incelemişlerdir. FDM tüpleri güneşlenme vakitlerinde termal enerjiyi depolayıp gün batımından sonra serbest bırakır, bu enerji miktarı ise faz

değiştiren malzemelerin kimyasal özelliklerine bağlanmıştır. FDM tüplü güneş enerjisi kurutucusunun verimliliğinin FDM kullanılmayan diğer duruma göre gece %3 arttığı gözlemlenmiştir [64].

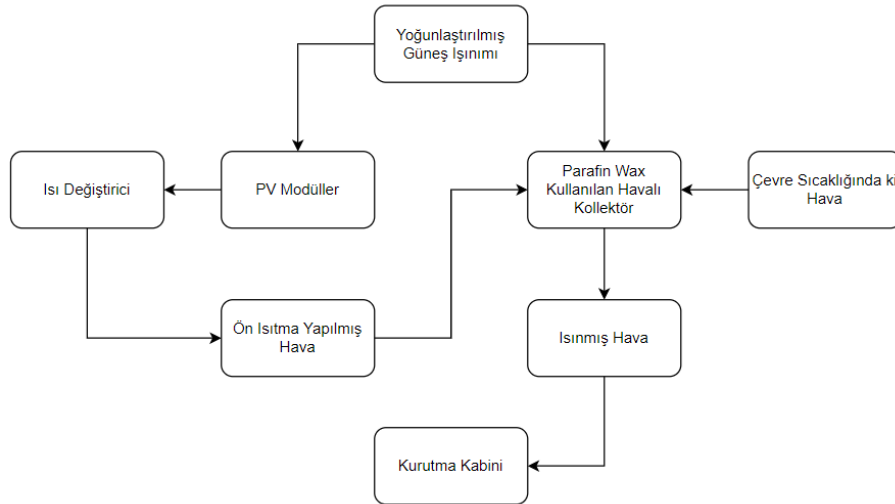
Dilip Jain ve ratibha Tewari (2015) termal enerji depolamalı güneş kurutucusu geliştirmişlerdir. Kurutma sistemi faz değiştiren malzeme ile güneş ışınımının olduğu zamanlarda termal enerjiyi depolar, gece vaktinde ise duyulur ısıyı serbest hale bırakır, böylelikle, sonrasındaki 5-6 saat boyunca etkin bir şekilde çalışır. Depolanan enerji ile kurutma sıcaklığının 40-45°C arasında tutulmasına destek sağlamış ve kurutucunun termal veriminin %28,2 olduğu anlaşılmıştır [65].

BÖLÜM 5

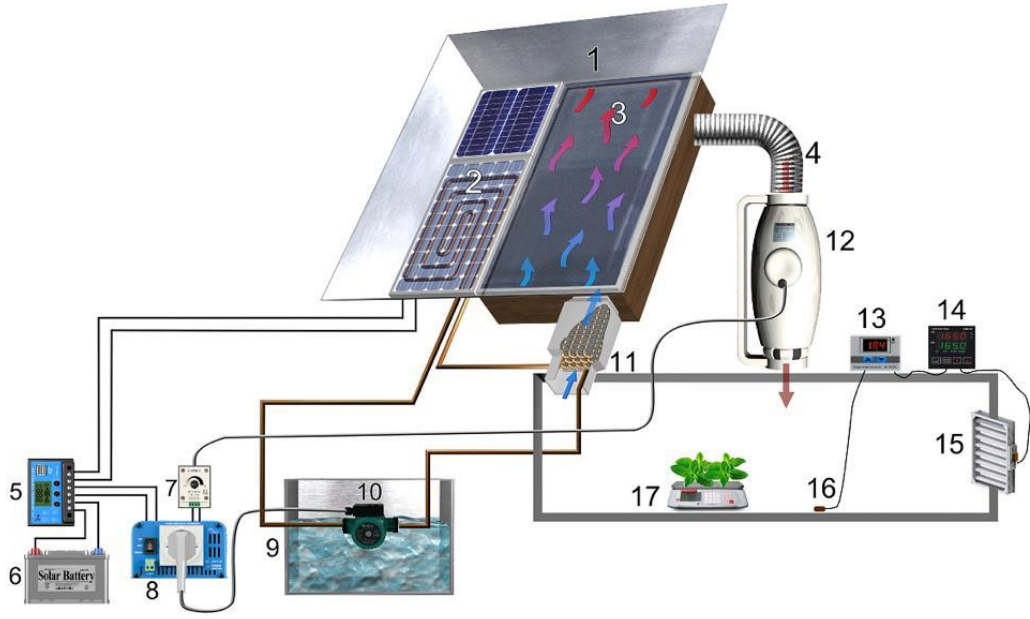
MATARYEL YÖNTEM

Kurutma basitçe bir nem alma işlemidir. Ürünlerin uzun süreli muhafazası için en etkili yöntemlerden biridir. Bu işlem sırasında kurutulan ürünün özelliklerini koruyabilmek en önemli olaydır. Kurutma işlemi gerçekleştirilmek için günümüzde bir çok farklı metot bulunmaktadır. Çalışmamızda tasarımını gerçekleştirip yaptığımız indirekt kurutucuda ürün güneş ışığı görmeden hava akımıyla kurutulur. Kurutmada kullanılacak havaysa havalı kolektörlerde ısıtılmaktadır. Çevre sıcaklığı ve güneş ışınımı miktarı havalı güneş kolektörlerinin çıkış sıcaklığını en çok etkileyen parametrelerdir. Güneş ışınımının ve çevre sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında çıkış sıcaklığı oldukça güzel sonuçlar versede çevre sıcaklığının ve ışınımın az olduğu kış şartları veya bulutlu günlerde havalı güneş kolektörlerin verimi oldukça düşmektedirler.

Yapılan bu çalışmada yoğunlaştırılmış havalı kolektör kullanılan indirekt bir kurutucu tasarlanmıştır. Şekil 5.1’de tasarlanan kurutucu sistemin akış şeması gösterilmiştir.

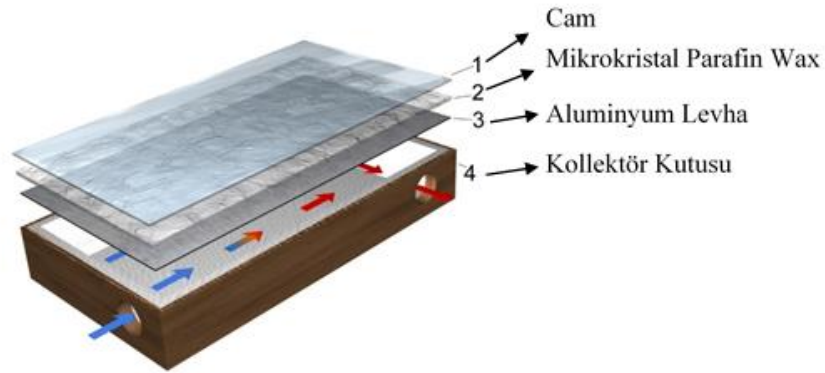


Şekil 5.1. Akış diyagramı.



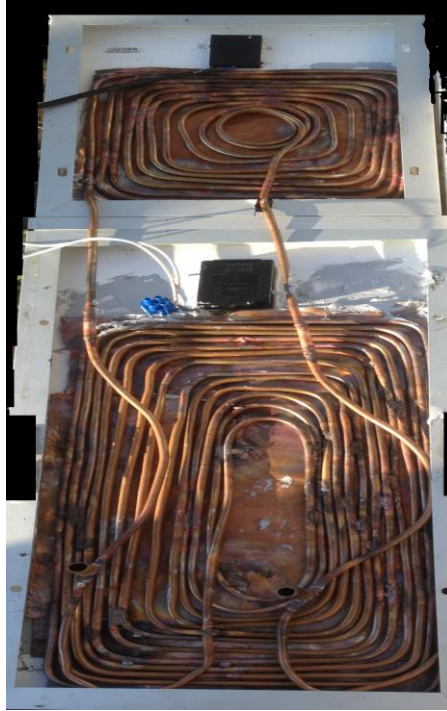
Şekil 5.2. Sistemin görünüşü.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’den de görüleceği üzere PV modüllere ve kolektöre gelecek güneş ışınımının yoğunlaştırılması adına galvenizli sactan yoğunlaştırıcı (1) yapılmıştır. Yoğunlaştırıcı sayesinde PV modül (2) ve havalı kolektöre (3) gelen güneş ışınımı miktarı artmıştır. PV modülde üretilen enerji şarj regülatörü (5) ve akü (6) kullanılarak depolanmıştır. Tasarımı Şekil 5.3’te gösterilen havalı kolektörde parafin mum kullanılmıştır. Sıcaklığın yükseldiği günlerde parafin mum sıcaklığı artarak faz değiştirecektir. Faz değişim esnasında parafin gizli ısınısını kolektör içerisinde bulunan havaya aktarır. Bu sayede hem duyulur hem de gizli ısıdan yararlanılacaktır.



Şekil 5.3. Tasarlanan ısı depolu havalı kolektörün detayları.

