



**GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARDA YENİ BİR ISI
GERİ KAZANIM SİSTEMİNİN PERFORMANS
ANALİZİ**

**2023
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Yasin ÖZCAN

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

**GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARDA YENİ BİR ISI GERİ KAZANIM
SİSTEMİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

Yasin ÖZCAN

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

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2023**

Yasin ÖZCAN tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARDA YENİ BİR ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNİN PERFORMANS ANALİZİ” başlıklı bu tezin Doktora 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 Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 18/07/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)
Üye : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)
Üye : Prof. Dr.Suat SARIDEMİR (Düzce Üni.)
Üye : Doç. Dr.Mehmet ÇELİK (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (Düzce Üni.)

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU
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.”

Yasin ÖZCAN

ÖZET

Doktora Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARDA YENİ BİR ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Yasin ÖZCAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

Temmuz 2023, 139 sayfa

Canlı yaşamının sürdürülebilmesi ve medeniyetlerin gelişebilmesi için içme, sulama ve ulaşım gibi ihtiyaçların karşılanabileceği temiz ve kullanılabilir su kaynaklarına bağımlılık söz konusudur ve genel itibarıyla medeniyetler bu kaynakların çevrelerinde gelişme imkânı bulmuştur. Geçmişte olduğu gibi günümüzde de temiz suya erişim, şehirlerin ve toplulukların büyümesinde ve gelişmesinde çok önemli bir faktör olmaya devam etmiştir. Hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişmekte olan sanayi ve tarım faaliyetleri, suya olan ihtiyacın ve bağımlılığın hızla artmasına sebep olmaktadır.

Temiz ve kullanılabilir su kaynaklarına erişim sorunu yaşanan bölgelerde su ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla su arıtma tesisleri, tuzdan arındırma ve atık suyun yeniden kullanılması gibi yararlanılabilecek çeşitli yöntemler mevcuttur. Arıtma prosedürleri, enerji ve sürekli bakım gerektiren sistemler olmak üzere iki farklı

kategoriye ayrılabilirler. Ancak, bu arıtma teknolojilerinin çoğunun kullanımı, yeterli enerji kaynağı ve teknolojik alt yapıya sahip olmayan topluluklarda kısıtlı kalmaktadır.

Deniz suyunun tuzdan arındırılması için kullanılan küçük ölçekli güneş enerjili damıtma sistemleri, basit yapıları, kolay imalatları, düşük bakım maliyetleri ve enerji ihtiyacının güneşten karşılanabilmesi gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Özellikle, tuzdan arındırma uygulamaları için, yüksek güneş ışınım şiddeti değerlerine sahip olan ve su kıtlığının olduğu bölgelerin coğrafi olarak kesişmesi nedeniyle güneş enerjisi ile temiz su elde edilmesi önemli fırsatlar sunmaktadır.

Güneş enerjili su damıtıcılarının üretkenliğini etkileyen faktörler arasında güneş ışınımı, damıtıcının boyutu ve tasarımı, havuzun kütlesi, yalıtımın etkinliği, yüzey alanı ve saydam örtünün yönü ve eğimi yer almaktadır. Bu faktörlerin optimize edilmesi, kullanılan damıtıcıların genel üretkenliklerinin artmasına yardımcı olacaktır.

Yapılan çalışmada, güneş enerjili su damıtma sistemlerinde damıtılan su miktarının artırılabilmesi amacıyla termoelektrik teknolojisinin kullanıldığı alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik damıtma sistemindeki yoğuşma gizli ısını kullanarak termoelektrik elemanlar yardımıyla elektrik üretmek ve bu elektrik ile çalışan su yüzeyine yerleştirilmiş fanlar yardımıyla su yüzeyinden doğal taşınım ile oluşan ısı transferini zorlanmış taşınım bölgesine taşıyarak daha fazla buharlaşma oluşmasının sağlanmasıdır. Bir taraftan atık gizli ısının termoelektrik yerleştirilmiş plaka yüzeyden uzaklaştırılarak geri kazanımı sağlanmakta olup diğer taraftan da su buharının cam yüzeylere teması hızlandırılarak yoğuşan su miktarı artırılabilir. Tasarlanan sistem hem gerçek şartlar altında test edilmiş hem de termodinamik modeller kullanılarak yapılan teorik çalışmalar ile sonuçlar desteklenmiştir. Çözümlenen denklemler, sistemin ısı verimliliği, enerji transferi, sıcaklık dağılımları gibi termodinamik parametreleri içermektedir. Bu analitik çözümler, sistemin tasarımı ve işletme koşullarının optimize edilmesi için temel oluşturmuştur.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalara ek olarak, sistem performansının çevresel etkileri araştırılmış ve ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Analizler, sistemin

Çevresel sürdürülebilirliğini sağlamak ve ekonomik verimliliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler, enerji verimliliğinin arttırılması, maliyet-etkinlik, çevresel etkilerin azaltılması gibi faktörleri kapsamaktadır.

Anahtar Sözcükler : Güneş Enerjisi, Termoelektrik, Enerji Analizi, Tuzdan Arındırma

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF A NEW HEAT RECOVERY SYSTEM IN SOLAR-POWERED WATER DISTILLERIES

Yasin ÖZCAN

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

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

July 2023, 139 pages

The sustainability of life and the advancement of civilizations, there is a need for access to clean and usable water sources to fulfill essential needs such as drinking, irrigation, and transportation. In general, civilizations have found opportunities for development around these water sources. Access to clean water remains, as it has in the past, a critical factor in the growth and development of cities and communities. The rapid growth of the population, along with the expansion of industrial and agricultural activities, has led to an increased demand for water resources and a greater dependence on them.

In regions facing challenges with access to clean and usable water sources, various methods can be employed to meet the water demand, such as water treatment facilities, desalination, and wastewater reuse. Water treatment procedures can be categorized

into two main groups: those that require energy and continuous maintenance. However, the use of these treatment technologies is often limited in communities that lack sufficient energy sources and technological infrastructure.

Small-scale solar-powered distillation systems have notable characteristics such as uncomplicated designs, convenient manufacturing, affordable maintenance, and the capacity to fulfill energy requirements using solar power. Especially for desalination applications, the convergence of regions with high solar radiation intensity and water scarcity presents significant opportunities to obtain clean water using solar energy.

The factors that influence the productivity of solar-powered water distillers include solar radiation, the size and design of the distiller, the mass of the basin, the effectiveness of insulation, the surface area, and the orientation and slope of the transparent cover. By optimizing these factors, it is possible to enhance the overall productivity of these devices.

In the conducted study, an alternative method was developed using thermoelectric technology to increase the amount of distilled water in solar-powered water distillation systems. This study distinguishes itself from others by utilizing the latent heat of condensation within the distillation system to generate electricity through the use of thermoelectric elements. The electricity generated is then utilized to operate fans positioned on the water surface, enhancing heat transfer by facilitating forced convection and promoting increased evaporation. Additionally, on one hand, waste latent heat is recovered by removing it from the surface of thermoelectrically embedded plates, while on the other hand, the contact of water vapor with the glass surfaces is accelerated to increase the amount of condensed water. The designed system was tested under real conditions and supported by theoretical studies using thermodynamic models, validating the results. The solved equations encompassed thermodynamic parameters such as the thermal efficiency of the system, energy transfer, and temperature distributions. These analytical solutions formed the basis for optimizing the system's design and operational conditions.

In addition to experimental and theoretical studies, the environmental impacts of the system's performance have been investigated, and economic evaluations have been conducted. These analyses aim to ensure the environmental sustainability of the system and assess its economic efficiency. These evaluations encompass factors such as energy efficiency, cost-effectiveness, and the reduction of environmental impacts.

Key Word : Solar Energy, Thermoelectric, Energy Analysis, Desalination

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması s¼recinde, bana yol g¼steren, desteklerini esirgemeyen, ilgi ve deneyimleriyle beni s¼rekli cesaretlendiren ve ¼ğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danıŐmanım Prof. Dr. Emrah DENİZ'e en derin teŐekk¼rlerimi sunarım. Ayrıca, tez izleme komitemde yer alarak değerli g¼r¼Őleriyle çalıŐmama katkı sağlayan Prof. Dr. Mehmet ¼ZALP ve Doç. Dr. Ali Etem G¼REL hocalarıma da iten teŐekk¼rlerimi sunmak isterim. Ayrıca, çalışmaların çeşitli aŐamalarında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen ¼ğr. G¼r. Burak ÇİFTÇİ, ¼ğr. G¼r. Murat KOŐAR ve Meteorolojist Nuri TUNÇ'a ¼zellikle teŐekk¼r ederim. Deney sisteminin imalatı aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve talihsiz bir kaza sonucunda rahmetli olan değerli iş insanı Kaan KALYONCU'yu da saygıyla anıyorum.

Bu alıŐmanıyı tamamlamam için s¼rekli teşvik eden ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen anne ve babama, ¼zverileri ve sabrı için sevgili eŐime teŐekk¼rlerimi sunmak isterim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	8
LİTERATÜR ÖZETİ.....	8
2.1. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR	10
2.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE TERMOELEKTRİK ELEMENLARIN KULLANIMI	25
2.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE GELİŞTİRİLEN TEORİK MODELLER.....	28
BÖLÜM 3	37
MATERYAL VE METOT	37
3.1. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU.....	37
3.2. DAMITMA SİSTEMLERİNİN KALİBRASYONU.....	44
3.3. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	45
3.4. ISI GERİ KAZANIMI İÇİN TERMOELEKTRİK MODÜL	47
3.4.1. Termoelektrik Modüllerin Deneysel Analizi.....	48

3.4.2 Damıtma Sisteminde TEG Modülleri	52
3.4.3 Damıtma Sisteminde Fan Kullanımı	55
3.5. MATEMATİKSEL MODELLEME VE TEORİK ANALİZ	56
3.5.1. Isıl Modelleme	58
3.5.1.1 Damıtma Sistemindeki Isı Transferleri	58
3.5.1.2 Damıtma Sistemlerinin Enerji Analizi.....	70
3.5.1.3 Isıl Modelin Doğruluğu	76
3.5.2 Damıtma Sisteminin Verimi	77
3.5.3 Termoelektrik Jeneratörelere Verimi	79
3.6. ENERJİ EKSERJİ EKONOMİK VE ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZ. 81	
3.6.1 Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinde Ekserji Analizi	82
3.6.2 Enerji ve Ekserji Verimliliği.....	86
3.6.3 Ekonomik ve Çevresel-Ekonomik Analizler	86
3.7. HATA ANALİZİ.....	89
BÖLÜM 4	91
SONUÇLAR	91
4.1 DAMITMA SİSTEMLERİNİN DAMITMA ÖZELLİKLERİ.....	91
4.2 DAMITMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ	93
4.3 DAMITMA SİSTEMLERİNİN EKSERJİ VERİMİ	100
4.4 DAMITMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZLERİ.....	101
BÖLÜM 5	103
SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR	108
EK AÇIKLAMALAR A.	123
EK AÇIKLAMALAR B.	125
EK AÇIKLAMALAR C.	127
EK AÇIKLAMALAR D.	129
EK AÇIKLAMALAR E.	131
EK AÇIKLAMALAR F.....	133
EK AÇIKLAMALAR G.	135

EK AÇIKLAMALAR J. 137

ÖZGEÇMİŞ 139

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Güneş enerjili damıtma	5
Şekil 3.1. Deney sisteminin genel görünümü.....	40
Şekil 3.2. CSS-TEG sisteminin şematik gösterimi.....	41
Şekil 3.3. Havuzun tabanı ve ısı yalıtım malzemesinin yerleşimi.....	41
Şekil 3.4. Damıtma sistemlerinde ölçüm noktalarının şematik görünümü	43
Şekil 3.5. Damıtma sistemlerinde ısı çiftlerin yerleşimi	43
Şekil 3.6. Güneş enerjili damıtma sistemlerinde su kanallarının yerleşimi	44
Şekil 3.7. Damıtılan su miktarlarının gün içerisindeki saatlik değişimi.....	45
Şekil.3.8. ADAM 4019+ veri toplama sistemi	46
Şekil 3.9. Silikon hücreli 3120 model piranometre	47
Şekil.3.10. Termoelektrik jeneratör akım-gerilim test sistemi	49
Şekil 3.11. Elektrikli ısıtıcı rezistans	50
Şekil 3.12. Termoelektrik jeneratör test ünitesi.....	50
Şekil 3.13. Termoelektrik modül deney düzeneği.....	51
Şekil 3.14. TEG'lerin çeşitli yüzey sıcaklık farklarında üreteceği gerilim değerleri	52
Şekil 3.15. TEG'lerin çeşitli yüzey sıcaklık farklarında üreteceği akım değerleri ...	52
Şekil 3.16. TEG SP1848-27145	53
Şekil 3.17. Termoelektrik modüllerin bağlantı şekilleri.....	53
Şekil 3.18. Soğutucu blok yapısı ve termoelektriklerin konumu	54
Şekil 3.19. Damıtma sistemine TEG bloklarının yerleşimi.....	54
Şekil 3.20. Yan yüzeylerde gerçekleşen yoğuşma.....	55
Şekil 3.21. Güneş enerjili su damıtma sistemide ısı transfer mekanizmaları	56
Şekil 3.22. Güneş enerjisi damıtıcılardaki ısı transferi mekanizmalarının şematik diyagramı.....	57
Şekil 3.23. Cam kapağın ekserji akış şeması.....	83
Şekil 3.24. Termoelektrik modülün ekserji akış şeması.....	84
Şekil 3.25. Tuzlu suyun ve su havuzunun ekserji akış şeması	85
Şekil 3.26. Su havzasının ekserji akış şeması.....	85

Şekil 4.1. Damıtma sistemlerinde damıtılan su miktarının zamana bağlı değişimi	92
Şekil 4.2. Damıtma sistemlerinin saatlik enerji verimliliği	94
Şekil 4.3. CSS sisteminde ölçölen sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti değerlerinin zamana bağlı değişimi	95
Şekil 4.4. CSS-TEG sisteminde ölçölen sıcaklıkve güneş ışınım şiddeti değerlerinin zamana bağlı değişimi	96
Şekil 4.5. TEG yüzey sıcaklıkları ve çevre havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi	96
Şekil 4.6. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi	97
Şekil 4.7. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik tuzlu su sıcaklıklarının saatlik değişimi	98
Şekil 4.8. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik emici yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi	99
Şekil 4.9. Damıtma sistemlerinin ekserji verimlerinin zamana bağlı değişimi	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Güneş enerjili damıtıcılar konusunda yapılan bazı çalışmalar	24
Çizelge 3.1. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.....	46
Çizelge 3.2. Su derinliğine bağlı olarak azalma faktörünün değişimi	72
Çizelge 4.1. Damıtma sistemlerinin maliyet analizi	102
Çizelge Ek.A1. Güneş enerjili damıtıcının teknik özellikleri	124
Çizelge Ek.A2. Deneyleri doğrulamak için kullanılan parametreler	124
Çizelge Ek.B. Tuzlu suyun termodinamik özellikleri	126
Çizelge Ek.C1. Adam 4520 teknik özellikleri	128
Çizelge Ek.C2. Adam 4019+ teknik özellikleri.	128
Çizelge Ek.D. Piranometrenin teknik özellikleri	130
Çizelge Ek.E. Anenometre teknik özellikleri.....	132
Çizelge Ek.F. Termoelektrik jeneratör modülünün katalog değerleri.....	134
Çizelge Ek.G. Sistemde kullanılan elektrik motoru ve fanların özellikleri	136
Çizelge Ek.J. Güç kaynağı özellikleri	138

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a_{eff} : Etkin ışıınım faktörü

A_b : Havza alanı (m²)

β : Buharın ısı genleşme katsayısını (1/K)

C_{diff} : Difüzyon katsayısı (m²/s)

C_v : Sabit hacim özgül ısı kapasitesi (J/kg K)

C_p : Sabit basınç özgül ısı kapasitesi (J/kg K)

C_r : Konsantrasyon oranı

d : Isıl yayılım (m²/s)

d_f : Su ve cam kapak arasındaki karakteristik uzunluk (m)

d_w : Tuzlu su kütlesi derinliği (m)

dt : Zaman aralığı

ε_{wg} : Su kütlesi ve cam kapak arasındaki etkin yayılım

Ex_{sun} : Güneş ışıınının ekserjisi

$Ex_{t,w-g}$: Taşınım ve ışıınım ile kayıplarıyla sudan cama ekserji kaybı

$Ex_{t,g-a}$: Camdan ortama ekserji kaybı

$Ex_{des,g}$: Camdan kaynaklanan ekserji yıkımı

- Ex_{out} : Güneş enerjili su damıtıcısından elde edilen yıllık ekserji enerjisi
- $EX_{t,w-TE}$: Tuzlu su ve termoelektrik modül yüzeyi arasındaki toplam ekserji
- F_{wg} : Görme faktörü
- g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
- σ : Stefan Boltzman'ın sabiti (W/m^2K^4)
- Gr : Grashof sayısı
- ρ_v : Nemli havanın yoğunluğunu
- h_b : Damıtıcı ile ortam arasındaki toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
- h_w : Su kütlelerinden kaybedilen ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- h_{fg} : Buharlaşma gizli ısı (J/kg)
- $h_{c,go-a}$: Kapaktan dış yüzeyden ortama taşınım ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- $h_{c,w-g}$: Sudan cama taşınım ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- $h_{c,b-w}$: Havza zemininden suya olan ısı taşınım katsayısıdır (W/m^2K)
- $h_{c,w-gi}$: Sudan cam iç yüzey taşınım ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- $h_{cd,gi-go}$: Cam iç yüzeyinden cam dış yüzeyine ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- $h_{e,w-co}$: Sudan yoğuşturucuya buharlaşma ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- $h_{e,w-g}$: Sudan cam kapağa buharlaşma ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
- $h_{r,go-a}$: Kapağın dış yüzeyinden ortama yayılan ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
- $h_{r,w-g}$: Sudan cam kapağa ısı taşınım ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
- $h_{r,g-sky}$: Çevre ile cam dış yüzeyi ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

- $h_{t,b-a}$: Havzadan dış ortama toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K)
- $h_{t,go-a}$: Cam kaplamanın dış yüzeyi ile atmosfer arasındaki toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K)
- $h_{t,w-g}$: Sudan cam kapağa toplam ısı transfer katsayısı(W/m²K)
- h_w : Havza ve su kütlesi arasında taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m²K)
- $I(t)$: Güneş ışınım şiddeti (W/m²)
- I_{eff} : Efektif güneş ışınım şiddeti (W/m²)
- k : Isı iletim katsayısı (W/mK)
- k_f : Nemli havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
- l_b : Havza uzunluğu (m)
- Le : Lewis sayısı
- L_g : Cam kapak kalınlığı (m)
- L_{bw} : Havza uzunluğu (m)
- L_w : Havza genişliği (m)
- \dot{m}_{ew} : Birim havza alanı damıtılan saatlik su miktarı (kg/m²)
- M_{ew} : Günlük Damıtılan suyun kütlesi (kg/gün)
- M_o : Moleküler ağırlık (kg/mol)
- Nu : Nusselt sayısı
- η : Termoelektrik jeneratörlerin verimi
- η_i : Damıtma sistemin anlık ısı verimi
- P_a : Atmosferik basınç (Pa)

- P_s : Doymuş buhar basıncı (N/m²)
- P_{gi} : Cam iç yüzey sıcaklığında kısmi buhar basıncı (N/m²)
- P_B : Güneş enerjili damıtma sistemi geri ödeme süresi
- P_{gen} : Modül tarafından üretilen elektrik gücü (Watt)
- P_{loss} : Modüldeki enerji kayıplarını (Watt)
- P_{TEG} : Termoelektriklerden elde edilen elektrik enerjisi (Watt)
- Q_{absorb} : Termoelektrik sıcak yüzeyden absorbe edilen ısı
- Q_{in} : Modüle giren ısı akışını (Watt)
- Q_{out} : Modüleden çıkan ısı akışını (Watt)
- $q_{c,w-g}$: Su kütlesi ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki taşınım (W/m²)
- $q_{c,g-a}$: Cam kapağın dış yüzeyinden taşınım ile ısı transferi (W/m²)
- $q_{c,go-a}$: Damıtma sisteminin üst yüzeyinden taşınım ile ısı kaybı (W/m²)
- $q_{cd,gi-go}$: Cam kapağın iç yüzeyinden dış yüzeyine iletim ile ısı transferi (W/m²)
- $q_{e,w-g}$: Sudan cam kapağa buharlaşma ile ısı transferi (W/m²)
- $q_{r,g-a}$: Cam kapaktan çevreye ışıyım ısı transferi (W/m²)
- $q_{r,w-g}$: Su ile cam yüzey arasındaki ışıyım ısı transferi (W/m²)
- $q_{r,go-a}$: Damıtma sisteminin üst yüzeyinden ışıyım ile ısı kaybı (W/m²)
- $q_{t,go-a}$: Damıtma sisteminin üst yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı (W/m²)
- $q_{t,w-g}$: Toplam iç ısı transferi (W/m²)
- R : Evrensel gaz sabiti (kJ/kmol K)

- Ra : Rayleigh sayısı
- Re : Reynold sayısı
- Ri : Richardson sayısı
- R_g : Cam kapağın yansıtıcılığı
- R_w : Tuzlu suyun yansıtıcılığı
- S_p : Damıtılmış suyun satış fiyatı (dolar/lt)
- Sc : Schmidt sayısı
- $U_{t,gi-a}$: Cam kapak iç yüzeyinden dış ortama toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)
- U_t : Damıtma sistemi toplam ısı kayıp katsayısı
- T_b : Havza yüzey sıcaklığı
- T_{gi} : Üst cam iç yüzey sıcaklığı
- T_{sky} : Gökyüzü sıcaklığı

Subscripts

- a : ortam
- b : havza
- c : taşınım
- e : buharlaşma
- g : cam
- r : ışınım
- w : su

KISALTMALAR

AC	: Yıllık Maliyet
ASV	: Yıllık Geri Dönüş Değeri
AMC	: Yıllık Bakım Maliyeti
CRF	: Sermaye Geri Dönüş Faktörü
CPL	: Damıtılmış Suyun Litre Başına Maliyeti
CSS	: Geleneksel Güneş Enerjili Damıtıcı
CSS-TEG	: Termoelektrikli Geleneksel Güneşli Damıtıcı
FAC	: Sabit Yıllık Maliyet
KTM	: Tiwari ve Kumar yöntemi
M	: Ortalama Yıllık Su Üretim Miktarı
SFF	: Amortisman Fon Faktörü
P	: Sermaye Fiyatı
TEG	: Termoelektrik Jeneratör
TEM	: Termoelektrik Modül
TEC	: Termoelektrik Soğutucu
TSS	: Kanallı Güneş Enerjili Damıtıcı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Su, insanlık tarihi boyunca medeniyetlerin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Yaşamın temel kaynağı olan su, medeniyetlerin kurulmasına, gelişmesine ve devamlılığının sağlanabilmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Birçok medeniyet, su kaynaklarına yakın bölgelerde gelişme imkânı bulmuş ve bu kaynaklardan tarım, içme suyu, enerji üretimi, ulaşım ve ticaret gibi birçok alanda faydalanmışlardır. Bu durum, medeniyetlerin nehirler, denizler, okyanuslar gibi su kaynaklarının yakınlarında geliştiği dikkate alındığında, su ve medeniyetin, yaşamları yönlendiren iki ayrılmaz öge olduğunu göstermektedir. Ayrıca, su kaynaklarının yönetimi, suyu kullanma, dağıtma ve paylaşma konuları medeniyetlerin sosyal ve politik yapılarını da etkilemiş ve su kaynakları üzerindeki kontrol de güç ve iktidarın bir sembolü olmuştur. Dünya yüzeyinin dörtte üçünden fazlasının sularla kaplı olduğu bilinmektedir. Bu bilgiye dayanarak dünyanın su yönünden bol kaynaklara sahip olduğu varsayımında bulunmak mümkündür. Ancak, bu varsayımın yanında dünyada bulunan su miktarının büyük bir kısmının içilebilir nitelikte olmadığı gerçeğini değiştirmemektedir. Dünyada bulunan su miktarının yaklaşık %97'si tuzlu sudan oluşmaktadır. Tatlı suyu temsil eden kalan %3'lük kısımdaki su buzullarda (%68,7), yer altı sularında (%30,1) göller ve nehirler gibi yüzey sularında (%0,3) bulunmaktadır (Manju ve Sagar, 2017). Bu durum, dünyadaki suyun %1'inden daha azının içme suyu olarak canlılar tarafından kullanılabilir olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, su kaynaklarının gelecekteki kullanımı ve yaşamsal ihtiyaçların karşılanması için büyük önem taşımaktadır.

Geçmişte su kaynaklarının sınırsız olduğu ve doğadaki su döngüsünün insanların ve çevrenin su ihtiyacını her zaman karşılayabileceği düşünülürdü. Ancak, modern çağın getirdiği nüfus artışı, endüstriyel gelişme ve iklim değişikliği gibi etkenler su kaynakları üzerinde artan bir baskı oluşturmuştur. Nüfus artışı, su talebini artırmış ve

su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde su stresi ve su kıtlığı gibi sorunları ortaya çıkarmıştır. Kentsel büyüme, endüstriyel ve tarımsal gelişme su kaynaklarının kirlenmesine ve su kalitesinin azalmasına yol açmıştır. Tarım, enerji üretimi ve endüstri gibi sektörler su kullanımını artırmış ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından zorluklara sebep olmuştur. Ayrıca, iklim değışikliğı de su kaynaklarını etkilemiş, su döngüsünde değışikliklere neden olarak temiz su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmıştır.

Suya olan ihtiyacı her geçen gün artan insanoğlunun, temiz su temini amacıyla geliştirdiğı çeşitli yöntemler olmasına rağmen nüfusun hızla artması ve kaynakların yetersizliğı günümüzde, insanlığın yaklaşık dörtte birinin temiz su temini konusunda büyük sıkıntılar yaşamasına sebep olmaktadır (Fiorenza vd., 2003). Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak gelecekte temiz su ihtiyacının daha da artacağı düşünöldüğünde, temiz su temini amacıyla kullanılan mevcut yöntemlerin daha verimli hale getirilmesi veya farklı tekniklerle yeni sistemlerin kullanılması kritik bir konu haline gelmiştir.

Gelişen su arıtma yöntemleri sayesinde hem temiz su sıkıntısının üstesinden gelmek hem de suyun tuzdan ayrıştırılması için birçok metot kullanılabilmekte ve bu sayede temiz su ihtiyacına alternatif çözümler sunulmaktadır. Deniz suyu veya tuzlu su kaynaklarından temiz su üretmek amacıyla kullanılan tuzdan arındırma yöntemleri, suyun tuzunun ayrıştırılarak içme suyu olarak kullanılmasına olanak tanır. Tuzlu suyun arıtılma işlemi kolay olmamakla birlikte sudan tuz ve diğere mineralleri ayırma işleminde önemli miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, tuzdan arındırma sistemlerinde gereksinim duyulan enerji genellikle, doğal gaz, elektrik, petrol ve diğere fosil yakıtlar gibi enerji kaynaklarından temin edilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji fosil yakıtlardan karşılandığı için bu süreçler sonucunda çevreye yüksek miktarda CO₂ ve diğere hava kirlenici atıkların salınımı yapılmak durumunda kalmaktadır. Bu durum ozon tabakasının incelmeye ve insan sağlığını tehdit eden boyutta karbon ayak izi değerlerine yol açmakta ve sonuç olarak yaşamın sürdürülebilirliğini tehdit eden küresel ısınmaya da sebep olmaktadır. Ayrıca, deniz suyunun tuzdan arındırılması, tesislerin kurulum maliyetleri ve enerji maliyetleri nedeniyle ticari ölçekte içme suyu üretmenin en pahalı yolu olmuştur (Eltawil vd.,

2009). 2050 yılına kadar milyarca insanın temel su ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük zorluklarla karşılaşacağı öngörülmektedir (Boretti ve Rose 2019).

Dünya nüfusunun yaklaşık %40'ı kıyı bölgelerinde veya kıyıya 100 kilometre mesafede yaşamaktadır (Ciesin, 2012). Bu durum, çeşitli faktörlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kaynakların bulunabilirliği, ticaret yolları ve kıyı bölgelerinin yerleşim ve ekonomik faaliyetler için cazip olması gibi etkenler bu durumu etkilemektedir. Dünyanın en büyük ve en hızlı büyüyen şehirlerinin birçoğu kıyı bölgelerinde yer almaktadır. Bu da yerel tatlı su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Sonuç olarak, temiz su kaynaklarının çoğaltılması veya alternatif çözümlerin bulunması noktasında, tuzlu suyun arıtılması giderek daha fazla kabul görmekte ve temiz su elde etmek için uygulanabilir seçenek olmaktadır (Goosen vd., 2023). Bu nedenle, gün geçtikçe temiz su üretimi için kullanılan tesislerin sayısı hızla artmaktadır. Bu tesislerde genellikle fosil yakıtlar kullanılmakta ve petrol tüketimi açısından bakıldığında, günde 22 milyon m³ tuzdan arındırılmış temiz su üretmek için yaklaşık 0,5 milyon ton petrolün gerekli olduğu tahmin edilmektedir (Kalogirou 2005). Çevresel etkileri düşünüldüğünde tuzdan arındırma sistemlerinde alternatif enerji kaynakları kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için güneş, rüzgâr veya jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanan tuzdan arındırma sistemlerini kullanmak daha çevreci bir yaklaşım olacaktır.

