



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ NEMLENDİRME-
NEM ALMA YÖNTEMİ KULLANILAN DAMITMA
SİSTEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Serkan ÇINAR

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ NEMLENDİRME-NEM ALMA YÖNTEMİ
KULLANILAN DAMITMA SİSTEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Serkan ÇINAR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Bitirme Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**KARABÜK
Ocak 2021**

Serkan ÇINAR tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ NEMLENDİRME-NEM ALMA YÖNTEMİ KULLANILAN DAMITMA SİSTEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Emrah DENİZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Ahmet KABUL (ISUBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KARAGÖZ (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.”

Serkan ÇINAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ NEMLENDİRME-NEM ALMA YÖNTEMİ KULLANILAN DAMITMA SİSTEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Serkan ÇINAR

Karabük Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

Ocak 2021, 58 Sayfa

Saf suyun; konutlarda, sanayi alanında, tıp alanında ve çeşitli diğer alanlarda kullanımı çok yaygındır. Isıtmada kullanılan kazanlar, akvaryumlar, hava nemlendirici cihazlar, buharlı ütüler, uçak motorları, otomobillerin aküleri ve radyatörleri, enjeksiyon esnasında kullanılan ilaçların inceltilmesi, bazı yaralara yapılan pansumanlar, biyomedikal cihazlar, kozmetik endüstrisi, tekstil sektörü, içecek ve alkollü içecek endüstrisi, soğutma sistemleri, bazı laboratuvar çalışmaları saf suyun kullanıldığı başlıca alanlara örnek verilebilir. Saf suyun özellikleri arasında en önemlisi mineralleri de dahil içerisindeki tüm maddelerden ayrıştırılmış olmasıdır. Saf su genellikle 70 - 80 °C'ye kadar ısıtılan suyun buharının yoğunlaştırılarak ayrı bir kaba aktarılmasıyla elde edilir, bu işleme distilasyon ya da damıtma adı verilir.

Yapılan çalışmada, atık veya doğal bir su kaynağından alınacak olan suyun, ısıtılacak havanın içine pülvarize edilmesiyle havanın nem almasını sağlayıp, bir nem alma ünitesinden geçirilerek yoğunlaşan nemin toplanmasıyla saf su üretimi elde edilmiştir. Havayı ısıtmak için güneş enerjisinden faydalanılmıştır. Bir fan yardımıyla alınan hava vakum tüplü güneş kolektörü ile ısıtılmıştır. Isınan havanın içine pompa ve nozullar yardımıyla su püskürtülmüş ve ısınarak nem alma kapasitesi artan havanın neme doyması sağlanmıştır. Neme doyan hava bir nem alma ünitesinden geçirilerek içindeki nemin yoğunlaştırılması sağlanmıştır. Yoğuşan nemin toplanılmasıyla saf su üretimi elde edilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen veriler kullanılarak enerji-ekserji analizleri yapılmış ayrıca, ekonomik ve enviro-ekonomik özellikleri incelenmiştir. Böylece güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem alma (HDH) damıtma sisteminin ekonomik ve çevresel etkileri tespit edilmiştir. Sistemin maksimum günlük enerji verimi %31,54 olarak hesaplandı ve sistemin maksimum ekserji verimi %1,87 olarak bulunmuştur. Maksimum temiz su üretimi 1117 g/h olarak belirlenmiştir. Tasarlanan HDH sistemi için temiz su üretiminin yaklaşık maliyeti 0,0981 USD/L civarı ve çevresel-ekonomik parametresi 2,4041 USD/yıl'dır.

Çalışma neticesinde, Türkiye gibi güneş kuşağı içinde olan ülkeler güneş enerjisini nemlendirme ve nem alma yöntemi ile birlikte kullanılarak birçok alanda kullanılan ucuz, temiz, güvenli bir şekilde saf su üretebileceklerdir.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, nemlendirme-nem alma (HDH), verim, ekserji, ekonomi ve çevresel-ekonomik analiz, damıtma.

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF HUMIDIFICATION-DEHUMUDIFICATION SOLAR DESALANATION SYSTEM

Serkan ÇINAR

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

January 2021, 58 pages

Fresh water; in houses, in the industrial field, medical field, and it is widely used in various other fields. Boilers used in heating, aquariums, air humidifiers, steam irons, aircraft engines, batteries and radiator of the car, diluting the drugs used during injection, the dressings made some wounds, biomedical devices, cosmetics industry, textile industry, beverage and cooling systems in the alcoholic beverage industry some laboratories the main examples given work. The most important minerals in the characteristics of pure water in the material is eluted from all included. Pure water is generally 70 - 80 ° C and concentrated until heated water vapor is obtained by transfer into a separate container, a process distillation or distillation given name. The work to

be done, the water was taken from the waste or natural water source, providing the air dehumidification with the atomized into the air to be heated, it was pure water production by collecting condensed water passing through a dehumidification unit. Air was benefit from solar energy to heat. Air vacuum tube taken with a fan will be heated with solar collectors. The heated water is sprayed into the air to generate heat and dehumidification capacity of the pump and nozzles and increased air humidity saturation achieved. It provided in the condensed moisture from the air through a dehumidification unit saturated with moisture. Condensation of moisture in recruiting pure water production obtained. Energy-exergy analyses of the system are made and economic and enviro-economic properties are investigated using data obtained from experimental studies. In this way, economic and environmental impacts of the HDH solar desalination systems have also been determined. The maximum daily energy efficiency of the system was calculated as 31,54% and the maximum exergy efficiency was found as 1,87%. The maximum fresh water production rate is obtained as 1117 g/h. The estimated cost of fresh water produced through the designed HDH system is 0.09811 USD/L and enviro-economic parameter is 2.4041 USD/annum.

As a result of the study, which in our country such as Turkey, cheap solar generation using solar energy, clean, secure our country by using humidification and dehumidification methods it will also be used in many areas of pure water production.

Key Word : Solar energy, humidification-dehumidification, efficiency, exergy, economic and enviro-economic analysis, desalination.

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında bana maddi manevi desteğini esirgemeyen annem, babam ve eşime, çalışma arkadaşlarım İbrahim KÜTÜK, Mehmet ÖZ ve V. Gökhan CANLI' ya, tecrübelerinden yararlandığım ve önemli katkılar sunan hocalarım Prof. Dr. Emrah DENİZ ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KARAGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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 VE AMAÇ	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. AMAÇ	3
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
BÖLÜM 3	12
DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI VE GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ	12
3.1. DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI.....	12
3.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ	14
BÖLÜM 4	18
MATERYAL VE METHOD	18
4.1. MATERYAL.....	19
4.3. DENEYSSEL VERİLERİN TEORİK ANALİZLERİ.....	33
4.3.1. Enerji Analizi.....	34

	<u>Sayfa</u>
4.3.2. Ekserji Analizi	37
4.3.3. Ekonomik ve Çevresel-Ekonomik Analizler	38
BÖLÜM 5	41
DENEYSEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	48
EK AÇIKLAMALAR A	53
ADAM 4019+ VE ADAM 4520'YE AİT TEKNİK ÖZELLİKLER	53
EK AÇIKLAMALAR B	55
DENEY SİSTEMİNE AİT ÇEŞİTLİ GÖRÜNTÜLER	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Küresel Su Döngüsü ($10^3 \text{ km}^3 \cdot \text{yıl}^{-1}$) [1].	3
Şekil 3.1. Kaynakların toplam birincil enerji arzı (1990-2017) [19].	12
Şekil 3.2. Enerji kaynaklarının CO ₂ emisyon miktarları (1990-2017) [22].	13
Şekil 3.3. Kaynaklarına göre yenilenebilir enerji üretimi (1990-2017) [24].	14
Şekil 3.4. Küresel fiziki ve ekonomik su kıtlığı bölgeleri ve güneş kuşağı bölgeleri [26-27].	15
Şekil 3.5. Güneş enerjisi damıtma sistemi uygulama şeması [29].	16
Şekil 4.1. Deney sisteminin genel görünümü.	20
Şekil 4.2. Güneş kollektörün yapısı.	22
Şekil 4.3. Nemlendirici ünitesinin bir görünümü.	23
Şekil 4.4. Deney sisteminde kullanılan selülozik petek.	24
Şekil 4.5. Damla tutucu.	25
Şekil 4.6. Deney sisteminde kullanılan nozullar.	25
Şekil 4.7. Su tankı.	26
Şekil 4.8. Piranometre.	32
Şekil 4.9. Deney kurulumunun şematik diyagramı.	34
Şekil 5.1. SAH'a giren ve çıkan havanın sıcaklık verileri ve güneş ışınlam miktarı.	41
Şekil 5.2. Nemlendirme ünitesine giren-çıkan havanın bağıl nem ve sıcaklık değerleri.	42
Şekil 5.3. HDH sisteminde solar radyasyon ve üretim hız değerleri.	43
Şekil 5.4. Sistemin Zamana Bağlı Verim Değişimleri.	44
Şekil 5.5. SWH, SAH, PV panel ve HDH ünitesinin ekserji verimleri.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Karabük ili için meteoroloji verileri.	19
Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan malzemeler.....	20
Çizelge 4.3. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.....	21
Çizelge 4.4. Hava ve su ısıtıcı güneş kollektörlerinin özellikleri.	22
Çizelge 4.5. Hava ve su ısıtıcı kollektörlerin giriş-çıkış sıcaklıkları.	22
Çizelge 4.6. Sirkülasyon pompası özellikleri.....	27
Çizelge 4.7. Fanexfan KTS 90-60 metal gövdeli sık kanatlı radyal fanın özellikleri.27	27
Çizelge 4.8. Güneş pili özellikleri.....	29
Çizelge 4.9. Jel akü özellikleri.	30
Çizelge 4.10. Piranometrenin teknik özellikleri.....	33
Çizelge 4.11. Anenometre teknik özellikleri.....	33
Çizelge 5.1. Sistemdeki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri.....	42
Çizelge 5.2. Solar damıtma sisteminin ekserji sonuçları.	45
Çizelge 5.3. Maliyet analiz sonuçları.	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: yüzey alanı (m ²)
AC	: yıllık maliyet
AMC	: sistemin yıllık bakım maliyeti
ASV	: yıllık hurda değeri
CPL	: temiz su maliyeti (\$/L)
CRF	: sermaye geri kazanım faktörü
C _p	: özgül ısı(kJ/kg K)
E _{dw}	: distile su için gerekli enerji (W)
$\dot{E}\chi_{dest}$: yok olan ekserji (W)
$\dot{E}\chi_{ew}$: su buharının gizli ısı ekserjisi (J/kg)
$\dot{E}\chi_{in}$: ekserji girişi (W)
$\dot{E}\chi_{in,ah}$: hava ısıtıcı kollektöründen gelen ekserji (W)
$\dot{E}\chi_{in,wh}$: su ısıtıcı kollektöründen gelen ekserji (W)
$\dot{E}\chi_{in,pv}$: PV panelinden ekserji girişi (W)
$\dot{E}\chi_{product}$: üretilen ekserji (W)
$\dot{E}\chi_{sun}$: ekserji girişi (W)
$\eta_{EX, H-DH}$: nemlendirme nem alma sisteminin ekserji verimi
FAC	: sabit yıllık maliyet
F _R	: ısı taşınım faktörü
G	: global radyasyon (W/m ² K)
h _a	: çevre havası entalpisi (kJ/kg K)
h _{a2}	: SAH'dan çıkan havanın entalpisi (kJ/kg K)
h _{a6}	: nem alma ünitesine giren havanın entalpisi (kJ/kg K)
h _{a7}	: nem alma ünitesinden çıkan havanın entalpisi (kJ/kg K)
I	: akım (A)
I	: eğimli yüzeydeki güneş enerji yoğunluğu (W/m ²)

i	: yıllık faiz oranı
L	: buharlaşma gizli ısısı (J/kg)
\dot{m}	: kütleli akış hızı (kg/s)
\dot{m}_{ew}	: solar HDH sisteminden saatlik çıkış miktarı (kg/h)
M	: solar HDH sisteminde yıllık ortalama temiz su üretim miktarı (L/yıl)
N	: sistem ömrü (yıl)
H	: verim
N	: kollektör sayısı
P	: güneş enerjili damıtma sisteminin sermaye maliyeti
P	: pompa
P_g	: doyma basıncı (Pa)
PV	: fotovoltajik panel
\dot{Q}_{in}	: solar sisteminden damıtma sistemine enerji girişi (W)
\dot{Q}_u	: kullanılan termal enerji kazancı (W/m ²)
\dot{Q}_T	: sisteme giren toplam ısı miktarı (W)
R	: ideal gaz sabiti (kJ/kg K)
S	: entropi
SAH	: solar hava ısıtıcı
SFF	: amorti fon faktörü
T	: çevre sıcaklığı (K)
U_L	: kollektör için ısı transfer katsayısı (W/m ² °C)
V	: voltaj (V)
W	: havanın nem miktarı (kg _{water} /kg _{air})
W_1	: SAH'a giren havanın nem miktarı (kg _{water} /kg _{air})
W_3	: nem alma ünitesine giren havanın nem miktarı (kg _{water} /kg _{air})
W_4	: nem alma ünitesine çıkan havanın nem miktarı (kg _{water} /kg _{air})
z_{CO2}	: uluslararası karbon fiyatı (\$/ton)
Z_{CO2}	: enviroekonomik parametresi (\$/yıl)
$\alpha\tau$: etkili soğurma-iletim ürünü
η	: enerji verimi (%)
η_{ex}	: ekserji verimi (%)

- Φ : bağıl nem (%)
- Φ_{CO_2} : CO₂ yıllık salınan CO₂ miktarı (ton/yıl)
- Ψ_{CO_2} : elektrik üretimi için kömürden çıkan ortalama CO₂ yoğunluğu (kgCO₂/kWh)

KISALTMALAR

a	: hava ve çevre
ah	: hava ısıtıcı
c	: kollektör ve temiz su
cw	: soğuk su
da	: kuru hava
dehu	: nem alma ünitesi
dw	: arıtılmış su
g	: cam yüzey
hu	: nemlendirme ünitesi
in	: giriş
max, m	: maksimum
out	: çıkış
s	: yüzey alanı ve güneş
u	: kullanılan
w	: su
wh	: su ısıtıcısı
v	: buhar

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Su canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ve bütün insan faaliyetlerini ayakta tutar. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %0,3'ü kullanılabilir ve içilebilir özelliktedir.

Canlıların en temel ihtiyaç kaynağı olan su değişik formlarda varlığını sürdürmektedir. Su çevrimi (döngüsü), yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde suyun mevcudiyetini ve hareketlerini gösterir. Hareket halinde olan su; katı halden sıvı hale, sıvı halden buhar haline ve buhar halinden tekrar sıvı haline dönerek sürekli bir hareketlilik arz eder.

Su çevriminin bir başlangıç noktası olmamasına rağmen okyanusların, başlangıç noktası olduğu varsayılarak döngü özetlenebilir. Su çevrimini harekete geçiren ana etmen olan güneş enerjisi, yeryüzündeki suyun ısınmasına ve ısınan suyun ise buharlaşarak atmosfer havasına karışmasına sebep olur. Atmosfer havasında yine güneş enerjisinin etkisi ile hava akımları meydana gelir ve bu hava akımlarının etkisi ile su buharı atmosfer içerisinde yukarı yönlü taşınır.

Hava akımları, bulutların atmosfer içerisinde hareket etmesine ve bulut kütlelerinin bir araya gelerek, büyük kütleli bulutların oluşmasına sebep olurlar. Bulut kütlelerinin, kendisinden daha soğuk hava kütleleri ile temas etmesi, yoğunlaşmaya sebep olur ve bu durum su zerreciklerinin yağış şeklinde yeryüzüne düşmesine yol açar. Bazı yağış türleri, kar veya dolu yağışı şeklinde yeryüzüne düşer ve donmuş su kütleleri halinde binlerce yıl kalabilecek olan kar tepeleri ve buzullar şeklinde birikebilirler.