Yoğunlaşan güneş ışınımı ile birlikte panel sıcaklığıda artacaktır. Hem elektriksel kazancı artırmak hem de PV modüllerin fazla ısısından kazanç elde edebilmek için su soğutma sistemi kullanılmıştır. Panel arkaları bakırdan borularla spiral bir şekilde kaplanmıştır (Şekil 5.4). Panel sıcaklıklarını düşüren su, aynı zamanda bir pompa (10) ile havalı kolektör girişinde havayı ön ısıtma yapacak bir ısı değıştiricisinde (11) sirküle ettirilmiştir. Isıtılan hava hız kontrollü (7) bir fan (12) vasıtasıyla bir kurutma kabinine aktarılmıştır. Kurutma kabini Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

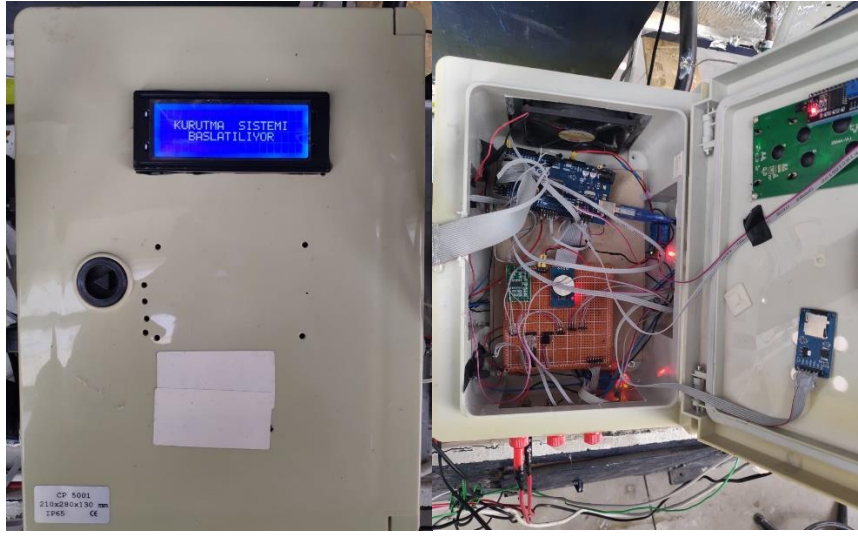


Şekil 5.4. Panel arkasına kaplanan bakır borular.



Şekil 5.5. Kurutma kabini.

Damper motorlu bir kapak (15) ile kurutma kabini içerisindeki fazla nemin dışarı atımı sağlanmıştır. Nem miktarı bir nem sensörü (16) aracılığıyla belirlenmiştir. Kurutma kabini içerisine bir tartı (17) konularak kurutulan ürünlerin dakikalık olarak ağırlıkları ölçülmüştür. Sisteme micro işlemci kullanılan otomasyon sistemi entegre edilmiştir (Şekil 5.6). Bu otomasyon sistemi sayesinde deneylerde kullanılan tüm sensörlerin değerleri dakikalık olarak görüntülenmiş ve kaydı tutulmuştur. Aynı zamanda kurutma kabininde ayarlanan nem miktarının üzerine çıkılması halinde otomatik olarak damper motorunun hareketi sağlanmıştır.



Şekil 5.6. Otomasyon sistemi.

Otomasyon sistemi, fan ve pompa için gerekli güç güneş ışınımı yeterli olduğu vakitlerde PV modüllerden, diğer zamanlarda ise bataryadan sağlanmaktadır. Yapılan kurutucu sistemde kullanılan ekipmanlar özellikleri ile birlikte Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Şekil 5.3’te iç yapısı gösterilen havalı kolektör içerisinde enerji depolama malzemesi olarak parafin mumu kullanılmıştır. Parafin mumu şeffaf yapıdadır ve içerisinden güneş ışınımını geçirebilmektedir. Parafin mumunun şeffaflığı sayesinde hemen altında bulunan alüminyum plaka güneş ışınımından ısınarak üstündeki parafin mumunu faz değiştirme sıcaklığına getirerek hem duyulur hem de gizli ısı depolanmasını sağlayacaktır. Sistemde kullanılan parafin mumunun özellikleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

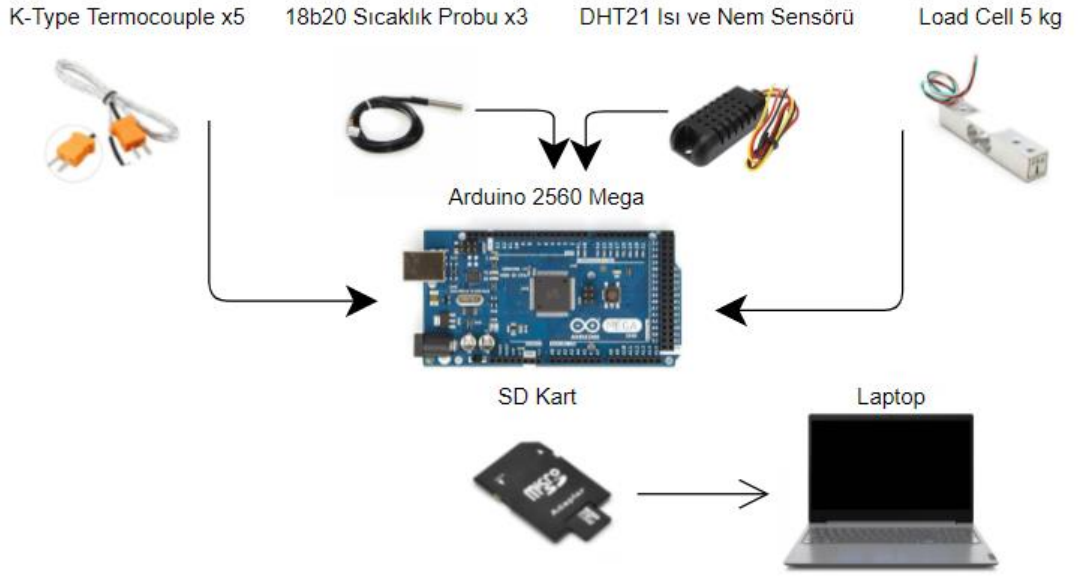
Çizelge 5.1. Kurutucu sistemde kullanılan ekipmanlar ve özellikleri.

Ekipman Adı	Özellikleri	
Inverter	Tam Sinüs Inverter Output Power: 1000W	
Şarj Regülatörü	MPPT Şarj Kontrol Cihazı Şarj Akımı: 20 A	
Batarya	Jel Akü 12 V, 65 Ah	
PV Modül	Max Güç: 20 W Çalışma Gerilimi: 18 V Çalışma Akımı: 1,11 A Ölçüler: 64 x 30 cm	Max Güç: 10 W Çalışma Gerilimi: 18 V Çalışma Akımı: 0,56 A Ölçüler: 37,5 x 30 cm
Fan	S&P TD-250/100, 230–240 V, 50–60 Hz, 24 W	
Fan Hız Kontrolörü	Ranco E31, 240 V, 8,2 A	
Pompa	24 VDC Su Pompası	
Havalı Kolektör	Ölçüleri: 102 x 52,5 cm, Temperli Cam	
Yoğunlaştırıcı	Ölçüleri: Üst: 121 x 137 cm Alt: 90 x 105 cm Galvenizli Sac	

Çizelge 5.2. Parafin mumunun özellikleri.

	Özellik	Değeri
Erime Noktası	(T_e), ($^{\circ}C$)	47
Yoğunluk	(ρ), (kg/m^3)	818 (Katı), 760 (Sıvı)
Gizli Isı	(L), (kJ/kg)	266
Isı İletkenliği	(k), ($W/m K$)	0,24 (Katı ve Sıvı)
Özgül Isı	(c), (kJ/kgK)	2,95 (Katı), 2,51 (Sıvı)
Ağırlık	(m), (kg)	10,43

Otomasyon sistemi için Arduinio Mega 2560 kullanılmıştır ve otomasyon sisteminde gösterilen kontrol ekipmanlarının özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Sıcaklık sensörleri buz ile kalibre edilmiştir.



Şekil 5.7. Verilerin eldesi.

Çizelge 5.3. Kontrol ekipmanlarının özellikleri ve belirsizlik analizi.