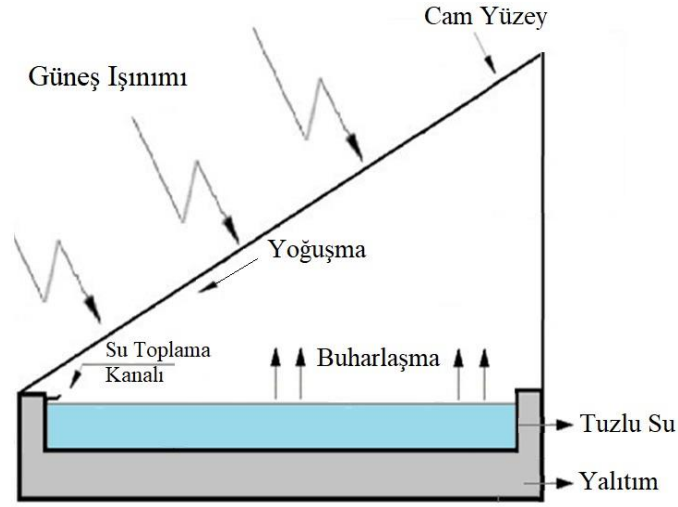
Basit dezenfeksiyon işlemi, ters ozmoz (RO) ve iyon değiştirme işlemi gibi çeşitli su arıtma teknikleri mevcut olsa da, güneş enerjisinin tuzlu suyu arıtmak için kullanılması iyi bir seçenektir. Bunun nedeni, diğer su arıtma tekniklerine göre düşük yatırımla basit bir çalışma işlemine sahip olmalarıdır. Bu teknik için kullanılan sistemlere güneş enerjili su damıtıcılar adı verilir ve kolayca bulunabilen malzemeler kullanılarak imal edilebilmektedirler. Özellikle belirtmelidir ki, güneş enerjisiyle tuzdan arındırma tekniğinin en önemli yararı, sıfır yakıt maliyetinin olması ve vasıflı işgücüne ihtiyaç duyulmamasıdır. Ancak, günümüzde kurulum kolaylığı olduğu halde bu sistemler hala yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Bunun başlıca nedeni olarak sistemlerden elde edilen su üretim miktarlarının az olması ve geniş hacimli sistemlere ihtiyaç duyulması gösterilebilir. Ancak, bu sistemler hala geliştirilmekte ve yeni iyileştirilmeler

yapılmaya devam edilerek hem verimlerinin hem de üretim miktarlarının artırılması hedeflenmektedir.

Geçmişten günümüze, temiz su temini amacıyla, en pratik ve kullanışlı yöntemler olarak damıtma sistemleri tercih edilmiştir. Güneş enerjili su damıtma sistemleri bazı dezavantajlara da sahiptir. Örneğin, sistemlerin verimliliği, güneş ışınımına ve meteorolojik koşullara oldukça bağlıdır. Sistemlerin verimli çalışabilmesi için yeterli güneş ışınımına ihtiyaç vardır ve bu nedenle bazı bölgelerde kullanımı düşük verim ve üretim kapasiteleri sebepleriyle mümkün olmamaktadır. Güneş enerjili su damıtma sistemleri, özellikle güneş ışınım şiddeti yüksek ve güneşlenme süresi uzun olan bölgelerde en uygun alternatif yöntemlerden biridir. Bu bölgelerde, güneş enerjisinden faydalanma oranları artmakta ve özellikle güneş enerjili su damıtma sistemleri daha kullanışlı duruma gelmektedir. Kurak ve çöl iklimlerinde, suyun tuzdan ayrıştırılması için güneş enerjili su damıtma sistemleri, sürdürülebilir bir su kaynağı sağlamak için uygun bir çözümdür. Bu bölgelerde tatlı su kaynakları genellikle kısıtlıdır ve tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülmesi için güneş enerjili su damıtma sistemleri çok önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin kullanımı, yerleşim alanlarından veya temiz su kaynaklarından uzak, su ve elektrik enerjisi ihtiyacı olan, buna karşın güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddetinin yüksek olduğu güneş enerjisinden yüksek oranda faydalanabilme kapasitesine sahip bölgelerde su temini problemine basit ve etkili bir çözüm yolu sunacaktır. Ayrıca, bu sistemlerin tuzdan ayrıştırma amacıyla kullanımı enerji girdi maliyetlerini önemli ölçüde azaltılacaktır (Deniz, 2015; Miller, 2003). Bu tür sistemlerin kullanımlarının güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde su kıtlığı sorununa sürdürülebilir bir çözüm sağlama potansiyeli bulunmaktadır.

Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri olarak tanımlanan geleneksel güneş enerjili damıtma sistemleri, temiz suya ulaşılmasında güçlükler yaşanan bölgelerde tatlı su elde etmek amacıyla kullanılan alternatif yöntemlerin başında gelmektedir. Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri, iklimsel koşullara bağlı olarak farklı verimlilik seviyelerine sahiptirler. Basit yapılı güneş enerjili damıtma sistemi şematik olarak Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin çalışma prensibi dünyamızdaki hidrolik (su) çevrimin yapay olarak gerçekleştirilmesine

hizmet eden küçük bir kopyasıdır. Bu sistemlerde tuzlu su saydam materyaller ile çevrelenen belli bir miktar derinliği olan bir su havzasında tutulmakta ve güneş ışınlarının eğimli cam boyunca sisteme girmesi sağlanarak buharlaşma için tuzlu suyu ısıtması sağlanmaktadır. Sıcaklığı artan su, daha hızlı buharlaşacak ve su buharı sirküle edilen hava ile şeffaf örtünün yüzeyine taşınacaktır. Su buharı cam yüzeylerde yoğuşmaya başlar ve yoğuşan su toplama kanallarında toplanarak depolama tanklarına aktarılır.



Şekil 1.1. Güneş enerjili damıtma

Bu sistemlerdeki temiz su üretim miktarı yaklaşık $2,5-3 \text{ L/m}^2$ gün civarındadır. Güneş enerjili damıtma yapan sistemler yaklaşık olarak %50'den daha az verimlidir. Bu tür damıtıcılar, yaklaşık 1m^2 'lik alan içinde 4 litre su üretebilmektedirler (Aydın ve Ardalı, 2012; Miller, 2003). Damıtma sisteminin performansı genel olarak bir günde havza alanında üretilen su miktarı olarak ifade edilir. Son yıllarda birçok araştırmacı damıtıcıların verimlilikleriyle ilgili çalışmalar yapmışlar ve damıtma sisteminin verimini etkileyen durumları esas olarak iklimsel faktörler ve sistem tasarım parametreleri olarak incelemişler ve en önemli faktörleri kısaca belirtmişlerdir. İklimsel parametreler; güneş ışınım şiddeti, gökyüzü koşulları, çevre hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, atmosfer nemi ve hava basıncı değerleridir. Sistemin tasarım parametreleri ise; havzadaki tuzlu suyunun yüksekliği, saydam cam örtünün kalınlık ve eğimi, (Sathyamurthy vd., 2017). Bu sistemlerin verimliliklerini artırmak amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerdeki temel fikir, buharlaşma ve

yoğuşma oranlarını arttırmak üzerine olmuştur. Bu sistemler genel olarak aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Yenilenebilir Enerji Kullanımı: Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri güneş enerjisini kullanarak suyu ısıtarak tatlı su üretir. Bu, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve çevre dostu bir enerji kaynağı kullanımını teşvik eder.
- Sürdürülebilir Su Kaynağı: Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri, tuzlu su kaynaklarının bulunduğu bölgelerde tatlı su üretimi için sürdürülebilir bir seçenek sunar. Tuzlu suyu tatlı suya dönüştürerek, içme suyu temininde yerel su kaynaklarını koruyabilir ve su sıkıntısı yaşanan bölgelerde su güvenliğinin artırılmasına katkı sağlar.
- Kurulum Kolaylığı: Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri, genellikle karmaşık altyapı gerektirmeyen basit yapıları ile bilinir. Bu da, kurulum maliyetlerini azaltabilir ve hızlı bir şekilde uygulanabilir.
- Kolay Bakım ve İşletme: Havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri, düşük maliyetli bakım gerektirir ve genellikle basit işletme süreçleri ile yönetilir. Bakım gerektiren bileşenler azdır ve sistemin sadece temel düzenli bakımı ile verimli çalışması sağlanabilir.

Yukarıda belirtilen avantajlara rağmen, havza tipi güneş enerjili damıtma sistemleri için bazı zorluklar da bulunmaktadır. Özellikle, bulutlu ve düşük güneş ışınımı koşullarında verimlilik azalabilmektedir. Ayrıca, su kaynağının tuzluluk seviyesi ve su kalitesi gibi faktörler de damıtma verimini etkileyebilir. Bu nedenle, sistemin doğru şekilde tasarlanması, yerel koşulların dikkate alınması ve bakımların düzenli olarak yapılması önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmanın temel hedefi, su sıkıntısı yaşanan bölgelerde uzun vadede su talebini karşılamaktır. Bu hedefe ulaşırken, çevreye minimum etki bırakacak şekilde fosil yakıt kullanımına alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektir. Su arıtma teknikleri arasında en yaygın olanı doğrudan güneş enerjisi ile suyun damıtılmasıdır. Bu çalışma, üretkenliği artırmak için termoelektrik modül kullanarak tek eğimli güneş enerjili su damıtma sisteminin tasarımını ve modellemesini önermektedir. Bu çalışmanın bir diğer hedefi ise, deneysel sonuçları matematiksel modelin simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırarak deneylerin geçerliliğini

desteklemektir. Önerilen güneş enerjili su damıtma sisteminin günlük performansı Karabük'ün iklim koşullarında değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Kullanılabilir özelliklere sahip olan su potansiyelinin yetersiz olduğu bölgelerde, çeşitli desalinasyon (tuzdan arındırma) yöntemleri kullanılıyor olsa da bu sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasının yanında sebep oldukları çevresel sorunlar ve enerji tükenimine ihtiyaç duyulması gibi kullanım kısıtlılıklarına sahiptirler. Bundan dolayı, artan temiz su talebini karşılamak için kendi kendine yeten teknolojiler ve sistemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu gibi sorunlar, su üretim potansiyellerinin düşük olmasına rağmen, mekanik aksamaları olmaması, çok az bakım gerektirmeleri, uzun ömürlü olmaları ve diğer enerji kaynaklarından uzak bölgeler için en uygun sistem tercihi olması gibi önemli avantajları sebebiyle güneş enerjili damıtma sistemlerinin ilgi görmelerinin yolunu açmaktadır (Mohaisen vd., 2021).

Güneş enerjili damıtma sistemleri, güneş enerjisi kullanarak özellikle tuzlu su veya kirlı su kaynaklarından içilebilir su elde etmek için tasarlanmış bir teknolojidir. Bu yöntem, tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, acil durumlarda veya suyun kalitesinin düşük olduğu yerlerde kullanılabilirler. Güneş enerjisiyle damıtma, güneşin temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması nedeniyle çevre dostu bir yöntemdir. Ancak, bu yöntem ile büyük miktarlarda su üretmek için uzun süreler ve geniş alanlar gerektirebilir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte, güneş enerjisiyle çalışan damıtma sistemleri daha verimli hale getirilerek, temiz su elde etmek daha kolay bir hale gelmektedir.

Son yıllarda, güneş enerjisiyle su damıtması yöntemi dünya çapında önemli bir potansiyel araştırma konusu olarak göze çarpmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan güneş, temiz su elde etmek için etkili bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Araştırmalar, güneş enerjisiyle su damıtması teknolojilerinin verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve daha geniş çapta uygulanabilir hale

getirmek üzerine odaklanmaktadır. Güneş enerjili damıtma sistemleri konusunda yapılmış olan araştırmaların büyük çoğunluğundaki temel fikir, buharlaşma ve yoğuşma oranlarının artırılması ile yoğuşma gizli ısısının tekrar kullanılarak sistemlerin üretim ve verimlerinin artırılması üzerine olmuştur (Sathyamurthy vd., 2017; Dev ve Tiwari, 2009; Kalidasa vd., 2008; Phadatare ve Verma, 2007). Yapılan çalışmalar neticesinde, bu tür sistemler daha kullanışlı hale gelmekte ve su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, acil durumlarda veya suyun kalitesinin düşük olduğu yerlerde su temininin sağlanmasında önemli bir çözüm sunmaktadırlar. Bu nedenle, güneş enerjisiyle su damıtılması alanındaki araştırmalar, sürdürülebilir su kaynaklarına erişimi artırmak ve su krizinin üstesinden gelmek için önemli bir rol oynamaktadır.

Literatürde, çeşitli yapı ve özelliklere sahip damıtma sistemleriyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan güneş enerjili su damıtma sistemlerinin teknolojisine odaklanılarak, bu teknolojiyle ilgili deneysel ve teorik çalışmalara yer verilmiştir. Çalışmaların temel odak noktası, damıtma sistemlerinde kullanılan farklı metotların sistemlerin performanslarına olan etkileri olmuştur.

Damıtma sistemlerinin performansı genel olarak bir günde havza alanında üretilen su miktarı olarak ifade edilmektedir. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin verimliliklerini; damıtma sisteminin yapısı ile kullanılan malzeme özellikleri ve geometrileri, cam yüzey ve emici plaka yüzey alanı, yoğuşma yüzeyinin yapısı, camın eğim açısı ile yapısal özellikleri, suyun özellikleri ve derinliği, rüzgâr hızı, güneş ışınım şiddeti ve çevre sıcaklığı gibi birçok parametre etkilemektedir. Literatürde mevcut olan çalışmaların çoğunda bu parametrelerin etkilerini anlamak için deneysel veya sayısal yöntemler geliştirilmiş ve bazen her iki analiz yöntemi de bir arada kullanılmıştır. Araştırmacılar damıtma sistemlerinin verimlerini etkileyen durumları esas olarak iklimsel, sistem tasarımı ve operasyonel parametreler olmak üzere üç ana başlık altında incelemişlerdir (Sathyamurthy vd., 2017; El-Maghlany vd., 2016; Muftaf vd., 2014).

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinin performanslarına etki eden parametrelerin incelendiği çok sayıda deneysel ve teorik çalışma yapılmış olmakla birlikte, farklı yapı

ve özelliklere sahip sistemlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan çok sayıda damıtma sistemi geliştirilmiş ve incelenmiştir. Bu sistemlerin teorik olarak incelenmeleri amacıyla sayısal modeller de geliştirilmiş ve deneysel veriler ile bu modellerin doğrulukları ile kullanılabilirlikleri ispatlanmıştır. Geliştirilmiş olan modeller sistemlerin optimize edilmesinde önemli rol oynamışlardır.

2.1. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinin verimliliklerini etkileyen en etkili parametreler konum, güneş yoğunluğu, çevre hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı olarak belirtilebilir. Çünkü bu parametreler bizim kontrolümüz dışında kalmaktadırlar. Bu parametreleri dikkate alarak ve diğer etki edecek parametreleri optimize etmek, verimli güneş enerjisiyle çalışan su damıtma sistemlerinin tasarımı ve işletimi için önemlidir. Genellikle, optimize edilmiş çalışma koşullarında bile, tek havuzlu güneş enerjisiyle çalışan su damıtma sistemlerinin rapor edilen verimlilikleri genellikle %30-45 aralığında olup, günlük 5 L/m²'den az tatlı su üretimi gerçekleştirmektedirler (Aydın ve Ardalı, 2012).

Güneş ışınları, çevresel parametreler arasında damıtma sistemlerinde performansa etkisi bakımından en önemli faktördür (Nafey vd., 2000). Bu nedenle, tuzlu su tarafından gerçekten absorbe edilen güneş enerjisinin miktarını doğru bir şekilde belirleyebilmek için güneş enerjili damıtıcının içindeki dağılımını bilmek gereklidir. Birçok araştırmacı, güneş ışınlarının damıtıcı verimliliği üzerindeki etkilerini incelemişler ve güneş ışınımının artmasıyla birlikte damıtıcı verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir (Muftah vd., 2014). Morse ve Read (1968), güneş ışınımı, rüzgâr hızı, çevre sıcaklıkları ve ısı kaybı değişimleri gibi farklı parametrelerin verimlilik üzerindeki etkisini belirlemek için analitik ifadeler kullanmışlardır. Sonuçlar, güneş ışınımının sürecin kesinlikle temel bir bileşeni olduğu fikrini desteklediğini ortaya koymuştur. Rahbar ve Esfahani (2012) yaptıkları çalışmada, güneş ışınımı ve çevre sıcaklığının damıtıcı performansı üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Damıtma sisteminde elde edilen su miktarı, havuzdaki su ve saydam örtü arasındaki sıcaklık farkına bağılı olarak değişmektedir. Saydam bir yüzey üzerinde esen rüzgâr, iç yüzeyin sıcaklığını düşürürken, buharlaşan su ve yüzey arasındaki sıcaklık farkını artırmaktadır ki, bu da sistem performansına doğrudan etki etmektedir. Bu durumda, yoğuşma miktarı artar ve dolayısıyla günlük verim, durgun hava koşullarına göre daha yüksek olur. El-Sebaai (2011), yapmış olduğu çalışmada farklı su kütlesinin olduğu havuzlarda rüzgâr hızının performans üzerindeki etkisini araştırmış ve sistemden elde edilen su miktarının artan rüzgâr hızlarıyla iyileştiiğini belirtmiştir. Rahbar ve Esfahani (2012) ise, farklı olarak rüzgâr hızının belirli bir miktarın üzerinde olması durumunda sistemde olumsuz etki oluşturduğunu belirtmiştir. En üstten ısı kaybının büyük bir kısmı taşınım ve ışıınım yoluyla gerçekleşmektedir. Üst kısımdan taşınım ile ısı kaybı, saydam kapak üzerindeki rüzgâr hızından etkilenmekte ve rüzgâr hızı sistem performansına olumlu ve olumsuz etki yapabilmektedir.

Çevre sıcaklığı, damıtıcının verimliliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Sıcaklık ne kadar yüksekse, verim de o kadar yüksek olur. Al-Hinai vd. (2002), çevre sıcaklığının 10°C artırılmasının sistem verimini %8,2'ye kadar artırabileceğini göstermişlerdir. Bu nedenle, damıtıcının gölge olmayan ve yüksek çevre sıcaklığına sahip bir yerde konumlandırılması uygun olacaktır.

Toz ve bulut örtüsü, güneş enerjili damıtma sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Havada bulunan toz partikülleri, şeffaf kaplamanın yüzeyine yerleşebilir ve suya ulaşan güneş ışınlarının miktarını azaltarak damıtıcının verimini düşürebilir. Öte yandan, bulut örtüsü, gelen güneş ışınlarını engeller veya dağıtır, bu da azalan güneş enerjisi girişi ve daha düşük verimlilikle sonuçlanır. Bu nedenle, şeffaf kaplama üzerinde toz birikimini en aza indirmek ve yerel hava koşullarını, özellikle bulut örtüsünü dikkate almak, güneş enerjili damıtma sistemlerinin performanslarını optimize etmek için tasarım ve işletme aşamasında önemlidir. El-Nashar (2009), yaptığı deneysel çalışma ile vakumlu tüplerin üzerinde toplanan tozun sistem verimliliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yaz aylarında camın ışıınım geçirgenliğinin %10, kış aylarında ise %6 azaldığını rapor etmiştir. Bununla birlikte, temizlenmediğinde, kollektörün yıllık olarak geçirgenliğinde %70 azalma olduğu bildirilmiştir. Hegazy (2001), düzlemsel güneş kollektörlerinin cam kapakları üzerinde

biriken tozun güneş geçirgenliği üzerindeki etkisini deneylerle incelemiştir. Toz birikiminin artmasıyla birlikte geçirgenliğin önemli ölçüde azaldığını belirtmiştir.

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinin tasarımında, bazı önemli parametreler dikkate alınmalıdır. Sistem tasarım parametreleri, güneş enerjili su damıtma sistemlerinin verimliliği ve performansı üzerinde etkili olan faktörlerdendir. Bu parametreler arasında havuzdaki tuzlu suyun yüksekliği, saydam cam örtünün kalınlığı ve eğimi gibi faktörlerdir. Bu tasarım parametreleri, güneş enerjili su damıtma sisteminin verimliliğini etkileyen önemli faktörlerdir ve optimum tasarım için, bu parametrelerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir. Çeşitli deneysel ve teorik araştırmalar, güneş enerjili su damıtıcılarının çeşitli tasarım yönlerini keşfetmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, farklı tasarım parametreleri ve yapılandırmalarını inceleyerek güneş enerjili su damıtıcılarının performansını ve verimliliğini optimize etmeyi hedeflemiştir.

Güneş enerjili su damıtıcılarının tasarımı ve performansı üzerine birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan güneş enerjili su damıtıcı tipi, havza tipi güneş enerjili damıtıcılardır. Havza tipi güneş enerjili damıtıcılar, kapak tasarımlarına göre çeşitli tiplere dönüştürülmüştür. Bunlar arasında tek eğimli, çift eğimli, V şeklinde ve yarı küresel tasarımlar yer almaktadır (Lindblom, 2003; Deniz, 2015). Garg ve Mann (1976), tek eğimli ve çift eğimli güneş damıtıcıları üzerinde iklimsel, tasarım ve işletme parametreleri üzerine bir araştırma yaptılar ve tek eğimli güneş damıtıcılarının çift eğimli havzalardan daha yüksek güneş ışımasını aldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle tercih edilen damıtıcı tipinin tek eğimli bir tür olmasını tavsiye etmişlerdir (Sarkar vd., 2017).

Damıtma sistemlerinde tuzlu su derinliği veya tuzlu su tabakasının derinliği, sistem verimini etkileyen önemli bir parametredir. Suyun buharlaşma oranı, güneş enerjili damıtıcının havza kısmındaki su derinliği ile ters orantılıdır. Daha düşük su derinliği ısınan kütle miktarını azalttığından dolayı su daha hızlı ısınarak yüksek bir ısı transfer katsayısına sahip olmaktadır ve dolayısıyla daha yüksek buharlaşma oluşmaktadır (Kalidasa vd., 2008). Phadatare ve Verma (2007) havzadaki su derinliğinin düşürülmesinin gün boyunca su üretiminde ekstra bir artış sağlayacağını belirtmişlerdir.

Çünkü, havzadaki su derinliğinin artması, suyun özgül ısı kapasitesini de artırmaktadır. Buda daha geç ısınmalara ve buharşalmaya neden olmaktadır. Sonuç olarak suyun miktarının artması halinde sistem verimi düşmektedir (Dev ve Tiwari, 2009). Özellikle, bu konuda damıtma sistemlerinde birçok benzer çalışma mevcuttur. Havzadaki su derinliği dolayısıyla kütesinin az olduğu damıtma sistemlerinde su sıcaklığı daha fazla artacağından, buharlaşma daha fazla olacaktır. Hindistan iklim koşulları altında farklı havza su derinliklerinde (2cm ile 10cm arasında) Agrawal vd. (2017), tek eğimli havza tipi bir güneş enerjili su damıtma cihazının deneysel/teorik üretkenliği ile ısı transfer katsayıları arasındaki korelasyonu araştırmışlardır. 2 cm ve 10 cm havza suyu derinliği için günlük verimin deneysel ve teorik değeri sırasıyla %41,49 - %52,83 ve %32,42 - %41,49 civarında olmuştur. Araştırmacılar, günlük verimliliğin su derinliği ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Cam örtünün eğim açısı, damıtıcıyı optimize etmek için basit bir yaklaşımdır ve bir güneş enerjili su damıtıcısı tasarlanırken her zaman dikkate alınmalıdır. Örtü eğim açısının etkisini inceleyerek en iyi tasarımı elde etmek için çeşitli güneş enerjili su damıtıcı konfigürasyonları üzerinde birçok deneysel ve teorik araştırma yapılmıştır (Sharshir vd., 2017). Akash vd. (2000), 15°, 25°, 35°, 45° ve 55° gibi çeşitli açılar için güneş enerjisi damıtma cihazının deneysel bir analizini yapmış ve en iyi üretkenliğin Mayıs ayında Ürdün'de 35° açıyla elde edildiğini bildirmiştir. Singh ve Tiwari'ye (2004) göre, yoğunlaşmalı cam kapağın eğimi konumun enlemine eşit olduğunda yıllık üretim en fazladır. Samee vd. (2007), Islamabad'daki Pieas'ta deneyler için basit bir tek havuzlu güneş enerjili damıtma sistemi tasarlamışlardır. Deneylerinde cam kapağın açısı 33,3 derece olarak belirlenmiştir. Temmuz 2004'teki 8 günlük veri analizi sonucunda, 0,54 m²'lik bir havuz alanı için damıtma sisteminin ortalama günlük su üretimini 1,7 L/gün olarak tespit edilmiştir. Bu tür güneş enerjili damıtma sistemlerinin kırsal toplulukların temiz su ihtiyacını karşılamak için kullanılmasının uygun olduğu önerilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, optimum performansı elde etmek için cam kapağın eğim açısı enlem açısının $\pm 10^\circ$ 'una eşit olmalıdır (Khalifa, 2011; Singh vd., 2021).

Güneş enerjili su damıtma sistemleri için cam, güneş ışınlarını yüksek geçirme özelliğinden dolayı sistemler için uygun bir malzemedir. Cam aynı zamanda uzun

ömre sahiptir ve kolaylıkla kapak üstü ve altında sıcaklık farkı oluşturabilmektedir. Bu sayede yoğuşma için uygun ortam oluşmaktadır. Ghoneyem ve Ileri (1997) araştırmalarında, 6 mm cam kalınlığına kıyasla 3 mm cam kalınlığının kullanılması durumunda %16,5 daha fazla üretimin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, cam kalınlığı 4 mm'den küçük veya eşit tutulmasını tavsiye etmişlerdir. Dimri ve arkadaşları, 2008 yılında saydam cam örtü kalınlığının ve farklı yoğuşmalı örtü malzemelerinin etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Üst kayıp katsayısındaki azalma nedeniyle cam kapak kalınlığının artmasıyla günlük verimin azaldığını belirtmişlerdir. Camın yoğuşmalı kapak olarak kullanılmasının güneş enerjili damıtma için en iyi performans gösteren malzeme olduğunu öne sürmüşlerdir.

Sivakumar vd. (2016), tek eğimli güneş enerjili damıtma sisteminin teorik analizini yapmış ve havuzun ve cam kapağın ısı kapasitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma, havuz ve cam için ısı kapasitesinin azalmasının, toplam verimde %10,38 artışa ve havuzun ve camın ekserji yıkımında sırasıyla %7,53 ve %15,84 azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, ısı kapasitesinin verimlilik üzerinde ters etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

Güneş enerjili su damıtma havuzlarında kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça, havuz içinde kaybolan enerjinin miktarı azalmaktadır. Bu da daha yüksek günlük verim değerlerine imkân verecektir. Ancak, yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması maliyetleri de arttırabilir ve böylece daha yüksek maliyetlerle elde edilen daha yüksek verim değerleri arasında bir denge bulunması gerekebilir. Bundan dolayıdır ki, sistemlerde optimum yalıtım malzemesi kalınlığının kullanılması daha doğru olacaktır. Hatta, belirli bir kalınlıktan sonra sistemlerde kullanılan ısı yalıtımı arttırılmaya devam edilse de verim değerleri değişmemektedir (Dwivedi ve Tiwari, 2009; Sathyamurthy vd., 2017). Khalifa ve Hamood (2009), havzalı güneş enerjili su damıtıcılarının verimliliği üzerinde yalıtım malzemesinin kalınlığının etkisini araştırmışlardır. 30, 60 ve 100 mm yalıtım kalınlığına sahip damıtıcıları test etmişler ve sonuçları yalıtımsız damıtıcılarla yapılan çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Yalıtım kalınlığının, belirli bir noktaya kadar büyük bir rol oynadığını bildirmişler ve 60 mm kalınlığında verime etkisinin %80'e yakın olduğunu bildirmişlerdir. Al-Karaghoulı ve Alnaser (2004), temiz su elde etmede yan yüzeylerin yalıtılmasının sistem

performansına etkisini incelemek amacıyla tek ve çift havzalı güneş enerjili damıtıcılar ile bir deney gerçekleştirmişlerdir. Yan yüzeylerdeki yalıtımın özellikle çift havzalı tipte önemli ölçüde faydalı olduğunu bildirmişlerdir.