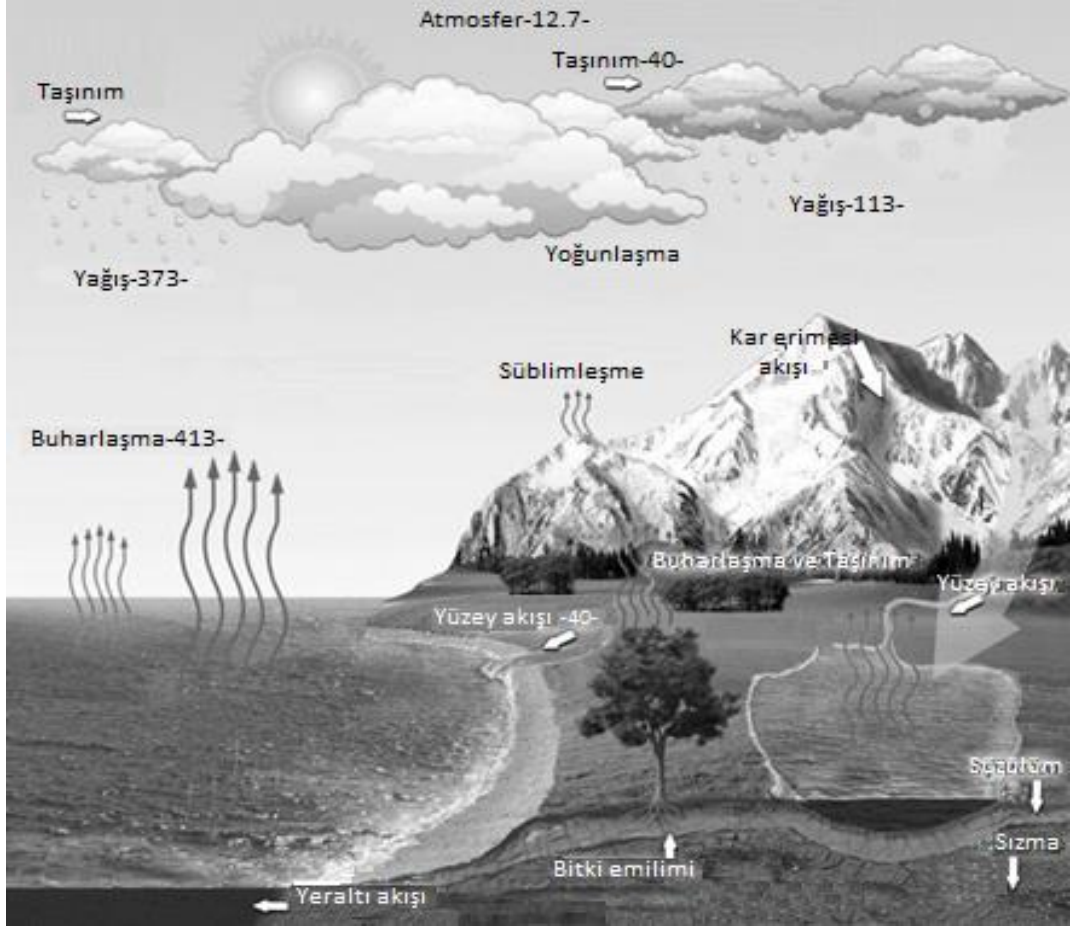
Yağışın büyük bir kısmı dünya yüzeyinin büyük bölümünü kaplayan okyanuslara düşer. Toprağa düşen yağış ise yerçekiminin etkisi ile yüksek rakımlı bölgelerden düşük rakıma doğru yüzey akışı olarak akar. Su döngüsünde yüzey akışları ve yeraltı menşeli kaynaklar tatlı su olarak göllerde ve nehirlerde toplanır. Yağışların bir kısmı ise toprak tarafından emilir. Bütün yüzey akışları nehirlerle ulaşmaz.

Akışın çoğu sızarak yeraltına geçer. Sızan suyun bir kısmı yüzeye yakındır ve yeraltı suyu boşaltımı olarak tekrar yüzeydeki su kütlelerine katılır. Bazı yeraltı suları yer yüzeyinde buldukları açıklıklardan tatlı su kaynakları olarak tekrar ortaya çıkar. Sığ yeraltı suyu, bitki kökleri tarafından alınır ve yaprak yüzeyinden terlemeyle atmosfere geri döner.

En genel tanımlamayla su döngüsünü oluşturan basamaklar aşağıda sıralanmıştır. Bu döngüde suyun hareket etmesini sağlayan beş değişik olay vardır. Bu olaylara etki eden diğer etmenler yardımıyla su bu döngü içerisinde hareket ederek değişik hallerde bulunmaktadır.

- Yoğunlaşma
- Yağış
- Toprağa geçiş ve yeraltı sularının oluşumu
- Yüzeysel akıntı ve yüzey suları ile yeraltı sularının oluşumu
- Buharlaşma (Evaporasyon)

Şekil 1.1'de atmosfer içerisinde gerçekleşen su döngüsü olayı rakamsal değerler kullanılarak tasvir edilmiştir.



Şekil 1.1. Küresel su döngüsü ($10^3 \text{ km}^3 \cdot \text{yil}^{-1}$) [1].

Diğer yandan, insan eliyle sürekli kirletilen doğada, atık suların arıtılmadan su kaynaklarına geri verilmesi, ormanların ve diğer yeşil alanların azaltılması, yeraltı sularının fazla miktarda kullanılması, hava kirliliği nedeniyle asit yağmurlarının oluşması gibi su döngüsünü olumsuz etkileyen başlıca sebepler yer almaktadır.

Bu etmenlerin tesiri ile su döngüsünde yer alan halkalardan biri ya da birkaçı zarar görmektedir. Bu nedenle zaman zaman su sıkıntıları yaşanmaktadır [1].

1.2. AMAÇ

Enerji üretimi ve tüketiminin çevresel ve ekonomik nedenlerden dolayı her geçen gün önemini artırmakta olduğu günümüzde, gündelik hayatta kullanılan cihazların enerji tüketim değerleri ve verimlilikleri dünya ekonomisini ve çevresel unsurları etkilemektedir. Kullanılabilir su üretme sistemlerinin gelecek yıllarda enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olacağı değerlendirilmektedir.

Güneş enerjili sistemlerin yaygınlaşması, kullanılabilir su üretim alanlarına uygulanabilirliği konusunda enerji analizlerinin yapılarak verimliliğin saptanması, ekonomik giderlerin ve çevresel kazançların ne boyutta olduğunun anlaşılması açısından önem arz etmektedir.

Güneş enerjisi destekli sistemlerinin performans değerlerini etkileyen nedenler şu şekilde sıralanabilir;

- Üretim sisteminin kullanım amacına uygun projelendirilmesi,
- Sistemin kullanılacağı bölgenin çevresel özellikleri göz önünde bulundurularak tasarlanması,
- Sistemi oluşturan elemanların uygun özellik ve kapasite değerlerinde seçimi,
- Kontrol edilemeyen çevresel unsurların sistem üzerine etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Periyodik kontrol ve bakımlarının süreçleri,
- Sistem yardımcı elemanlarının çalışma koşulları ve sistemin kullanım amacına uygun seçimi,
- Sistem performansının olumsuz etkileneceği çevre koşullarının söz konusu olduğu periyotlarda sistemin hibrit yapılar ile desteklenmesi.

Bu çalışma amaca yönelik olarak;

- Kullanılabilir su miktarlarının dünyada giderek azalması nedeniyle su tüketim miktarlarının incelenmesini,
- Küresel enerji kaynak kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin önemini
- Oluşturulan deney sisteminin yapısal ve çalışma özelliklerini,
- Güneş enerjisi destekli su üretiminin damıtma yöntemi ile uygunluğunun deneysel ve teorik olarak incelenmesini,
- Çalışmanın genel olarak değerlendirilip yorumlanmasını ve önerileri kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmada, güneş enerjili damıtma sistemini nemlendirme ve nem alma tekniği kullanarak varsayımsal incelenmiştir. Matematiksel modeller baz alınarak farklı çevre koşullarında, tasarımlarda ve parametrelerde sistem performansını incelemek için bir bilgisayar simülasyonu geliştirmişlerdir. Sistem bileşenleri güneş enerjili hava ısıtıcı, nemlendirici, nem alıcı ve hava tedarik eden cihazdan oluşmuştur. Bilgisayarda matematiksel verilerden yararlanılarak sistemin verimliliğinin güneş enerjili hava ısıtıcıdan önemli ölçüde etkilendiğini sistem besleme suyu akış hızının sistem verimini çok etkilemediğini belirlemişlerdir. Ayrıca sistemin verimliliğinin güneş şiddeti ve ortam sıcaklığının artışı ve rüzgâr hızının düşmesiyle arttığını tespit etmişlerdir. Hava akış hızının 0,6 kg/s üzerinde olmasının sisteme fazla etkisi olmadığını belirtmişlerdir [2].

Yapılan çalışmada, nemlendirme ve nem alma damıtma sistemi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deney sistemi 2x1,2 metre ölçülerinde damıtma ünitesi, suyu ısıtmada kullanılan elektrikli ısıtıcı, nem alıcı olarak kondenser, ısı değiştirici, sirkülasyon pompası, su tankı, nemlendirici petek ve sirkülasyon fanından oluşmaktadır. Deney sirkülasyon pompasının depodan suyu sirküle ederek ısı değiştiriciye göndermesi ile başlar. Isınan su daha sonra nemlendirici ünitesi içerisinde bulunan nemlendirici peteğe damlatılır, burada nemlendirici peteğin arasından geçen hava su moleküllerini bünyesine alır. Böylece ısınan hava yukarı yönde hareket eder. Hava cebri olarak sirküle edilen giriş suyu kısmına hareketini sürdürür, burada soğuk yüzeyli kondenser kısmında soğumaya başlar ve böylece yoğunlaşma gerçekleşir. Sistem su için açık bir döngüye hava için kapalı bir döngüye dayanmaktadır. Su akış hızı ve hava akış hızı değiştirilerek sistem performansı incelenmiştir.

Hava cebri olarak sistem içerisinde hareket ettirilmiştir. Sistem fanı çalıştırıldığında hava hızının yoğuşma miktarına önemli katkı sağlamadığı tespit edilmiştir. Su akış hızı artırılınca nemlendirici ünitesine giren su sıcaklığının doğrusal olarak düştüğünü tespit etmişlerdir. Kondenser çıkışındaki su sıcaklığı nemlendirici girişindeki su sıcaklığı ile doğrusal olarak artar ve su akış hızı arttıkça kondenser çıkışındaki su sıcaklığı azalmaktadır. Nemlendirici girişindeki su akış hızı veya su sıcaklığı ne kadar yüksekse kondenser girişi ve çıkışındaki nem oranı ve hava sıcaklığı o kadar yüksek olmaktadır. Yüksek su sıcaklıklarında ve havanın zorla sirküle edilmesi sonucunda damıtma ünitesinin performansında önemli bir gelişme sağlanmadığını ortaya koymuşlardır [3].

Yapılan çalışmada, HDH sistemlerinde nemlendirici ped ve nozul ile nemlendirme sistemi kullanımını deneysel olarak test etmişlerdir. Sistemin ana elemanları olarak; hava ısıtma elemanı (ısı eşanjörü), nemlendirici, kondenser (kanatlı-borulu ısı değiştirici) ve havayı sistemde dolaştıran sirkülasyon fanı kullanılmıştır. Nemlendirici ped 3 bölümlü, ölçüleri 0,45x0,55x0,1 metredir. Pedin içerisinden deniz suyunu geçirirler ve çapraz akışlı havanın da temas etmesi ile havayı nemlendirmiş olur. Nozul nemlendiricinin 3 bar ve 1,5 Litre/dakika debi ile gelen havanın üzerine deniz suyunu püskürtürken havanın nemlenmesi sağlanmıştır. Nozul nemlendiricinin buharlaşma hızının 100 mm kalınlığındaki bir nemlendirici peteğe eşdeğer özellikler gösterdiği ve yüksek hava-su akış hızında 300 mm kalınlığı olan nemlendirici pedin nozul nemlendiriciye göre yüksek buharlaşma hızına ulaştığını tespit etmişlerdir [4].

Yapılan çalışmada, nemlendirme-nem alma yöntemi kullanılan damıtma sistemini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sistem bileşenleri; su ısıtıcı güneş kollektörü, nemlendirici ve nem alıcı üniteler, sirkülasyon pompası ve fanından oluşmaktadır. Su pompası sirküle ettiği suyu su ısıtıcı güneş kollektöründen geçirerek nemlendirici ünitesine fan yardımıyla sirküle edilen havanın üzerine püskürtür, hava su moleküllerini bünyesine alarak yoğuşturucu ünitesine hareket eder, burada su tankından gelen soğuk su yoğuşturucu ünitesi içindeki eşanjörün içinden geçer, böylece sıcak ve doymuş hava soğuk yüzeye çarparak bünyesinde tuttuğu su moleküllerini bırakır ve damıtma meydana gelir. Sistem parametreleri enerji verimliliği bakımından iki grupta incelenmiştir. 09:00-17:00 ve 13:00-17:00 saatleri

arasında hesaplama yapmışlardır. Sonuç olarak sistemin enerji verimi ikinci grupta daha yüksek çıktığını hesaplamışlardır. Öğle saatine kadar sistem içerisinde enerji depolamıştır. Sistem ön ısıtma ile depolanan enerjinin sonucu yüksek verimlilik sağlamış ve günde 22 litre üretim gerçekleşmiştir [5].

Yapılan çalışmada, nemlendirme-nem alma sisteminin verimliliğini arttırmak amacıyla deney düzeneği oluşturmuşlardır. Deney kurulumunu sirkülasyon fanı, nemlendirici ünite, yoğuşturucu ünite, güneş ışığı yansıtıcı cam, sirkülasyon pompası oluşturmuştur. Nemlendirici ünite üzeri camdan olup yatay pozisyonunda yerleştirilmiş ve içerisinde su barındırmaktadır. Su seviyesini kontrol eden su kontrol valfi bulunmaktadır. Hava dış ortamdan sirkülasyon fanı ile nemlendirici ünitesine gönderilmektedir. Nemlendirici ünitesinde sıcaklığı artan hava su buharını bünyesine alarak yoğuşturucu ünitesinde yoğuşturulur. Nemlendirici üzerine konulan yansıtıcının güneş radyasyonunu 20° açılarda nemlendirici üniteye yansıtılarak sistem verimliliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Yansıtıcı ile üç gün süren deneylerde sistem veriminde ortalama %296 oranında artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6].

Yapılan çalışmada, güneş enerjili nemlendirme-nem alma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Üretim kapasitesini günde 1000 litre olacak şekilde 100 m² güneş enerjili hava ısıtıcı yüzey, 12 m² güneş enerjili su ısıtıcı kolektör, nemlendirme-nem alma ünitesi ve diğer alt parçalardan deney sistemi oluşturulmuştur. Güneş enerjili hava ısıtıcı yüzeyin ve nemlendirici ünitenin deneysel test ve performans analizlerini yapmışlardır. Su üretim testleri çeşitli günlerde yapılarak güneş ışınım şiddetinin 550 W/m² olduğu zamanlarda üretimin 1200 litre/gün olduğu sonucuna ulaşmışlardır [7].

Yapılan çalışmada, güneş enerjili nemlendirme-nem alma sisteminde nemlendirici ünitesi içerisinde çeşitli boyutlarda nemlendirici petek kullanarak sistemin verimliliğine etkisini incelemişlerdir. Sistem bileşenleri nemlendirici ünite, yoğuşturucu ünite, su ısıtıcı güneş kolektörü, sirkülasyon pompası ve sirkülasyon fanından oluşturulmuştur. Sirkülasyon pompası su ısıtıcı güneş kolektörüne suyu sirküle eder. Burada ısınan su nemlendirici üniteye nozullar vasıtasıyla püskürtülür. Püskürtülen su nemlendirici peteğinde ıslatır. Nemlendirici peteğin arasından geçen hava bünyesine su buharı alarak yoğuşturucu ünitesine sirküle edilir. Yoğuşturucu

ünitesinde yoğuşan su buharı distile edilmiş olur. Çalışmada 20-50 cm boyutları arasında nemlendirici petek kullanmışlardır. Petek kalınlığı arttıkça sistem performansında da artış oluğu sonucuna varmışlardır. Elde ettikleri verilerde nemlendirici peteğin boyu 40 cm ve yukarısında sistem performansına etkisinin stabilize olduğu sonucuna varmışlardır [8].