Ekipman	Ölçüm Yeri	Özellikleri	Belirsizlik (U)
K-Type Thermocouple	Kolektör Girişi Hava Sıcaklığı	K-type TP-01 Thermocouple Ölçüm Aralığı: -50°C,400°C	±0,486 °C
	Kolektör Çıkışı Hava Sıcaklığı		
	Parafin Sıcaklığı		
	Isı Değiştirici Girişi Su Sıcaklığı		
	Isı Değiştirici Çıkışı Su Sıcaklığı		
18b20 Sıcaklık Probu	Çevre Sıcaklığı	Su Geçirmez 18b20 Sıcaklık Probu Ölçüm Aralığı: -20°C,105°C	
	Panel Arkası Sıcaklığı		
	Panel Çıkışı Su Sıcaklığı		
Higrometre	Kabin Sıcaklığı	Nem: 0-100%RH +/- %3 (Max %5) RH	±2,08 RH(%)
	Kabin Nemi		
Solar metre	Işınım	PCE, 0–2000 W/m ² +/-5 W/m ²	±40,14 W/m ²
	Yoğunlaştırılmış Işınım		
Multimetre	Voltaj	DC Gerilim Kademe Çözünürlük Doğruluk 200mV 100uV, 2V 1mV, 20V 10mV, 200V 100mV, 600V 1V : +/- (0.5% 2) Maksimum giriş voltajı: 600V DC veya 600V AC RMS DC Akım Kademe 20uA 10nA, 200uA 100nA, 2mA 1UA, 20 mA 10uA, 200mA 100uA, 10A 10mA +/- (1% 2) Aşırı yük koruması: 0,2A/250V sigorta	±0,39 V
	Akım		±86,5 mA
LoadCell	Kütle Ölçümü	Kapasite: 0-5 kg +/- 0.002 kg Çalışma Sıcaklığı Aralığı: -20/80°C	±5 g

BÖLÜM 6

SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ

6.1. TERMODİNAMİK ANALİZLER

Termal sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için termodinamik verimsizliklerin kaynağı ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması gereklidir. Kapalı bir sistemin toplam enerjisi çevresiyle sadece ısı veya iş etkileşimi sonucunda değişebilir. Buna bağlı olarak kapalı bir sistemin hal değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, sistem sınırlarında gerçekleşen net ısı ve iş geçişine eşittir. Parafin mum için entalpi-sıcaklık arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir[66].

$$h_s = \int_T^{T_m} c_s dT \quad T \leq T_m, \text{ Katı faz} \quad (6.1)$$

$$h_L = \int_{T_m}^T c_L dT \quad T > T_m, \text{ Sıvı faz} \quad (6.2)$$

Parafin mum tarafından sisteme aktarılan toplam ısı enerjisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\dot{Q}_{pw,total} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_{LT} + \dot{Q}_L \quad (6.3)$$

Eşitlikte \dot{Q}_s parafin mumunun katı fazı için ısı enerjisi kazancı, \dot{Q}_{LT} faz değişimi süresince ısı enerjisi kazancı ve \dot{Q}_L parafin mumunun sıvı fazı için ısı enerjisi kazancıdır [67].

Sistemde üç ayrı ısı enerji kazanımı mümkün olmaktadır. Bunlardan biri parafin mum tarafından sisteme aktarılan ısıdır. Bu ısı parafin mumunun katı veya sıvı fazı için Eşitlik 6.4 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{S,L} = m_{pw} \cdot c_{S,L} \cdot (T_{SAC,av} - T_{pw})/t \quad (6.4)$$

Eşitlikte m_{pw} kullanılan parafin mumunun kütlesi, $c_{S,L}$ parafin mumunun katı veya sıvı fazının özgül ısısı, T_{pw} parafin mum sıcaklığı ve $T_{SAC,av}$ ortalama kolektör içerisi sıcaklığıdır.

$T_{SAC,av}$ Eşitlik 6.5 kullanılarak hesaplanabilir:

$$T_{SAC,av} = \frac{T_{SAC,out} + T_{SAC,in}}{2} \quad (6.5)$$

PV modülden elde edilen ısı, spiral ısı değiştiricisine giren ve çıkan etil alkol sıcaklıklarının ölçümü ile hesaplanabilir. Bu hesaplama Eşitlik 6.6'da verilmiştir.

$$\dot{Q}_{PV} = \dot{m}_w \times c_p \times (T_{PVw,out} - T_{PVw,in}) \quad (6.6)$$

PV modülden elde edilen ısı, bir ısı değiştirici ile havalı kolektörün girişine aktarılmaktadır. Bu ısı değiştirici ile sisteme aktarılan ısı Eşitlik 6.7 ile hesaplanabilir. Sistem adyabatik olarak düşünüldüğünde PV modülden elde edilen ısı ve ısı değiştirici ile aktarılan ısının birbirine eşit olması gerektiği görülmektedir ($\dot{Q}_{PV} = \dot{Q}_{HE}$).

$$\dot{Q}_{HE} = \dot{m}_w \times c_{p,w} \times (T_{HE,out} - T_{HE,in}) \quad (6.7)$$

Havalı kolektörden elde edilen ısı, kolektöre giren ve çıkan hava sıcaklıkları kullanılarak Eşitlik 6.8 ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{SAC} = \dot{m}_{air} \times c_{p,air} \times (T_{SAC,out} - T_{SAC,in}) \quad (6.8)$$

Sistemdeki PV modülünden elde edilen elektrik enerjisi kazancı aşağıdaki Eşitlik 6.9 ile hesaplanabilir:

$$\dot{E}_l = V \cdot I \quad (6.9)$$

PV modül verimi aşağıda verilen Eşitlik 6.10 ile bulunulabilir:

$$\eta_m = \frac{\dot{E}_I}{I(t)xA} \quad (6.10)$$

Bu durumda sistem için toplam ısı enerjisi kazanımı Eşitlik 6.11 kullanılarak hesaplanabilir. Eşitlikte C_{power} güç santrali için dönüşüm katsayısıdır. Bu değer iyi kalitede ve düşük kül miktarına sahip bir kömür için 0.38 alınabilir [68].

$$\dot{Q}_{overall} = +\dot{Q}_{HE} + \dot{Q}_{SAC} + \frac{\dot{E}_I}{C_{power}} \quad (6.11)$$

Havalı kolektörün genel termal verimi aşağıdaki Eşitlik 6.12 kullanılarak hesaplanabilir:

$$\eta_{sc} = \frac{\dot{Q}_{overall}}{I(t) \times A_{sc} + \dot{W}_f + \dot{W}_p} \quad (6.12)$$

Sisteme ait genel verim Eşitlik 6.13 üzerinden hesaplanır.

$$\eta_{overall} = \eta_{sc} + \eta_m \quad (6.13)$$

Kuru bazda kurutulmuş ürünlerin ilk nem içeriği aşağıdaki Eşitlik 6.14 kullanılarak hesaplanabilir:

$$MC_{db} = \frac{M_i - M_d}{M_d} \quad (6.14)$$

Burada kurutulmuş ürünlerin M_i başlangıç kütlesi, M_d kurutulmuş durumda olan ürün kütlesidir. Kurutma deneyleri sırasında nem oranı (MR) ve kurutma verimi aşağıdaki Eşitlik 6.15 kullanılarak hesaplanabilir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (6.15)$$

M, M_0 , M_e , sırasıyla nem oranı, nem içeriği, ilk nem içeriğidir. Özgül nem çekme oranı (SMER), üründen buharlaşan nem için kurutma sistemine giren enerjiye oranıdır. SMER Eşitlik 6.16 ile hesaplanır:

$$SMER = \frac{\text{Alınan Nem (kg)}}{\text{Harcanan Enerji (kwh)}} \quad (6.16)$$

Sistemin kurutma kalitesi verimliliğini hesaplamak için aşağıda verilen Eşitlik 6.17 kullanılmıştır. T_{nane} 10'ar dakikalık ortalama değerlerle alınmıştır

$$\text{Kurutma Kalitesi Verimi} = \frac{T_{nane}}{45^\circ C} \quad (6.17)$$

Bu çalışmada iki farklı noktadan ışıınım değeri ölçülmüştür. Bir nokta yoğunlaştırılmış ışıınım değerini ölçerken diğeri normal değeri almaktadır. İki değer arasındaki orana konsantrasyon oranı 'CR' denir [67]. CR Eşitlik 6.18 kullanılarak hesaplanabilir.

$$CR = \frac{\text{Yoğunlaştırılmış Işınım}}{\text{Işınım}} \quad (6.18)$$

6.2. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Verilen değerlerin güvenilirliğini test etmek adına belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizliği hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$X_m = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (6.19)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_m^2) \quad (6.20)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (6.21)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (6.22)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot s_i^2} \quad (6.23)$$

Eşitlik 6.19’da verilen X_m deneysel ölçümlerin aritmetik ortalamasını vermektedir. X_i verilen parametrenin ‘ i ’ ölçümüne denk gelir. ‘ N ’ belirsizliği belirlemek için gereken ölçüm sayısıdır.

Eşitlik 6.20’de verilen ‘ V ’ varyansı ifade eder. Eşitlik 6.21’de gösterilen ‘ S ’ ise standart sapmadır.

Eşitlik 6.22’de verilen ‘ a ’ duyarlılığı gösterirken Eşitlik 6.23’te verilen ‘ U ’ belirsizliktir.

Belirsizlik analizi yukarıda verilen denklemler ile hesaplanarak, sıcaklık için $\pm 0,486$ °C, nem için $\pm 2,08$ RH(%), ışıınım için $\pm 40,14$ W/m², kütle ölçümü için ± 5 g, gerilim ve akım için ise sırasıyla $\pm 0,39$ V ve $\pm 86,5$ mA olarak tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 5.3’te ilgili ölçüm yanında gösterilmiştir [69].