Güneş enerjili su damıtıcısının üzerine ulaşan güneş ışınım şiddetini artırmak için iç ve dış yansıtıcılar eklemek, damıtma verimliliğini arttırabilir (Bataineh, ve Abbas, 2020). Tanaka ve Nakatake (2006) tarafından yapılan teorik analize göre, iç ve dış yansıtıcılar eklenerek damıtma çıktısı %48'e kadar artırılabilir. Hiroshi Tanaka, Japonya'da iç ve dış yansıtıcılarla desteklenmiş bir havuz tipi su damıtıcı üzerinde kış mevsiminde deneysel bir analiz de yapmışlar ve yapılan analizlerde benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Tanaka, 2009). Al-Hayeka ve Badran (2004), farklı güneş enerjisi damıtıcı tasarımlarının su damıtma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Güneş enerjili su damıtıcıların iç duvarlarında yansıtıcı kullanılmasıyla üretilen damıtılmış su miktarını artıracaklarını belirtmişlerdir. Tanaka (2010), güneş enerjili damıtma sistemlerinin verimliliği üzerine bir sayısal modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, damıtma sistemine iç ve dış yansıtıcıların eklenmesiyle üretkenlikteki değişim araştırılmıştır. Araştırmacı, dış ve iç reflektörlerin eğim açısının 25°'den daha az olması gerektiğini ve cam kapağın uygun değer eğim açısının mevsime bağlı olarak 10°-50° aralığında olması gerektiğini bildirmiştir. Ayrıca, cam kapağın eğim açısının 10°, 30° ve 50° olduğu, dış bölgede kullanılan yansıtıcı ayna boyutunun damıtma sisteminin yarısı kadar olduğu durumlar için, eğimli dış yansıtıcı ve iç yansıtıcıya sahip bir güneş enerjili damıtma sisteminin bir geleneksel havza tipi damıtma sistemine kıyasla yıl boyunca ortalama günlük damıtma miktarında %29, %43 ve %67 artış olduğu belirtilmiştir. Boubekri ve Chaker (2011), iç ve dış yansıtıcıların kullanıldığı tek bir havuzlu güneş enerjili damıtma sistemi üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Dış yansıtıcının yaz aylarında geriye doğru, diğer mevsimlerde ise ileriye doğru eğilerek damıtma verimini artırmanın mümkün olduğu ifade edilmiştir. Khalifa ve Ibrahim (2009), havza tipi bir güneş enerjili su damıtma cihazındaki reflektörlerin performans etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Dâhili yansıtıcı kullanmanın, yansıtıcı kullanılmayan sisteme kıyasla günlük üretkenliği %19,9 arttırdığını bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada, Abdallah vd. (2014), tek eğimli güneş enerjili damıtıcıya iç yansıtıcı aynaların takılmasını önermişlerdir. Geleneksel bir güneş enerjili damıtıcıya kıyasla verimin yaklaşık %30 arttığını

bildirmişlerdir. Abdullah vd. (2020), güneş enerjili damıtıcı (TSS) tepsilerinin yeni tasarımı üzerine deneysel ve teorik bir araştırma sunmuş ve geleneksel sistemle karşılaştırmışlardır. Buharlaştırma yüzeyini ve güneş ışınlarına maruz kalan alanı artırmak için iç taraflara kanallar eklemişlerdir. Ayrıca, güneş enerjisi girdisini artırmak için iç ve dış yansıtıcılar kullanmışlardır. Yazarlar, dahili aynalı TSS'nin geleneksel güneş enerjili damıtma cihazından (CSS) %58 daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir. CSS ve TSS günlük üretiminin yaklaşık 2,2 ve 4,8 L/m² olduğunu ve ısı verimliliğinin sırasıyla %34 ve %41 olduğunu bildirmişlerdir. CSS ve TSS, sırasıyla 0,028 ve 0,021 \$/L maliyetle tatlı su ürettiğini belirtmişlerdir.

Güneşi takip etmek, damıtıcı üzerine düşen güneş ışınımını artırmak için en iyi yol olarak bilinmektedir. Güneş takip sistemi kullanıldığında, damıtma verimliliği önemli ölçüde artacaktır. Ancak, bu sistemi bütün damıtıcılara uygulamak mümkün değildir. Güneş takip sistemleri, özellikle güneş paneli sistemlerinde ve bazı termal güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmaktadır. Ancak, küçük ölçekli güneş enerjili sistemlerde maliyet, kurulum zorluğu veya teknik kısıtlamalar nedeniyle güneşi takip etmek mümkün olmamaktadır. Küçük ölçekli hareketsiz sistemlerde güneşin en yüksek verimle enerji topladığı açıyı hesaplamak ve damıtıcıları buna göre konumlandırmak son derece önemlidir (Kabeel ve El-Aghouz, 2011). Jafari Mosleh vd. (2015), vakum tüpü ve ısı borsunu, parabolik oluk tipi bir kollektörde birleştirerek, güneş takip sistemi ile birlikte kullanmıştır. Kullanılan sistemden maksimum verim elde edildiği belirtilmiş ve en yüksek verimliliğin %62,5'ye ulaştığı ifade edilmiştir. Güneşi takip etmek damıtma verimliliğini artırmak için etkili bir yöntem olabilir. Ancak, uygulamalar maliyet, yerel koşullar ve teknik gerekliliklere bağlı olarak değişebileceğinden bazı güneş enerjili damıtma sistemleri için uygulanabilir olmayabilir.

Güneş enerjili su damıtıcılarında ısı enerjisini depolamak için bazı enerji depolama malzemeleri kullanılır. Siyah lastik, çakıl taşı, metal tel süngerleri ve yüzey katkı maddeleri kullanılan enerji depolama malzemelerinden bazılarıdır. Bunlara ek olarak, faz değiştiren maddelerde sistemde enerji depolamak amacıyla kullanılabilirler (Sarkar vd., 2017).

Sakthivel ve Shanmugasundaram (2008), ısı depolama malzemesi olarak siyah granit çakıl kullanılan havuz tipi güneş enerjili su damıtma sisteminin performansını analiz etmek için deneysel ve matematiksel modelleme çalışması yapmışlardır. Çalışmaları, modifiye edilmiş damıtma cihazının üretkenlik ve verimlilik değerlerinin sırasıyla %17 ve %8 oranında geleneksel bir damıtma cihazına kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Arjunan ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları deneysel çalışmada, aynı iklim koşulları altında enerji depolama malzemelerinin üretkenlik üzerindeki etkisini araştırmak için 0,5 m² etkin alanı olan iki benzer güneş enerjili su damıtma sistemi kullanmışlardır. Çalışmada, siyah granit çakılın tatlı su üretimini %9,7 ve ısı verimliliği %19 oranında arttırdığı bildirilmiştir. Panchal ve arkadaşları (2018), teorik ve deneysel olarak iki farklı ısı enerjisi depolama malzemesi olan kumtaşları ve mermer parçaları kullanarak güneş enerjili su damıtma sisteminin performansını incelemiştir. Kumtaşlarını ve mermer parçalarını damıtma sisteminin havuzunda ısı depolama malzemesi olarak kullanılmasının, günlük verimi sırasıyla %30 ve %14 artırdığını bildirmişlerdir. Kabeel ve arkadaşları (2017), ısı depolama malzemesinin jüt bezine sarılarak kullanıldığı geleneksel güneş enerjili damıtma sisteminin verimliliğini artırmaya yönelik deneysel bir araştırmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Isı depolama malzemesinin kullanıldığı durumda verimlilik ve su havzası sıcaklığının geleneksel tek eğimli güneş enerjili damıtma sistemine kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinde performansa etki eden bir diğer faktör ise operasyonel faktörlerdir. Operasyonel faktörler; güneş enerjili damıtma sistemlerinin verimliliğini etkileyen işletme ve işletim koşullarını içermektedirler. Bu faktörler, sistemin doğru şekilde çalıştırılması, bakımının düzenli olarak yapılması, soğutucu su kullanımı, suyun konsantrasyon ayarı ve uygun işletim prosedürlerinin takip edilmesini içerir.

Suların tuzluluk oranı arttıkça, buharlaşma hızları tatlı sulara göre daha az olmaktadır. Çünkü, erimiş tuzlar suda bulunur ve buhar basıncını düşürerek buharlaşma miktarını önemli oranda azaltmaktadır. Bu nedenle, tuzlu su kullanılan damıtma sistemlerinde verim daha düşüktür ve suyun tuzluluk oranı arttıkça, sistem verimi de doğrusal olarak düşmektedir. Hough (2006) tarafından yapılan çalışmalarda da bu durum

desteklenmiştir. Akash ve arkadaşları (2000), bir damıtıcının verimliliği üzerinde tuz konsantrasyonunun etkisini incelemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişler ve yüksek konsantrasyonun verimlilikte bir azalmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Nanopartiküller, su yüzeyinde dağılarak güneş ışınlarının daha etkin bir şekilde emilmesini sağlayarak buharlaşma sürecini hızlandırırlar. Bu maddelerin kullanımı, damıtma verimini ve damıtılan su miktarını artırabilir. Elango T vd. (2015), farklı konsantrasyonlardaki çeşitli çinko, alüminyum, kalay ve demir oksitlerinin nanopartiküllerini kullanarak güneş enerjili damıtma sisteminin performansını deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, nano-akışkanlarla desteklenen güneş enerjili damıtma sistemlerinin verimliliklerinin arttığını ve alüminyum oksitli (Al_2O_3) güneş enerjili damıtma sistemi veriminin, nano-akışkan kullanılmayan aynı damıtma sistemine kıyasla yaklaşık %30 artışla en yüksek verimi sağladığını rapor etmişlerdir. Gupta vd. (2016a) yaptıkları deneysel araştırmada, güneş enerjili su damıtıcısının performansı, değişen su derinliğine nanopartiküllerin eklenmesiyle iyileştirilmesini incelemişlerdir. Çalışmada, geleneksel pasif güneş enerjili su damıtıcısına kıyasla performansın arttığını bildirmişlerdir.

Kabeel vd. (2014), bir dış yoğuşurucu ile desteklenmiş tek bir havuzlu güneş enerjili damıtma sisteminin performansını artırmak için Al_2O_3 nanopartiküllerinin havuz suyuna eklenmesiyle ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, damıtma sisteminde verimliliğin, nanopartiküllerin havuz suyuna eklenmesiyle %16 oranında artırılabilceğini bildirmişlerdir. Sharshir vd. (2017a), grafen nanopartiküllerini suya eklemiş ve damıtıcı veriminde %50,28'lik bir iyileşme elde edildiğini belirtmişlerdir. Nanopartikül katkı maddeleri, güneş enerjili su damıtıcısı tasarımlarında yenilikçi bir yaklaşım olabilir. Ancak, katkı maddelerinin etkinliği ve uzun vadeli etkileri üzerinde daha fazla araştırma ve değerlendirme gerekmektedir. Ayrıca, nanopartiküllerin çevresel etkileri ve toksisite gibi faktörleri de dikkate alınmalıdır.

Güneş enerjili su damıtıcısının performansını artırmak için kullanılan bir yöntem de suyun renklendirilmesidir. Suyun rengini değiştirerek, güneş ışınımının daha büyük bir kısmı emilir. Çünkü renkli su, berrak suya göre daha yüksek bir emilim katsayısına

sahiptir. Bu, havzanın alt yüzeyinin daha etkili bir şekilde ısıtılmasına ve buharlaşma ve damıtma süreçlerinin daha verimli olmasına yol açar (Sarkar vd., 2017).

Güneş enerjili damıtıcılarda verimliliğin bağlı olduğu bir diğer özellik ise su ve cam örtü arasındaki sıcaklık gradyanıdır. Sıcaklık gradyanı, damıtma süreci için önemli bir işleve sahiptir. Sıcaklık farkı arttıkça yoğunlaşma miktarı artacağından sistem daha verimli olmaktadır (Velmurugan ve Srithar 2011). Abu-Hijleh (1996), tek havzalı damıtma sisteminde cam kapağın su filmiyle soğutulmasının sistem verimliliğine olan etkisini teorik olarak incelemiştir. Cam kapağın sıcaklığı, cam üzerinde sürekli olarak akan bir soğutma suyu filmi ile düşürülmüştür. Farklı çalışma koşullarında su filmi ile cam yüzeyinin soğutmasının etkinliği rapor edilmiştir. Soğutma suyunun bir kısmı, cihazın verimliliğini daha da artırmak için cihaza yeniden besleme suyu olarak geri bırakılmaktadır. Araştırmacı, uygun su filmi soğutma parametrelerinin cihazın verimliliğini %6 oranında arttırabileceğini belirtmiştir. Ancak, uyumsuz soğutma kombinasyonlarının sistem verimliliğinde önemli azalmalara neden olabileceğini belirtmiştir. Al-Garni (2014), harici bir soğutma fanı kullanan güneş enerjili damıtma sistemini deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca, 25°, 30°, 35° ve 40° cam kapak açılımlarına sahip dört adet tek eğimli güneş enerjili su damıtma cihazının test edildiğini ve en yüksek üretkenliği sağlayan 35°'lik yatay eğim açısıyla elde edildiğini belirtmiştir. Rüzgâr hızı 7m/s ve 9m/s olan bir fan kullanarak dış cam yüzeyini soğutulduğunda, damıtma sisteminde üretkenliğin sırasıyla %5,2 ve %10,3 artırdığını vurgulamışlardır. Gupta ve arkadaşları (2016b) su püskürtme düzeneği kullanarak modifiye edilmiş güneş enerjili su damıtma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sistemden biri referans olacak şekilde geleneksel tasarıma sahip, diğeri ise su püskürtme düzeneği içeren modifiye tasarıma sahip olan iki benzer güneş enerjili su damıtma sisteminden oluşmaktadır. Su damıtma sistemleri güneş ışınlarına maruz bırakılmış ve su buharlaşma hızı, yoğunlaşma hızı ve genel su üretimi gibi performans parametreleri ölçülerek iki sistem karşılaştırılmıştır. Nisan ayında Hindistan'ın Jabalpur şehrinde, 5 cm su derinliği için modifiye edilmiş ve geleneksel tek eğimli güneş enerjili damıtma sistemlerinde deneyler yapılmıştır. Geleneksel güneş enerjili damıtma sisteminde 2940 mL ve modifiye edilmiş güneş enerjili damıtma sisteminde 3541 mL damıtılmış su elde edilmiştir. Bu modifikasyonlar sayesinde tek eğimli güneş

enerjili damıtma sisteminin su üretimi %20 artmıştır. Genel verimlilik değerinin ise, geleneksel güneş enerjili damıtma sistemine göre %21 arttığı bildirilmiştir.

Damıtma sistemine etkileyen faktörleri daha da artırmak mümkündür. Sisteme monte edilen her bir materyal damıtılan su miktarını olumlu veya olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden kullanılacak malzemelerin seçimleri yapılırken çevresel etkiler ve operasyonel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde yoğuşma ve buharlaşma hızı ve dolayısıyla da üretkenliğin, cam ile su arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak artırılacağı bilinmektedir. Abu-Hijleh ve Mousa (1997), cam kapağın su filmi ile soğutulmasının tek eğimli havuz tipi su damıtma sistemi performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, damıtma sistemi verimliliğinin %20'ye kadar arttığını göstermiştir.

El-Sebaai ve arkadaşları (2000), tuzlu suyun sıcaklığını artırmak ve dolayısıyla suyun buharlaşması için gereken süreyi azaltmak amacıyla su yüzeyinde yüzen bir metal plakanın kullanımını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Günlük damıtılan su miktarında normal bir damıtma sistemine kıyasla yaklaşık %20'lik bir iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir.

Badran (2007), farklı işletme parametreleri kullanılarak tek eğimli güneş enerjili damıtma sisteminin üretkenliğini tahmin etmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Havuz yüzeyinde ışınımı daha fazla absorbe etmek için havza astarı olarak asfalt kullanmıştır. Bu damıtma sisteminden elde edilen su miktarında %29'luk bir iyileşme sağlamıştır. Ayrıca, su püskürtme mekanizması eklenerek geliştirilen sistemin havzasında asfalt astarının birlikte kullanılmasının verimliliği %51'e varan oranlarda arttırdığı ifade edilmiştir.

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinde buharlaşma ve yoğuşma süreçlerini artırmak için birçok girişimde bulunulmuştur. Hidouri ve arkadaşları (2010), bir ısı pompasını kullanarak buharlaşma ve yoğuşma hızlarını artırmak ve havuz tipi güneş enerjili damıtma sisteminin performansını iyileştirmek amacıyla teorik ve deneysel bir

araştırma sunmuşlardır. Isı pompasının yoğuşturucusu havuz suyuna batırılmış ve buharlaştırıcı eğimli cam kapağa yakın konumlandırılmıştır. Isı pompasının kullanılmasıyla günlük üretim miktarının 10 L/m², ortalama verimliliğin ise %60 arttığı tespit edilmiştir.

Sharshir vd.(2017b), farklı konsantrasyonlarda grafitle ve bakır oksitli iki nano-tanecik kullanarak güneş enerjili damıtma sisteminin performansını artırmak için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Özellikle cam kapağın soğutulmasıyla modifiye edilmiş damıtma sisteminde günlük verimlerde grafit için yaklaşık %49, bakır oksit için ise, yaklaşık %46 iyileşme olduğunu bildirmişlerdir.

El-Sebaai ve El-Naggar (2017), farklı malzemelerden yapılmış kanatçıklı havuz kaplamalarına sahip güneş enerjili su damıtma cihazlarının performansı üzerine teorik ve deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Sonuçlar, geleneksel güneş enerjili su damıtma sisteminde günlük üretkenliğin kanatlı kaplama kullanımında yaklaşık %16 oranında artırılabilirdiğini göstermiştir. Bununla birlikte, kanat malzemesinin damıtma sisteminin performansı üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmada, kanatçıkların yüksekliği arttıkça kanatçık plakalı damıtma sisteminin verimliliğinin arttığı, buna karşılık kanatçıkların kalınlığı ve sayısının artmasının verimliliğe olumsuz etki yaptığı belirtilmiştir. Araştırmacılar CSS'nin ısı performansının, damıtma sisteminin hazne yüzeyine kanatçıkların yerleştirilmesiyle iyileştirilebileceğini bildirmişlerdir.

Feilizadeh vd. 2017 yılındaki çalışmalarında, tek eğimli havuz tipi güneş enerjili damıtma sisteminin verimini teorik ve deneysel olarak araştırdıkları belirtilmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında, damıtma sisteminin boyutlarının üretim verimine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, damıtma sisteminin ön ve arka duvar yüksekliğinin artmasıyla üretim hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, sistemin havza uzunluğunun artırılmasıyla üretim hızının artabileceği ifade edilmiştir. Bu demektir ki, cihazın uzunluğu optimum düzeyde olduğunda, yani optimal uzunluk-genişlik oranı 2.5 olduğunda, sistemden en iyi verimin alınabileceği ifade edilmiştir.

Khechekhouche vd. (2017), Cezayir’de havuz tipi güneş enerjili damıtma cihazının mevsimsel değişimlerinin üretkenlik üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan gözlemlerde, hava koşullarının cihazın üretkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yaz aylarında günlük üretkenlik 1127 mL iken, kış aylarında ise 119 mL olarak bulunmuştur.

2017 yılında Haddad vd. (2017) çalışmalarında, tek eğimli güneş enerjili damıtma sisteminin üretkenliğini artırmak için dikey dönen fitil sistemini (VRW) damıtma sistemi içerisinde kullanmışlardır. Dikey dönen fitil sistemi, damıtma sisteminin arka tarafına bağlanmıştır. Deneysel sonuçta tatlı su üretiminde %51,1 artış olduğunu bildirilmişlerdir.

Kumar ve arkadaşları (2016), bir döner kanatçık ve harici yoğuşturucu entegrasyonu yoluyla performansı artırmak için çırpma etkisini kullanan tek havzalı güneş enerjili damıtma sisteminde iyileştirmeler yapmışlardır. Bu çalışmada amaç, suyun yüzey sınır tabakasını bozarak hava ile su arasındaki temas yüzeyini genişletmektir ve bunun için çırpma etkisinden yararlanılmaktadır. Araştırmacılar, çırpma etkisini kullanan sistemde damıtılmış su üretiminin geleneksel damıtma sistemine kıyasla yaklaşık %39,49 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Omara vd. (2017) çalışmasında, geleneksel güneş enerjili damıtma sistemi içinde suyun hareket ettirilmesinin etkisini değerlendirmek için bir su fanı ve rüzgâr türbini sistemini damıtma sistemine entegre etmiştir. Bu çalışmada amaç, suyun hareket ettirilmesiyle damıtma sisteminin verimliliğini artırmaktır. Araştırmacı gerçek ortam koşullarında bu entegre sistem üzerinde deneysel çalışmalar yapmış ve elde ettiği sonuçları bildirmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, geleneksel güneş enerjili damıtma sisteminin verimliliği su fanı ve rüzgâr türbini sistemiyle birlikte %17 oranında artmıştır. Ayrıca, günlük verimlilik %39,8 olarak hesaplandığı ifade edilmiştir.

Joy ve arkadaşları (2018), güneş enerjili damıtma sistemine kabarcıklenme etkisi verebilecek bir hava üfleyici ekleyerek sistemin üretkenliğini artırmayı hedeflemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, geleneksel güneş enerjili damıtma sisteminin verimliliği %32 iken, bir hava üfleyici kullanarak bu verimliliği %65’e kadar artabileceği bildirilmiştir.

Elbar vd. (2019) yaptıkları çalışmada, güneş enerjili damıtma sistemine fotovoltaik modül (PV) ile yeni bir enerji entegrasyonun, ekserji, eksergoekonomik ve çevrelekserji değerlendirmelerini yapmışlardır. Bu yeni entegrasyon, PV modülünün güneş enerjili damıtmanın arka tarafına yerleştirilmesine dayanmaktadır ve elektrik çıkış gücü doğrudan ısıya dönüştürülerek havzadaki tuzlu suyu ısıtmaktadır. Bu entegrasyonun başlıca avantajı, güneş enerjili damıtma için kullanılan alandan daha fazla bir alana ihtiyaç duymamasıdır. Ayrıca, bu entegrasyon, PV'yi yansıtıcı olarak kullanarak yansıyan güneş enerjisini damıtma havzasına iletmektedir. Yapılan çalışmada dört güneş enerjili damıtma sistemi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır: geleneksel güneş enerjili damıtma (CSS), fotovoltaik modülle güneş enerjili damıtma (CSS+PV), PV ve siyah çelik yünü elyafları içeren güneş enerjili damıtma (CSS+PV+BSWF) ve sadece yansıtıcı olarak kullanılan PV ile güneş enerjili damıtma (CSS+PV yansıtıcı). Önerilen sistemler için deneyler Mısır'ın İskenderiye şehrinin yaz mevsiminde iklim koşullarında gerçekleştirilmiştir. CSS+PV, CSS+PV+SF ve CSS+PV yansıtıcı sistemleri güneş enerjili damıtma sistemine dahil edildiğinde, geliştirilmiş damıtma sistemlerinde enerji verimliliğinin sırasıyla CSS'ye göre %10, %31,48 ve %43,16 arttığını bildirmişlerdir.

Mohaisen ve arkadaşları (2021), bir yoğuşma odası eklemenin pasif güneş enerjili su damıtma cihazlarının üretkenliği üzerindeki etkisini belirlemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Yoğuşma odası için, galvanizden yapılmış ve dahili bir soğutucu görevi gören bir yoğuşturucu duvarı yapmak için bir güneş ışınım kalkanı kullanmışlardır. Yeni tasarımın, üretkenliği yaklaşık %30 arttırdığını ve günlük tatlı su üretiminin $4,53 \text{ kg/m}^2$ olduğunu bildirmişlerdir.

Güneş enerjisiyle çalışan damıtma sistemlerinin verimlilik, enerji ve ekserji verim değerleri, diğer güneş enerjisi sistemlerine göre düşüktür. Geçmişten günümüze, güneş enerjili damıtma sistemlerinin üretkenliğini ve verimini artırma amacıyla birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, sistemlerin daha yüksek üretkenlik ve verim sağlaması için yeni teknolojiler, malzemeler ve tasarım yöntemleri kullanılmıştır. Günümüzde de damıtma sistemlerinde iyileştirmeler yapılmaya devam etmektedir. Bütün çalışmalarda ortak hedefin, güneş enerjili damıtma sistemlerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesinin olduğu belirtilebilir.

Çizelge 2.1’de çeşitli çalışmalar neticesinde elde edilen veriler karşılaştırılarak, sistemlerin performanslarındaki değişimlerin gösterildiği bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Güneş enerjili damıtıcılar konusunda yapılan bazı çalışmalar

Modifikasyonlar	Günlük Üretkenlik	Üretim Artışı	Enerji Verimliliği	Ekserji Verimliliği	Kaynak
Su derinliği 1 cm Su derinliği 2,5 cm	1,485 kg 0,92 kg		%30,96 %19,21	%3,48 %1,81	(Vaithilinga ve Esakkimuthu 2015)
Geleneksel Su fiskiyeli	2,940 L/m ² 3,541 L/m ²	- %20	- -	- -	(Gupta.vd, 2016b)
Geleneksel Havza içi su fanı ve rüzgar türbini	- -	- %17	%36,7 %39,8	- -	(Omara vd., 2017)
Konvansiyonel Titreşim etkisi kullanımı	0,595 kg 0,830 kg	- %39,49	%27,17 %30,57	- -	(Kumar vd., 2016)
Şeffaf yan duvarlı Şeffaf yan duvarlı sistemde çoklu fitil	3,2 L/m ² 4,22 L/m ²	 %31	%18,16 %26,89	%4,28 %5,31	(Pal ve Dev, 2019)
Geleneksel Dikey kanatlı Eğimli kanatlı	1,873 L/m ² 2,322 L/m ² 2,375 L/m ²	 %24,19 %26,77			(Panchal vd., 2020)
Geleneksel system Havzada Kanatçık kullanımı	3,75 kg/m ² 5,08 kg/m ²	- %35	%24,93 %32	%1,69 %2,81	(Vaithilinga m vd., 2022)
Geleneksel Yoğuşmada kanatçık kullanma	4,539 L/m ² 4,705 L/m ²	- %5	%44,09 %45,70	- -	(Mohaisen vd., 2021)
Geleneksel Dairesel seramik mıknatıslı Dikdörtgen seramik mıknatıslı	2,15 kg/m ² 2,82 kg/m ² 3,15 kg/m ²	- %23,7 %31,7	%22,7 %23,2 %24,4	%2,4 %2,8 %2,9	(Dhivagar vd., 2022)

Çizelge 2.1’de sunulan çalışmalara bakıldığında, tek eğimli güneş enerjili damıtıcılarda farklı uygulamaların üretkenlik, enerji verimliliği ve ekserji verimliliği değerlerindeki iyileştirmenin sırasıyla %5 ile %40, %18 ile %45,7 ve %1,69 ile %5,31 arasında değiştiği görülebilir.

2.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE TERMOELEKTRİK ELEMENLARIN KULLANIMI

Termoelektrik malzemeler , ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen ve tam tersi şekilde elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürebilen malzemelerdir. Bu etki, 1823 yılında Seebeck tarafından fark edilmiş ve 1834 yılında ise Peltier tarafından fark edilen ters etki olarak bilinmektedir. Bu özellikleri nedeniyle termoelektrik malzemeler, soğutucu, ısıtıcı ve jeneratör gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Tohidi vd., 2022).

Son yıllara bakıldığından, güneş enerjili su damıtma sistemlerinin performanslarını artırmak için termoelektrik cihazlar kullanılarak yapılan araştırmaların olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmaların amacı, termoelektrik teknolojisini güneş enerjili su damıtıcılarda ısıtma, soğutma ve elektrik üretme yeteneklerini kullanarak üretkenliği arttırmak olmuştur.

Esfahani ve ark. (2011), yeni bir tip taşınabilir termoelektrik modüllü (TEM) güneş enerjili damıtma sistemi tasarlamış ve deneysel olarak bu sistemi incelemişlerdir. Su verimliliğini artırmak için bir termoelektrik soğutma cihazının (TEC) kullanıldığını, kış aylarında maksimum verim değerinin %13 olduğunu ve günlük ortalama verimlilik değerinin ise 1,2 L/m² olduğunu bildirmişlerdir.

Rahbar ve Esfahani. (2012), bir TEC’in güneş enerjisi damıtıcıda yoğuşma hızı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. TEC’i bir güneş enerjili damıtıcısının üzerine yatay olarak yerleştirmişler ve sıcak tarafını bir ısı borusuna bağlamışlardır. Deneyle sırasında güneş enerjili damıtıcının maksimum günlük veriminin %7 olduğunu bildirmişlerdir.

Rahbar ve ark. (2016), TEM'leri yeni tasarımlarında üretim hızı üzerindeki peltier etkisini deneysel olarak analiz etmişlerdir. Cam kapağın yüzeyinde yoğuşan ve TEC soğutma yüzeyinde yoğuşan çıkış sularının miktarlarını karşılaştırmışlardır. Sistemin enaz ve ençok günlük su üretkenlik değerlerinin, 20,5 ve 25,5 kJ/m² güneş ışınım şiddeti altında sırasıyla yaklaşık 225 ve 500 mL olduğunu bildirmişlerdir.