Yapılan çalışmada, güneş enerjili damıtma sistemini nemlendirme ve nem alma yöntemi ile çeşitli çalışma koşullarında (su ısıtıcı kollektör, hava ısıtıcı kollektör, su-hava ısıtıcı kollektör) ve tasarımda sistem parametrelerini dördüncü dereceden Runge-Kutte yöntemi kullanarak teorik olarak incelemişlerdir. Sistemin ana bileşenleri güneş enerjili su ısıtıcı, güneş enerjili çift geçişli hava ısıtıcı, nemlendirici ünite, yoğuşturucu ünite, sirkülasyon pompası ve fanından oluşmuştur. Sistem sadece hava ısıtıcı kollektör, sadece su ısıtıcı kollektör ve su-hava ısıtıcı kollektörleri çalıştırılacak şekilde üç grup halinde farklı konfigürasyonları için hesaplamışlardır [9].

Yapılan çalışmada, güneş enerjili sistemlerin ekserji analizi üzerine kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Çalışma kapsamı olarak fotovoltaiik, güneş ısıtma cihazları, damıtma sistemi, güneş enerjili klima ve soğutucu, güneş kurutma işlemleri ve güneş güç jeneratörleri incelenmiştir [10].

Çalışmada, eğik yüzeyli damıtma sisteminde kullanılan fotovoltaiik panel ve su ısıtıcı kollektörlerin ekserji-ekonomik ve çevresel-ekonomik analizlerini yapmışlardır. Deney kurulumu eğik yüzeyli damıtma ünitesi, PV panel, su ısıtıcı kollektör ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Eğik yüzeyli damıtma ünitesi içerisinde su barındırmaktadır. Sirkülasyon pompası damıtma sistemindeki suyu su ısıtıcı güneş kollektörüne sirküle ederek suyu kapalı bir çevrimde döndürmektedir. Güneş kollektöründe ve damıtma ünitesinde su sürekli olarak ısınmaktadır. Isınan su damıtma ünitesinin üst eğik kısmına çarparak yoğunlaşır ve su distile edilmiş olur. Sistemin enerji verimi, ekserji, elektrik ve toplam termal enerji verimleri hesaplanmıştır. Güneş aktif olduğunda distile edilen suyun yanısıra PV panelden üretilen elektrik enerjisi pompa elektrik ihtiyacını karşıladığı gözlenmiştir [11].

Yapılan çalışmada, değişken iklim koşulları verilerini kullanarak düzlemsel yüzeyli güneş kollektörlü termal enerji depolama tankının performansını incelemişlerdir. Sistemin ısı transfer sıvısının kütle akış hızını, depolama tankının çapını ve yüksekliğini, enerji ve ekserji verimliliğini matematiksel olarak hesaplamışlardır. Dört aylık iklim koşulları verilerine göre sistemin depolama sıcaklığı 40-60 °C aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık aralığındaki ısının binalarda sıcak su temini, yerden yere ısıtma sistemi ve ısı pompası sistemi olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir [12].

Yapılan çalışmada, güneş enerjili fotovoltaiik/termal (PV/T) hava kollektörünün kurutma performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Güneş enerjisi kullanım verimliliğini arttırmak için PV/T hava kollektörü kurutma sistemini tasarlamışlar ve inşa etmişlerdir. PV/T hava kollektörü, sirkülasyon fanı, kontrol ünitesi ve kurutma odası cebri konveksiyonlu güneş kurutma sisteminin ana elemanlarıdır. Fotovoltaiik güneş hücreleri hava ısıtıcı kollektörün üzerine monte edilmiştir. Güneş enerjisi sistemde ısı ve elektrik enerjisi olarak kullanılmıştır. Kurutma sırasında güneş pilinden sağlanan enerji kurutma odasının girişine konulan fanları çalıştırmış ve kurutma hızını büyük ölçüde artırdığı belirlenmiştir [13].

Çalışmada, atık ısı geri kazanımlı nemlendirme nem alma damıtma sisteminin termo-ekonomik analizini yapmışlardır. Nemlendirme nem alma yönteminin deniz suyu veya kirlili sudan tatlı su üretmek için verimli olduğunu belirtmişlerdir. Kütle ve enerji korunumu ilkelerine dayalı olarak damıtma sistemi bileşenleri için matematiksel model oluşturmuşlar ve termo-ekonomik analiz yapmışlardır. Simülasyon sonuçlarında nem alma ünitesinin denge durumunda maksimum su üretim miktarı 99,05 kg/h ve geri kazanım oranı (GOR) 1,5 olarak hesaplanmıştır. Su üretimi birim maliyeti ise 0,14 kg/s durumunda 37,68 \$/kg olarak bulunmuştur. Sonuç olarak damıtma sistemi güneş enerjisi tahrik tipine göre birim su üretimi için maliyet açısından büyük avantaj sağladığını doğrulamışlardır. Ayrıca, deniz suyu püskürtme sıcaklığının düşürülmesi ve nemlendirme etkinliğinin yükseltilmesi damıtma sisteminin termodinamik ve ekonomik performansını artırdığını belirtmişlerdir. Nem alma ünitesi için ısı transfer alanı etkinliği artırıldığında GOR değerinde artış olduğunu hesaplamışlardır [14].

Çalışmada, güneş enerjili nemlendirme nem alma sisteminin kritik incelemesini yapmışlardır. Bu alanda önemli araştırmaları, deneysel çalışmaları, ekserji ve ekonomik çalışmaları analiz etmişlerdir. İçme suyu kaynaklarının tükenmesi sürdürülebilir kalkınma için önemli bir tehdit haline geldiğini, bu durumun suyu tuzdan arındırma çözümlerinin önemini ortaya koyduğunu ve fosil kaynaklarının tuzu sudan ayırmada kullanılmasının çok yüksek maliyetli, enerji tüketiminin yüksek ve karbon salınımı olduğunu belirtmişlerdir. Tuzu sudan ayırmak için yeşil enerji kaynakları kullanılmasının zorunluluk olduğunu ifade etmişlerdir. Tuzdan arıtma teknikleri arasında nemlendirme nem alma yönteminin kullanılması, orta düzeyde tatlı su talebi olan uzak bölgeler için minimum işletme ve bakım giderlerinin olması nedeni ile en verimli yöntemlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir [15].

Yapılan çalışmada, ısı pompası tahrikli açık hava çevrimli nemlendirme nem alma damıtma sisteminin termodinamik, ekonomik analiz ve optimizasyonunu incelemişlerdir. Isı pompasını damıtma sistemine entegre etmedeki amaç enerji dönüşüm verimliliğinin sağlanmasıdır. Tüm termal prosesler için enerji ve entropi denklemleri oluşturulduktan sonra damıtma performansı ile kompresör ve evaporatörün farklı sıcaklıklardaki kritik parametreler arasında korelasyonları oluşturmuşlardır. Simülasyon sonuçlarında damıtma sisteminin en yüksek su üretimi ve elde edilen kazanç çıkış oranının sırası ile 88,34 kg/h ve 3,72'ye ulaştığını hesaplamışlardır. Ayrıca, kondansatörün sıkıştırma basıncının yükseltilmesi ve kondansatörün sıkıştırma sıcaklığı farkı ile evaporatörün terminal sıcaklık farkının azaltılmasının damıtma sistemi performansını artıracığını tespit etmişlerdir. Sistem optimize edildiğinde üretilen suyun karşılık gelen maliyetini 0,015 \$/L olarak hesaplamışlardır [16].

Yapılan çalışmada, hibrit bir sistem olan ejektörlü soğutma sistemi ve nemlendirme nem alma damıtma sisteminin termodinamik performanslarını değerlendirmişlerdir. Hibrit bir sistemi oluşturan iki veya daha fazla enerji sisteminin entegrasyonu, tek enerji kaynağı üzerinde çalıştırıldığında enerji kullanımını bakımından en iyi stratejilerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Soğutma ünitesi ejektörlü soğutma çevrimi ile nemlendirme nem alma damıtma sisteminin birleştirilmesi ile hibrit bir sistem

yapmışlardır. Ejektörlü soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak R134a'yı analiz etmişlerdir. Hibrit sistemin doğrulanmış bir modelini Mühendislik Denklem Çözücü (ESS) yazılımı kullanarak geliştirmişler ve değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak hibrit sistemin nemlendirme nem alma sistemini besleyen jeneratör sıcaklığındaki artışın soğutucu ünitenin karışım oranını ve performans katsayısını (COP) iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. COP ve karışım oranının evaporatördeki sıcaklık artışı ile doğru orantılı, kondanser sıcaklığındaki artış ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Nemlendirme nem alma sisteminin kazanç çıkış oranı (GOR) %20 oranında iyileşmiş olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun sebebini ise hibrit konfigirasyonun bir sonucu olarak nemlendirme nem alma sisteminin minimum sıcaklığının 15 °C artmasıdır. Bu sıcaklık artışı sonucunda toplam enerji kullanım faktöründe %17'lik artış olduğu belirlenmiştir [17].

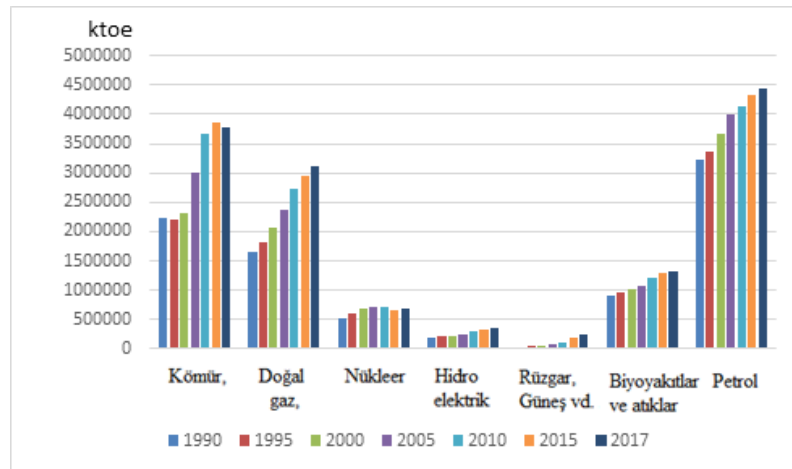
BÖLÜM 3

DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI VE GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ

3.1. DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMI

İş yapabilme kapasitesi enerji olarak tanımlanır. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kimyasal enerji şeklinde enerji içerirler. Yanma sonucu depolanan enerjilerini ısı enerjisi olarak serbest bırakırlar. Bugün küresel enerji ihtiyacının %80'i fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynakları ile karşılanır. Fosil yakıtların aşırı kullanımını mevcut kaynakların tüketilmesi ve sera gazının çevreye bırakılmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtlarının yol açtığı çevresel tehlikeleri hafifletmek ve küresel ısınmayı azaltmak amacı ile sürdürülebilir, düşük maliyetli yenilenebilir enerji kaynaklarının finanse edilmesine dünya çapında ilgi gösterilmektedir [18].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayımlanan kaynakların toplam birincil enerji arzı Şekil 3.1'de verilmiştir. 1990-2017 yılları arasında enerji arz verilerine bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının son yıllarda giderek arttığı görülmektedir.

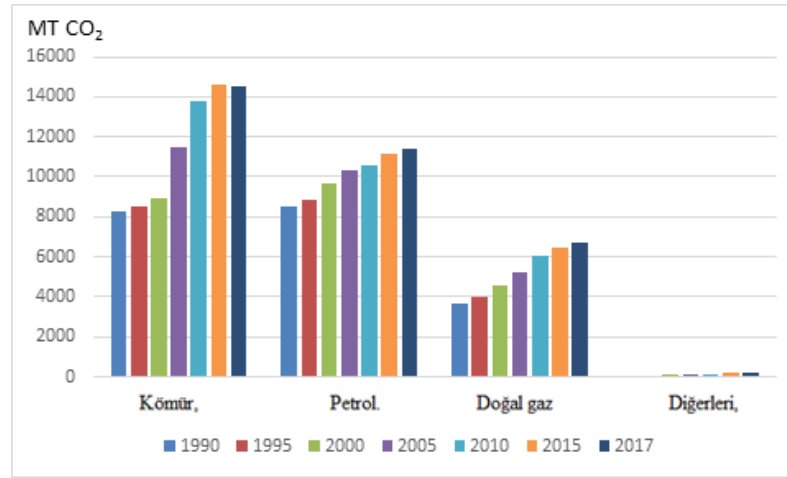


Şekil 3.1. Kaynakların toplam birincil enerji arzı (1990-2017) [19].

Sürdürülebilir bir gelecek sağlamak ve iklim değişikliğinin, özellikle küresel ısınmanın giderek ciddi etkilerini ele almak için, gelişmekte olan ülkeler acilen geleneksel enerjiden yenilenebilir enerjiye geçmeye çalışmaktadır [20].

Dünya genelinde hava kirliliği artışı, iklim değişikimi ve enerji ihtiyaçlarının artması ciddi sorunları ortaya çıkarmakta, bu sorunlarla başa çıkmak için sıfır emisyonlu enerji kaynaklarına yönelmek büyük önem arz etmektedir. Örnek vermek gerekirse Dünya Sağlık Örgütü' nün 2014 yılında yayımlanmış olduğu raporda 2012 yılında hava kirliliğine maruz kalıpta yaşamını yitiren insan sayısı 7 milyona ulaşmış ve dünyadaki toplam insan ölümü oranının yüzde 8'ini oluşturmuştur [21].

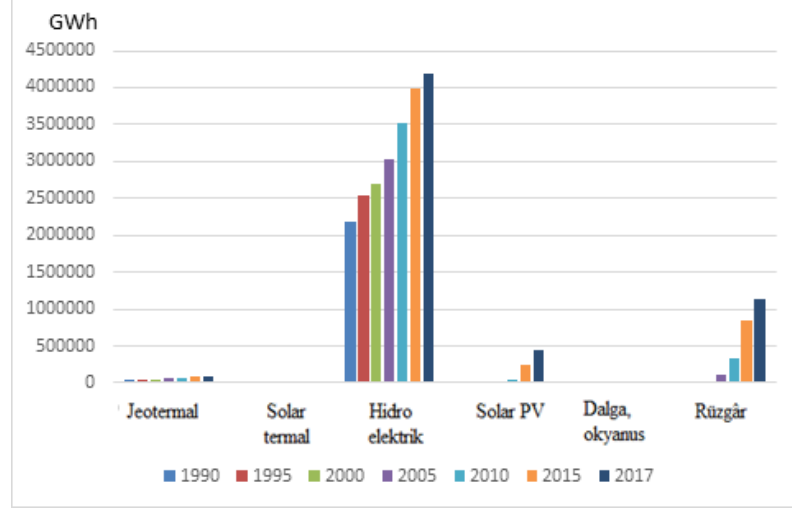
Uluslararası Enerji Ajansı raporlarından alınan enerji kaynaklarının CO₂ emisyon miktarları Şekil 3.2'de verilmiştir. Verilere bakıldığında emisyon miktarları sürekli artış göstermiştir.



Şekil 2.2. Enerji kaynaklarının CO₂ emisyon miktarları (1990-2017) [22].

Yenilenebilir enerji kaynakların daha etkin kullanılması için yapılan çalışmalarda yol haritaları belirlenmiş rüzgâr, hidrolik ve güneş enerjisini tam kapasite ile enerjiye dönüştürmenin teknik ve ekonomik olarak mümkün olabileceği fakat ana engellerin sosyal ve politik olduğu ortaya koyulmuştur [23].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayımlanan bir diğer raporda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarları Şekil 3.3'te verilmiştir. Son on yılda rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretiminde ciddi artışlar görülmektedir.

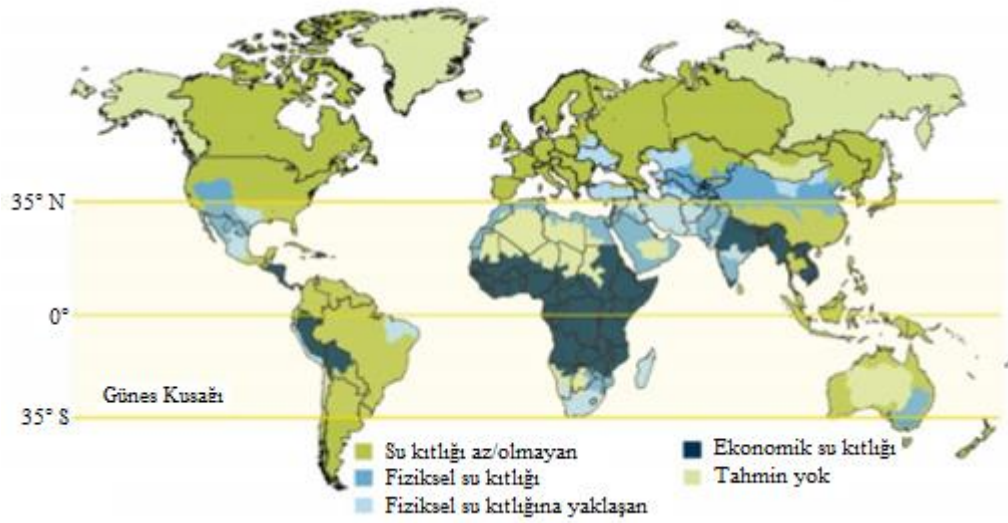


Şekil 3.3. Kaynaklarına göre yenilenebilir enerji üretimi (1990-2017) [24].