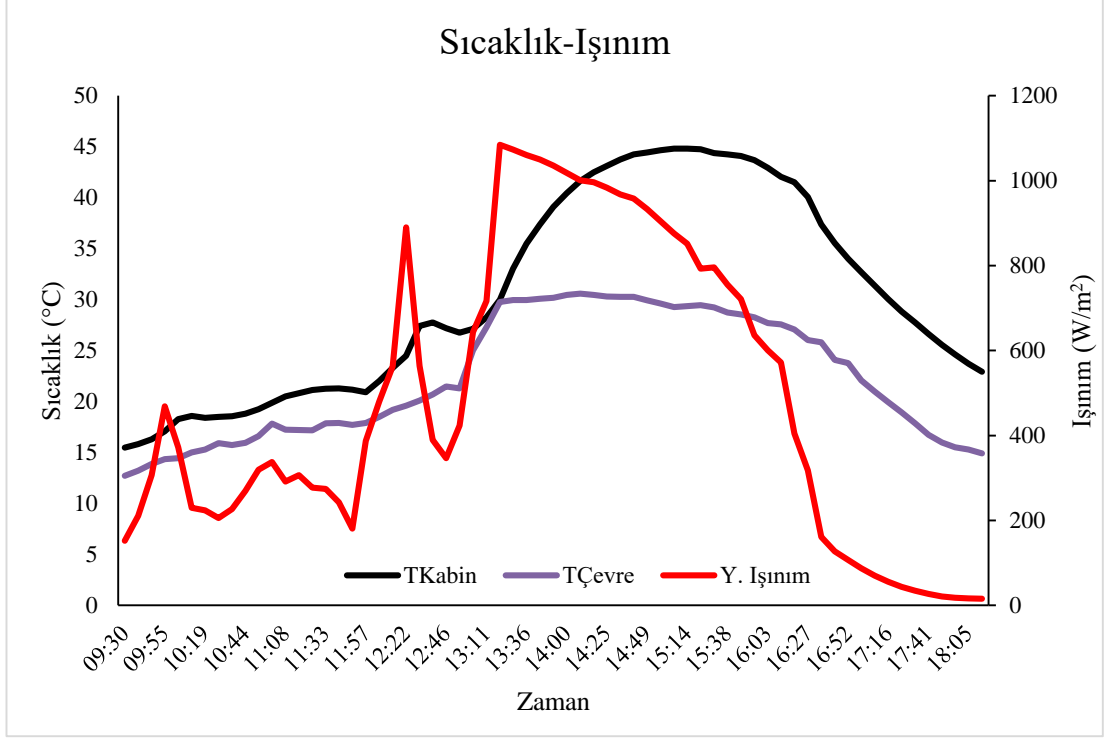
BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tasarlanan ısı depolu yoğunlaştırılmış havalı kolektörlü kurutma sistemi, Türkiye'nin Karabük ilinde sonbahar şartlarında ekim ayında test edilmiştir. Ekim ayında Karabük için ortalama güneşlenme süresi 5 saat 30 dakika, ortalama çevre sıcaklığı ise 14,6 °C'dir. Yatay yüzeye düşen aylık ortalama güneş ışınımı miktarı 4.29 kWh/m²-gün'dür. Deney sabah 09:30'da başlamış ve güneşin batmasından sonra 18:15'e kadar devam etmiştir.

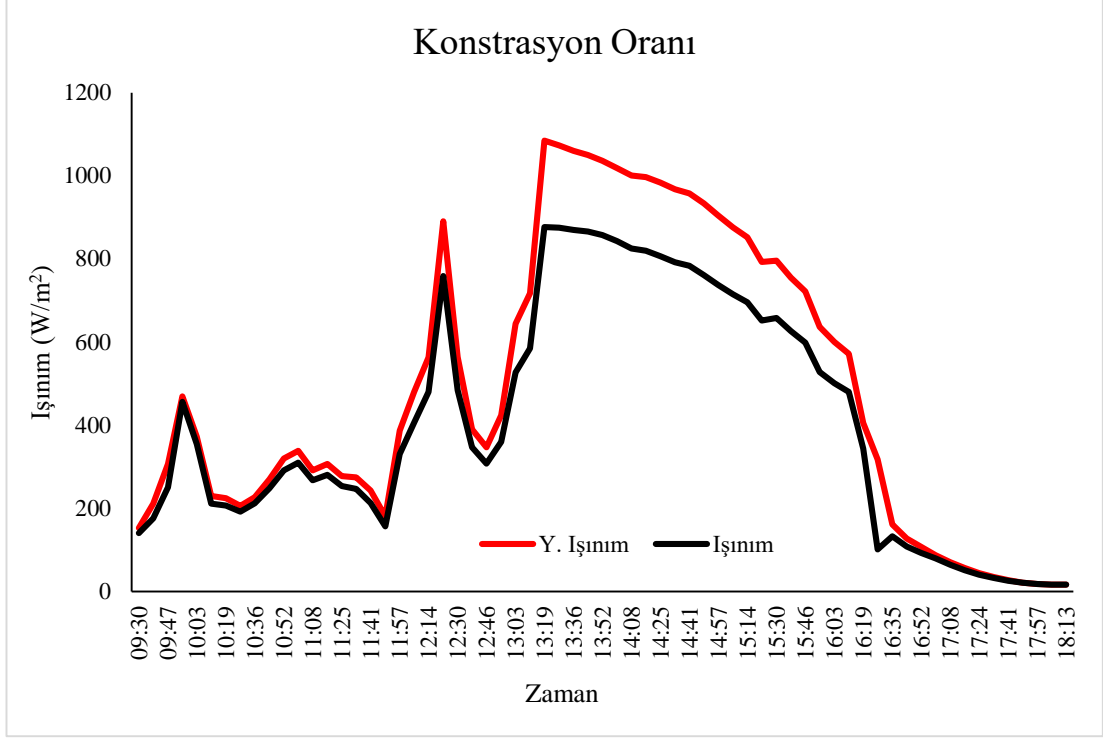
Güneş enerjisinin en büyük dezavantajı gündüz açık havalarda ve özellikle yaz aylarında yararlanılabilmemesidir. Diğer mevsimlerde yararlanılabilsede bile alınan verim yaz aylarına göre oldukça düşüktür. Kurutma için bazı ürünler özel şartlar gerektirir bu durum güneş enerjisi kullanımını kısıtlamaktadır. Yapılan bu çalışmada sistemin bahar veya kış aylarında ve akşam güneşin battığı saatlerde bile kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Şekil 7.1'de ve daha sonraki tüm grafiklerde zaman 10'ar dakikalık ortalama veriler üzerinden verilmiştir.

Şekil 7.1'de T_{Kabin} , $T_{Çevre}$ ve yoğunlaştırılmış ışınım değişimi görülmektedir. Kabin sıcaklığımız tüm deney boyunca ortalama 30,37 °C olarak tespit edilmiştir. En düşük 15 °C, en yüksek 45 °C civarına ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu belirtilen sıcaklıklar nane kurutma için uygun sıcaklıklardır. Bununla beraber çevre sıcaklığımız 12,7 °C'den başlayarak en yüksek değer olarak yaklaşık 30 °C'yi görmüştür. Ortalama olarakta 22 °C olarak ölçülmüştür. Tasarlanan sistem sayesinde ortalama 22 °C çevre sıcaklığında bile kurutma işlemi yapılabilmektedir. Şekil 7.1'de verilen grafiğin sağ ekseninde yoğunlaştırılmış ışınım değerleri verilmiştir. Verilen sıcaklıkların yoğunlaştırılmış ışınım miktarına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.



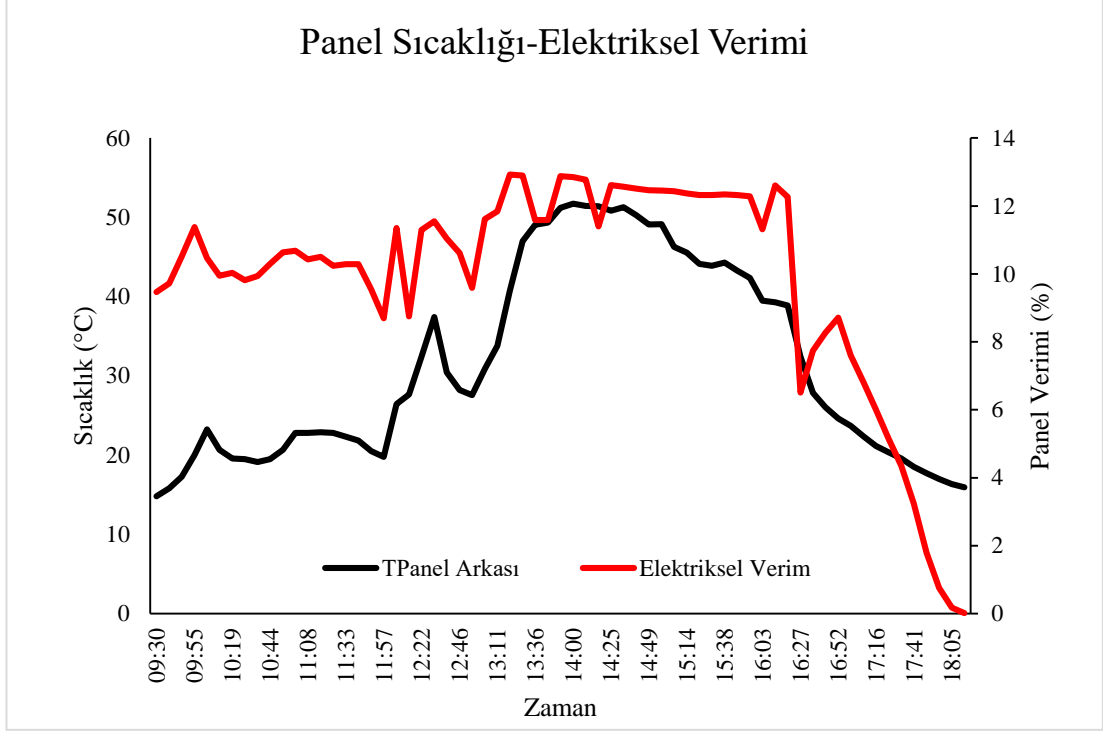
Şekil 7.1. Kabin, çevre sıcaklığı ile yoğunlaştırılmış ışınımın karşılaştırılması.