Pounraj vd. (2018), hibrid PV/T aktif güneş enerjili damıtma sistemini araştırmışlardır. Araştırmacılar, güneş enerjili damıtma sistemine PV/T modül ekleyerek sistemi TEC ile desteklemişlerdir. Yapılan işlemlerin, buharlaşma ve yoğuşma süreçlerinde saf su üretim miktarının artışına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Önerilen sistemin genel ısı veriminin geleneksel güneş enerjili damıtma sistemine göre %30 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Nimr ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada, sistemlerinde TEC cihazlarını yüzey hava boşluğu ile ayrılmış iki gözenekli katman arasında kullanmışlardır. Sisteme gerekli elektriksel güç bir PV modülden sağlanmıştır. Sistemin günde 4,2 kg su ürettiğini ve toplam veriminin %57,9 olduğunu bildirmişlerdir.

Nazari vd. (2019), bakır oksit (CuO₂) nanoparçacıklarının buharlaşma hızındaki artış üzerindeki etkisini ve damıtma sistemindeki yoğuşma oranını iyileştirmek amacıyla, cam kapağın üzerine soğuk hava vermişlerdir. Dört adet TEC modülünü galvanizli kanalın dış duvarlarına monte edilmiş ve kanal içersinden sirkilasyon havası geçirilerek soğutulmuş ve cam kapak yüzeyine iletilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin su üretimi, enerji ve ekserji verimleri geleneksel sistemlere göre sırasıyla; %81, %80,6 ve %112,5 oranında artığı belirtilmiştir.

Dehghan ve arkadaşları (2015), buharlaşma ve yoğuşma bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını arttırarak buharlaşma ve yoğuşma süreçlerinde buharın hareket hızının iyileştirilmesi amacıyla TEC ile donatılmış bir güneş enerjisi su damıtıcısını termodinamik modelini geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, buharlaşma ısı transfer katsayısını değerlendirmek için Dunkle tarafından önerilen yarı deneysel ilişki yerine enerji denklemlerini çözme temelli yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Araştırmacılar, önerdikleri modelin diğer yarı deneysel modellere kıyasla deneysel sonuçlara daha

yakın sonuçlar ürettiğini savunmuşlardır. Bu, sunulan yeni yaklaşımın güneşli damıtma sistemi performansını tahmin etmek için daha doğru bir yol olabileceğini ve tasarımını optimize etmek ve verimliliğini artırmak için faydalı olabileceğini düşündürmektedir. Araştırmacılar, TEC destekli güneş enerjili su damıtma sisteminde maksimum enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla; %55,1 ve %2,9 olduğunu bildirmişlerdir.

Rahbar vd. (2017), termoelektrik ısıtmanın güneş enerjisiyle tuzdan arındırma sistemlerinde performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Suyu önceden ısıtmak için damıtıcının altına dört adet TEM yerleştirilmiştir. Soğuk ortamdan ısı almak ve onu sıcak yüzeye aktarmak için TEM'lerin soğuk yüzeylerine soğutucu kanatçıklar bağlanmıştır. TEM kullanılan güneş enerjili damıtma sisteminde maksimum ekserji veriminin %25 olduğunu bildirmişlerdir.

TEC veya TEM sistemlerinin dezavantajı, sıcaklık farkı oluşturmak için enerjiye ihtiyaç duymalarıdır. Bu da, kullanılacak bölgede ekstra enerji kaynağına gereksinime sebep olmaktadır. Bu cihazlar, ters çalışma prensibiyle çalışarak sıcaklık farkını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Bu nedenle, bir sıcaklık gradyanı üzerinde çalışan termoelektrik cihazlar, Seebeck etkisini kullanarak elektrik üretebilirler. Damıtma sistemlerinde TEM'in sıcak tarafı olarak yoğunlaşma bölgesinin enerjisi ve soğuk tarafı olarak atmosferik havanın enerjisi kullanılarak sıcaklık farkı oluşturularak cihazlardan elektrik üretilebilmek mümkündür.

Shoeibi vd. (2021a), cam kapağın hava ve su ile soğutulmasının etkisini test etmek için sayısal ve deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Camın soğutulması amacıyla TEC'lerden yararlanmışlardır. Hava ve su ile soğutulan sistemler arasında karşılaştırma yapmışlar ve su ile soğutulan damıtma sistemden, hava ile soğutulan sisteme göre %81,1 daha yüksek verim sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, su ile soğutulan sistemde üretilen temiz suyun maliyeti 0,243 \$/L iken, hava ile soğutulan sistemdekinin maliyeti 0,277 \$/L olarak belirlemişlerdir.

Shoeibi vd. (2021b), eşzamanlı TEC ve TEM ile birlikte nanoakışkan etkisini güneş enerjili damıtma sisteminde etkisini termodinamik modelleme ve deneysel bir çalışma

ile değerlendirmişlerdir. Bu modifikasyonun, nanoakışkan ve cam sıcaklıklarında bir azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, termoelektrik soğutma ve ısıtma ile birlikte Al₂O₃ nanoakışkan kullanıldığında damıtma veriminin %11,57 arttığını göstermiştir. Buna ek olarak, damıtılan suyun maliyetinin ise 0,098 \$/L olduğunu bildirmişlerdir.

Pradeep ve Shaarin (2015), güneş enerjili damıtıcıların performanslarını arttırmak amacıyla bu sistemlere termoelektrik jeneratörler (TEG) ekleyerek performanslarını incelemişlerdir. Vakumlu güneş kollektörleri (ETSC) tarafından üretilen ısı, elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmıştır. Önerilen birleşik TEG ve ETSC sisteminin sıfır emisyon değeri ile konut ve uzak alan uygulamaları için aynı anda elektrik enerjisi üretebildiği ve suyu ısıtabildiğini bildirmişlerdir.

Aberuee vd. (2017), güneş enerjili damıtma sistemlerinde TEG’li hibrit bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem aynı anda elektrik, damıtılmış su ve sıcak su üretmektedir. Önerilen sistemin 960.000 kJ/gün güneş ışınım şiddeti değeriinde 896 kJ/gün elektrik, 177 kg/gün tatlı su ve 29 m³/gün sıcak su ürettiğini belirtmişlerdir.

Al-Nimr ve Qananba (2018), güneş enerjili damıtma sistemi tarafından üretilen damıtılmış su miktarını arttırmak için TEG ve kanatcıklı yoğuşma kısmı olan teorik bir sistem tasarlamışlardır. Sistem, bir yoğuşturucuya bağlı tek havuzlu bir güneş enerjili su damıtıcısından, su havuzuna daldırılmış fotovoltaiik hücrelerden, güneş yansıtıcılarından ve TEG’lerden oluşmaktadır. TEG, tuzlu sudan çıkan atık ısıyı kullanarak elektrik üretmek için havzanın altına yerleştirilmiştir. 35°C ortam sıcaklığında sistemin su ve elektrik üretiminin sırasıyla; 9,5 kg/gün ve 54,14 W olduğu belirtilmiştir.

2.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNDE GELİŞTİRİLEN TEORİK MODELLER

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde birçok araştırmacı ısı model oluştururken genellikle aynı prosedürü takip etmektedirler ve bu prosedür genellikle geleneksel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, iletkenlik, taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşen ısı

transferi ile taşınimsal kütle transferi hesaplamalarında kullanılan ilgili katsayılar, teorik olarak belirli ısı modeller ile sağlanan ifadelerle hesaplanmaktadır.

Teorik çalışmalar, matematiksel modellerin kullanılmasıyla güneş enerjili su damıtıcılarının ısı davranışlarını ve performanslarını analiz etmeyi sağlamaktadır. Bu modeller, güneş ışınımının davranışını, ısı transferini, buharlaşma sürecini ve diğer etkileşimleri dikkate alarak sistem performansının hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Bu sayede, tasarım ve işletme parametrelerindeki değişimler güneş enerjili damıtma sistemlerinin verimliliği üzerindeki etkisinin anlaşılmasını mümkün hale getirmektedir. Bir güneş enerjili su damıtma sisteminde performansı etkileyen unsurlar sistem içerisinde ısı transferlerine de etki etmektedir. Sistemlerin teorik incelenmeleri aşamasında bu katsayıların tam olarak tanımlanması ve belirlenmesi oldukça büyük önem taşımaktadır. Araştırmacılar genellikle güneş enerjili su damıtma sistemlerinde taşınım (konvektif) ve buharlaşma (evaporatif) ısı transfer katsayıları için ilişkiler geliştirmişler ve sistemdeki ısı transferini tahmin etmek ve optimize etmek için kullanmışlardır. Literatürde, bu katsayılar için çeşitli ilişkiler ve denklemler bulunmakta olup, bu ilişkiler, sistemin tasarım parametreleri ve çalışma koşulları ile ilgili faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, kendine özgü özelliklere sahip bir güneş enerjili su damıtma sistemi için uygun katsayı ilişkilerini belirlemek için deneysel çalışmaların veya literatürdeki mevcut verilerin incelenmesi önemlidir.

Geleneksel güneş enerjili su damıtıcılarında (CSS), güneş ışınım şiddetinin ısı ve kütle geçişi süreçlerine etkilerini belirlemek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Cooper (1972), yatay bir havza yüzeyine sahip tek eğimli bir güneş enerjili su damıtıcısının verimliliğini etkileyen faktörleri incelemiş ve güneş ışınlarının duvarlardan yansyarak tuzlu suyun yüzeyine düşen oranını dikkate almıştır. Rapor edilen değerlerin hesaplanması için bir model oluşturulmamış olmasına rağmen, su üzerindeki ışınımın %10 arttığı tahmin edilmiştir.

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinde ısı ve kütle geçişini tahmin etmek için kullanılan ilk ampirik ilişkilerden biri, Dunkle tarafından 1966 yılında geliştirilen Dunkle modelidir. Bu model, güneş enerjili su damıtıcılarındaki ısı ve kütle geçişini açıklamakta ve günümüzde birçok çalışmada kullanılmaktadır. Dunkle modeli, su

damıtma işlemindeki ısı ve kütle geçişini bir arada ele alır. Modelde, güneş enerjili su damıtıcılarda ortaya çıkan sıcaklık profili ve buharlaşma hızı arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir denklem bulunur. Bu denklem, sistemin tasarım parametreleri, güneş ışınlarının yoğunluğu ve süresi, ortam koşulları ve su buharının yoğuşma yüzeyi gibi faktörlere dayanır. Dunkle modeli, güneş enerjili su damıtma sistemlerinin performansını tahmin etmek için genellikle deneylerle elde edilen verilerle ayarlanır. Bu ayarlama işlemi, modelin belirli bir sistem için uygun hale getirilmesini sağlar. Dunkle modelinin kullanımı, güneş enerjili su damıtma sistemlerinin tasarımında, performans analizinde ve verimlilik iyileştirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Esas olarak, tek etkili güneşli damıtıcının performansını tahmin etmek için yaygın olarak kabul edilen ampirik ifadelerin yani ısı transfer katsayılarının tahmin edilmesi için kullanılır. Bu modelde Dunkle, Jakob (1957) tarafından kapalı bir alanda havanın serbest taşınım hareketi için önerilen Nusselt-Rayleigh ampirik korelasyonunu geliştirmiştir (Elango vd., 2015; Lisboa vd., 2022).

$Nu=C.Ra^n$ ve $C=0,074$ ve $n=1/3$ cam örtüden suya olan buharlaşma ısı ve kütle transfer katsayısını ($h_{e,w-g}$) hesaplamak için Eşitlik 2.1 önerilmiştir. Eşitlik 2.1 de $h_{c,w-g}$ ifadesi su yüzeyinden cam yüzeye taşınım ile gerçekleşen ısı transfer katsayısıdır. Bu taşınım ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 2.2 önerilmiştir (El-Samadony vd., 2016).

$$h_{e,w-g} = 0,0163 * h_{c,w-g} \left[\frac{p_w - p_g}{T_w - T_g} \right] \quad (2.1)$$

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left\{ (T_w - T_g) + \frac{(p_w - p_g)(T_w + 273,15)}{(268900 - p_w)} \right\}^{1/3} \quad (2.2)$$

Ancak, Dunkle modeli bazı kısıtlamalara sahiptir ve belirli sistemler için doğruluğu sınırlı olabilir. Güncel literatürde, daha gelişmiş analitik modeller, deneysel çalışmalara dayalı korelasyonlar ve sayısal simülasyonlar da kullanılmaktadır (Elango vd., 2015).

Kumar ve Tiwari (1996), taşınimsal ısı ve kütle transferlerini incelemek amacıyla bir model geliştirmişlerdir. Değişen bir Grashof sayısı aralığı için taşınimsal ısı ve kütle transfer katsayılarını belirlemek için doğrusal regresyon analizini kullanmışlardır. Grashof sayısı, bir sıvının veya gazın akışkanlık ve ısıl genleşme kuvvetlerinin oranını ifade eder. Araştırmacılar, güneş enerjili su damıtma sistemlerindeki taşınimsal ısı ve kütle transferini etkileyen bu Grashof sayısını değiştirerek farklı çalışma koşullarını simüle etmişlerdir. Çalışmada, deneysel olarak elde edilen veriler kullanılarak Grashof sayısı ve taşınimsal ısı transfer katsayıları arasında doğrusal bir ilişki kurulmuştur. Bu ilişkiyi belirlemek için doğrusal regresyon analizi yöntemi uygulanmıştır. Eşitlik 2.3 ile taşınimsal ısı transfer katsayısı bu regresyon analiz sonucunda C ve n değerlerinin bir korelasyonu olarak hesaplanır. Elde edilen regresyon denklemleri, taşınimsal ısı ve kütle transfer katsayılarını Grashof sayısı değerlerine bağlayarak sistemden elde edilecek damıtılan su miktarını tahmin etmeye olanak sağlar.

$$Nu = \frac{h_{c,w-g} d_f}{k_f} = C(Gr Pr)^n \quad (2.3)$$

Damıtılan su miktarı “t” süresi boyunca buharlaşma yüzeyinden çıkışı aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$m_{ew} = \frac{0,0163}{h_{fg}} * \frac{k_f}{d_f} * C(Gr Pr)^n * (P_w - P_{gi}) * A_b * t \quad (2.4)$$

Kumar ve Tiwari'nin çalışması, güneş enerjili su damıtma sistemlerindeki taşınimsal ısı transferini anlamak ve optimize etmek için uygun bir model sunmaktadır. Ancak, belirli bir sisteme uygulanacak regresyon denklemlerinin deneysel verilere dayandırılması ve uygunluğunun değerlendirilmesi önemlidir.

Hongfei vd. (2002), havza tipi güneş enerjili damıtma cihazlarında kullanılmak üzere bir dizi geliştirilmiş ısı ve kütle transferi korelasyonu önermişlerdir. Taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin hesaplanması aşamasında Rayleigh sayısının kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi için Eşitlik 2.5'in kullanımının hesaplamalarda daha doğru sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

$$h_{c,w-g} = 0,2 * (Ra')^{0,26} \frac{k_f}{d_f} \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5'teki k_f havanın ısı iletim katsayısını, d_f damıtma sisteminde buharlaşma ve yoğuşma yüzeyleri arasındaki karakteristik boşluğu ifade etmektedir. Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7, damıtma sistemleri için değiştirilmiş Rayleigh (Ra') sayısını ifade etmektedir.

$$Ra' = \frac{d_f^3 \rho_f g \beta}{\mu_f \alpha_f} \Delta T'' \quad (2.6)$$

$$\Delta T'' = \left[(T_w - T_{gi}) + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273)}{((M_a P_t)/(M_a - M_w)) - P_w} \right] \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.6'da α_f , değeri nemli havanın ısı yayılımını ifade etmektedir. Geliştirilen korelasyonu doğrulamak için çok aşamalı güneş enerjili damıtma sistemi inşa edilmiş ve çeşitli deneyler yapılmıştır. Havza tipi güneş enerjili damıtıcıların buharlaşma oranını hesaplamak için geniş sıcaklık aralığında ve Rayleigh sayısında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tiwari vd. (2003), güneş enerjili damıtma sistemlerinde performans tahmini için iç ve dış cam sıcaklıklarını kullanarak bir ısı model geliştirmişlerdir. Modelde, iç ve dış cam sıcaklıklarının yanı sıra güneş ışınlarının yoğunluğu, hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi faktörler de dikkate alınmıştır. İç ısı transfer katsayılarını belirlemek için iç cam sıcaklığının kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Tripathi ve Tiwari (2004), tek eğimli güneş enerjili su damıtıcısının içindeki güneş ışınımının dağılımını hesaplamak için bir model önermişlerdir. Modelde, duvarlardan yansıyan güneş ışınlarının su yüzeyine düşen kısmını da dikkate almışlar ve arka duvar için güneş yansıma katsayısını hesaplamışlardır. Düşük güneş yükseklik açılarında yani günün erken ve geç saatlerinde bu katsayının etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir. Tripathi ve Tiwari (2006), tek eğimli pasif ve aktif güneş damıtıcılarını incelemek için aynı modeli kullanmışlar ve bu katsayının düşük güneş yükseklik

açılarında önemli bir etkiye sahip olduğu sonucunu desteklemişlerdir. Bununla birlikte, bu model yüzeyler arasındaki ışıyım değişimini hesaba katmamış ve ortalama karesel hata değeri %32,13 olarak bulunmuştur.

Shukla ve Sorayan (2005) tarafından yapılan çalışmada, temel enerji denklemleri aracılığıyla tek ve çift eğimli güneş enerjili damıtma sisteminin verimlilikleri ile su ve camın sıcaklıklarını tahmin etmek için ifadeler önerilmiştir. Kumar ve Tiwari modeline dayanarak C ve n değerlerini değerlendirmişler ve bu değerlerin Dunkle tarafından elde edilen değerlere yakın olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, taşınım ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Bunu Dunkle modelinin katsayısıyla karşılaştırmışlardır. Önerdikleri modelle elde edilen taşınım ısı transfer katsayısı değerlerinin, Dunkle modelinin uygulanmasıyla elde edilen değerlerden daha yüksek doğrulukta olduğunu bildirmişlerdir.

Tsilingiris (2007), güneş enerjili su damıtıcısının çeşitli parametrelerini değerlendirmek için kuru hava özelliklerinin tek başına uygun olmadığına dikkat çekmiş ve bunun yerine kuru hava ve su buharı karışımının özelliklerini kullanmıştır. Su ve cam yüzey arasındaki taşınım ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 2.8'i önermişlerdir.

$$h_{c,w-g} = CK_{mix} \left(\frac{g\rho_{mix}\beta}{\mu_{mix}d_{mix}} \right)^n \left[(T_{si} - T_g) + \frac{T_{si}(P_{vs} - P_{vg})(M_a - M_v)}{(M_a P_t) - P_{vs}(M_a - M_v)} \right]^n \quad (2.8)$$

Buharlaştırma ısı transfer katsayısını hesaplamak için ise, Eşitlik 2.9 önerilmiştir.

$$h_{e,w-g} = 1000 * h_{fg} \frac{h_{c,w-g} (R_c)_a * P_t}{C_{p,a} * (R_c)_v (P_t - P_{vs})(P_t - P_{vg})} \quad (2.9)$$

Birim alan ve zamandaki yoğunlaşmış su kütlesini Eşitlik 2.10 ile hesaplanabileceğini bildirmişlerdir.

$$\dot{m}_w = \frac{h_{c,w-g} (R_c)_a \left[\frac{P_t(P_{vs} - P_{vg})}{(P_t - P_{vs})(P_t - P_{vg})} \right]}{C_{p,a} * (R_c)_v} \quad (2.10)$$

Tsilingiris tarafından önerilen model, güneş enerjili su damıtıcısının performansını daha gerçekçi bir şekilde tahmin etmek için nemli hava özelliklerini dikkate almak gerektiğini belirtmektedir.

Dwivedi ve Tiwari (2009), tek ve çift eğimli pasif güneş enerjili damıtıcılarda dahili ısı transfer katsayıları için çeşitli ısı modelleri deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Taşınım ısı transfer katsayısının, buharlaşma ısı transfer katsayısı ve dolayısıyla su çıkışı üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu bulmuşlardır. Teorik saatlik verim ile deneysel verilerin karşılaştırılması sonucunda, Dunkle modelinin teorik ve deneysel sonuçlar arasında daha iyi bir uyum sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, Dunkle modelinin üç farklı su derinliği (0,01, 0,02 ve 0,03 m) için iç ısı transfer katsayılarının belirlenmesinde faydalı olabileceği belirtmişlerdir. Aynı zamanda, tek eğimli bir güneş enerjili su damıtma ünitesinin yıllık bazda çift eğimli bir güneş enerjili damıtma ünitesine göre daha iyi bir performans sergilediği belirtilmiştir. Araştırmacılar, tek eğimli ve çift eğimli güneş enerjili su damıtma ünitelerinin ortalama yıllık iç ısı transfer katsayısının sırasıyla 8,837 W/m²K ve 8,19 W/m²K olduğu sonucuna varmışlardır. Tek eğimli güneş enerjili su damıtma ünitesinin yıllık üretimi 499,41 L/yıl iken çift eğimli güneşli damıtma ünitesinin üretimi 464,68 L/yıl olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada geliştirilen ısı modelleri, güneş enerjili damıtma sistemlerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için değerli bir araç olarak kullanılabilir. Ancak, her bir sistem için modellerin uygunluğunun değerlendirilmesi için deneysel verilerle doğrulama çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

Kalbasi vd. (2018), ısı ve kütle transferi ilişkileri kullanılarak, tek ve çift etkili güneşli damıtma sistemlerinin performansını tahmin etmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Matematiksel modellerini doğrulamak amacıyla iki adet benzer tek ve çift etkili tuzdan arındırma deney sistemi kurmuşlardır. Taşınım ve buharlaşma ısı transfer katsayılarını hesaplamak için $Nu=0,0684(Ra^{0.334})$ ifadesini kullanmışlar ve sonuçların Tiwarinin modeline uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Singh ve Tiwari (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, taşınım ısı transfer katsayısını ve buharlaşma (kütle) transferi katsayısını bulmak için iterasyon yöntemine dayalı bir

simülasyon gerçekleştirmişlerdir. C ve n değerlerini bulmak için Tiwari ve Kumar yöntemi (KTM) kullanılmış ve her bir sonraki iterasyonla güncellenmiştir. New Delhi iklim koşullarına dayalı olarak yapılan sayısal hesaplamalar sonucunda, iç taşınım ısı transfer katsayısının (h_{cw}) saatlik değişiminin sayısal değerlerinin dördüncü iterasyon sürecinden sonra 1,3 ila 1,5 W/m²°C aralığında değiştiği rapor edilmiştir.

Deneysel ve matematiksel çalışmalardan farklı olarak gelişen teknoloji ile birlikte hayatımıza her alanda giren yapay zeka (AI), gün geçtikçe hızla ilerlemektedir. Yapay zeka, sinir ağları (NNs) gibi çeşitli dallara sahiptir. Sistemlerin performansının tahmini, verilerin gözlenmesi yoluyla bilgisayarlar tarafından sinir ağları kullanılarak elde edilir. Makine öğrenme yaklaşımının hibrit güneş enerjili damıtma sistemlerindeki uygulaması mevcuttur.

Bahiraee ve arkadaşları (2021), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) ve Particle Swarm Optimization (PSO) ile entegre edilmiş Yapay Sinir Ağı (ANN) kullanarak TEC ve Cu₂O nanoakışkan ile desteklenmiş güneş enerjili damıtma sisteminin performansını tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar, PSO-ANFIS'in PSO-ANN'den daha iyi olduğunu belirtmiş ve PSO-ANFIS'in test veri setleri için R² değeri 0,9906 olarak hesaplamışlardır.

Ayrıca, Bahiraee ve arkadaşları (2020), başka bir araştırmalarında, Cu₂O nanoakışkan ve TEC kullanarak güneş enerjili damıtma sisteminin performansını Multi-Layer Perceptron (MLP) ile modellemişler ve bu modele ICA ve Genetic Algorithm (GA) entegre etmişlerdir. MLP'nin GA ve ICA ile entegre edilmesinin yalnızca MLP kullanmaktan daha iyi performans sağladığını bildirmişlerdir. Ayrıca, MLP ile ICA'nın entegrasyonunun MLP ile GA'dan daha üstün olduğu belirlenmiş, bu durumda RMSE sırasıyla; %40,49 ve %62,01 azaldığını bildirmişlerdir.

Literatür incelemeleri sonucunda damıtma sistemlerinde yapılan çalışmalar, sistem üretkenliği ve enerji-eksererji verimliliği değişikliklerini içeren bir Çizelge 2.1'de şeklinde sunulmuştur. Bunlara ek olarak, termoelektrik malzemelerin güneş enerjisi kullanılan sistemlerde çeşitli amaçlarla kullanıldığı sistemler özellikle incelenmiştir. Güneş panelleri, güneş enerjisi yoğunlaştırucuları ve güneş enerjili damıtma sistemleri

gibi sistemlerde termoelektrik malzemelerin kullanımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu malzemeler, damıtma sistemlerinde soğutma, ısıtma veya her ikisini de içeren işlevlerde kullanılmaktadırlar.

Literatürde yapılan kapsamlı araştırmalar sonucunda, geliştirilen CSS-TEG sisteminin performansını ve verimliliğini değerlendiren deneysel ve teorik çalışma bulunmamıştır. Yapılan çalışma, ileride bu konuda yapılacak araştırmalara potansiyel katkılar sağlayacaktır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Güneş enerjili su damıtma sistemleri, enerjinin sisteme giriş mekanizmalarına bağlı olarak pasif veya aktif sistemler olarak sınıflandırılırlar. Pasif sistemler, güneş enerjisinin damıtma sistemi içerisindeki suyu ısıtmak için doğrudan kullanıldığı sistemlerdir. Güneş ışınları, damıtıcının saydam yüzeyinden geçip doğrudan suyu ısıtarak buharlaşma sürecini başlatır. Pasif sistemler genellikle basit yapılıdır ve harici enerji kaynaklarına ihtiyaç duymazlar. Aktif sistemler ise, harici enerji kaynağı kullanarak damıtılan su miktarının artırılmasını hedeflerler. Bu sistemlerde, güneş kollektörleri, güneş ışınımı odaklayıcıları, fotovoltaiik/ısı sistemler gibi cihazlar kullanılarak güneş enerjisi toplanır ve daha fazla ısı enerjisi sağlanır. Sisteme sağlanan bu ek enerji, suyun daha hızlı bir şekilde buharlaşmasına yardımcı olur. Her iki sistem türü de güneş enerjisini kullanarak su damıtma işlemini gerçekleştirir. Ancak, bu sistemler enerji giriş mekanizmaları ve verimlilik açısından farklılıklar gösterirler. Seçilecek sistem türü, uygulamanın gereksinimlerine ve kaynaklara bağlı olarak değişebilir (Elongo vd., 2015; Deniz, 2015).

Yapılan çalışmada, pasif yapılı damıtma sistemi tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kıyaslama yapılabilmesi amacıyla iki damıtma sistemi hazırlanmış ve aynı şartlar altında test edilmişlerdir.

3.1. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU

Yapılan çalışma, tuzlu suyun buharlaştırılması ve yoğuşması yöntemi ile tatlı su elde edilmesi için kullanılan geleneksel güneş enerjili damıtıcılarda ısı kayıplarının geri kazanımına ve sistemlerin verimlerinin iyileştirilmesine odaklanmaktadır. Tatlı su üretim miktarını maksimum seviyeye çıkarmak amacıyla, güneş enerjili su damıtıcısından atmosfere olan ısı kayıplarını azaltmak ve yoğuşma anında dış ortama

atılan yoğuşma ısısının bir miktarını geri kazanarak sistem içinde ısı ve kütle transferlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalarda, aynı özelliklere sahip iki damıtıcı imal edilmiş ve gerekli değişiklikler bu sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu sistemlerden biri referans sistem olarak kullanılan geleneksel sistem iken diğeri geliştirmelerin yapıldığı damıtma sistemidir.

Güneş enerjili damıtma sistemlerinin tasarım ve imalatları yapılırken birçok parametrenin bir arada dikkate alınması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda öncelikle, deney sistemlerinin Karabük Üniversitesi yerleşkesi içerisinde, güneş ışığına tam erişim sağlayacakları ve üzerlerine gölge gelmeyecek şekilde açık bir arazi üzerine kurulumları gerçekleştirilmiştir. Bu konumlandırma ile sistemlerin en iyi performansı elde etmesi için güneş enerjisini etkin bir şekilde kullanmaları hedeflenmiştir. Karabük ilinde (32° 37'D, 41° 12'K) yapılmış olan deneysel çalışmalar genellikle 08:00-20:00 saatleri arasında havanın açık ve bol güneşli olduğu günlerde gerçekleştirilmiştir. Damıtılan su miktarları gün boyunca her yarım saatte bir ölçülürken, saat 20:00'dan sonra gece saatlerinde gerçekleşen damıtma miktarları ise, 12 saatlik dilim için tek seferde ölçülmüştür.