3.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİ

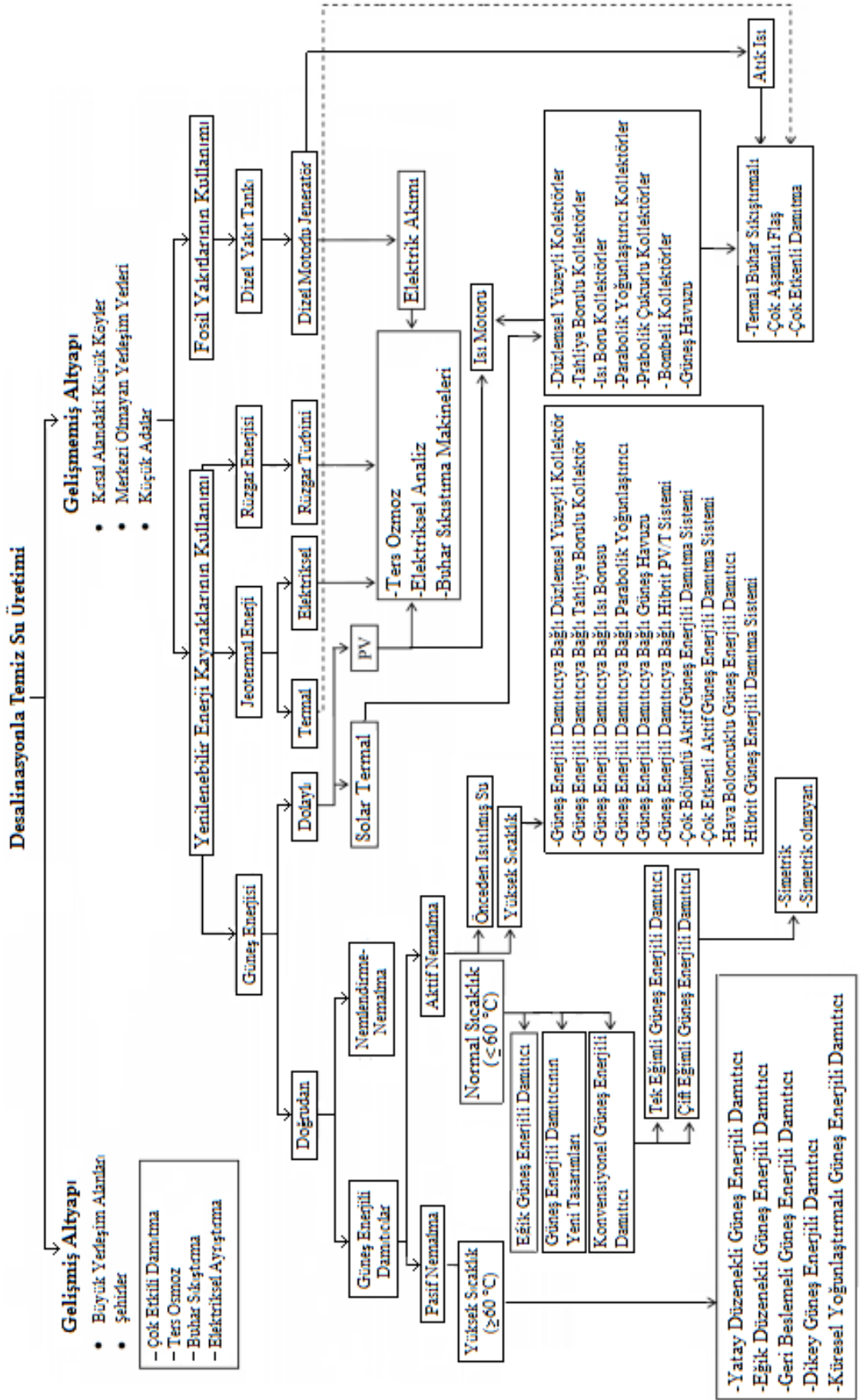
Güneş enerjisi, serbest halde bol bulunan ve kirlenici etkisi olmadığından tüm yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en rekabetçi seçeneklerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Deniz suyunun veya diğer tuzlu yeraltı sularının tuzdan arındırılması pratik ve kanıtlanmış bir yöntemdir. İhtiyaç duyulduğu yerde tatlı su üretimi gerçekleştirilebilir. Güneş enerjisi en önemli kaynaklardan biridir, su kıtlığından 5 milyar insanın maruz kaldığı bölgede güneş kuşağı bulunur. Güneş enerjisi kullanarak suyu tuzdan arındırma yöntemi içilebilir kaliteli suyun olmadığı bölgelerde kullanılan ve bilinen bir yöntemdir. Şekil 3.4'te küresel fiziki ve ekonomik su kıtlığı bölgeleri ile güneş kuşağı bölgeleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Küresel fiziki ve ekonomik su kıtlığı bölgeleri ve güneş kuşağı bölgeleri [26-27].

Damıtma sistemleri güneş enerjisinin doğrudan ve dolaylı olarak sağlandığı iki grup içinde sınıflandırılabilirler. Bunlardan birincisi; Güneş enerjisinin dolaylı olarak sisteme uygulanması; damıtma sistemlerinin birçoğu güneş enerjisinin dolaylı olarak desteklediği sistemlerdir. Termal, mekanik ve elektrik ile çalışan damıtma sistemleri olarak sınıflandırılabilirler. Fotovoltaik (PV) yöntemle oluşturulan elektrik üretimi güneş enerjisinin dolaylı yoldan damıtma sisteminde kullanımınıdır. Küresel solar fotovoltaik pazarı son on yılda hızla %50 büyümüştür. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2050'ye kadar PV sistemlerden gelen elektriğin küresel payının %16'ya ulaşmasını öngörmektedir [25]. Diğeri ise; Güneş enerjisinin doğrudan sisteme uygulanması; mekanik veya elektrik kullanımına ihtiyaç duyulmadan güneş termal enerjisinin doğrudan damıtma sistemine uygulanmasıdır. Bu tür sistemler düşük maliyetli olmanın yanında küçük boyutlu sistemlerdir. Çalışma sıcaklıkları ve buhar basınçları düşük olduğu için dolaylı sistemlere nazaran az miktarda temiz su üretirler. Nemlendirme-nem alma sistemi ve güneş havuzu denilen solar still sistemi güneş enerjisinin doğrudan kullanıldığı iki ana damıtma sistemidir [28].



Şekil 3.5. Güneş enerjisi damıtma sistemi uygulama şeması [29].

Nemlendirme-nem alma yönteminde havanın sıcaklık ve nem değerlerindeki değişim temel özellik olarak verilmiştir. Nemlendirme-nem alma yöntemi uygulamalarında atmosfer havası bir sistem içerisine alınıp ısıtılarak kuru hava özellikleri göstermesi sağlanmakta ve bünyesine nem alma potansiyeli arttırılmaktadır (yaklaşık olarak 60 °C sıcaklıktaki hava 100 gr, 80 °C sıcaklıktaki hava ise 500 gr değerine kadar su buharı taşıyabilmektedir) [29].

Kuru hale getirilen hava bir nemlendirme ünitesine alınarak bünyesine alabildiğince su buharı alması sağlanır ve bir sonraki kısım olan nem alma ünitesine gönderilir. Nem alma ünitesinde hava soğutulur ve bünyesindeki su buharı yoğuşur. Böylelikle, küresel bağlamda dünya atmosferinde gerçekleşen su çevrimi küçük ölçekli olarak bu sistem ile sağlanarak minerallerinden ayrıştırılmış temiz su elde edilmiş olur [30].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METHOD

Çalışmalarda kullanılmak amacıyla hazırlanan deney sistemi iki adet çevrimden meydana gelmektedir. Birinci çevrim su çevriminden oluşur. Atık su veya deniz suyu, su tankına alınır. Sirkülasyon pompası kullanılarak su tankındaki su düzlemsel yüzeyli güneş kollektörüne gönderilir. Kollektörde ısınarak nemlendirme ünitesinin içerisine spreyleyler ile püskürtülür. Püskürtülen su selülozik Peteği ıslatır. Ünitenin dibinde biriken su sirkülasyon pompası ile çekilerek kollektöre tekrar basar. İkinci çevrim ise hava çevrimidir. Atmosferden bir fan yardımıyla çekilen hava ısıtılmak üzere düzlemsel yüzeyli güneş kolektörüne yollanır. Isınan hava bir boru bağlantısı ile nemlendirici üniteye gönderilir. Burada hava, daha önce sıcak suyun nemlendirmiş olduğu gözenekli bir yapıya sahip olan selülozik Peteğin içinden geçerek nem kazanır. Ardından nemlendirme ünitesinde bulunan diğer bir yapı olan damla tutuculardan geçerek sıvı zerreciklerini burada bırakır. Nemli hava buradan sonra nem alma ünitesine gider. Nem alma ünitesi içerisinde bulunan ısı değiştiricisi sayesinde hava nemini bırakarak damıtma işlemi gerçekleşmiş olur.

Bu bölümde sunulan modelleme temel termodinamik yasalarını kapsar. Kütle ve enerji dengeleri üzerinde uygulanan modelin termodinamiğin birinci yasası ile ilgisi pek çok termodinamik kitabında mevcuttur. Ancak, bazı parametreler çevrimin matematiksel analizi ve performans hesabı için bilinmelidir. Bu parametreler; nem alma ünitesine giren suyun sıcaklığı (minimum), güneş kollektöründen çıkan havanın sıcaklığı (maksimum) son olarak nemlendirme ve nem alma ünitelerinin etkenlik katsayılarıdır.

2015'in Temmuz ayında Karabük ilinde (32° 37' D, 41° 12'K) yapılmış olan deneysel çalışma 9:00-18:00 saatleri arasında 6 gün boyunca sürmüştür. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır.

Kayıt altına alınan veriler güneş ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı, nem miktarı, su ve havanın sıcaklık değerleri deney düzeneği üzerinde farklı noktalarda ölçülmüştür. Üretilen temiz su miktarı saat başı kayıt altına alınmıştır. Karabük ili için aylık ortalama meteoroloji verileri yerel meteoroloji müdürlüğünden alınmış olup. Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karabük ili için meteoroloji verileri.

Ay	Güneş Işınımı (W/m²)	Güneşlenme Süresi (Gün)	Açık Gün Sayısı	Çevre Sıcaklığı (°C)
1	207,71	3,37	2,4	3,73
2	523,04	4,34	3,2	4,5
3	603,20	5,62	3,7	7,43
4	653,27	6,72	4,4	12,57
5	722,01	7,95	6,9	17,25
6	624,74	9,7	9,7	20,54
7	572,78	10,51	12,8	24,3
8	547,59	9,77	13,2	23,96
9	546,73	7,81	11,2	19,23
10	507,16	5,58	7,3	14,37
11	410,07	4,17	5,3	7,88
12	415,54	2,96	2,8	4,26

4.1. MATERYAL

Yapılan deneysel çalışmalar Karabük Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Literatür çalışması ve çeşitli araştırmalar neticesinde deney düzeneği tasarlanmıştır. Güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem alma yöntemi kullanılan damıtma sistemi; PV panel, güneş kolektörleri, nemlendirici ünitesi, yoğuşturma ünitesi, salyangoz fan, sirkülasyon pompası, invertör, şarj kontrol ünitesi, jel akü ve çeşitli ölçüm aletlerinden oluşmaktadır. Deney sistemi Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Deney sisteminin genel görünümü.

Nemlendirme ve nem alma üniteleri 1 mm kalınlığında çelik sacdan yapılmıştır ve etrafını çevreleyen yalıtım malzemesi olarak XPS (extruded polystyrene) kullanılmıştır. Su sirkülasyonu için PPRC boruları kullanılmış ve boru yalıtımı termoflex malzemesi ile yapılmıştır. Nemlendirme ünitesinin içerisinde iki adet spray, bir adet damla tutucu ve 10 cm kalınlığında bir adet selülozik petek vardır. Nem alma ünitesi ise bir kabın içerisine konulmuş olan ısı değiştirici ile yapılmıştır. Sistemi oluşturan ekipmanlar ve özellikleri ise, Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan malzemeler.

Ekipman	Tasarım kapasitesi
Güneş enerjili hava ısıtıcı SAH yüzey alanı	1.7 m ²
Güneş enerjili su ısıtıcı (SWH) yüzey alanı	1.7 m ²
HDH ünitesi	550x700x1100 mm
Spray nozzle	0.4 mm
Sıcak deniz suyu tankı	50 L
Damıtma su tankı	5 L
PV panel	130 W (0.94 m ²)
Sirkülasyon Pompası	38 W
Salyangoz Fan	54 W

Hazırlanan deney kurulumu çalışma prensiplerine göre düzlemsel SAH ve SWH, PV panel, nemlendirme-nem alma üniteleri gibi farklı yapılardadır ve ölçüm hatalarının minimize olarak yapılabilmesi için farklı ölçüm metotları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

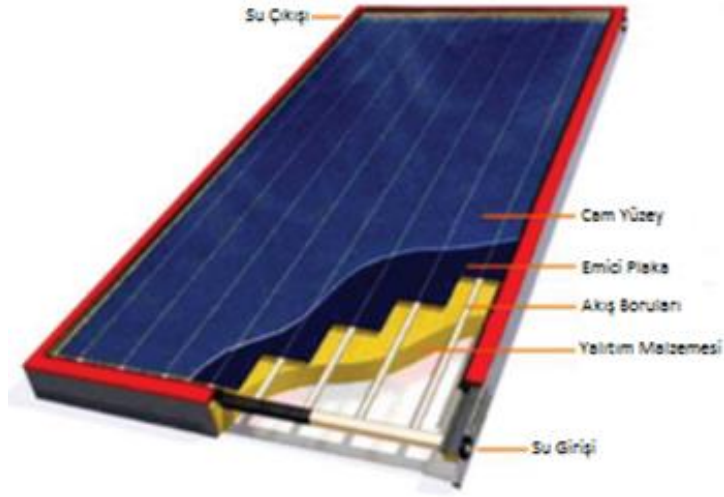
Çizelge 4.2. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.

Ölçüm Cihazları	Aralık	Hassasiyet
Piranometre (3120)	0-2000W/m ²	±3%
Isıl çift (K tipi)	0-200 °C	±0,1 °C
Sıcaklık ve Nem sensörü (Testo 435)	-20 -+70 °C	±0,3 °C
	0-100 % RH	±2 %RH
Hava akış ölçüm cihazı (Testo 435)	0,0-20 m/s	±4%
Veri alma sistemi (Adam 4019+)	0-20mA, 4-20mA	0,2%mA

Sabah saatlerinde SWH suyu yeteri kadar ısıtmamış ve nemlendirme için tekrar aynı su kullanılmıştır. Sistem içerisindeki suyun sıcaklığının artmasıyla nemlendirme işlemi gerçekleşmiş ve temiz su elde edilmiştir. Eksilen suyun yerine dışarıdan yine tuzlu su takviyesi yapılmıştır.

4.1.1. Düzlemsel Yüzeysel Hava ve Su Isıtıcı Güneş Kollektörleri

Hava ve su ısıtıcı güneş kollektörlerinin genel amacı çevreden veya bir deney düzeneğinden gelen havayı veya suyu yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşten gelen ışınım şiddetine bağlı olarak ısıtmaktır. Deneyde 1,7 m² yüzey alanına sahip kollektörler kullanılmıştır. Kollektör yapısal olarak alüminyum kasa, ısının dışarı iletilmemesi için kollektörün yanlarını ve altını kaplayan yalıtım malzemesi, güneşten gelen ısıyı içeride tutmak için yutucu plaka, güneş ışığının girmesi için cam veya plastikten yapılmış yüzey ve akış borularından meydana gelir. Şekil 4.2'de kollektör kısımları gösterilmiştir. Hava ve su ısıtıcı güneş kollektörlerinin özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Deney sisteminde kullanılan hava ve su ısıtıcı kollektörlerinden hava giriş-çıkış ve su giriş-çıkış değerleri ölçülerek Çizelge 4.5'te değerler verilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş kolektörün yapısı.