Tasarlanmış olan bu deney düzeneğinde güneş ışınımından daha iyi yararlanabilmek adına galvanizli sacdan yapılmış yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. Şekil 7.2’de ışınım ve yoğunlaştırılmış ışınım değerleri karşılaştırılmıştır. Yoğunlaştırılmış ışınım değeri 152 W/m²’den başlayıp 1080 W/m²’ye kadar çıkmıştır. Ortalama olarak 484 W/m²’dir. Buna karşılık direkt olarak gelen ışınım miktarı 140 W/m²’den başlayarak 875 W/m² değerini görmüştür. Ortalama ışınım miktarı ise 405 W/m²’dir. Eşitlik 23 kullanılarak bulunan konsantrasyon oranı ise ortalama olarak 1,2 olarak gözlemlenmiştir.



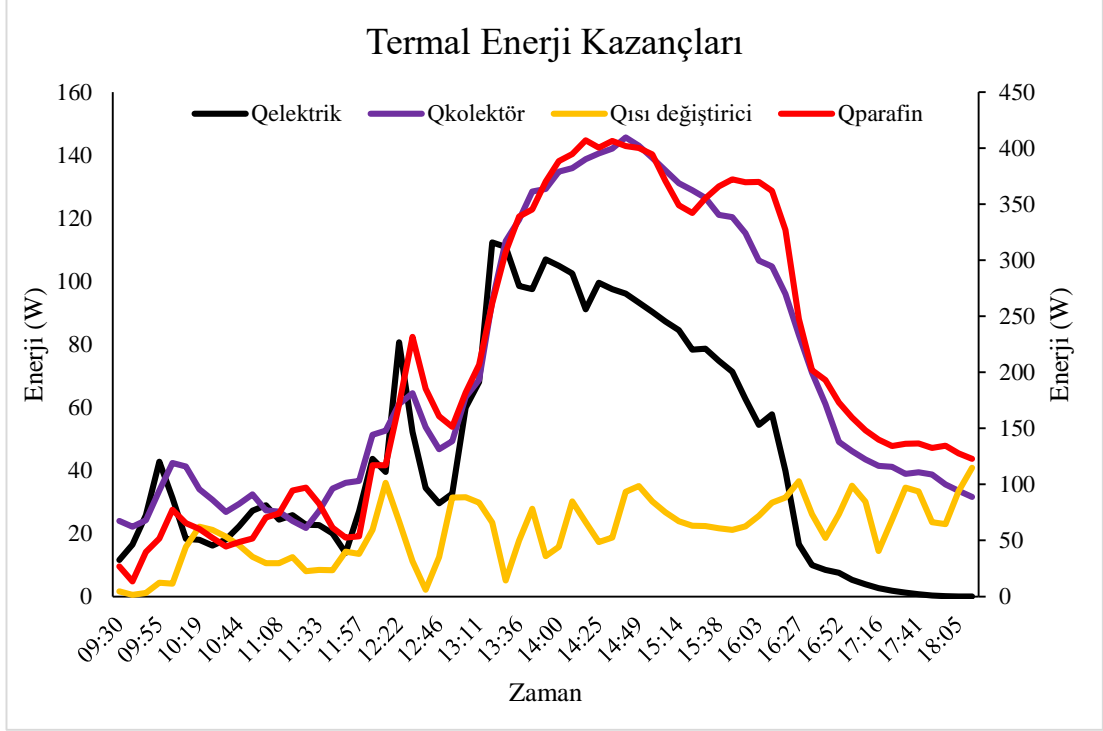
Şekil 7.2. Konstrasyon oranı.

Şekil 7.3'te panel arkası sıcaklığı ile elektriksel verimin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafiğin sol ekseninde gösterilen panel arkası sıcaklığı deney süresi boyunca ortalama olarak 31,2 °C olarak ölçülmüştür. Deney başlangıcında 14,8 °C olarak başlayan sıcaklık değeri 51 °C civarına kadar yükselmiştir. Bununla beraber grafiğin sol ekseninde verilen panelin elektriksel verimi panel sıcaklığının artmasıyla düşmesi beklenirken nominal değerler içerisinde ortalama olarak %10 civarı tespit edilmiştir. Güneş ışınımının gittiği saatlerde en düşük %1 civarında ölçülen verim, deney süresince en yüksek %13 olarak ölçülmüştür. Bu değerler bir PV/T sistem için panel arkası sıcaklığı artmasına rağmen oldukça iyi değerlerdir.



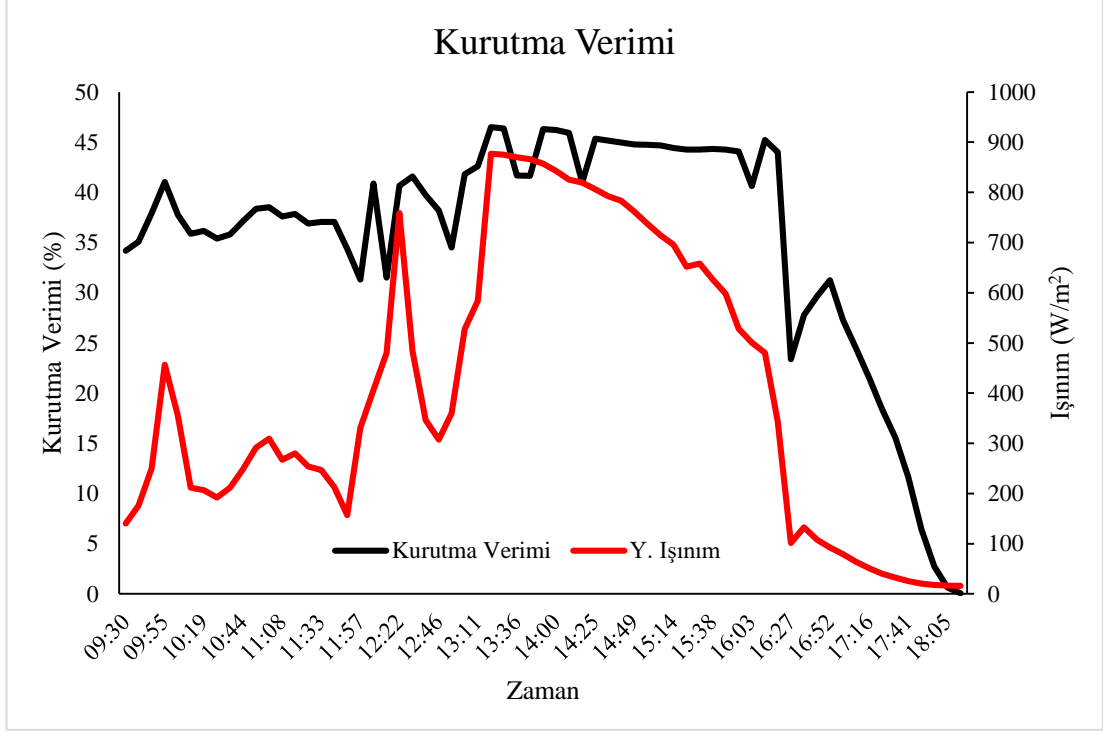
Şekil 7.3. Panel arkası sıcaklığı ile elektriksel verimin zamana bağlı değişimi.

Şekil 7.4'te Q_{Elektrik} , $Q_{\text{Kolektör}}$, $Q_{\text{Isı Değiştiricisi}}$ ve Q_{Parafin} değerlerinin zamana bağlı termal enerji kazançları gösterilmiştir. Q_{Elektrik} için ortalama değer 44 W olarak ölçülürken güneş ışınımının gittiği saatlerde en düşük 0,1 W değerine karşılık en yüksek 112 W olarak gözlemlenmiştir. $Q_{\text{Kolektör}}$ için bu değerler ortalama 71 W, en düşük 23,9 W en yüksek 145 W'dır. $Q_{\text{Isı Değiştiricisi}}$ için ortalama, en düşük ve en yüksek değerler incelendiğinde ortalama 20 W, en düşük 0,5 W ve en yüksek 36 W olduğu gözlemlenmiştir. Aynı değerler Q_{Parafin} için sırasıyla 203 W, 13,5 W ve 406 W'dır. Grafikte ışınımın düştüğü 17:00 saatleri civarında, parafinde depolanan enerji sayesinde halen kolektöre ısı enerjisinin verilebildiği ve böylece kurutma işleminin bu saatten sonra bile devam edebildiği gözlemlenmektedir.