Deneysel çalışmalar, iki adet tek eğimli geleneksel tip güneş enerjili su damıtma (CSS) sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çünkü tek havuzlu ve eğimli olan geleneksel tip güneş enerjili damıtma sistemlerinin işleyişini analiz etmek ve gerçekleşen ısı transfer mekanizmalarını anlamak, karmaşık tasarımlara kıyasla çok daha kolaydır. Tasarımın basitliği, karmaşık olan ısı transfer mekanizmaları ve buharlaşma süreçlerinin daha kolay gözlemlenmesine ve analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılacak herhangi bir değişikliğin öncelikle bu tarz basit yapılarda yapılması hem maliyet hemde zaman açısından daha uygun olmaktadır. Bundan dolayı, yapılan birçok çalışma öncelikle bu tarz sistemlerde denenmiştir ve sonrasında daha karmaşık sistemlere uygulanabilirlikleri tartışılmıştır. Diğer tasarımlar çeşitli özelliklere veya yapısal farklılıklara sahip olabilir, ancak ısı transferi ve kütle transferi olayları aynı temel prensiplere dayanır. Bu nedenle, geleneksel güneş enerjili damıtma sistemi üzerinde yapılan çalışmalardan kazanılan bilgiler, diğer güneş enerjili damıtma sistemlerinin anlaşılmasını ve geliştirilmesinde de kullanılabilir. Bu özelliklerinden

dolayı, gerçekleştirilen deneysel çalışmada geleneksel güneş enerjili damıtma sistemi tercih edilmiştir.

Damıtma sistemleri öncelikle hiçbir değişikliğin uygulanmadığı şekilde ve yapılacak olan çalışmaların sonuçlarını etkilememesi açısından birbirlerinin kopyası olacak şekilde imal edilmişlerdir. Bu yaklaşım ile deneylerin karşılaştırılabilir olması ve güvenilir sonuçların ortaya çıkması amaçlanmıştır. Sistemlerin benzer şekilde tasarlanması, değişkenlerin etkilerini daha iyi analiz etmek ve sonuçları daha güvenilir şekilde yorumlamak için önemlidir. Bu şekilde, sistematik hataların veya farklılıkların sonuçlara etkisi minimize edilir ve çalışmaların güvenilirliklerinin artırılacağı söylenebilir.

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi deneysel sistemler, biri geleneksel (CSS) diğeri ise, TEG’ler ile donatılmış damıtma sistemi (CSS-TEG) olmak üzere iki farklı sistemden oluşmaktadır. Deneyler farklı günlerde yıl boyunca farklı iklim şartlarında yapılmıştır. Karabük ilinin iklim koşulları dikkate alındığında sistemlerden yıl boyunca verim alınması mümkün olmamıştır. Özellikle, sistemlerin performansları ve geliştirilen yeni sistemin çalışma özelliklerini araştırmak amacıyla damıtma sistemleri 08:00 ile 20:00 saatleri arasında ve farklı günlerde özellikle yaz aylarında test edilmişlerdir. Bu testler, her iki sistemin performanslarını karşılaştırmak ve TEG’lerin su damıtma verimine etkisini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Elde edilen bütün veriler bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Deneysel çalışmalar boyunca elde edilen veriler, her iki sistemin su damıtma kapasiteleri, enerji verimlilikleri ve diğer özellikleri hakkında yeterli bilginin elde edilmesine yardımcı olmuştur.

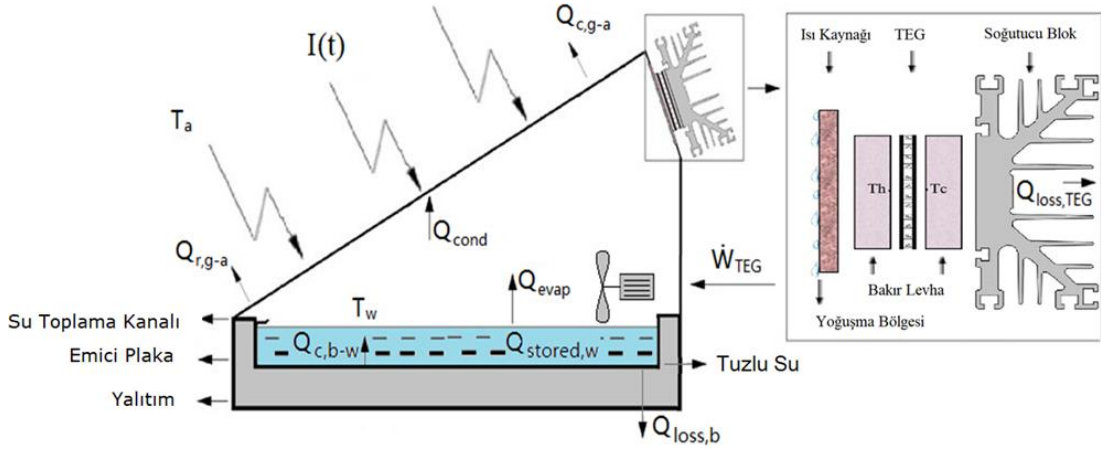


Şekil 3.1. Deney sisteminin genel görünümü

CSS-TEG'in tasarımı için, güneş enerjili damıtma sisteminin yoğuşma yüzeyi olan arka duvarın üst kısmına $1 \times 280 \times 1000$ mm ölçülerinde alüminyum bir levha yerleştirilmiştir. Ardından, toplamda 32 TEG (4 sıra \times 8 sütun) ısı iletken macun kullanılarak bu levha üzerine bakır plakalar arasında yerleştirilmiştir. Modüllerin dış yüzeylerine toplamda 4 adet soğutucu kanatçıklı plakalar yerleştirilerek soğutma performanslarının artırılması hedeflenmiştir. Her bir soğutucu kanatçık altında 8 adet modül paralel olarak bağlanırken, 8 modülün 4 grup halinde seri bağlantısı yapılmış ve bu devrenin çıkışı bir DC fan motoruna bağlanmıştır. Bu sistem ile damıtma sisteminden uzaklaştırılacak diğer bir tabir ile atık olacak olan yoğuşma ısı TEG yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve bu sayede kayıp ısı enerjisinin bir miktarının geri kazanımı gerçekleştirilmiştir.

Sistemden geri kazanılan ısı enerjisi ile üretilen elektrik enerjisi, buharlaşma miktarını arttırmak amacıyla damıtma sisteminin içinde su yüzeyinin yakınına yerleştirilen fanlara güç sağlamak için kullanılmıştır. Bu çalışmanın özgünlüğü, buharlaşma ve yoğuşma miktarlarını iyileştirmek için güneş enerjili damıtma sisteminde TEG ile ısı geri kazanımı yapılması ve elde edilecek kazanımın sistemin ısı transfer mekanizmalarının iyileştirilmesinde kullanılmasıdır. Bunun amaçla, yoğuşma

bölgelerine TEG'ler ve su yüzeyinin üst kısmına da fanlar yerleştirilmiştir. Geliştirilen sistem Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. CSS-TEG sisteminin şematik gösterimi

Damıtma sisteminde tuzlu suyun koyulduğu havuz, paslanmaz sac malzemeden yapılmış olup, 1000x1000x220 mm ölçülerindedir (Şekil 3.3). Havuzun taban alanı 1m², kapak eğim açısı ise 35° olarak tasarlanmıştır. Güneş ışınımı emiliminin maksimum olması için damıtıcıların tabanı ve iç kısımları, epoksi astar ve siyah mat boya ile boyanmıştır. Havuzun çevresi ve taban alanı 10 cm kalınlığında taş yünü ve poliüretan malzemeler ile kaplanarak ısı kaybının minimum olması hedeflenmiştir. Taban alanının yalıtımı için sıcaklık dayanımının olmasından dolayı özellikle taş yünü tercih edilmiştir.

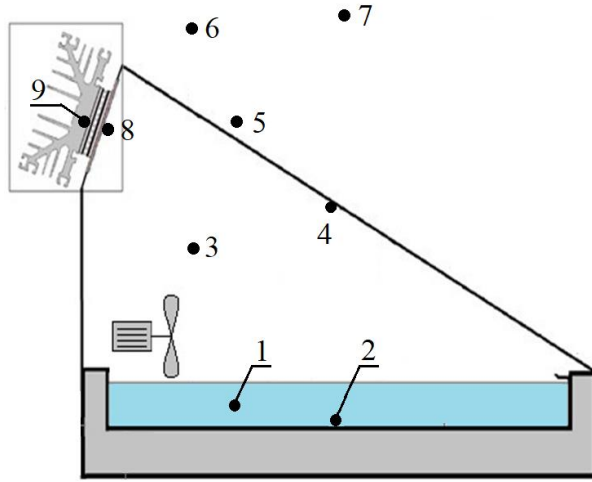


Şekil 3.3. Havuzun tabanı ve ısı yalıtım malzemesinin yerleşimi

Damıtma sistemlerinde oluşacak sızıntıların önlenmesi amacıyla güneşe, ısıya ve neme dayanıklı sızdırmazlık elemanları kullanılmıştır. Bu sayede, kapaktan ve havuz çevresinden herhangi bir sızıntının meydana gelmesi engellenmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan 2 damıtıcıya aynı işlemler uygulanmıştır. Sistemler yapılacak çalışmalardan önce aynı koşullar ve özelliklerde test edilmiş ve kalibrasyonları yapılmıştır. Bu aşamalardan sonra, damıtma sistemlerinden birine hava sirkülasyonu sağlamak için fan ve ısı geri kazanımı için TEG'lerin olduğu plaka monte edilmiştir.

Yapılan bütün deneylerde, damıtma sistemi havuzundaki su yüksekliği 5 cm ve toplam su hacmi 50 L olarak ayarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan deniz suyu Karadeniz'den alınmıştır. Herhangi bir deneysel ölçüm yapılmadan önce, sistemlerde bulunan su miktarları eşitlenmiş, kaçak kontrolleri yapılmış ve deneyler dikkatli bir şekilde organize edilmiştir. Günlük deneyleri tamamladıktan sonra, güneş enerjili damıtma sistemi bir sonraki ölçüm günü için tekrar hazırlanmıştır.

Deney düzeneği üzerindeki çeşitli noktalardan, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, su ile su buharının ve havanın sıcaklıkları, TEG'lerin yüzey sıcaklıklar değerleri anlık olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, üretilen temiz su miktarı da her yarım saatte bir kaydedilmiştir. Damıtma sistemlerinde ölçülen değerlerin ölçüm noktaları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu verilerin ölçülmesi, sistemlerin performanslarını değerlendirmek, enerji transferi ve buharlaşma süreçlerini anlamak için önemlidir. Güneş ışınım şiddeti, damıtma sistemlerinin en önemli enerji girdisi ve buharlaşma potansiyelini etkileyen en büyük faktördür. Ortam sıcaklığı, sistem üzerindeki etkileşimleri, enerji transferini ve enerji-ekserji verimlerini etkileyen önemli parametrelerden bir diğeridir. Su, su buharı ve hava sıcaklıkları, sistemlerin ısı transfer mekanizmaları ve buharlaşma hızları üzerinde önemli rol oynamaktadırlar. Bu veriler, sistemlerin performanslarını değerlendirmek, optimize etmek ve sonuçları yorumlamak için kullanılmıştır.



- 1- Su Sıcaklığı
- 2- Havza Yüzey Sıcaklığı
- 3- Su Buharı Sıcaklığı
- 4- Cam Yüzeyi Sıcaklığı
- 5- Güneş Işınım Şiddeti
- 6- Dış Ortam Sıcaklığı
- 7- Rüzgâr Hızı
- 8- TEG İçYüzey Sıcaklığı
- 9- TEG Dış Yüzey Sıcaklığı

Şekil 3.4. Damıtma sistemlerinde ölçüm noktalarının şematik görünümü

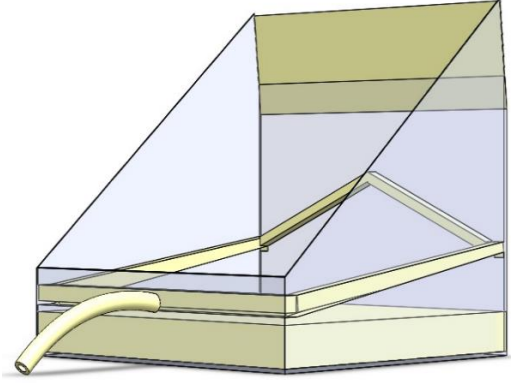
Damıtma sistemleri 20 cm yüksekliğindeki ahşap malzemeden yapılmış plakalar üzerine yerleştirilmiştir. Sistemlerin verim analizlerinin yapılabilmesi amacıyla havuz tabanına, havuz suyuna, havuzun buhar olan kısmına, cam yüzeyin altına ve çevre havası sıcaklığını ölçmek için uygun noktalara ısılıçiftler yerleştirilmiştir. Toplama kanallarından çıkan damıtılmış su miktarını ölçmek için ise, plastik şişeler çıkış noktalarına yerleştirilmiştir. Damıtılan sular öncelikle hacimsel olarak ölçülmüş gün sonunda hata oranını en aza indirmek için hassas terazide tekrardan tartılmışlardır.



Şekil 3.5. Damıtma sistemlerinde ısılı çiftlerin yerleşimi

Sistem bileşenlerinin teknik özellikleri ve tasarım parametreleri Ek Çizelge A'da verilmiştir. Sistemler, yüzey açıklığına çarpan güneş ışınım miktarını artırmak için 35° yüzey eğim açısına sahip olarak güney bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Damıtma sistemleri incelendiğinde sistem içerisinde üretilen su, üst yüzeyde yoğunlaşan sudan elde

edilmektedir. İncelenen birçok sistemde, yan yüzeylerde oluşan yoğuşma önemsenmemektedir. Bu çalışmada ayrıca yan yüzeylerde oluşan yoğuşmanın zayi olmaması için yüzeylere kanallar yerleştirilmiş ve bu önemsenmeyen yoğuşma miktarında sistemden fayda olarak alınmıştır. Şekil 3.6'da yüzeylere yerleştirilmiş olan damıtılmış su toplama kanalları görülmektedir.



Şekil 3.6. Güneş enerjili damıtma sistemlerinde su kanallarının yerleşimi

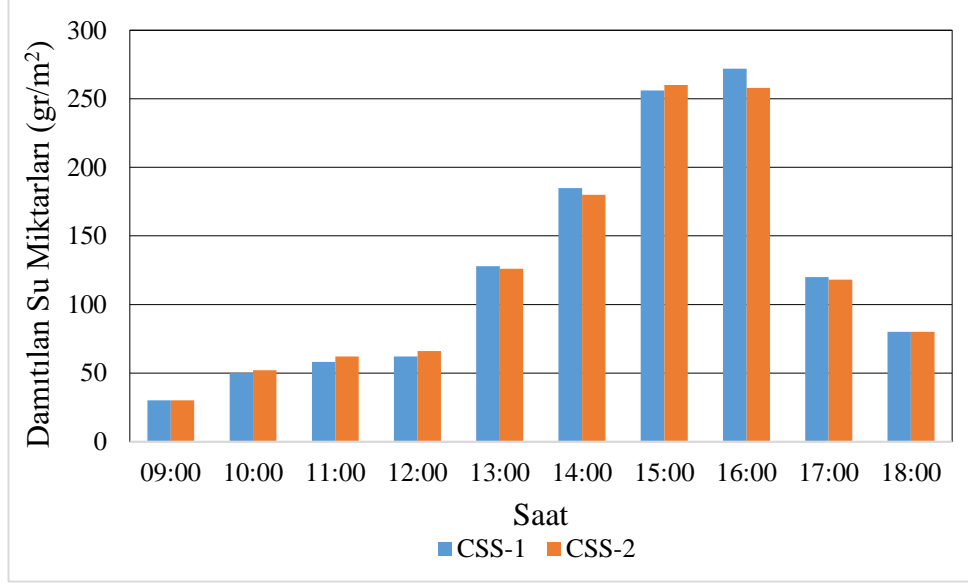
Cam yüzeylerinde yoğuşan ama toplama kabına ulaşmayan su miktarları verim hesaplamalarında hata oranlarını arttırmaktadır. Bu hataları minimuma indirmek ve sistemi daha verimli kullanmak amacıyla damıtma sisteminin yan yüzeylerinde yoğuşan sular 5° eğimli kanallarda toplanarak damıtılmış su tankına yönlendirilmiş ve burada depolanmıştır.

Yapılan çalışmalarda, ortaya çıkabilecek aksaklıkların önüne geçebilmek amacıyla sistemlerin kontrolleri her deney öncesi yapılmıştır. Bu kontrollerin en önemlileri sıcaklık ölçümü için kullanılan ısı çiftleri ve sisteminin sızdırmazlık kontrolleri olmuştur.

3.2. DAMITMA SİSTEMLERİNİN KALİBRASYONU

CSS ve CSS-TEG sistemlerinin kıyaslamalı incelemelerini yapmadan önce sistemler üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan her iki sistem CSS özelliklerinde ve aynı koşullar altında test edilerek, deneysel çalışmaların güvenilirliklerinin sağlanması hedeflenmiştir. Her iki sisteme 50 kg tuzlu su koyularak 08:00-18:00 saatleri arasındaki çalışma özellikleri tespit edilmiştir. Her iki sistem tarafından damıtılan su

miktarlarının zamana bağılı değişimi Şekil 3.7’de verilmiştir. Ayrıca, her iki sistem tarafından gece saatlerinde damıtılan su miktarları da belirlenerek, gece saatlerindeki üretim potansiyelleri de tespit edilmiştir. Bu ölçümler sonucunda iki damıtıcının da yaklaşık aynı miktarda su damıttığı ve sistemlerdeki sıcaklık davranışlarının da benzer olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Damıtılan su miktarlarının gün içerisindeki saatlik değişimi (gr/m²)

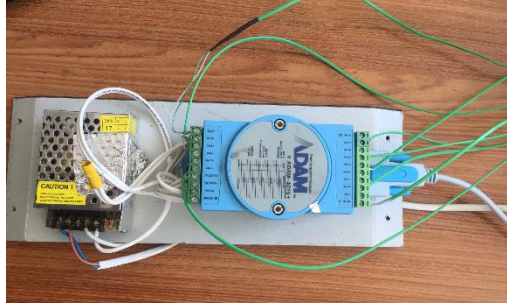
3.3. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

Deneyleerde, belirlenen parametrelerin ölçülebilmesi için çeşitli ölçüm cihazlarından yararlanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Ortam havası, cam örtü, su, su buharı, havuz taban sıcaklığı ve TEG yüzeylerinin sıcakları, daha önceden kalibre edilmiş K tipi ısılıçiftler kullanılarak ölçülmüştür. Sistem yüzeyindeki güneş ışınım şiddetini ölçmek için Solar 3120 tipi pıranometre kullanılmıştır. Aynı zamanda, rüzgâr hızı ve damıtılmış su çıkışı sırasıyla taşınabilir anemometre ve dereceli silindir kullanılarak ölçülmüştür. Hacimsel olarak ölçülen suyun hassas terazi ile de ağırlığı ölçülmüştür. Kullanılan ekipmanların ayrıntılı teknik özellikleri Ekler bölümünde verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazları, deneyleerin amaçlarına ve ölçülecek parametrelere uygun olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri

Ölçüm cihazları	Ölçüm Aralığı	Doğruluk (\pm)
Veri toplama sistemi (Adam 4019+)		
Piranometre (3120)	0-2000W/m ²	\pm %3 W/m ²
Anemometre (Testo 435)	0-20 m/s	\pm %4 m/s
Isılçift (K type)	0-200 °C	\pm 0,1 °C
Dereceli silindir	0-500 ml	\pm 5 ml

Sıcaklık sensörlerinden elde edilen analog sinyaller, Şekil 3.8’de gösterilen Advantech marka ADAM-4520 bilgisayar iletişim modülü ve 4019+ analog sinyal dönüştürücü modülü aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılarak kaydedilmiştir. ADAM-4520 ve 4019+ modüllerinin teknik özellikleri ve elektronik bağlantı şeması Ek C’de gösterilmiştir.



Şekil.3.8. ADAM 4019+ veri toplama sistemi

Isılçiftler, bir tür sıcaklık sensörleridir. İki farklı iletken tel malzemenin birleşiminden oluşurlar. Isılçiftler ekonomik ve sağlamdırlar; oldukça iyi, uzun vadeli kararlılığa sahiptirler. Küçük yapıları sayesinde çabuk tepki verirler ve hızlı tepkinin önemli olduğu yerlerde kullanılırlar. Boyutlarının da oldukça küçük olmalarından dolayı TEG test sisteminde ve damıtma sisteminde sıcaklık ölçümleri için yaygın olarak kullanılan algılayıcılardan olan K tipi ısıılçiftler tercih edilmiştir. Isılçiftler test sistemine monte edilerek ölçüm yapılan bölge sıcaklıkları ADAM modülü vasıtası ile bilgisayar ortamına anlık olarak aktarılmıştır.

Piranometre, yatay bir yüzey üzerine düşen ve yatay bir yüzey üzerinde emilen genel güneş ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan bir alettir. Güneş pili hücresi, koruyucu

küresel cam bir fanus içerisinde bulunur ve bir kaydediciye bağlı termoelektrik bataryaya sahiptir. Piranometre, tam güney oryantasyonunda, direk gövdesinden uzakta ve gölgelenmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Deneysel çalışmalarda Şekil 3.9’da gösterilen silikon hücreli 3120 model piranometre kullanılmıştır ve Ek D’de teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.9. Silikon hücreli 3120 model piranometre

Damıtma sistemleri test edilirken, gün boyunca esen rüzgâr hızının tespit edilmesi amacıyla Benetech marka GM8902 model anemometre cihazı kullanılmıştır. Kullanılan anemometre cihazının teknik özellikleri Çizelge Ek E’de verilmiştir.

3.4. ISI GERİ KAZANIMI İÇİN TERMOELEKTRİK MODÜL

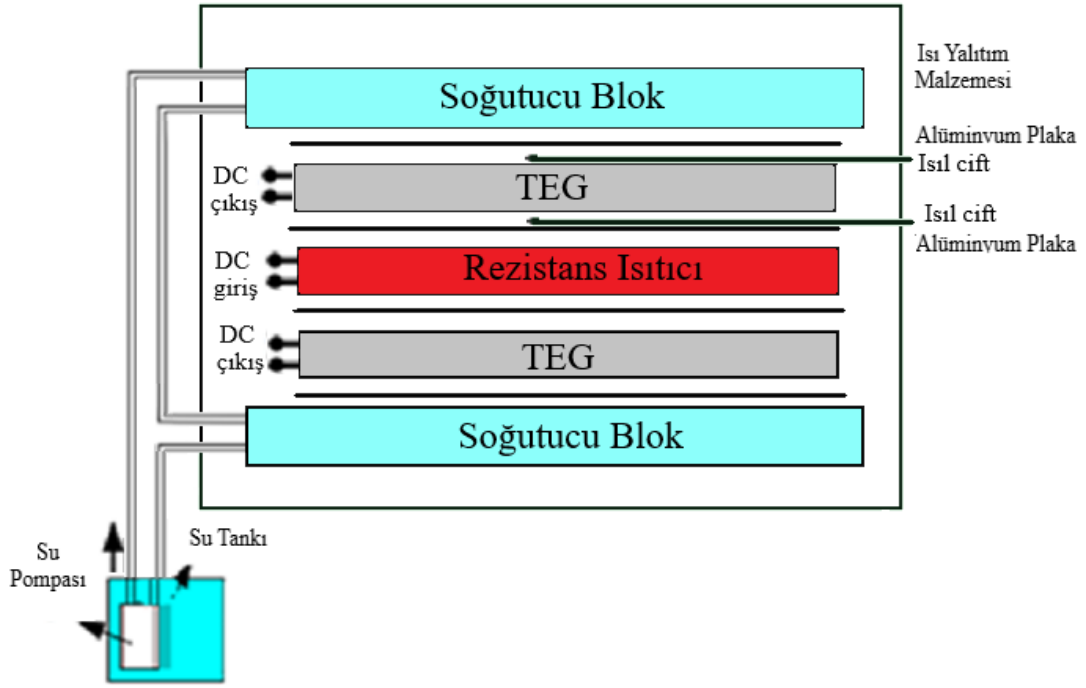
Termoelektrik güç jeneratörleri (TEG) ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren katı hal cihazlarıdır. Bu cihazlar iki yönlü çalışma özelliğine sahiptirler. Ters modda çalıştırılacak termoelektrikler ısıtma veya soğutma sağlamak için elektrik enerjisi tüketerek kullanılabilir. TEG’ler özellikle enerji geri kazanım uygulamalarında kullanışlı hale gelmektedirler. Yüksek miktarlarda atık ısının kaybolduğu çelik ve otomotiv endüstrilerinde termoelektrik teknolojilerinin gelişmesiyle bu sistemler çok fazla kullanılacaktır (Dişlitaş 2009). Günümüzde kullanılan TEG’ler sınırlı dönüşüm verimliliğine sahiptir. Ancak, teknolojik yenilikler ve enerji verimliliğinin öneminin artmasıyla birlikte bu sistemlerin kullanımı artacak ve kaybedilen yüksek ısılar tekrar sistemlere kazandırılacak ve bunun sonucunda sistemlerin verimlerinde önemli artışlar olacaktır.

3.4.1. Termoelektrik Modüllerin Deneysel Analizi

Termoelektrik modüllerin analizleri yapılırken gerilim, akım, güç, birim alandan elde edilen maksimum güç ve verim ifadeleri incelenmelidir. Malzeme parametreleri olan; Seebeck katsayısı, ısı ve elektrik iletkenlik değerleri sıcaklığa bağlı değişiklik göstermektedir. Her bir termoelektrik malzeme, farklı sıcaklık aralıklarında değişken verimlilik değerlerine sahiptir (Tohidi vd., 2022; Ahıska vd., 2011).

Piyasada satılan termoelektrik modüller incelendiğinde özellikle uygun fiyata satılan ürünlerde modül üzerinde üretici firma adı ya da modülün model numarası bulunmamaktadır. Birçok üretici firma modüllerin bilgilerini paylaşırken en uygun koşullarda elde edilen değerleri paylaşmakta bu da yapılacak uygulamalarda hatalara neden olabilmektedir. Sisteme monte edilecek TEG'ler seçilirken belli kriterlere göre seçim yapılmalıdır. Yapılan bu çalışma ile, TEG'lerin katalog bilgileri yeterli olmadığından ve matematiksel verilerinde yetersiz kaldığından deney düzeneği hazırlanıp TEG'lerden ne kadar elektrik enerjisi üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu iş için Şekil 3.10'daki şematik olarak gösterilen yapıya sahip bir test düzeneği geliştirilip TEG'lerin verimleri ve anlık üretim miktarları hesaplanmıştır. Bu düzenek, ısı iletim katsayısı ölçümlerinde kullanılan mekanizma örnek alınarak tasarlanmıştır. Deney düzeneğinde farklı yük koşullarında farklı yüzey sıcaklıkları için akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. Test sistemi sayesinde üretici firması, markası ve modeli bilinmeyen termoelektrik modüllerin test edilmesi mümkün olmuştur.

Bu deneyler sonucunda elde edilen akım-gerilim değerleri, TEG'lerin çıkış karakteristiklerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu değerler, TEG'lerin belirli yük direnç değerleri altında ne kadar gerilim üretebildiğini ve ne kadar akım sağlayabildiğini gösterir. Bu bilgiler, TEG'lerin performansını değerlendirmek ve sisteme entegrasyonlarını planlamak için önemlidir.

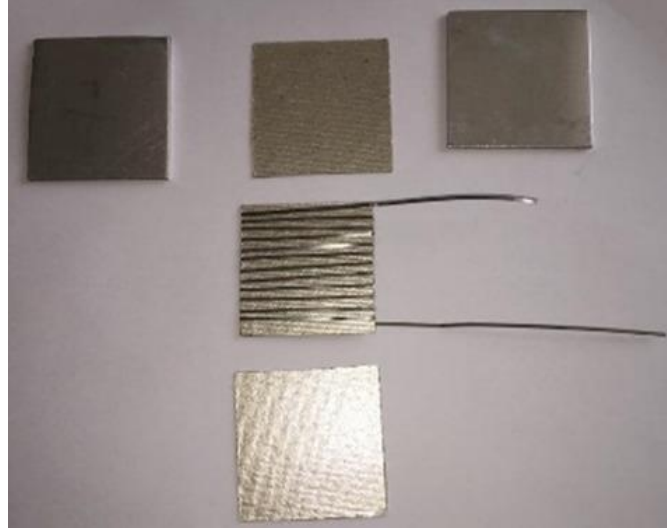


Şekil.3.10. Termoelektrik jeneratör akım-gerilim test sistemi

Termoelektrik jeneratörün ısınan yüzeyini soğutmak ve yüzey sıcaklıklarını rejime sokabilmek için su soğutmalı bir sistem tercih edilmiştir. Bu sistemin amacı, TEG'in soğuk yüzey sıcaklığını düşürerek sıcaklık farkı oluşmasını sağlamaktır. TEG yüzeylerinde tam bir ısıl dağılım sağlanması ve yüzey sıcaklık değerlerinin ısılıçiftler ile ölçülebilmesi için arasına kanal açılmış ince alüminyum parçalar yerleştirilmiştir. Bu alüminyum parçalar, termoelektrik jeneratörlerin yüzey sıcaklığını homojen bir şekilde dağıtarak, yüzey sıcaklık ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılmasını sağlaması için kullanılmıştır. Benzer uygulamalar, TEG'lerin sıcak yüzeyleri için de yapılmış olup yüksek sıcaklıklı yüzeyler için ısı kaynağı olarak DC güç kaynaklı rezistanslı bir ısıtıcı kullanılmıştır.