Çizelge 4.3. Hava ve su ısıtıcı güneş kolektörlerinin özellikleri.

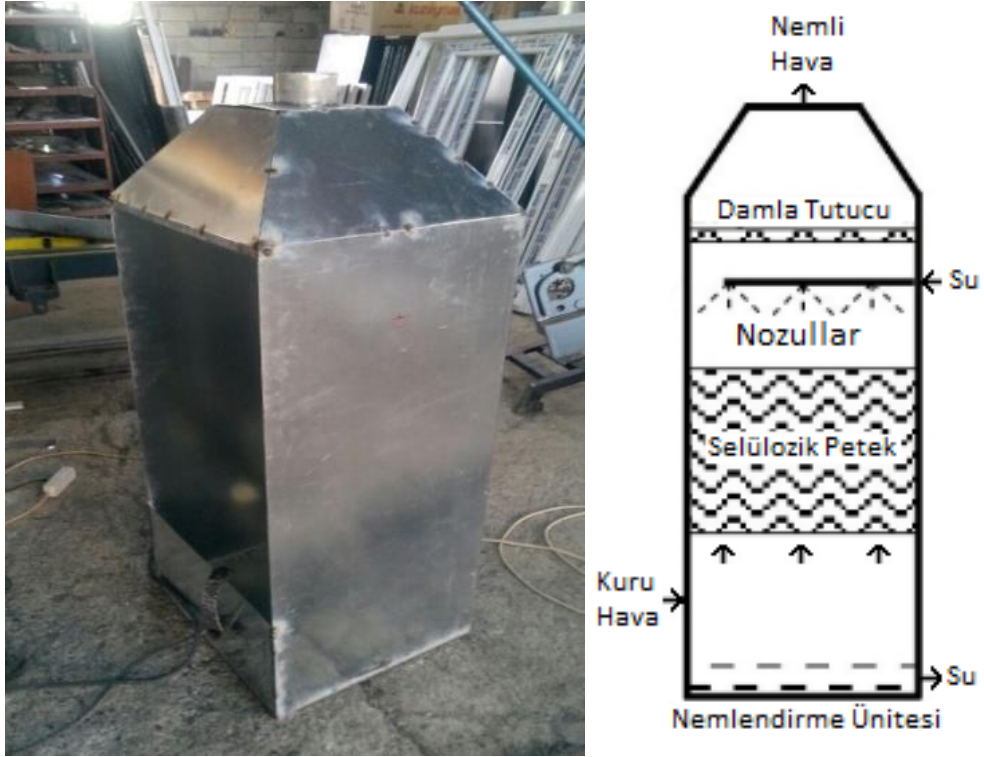
Kullanım Yeri	Boru Sayısı	İzolasyon	Cam Tipi	Net Alan	Boyut
Hava Isıtıcı	12	Cam Yünü	Düz Cam	1,7 m ²	193x93x10
Su Isıtıcı	9	Cam Yünü	Düz Cam	1,7 m ²	193x93x10

Çizelge 4.4. Hava ve su ısıtıcı kolektörlerin giriş-çıkış sıcaklıkları.

Saat	Hava Isıtıcı Kolektör Sıcaklıkları °C		Su Isıtıcı Kolektör Sıcaklıkları °C	
	Hava Giriş Sıcaklığı	Hava Çıkış Sıcaklığı	Su Giriş Sıcaklığı	Su Çıkış Sıcaklığı
10:00	35,2	65,1	31,4	37,2
11:00	36,2	87,1	35,4	42,5
12:00	37,6	106,7	39	48,5
13:00	37	110,2	43,2	53,6
14:00	37,1	108	46,4	56,4
15:00	34,8	105,2	47,2	56,5
16:00	31,1	101,5	49,2	57,8
17:00	28,4	86	47,9	53,8
18:00	28,2	62,4	44,5	45,4

4.1.2. Nemlendirici Ünitesi

Nemlendirici ünitesi 1 mm kalınlığında 550x700x1100 mm ölçülerinde galvaniz sac levhadan yapılmıştır. Isı kaybının minimum olması amacıyla sac levhanın dış yüzeylerine 8 cm kalınlığında XPS yalıtım malzemesi monte edilip alüminyum folyo ile kaplanmıştır (Şekil 4.3). Nemlendirici ünitesi hava kollektöründen gelen sıcak havanın üzerine su ısıtıcı kollektörden gelen sıcak suyun spreylere püskürtülerek havanın bünyesine nem kazandırma işleminin gerçekleştirildiği yerdir. İçerisinde damla tutucu, selülozik petek ve spreylere vardır Burada nemlenen hava yoğunlaştırıcı ünitesine gider.



Şekil 4.3. Nemlendirici ünitesinin bir görünümü.

4.1.3. Selülozik Petek ve Damla Tutucu

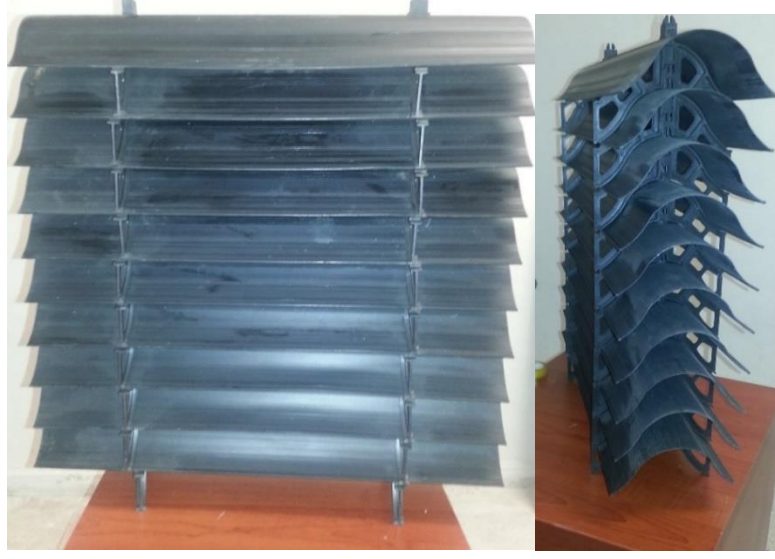
Genellikle farklı açılarla katlanmış selülozik tabakaların, farklı ebatlarda bir araya getirilmesiyle üretilmektedirler. Kıvrımlı olan selülozik tabakalar suyu tutma kapasitesi ve yüksek buharlaşma verimliliği sebebiyle ısıtma-soğutma sektöründe kullanılmaktadır. Deney sisteminde nemlendirici ünitesi içerisinde yer alır. Boyutu

55x70x10 cm olan bir adet selülozik petek kullanılmıştır. Hava ısıtıcı kollektörden gelen sıcaklığı arttırılmış kuru hava spreylere gelen su ile ıslanan selülozik tabakalar aralarından geçer. Bu geçiş sırasında hava suya ısı vererek suyun buharlaşmasına ve ısınmasına neden olur. Hava hem soğumaktadır hem de bünyesine nem almaktadır. Bu sayede istenilen sıcaklık ve nem değerleri sağlanmaktadır. Şekil 4.4'te deneyde kullanılan selülozik petek ve uygulama örneği görülmektedir.



Şekil 4.4. Deney sisteminde kullanılan selülozik petek.

Nemlendirici ünitesi içerisinde bulunan damla tutucu nozulların üzerinde nemlendirme ünitesinin çıkışına yakın bir noktada yer alır. Görevi nozullardan püskürtülen su taneciklerinin hava ile taşınmasını engellemektir. Nemlendirici ünitesi içerisinde kasetler haline getirilerek ve nemlendirme ünitesi kesitini tamamen kaplayacak şekilde monte edilir. Damla tutma kabiliyetinin yüksek, basınç düşüşünün az olması için minimum 100 mm yükseklikte profiller belirli aralıklarda dizilerek imal edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Damla tutucu.

4.1.5. Sprey Sistemi, Su Tankı, Sirkülasyon Pompası ve Salyangoz Fan

Sprey sistemi, şebekeden alınan suyun bir filtreden geçirildikten sonra basınç pompası ile basıncı artırılıp dayanıklı özel borular vasıtasıyla çok küçük çaplı nozullardan püskürtülmesiyle çalışır. Su zerrecikleri 4-20 μ çapında ortama gönderilir. Bu çaptaki su zerrecikleri kolaylıkla buharlaşabilir ve buharlaşırken ortamdan 8-10 °C arasında ısı çekerler. Bu sayede hava sıcaklığı düşürülmüş ve nemlenmiş olur. Deney düzeneğinde 0,4 mm çaplarında 2 adet nozul kullanılmıştır. Nozullar selülozik petek ile damla tutucu arasına yerleştirilmiştir. Bu sayede selülozik peteğin ıslatılması da sağlanmıştır. Şekil 4.6'da deney sisteminde kullanılan nozullar gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Deney sisteminde kullanılan nozullar.

Su tankı sistemin su deposu olası amacıyla tasarlanmıştır. Sistemin su girdisi buradan sağlanmaktadır. Şekil 4.7’de verilen su tankı, yüksekliği 70 cm, çapı 30 cm olan silindirik bir yapıdadır. Dış yüzeyi 5 cm kalınlığında taş yünü ile kaplıdır. Dışarıdan su girişi bir flatörle kontrol edilmektedir. Çıkışında bir küresel vana bulunur ve plastik PPRC borular ile sirkülasyon pompasına bağlanır. Sistem kendi içerisinde su devir daimini yapacak kadar küresel vana açık tutulur sonra kapatılır.



Şekil 4.7. Su tankı.

Sirkülasyon pompaları kapalı sistemlerde su devir daim yapmak için kullanılan pompalardır. Deney sisteminde 38 Watt, Bosch marka, 3PK/43-10B-B-V tipi, PN10 rekorlu, maksimum 6 bar işletme basıncına sahip, kademeli olarak el ile ayarlanabilen ve gürültü seviyesi düşük sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Deney sistemindeki görevi su deposundan çektiği suyu su ısıtıcı güneş kollektörüne pompalamak, suyu basınçlı olarak spreylere ulaştırmak ve nemlendirici ünitesinin altında biriken suyu su ısıtıcı güneş kollektörüne pompalamaktır. Böylece sistemde su sirkülasyonu sağlanmış olur. Çizelge 4.6’da sistemde kullanılan sirkülasyon pompasının özellikleri verilmiştir.

Fan bulunduğu ortamda basınç farkı meydana getirerek hava akışını sağlayan cihazdır. Fanın özel tasarımı pervanesi (kanat, çark) havaya uyguladığı çekme-itme kuvveti ile iş yapar. Havaya statik ve kinetik enerji kazandırır. Kullanım alanlarına göre havalandırma fanları 3 türdür; emme basma ve egzoz fanı.

Çizelge 4.5. Sirkülasyon pompası özellikleri.

Pompanın Özellikleri	Birim	Değerler
Tipi 3PK/43-10B-B-V	-	-
Akım	Amper	max 0,30 A
Güç	Watt	max 38 W
Voltaj	Volt	230 V
Frekans	Hertz	50 Hz
Basınç	Bar	max 6 bar

Salyangoz fan kullanım yerlerine göre alçak, orta ve yüksek basınçlı olarak yapılır. Fan montajı kolay olup ocaklar, boya fırınları, tekstil sektörü gibi işlerde kullanılır. Deneyde çevre havasını hava ısıtıcı kollektöre ve sistem içerisine basmak için Çizelge 4.7’de özellikleri verilen Fanexfan KTS 90-60 metal gövdeli sık kanatlı radyal fan kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Fanexfan KTS 90-60 metal gövdeli sık kanatlı radyal fanın özellikleri.

Radyal Fanın Özellikleri	Birim	Değerler
Tipi KTS-90-60	-	-
Akım	Amper	0,24 A
Güç	Watt	54 W
Voltaj	Volt	230 V
Frekans	Hertz	50 Hz
Debi	m ³ /h	150 m ³ /h
Devir Sayısı	rpm	2450 rpm
Ses Şiddeti	Desibel	58 dB

4.1.6. Nem Alma Ünitesi (Yoğuşturma Ünitesi)

Yoğuşturma; hava içerisinde bulunan su buharının sıvı hale dönüştürme işlemidir. Nemlendirme ünitesinden gelen sıcak ve nemli hava yoğuşturma ünitesi içinde bulunan plakalı ısı değiştiricinin soğuk yüzeylerine temas ederek yoğuşur. Burada ki önemli nokta plakalı ısı değiştiricinin içerisinde geçen suyun sıcaklığı havanın sıcaklığından düşük olmasıdır. Isı farkından dolayı havadan suya ısı transferi olacaktır. Isı transferi havanın sıcaklığını düşürecektir. Sıcaklığı düşen hava nemini kolaylıkla bırakır ve plakalar üzerinde su zerrecikleri oluşmaya başlar. Su zerrecikleri birleşerek su damlasını oluşturur. Bu sayede saf su üretimi gerçekleşmiş olur.

4.1.7. Güneş Pili ve Jel Akü

Güneş paneli, üzerinde güneş enerjisini soğurarak elektrik akımı oluşturan birçok güneş hücresinden oluşmuş bir enerji kaynağıdır. 6-30 (100Watt) güneş panelli bir sistem, bir evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilmekte olup, endüstri uygulamaları veya elektrik santralleri için binlerce güneş panelinin kullanıldığı büyük sistemlerin kurulumları her geçen gün artmaktadır.

Güneş pilleri sadece belli dalga boylarındaki güneş ışığını elektriğe dönüştürülebilir, geri kalan büyük miktar hücreyi oluşturan madde tarafından ya emilmekte ya da yansıtılmaktadır. Paneller, dünyanın hareketine bağlı olarak her mevsim güneş ışığını dik alacak pozisyonda yönlendirilerek azami verim alınması sağlanmaktadır. Deneyde maksimum 130 W güç üreten güneş paneli kullanılmıştır. Çizelge 4.8’de güneş pilinin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Güneş pili özellikleri.

Güneş Pili Özellikleri	Birim	Değerler
MODEL IS 130M	-	-
Max. Güç	Watt	130 W
Max. Voltaj Gücü	Volt	17,32 V
Max. Geçen Akım	Amper	7,51 A
Açık Devre Gerilimi	Volt	22,05 V
Kısa Devre Akım	Amper	8,63 A
Uzunluğu	mm	1482 mm
Geniřliđi	mm	676 mm
Kalınlığı	mm	35 mm
Ağırlığı	kg	11,5 kg

Jel aküler, içerisindeki jelimsi yapıda bulunan kimyasal sayesinde bakıma ihtiyaç duymaz. Akü içerisine saf su vb. ilave maddeler katılmamaktadır. Herhangi bir yerinin zorlanarak açılması akü içerisinde bulunan gazların uzaklaşmasına sebep olur ve akü ömrünü kısaltır. İçerisinde bulunan gazlar tekrar reaksiyona girerek akü gaz çıkışlarını minimal düzeye indirmektedir. Düşük miktarda gaz salınımı çalıştıkları ortamda daha az havalandırma ihtiyacı sunar. Ayrıca jel aküler yapısında sıvı elektrolit bulundurmazlar. Bu nedenle buldukları ortama zarar verme ihtimali düşüktür. Kullanıcılar jel aküyü yüksek verimliliği bakımından tercih etmektedir. Sulu akülerde kullanılabilir kapasite maksimum %50 mertebesindeyken, jel akülerde bu değer %80'dir. Çizelge 4.9'da jel akünün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Jel akü özellikleri.

Jel Akü Özellikleri	Birim	Değerler
Nominal Voltajı	Volt	12 V
Nominal Kapasitesi	Ah/20 saat	100 Ah/20 saat
Soğukta Marş Akımı	AEN	550 AEN
Deşarj Akım Değeri (120 ye göre)	Amper	5,00 A
Yaklaşık Ağırlık	kg	31,0 kg
25 Derecede İç Direnç	miliohm	7,1 mΩ
Kısa Devre Akımı	Amper	2235 A
Ölçüler(uzunluk-genişlik-yükseklik)	mm	350-175-235

4.1.8. Şarj Kontrol Ünitesi ve İnvörtör

Akülerin şarj durumunu gözlemlemenin yanı sıra aküye giden ve aküden regülatöre gelen enerji akışı da gözlenmektedir. Bazı modellerde sesli uyarı, gece fonksiyonu için lambaların istenen saatler içerisinde çalışması programlanarak kontrol edilebilir. Şarj kontrol cihazları isteğe bağlı ayarlanabilmektedir, akü voltajının değeri ayarlanarak o değere ulaştığında şarjın kesilmesi, voltaj değerinin belli bir noktanın altına düştüğünde akü ve yük sisteminin zarara uğramaması için yük bağlantısının otomatik olarak kapanması, voltaj yükseldiğinde ise otomatik olarak güç vermeye başlaması gibi özellikler tanımlanabilmektedir.