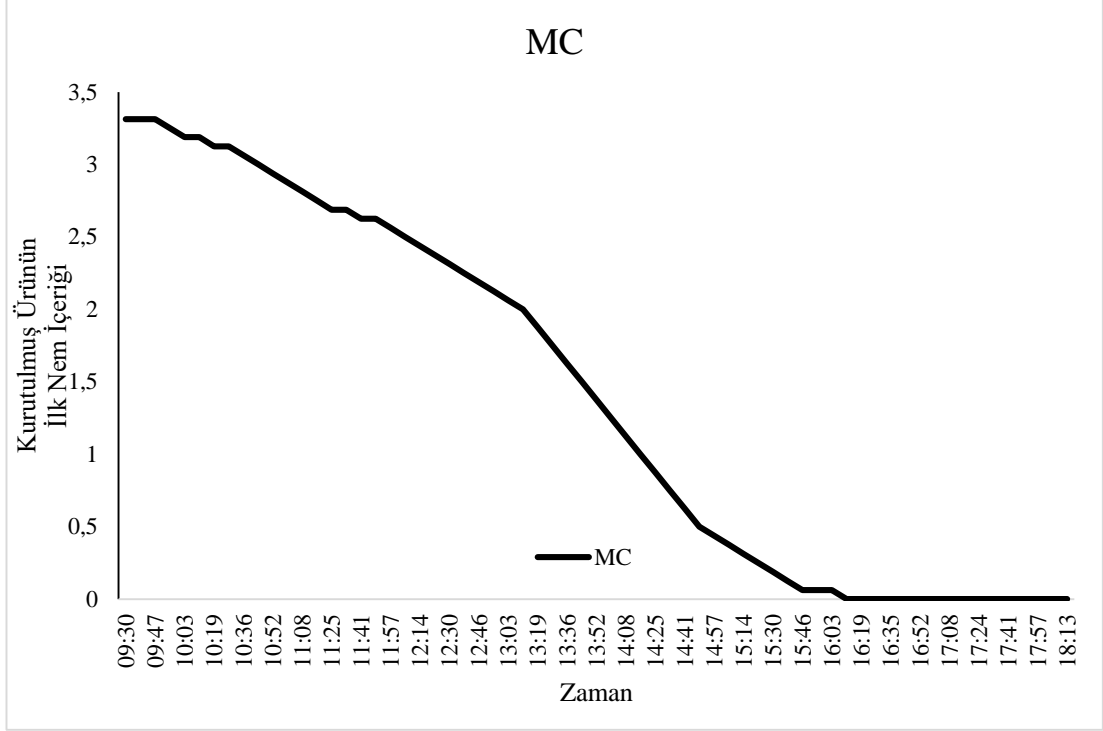
şekil 7.4. Enerji kazançları.

şekil 7.5'te zamana bağlı kurutma verimi grafiği gsterilmiştir. Deney başlagıcında %34 olarak olęülen kurutuma verimi değeri gneşin gittiği saatlerde %2 olarak olęülmüřtür. Deney süresince en yüksek verim değeri %46,3 olarak olęülürken ortalama kurutuma veriminin deney başlagıcından ışınımın gittiği 16:20 vaktine kadar sürede ortalama %40 olduğu gözlemlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının ortalama 20 °C olarak belirlendiği sonbahar ortamı şartlarında ulaşılan ortalama verim değeri oldukça tatmin edicidir.



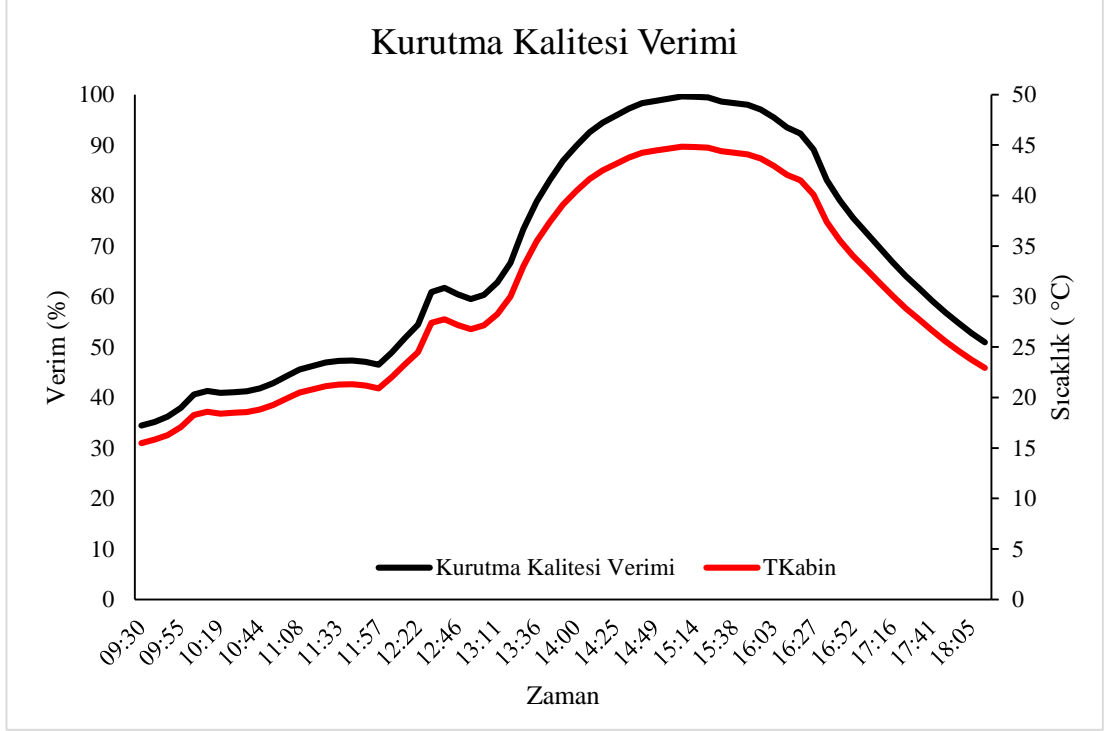
Şekil 7.5. Kurutma verimi.

Deney sırasında nanenin nem içeriğindeki değişim Şekil 7.6 gösterilmiştir. 0-15 dk aralığında kurutulacak nanenin yüzey sıcaklığı, kuruyan hava ile dengeye gelmiştir. 09:45 - 11:45 aralığında düşük ışınımında bile olsa kurutma sabit hızla devam etmiştir. Işınımın ve kabin sıcaklığının en yüksek seviyelere geldiği 13:00 – 14:45 aralığında kurutma en hızlı şekilde sabit olarak devam etmiştir. Bu iki zaman aralığında kurumuş ürün vasıtasıyla yüzeye ulaşan nem, buharlaşan nem miktarını karşılayamaz ve yüzey kurumaya başlar. 14:45 – 15:45 aralığında kurutma daha yavaşta olsa devam etmiş ve devamında durağanlaşmıştır. 15:45 – 16:00 vakitleri süresince kurutma işlemine devam edildiğinde kuruyan yüzeyin sıcaklığı artmaya başlar ve kurutma havası kuru termometre sıcaklığına ulaşır. 16:45 civarında kütle değişimi durmuş ve kuruma gerçekleşmiştir. Nane 3,3125 su/g kuru madde nem içeriğinden 0,0625 su/g su/g kuru madde nihai nem içeriğine kadar kurutulmuştur.



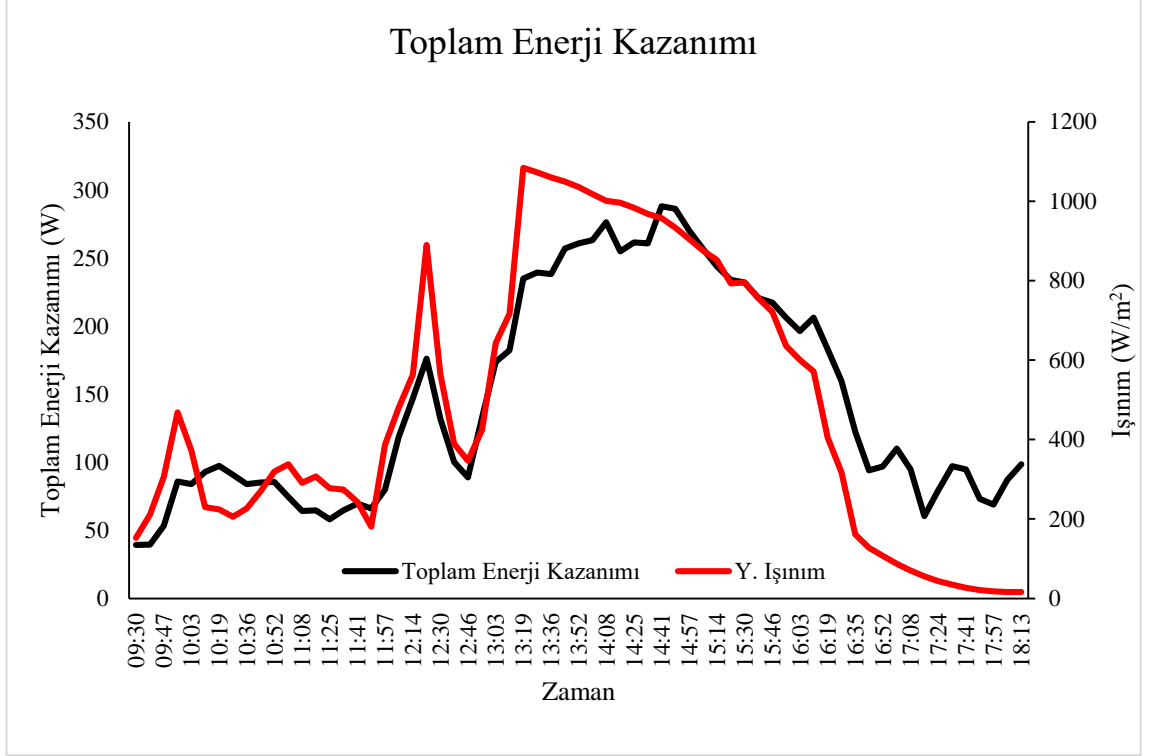
Şekil 7.6. Zamana bağlı MC değişimi.