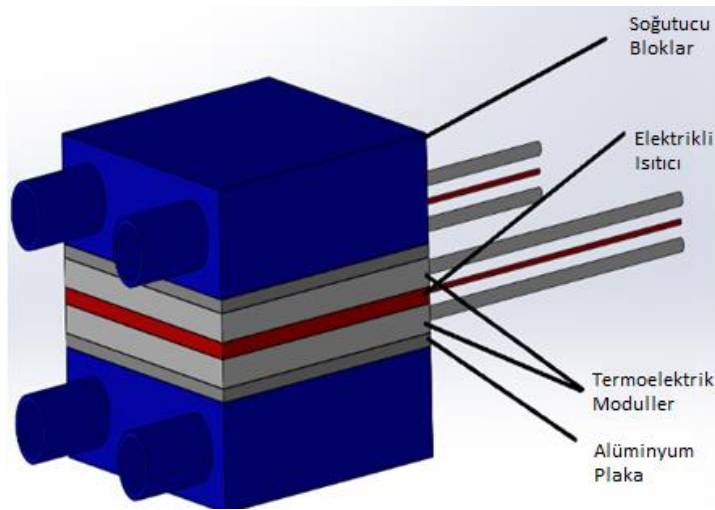
Şekil 3.11'de TEG'lerde sıcak yüzey oluşturmak için kullanılan ısıtıcı rezistansın (40x40mm -10 Ohm) birleştirilmeden önceki hali görülmektedir. Bu ısıtıcı rezistans DC güç kaynağından enerji alarak, termoelektrik modülün üzerine kontrollü bir şekilde ısı vermekte bu sayede istenen sıcaklık değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemlerle TEG'lerin yüzey sıcaklığı kontrol edilmiş ve TEG'lerin yüzeylerinde farklı sıcaklık değerleri oluşturulmuştur. Isılıçiftler aracılığıyla

yüzey sıcaklık değerleri ölçülerek TEG'lerden elde edilen akım ve gerilim değerleri anlık olarak takip edilmiş ve bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Bu veriler kullanılarak modüllerin performans ve verimlilikleri analiz edilmiştir.



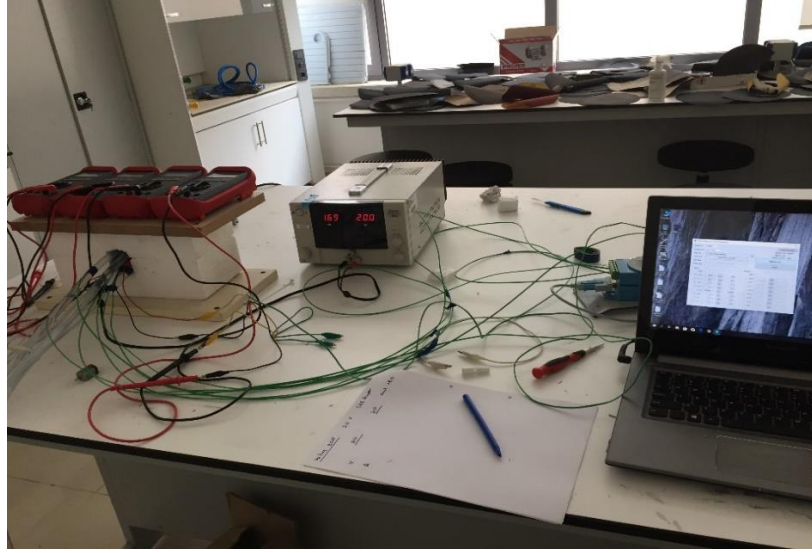
Şekil 3.11. Elektrikli ısıtıcı rezistans

İki adet benzer TEG aralarında elektrikli rezistans olacak şekilde sırt sırta bağlanmıştır. Bu bağlantı şekli, ısıtıcı tarafından sağlanan ısıl yükün modüller arasında eşit olarak dağıtılmasını sağlamak için kullanılmıştır. Şekil 3.12'de test ünitesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Termoelektrik jeneratör test ünitesi

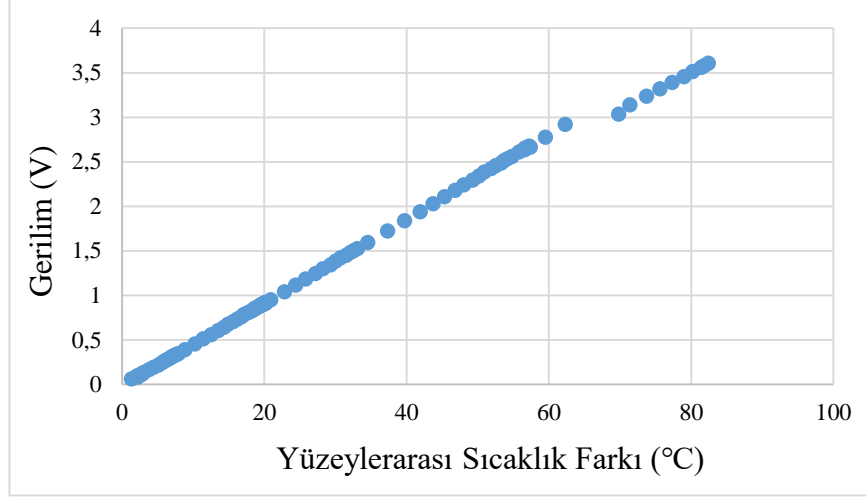
Termoelektrik test düzeninin dış ortamdan gelen ısı yükünü engellemek ve içeride üretilen ısının soğutucular aracılığıyla atılmasını sağlamak amacıyla, 15x15x30 cm boyutlarında poliüretan köpük ile kaplanmıştır (Şekil 3.13). Bu yalıtım sistemi aynı zamanda termoelektrik test düzenini dış etkenlerden korumak için de kullanılmıştır.



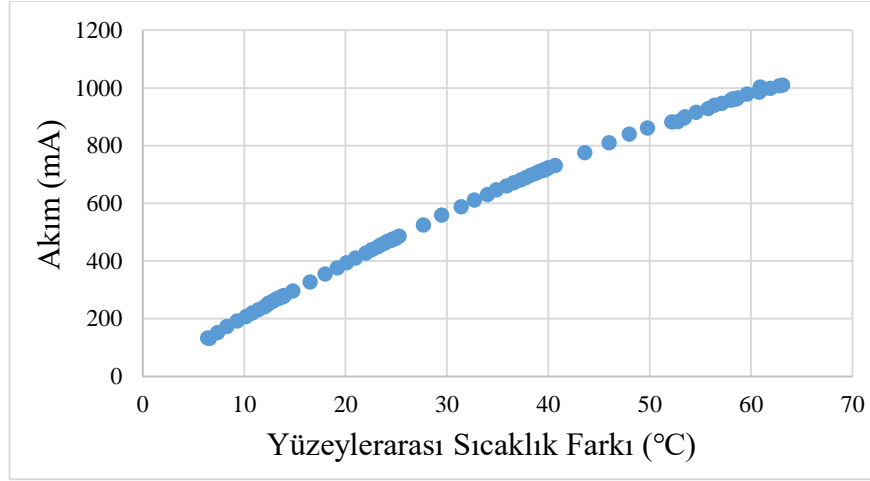
Şekil 3.13. Termoelektrik modül deney düzeneği

Her bir TEG için ayrı ayrı deneyler yapılmış ve farklı yüzey sıcaklıklarında anlık olarak akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümler yapılırken akım ve gerilim değerleri için voltmetre ve Adam modülü birlikte kullanılmıştır. TEG uçları açık devre yapıldığında TEG'den maksimum gerilim (V_{OC}), kısa devre yapıldığında ise maksimum akım (I_{SC}) elde edilir. TEG'den elde edilen güç R_L bağlanan yükün değerine bağlı olarak değişim gösterir. Yük direncinin değerine bağlı olarak TEG'den elde edilen güç miktarı değişir (Chen vd., 2012) . Açık devre gerilim (V_{OC}) ve akım (I_{SC}) değerleri belirlenmiş ve bu değerler grafiklerle gösterilmiştir.

Damıtma sisteminde kullanılacak SP1848-27145 model TEG'lerin çeşitli yüzey sıcaklık farklarında üreteceği akım-gerilim değerleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile üretici firma tarafından beyan edilen verilerin benzer oldukları görülmüştür. Ayrıca, yapılan çalışma sayesinde düşük sıcaklık aralık değerlerinde ihtiyaç olan bilgiler elde edilmiştir.



Şekil 3.14. TEG'lerin çeşitli yüzey sıcaklık farklarında üreteceği gerilim değerleri

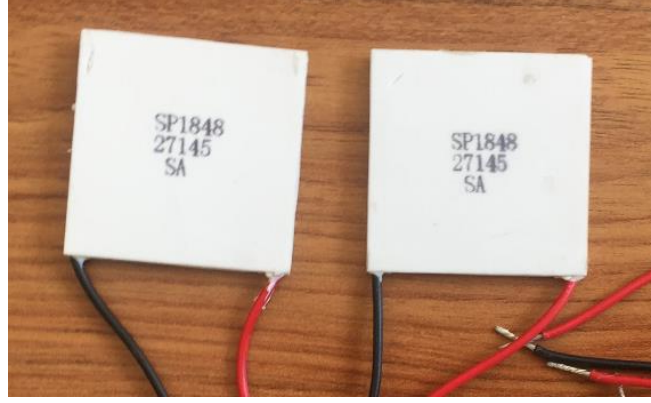


Şekil 3.15. TEG'lerin çeşitli yüzey sıcaklık farklarında üreteceği akım değerleri

SP1848-27145 model TEG'lerin yüzey sıcaklık farklarına göre ölçülen akım ve gerilim değerlerinin, damıtma sistemi için uygunluğu değerlendirilmiş ve damıtma sistemi gereksinimlerini karşılayacağı görülmüştür.

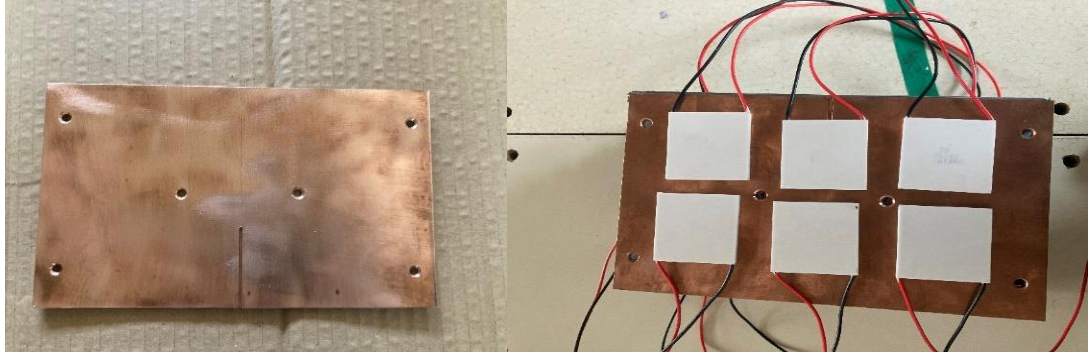
3.4.2 Damıtma Sisteminde TEG Modülleri

Yapılan çalışmada, Şekil 3.16'da gösterilen 40x40x3.9mm boyutlarına sahip, TEG SP1848-27145 SA model modüller kullanılmıştır.



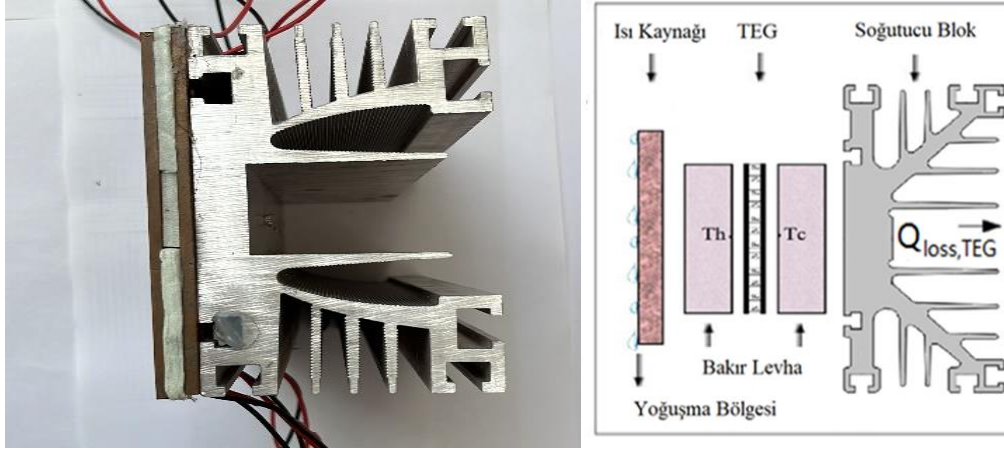
Şekil 3.16. TEG SP1848-27145

Özel olarak hazırlanan bakır plakalar, TEG'lerin konumlandırılması için kullanılmıştır. Bu plakalar, TEG modüllerin yerleştirildiği ve enerji üretimi için gereken sıcaklık farkının olduğu ve yüzeylerdeki ısının hızlı bir şekilde uzaklaşması amacıyla bakır plakadan imal edilmiştir. Şekil 3.17'de TEG'lerin bakır plaka üzerine yerleşimi gösterilmiştir.



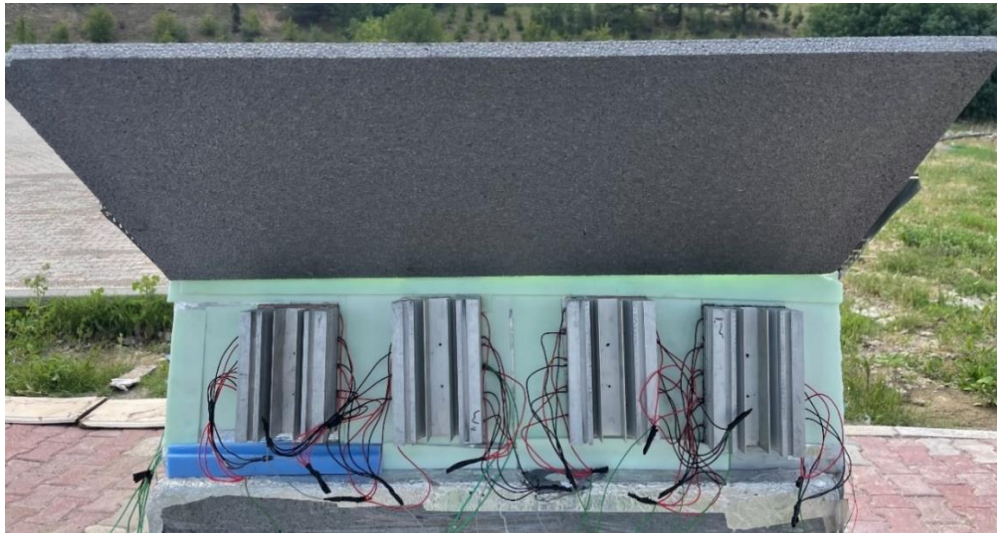
Şekil 3.17. Termoelektrik modüllerin bağlantı şekilleri

Plaka yüzeylerinde ısılıçiftler için kanallar açılmıştır. Bu kanallar, yüzey sıcaklıklarını doğru bir şekilde ölçmek için ısılıçiftler plakalara ve TEG modüllerinin yüzeylerine temas edebileceği bir yol sağlar. ısılıçiftler sayesinde modüllerin yüzeylerinde oluşan sıcaklık farkı ölçülmekte ve bu sayede TEG'lerden ne kadar enerji üretildiği ve sisteme ne kadar enerji verildiği tespit edilmektedir. Sistemde toplamda 32 adet TEG modülü bulunmaktadır. Bu modüller, 4 farklı soğutucu blok içerisine Şekil 3.18'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Soğutucu blok yapısı ve termoelektriklerin konumu

TEG'lerin damıtma sistemine entegre edilmesi, yoğuşma olayında dış ortama atılan ısıyı elektrik enerjisine dönüştürerek enerji geri kazanımını sağlayabilir. Ancak, doğru sıcaklık farkı bölgelerinin belirlenmesi, uygun TEG'lerin seçimi ve doğru montajın yapılması bu noktada önem arz etmektedir. Her bir soğutucu blokta, 8 adet TEG modülü bulunmaktadır. Şekil 3.19'da soğutucu blokların damıtma sistemi üzerinde nasıl konumlandırıldığı gösterilmektedir. Soğutucu bloklar, ısı transferi ve verimlilik açısından damıtma sistemi üzerindeki en uygun yüzey olarak düşünülen bölgeye yerleştirilmiştir. Soğutucu bloklar, damıtma süreci sırasında TEG'lerin soğuk yüzey sıcaklığını düşürmek veya belirli bir sıcaklık aralığında tutmak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.19. Damıtma sistemine TEG bloklarının yerleşimi

3.4.3 Damıtma Sisteminde Fan Kullanımı

Çalışmalarda kullanılan fanların ve motorlarının teknik özellikleri Çizelge Ek G'de verilmiştir. Damıtma sistemi içerisinde fanların yerleşimi ve özellikle yan yüzeylerde meydana gelen yoğuşma Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Yan yüzeylerde gerçekleşen yoğuşma

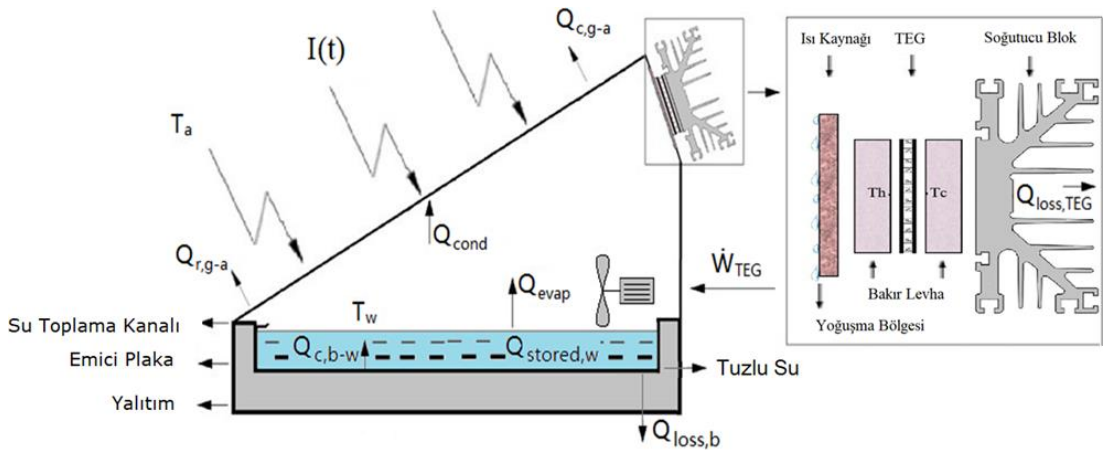
Sistemdeki TEG modüller, üretilen elektrik akımı ve gerilimi fanlar için yeterli değerlere sahip olması için 8 paralel ve 2 seri kombinasyonunda bağlanmıştır. Bu, toplamda 16 adet paralel bağlantı ve 2 adet seri bağlantı anlamına gelir. Bu bağlantı düzenlemesi ile, TEG modüllerinden elde edilen elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılmasını ve fanların ihtiyaç duyduğu gücü sağlaması amaçlanmıştır. Elektrik üretimi için damıtma sistemine TEG SP1848-27145 kodlu modüllerden 32 adet kullanılması planlanmıştır. Bu modüller, 8x4 düzenlemesiyle soğutucu plakalar üzerine monte edilmiştir. Yani her bir soğutucu plaka üzerine 8 adet TEG modülü yerleştirilmiştir ve toplamda 4 adet alüminyum malzemeden üretilmiş soğutucu plaka kullanılmıştır.

Damıtma sistemi içerisinde iki farklı pervaneyi çalıştırmak amacıyla fan motoru olarak 0,35-0,4 amper akım ile beslenen elektrik motoru kullanılmıştır. Her fan, çalışması için gerekli elektirksel gücü TEG modüllerinin çıkışından almıştır.

3.5. MATEMATİKSEL MODELLEME VE TEORİK ANALİZ

Güneş enerjili su damıtma sistemlerinin temel çalışma prensibi oldukça basittir. Sistem, doğanın yağmur oluşumu sürecine benzer biçimde ve daha etkili bir şekilde çalışır. Güneş enerjisi, suyu ısıtarak buharlaşma noktasına getirir. Su buharlaştıkça yükselir ve cam yüzeyinde yoğunlaşır. Bu işlem, safsızlıkları (örneğin tuzlar ve ağır metaller) uzaklaştırır ve mikrobiyolojik organizmaları ortadan kaldırır. Sonuç olarak, en saf yağmur suyundan daha temiz bir su elde edilir.

Bir güneş enerjili damıtma sistemiyle elde edilen damıtılmış su miktarı, çeşitli etkilere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu etkiler arasında en önemlisi güneş ışınım şiddeti miktarıdır. Güneş ışınları, bu tür damıtma sistemlerinde temel enerji kaynağıdır ve sistemde bulunan suyun buharlaşması için gelen ışınımın bir kısmı saydam örtü üzerinden geçer ve kullanılır. Enerjinin bir kısmı çevreye yansırken, bir kısmı da ısı kayıpları yoluyla dışarıya gider. Bu şekilde, güneş enerjili damıtma sistemleri, güneş enerjisini kullanarak temiz bir su elde edilmesini sağlar. Sistemin verimliliği ve performansı, güneş ışınım miktarı ve sistemin tasarımı gibi faktörlere bağlıdır. Güneş enerjili damıtma sistemlerinde meydana gelen ısı transfer mekanizmaları Şekil 3.21’de şematik olarak gösterilmiştir.

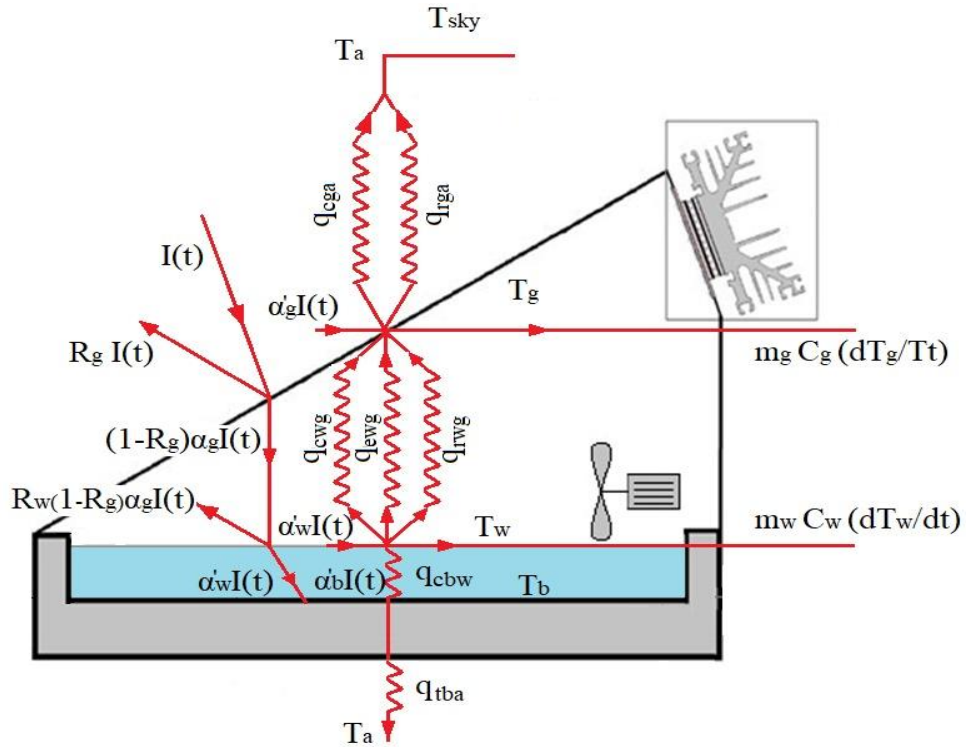


Şekil 3.21. Güneş enerjili su damıtma sistemide ısı transfer mekanizmaları

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde ısı geçişi damıtma sisteminin kapalı bölgesinde gerçekleşir ve iki şekilde olur; iç ısı transferi ve dış ısı transferi. İç ısı transferi,

damıtma sisteminin kapalı bölgesi içinde gerçekleşir. Bu bölgede, güneş enerjisiyle ısıtılan su buharlaşır ve yoğuşur. Bu ısı transferi süreci, su buharının damıtıcı içinde hareket etmesiyle ve buharın yoğuşarak saf suya dönüşmesiyle gerçekleşir. Dış ısı transferi damıtma havuzunun dış yüzeyinden çevreye doğrudur ve iletim, taşınım ve ışınım ile gerçekleşir. Dış ısı transferi, üstte saydam cam örtü ve yalıtım malzemesi gibi malzemeler aracılığıyla gerçekleşir. Cam rt, güneş ışınlarının içeri girmesine izin vererek sistemi ısıtır. Yalıtım malzemeleri ise, sistemdeki ısı kaybını azaltmaya yardımcı olur.

Damıtma sistemlerinin iç kısmında gerçekleşen ısı ve kütle transferi olayları, ışınım, taşınım ve buharlaşma-yoğuşma prosesleriyle olmaktadır. İ ısı transferindeki taşınım ile ısı geçişi, buharlaşma ve yoğuşma işleminden dolayı sürekli halde dir ve ışınım prosesinden bağımsızdır. Damıtma havuzunda gerçekleşen i ve dış ısı transferlerinin sınıflandırılması Şekil 3.22 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 3.22. Güneş enerjisi damıtıcılardaki ısı transferi mekanizmalarının Şematik diyagramı

3.5.1. Isıl Modelleme

Literatürde, güneş enerjili damıtma sistemlerinin daha iyi tasarımlarını bulmak için deneysel araştırmalar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Genellikle, deneysel araştırmalar maliyetli ve zaman açısından zorluklar oluşturmaktadır. Bu nedenle, matematiksel modelleme, güneş enerjili damıtıcılar için daha iyi tasarımlar ve optimum işletme parametrelerini bulmak için alternatif bir yöntem olabilmektedir. Matematiksel modeller veya ısıl modeller, damıtıcının çeşitli bileşenlerinin enerji dengelerine dayalı olarak geliştirilmektedir (Elango vd., 2015; Saxena vd., 2022). Günümüzde mevcut olan bilgi işlem olanakları, teorik analizlerin geliştirilmesini daha hızlı ve daha doğru hale getirmektedir. Bir güneş enerjili damıtma sistemi belirli bir kapasite için ısıl modelleme kullanılarak maliyet ve zaman harcamadan verimli bir şekilde tasarlanabilir. Isıl modeller, bilinen koşullar altında maksimum damıtma çıkışını elde etmek için damıtma ünitesinin şekli, boyutu, türü, işletme ve tasarım parametreleri gibi kararlar almak için yardımcı olabilir. Isıl modellerin simülasyonu, tasarım aşamasında belirli parametrelerdeki değişikliklerin etkilerini araştırmak için faydalı olacaktır. Bir güneş enerjili damıtma sisteminin iklim, tasarım ve işletme parametrelerinin etkisi teorik olarak belirli varsayımlara dayanarak incelenebilir. Ancak varsayımlar, sistemin gerçek işletme ortamında sapmamalıdır.

3.5.1.1 Damıtma Sistemindeki Isı Transferleri

Eşzamanlı kütle ve ısı transferi, güneş enerjili damıtma sisteminde suyun buharlaşması ve yoğunlaşması süreçlerinin temelini oluşturur. Damıtma sisteminin içinde ve dışında oluşan ısı transferi, sisteme giren veya çıkan ısı enerjisinin akışına bağlı olarak gerçekleşir. İçerideki ısı transferi, suyun güneş enerjisiyle sistem içinde buharlaşması ve tatlı su buharının oluşmasıyla ilgilidir. Dış ısı transferi ise, genellikle tatlı su buharının yoğunlaşmasında etkili olur. Bu olayda, tatlı su buharı dış ortamın daha düşük sıcaklığına maruz kalarak yoğunlaşır ve tekrar sıvı haline döner.

Genel olarak, bir ısı transferi süreci sürekli rejim ya da zamana bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Sürekli rejim ısı transferi işlemi sırasında, sıcaklık veya ısı akışı zamanla değişmeden kalırken, diğer süreçte bu özellikler zamana bağlıdır. Pratikte

karşılaşılan ısı transfer süreçlerinin çoğu, doğası gereği zamanı bağlı rejimdedir. Zamana bağlı ısı transferi süreçlerini analiz etmek zor olmalarına rağmen bazı sabit koşullara dayalı olarak analiz edilebilirler.