Güç Çevirici (invertör), doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirmektedir. Günümüzde yarı iletkenlerle yapılmış invertörler hareketli parçalara sahip değildir. Bilgisayarlarda kullanılan küçük güçteki anahtarlamalı güç kaynaklarından (switching power supply), elektrik dağıtım şebekelerine güç verebilen büyük sistemlere, güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya gibi geniş uygulama alanları vardır. Kısaca invertör, DC gücü istenilen frekans, gerilim ve güçte AC güce çevirir. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç ve ilginin artması, bu kaynaklardan elde edilen enerjinin kullanıma uygun hale getirilerek tüketiciye sunulabilmesi amacı ile kullanım alanları hızla çoğalmaktadır.

4.2. Ölçüm Sistemleri

Deneyle sırasında istenilen parametrelerin ölçülebilmesi için çeşitli ölçüm cihazları kullanılmıştır. Çalışma sırasında düzenli olarak hava sıcaklığı, hava nem miktarı, su sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti ölçümleri yapılarak veriler bilgisayar ortamına anlık kaydedilmiştir. Aşağıda ölçüm cihazları ve özellikleri verilmiştir.

4.2.1. Isıl Çift

Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. İki farklı iletken tel malzemenin birleşiminden oluşur. Bu iletken malzemenin uçları birleştirilip ısıtılırsa ve diğer uçları soğuk bırakılırsa sıcak soğuk farkından malzeme üzerinde gerilim elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunmaktadır. Bu sayede mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0 °C'de tutulması ile elde edilir. Isıl çiftler -200°den 2320 °C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda, ölçüm ve kontrol için yaygın olarak kullanılır. Deneyle sırasında dış ortam havası, hava ısıtıcı kollektör çıkışında, nemlendirme ünitesi çıkışında, yoğuşturucu ünitesi çıkışında hava sıcaklık ölçümünde ve su ısıtıcı kollektörün giriş-çıkışında su sıcaklık ölçümünde K tipi ısıl çiftler kullanılmıştır.

4.2.2. Piranometre (Güneş Radyasyonu Ölçüm Cihazı)

Yatay bir yüzey üzerine düşen dağınık radyasyonu (direk güneş ışınları hariç), ve yatay bir yüzey üzerinde emilen genel radyasyonu (güneş + gökyüzü) ölçmekte kullanılır. Bu ölçüm aletine piranometre de denir. Güneş pili hücresi, koruyucu küresel cam bir fanus içerisinde bulunur ve bir kaydediciye bağlı termoelektrik bataryaya sahiptir. Piranometre kesinlikle gölgelenmeyecek şekilde, tam güney oryantasyonunda (azimut açısı 0), direk gövdesinden uzakta, bir kol üzerine konumlandırılmalıdır. Deneyde silikon hücreli 3120 model piranometre kullanılmıştır. Piranometre 0,25-1,15 mikron spektrum aralığındaki güneş ve gökyüzü radyasyonunu ölçmek için tasarlanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 3.8. Piranometre.

Silikon hücreyi koruyan kubbe şeklinde ısıya dayanıklı bir camdır. Cam kubbe içerisinde buğulaşmayı önleyen nem tutucu bir madde vardır. Sensörden gün boyunca alınan veriler \pm % 3 doğruluktadır. Anlık olarak alınan veriler ise \pm % 5 doğruluktadır. Sensör 40-140 °F (4~60°C) arasındaki sıcaklıklarda çalışır. Çizelge 4.10'da silikon hücreli 3120 model piranometrenin teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 4.9. Piranometrenin teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Dönüştürücü	Silikon fotovoltaik hücre
Dalgaboyu Aralığı	0,25-1,15 mikron
Ölçüm Aralığı	0-1500 W/m ²
Duyarlık	~70 µV/W/m ² (50 mV/ly/min)
Doğruluk	±%0,3
Direnç	1 ohm
Zaman Sabiti	<1 milisaniye
Sıcaklık Kompanzasyonu	40~140 °F (4~60 °C)
Ağırlık	0,5 kg/0,7 kg

4.2.3. Anemometre

Anemometre rüzgâr/hava hızını, nem ve sıcaklık değerlerini ölçen alettir. Deneyde Testo 435 marka anemometre cihazı kullanılmıştır. Çizelge 4.11’de teknik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Anemometre teknik özellikleri.

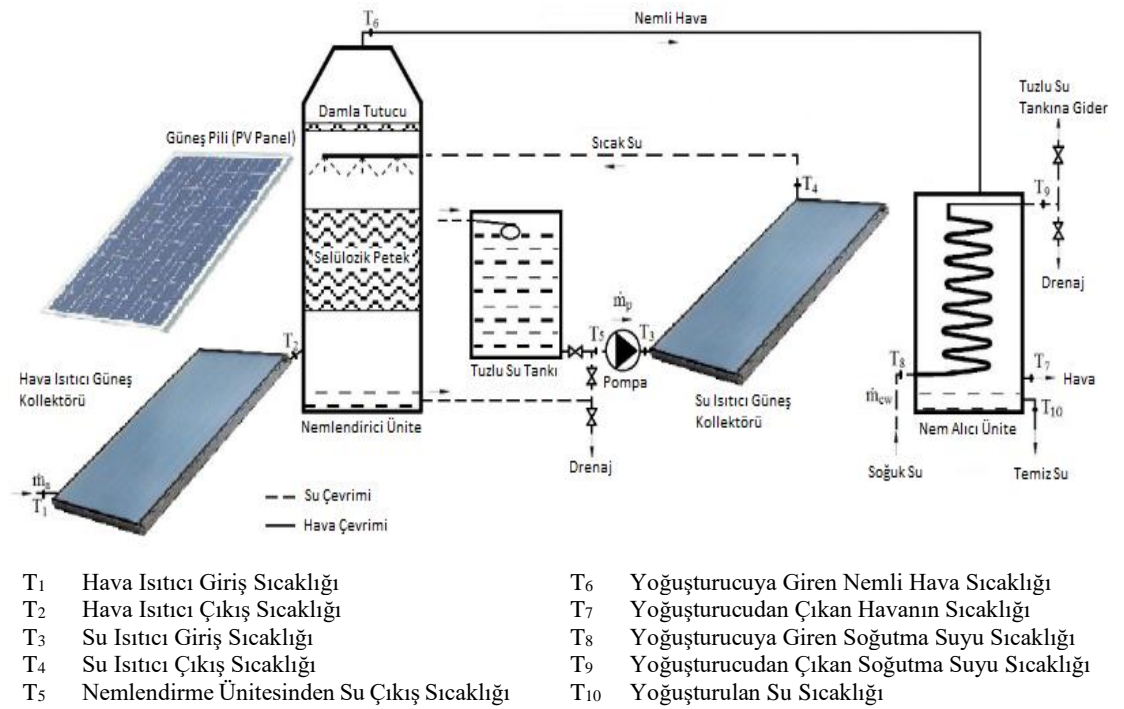
Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
Sıcaklık	-20~70 °C	±0,3 °C
Nem	%0-100 RH	±%2 RH
Hız	0-20 m/s	±%4 m/s

4.3. DENEYSEL VERİLERİN TEORİK ANALİZLERİ

Çevre havasından alınarak düzlemsel yüzeyli hava kollektöründe ısıtılan hava, sıcak ve kuru hava olarak nemlendirme ünitesine gönderilir. Nemlendirme ünitesinde, spreyler ve selülozik petek ile havanın içerisine su buharı verilmesi sağlanır. Hava bu sayede neme doymuş hale gelir. Daha sonra hava nem alma ünitesine gönderilir ve ısı değiştiricisinin içerisinden geçen soğuk su ile ısı alışverişi yapar. Isı alışverişi sonucunda nemli hava yoğunlaşarak ısı değiştiricisi yüzeyinde nemini bırakır. Güneş

enerjili su ısıtıcı kollektör ise nemlendirme ünitesinde bulunan spreylere sıcak su gitmesi için tuzlu suyun ısıtılmasında kullanılır, böylece havanın nem alma kapasitesini artırır. Sisteme elektrik girdisi PV panelden sağlanır. Deneysel kurulumun şematik diyagramı Şekil 4.9’da verilmiştir. HDH sistemi düşük maliyetli ve güvenli yapısıyla tercih edilen bir damıtma işlemidir [30].

Teorik çalışma enerji, ekserji, ekonomik, çevresel-ekonomik olarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Deney kurulumunun şematik diyagramı.

4.3.1. Enerji Analizi

HDH sisteminin enerji analizi Yıldırım ve Solmuş [9] tarafından kullanılan metotlarla yapılmıştır. Hesaplamaları basitleştirmek amacıyla aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir.

- Solar radyasyon, rüzgâr hızı, havanın bağıl nem ve sıcaklığı bir saat boyunca sabit kabul edilmiştir,
- Sistemden işlem sürecinde hava kaçağı olmadığı kabul edilmiştir,

- Soğutma suyu sıcaklığı işlemler sırasında sabit kabul edilmiştir.
- Depolama tankından çıkan suyla SWH'a giren suyun sıcaklıkları eşit kabul edilmiştir.

Nem alma ünitesi enerji dengesi formülü,

$$\dot{m}_a (h_{a6} - h_{a7}) = \dot{m}_{cw} c_{pw} (T_9 - T_8) - \dot{m}_{dw} c_{pw} T_{10} \quad (4.1)$$

Nemlendirme ünitesi enerji dengesi formülü,

$$\dot{m}_p c_{pw} (T_4 - T_5) = \dot{m}_a (h_{a6} - h_{a2}) \quad (4.2)$$

SAH'a giren havanın nem içeriğinin hesaplanması (11);

$$W_1 = \frac{0.622\phi P_g}{P - \phi P_g} \quad (4.3)$$

Doymuş buhar basıncı hesaplaması P_g ,

$$P_g = 2.7 \times 10^{-9} \times T^5 + 2.8 \times 10^{-7} \times T^4 + 2.7 \times 10^{-5} \times T^3 + 0.0014 \times T^2 + 0.044 \times T + 0.61 \quad (4.4)$$

Doymuş su buharının entalpi hesabı h_{fg} ,

$$h_{fg} = -9.3 \times 10^{-6} \times T^3 - 1.9 \times 10^{-5} \times T^2 + 1.8 \times T + 2500 \quad (4.5)$$

Doymuş havanın nem ve entalpi hesapları,

$$w = 7.7 \times 10^{-7} \times T^3 - 1.95 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.00071 \times T + 0.002 \quad (4.6)$$

$$h_a = 2.82 \times 10^{-5} \times T^4 - 0.00106 \times T^3 + 0.00615 \times T^2 + 1.32 \times T + 10.5 \quad (4.7)$$

Nem alma ünitesine giren ve çıkan havanın nem içeriği farkından hesaplanan üretilen temiz suyun kütleli debisi.

$$\dot{m}_c = \dot{m}_a (w_3 - w_4) \quad (4.8)$$

4.3.1.1. Sistem Performansı

Tüketilen enerji başına damıtma ünitesi içinde üretilen su miktarına bağlı olarak sistemin termal verimi hesaplanmıştır. Damıtma sistemi için performans oranı ve sistem verimi göstergesi olarak en çok kullanılan (Gain-Output-Ratio) (GOR) kazanç çıkış oranı denklemdir.

4.3.1.2. Kazanç Çıkış Oranı (GOR)

Performans oranı olarak bilinen kazanılan çıkış oranı (GOR), belirli bir ısı girdisi için üretilen ürün miktarının boyutsuz bir ölçüsü [31] veya bir enerji veya kütleli debiye karşılık gelen termal damıtma işlemi sürecinde üretilen su miktarı olarak tanımlanabilir [32].

$$GOR = \frac{\dot{m}_{ew}L}{\dot{Q}_{in}} \quad (4.9)$$

Q_{in} damıtma sistemine giren enerji miktarı, L buharlaşma gizli ısısı (J/kg), m_{ew} saatte elde edilen su miktarı (kg/h)'dir.

4.3.1.3. Sistem Verimliliği

Gereken enerji miktarı, buharlaşma gizli ısısıyla üretilen suyun miktarının çarpılmasıyla hesaplanabilir [28].

$$E_{dw} = \dot{m}_{ew}L \quad (4.10)$$

Sistemin performansı aşağıdaki formülle hesaplanır,

$$\eta = \frac{\dot{m}_{dw}h_{fg}}{Q_T} \quad (4.11)$$

Q_T toplam enerji girişi (PV, su ve hava ısıtıcılardan giren enerjiler) [33-35].

4.3.2. Ekserji Analizi

Ekserji, iş yapabilme kabiliyeti olan kaliteli enerji olarak tanımlanabilir ve termal bir sistemde yok edilebilir. Ekserji dengesi formülü aşağıda verilmiştir [36,37],

$$\sum \dot{E}\chi_{in} - \sum \dot{E}\chi_{out} = \sum \dot{E}\chi_{dest} \quad (4.12)$$

Solar HDH sisteminin ekserji verim hesabı [34,38],

$$\eta_{EX,H-DH} = \frac{\dot{E}\chi_{product}}{\dot{E}\chi_{in}} = 1 - \frac{\dot{E}\chi_{dest}}{\dot{E}\chi_{in}} \quad (4.13)$$

Sistemden saatlik olarak çıkan ekserji hesabı [38],

$$\dot{E}\chi_{product} = \frac{\dot{m}_{ew}}{(3600sh^{-1})} \left[L \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_w + 273} \right) \right] \quad (4.14)$$

Sisteme ekserji girişleri düzlemsel yüzeyli kollektörlerden ve PV panelinden sağlanmıştır,

$$\dot{E}\chi_{in} = \dot{m}_{sw} E\chi_{SW} + \dot{E}\chi_{sun,SWH} + \dot{E}\chi_{sun,SAH} + \dot{E}\chi_{sun,PV} \quad (4.15)$$

$\dot{m}_{sw} E\chi_{SW}=0$ kabul edilecektir, termodinamikte ölü hal durumundadır. Böylece ekserji verimi aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [39],

$$\eta_{EX} = \frac{\dot{m}_{ew} E\chi_{ew}}{\dot{m}_{sw} E\chi_{SW} + \dot{E}\chi_{sun,SWH} + \dot{E}\chi_{sun,SAH} + \dot{E}\chi_{sun,PV}} \quad (4.16)$$

Pompa ve fan için ekserji girişleri PV panel in içeriğinde olduğundan ayrıyeten hesaba katılmaz. Bu yüzden toplamda ekserji verim hesabı [40];

$$\eta_{EX-T} = \frac{\dot{m}_{ew} E\chi_{ew}}{\dot{E}\chi_{sun,SWH} + \dot{E}\chi_{sun,SAH} + \dot{E}\chi_{sun,PV}} \quad (4.17)$$

Solar sisteminden olan solar radyasyon yoğunluğunun ekserji girişi [34,41],

$$\dot{E}\chi_{sun} (PV) = A_{pv} I(t)_{pv} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a + 273}{T_s + 273} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a + 273}{T_s + 273} \right)^4 \right] \quad (4.18)$$

Su ısıtıcı kollektör tarafından üretilen ekserji [42],

$$\dot{E}\chi_{\text{sun}}(\text{SWH}) = \dot{Q}_{u,\text{wh}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_4 + 273} \right) \quad (4.19)$$

Su ısıtıcı kollektördeki kullanılan ekserji hesabı, [43]

$$Q_{u,\text{wh}} = AF_R I(\tau\alpha) - F_R U_L (T_4 - T_a) \quad (4.20)$$

Hava ısıtıcı kollektörü tarafından üretilen ekserji [42],

$$\dot{E}\chi_{\text{sun}}(\text{SAH}) = \dot{Q}_{u,\text{ah}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_2 + 273} \right) \quad (4.21)$$

Hava ısıtıcı kollektörde kullanılan ekserji hesabı [43],

$$Q_{u,\text{ah}} = AF_R I(\tau\alpha) - F_R U_L (T_2 - T_a) \quad (4.22)$$

PV panelin ekserji üretim hesabı [44],

$$\dot{E}\chi_{\text{PV,elektrical}} = V_m I_m = P_{\text{max}} \quad (4.23)$$

Kontrol hacmi olarak alınan nemlendirme-nem alma üniteleri için solar kollektörler ve PV panelden gelen ekserji miktarları toplamı [43],

$$\dot{E}\chi_{\text{in,HDH}} = V_m I_m + \dot{Q}_{u,\text{wh}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_4 + 273} \right) + \dot{Q}_{u,\text{ah}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_2 + 273} \right) \quad (4.24)$$

Nemlendirme-nem alma ünitelerinin ekserji verim hesabı;

$$\eta_{\text{EX,H-DH}} = \frac{\dot{E}\chi_{\text{product}}}{\dot{E}\chi_{\text{in}}} = \frac{\frac{\dot{m}_{\text{ew}}}{(3600\text{sh}^{-1})} \left[L \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_w + 273} \right) \right]}{V_m I_m + \dot{Q}_{u,\text{wh}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_4 + 273} \right) + \dot{Q}_{u,\text{ah}} \left(1 - \frac{T_a + 273}{T_2 + 273} \right)} \quad (4.25)$$

4.3.3. Ekonomik ve Çevresel-Ekonomik Analizler

Damıtma uygulamalarında, ekonomik analiz yapılırken 1 L demineralize suyun maliyeti hesaplanır. Ayrıca çevresel-ekonomik analizinde, yönetsel bir yaklaşımla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması teşvik edilerek karbon emisyonun azaltılması amaçlanır.