Kurutma kalitesi verimi kurutulacak ürünün en iyi kurutma sıcaklığı derecesinde %100 olarak ele alınır. Nane kurutmak için gereken sıcaklık 40 °C ile 50 °C arasında değişmektedir, hava sıcaklığı bu normu geçerse ürünün aroması, kokusu, rengi ve şekli açısından olumsuz bir etki ortaya çıkacaktır. Ürünlerin tadı tamamen değişir ve ürünlerden yanık kokusu gelmeye başlar, rengi değişir, koyulaşır ve ürün çok deforme olur, bu yüzden sıcaklık kurutulacak ürüne göre belirlenmeli ve bu sıcaklığı geçmemelidir. Şekil 7.7 'de kurutma kalitesi veriminin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Deney süresince en yüksek kurutma kalitesi verimi %99,55 olarak ölçülürken en düşük değer deney başlangıcında %34 olarak belirlenmiştir. Ortalama kurutma kalitesi verimi %67'dir.



Şekil 7.7. Kuruma kalitesi verimi.

Şekil 7.8’de toplam enerji kazanımının ve yoğunlaştırılmış ışınımın zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. En yüksek enerji kazanımı zamanı, yoğunlaştırılmış ışınımında en yüksek değerlerde olduğu 14:40 civarındadır ve 288 W olarak ölçülmüştür. Ortalama enerji kazanımı 147 W’dır.



Şekil 7.8. Toplam enerji kazanımı.

7.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada yeni bir yoğunlaştırılmış havalı kolektöre sahip ısı depolu güneş enerjili kurutma sistemi önerilmiştir. Özellikle güneş ışınımının az olduğu bahar ve kış aylarında ve gündüz ışınım yeterli olsa bile belli bir saate kadar akşam saatlerinde kurutma yapabilirliği üzerine bir takım analizler gerçekleştirilmiştir. Deney boyunca elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

- Deney boyunca havalı kolektör giriş sıcaklığı ortalama 27,8 °C ölçülürken çevre sıcaklığı ortalama 22,3 °C ölçülmüştür. Yaklaşık 5 °C derecelik bu fark bize sistemde kullanılan ısı değiştiricisinin panel arka sıcaklığını düşürmesinin yanı sıra kurutma sisteminin performansına önemli katkısını göstermektedir.
- Çevre sıcaklığının 22,3 °C ölçüldüğü sistemde kolektör çıkış sıcaklığı ortalama 31,6 °C olarak bulunmuştur. En yüksek değer olarak sabit fan hızında 46,2 °C dereceye ulaşmıştır. Havalı kolektör çıkış sıcaklıkları incelendiğinde bir çok ürün için kurutma yapılabileceği tespit edilmiştir.

- İki farklı ölçüm alınarak yoğunlaştırıcının katkısı ölçülmeye çalışılmıştır. Yoğunlaştırıcı ile gün içinde en yüksek 1080 W/m^2 değerine ulaşılmıştır. Ortalama yoğunlaştırıcı ışınım miktarı 484 W/m^2 iken normal ışınım miktarı ortalama 405 W/m^2 ölçülmüştür. Yoğunlaştırıcı ile normal ışınım arasındaki fark ışınımın yüksek olduğu saatlerde daha da artmaktadır.
- Yoğunlaştırmanın dezavantajı olan panel arka sıcaklığının yükselmesi PV/T sistem kullanılarak en aza indirgenmiştir. Panel sıcaklığı ortalama $31,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ölçülürken bu değer deney süresince en fazla $51,2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar yükselmiştir. Bu değerlere göre PV panelin çalışmasını olumsuz etkileyecek bir sıcaklık değerine ulaşılmamıştır.
- Güneş ışınımının azalmaya başladığı 16:30 saatinden sonra hatta güneşin tamamen battığı 18:00 saatinde bile kullanılan parafin mumu sayesinde kolektör çıkış sıcaklığı ve kurutma kabini sıcaklığının istenilene yakın değerlerde tutulabildiği bu sayede kurutmaya devam edilebileceği görülmüştür.
- Panelin elektriksel verimi ortalama yaklaşık %10 tespit edilmiştir. Deney boyunca alınan en yüksek verim değeri %13'dür. Bu değerler bir PV/T sistem için panel arkası sıcaklığı artmasına rağmen oldukça iyi değerlerdir.
- Kurutma veriminin ortalama %40 olduğu gözlemlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının ortalama $20 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlendiği son bahar ortamı şartlarında ulaşılan ortalama verim değerinin elde edilmesi oldukça iyidir.
- Kurutma kalitesi verimi kurutulacak ürün için en iyi şartların belirlendiği durumu ölçer. Deney süresince %99.5 gibi en yüksek değere ulaşılabilmiş ve ortalama olarak % 67 ölçülmüştür.
- Ortalama enerji kazanımı 174 W iken deney süresince toplam enerji kazanımı $9,5 \text{ kW}$ 'dır.
- PV/T sistemde kullanılacak akışkan olarak su tercih edilmiştir. Su yerine nano akışkan, etilalkol vb. bir akışkan kullanılarak sistem verimi artırılabilir.
- Işınımı yoğunlaştırmak adına sistemde galvenizli sacdan yapılmış yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. Yoğunlaştırıcı malzemesi olarak galvenizli sac yerine yüksek yansıtıcılığa sahip malzeme kullanılmasıyla daha yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşmak mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

1. Yazıcı, A. D. and Daş, M., "Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemi İle Elma Ürününün Kurutulması ve Kurutma Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi", *Intenational Journal Of Multidisciplinary Studies And Innovative Technologies*, 2 (1): 8–13 (2018).
2. Güngör, A. and Özbalta, N., "Güneş Enerjili Kurutma Teknolojileri ve Uygulamalarda Gelişmeler", (2019).
3. V. Çay, F. Koçyiğit, M. K. Akyüz, Ş. K., "Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri ve tarımda kullanımı", *International Engineering Conference*, (October 2017): (2017).
4. Koç, E. and Şenel, M. C., "Dunyada ve Turkiyede Enerji Durumu", *Muhendis Ve Makina*, 1–4 (2013).
5. Kılıç, F. Ç., "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Muhendis Ve Makina*, 56 (671): 28–40 (2015).
6. Karaagac, M. O., OGUL, H., and Bardak, S., "Güneş Enerji Sistemi Tasarımı: Kanatlı Hayvan Çiftliği Örneği", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 8: 711–722 (2020).
7. Varınca, K. B., Gönüllü, M. T., Abuşka, M., Koç, E., Şenel, M. C., Yılmaz, M., Kılıç, F. Ç., Atılğan, I., Aksungur, K. M., Kurban, M., Fİllık, Ü. B., Bedeloğlu, A., Demdr, A., and Bozkurt, Y., "Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Arastırma", *Muhendis Ve Makina*, 4 (42): 33–54 (2012).
8. Bulut, H., "Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar", (2009).
9. Turhan, S. and Çetiner, İ., "Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirilmesi", *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 6 (Sürdürülebilir Çatı ve Cephe Sistemleri): (2012).
10. Kantaroğlu, F., "Fotovoltaik Sistemler", *Journal Of Chemical Information And Modeling*, 53 (9): 1689–1699 (2013).
11. Ekinci, M., "Taşınabilir Güneş Takip Sistemli PV Panel Dizaynı ve Uygulaması", *Erciyes Üniversitesi*, (2015).
12. Gökçe, İ., "Fotovoltaik (Pv) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansı", (2020)

13. Emin, M., "Determination of Appropriate Slope Angle and Yearly Energy Difference in Electricity Production with Photovoltaic Battery", (2017).
14. Deniz, E., "Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar", *Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası*, 1 (1): 1–14 (2013).
15. Genc, G., "Analysis of Dust and Shadow Effect on Photovoltaic Modules", 103 (2018).
16. Kurşun, M., "Samsun koşullarında doğal toz birikiminin güneş panellerinin verimliliğine etkisi", (2019).
17. Isler, Y. S., "Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi", *El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 2019 (1): 97–107 (2019).
18. A Kerem, M Atik, A Bayram, "Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 12 (2): 565–578 (2020).
19. Abdelrazik, A. S., Al-Sulaiman, F. A., Saidur, R., and Ben-Mansour, R., "A review on recent development for the design and packaging of hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 95 (December 2017): 110–129 (2018).
20. Browne, M. C., Norton, B., and McCormack, S. J., "Phase change materials for photovoltaic thermal management", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 47: 762–782 (2015).
21. Radziemska, E., "The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells", *Renewable Energy*, 6: 1–12 (2003).
22. Karimi, F., Xu, H., Wang, Z., Chen, J., and Yang, M., "Experimental study of a concentrated PV/T system using linear Fresnel lens", *Energy*, 123: 402–412 (2017).
23. Yıldız, G. and Gürel, A. E., "PV / T Sistemler : Tipleri , Avantajları ve Uygulamaları", *TTMD*, (November 2019): 30–38 (2020).
24. Hou, L., Quan, Z., Zhao, Y., Wang, L., and Wang, G., "An experimental and simulative study on a novel photovoltaic-thermal collector with micro heat pipe array (MHPA-PV/T)", *Energy And Buildings*, 124: 60–69 (2016).
25. Şener, M., "Etkin Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı ve Optimizasyonu", *Hittit Üniversitesi*, (2013).
26. Doğan, M., "Güneş Paneli Destekli Havalı Güneş Kollektörünün Performans Analizi", *Karabük Üniversitesi*, (2015).