Su yüzeyi ve cam kapak iç yüzeyi arasındaki ısı değişimi damıtma sisteminde iç ısı transferi olarak adlandırılır. Güneş enerjisi damıtma sistemlerinde ısı transfer süreci taşınım, iletim ve ışıınım olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. İç ısı transferi olarak belirtilen ışıınım, taşınım ve buharlaşma yoluyla gerçekleşen ısı geçişleri ve ilgili katsayılar, damıtma havuzunun iç bölgesinde gerçekleşen ısı geçişlerini tanımlamak için kullanılır ve sistemin verimini ve sistemden elde edilecek su miktarını bulmak için önemlidir.

Su ile cam kaplama arasındaki ışıınım (Radyasyon) ısı transferi, ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi taşınım veya iletme ile gerçekleşen enerji transferine oranla çok hızlıdır. Ayrıca, ışıınım ısı transferi katılarda olduğu kadar sıvılarda ve gazlarda da meydana gelir. Güneş enerjili su damıtıcısının içersinde ışıınımla olan ısı transferi su kütlesi ile cam örtü iç yüzeyi arasında meydana gelir. Aslında ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi, yüzeylerin birbirini gördüğü alanlarda meydana gelir ve görme faktörü ile etkinliği oransal olarak değişir. Literatüre bakıldığında, güneş enerjili damıtıcılarda, cam kapağın yatay ile eğimi küçük olduğu için görme faktörü bir olarak kabul edilir (Sampathkumar vd, 2015). Çünkü, eğimli ve geniş bir su yüzeyine sahip olan sistemlerde, su yüzeyi ve saydam yüzey paralel yüzeyler olarak kabul edilebilir. Su ile cam yüzey arasındaki ışıınım ile gerçekleşen ısı transferi Eşitlik 3.1 ile hesaplanır (Al-Sulttani vd., 2017).

$$q_{r,w-g} = h_{r,w-g} \times (T_w - T_g) \quad (3.1)$$

Cam yüzeyinden su yüzeyine ışıınım ile gerçekleşen ısı transferinin hesaplanması için öncelikle ışıınım ısı transfer katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Su ve cam kapak iç yüzey arasındaki ışıınımla ısı transferi Eşitlik 3.2 ile elde edilebilir.

$$q_{r,w-g} = \sigma \varepsilon_{wg} F_{wg} [(T_w + 273.15)^4 - (T_g + 273.15)^4] \quad (3.2)$$

Burada, ε_{wg} , su yüzeyinin cam kapağa olan etkili yayma oranı (emissivitesi) ve σ ise Stefan Boltzman'ın $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ olarak alınan ışıınım sabitidir. Su kütlesi ve cam kapak arasındaki etkin yayılım Eşitlik 3.3 ile hesaplanır.

$$\varepsilon_{wg} = (1/\varepsilon_w + 1/\varepsilon_g - 1)^{-1} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.2'deki F_{wg} , görme faktörünü temsil etmektedir ve sistemin boyutlarına göre 1 ile 0 değerleri arasından değişmektedir. Literatürdeki çoğu uygulamada eğim açısının az olduğu ve yüzeyle etkileşimi paralel kabulü varsayılarak hesaplamalarda 1 kabul edilebilmektedir. Tanaka (2000) F_{wg} , şekil faktörünü veya ışıınım görme faktörünü su ve cam yüzey alanlarının farklı olması durumu için Eşitlik 3.4'ü tanımlamıştır.

$$F_{wg} = \frac{1}{\frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} + \frac{2L_w}{L_w + L_g - L_{bw}} + \frac{(1 - \varepsilon_g) * (L_w/L_g)}{\varepsilon_g}} \quad (3.4)$$

Madhlopa ve Clarke (2013) tarafından yapılan çalışmada, su yüzeyinden cam kapağa ışıınım yoluyla gerçekleşen ısı transferinin hesabında kullanılan katsayı için Eşitlik 3.5'i önerilmiştir. Bu eşitlik, ışıınım görme faktörünü de dahil ederek hesaplamaları içermektedir.

$$h_{r,w-g} = \frac{\sigma(T_w^2 + T_g^2)(T_w + T_g)}{\frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} + \frac{A_w(1 - \varepsilon_g)}{A_g \varepsilon_g} + \frac{1}{F_{w-g}}} \quad (3.5)$$

Damıtma sistemlerinde, su ve cam yüzey arasında gerçekleşen ışıınım yoluyla ısı transferi Eşitlik 3.6 ile hesaplanır (H. Ajam vd. 2010).

$$q_{r,w-g} = \frac{\sigma(T_w^4 - T_g^4)}{\frac{1 - \varepsilon_w}{\varepsilon_w} + \frac{(1 - \varepsilon_g) * A_w}{\varepsilon_g * A_g} + \frac{1}{F_{wg}}} \quad (3.6)$$

Su ile saydam yüzey arasında taşınım ısı transferi, akışkan özelliklerine, ilgili katı yüzeyin geometrisine ve pürüzlülüğüne kuvvetle bağlıdır. Bir güneş enerjili damıtma

sisteminde, taşınım ile ısı transferi, havza suyu ve cam iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ile nemli hava boyunca gerçekleşir. Güneş enerjili su damıtıcının içindeki taşınım ile ısı transferi, su sıcaklığı (T_w) ve cam kapak iç yüzey sıcaklığı (T_{gi}) cinsinden Eşitlik 3.7 ile ifade edilebilir.

$$q_{c,w-g} = h_{c,w-g}(T_w - T_{gi}) \quad (3.7)$$

Yukarıdaki ifadede, $h_{c,w-g}$, su kütlesi ile cam kapak iç yüzeyi arasındaki ısı taşınım katsayısını ifade etmektedir ve geleneksel damıtma sistemlerinde Eşitlik 3.8 ile hesaplanmaktadır (Sathyamurthy vd., 2017).

$$Nu = \frac{h_{c,w-g}d_f}{k_f} = C(Ra)^n \quad (3.8)$$

Burada Nu, boyutsuz bir sayı olan Nusselt sayısıdır, $h_{c,w-g}$, ısı taşınım katsayısını, k_f , ise nemli havanın ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. d_f ise, su yüzeyinden saydam kapak arasında karakteristik uzunluktur. Parametreler C ve n, deneysel verilerin regresyon analiziyle bulunan boyutsuz sabitlerdir (Dunkle modelinde C= 0.075 ve n= 0.333). Bu değerler, tasarım parametreleri ve hava koşullarıyla daha iyi uyum sağlamak için deneysel verilere göre değiştirilebilir. Ra, doğal taşınımın hesaplanmasında kullanılan boyutsuz bir sayıdır. Ra, Grashof sayısı (Gr) ve Prandtl sayısının (Pr) çarpımı olarak tanımlanır ve Eşitlik 3.9 ile ifade edilir:

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta d_f^3 \rho_v^2 \Delta T}{\mu^2} \times \frac{\mu \times C_v}{K} = \frac{g\beta d_f^3 \Delta T}{\nu \alpha} \quad (3.9)$$

Burada, g, yerçekimi ivmesini, β , buharın ısıl genişleme katsayısını, ρ_v nemli havanın yoğunluğunu, C_v , nemli havanın özgül ısısını, ΔT sıcaklık farkını, ν , kinematik viskoziteyi ve α , buharın ısıl difüzyivitesini ifade etmektedirler. SI biriminde ısı taşınım katsayısı Eşitlik 3.10 ile hesaplanır (Al-Sulttani vd. 2017).

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left\{ (T_w - T_g) + \frac{(p_w - p_g)(T_w + 273,15)}{(268900 - p_w)} \right\}^{1/3} \quad (3.10)$$

p_w ve p_g , doymun buhar basınçlarını ifade etmektedir. Su sıcaklığında ve cam kapak iç yüzey sıcaklığında doymun buhar basınçları aşağıdaki ifadelerle bulunur (Dimri vd., 2008).

$$p_w = \exp \left\{ 25.317 - \frac{5144}{(T_w + 273)} \right\} \quad (3.11)$$

$$p_g = \exp \left\{ 25.317 - \frac{5144}{(T_g + 273)} \right\} \quad (3.12)$$

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde, buharlaşma hızını artırmak için yüksek bir ısı transfer katsayısına sahip olmak istenir. Isı transferini iyileştirmenin bir yolu da Re sayısını artırmaktır. Mevcut sistemde, buhar akışını arttırmak için küçük bir fan kullanılmış ve böylece Re sayısı yükseltilmiştir. Geliştirilen model ile geleneksel model arasında ısı transfer mekanizmaları benzerdir. Ancak, sistemde fan çalışmasıyla taşınım ile ısı transferinde buharın hızının artmasından dolayı değişim olacaktır. Taşınım ile ısı transferindeki değişim fanın hızına bağlı olarak gerçekleşecektir. Doğal taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, zorlanmış taşınım bölgesine geçecek veya kombinasyonlu olarak doğal ve zorlanmış taşınım rejiminde olacaktır. Eşitlik 3.13 ve Eşitlik 3.14, sırasıyla zorlanmış taşınım için laminar ve türbülanslı ilişkileri temsil etmektedir. Bu değer için 5×10^5 geçiş Re sayısı varsayılmıştır (Bergman vd., 2015).

$$Nu = 0,664 * Re_L^{1/2} * Pr^{1/3} \rightarrow Re_L < 5 \times 10^5 \quad (3.13)$$

$$Nu = (0,37 * Re_L^{4/5} - 871) * Pr^{1/3} \rightarrow Re_L = 5 \times 10^5 \quad (3.14)$$

Richardson sayısını (Ri) hesaplayarak ısı transferini gerçekleştirdiği rejimini belirlemek mümkündür. Ri, bir akışkan akışında kaldırma kuvvetini, atalet kuvvetine göre boyutsuz olarak ilişkilendiren bir parametredir. Isı taşınımı olan bir sistemde ısı transferinin baskın mekanizmasını karakterize etmek için yaygın olarak kullanılır. Richardson sayısı Eşitlik 3.15 ile hesaplanır (Bergman vd., 2015):

$$Ri = (g * \Delta T * L)/(V^2) \quad (3.15)$$

Burda g, yerçekimi ivmesini, ΔT , akışkan katmanları arasındaki sıcaklık farkını, L, karakteristik bir uzunluk ölçeğini, V, akışkan akışımın karakteristik hızını ifade etmektedir. Ri sayısının, Grashf ve Reynold sayısının karesine oranı olarakta ifade edilir.

$$Ri = Gr/Re^2 \quad (3.16)$$

Literatürde gözlemlendiği üzere, eğer $(Gr/Re^2) \ll 1$ serbest taşınım önemsizdir. Bu, türbülanslı veya zorlanmış taşınım rejimini gösterir, burada atalet kuvvetleri kaldırma kuvvetlerinden baskındır. Şayet $(Gr/Re^2) \gg 1$ ise, bu durumda zorlanmış taşınım önemsizdir. Bu, doğal konveksiyon rejimini gösterir, burada kaldırma kuvvetleri atalet kuvvetlerinden baskındır. $0.1 \leq Ri \leq 1$: Bu, karmaşık taşınım rejimini gösterir, burada hem kaldırma hem de atalet kuvvetleri benzer öneme sahiptir. Belirli bir sistem için Ri sayısını hesaplayarak ve yukarıdaki aralıklarla karşılaştırarak, taşınım rejiminin ağırlıklı olarak türbülanslı, doğal veya ikisinin kombinasyonu olduğu belirlenebilir. Bu durumlarda, ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 3.17'deki ilişki kullanılır (Bergman vd., 2015).

$$Nu^3 = (Nu_{doğal})^3 + (Nu_{zorlanmış})^3 \quad (3.17)$$

Zorlanmış taşınım durumunda yani fan kullanıldığında, Eşitlik 4.8 ifadesi Nusselt sayısına göre tekrar hesaplanmalıdır. Damıtma ünitesinin içinde tuzlu su ile cam kaplama arasındaki ısı transferi katsayısı ifadesi için aşağıdaki eşitlik kullanılır (Bergman vd., 2015).

$$h_{cf,w-g} = 0.037 \times Re^{0.8} * Pr^{0.33} \frac{k}{d_f} \quad (3.18)$$

Burda kullanılan ifadeler Re, Pr, k ve d_f , sırasıyla Reynolds sayısı, Prandtl sayısı, ısı iletim katsayısı ve damıtma ünitesinin karakteristik uzunluğu ifade etmektedir.

Buhar basıncı, belirli bir sıcaklıkta sıvının doyma basıncından daha düşük olduğunda, sıvı-buhar ara yüzeyinde buharlaşma meydana gelir. Buharlaşma ısı transferi güneş enerjili damıtıcılarda su ve su-buhar ara yüzü arasında gerçekleşir. Su kütlesi ile cam kapak iç yüzeyi arasındaki buharlaşma ısı transferi Eşitlik 3.19 ile ifade edilir:

$$q_{e,w-g} = h_{e,w-g}(T_w - T_g) \quad (3.19)$$

Sistemin üreteceği damıtılmış su miktarı, belirli bir zaman aralığında buharlaşan suyun toplam miktarının ifadesi olarak Eşitlik 3.20 ile hesaplanabilir.

$$m_{ew} = \frac{q_{e,w-g} \times A_w \times t}{h_{fg}} \quad (3.20)$$

Dunkle modeline göre, su ve cam arasındaki buharlaşma ısı transfer katsayısı (h_{ew}) aşağıdaki gibi verilebilir (Al-Sultani vd., 2017).

$$h_{e,w-g} = 16,273 \cdot 10^{-3} * h_{c,w-g} \left[\frac{p_w - p_g}{T_w - T_g} \right] \quad (3.21)$$

Isı taşınım katsayısı Eşitlik 3.22’de Nu sayısının ifadesi olarak yazılırsa h_{ew} denklemi (Al-Sultani vd., 2017):

$$h_{e,w-g} = 16,273 \cdot 10^{-3} * \frac{k_f}{d_f} \times C \times (Gr \times Pr)^n \times \left[\frac{p_w - p_g}{T_w - T_g} \right] \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.22 yeniden düzenlenirse,

$$m_{ew} = \frac{16,273 \cdot 10^{-3}}{h_{fg}} * \frac{k_f}{d_f} \times A_w \times t \times C \times (Gr \times Pr)^n \times (p_w - p_g) \quad (3.23)$$

$$S = \frac{16,273 \cdot 10^{-3}}{h_{fg}} * \frac{k_f}{d_f} \times A_w \times t \times (p_w - p_g) \quad (3.24)$$

$$\frac{m_{ew}}{S} = C \times (Gr \times Pr)^n \quad (3.25)$$

Eşitlik 3.25'te verilen ifadenin her iki tarafının logaritması alınarak Eşitlik 3.26'daki ifade elde edilir:

$$\ln\left(\frac{m_{ew}}{S}\right) = \ln C + n + \ln(Gr \times Pr) \quad (3.26)$$

n ve C sabitlerinin değerleri, doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak hesaplanabilir (Tiwari vd., 2003).

Zorunlu taşınım durumunda, taşınım ile oluşan ısı transferi artar. Bununla birlikte, buharlaşma ile oluşan ısı transferinde değişiklikler meydana gelir. Yeni durumda, su ile cam arasındaki buharlaşma ısı transferi ($q_{evpf,w-g}$), Bergman ve diğerleri tarafından önerilen Eşitlik 3.27 ile hesaplanır (Bergman vd, 2015).

$$h_{e,w-g} = \left(0.037 * Re^{0.8} * Sc^{0.33} * \frac{D}{d_h}\right) * P_s * \frac{M_w * h_{fg}}{R} \quad (3.27)$$

Burada, Sc, Schmidt sayısı ve D (m^2/s), havadaki suyun difüzyon katsayısı, P_s (Pa), doymuş buhar basıncı; M_w (kg), moleküler kütle; R (kJ/kmol K), evrensel gaz sabiti; ve h_{fg} (kJ/kg), buharlaşmanın gizli ısıdır.

Toplam iç ısı transferi, su kütlesi ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki taşınım, ışınlım ve buharlaşmalı ısı transferinin birleşimi olarak ifade edilir ve toplam iç ısı transferleri ifadesi Eşitlik 3.28 ile gösterilir.

$$q_{t,w-g} = q_{c,w-g} + q_{r,w-g} + q_{e,w-g} \quad (3.28)$$

$$q_{t,w-g} = h_{t,w-g}(T_w - T_g) \quad (3.29)$$

Su kütlesi ile cam kapak iç yüzeyi arasındaki toplam iç ısı transfer katsayısı $h_{t,w-g}$, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$h_{t,w-g} = h_{c,w-g} + h_{r,w-g} + h_{e,w-g} \quad (3.30)$$

Bunlara ek olarak, cam kapağın iç yüzeyinden cam kapağın dış yüzeyine iletim ile gerçekleşen ısı transferini Eşitlik 3.31 ile hesaplanır (Elango vd., 2015).

$$q_{cd,gi-go} = \frac{k_g}{L_g}(T_{gi} - T_{go}) \quad (3.31)$$

Dış ortama doğru gerçekleşen ısı transferi, birbirinden bağımsız olan iletim, taşınım ve ışınım süreçlerinden oluşur. Güneş enerjili damıtma sisteminin atmosfere verdiği ısı enerjisi kaybı olarak kabul edilir. Güneş enerjili damıtıcıda cam örtü dış yüzeyinden atmosfere kaybedilen ısıya üstten kaybedilen ısı transferi denilmektedir. Su kütlesinden yalıtım yoluyla atmosfere olan ısı kaybına ise alttan ve yandan kayıplı ısı transferi denilmektedir. Üst taraf yani cam yüzeyi ne kadar yüksek olursa yoğuşmaya etkisinden dolayı, güneş enerjisi damıtıcısından gelen verim o kadar yüksek olur ve ikincisi yani alt kısım ne kadar düşük olursa enerji kaybı az olacağından sistem verimine etkisi o kadar iyi olur.

Üst cam yüzeyinden dış ortama aktarılan ısı kaybı taşınım ve ışınım yoluyla ısı transferi süreçleri ile olmaktadır. Cam kapağın dış yüzeyinden taşınım ile ısı kaybı aşağıdaki ifade ile verilir.

$$q_{c,g-a} = h_{c,g-a}(T_g - T_a) \quad (3.32)$$

Eşitlik 3.32'deki ifadede, $h_{c,g-a}$, ısı taşınım katsayısı olarak bilinir ve rüzgar hızı cinsinden ifadesi Eşitlik 3.33 ve 3.34 ile rüzgaz hızının değişimine göre ifade edilir (H. Saharon 2015).

$$h_{c,go-a} = 2,8 + (3,0 * v) \rightarrow v \leq 5(m/s) \quad (3.33)$$

$$h_{c,go-a} = 6,15 * v^{0,8} \rightarrow v \geq 5(m/s) \quad (3.34)$$

Damıtıcının cam kapağında çevreye ışınlam ile kaybedilen ısı transferi miktarı Eşitlik 3.35 ile ifade edilir:

$$q_{r,g-a} = h_{r,g-sky}(T_g - T_a) \quad (3.35)$$

Yukarıdaki ifadede, $h_{r,g-sky}$, çevre ile cam kapağın dış yüzeyi arasındaki ısı transfer katsayısı (ışıma) olarak bilinir ve Eşitlik 4.36 ile hesaplanır (Madhlopa ve Clarke 2013).

$$h_{r,g-sky} = \varepsilon_g \sigma (T_g + 273)^2 + (T_{sky} + 273)^2 (T_g + T_{sky}) \quad (3.36)$$

T_{sky} , ifadesi gökyüzünün sıcaklığı olarak ifade edilmekte ve dış ortam sıcaklığından 6°C düşük kabul edilebilmektedir (Elango vd., 2015). Bazı kaynaklarda ise, $T_{sky} = 0,0552 T_a^{0,15}$ ile verilmektedir (Hedayatzadeh ve Sarhaddi 2021). Damıtma sisteminin üst yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı, taşınım ve ışınlam ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamıdır.

$$q_{t,go-a} = q_{c,go-a} + q_{r,go-a} \quad (3.37)$$

$$Q_{loss_g} = A_g * (h_{r,g-sky} * (T_g - T_{sky}) + h_{c,g-a} * (T_g - T_a)) \quad (3.38)$$

Toplam üst ısı kaybı katsayısı hem ışınlamın hem taşınımın etkisi dikkate alınarak doğrudan rüzgâr hızı (v) cinsinden aşağıdaki ifade etmek mümkündür (Elango vd., 2015).

$$h_{t,go-a} = 5,7 + (3,8 * v) \quad (3.39)$$

Verilen eşitlikler yardımıyla damıtma sisteminin performans analizi yapılabilir. Ancak, aynı ifadeler teorik analiz için uygun olmayacaktır ve bu eşitliklerle birlikte

teorik analiz için havuz cam yüzey sıcaklığının ve havuzdaki tuzlu suyun sıcaklığının hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle, damıtma sisteminin toplam ısı transfer katsayısının hesaplanması gereklidir. Bu katsayı, damıtma sisteminin verimini analiz etmek için önemlidir. Damıtma sisteminin toplam ısı kayıp katsayısının hesaplanması için sistem iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm üst ısı kayıp katsayısı olarak nitelendirilen saydam örtülü yüzey, ikinci bölüm ise alt ısı kayıp katsayısı olarak nitelendirilen sistemin tabanı seçilmiştir.

Üst yüzey cam kapak iç yüzeyinden dış ortama toplam ısı kayıp katsayısı Eşitlik 3.40 ile ifade edilir.

$$U_{t,gi-a} = \frac{(k_g/L_g) h_{t,go-a}}{(k_g/L_g) + h_{t,go-a}} \quad (3.40)$$

Üst cam kapak yoluyla su kütlelerinden atmosfere olan toplam ısı kaybı katsayısı Eşitlik 3.41 ile hesaplanır (Al-Sultani 2017).

$$U_t = \frac{h_{t,w-gi} * U_{t,gi-a}}{h_{t,w-gi} + U_{t,gi-a}} \quad (3.41)$$

Damıtma havuzunun içindeki suyun atmosfere doğru olan enerji kayıpları, havuz iç yüzeylerinin kaplandığı yalıtım malzemesinden doğru iletim, taşınım ve ışınlama ile gerçekleşmektedir. Güneş enerjili damıtma sistemi bir stand monte edilmişse, alt ve yan ısı kayıpları önce taşınım sonra iletim ve son olarak taşınım ve ışınlama ile dış ortama gider. Ancak, toprak üstüne yerleştirilmiş güneş enerjisi damıtma sisteminde alt ısı kaybı önce taşınım ve daha sonra sadece iletim şeklindedir. Emici yüzey ile su kütlesi arasındaki taşınım ile ısı transferi Eşitlik 3.42 ile hesaplanır.

$$q_w = h_w * (T_b - T_w) \quad (3.42)$$

Burada h_w veya $h_{c,w-g}$, havuz zemininden suya olan ısı taşınım katsayısıdır ($W/m^2\text{°C}$) ve Eşitlik 3.43 ifadesi ile elde edilebilir (Hedayatzadeh vd, 2020).

$$h_{c,b-w} = \frac{Nu * k_w}{A_w / (2L_w + 2W)} \quad (3.43)$$

Havuz zemininden suya olan ısı taşınım katsayısını hesaplamak için Nu ve Gr sayılarının belirli aralık değerleri için Eşitlik 3.44, Eşitlik 3.45 ve Eşitlik 3.46'da verilen korelasyonlar kullanılmalıdır (Hassan vd., 2022).

$$Gr < 10^5 \quad Nu=1; \quad (3.44)$$

$$Gr \geq 10^5 \quad Nu=0,54*(Gr*Pr)^{0.25} \quad (3.45)$$

$$Gr < 2*10^7 \quad Nu=0,14*(Gr*Pr)^{0.33} \quad (3.46)$$

Havuz zemininden yalıtıma iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve yalıtımdan çevre havasına taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, havuz zemininden çevreye olan ısı kaybını oluşturur. Toplam ısı transfer katsayısı Eşitlik 3.47 ile verilir (Hedayatzadeh vd., 2020).

$$U_b = \left[\frac{L_b}{K_b} + \frac{L_{ins}}{K_{ins}} + \frac{1}{h_{c,b-a}} \right]^{-1} \quad (3.47)$$

Havza ve atmosfer arasındaki ısı taşınım katsayısı Eşitlik 4.48 ile ifade edilir.

$$h_b = \left[\frac{L_{ins}}{K_{ins}} + \frac{1}{h_{t,b-a}} \right]^{-1} \quad (3.48)$$

Burda $h_{t,b-a}$, ifadesi taşınım ve iletimle olan ısı transferlerinin toplamını ifade emektedir. Bu ifade, Eşitlik 3.50'de rüzgâr hızına bağlı olarak verilebilir (Agrawal vd., 2017).

$$h_{t,b-a} = 5,7 + (3,8 * V) \quad (3.50)$$

Su kütlesi ve atmosfer arasındaki toplam alt ısı kayıp katsayısı düzenlenirse, Eşitlik 3.51 ile hesaplanır (Tiwari vd., 2004):

$$U_b = \frac{h_w * h_b}{h_w + h_b} \quad (3.51)$$

Ayrıca, su kütlesi ve atmosfer arasındaki toplam yan yüzeylerden (A_{ss}) olan ısı kaybı için ısı transfer katsayısı Eşitlik 3.52 ile ifade edilir.

$$U_{ss} = \frac{A_{ss}}{A_b} U_b \quad (3.52)$$

Su kütlesinden atmosfere toplam taban ve yan ısı kayıp katsayısı Eşitlik 3.53 ile hesaplanır.

$$U_{bs} = U_b + U_{ss} \quad (3.53)$$

Damıtma havuzunun yan yüzeylerinden olan ısı kayıplarının hesaplanması için damıtma havuzunun yan yüzey alanı (A_{ss}) ve taban alanının (A_b) bilinmesi gereklidir. Havuzdaki su derinliğinin az olduğu uygulamalarda, A_{ss} değeri A_b değerine göre çok küçük olduğundan, yan yüzeylerden olan ısı kayıpları ihmal edilebilir. Güneş enerjili damıtıcılarda üst yüzey, alt taban ve yan yüzeyler boyunca su kütlesinden atmosfere toplam dış ısı kaybı katsayısı Eşitlik 3.54 ile hesaplanır.

$$U_{Ls} = U_t + U_{bs} \quad (3.54)$$

3.5.1.2 Damıtma Sistemlerinin Enerji Analizi

Tek eğimli güneş enerjisiyle çalışan damıtma sistemleri, diğer tasarımlarla karşılaştırıldığında yapımı en kolay ve ekonomik olan sistemlerdir. Bu tip damıtma sistemlerinin, analiz edilmesi ve yapılan değişikliklerin anlaşılması daha kolay olduğundan, damıtma sistemlerinde geliştirilen kavramların öncelikle bu tip damıtıcılar üzerinde uygulanması daha doğru olacaktır. Bu sayede, daha basit ve anlaşılabilir bir yapıya sahip olan tek eğimli güneş enerjili damıtma sistemleri üzerinden elde edilen sonuçlar, daha karmaşık sistemlere genellemeler yapılmasında kullanılabilir ve tasarım süreçlerine değerli bilgiler sağlayabilir.

Tek eğimli güneş enerjisiyle çalışan damıtma sisteminin ısı model, havza, su kütlesi ve saydam yüzeyin enerji dengesi denklemlerinden türetilir. Bu model, sistemin ısı davranışını analiz etmek ve performansını değerlendirmek için kullanılır.

Damıtma sistemlerinin enerji dengesi denklemleri, her bir bileşen için ayrı ayrı oluşturulur. Örneğin, havza bölgesindeki enerji dengesi, havza yüzeyinin güneş ışınım alımı, ısı kaybı, iletim ve taşınım gibi faktörlerin etkileşimini içerir. Su kütlesi bölgesindeki enerji dengesi, suyun ısınması, buharlaşma, yoğunlaşma ve iletkenlik gibi süreçlere bağlı olarak hesaplanır. Saydam yüzeyin enerji dengesi ise, güneş ışınımının emilimi, iletkenlik, taşınım ve ışınım kaybı gibi faktörleri içerir.

Bu denklemler, her bir bileşen için alan başına geliştirilir ve böylece sistemin farklı bölgelerindeki enerji transferini analiz etmek mümkün olur. Isıl model, sistem performansını tahmin etmek, tasarım değişikliklerinin etkilerini analiz etmek ve optimize etmek için kullanılır. Ancak, sistemin tam bir ısı modelini oluşturmak için belirli kabuller yapılması gerekmektedir. Örneğin, malzemelerin homojen ve izotropik olduğu, ısı transfer katsayılarının sabit olduğu, etkileşimlerin ideal ve lineer olduğu gibi kabuller yapılabilir. Yapılacak her kabul aslında modellemede hata oranını artıracaktır. Gerçek sistem ile matematiksel model arasında tam bir birebir örtüşme sağlamak genellikle imkansızdır. Matematiksel modeller, gerçek sistemleri daha iyi anlamak, davranışlarını analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılır. Ancak, bu modeller genellikle gerçek sistemde bulunmayan bazı idealize edici varsayımlar içerir.