Damıtma sistemi için amorti fon faktörü (SFF), yıllık hurda değeri (ASV), yıllık bakım maliyeti (AMC), yıllık faiz oranı (i) gibi parametreler sermaye maliyetlerinin yanında dikkate alınmak zorundadır. Sermaye geri kazanım faktörü faiz oranına bağılı olarak sistem ömrüne göre hesaplanabilir [45,46].

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4.26)$$

Sabit yıllık maliyet (FAC);

$$FAC = P(CRF) \quad (4.27)$$

'P' kullanılan malzemelerin fiyat toplamı olarak hesaplanmıştır. Kullanılan malzemeler spreylere, selülozik petek boru, çelik sac, boya, kollektörler, fan, pompa vs.

Hurda değeri (S), P'nin beşte biri olarak alınır.

$$S = 0,2P \quad (4.28)$$

SFF ve ASV aşağıdaki formüllerle ifade edilir [47];

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (4.29)$$

$$ASV = (SFF)S \quad (4.30)$$

Sistem içerisindeki AMC; temiz suyun toplanması, ünitelerin temizliğini içerir. Burada AMC değeri FAC'ın %15'idir;

$$AMC = 0,15FAC \quad (4.31)$$

Yıllık maliyet (AC);

$$AC = FAC + AMC + ASV \quad (4.32)$$

Son olarak, litre başına düşen temiz su maliyetinin hesaplanması;

$$CPL = AC/M \quad (4.33)$$

Burada M harfi, güneş enerjili damıtma sisteminin yıllık su üretim miktarıdır.

Çevresel-ekonomik analizi karbon emisyonu olmayan yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden en güçlü mekanizmadır. Bu analiz karbon salınımının fiyatlandırılmasını esas alarak yapılır. Karbon salınım miktarı kW h başına yaklaşık olarak 960 g (gram)'

dır. Ancak bu miktar, iletim kayıpları (%40) ve dağıtım kayıpları (%20) dikkate alındığında kW.h başına 2 kg olarak ortaya çıkmaktadır. Yıllık olarak salınan CO₂ miktarı hesabı [11];

$$\phi_{CO_2} = \frac{\psi_{CO_2} \times \text{overalexergy}}{1000} \quad (4.34)$$

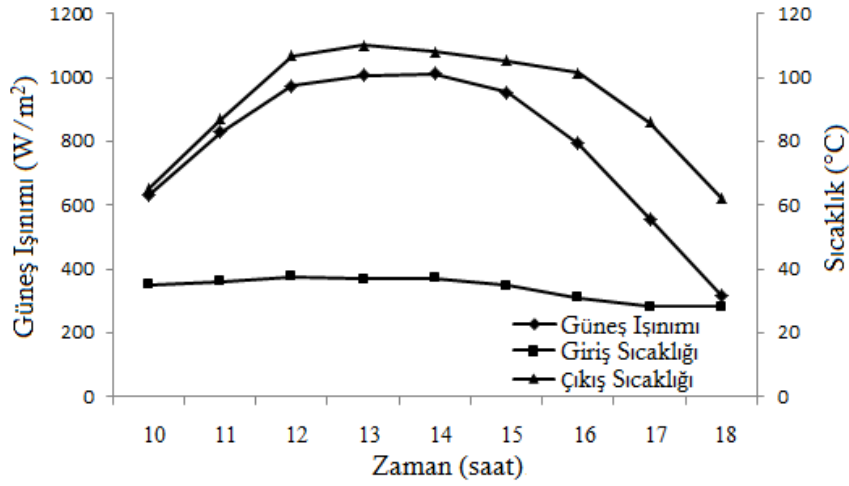
ψ_{CO_2} 'nin anlamı elektrik enerjisi için kullanılan kömürün CO₂ emisyonudur (2 kg CO₂/kWh). Uluslararası karbon fiyatı (Z_{CO_2}) ortalama 14.5\$/tCO₂ olarak alınacaktır [48]. Çevresel maliyet (Z_{CO_2}) Rajoria ve diğerleri tarafından verilen formüldeki gibi bulunur [49];

$$Z_{CO_2} = z_{CO_2} \times \phi_{CO_2} \quad (4.35)$$

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

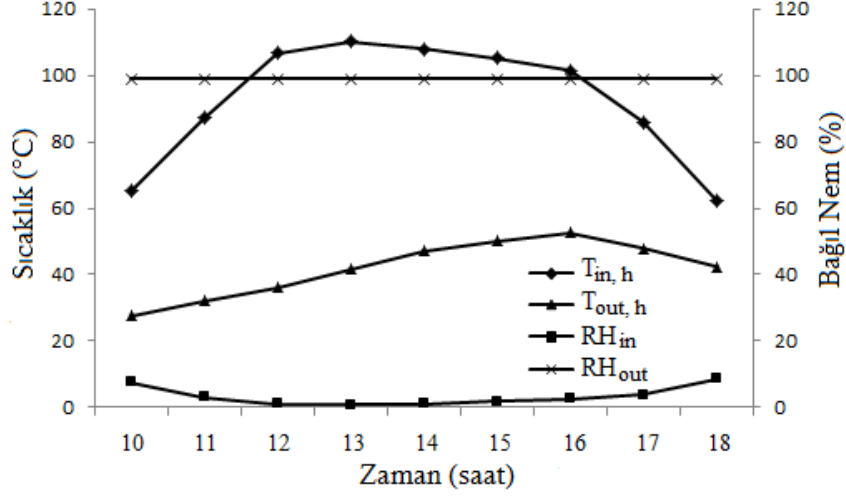
Tek kademeli HDH sistemi gerçek çevre koşulları altında deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Literatürde HDH sisteminin, nemlendirme ünitesinde spreyci ve selülozik petek kullanılan, enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel-ekonomik analizlerinin tamamını içeren bir çalışma yoktur. HDH sisteminin üzerinde su ve havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, kolektördeki kütleli debi, nemlendirme ve nem alma ünitesi, güneş ışınım şiddeti, sistem havasının bağıl nemi, çevre havasının sıcaklığı ve bağıl nemi belirlenmiş, performansları gözlenmiştir. Testler 6 gün boyunca tipik çevre şartlarında yapılmıştır. Şekil 5.1’de zamana bağılı olarak SAH’a giren ve çıkan havanın sıcaklık verileri ve güneş ışınımı miktarı gösterilmiştir.



Şekil 5.1. SAH’a giren ve çıkan havanın sıcaklık verileri ve güneş ışınım miktarı.

Şekil 5.2’de nemlendirme ünitesine SAH’dan gelen havanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri gösterilmektedir. Nemlendirme ünitesine ısınmış ve kuru olarak giren havanın bünyesine petek ve spreyciler tarafından kolayca nem kazandırılmıştır. Çizelge

5.1’de sistemin deney esnasında çeşitli noktalarından alınmış sıcaklık ve bağıl nem değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Nemlendirme ünitesine giren-çıkan havanın bağıl nem ve sıcaklık değerleri.

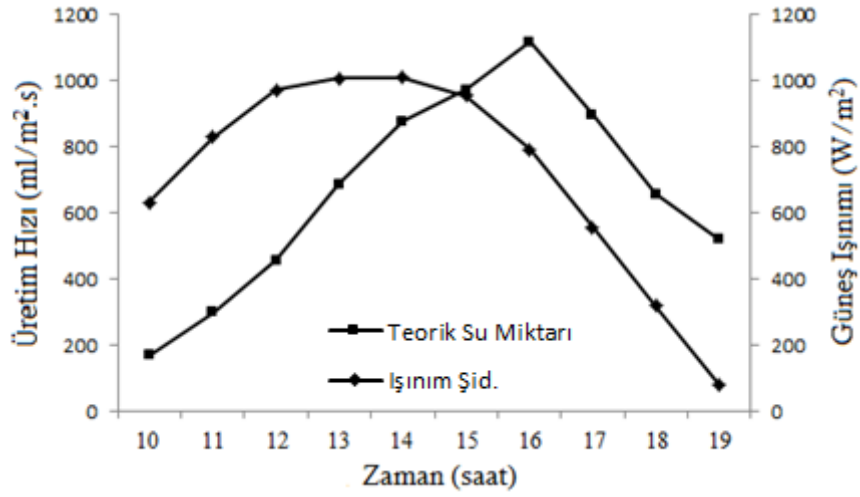
Çizelge 5.1. Sistemdeki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri.

Saat	$T_{amb.}$	$\Phi_{amb.}$	$T_{ac,o}$	$\Phi_{ac,o}$	$T_{h,o}$	$\Phi_{h,o}$	T_w	$\Phi_{dh,o}$
10:00	35,2	33	65,1	7,5	27,7	99	37,2	59,5
11:00	36,2	31	87,1	3	32,1	99	42,5	55
12:00	37,6	21	106,7	1,1	36,2	99	48,5	54,4
13:00	37	21	110,2	0,9	41,6	99	53,6	54,6
14:00	37,1	26	108	1,2	47,1	99	57,4	54,7
15:00	34,8	38	105,2	1,8	50,1	99	58,5	55,1
16:00	31,1	55	101,5	2,5	52,7	99	57,8	55,5
17:00	28,4	59	86	3,8	47,9	99	53,8	55,5
18:00	28,2	59	62,4	8,6	42,3	99	45,4	77,5

Solar kolektörler içerisindeki suyun ve havanın sıcaklık değerleri sırasıyla 58,5 °C ve 110,2 °C aşmadığı sabah 10:00’dan akşam 18:00’a kadar gün boyunca yapılan

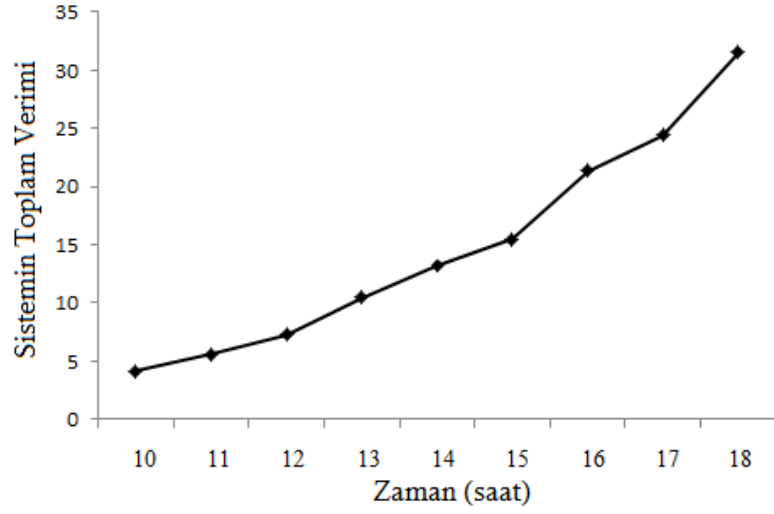
deneyde gözlenmiştir. SAH 'a giren hava yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmış ve bağıl nem oranı düşmüştür, bağıl nem oranının düşürülme işlemi havanın su buharı alma kapasitesini maksimum düzeye kadar çıkarılmasını amaçlamaktır.

Şekil 5.3'te solar radyasyon ve üretim hızları gösterilmiştir. Gün batımına yakın zamanda solar enerji düşmüş, damıtma işlemi depolanan enerjiyle devam etmiştir. Bu yüzden maksimum günlük enerji ve ekserji verimleri bu süre zamanlarında gözlemlenmiştir. Sistemin çalışması sırasında üretilen maksimum temiz su miktarı su sıcaklığının maksimum olduğu anda gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3. HDH sisteminde solar radyasyon ve üretim hız değerleri.

Şekil 5.4'te zamana bağlı olarak verim değişimleri gösterilmiştir. Saat 14:00 dan sonra temiz su üretiminde büyük ölçüde artış sağlanmıştır çünkü sistem içerisinde depolanan enerji vardır ve saat 16:00'da maksimum üretim (1117,3 g/h) gerçekleşmiştir. Saat 15:00 dan sonra solar radyasyon ve çevre sıcaklığı düşmesine rağmen, temiz su üretiminde düşme olmamıştır. HDH sisteminde en iyi üretim sağlanan zaman aralığı 13:00-18:00'dır. HDH sisteminde elde edilen GOR değeri 0,97-1 aralığındadır. Düşük GOR değerine sahip sistem drenaj suyundan yoğunlaşma ısısının istenilen düzeyde olmayan geri kazanımı olarak tanımlanabilir.



Şekil 5.4. Sistemin Zamana Bağlı Verim Değişimleri.

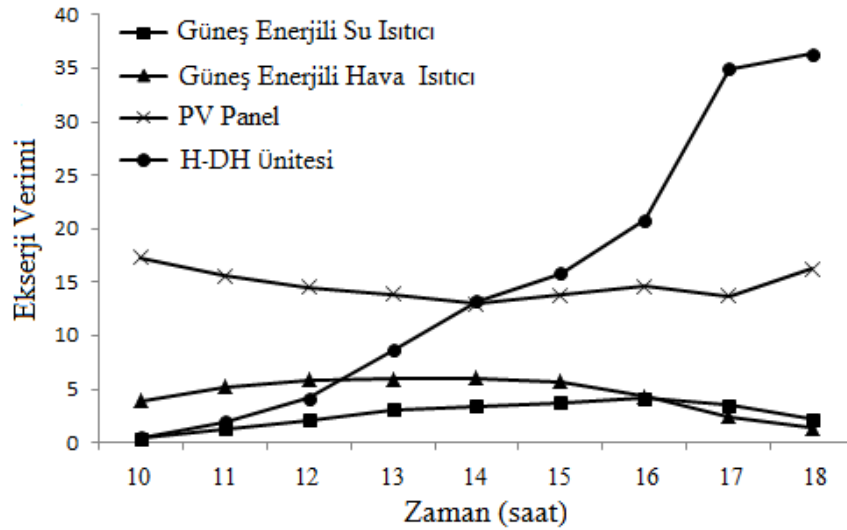
HDH sisteminin ekserji verimi ekserji girişinin istenilen ekserji çıkışına oranı olarak hesaplanır. Çizelge 5.2’de sistem elemanlarının günlük ekserji girişi, çıkışı ve ekserji verimi gösterilmiştir. Ekserji kayıpları SAH ve SWH’ in yanlarından, tabanından ve cam yüzeylerinden gerçekleşir ve ortam sıcaklığıyla ters orantılıdır, PV panelin ekserji kayıpları çevre sıcaklığıyla Çizelge 5.2 ve Şekil 5.5’ten de anlaşılacağı gibi doğru orantılıdır.

Nem alma ünitesindeki yorgun havanın sıcaklık ve nemi enerji ve ekserji verimlerini etkilemiştir. Bu nedenle HDH sisteminin kritik bileşeni yoğuşturucudur ve nemli havanın sıcaklığının düşürülerek mümkün olduğu kadar yoğuşturulup verimin arttırılması amaçlanır. Bilindiği gibi bu değerler deneyler boyunca değişmiştir.