27. Efe, Ö., "Gizli Isı Depolamalı Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması", *Fırat Üniversitesi*, (2019).
28. Çelebi, G., "Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 3: 17–33 (2002).
29. Mohamad, A. A., . "High efficiency solar air heater", *Solar Energy*, 60: 71-76 (1997).
30. Alta, D., Bilgili, E., Ertekin, C., and Yaldiz, O., "Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses", *Applied Energy*, 87 (10): 2953–2973 (2010).
31. El-Sebaai, A. A. and Al-Snani, H., "Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters", *Energy*, 35 (4): 1820–1828 (2010).
32. Bulut, H. and Fatih, A., "Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı , İmalatı ve Deneysel Analizi", (January): 168–175 (2006).
33. Canlı, M. E., "Güneş Işınımı Altında Faz Değiştiren Malzemenin Isı Depolama Davranışının Deneysel İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi*, (2017).
34. Dinçer, İ. and Rosen, M. A., "Thermal Energy Storage Systems and Applications", (2002).
35. Mahmoud, M., Ramadan, M., Olabi, A. G., Pullen, K., and Naher, S., "A review of mechanical energy storage systems combined with wind and solar applications", *Energy Conversion And Management*, 210 (March): 112670 (2020).
36. Kozak, M. and Kozak, Ş., "Enerji Depolama Yöntemleri", *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4 (2): 17–29 (2012).
37. Çaliker, A. and Özdemir, E., "Modern Enerji Depolama Sistemleri Ve Kullanım", 175–179 (2020).
38. Konuklu, Y., "Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu", *Çukurova University*, (2008).
39. Demirbağ, S. and Alay Aksoy, S., "Production And Characterization Of Heat Storing Microcapsules With Enhanced Thermal Stability By Adding Inorganic Materials", *Tekstil Ve Muhendis*, 20 (92): 59–78 (2013).
40. Aslan, O., "Faz Değiştiren Malzemelerle Güneş Enerjisinin Depolanması", *Anadolu Üniversitesi*, (2014).
41. Altay, C., Tekelioğlu, H., and Nallar, M., "Isıl Enerji Depolama Malzemelerinin Bardaklarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (2011).

42. Sharma, A., Chen, C. R., and Vu Lan, N., "Solar-energy drying systems: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 13 (6–7): 1185–1210 (2009).
43. Onat, A., "Kırmızı Biberin Havalı Güneş Kollektörleri ile Kurutulması.pdf", *Marmara Üniversitesi*, (2002).
44. Güler, H. D., "Biberiye, Fesleğen, Kekik, Nane Ve Stevyanin Toplam Fenolik Madde Ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Kurutma Yöntemlerinin Etkisi", *Uludağ Üniversitesi*, (2019).
45. Johnson, M., Wesely, E. G., Kavitha, M. S., and Uma, V., "Antibacterial activity of leaves and inter-nodal callus extracts of *Mentha arvensis* L", *Asian Pacific Journal Of Tropical Medicine*, 4 (3): 196–200 (2011).
46. Özer, E., "Nane (*Mentha Piperita* L.)'nin Farklı Kısımlarına Uygulanan Farklı Kurutma Tekniklerinin Uçucu Yağın Bileşimine Ve Antimikrobiyel Aktivitesi Üzerine Etkisi", *Ankara Üniversitesi*, (2012).
47. Kocabıyık, H. and Demirtürk, B. ., "Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması", 5 (3): 239–246 (2008).
48. Demir, Ö., "Kızılötesi Kurutucuda Nane Bitkisinin Optimum Kurutma Sıcaklığının Belirlenmesi", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (3): 1094–1100 (2019).
49. Ceylan, İ., Yılmaz, S., İnanç, Ö., Ergün, A., Gürel, A. E., Acar, B., and İlker Aksu, A., "Determination of the heat transfer coefficient of PV panels", *Energy*, 175: 978–985 (2019).
50. Kabul, A. and Yaşar, E., "Fotovoltaik/Termal (pv/t) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi", *SDU International Journal Of Technological Science*, 9 (1): 17–32 (2017).
51. Kazem, H. A., "Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system", *Case Studies In Thermal Engineering*, 13 (January): 100401 (2019).
52. Ceylan, I., Gürel, A. E., Demircan, H., and Aksu, B., "Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector", *Energy And Buildings*, 72: 96–101 (2014).
53. Preet, S., Bhushan, B., and Mahajan, T., "Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal (PV/T) system with and without phase change material (FDM)", *Solar Energy*, 155: 1104–1120 (2017).
54. Hosseinzadeh, M., Sardarabadi, M., and Passandideh-Fard, M., "Energy and exergy analysis of nanofluid based photovoltaic thermal system integrated with phase change material", *Energy*, 147: 636–647 (2018).

55. Nabhan, B. J., "Using nanoparticles for enhance thermal conductivity of latent heat thermal energy storage", *Journal Of Engineering*, 21 (6): 37–51 (2015).
56. Cellura, M., Ciulla, G., Lo Brano, V., Marvuglia, A., and Orioli, A., "A photovoltaic panel coupled with a Phase Changing Material heat storage system in hot climates", *PLEA 2008 - Towards Zero Energy Building: 25th PLEA International Conference On Passive And Low Energy Architecture, Conference Proceedings*, (October): 22–27 (2008).
57. Stropnik, R. and Stritih, U., "Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM", *Renewable Energy*, 97: 671–679 (2016).
58. Browne, M. C., Norton, B., and McCormack, S. J., "Heat retention of a photovoltaic/thermal collector with PCM", *Solar Energy*, 133: 533–548 (2016).
59. Bhardwaj, A. K., Kumar, R., Kumar, S., Goel, B., and Chauhan, R., "Energy and exergy analyses of drying medicinal herb in a novel forced convection solar dryer integrated with SHSM and PCM", *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 45 (March): 101119 (2021).
60. Shalaby, S. M. and Bek, M. A., "Experimental investigation of a novel indirect solar dryer implementing PCM as energy storage medium", *Energy Conversion And Management*, 83: 1–8 (2014).
61. El Khadraoui, A., Bouadila, S., Kooli, S., Farhat, A., and Guizani, A., "Thermal behavior of indirect solar dryer: Nocturnal usage of solar air collector with PCM", *Journal Of Cleaner Production*, 148: 37–48 (2017).
62. Le, V. V., Le, T. H., Nguyen, T. P., and Duong, X. Q., "A Review Of Solar Dryer With Phase Change Material As Sensible Heat Storage Mediums", *Journal Of Mechanical Engineering Research And Developments*, 44 (7): 202–214 (2021).
63. Essalhi, H., Benchrif, M., Tadili, R., and Bargach, M. N., "Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun", *Innovative Food Science And Emerging Technologies*, 49 (March): 58–64 (2018).
64. Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraoui, S., and Mezrhab, A., "Assessment of a heat storage system within an indirect solar dryer to improve the efficiency and the dynamic behavior", *Journal Of Energy Storage*, 41 (February): 102874 (2021).
65. Jain, D. and Tewari, P., "Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage", *Renewable Energy*, 80: 244–250 (2015).

66. Lee, J. S. and Lucyszyn, S., "Thermal analysis for bulk-micromachined electrothermal hydraulic microactuators using a phase change material", *Sensors And Actuators, A: Physical*, 135 (2): 731–739 (2007).
67. Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., Ergün, A., and Ceylan, İ., "Performance assessment of a V-trough photovoltaic system and prediction of power output with different machine learning algorithms", *Journal Of Cleaner Production*, 268: (2020).
68. Huang, "Performance Evaluation of Solar Photovoltaic / Thermalsystems", *Solar Energy*, 70 (5): 443–448 (2001).
69. Ceylan, I. and Gürel, A. E., "Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves", *Applied Thermal Engineering*, 106: 899–905 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Mustafa BENLİOĞLU ilköğretim ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Karabük 75.Yıl Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başlayıp 2018 yılında iyi bir derece ile mezun oldu. Kısa süreli bir özel sektörde çalışma sürecinden sonra 2019 yılında aynı bölüm üzerinden Karabük Üniversitesinde lisansüstü eğitime başladı. Eğitimi sırasında aynı zamanda Karabük Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde çalışmaya devam etmektedir.