Şekil 5.5’de HDH sisteminin bileşenlerinin ekserji verimleri gösterilmiştir. PV panelin arka yüzeyinin sıcaklık artışı solar radyasyon ve çevre sıcaklığına bağlı olarak ekserji değerinin düşürdüğü gözlemlenmiştir. Solar radyasyonun ve çevre havasının düşmesi H ve DH ünitelerinde ekserji artışına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.2. Solar damıtma sisteminin ekserji sonuçları.

Zaman (Saat)	$\dot{E}X_{sun,SWH}$	$\dot{E}X_{p,SWH}$	$\dot{E}X_{sun,SAH}$	$\dot{E}X_{p,SAH}$	$\dot{E}X_{sun,PV}$	$\dot{E}X_{p,PV}$	$\dot{E}X_{product}$	$\eta_{EX,H-DH}$ (%)
10:00	1000,44	4,32	1000,44	39,21	559,07	96,87	0,72	0,51
11:00	1314,57	17,01	1314,57	68,98	734,61	114,28	3,90	1,95
12:00	1540,44	32,88	1540,44	90,10	860,83	124,89	10,35	4,18
13:00	1594,54	48,82	1594,54	95,26	891,06	123,51	23,23	8,68
14:00	1600,33	55,22	1600,33	97,04	894,30	116,36	35,48	13,21
15:00	1512,31	56,76	1512,31	86,46	845,11	116,84	41,16	15,83
16:00	1256,36	52,02	1256,36	54,12	702,08	102,49	43,41	20,81
17:00	884,72	31,06	884,72	21,95	494,40	67,89	42,27	34,96
18:00	506,16	11,17	506,16	6,94	282,85	45,88	23,24	36,31



Şekil 5.5. SWH, SAH, PV panel ve HDH ünitesinin ekserji verimleri.

Arıtma sistemlerinde ekonomik analizler tasarım uygunluğunun en önemli göstergelerinden biridir. Çizelge 5.3'te HDH sistem bileşenlerinin tahmini fiyatlarını gösterir. Temel amaç üretim süreci ve operasyonlarda maliyeti minimum tutmaktır.

Çizelge 5.3. Maliyet analiz sonuçları.

Parametre	Değer	Birim
M	914,18	lt/m ²
n	20	
i	10	%
CRF	0,1174	
P	732	\$
FAC	85,94	\$
S	146,4	
SFF	0,0174	
ASV	2,5474	\$
AMC	12,891	\$
AC	101,3784	\$
CPL	0,1109	\$/Lit/m ²
Ψ_{CO_2}	2	kg CO ₂ /kWh
ϕ_{CO_2}	0,1658	ton/yıl
Z_{CO_2}	14,5	\$/ton
Z_{CO_2}	2.4041	\$/yıl

Diğer yandan enviro-ekonomik analiz (çevresel maliyet analizi olarak bilinir) tüm sistemin çevre üzerindeki etkisini azaltmak için seçenek tanımlamaktadır. Karabük ilinde yılda 82,9 açık gün sayısı vardır ve karşılık gelen ekserji miktarı 178,505 kW.h tir. Sistemin çevresel maliyeti tahmini 20 yıl ömrüne göre 48,082 \$ bir yıl için ise 2,4041 \$'dır. Damıtma birim maliyeti enerji verimi artırılarak ve daha dayanıklı malzeme bileşenleri kullanılarak düşürülebilir. Bölgede daha fazla solar radyasyon, güneşlenme süresi ve açık gün sayısı olursa HDH sisteminin geri ödeme süresi kısalmır ve çevresel etkisi daha faydalı olacaktır.

Çalışmanın sonuçları kısaca aşağıda sıralanan maddelerde verilmiştir:

- HDH sisteminin genel enerji verimi 4,1-31,54% ve ekserji verimi %0,03-%1,867 olarak hesaplanmıştır.
- HDH sisteminin saat 13:00-18:00 arasında enerji ve ekserji verim artışının olduğu belirlenmiştir.
- HDH sisteminin günde ortalama üretim hızı 10,87 L/gün olarak belirlenmiştir. Saatlik üretim hızı ise 0,165 ve 0,87 L arasındadır.
- HDH sisteminde saf su üretimi tahmini maliyeti 0,0981\$/L civarındadır ve verim arttıkça azalmaktadır.
- Çevresel maliyet yılda 2,4041 \$ olarak ortaya çıkmaktadır ve bu 10 yıl hizmet ömrü için 24,041 \$ olarak tahmin edilmektedir.
- Birim verimlilik artışını nemlendirme ünitesine hava ve suyun sıcaklıklarıyla sağlar.
- Yakın gelecekte dünya nüfusunun %60'ının su sıkıntısı çekeceği öngörülmektedir ve solar damıtma sistemlerinin Ar-Ge faaliyetleri desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Trenberth, K. E., Smith, L., Qian, T., Dai, A. and Fasullo, J., “Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data”, *Journal of Hydrometeorology*, 8(4): 758-69 (2007).
2. Fath, H. E. S. and Ghazy, A., “Solar desalination using humidification dehumidification technology”, *Desalination*, 142: 119-133 (2002).
3. Amer, E. H., Kotb, H., Mostafa, G. H. and El-Ghalban, A.R., “Theoretical and experimental investigation of humidification– dehumidification desalination unit”, *Desalination*, 249: 949-959 (2009).
4. Yanniotis, S. and Xerodemas, K., “Air humidification for seawater desalination”, *Desalination*, 158: 313-319 (2003).
5. Hamed, M. H., Kabeel, A. E., Omara, Z. M. and Sharshir, S. W., “Mathematical and experimental investigation of a solar humidification-dehumidification desalination unit”, *Desalination*, 358: 9-17 (2015).
6. Elminshawy, N. A. S., Siddiqui, F. R. and Addas, M. F., “Experimental and analytical study on productivity augmentation of a novel solar humidification-dehumidification (HDH) system”, *Desalination*, 365: 36–45 (2015).
7. Yuan, G., Wang, Z., Li, H. and Li, X., “Experimental study of a solar desalination system based on humidification-dehumidification process”, *Desalination*, 277: 92-98 (2011).
8. El-Shazly, A. H., El-Gohary, M. M. and Ossman, M. E., “Performance characteristics of a solar humidification dehumidification unit using packed bed of screens as the humidifier”, *Desalination and Water Treatment*, 16:1-3, 17-28 (2010).
9. Yıldırım, C. and Solmus, I., “A parametric study on a humidification-dehumidification (HDH) desalination unit powered by solar air and water heaters”, *Energy Conversion and Management*, 86: 568–575 (2014).
10. Saidur, R., Jazi, G. B., Mekhlifb, S. and Jameel, M., “Exergy analysis of solar energy applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 350-356 (2012)

11. Tiwari, G. N., Yadav, J. K., Singh, D. B., Al-Helal, I. M. and Abdel-Ghany, A. M., “Exergoeconomic and enviroeconomic analyses of partially covered photovoltaic flat plate collector active solar distillation system”, *Desalination*, 367: 186-196 (2015).
12. Alptekin, E. and Ezan, M. A., “Performance investigations on a sensible heat thermal energy storage (SHTES) tank with a solar collector under variable climatic conditions”, *Applied Thermal Engineering*, 114423 (2019).
13. Kong, D., Wang, Y., Li, M., Keovisar, V., Huang, M. and Yu, Q., “Experimental study of solar photovoltaic/thermal (PV/T) air collector drying performance”, *Solar Energy*, 208: 978-989 (2020).
14. He, W. F., Han, D., Zhu, W. P. and Ji, C., “Thermo-economic analysis of a water-heated humidification dehumidification desalination system with waste heat recovery”, *Energy Conversion and Management*, 160: 182–190 (2018).
15. Kasaeiana, A., Babaei, S., Jahanpanah, M., Sarrafha, H., Alsagri, A. S., Ghaffarian, S. and Yan, W., “Solar humidification-dehumidification desalination systems: a critical review”, *Energy Conversion and Management*, 201: 112129 (2019).
16. He, W. F., Chen, J. J., Zhen, M. R. and Han, D., “Thermodynamic, economic analysis and optimization of a heat pump driven desalination system with open-air humidification dehumidification configurations”, *Energy*, 174: 768-778 (2019).
17. Al-Mahmoud, H. A., Ibrahim, N. I., Al-Sulaiman, F. A. and Zuba, S. M., “Thermodynamic performance evaluation of a hybrid ejector cooling humidification-dehumidification desalination system”, *Energy Conversion and Management*, 225: 113450 (2020).
18. Mitra, R., Balachandar, G., Singh, V., Sinha, P. and Debabrata Das, D., “Improvement in energy recovery by dark fermentative biohydrogen followed by biobutanol production process using obligate anaerobes”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 4880-4892 (2017).
19. İnternet: IEA World Energy Balances, <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics> (2019).
20. İnternet: OECDilibrary, https://www.oecd-ilibrary.org/energy/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy_9789264088047-en (2019).
21. İnternet: World Health Organization (WHO). “2014. 7 million premature deaths annually linked to air pollution”, <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> (2014).

22. Internet: IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics> (2017).
23. Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Bauer, Z. A. F., Goodman, S. C., Chapman, W. E., Cameron, M. A., Bozonnat, C., Chobadi, L., Clonts, H. A., Enevoldsen, P., Erwin, J. R., Fobi, S. N., Goldstrom, O. K., Hennessy, E. M., Liu, J., Lo, J., Meyer, C. B., Morris, S. B., Moy, K. R., O'Neill, P. L., Petkov, I., Redfern, S., Schucker, R., Sontag, M. A., Wang, J., Weiner, E. and Yachanin A. S., "100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World", *Joule* 1, 108–121 (2017).
24. Internet: IEA World Energy Balances, <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics> (2019).
25. Zhanga, Y., Rena, J., Pub, Y. and Wang, P., "Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis", *Renewable Energy*, 149: 577-586 (2020).
26. Ondraczek J, Komendantova N, Patt, A., "WACC the dog: The effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power" *Renewable Energy*, 75:888–898 (2015).
27. Bilton A. M., Wiesman R., Arif A. F. M., Zubair S. M. and Dubowsky S., "On the feasibility of community-scale photovoltaic-powered reverse osmosis desalination systems for re-mote locations", *Renewable Energy*, 36(12):3246–3256 (2011).
28. Deniz, E., "Solar-powered desalination, In: Desalination updates", *In Tech*, 89-124 (2015).
29. Kabeel A. E., Hamed M. H., Omara Z. M. and Sharshir S. W., "Water desalination using a humidification-dehumidification technique-a detailed review", *Natural Resources*, 04(03): 286-305 (2013).
30. Parekh S., Farid M. M., Selman J. R. and Al-Hallaj S., "Solar desalination with a humidification-dehumidification technique a comprehensive technical review", *Desalination*, 160:167–186 (2004).
31. Mistry, K. H., Mitsos, A., and Lienhard, J. H., "Optimal operating conditions and configurations for humidification-dehumidification desalination cycles", *International Journal of Thermal Sciences*, 50: 779-789 (2011).
32. He W. F., Xu L. N., Han D. and Gao L. "Performance analysis of an air-heated humidification–dehumidification desalination plant powered by low grade waste heat", *Energy Convers Manage*, 118:12–20 (2016).

33. Deniz E., “An experimental and theoretical analysis of a vacuum tube solar collector-assisted solar distillation system”, *Util, Environ Effects*, 34:1637-1645 (2012).
34. Ibrahim A. G. M. and Dincer I., “A solar desalination system: exergetic performance assessment”, *Energy Convers Manage*, 101: 379–92 (2015).
35. Tabrizi F., Khosravi M. and Sani I. S., “Experimental study of a cascade solar still coupled with a humidification–dehumidification system”, *Energy Convers Manage*, 115: 80-88 (2016).
36. Hepbasli A., “A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future”, *Renew Sustain Energy Rev.*, 12: 593-661 (2008).
37. Eveloy V., Rodgers P. and Qiu L., “Hybrid gas turbine–organic Rankine cycle for seawater desalination by reverse osmosis in a hydrocarbon production facility”, *Energy Convers Manage*, 106: 1134–1148 (2015).
38. Tiwari G. N. and Dubey S., “Fundamentals of photovoltaic modules and their applications”, *Royal Society of Chemistry*, Cambridge, 2009.
39. Tiwari G. N., Dimri V. and Chel A., “Parametric study of an active and passive solar distillation system: energy and exergy analysis”, *Desalination*, 242: 1-18 (2009).
40. Sethi A. K. and Dwivedi V. K., “Exergy analysis of double slope active solar still under forced circulation mode”, *Desalination Water Treat*, 51: 7394–7400 (2013).
41. Petela R., “Exergy of undiluted thermal radiation”, *Sol Energy*, 74: 469–488 (2003).
42. Ucar A. and Inallı M., “Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques”, *Int Commun Heat Mass Transfer*, 33:1281-1290 (2006).
43. Kreith F., “Solar heating and cooling: active and passive design”, *CRC Press*, (1982).
44. Joshi A. S., Dincer I. and Reddy B. V., “Thermodynamic assessment of photovoltaic systems”, *Sol Energy*, 83: 1139–1149 (2009).
45. Kianifar A., Heris S. Z. and Mahian O., “Exergy and economic analysis of a pyramid-shaped solar water purification system: active and passive cases” *Energy*, 38: 31–36 (2012).

46. Ranjan K.R. and Kaushik S. C., “Energy, exergy and thermo-economic analysis of solar distillation systems: a review”, *Renew Sustain Energy Rev.*, 27: 709–723 (2013).
47. Esfahani J. A., Rahbar N. and Lavvaf M., “Utilization of thermoelectric cooling in a portable active solar still-an experimental study on winter days”, *Desalination*, 269: 198-205 (2011).
48. Lamba R., Gaur A. and Tiwari G. N., “Life cycle cost assessment and enviroeconomic analysis of thin film amorphous silicon photovoltaic system”, *J Fundam Renew Energy Appl.*, 4:1-5 (2014).
49. Rajoria C. S., Agrawal S. and Tiwari G. N., “Exergetic and enviroeconomic analysis of novel hybrid PVT array”, *Sol Energy*, 88: 110–119 (2013).

EK AÇIKLAMALAR A

ADAM 4019+ VE ADAM 4520'YE AİT TEKNİK ÖZELLİKLER

ADAM 4019+'un teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özellik
Güç Tüketimi	10-30 V _{DC}
Doğruluk	±%0,1
Ölçüm Kanalı Sayısı	8
Çözünürlük	16
Girdi Tipleri	T/C, mV, V, mA
İzolasyon Koruması	3000 V _{DC}
Boyutlar	70x122x30 mm
Ölçüm Aralıkları	J, K, T, E, R, S, B, Tipi Isıl Çiftler. ±1 V, ±2.5 V, ±5V, ±10 V10 V ±100 mV, ±500 mV, ±20 mA, 4~20 mA
Çevre Şartları	
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C (14~158 °F)
Depolama Sıcaklığı	-25~85 °C(-13~185 °F)

ADAM 4520'nin teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özellik
Bağlantı	USB
Güç Tüketimi	10-30 V _{DC}
Data Bits	5, 6, 7, 8
Max. Uzaklık	15 m
Çevre Şartları	
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C (14~158 °F)
Depolama Sıcaklığı	-25~85 °C(-13~185 °F)

EK AÇIKLAMALAR B

DENEY SİSTEMİNE AİT ÇEŞİTLİ GÖRÜNTÜLER





ÖZGEÇMİŞ

Serkan ÇINAR, 1992’de Karabük’te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kıymet ve Mustafa YAZICI Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’ne girdi; 2015’te mezun olduktan sonra aynı yıl Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans programına başladı, 2016 yılında KLV İnşaat A.Ş.’nin ihalesini almış olduğu Kastamonu Orman Ürünleri İşleme Fabrikası’nda mekanik tesisat mühendisi olarak ilk iş tecrübesi kazandı. 2017 yılında Topçu Asteğmen olarak MSB İzmir İnşaat ve Emlak Bölge Başkanlığı’nda Mühendis Teğmen olarak 12 ay süreli askerlik hizmetini tamamladı. Askerlik hizmeti sırasında MSB dış kaynak muvazzaf subay alımı sınavlarına katılarak başarı elde etti. 2018 yılında MSB Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü 1’inci Hava Bakım Fabrika Müdürlüğü’nde Hv.Müh.Tğm. olarak göreve başladı. İmalat Müdürlüğü kadrosunda başlamış olduğu görevi sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Gökmeydan Mahallesi. Nilgün Sokak. No.1 D: 5
Odunpazarı / ESKİŞEHİR

E-posta: serkancinar78@gmail.com