İncelenen mevcut güneş enerjili damıtma ünitesinin termodinamik modellemesi için Enerji dengesi denklemleri yazılırken bazı kabuller yapılmaktadır. Bunlar genel olarak:

- Damıtma sisteminde buhar sızıntısı yoktur.
- Δt zaman aralığı içinde daimî durum koşulları bulunmaktadır.
- Kapalı alan içindeki su miktarı sabit kalmaktadır.
- Sistem içindeki hava, nemli hava olarak kabul edilir.
- Su kütlesinin buharlaşma ısı kaybı ihmal edilebilir.
- Su kütlesi derinliği boyunca sıcaklık gradyanı ihmal edilebilir.

- Cam kapağın ve yalıtım malzemesinin ısı kapasitesi ve emiciliği ihmal edilebilir düzeydedir.
- Cam kapağın yatay ile eğimi küçüktür.
- Su yüzeyinin, havzanın ve cam kapağın kesit alanı eşittir.

Damıtıcın çeşitli bölümlerindeki enerji dengesi denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanır. Tiwari vd. (1989), geleneksel güneş enerjili damıtma sisteminde farklı bileşenlerinde güneş ışınımının yansıyan, emilen ve yutulmuş miktarlarının bunların aralarındaki ilişkilere göre, cam kapak, tuzlu su ve havza yüzeyi tarafından emilen güneş akısının denklemlerini belirtmiştir.

$$\alpha_g' = (1 - R_g)a_g \quad (3.55)$$

$$\alpha_w' = (1 - \alpha_g)(1 - R_g)(1 - R_w) \left[1 - \sum \mu_j \exp(-n_j d_w) \right] \quad (3.56)$$

$$\alpha_b' = \alpha_b(1 - \alpha_g)(1 - R_g)(1 - R_w) \left[\sum \mu_j \exp(-n_j d_w) \right] \quad (3.57)$$

Denklemdaki; a_g , a_b , R_g ve R_w , sırasıyla cam kapağın emiciliğini, emici yüzeyin emiciliğini, cam kapağın yansıtıcılığını ve tuzlu suyun yansıtıcılığını temsil eder. Ayrıca, d_w , tuzlu suyun derinliğidir ve sabit katsayılar olan μ_j ve n_j , parametreleri Tiwari'den (2003) alınmıştır. Değişen su derinliği için (attenuation) azaltma faktörü Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Su derinliğine bağlı olarak azaltma faktörünün değişimi

dw(m)	Azaltma Faktörü (Attenuation)
0.02	0.6756
0.03	0.6441
0.04	0.6185
0.05	0.6124
0.06	0.5858
0.08	0.5648
0.10	0.5492

Güneş enerjili su damıtıcısının dışında, cam kapağın dış yüzeyinde gerçekleşen ısı transferi, harici ısı transferi süreçleri olarak adlandırılır. Harici ısı transferi genellikle bağımsız iletkenlik, taşınım ve ışınım ısı transferi mekanizmaları ile gerçekleşir. Bu ısı transferi süreçleri, güneş enerjili damıtma sisteminin dışında gerçekleştiği için sistem modellemesi ve analizinde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Eşitlik 3.58’de verildiği gibi, cam kapak iç yüzeyinden iletim yoluyla alınan enerji miktarı, çevreye taşınım ve ışınım yoluyla kaybedilen enerji miktarına eşittir.

$$q_{cd,gi-go} = q_{c,go-a} + q_{r,go-a} \quad (3.58)$$

Eşitlikte; $q_{cd,gi-go}$, cam kapak iç yüzeyinden iletim yoluyla alınan, $q_{c,go-a}$, çevreye taşınım yoluyla kaybedilen ve $q_{r,go-a}$, ışınım yoluyla kaybedilen enerji miktarlarını ifade etmektedir.

Bu eşitlik, enerjinin korunumu prensibine dayanır ve güneş enerjili damıtma sistemindeki enerji transferini açıklar. Denklem tekrar düzenlenirse aşağıdaki eşitlikler elde edilir (Elango vd., 2015).

$$\frac{k_g}{L_g} (T_{gi} - T_{go}) = h_{t,go-a} (T_{go} - T_a) \quad (3.59)$$

$$T_{go} = \frac{(k_g/L_g)T_{gi} + h_{t,go-a}T_a}{(k_g/L_g) + h_{t,go-a}} \quad (3.60)$$

Güneş ışınımından emilen enerji oranı ile su kütesinden alınan enerji oranı (taşınım, buharlaşma ve ışınım yoluyla) toplamı, iletim yoluyla camın dış yüzeyine kaybedilen enerji oranına eşittir. Bu durumu matematiksel olarak Eşitlik 3.61’deki gibi ifade edilebilir.

$$q_{güneş} + q_{su} = q_{iletim} \quad (3.61)$$

Eşitlik 3.61’de; $q_{\text{güneş}}$, güneş ışınımından emilen enerji miktarını, q_{su} , su kütesinden alınan enerji miktarını ve q_{iletim} , iletim yoluyla camın dış yüzeyine kaybedilen enerji miktarını ifade etmektedir.

Eşitlik 3.62, enerjinin korunumunu gösterir ve damıtma sistemindeki enerji dengesini açıklar.

$$\begin{aligned} I(t)_s \alpha_g' + q_{c,w-g} + q_{r,w-g} + q_{e,w-g} &= m_g c_{pg} \left(\frac{dT_g}{dt} \right) + q_{cd,gi-go} \\ &= q_{c,go-a} + q_{r,go-a} \end{aligned} \quad (3.62)$$

Camın kütlesi ve ısı kapasitesi ihmal edilirse, aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$I(t)_s \alpha_g' + q_{c,w-g} + q_{r,w-g} + q_{e,w-g} = q_{cd,gi-go} = q_{c,go-a} + q_{r,go-a} \quad (3.63)$$

$$I(t)_s \alpha_g' + q_{t,w-g} = q_{cd,gi-go} \quad (3.64)$$

$$I(t)_s \alpha_g' + h_{t,w-g}(T_w - T_{gi}) = k_g/L_g(T_{gi} - T_{go}) \quad (3.65)$$

$$I(t)_s \alpha_g' + h_{t,w-g}(T_w - T_{gi}) = k_g/L_g \left(T_{gi} - \frac{(k_g/L_g)T_{gi} + h_{t,go-a}T_a}{(k_g/L_g) + h_{t,go-a}} \right) \quad (3.66)$$

Yukarıdaki denklemler yeniden düzenirse, iç cam sıcaklığı (T_{gi}) Eşitlik 3.67 kullanılarak hesaplanır.

$$T_{gi} = \frac{I(t)_s \alpha_g' + h_{t,w-g}T_w + U_{t,gi-a}T_a}{h_{t,w-gi} + U_{t,gi-a}} \quad (3.67)$$

Su Havzası için ise, enerji dengesi “Güneş ışınımından emilen enerji oranı= Taşınım la su kütesine kaybedilen enerji oranı + İletim ve taşınım la yoluyla ortama kaybedilen enerji oranı” şeklinde ifade edilebilir ve Eşitlik 3.68 ve Eşitlik 3.69 ile gösterilebilir.

$$\alpha_b' I(t)_s = q_w + q_b \quad (3.68)$$

$$\alpha_b' I(t)_s = h_w * (T_b - T_w) + h_b * (T_b - T_a) \quad (3.69)$$

Eşitlik 69’daki ifade düzenlenirse, Eşitlik 3.70 ve Eşitlik 3.71 elde edilir.

$$T_b = \frac{\alpha_b' I(t)_s + h_w T_w + h_b T_b}{h_w + h_b} \quad (3.70)$$

$$\alpha_b' = \alpha_b (1 - \alpha_b) (1 - R_g) (1 - R_w) (1 - a_w) \quad (3.71)$$

Havuz tabanın sıcaklığı diğer ifade ile su havzası (T_b) sıcaklığı Eşitlik 3.70 ile hesaplanılır.

Tuzlu su için enerji dengesi, güneş enerjili damıtma sürecindeki tuzlu suyun enerji transferini ifade eder. Eşitlik 3.72, güneş ışınımından emilen enerji, havzadan taşınım ile alınan enerji ve harici cihazlardan alınan enerji toplamının, su kütlesi tarafından depolanan enerji ile taşınım, buharlaşma ve ışınım yoluyla cam iç yüzeyine kaybedilen enerji miktarının toplamına eşit olacağını göstermektedir. Bu enerji dengesi Eşitlik 3.72 ile Eşitlik 3.75 arasındaki eşitliklerle ifade edilir.

$$I(t)_s \alpha_w' + q_w + Q_u = m_w c_w (dT_w/dt) + q_{c,w-gi} + q_{r,w-gi} + q_{e,w-gi} \quad (3.72)$$

$$q_{c,w-gi} + q_{r,w-gi} + q_{e,w-gi} = h_{t,w-gi} (T_w - T_{gi}) \quad (3.73)$$

$$I(t)_s \alpha_w' + h_w * (T_b - T_w) + Q_u = m_w c_w (dT_w/dt) + h_{t,w-gi} (T_w - T_{gi}) \quad (3.74)$$

$$\alpha_w' = (1 - \alpha_g) (1 - R_g) (1 - R_w) a_w \quad (3.75)$$

Enerji denkleminde daha önce çıkartılan T_b ve T_{gi} , denklemlerinin yerine yazılarak tekrar düzenlenirse,

$$a_{eff} I(t)_s + U_{LS} T_a = m_w c_w (dT_w/dt) + U_{LS} T_w \quad (3.76)$$

Eşitlik 3.76'da yer alan bazı ifadeler aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilir.

$$a_{eff} = \alpha_b' \frac{h_w}{h_w + h_b} + \alpha_w' + \alpha_g' \frac{h_{t,w-gi}}{h_{t,w-gi} + U_{t,go-a}} \quad (3.77)$$

$$U_{LS} = U_t + U_b \quad (3.78)$$

$$U_t = \frac{h_{t,w-gi} * U_{t,gi-a}}{h_{t,w-gi} + U_{t,gi-a}} \quad U_b = \frac{h_w * h_b}{h_w + h_b} \quad (3.79)$$

$$\frac{dT_w}{dt} + \frac{U_{Ls}}{m_w c_w} T_w = \frac{a_{eff} I(t)_s + U_{Ls} T_a}{m_w c_w} \quad (3.80)$$

Denklem basitleştirilirse aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir.

$$\frac{dT_w}{dt} + aT_w = f(t) \quad (3.81)$$

Yukarıdaki denklemin yaklaşık analitik çözümünü bulmak için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- ✓ Zaman aralığı küçüktür.
- ✓ “a”nın değeri Δt zaman aralığı boyunca sabittir.
- ✓ “f(t)” fonksiyonu 0 ile t arasındaki zaman aralığı için sabittir.
- ✓ Sınır koşulu, $T_{w(t=0)}=T_{w0}$ kullanılarak, çözüm yukarıdaki birinci mertebeden diferansiyel denklemdir.

$$T_w = \overline{f(t)}[1 - e^{-at}] + T_{w0}e^{-at} \quad (3.82)$$

Burada, T_{w0} , $t = 0$ şartındaki havza suyunun sıcaklığıdır ve $\overline{f(t)}$ ($t=0$) ile t arasındaki zaman aralığı için f(t)'nin ortalama değeridir.

3.5.1.3 Isıl Modelin Doğruluğu

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde kullanılan ısıl modellerin doğruluğu, modelin karmaşıklığı, girdi verilerinin kalitesi ve model geliştirilirken yapılan varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Genel olarak, ısıl modellerin doğruluğu, modelin tahminlerini deneysel verilerle karşılaştırarak değerlendirilir. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen fark veya hata değerleri, modelin doğruluğunu belirlemek için kullanılır. Daha küçük bir hata değeri, modelin daha doğru tahminler yaptığını gösterir.

Bu çalışmada, tek havzalı ve tek eğimli geleneksel güneş enerjili damıtma sistemi ve ısı geri kazanımı yapılan damıtma sistemi için bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Bu modeller, güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve zaman gibi değişkenlere bağlı olarak cam sıcaklığı, su sıcaklığı, taşınım, ışınım, buharlaşma ısı transferleri, iç ve dış ısı kayıpları, saatlik üretim ve günlük ürettim gibi çeşitli parametreleri tahmin etmek için kullanılmıştır.

Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki farklar, çeşitli etkenlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlar, cam kapağın ısı transferi davranışı, kullanılan yaklaşık ısı transfer katsayısı modellerine bağlı olarak farklılık göstermesi ile ilgilidir. Damıtma süreci ile toplama süreci arasında geçen zaman, ölçülen ve hesaplanan değerler arasında farklara neden olmaktadır. Bu süreçler arasındaki gecikme, sistemdeki değişikliklerin ve etkilerin zaman içinde gerçekleşmesiyle ilişkilidir. Damıtılacak su damlacıklarının toplama bölgesine ulaşmadan önce düşmesi, ölçülen ve hesaplanan değerler arasında önemli miktarda yol açabilir. Bu durum, su damlacıklarının yolculuklarının karmaşık doğasıyla ilişkilidir. Sistemdeki kanallarda suyun hapsolmesi veya yüzeylerde yoğunlaşan suyun toplama sırasında kısmen buharlaşması, ölçülen ve hesaplanan değerler arasında farklara neden olabilir. Ayrıca, yapılan her kabul bu farklara etki etmektedir. Bu durumlar, sistemdeki teorik ve deneysel hesaplarda farklılıkları açıklamaya yardımcı olan potansiyel etkenlerdir.

Matematiksel model hazırlanırken kullanılan denklemlerin çözümleri Matlab ve Excell ortamında yapılmıştır. Matematiksel model çözümü, Şekil 3.1'de kurulan deneysel sistemden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

3.5.2 Damıtma Sisteminin Verimi

Güneş enerjili damıtma sisteminin ısı verimliliğini değerlendirmek için kullanılan çeşitli değişkenler vardır, bunlar birim enerji harcaması başına elde edilen saf su miktarı açısından ısı verimlilik olarak değerlendirilir. Aşağıdaki eşitlikler, güneşli damıtma sisteminin performansını belirlemek için kullanılmıştır ve aynı zamanda test süresince anlık güneş enerjili damıtma sisteminin enerji verimliliğini ifade eder (Hedayatizadeh ve Sarhaddi 2021; Pal ve Dev 2019).

Damıtma sisteminin elde edilen temiz su miktarı, saatlik olarak Eşitlik 3.83 ile belirlenebilir.

$$m_{ew} = \frac{q_{e,w-gi}}{h_{fg}} * 3600 = \frac{h_{e,w-gi} * (T_w - T_{gi})}{h_{fg}} * 3600 \quad (3.83)$$

Günlük toplam damıtılan su miktarı ise, Eşitlik 3.84 ile belirlenebilir.

$$M_{ew} = \sum_{i=1}^{24} m_{ew} \quad (3.84)$$

Sistemin anlık ısı verimi, Eşitlik 3.85'teki ifade ile elde edilir.

$$\eta_i = \frac{q_{e,w-g}}{I(t)_s} \quad (3.85)$$

Pasif güneş enerjili damıtıcının genel ısı verimliliği aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\eta_i = \frac{\sum_{t=1}^{t=ET} \dot{m}_{ew} * h_{fg}}{\sum_{t=1}^{t=ET} I(t) * A_s * 3600s \cdot h^{-1}} \quad (3.86)$$

Burada; m_{ew} , biriken tatlı su miktarını (kg/s), h_{fg} , buharlaşma gizli ısısını (kJ/kg), $I(t)$, toplam güneş yoğunluğunu (W/m^2) ve A_s , etkili güneş enerjisi alım alanını (m^2) ifade etmektedir. Ayrıca, h_{fg} , Eşitlik 3.87 ile hesaplanmaktadır (Sharshir vd., 2017c; Hedayatzadeh ve Sarhaddi 2021).

$$h_{fg} = 2.4935 \times 10^6 \times (1 - 9.4779 \times 10^{-4} \times (T_v + 273) + 1.3132 \times 10^{-7} \times (T_v + 273)^2 - 4.7974 \times 10^{-9} \times (T_v + 273)^3) \quad (3.87)$$

Eşitlik 87'de yer alan T_v , buhar sıcaklığını ifade etmektedir. Etkili duvarlardan gelen güneş ışınım miktarını hesaplamak için Eşitlik 3.88 kullanılır.

$$I(t) \times A_s = I(t)_g \times A_g \times + I(t)_e \times A_e + I(t)_w \times A_w \quad (3.88)$$

Herhangi bir etkili yüzey üzerindeki güneş ışınımı, izotropik yayılı modeli kullanılarak doğru bir şekilde belirlenebilir (Hedayatzadeh ve Sarhaddi 2021). Üst şeffaf kapak, güneş enerjisinin damıtıcısının içerisine girmesine izin verir ve buharlaşma süreci için gerekli ısı enerjisini sağlar. Daha hassas hesaplamalar yapılırken yan yüzeylerden sisteme giren ışınımı da hesaba kapmak gerekmektedir. Günlük ısı verim, CSS ve CSS-TEG için deneysel çalışmalardan sonra belirlenmektedir. Her iki damıtıcının genel ısı verimliliğini hesaplamak için Eşitlik 3.89 kullanılabilir (Kumar vd., 2016).

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_{ew} * h_{fg}}{\sum I(t) * A_s * 3600s . h^{-1}} \quad (3.89)$$

TEG'ler ile donatılmış güneş enerjili damıtma sistemlerinde verimlilik ifadesi Eşitlik 3.90 ile tanımlanmıştır (Kumar vd., 2016; Jeevadasan vd., 2022).

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_{ew} * h_{fg} + P_{TEG}}{\sum I(t) * A_s * 3600s . h^{-1}} \quad (3.90)$$

Önceki denklemde, P_{TEG} , sistemden elde edilen elektrik enerjisini ifade eder. Eğer üretilen elektrik, güneşli damıtıcıda su çıkışını artırmak için bir vantilatör, hava pompası veya diğer ekipmanları çalıştırmak için kullanılıyorsa, ısı verimlilik geleneksel olanla aynı şekilde ifade edilebilir.

3.5.3 Termoelektrik Jeneratörlerin Verimi

Damıtma sisteminden atık olarak değerlendirilen ısı kaybı TEG modül üzerinden geçerek dış yüzeyinden atmosfere bir miktarı atılmakta ve bir miktarı da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. TEG modül için enerji dengesi denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir (Goldsmid, 2010; Ciylan ve Yılmaz, 2007).

$$Q_{in} - Q_{out} = P_{gen} + P_{loss} \quad (3.91)$$

Burada Q_{in} , modüle giren ısı akısını, Q_{out} , modülden çıkan ısı akısını, P_{gen} , modül tarafından üretilen elektrik gücü ve P_{loss} , ise modüldeki enerji kayıplarını temsil eden

güç kaybını ifade etmektedir. Bu denklem, termoelektrik modülün enerji dengesini ifade eder. Gelen ısı akısı ile çıkan ısı akısı arasındaki fark, modül tarafından üretilen elektrik gücü ve enerji kayıpları arasındaki toplam güçle dengelenir. Termoelektrik modülün sıcak tarafından verilen ısının hesaplanması için Fourier ısı transfer denklemi ve ilgili fizik yasaları kullanılır. Bu denklemler, sıcak yüzeydeki ısı akışını belirlemek için kullanılır ve ısı iletim katsayısı (k), yüzey alanı (A) ve yüzey sıcaklığı (T) gibi faktörleri içerir. Genel olarak, termoelektrik jeneratörün sıcak yüzeyinden geçen ısı akışını hesaplamak için Eşitlik 3.92 kullanılır (Goldsmid, 2010).

$$Q_{absorb} = k * A * (T_h - T_c) \quad (3.92)$$

Burada, Q_{absorb} , sıcak yüzeyden absorbe edilen ısıyı, k ısı iletim katsayısını, A , sıcak yüzey alanını, T_h , sıcak yüzey sıcaklığını ve T_c , soğuk yüzey sıcaklığını ifade eder. Bu denklem, sıcak yüzeyden absorbe edilen ısının sıcak yüzey sıcaklığı, soğuk yüzey sıcaklığı ve ısı iletim katsayısına bağlı olarak değiştiğini gösterir. Bu ifade, daha geliştirilerek modüllerin sıcak yüzeyinden absorbe edilen ısı Eşitlik 3.93 ile ifade edilebilir.

$$Q_h = K(T_h - T_c) + \alpha \cdot T_h \cdot I - 0,5 \cdot I^2 \cdot R_i \quad (3.93)$$

Modülün soğuk yüzeyinden ortama verilen ısı ve termoelektrik jeneratörlerde üretilen güç sırasıyla Eşitlik 3.94 ve Eşitlik 3.95 kullanılarak elde edilebilir (Goldsmid, 2010).

$$Q_c = K(T_h - T_c) + \alpha T_c I + 0,5 I^2 R_i \quad (3.94)$$

$$P = Q_h - Q_c \quad (3.95)$$

Sistemde verim değerini hesaplamak için elektriksel çıkış gücü olarak tanımlanan P ve Q_h , sıcak yüzeyden giren ısı miktarı bulunur ve jeneratörlerin ısı iletim etkinliği üretilen elektriksel gücün, sıcak yüzeyinden absorbe edilen ısıya oranı olarak tanımlanır (Kumar vd., 2013).

$$\eta = \frac{P}{Q_h} \quad (3.96)$$

Termoelektrik jeneratörlerin verimi hesaplanırken kullanılan ifade üretilen net elektriksel gücün, sıcak yüzeyden emilen ısıya oranı olarak ifade edilebilir. Bu verim sistemin TEG modülünün ısı iletimi, sıcak yüzey sıcaklığı, soğuk yüzey sıcaklığı, sıcak yüzey alanı ve TEG modülünün akım-gerilim özellikleri gibi faktörlere bağlıdır.

3.6. ENERJİ EKSERJİ EKONOMİK VE ÇEVRESEL-EKONOMİK ANALİZ

Enerji analizi, güneş enerjili damıtma sistemine giren ve çıkan enerji miktarlarının belirlenmesini içerir. Güneşten alınan enerji miktarı, buharlaşma ve yoğuşma süreçlerindeki enerji kayıpları ve sistemdeki diğer enerji tüketimleri dikkate alınarak hesaplanır. Bu analiz, sistem verimliliğini değerlendirmek için önemli bir dayanak sağlar (Elango vd., 2015; El-Sultani vd., 2017).

Ekserji analizi, enerji analizinden farklı olarak enerjinin miktarı dışında kalitesini de dikkate alır. Ekserji, enerjinin kullanılabilirliğinin bir ölçütüdür ve enerjinin kullanılabilirliği düşük kaliteli enerji kaynaklarına dönüştüğünde kaybolur. Güneş enerjili damıtma sisteminin ekserji analizi, enerji giriş ve çıkışlarının kalitelerini değerlendirir ve sistemin ekserji verimliliğini belirler (İbrahim ve Dincer, 2015).

Ekonomik analiz, güneş enerjili damıtma sisteminin maliyetlerini ve yatırım getirisini değerlendirir. Bu analiz, sistemin kurulum maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, enerji tüketimi ve üretimi gibi faktörleri dikkate alır. Ayrıca, sistem verimliliği ve enerji maliyetleri gibi parametrelerin ekonomik sonuçlara etkisini değerlendirir (Rahbar vd., 2016).

Çevresel analiz, bir güneş enerjisi sisteminin çevresel etkilerini değerlendirir. Sistemin su tasarrufu, enerji verimliliği, karbon ayak izi gibi çevresel faktörleri incelenir. Bu analiz ile sistemin çevresel sürdürülebilirlik açısından etkisi değerlendirilir (Deniz ve Çınar, 2016).

Eksergoekonomik analiz, bir enerji sisteminin verimliliğini, ekonomik performansını ve çevresel ekonomik etkilerin değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Hem çevresel faktörleri hem de ekonomik faktörleri göz önünde bulundurarak, sistemin

çevresel etkilerini minimize ederken ekonomik etkinliğini değerlendirilmesi amaçlanır (Tiwari vd., 2009; Ranjan ve Kaushik, 2013).

Yapılan analizler güneş enerjili damıtma sisteminin etkinliği ve performansını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu analizler, sistemin güvenliği, verimliliği, maliyetleri ve çevresel etkileri hakkında önemli bilgiler sağlayarak sistemin tasarımını ve iyileştirmelerini desteklemektedir.

Termoelektrikli damıtma sisteminin enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel-ekonomik analizleri yapılırken aşağıdaki varsayımlar göz önünde bulundurulmuştur.

- dt zaman aralığında daimî durum koşulları vardır.
- Sistem, damıtma sisteminden buhar sızıntısı olmamaktadır.
- Cam kapağın, termoelektrik modül yüzeyinin ve damıtıcı havzasının ısı kapasitesi ihmal edilebilir düzeydedir.
- Tuzlu su seviyesi sabit kabul edilmektedir.
- Tuzlu suyun özelliklerinin saf su özelliklerine benzer olduğu kabul edilebilir.
- İçerideki hava nemli hava olarak kabul edilir.
- Cam kapak yüzeyi, termoelektrik modül yüzeyi, tuzlu su ve damıtıcı su havzası boyunca sıcaklık gradyanı yoktur.
- Yan yüzeylerden ısı kaybı ve enerji kazancı ihmal edilebilir düzeydedir.

3.6.1 Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinde Ekserji Analizi

Ekserji, döngüsel bir ısı makinesinde veya bir ısıl cihazda belirli bir ısı girdisinden elde edilebilecek maksimum iş çıkışı olarak tanımlanır. Enerjinin kalitesi veya iş yapma kapasitesi her sıcaklıkta farklı farklıdır. Belirli bir görevi gerçekleştirmek için mevcut enerji tüketimi, bir cihazın birinci yasa verimliliği ile ikinci yasa verimliliği analiz edilerek en aza indirilebilir. Ibrahim vd. (2017) ekserjinin önemini ve onun temel kullanımını çeşitli şekillerde vurgulamıştır. Enerji ve ekserji, ekserji ve çevre, enerji ve sürdürülebilir kalkınma ve enerji politikası oluşturma ve ekserji arasındaki bağlantıları bildirmiştir. Son yıllarda, enerji sistemlerinin termodinamik analizinin

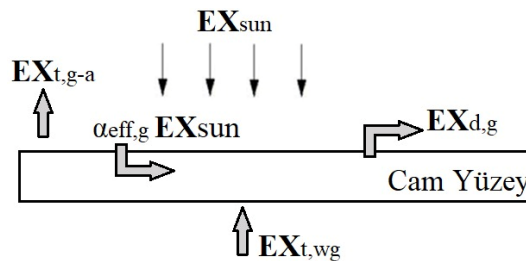
simülasyonunda ekserji analizinin güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Güneş ile ilgili çalışmaların çoğunda, güneş ışınımının ekserjisi (Ex_{sun}) Petula (1964) tarafından verilen Petula ifadesi ile hesaplanır (Layek 2018).

$$Ex_{sun} = I(t)A \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_{sun}} \right] \quad (3.97)$$

Denklemdaki T_a , atmosferin sıcaklığıdır, T_{sun} , güneşin yüzey sıcaklığıdır ve 6000 K olduğu varsayılmaktadır. $I(t)$, güneş ışınım miktarıdır, A , güneş ışınımını alan güneş cihazının yüzey alanıdır. Güneşli damıtma sistemlerinin ekserji analizleri üzerine sınırlı sayıda araştırma çalışması bulunmaktadır. Bir güneş enerjisi damıtıcısının kollektör ve buharlaştırıcı-yoğusturucu bileşenlerinin ekserji analizleri hakkında bilgi verilmiştir (Ranjan ve Kaushik, 2013).

Termoelektrik destekli güneş enerjili damıtma isteminin ekserji analizi için, ortam sıcaklığı T_a , cam kapak T_g , termoelektrik modül yüzeyi TE_c ve TE_h , tuzlu su T_w , havza yüzeyi sıcaklığı T_b ve tüm iç ve dış ısı transfer katsayıları bilinmelidir. Yapılan çalışmada, saatlik güneş şiddeti, su üretim miktarı, ortam sıcaklığı, cam kapak sıcaklığı, termoelektrik modül yüzeyleri ve tuzlu suyun sıcaklık değerleri deneysel olarak ölçülmüştür.

Güneş enerjili damıtma sisteminin üç bileşeni için tersinmezliklere dayalı ekserji akış şeması Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Cam kapağın ekserji akış şeması

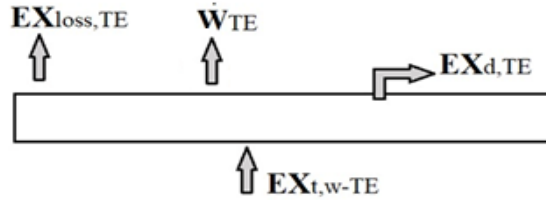
Cam kapak, termoelektrik modülün ve su tutan emici yüzeyin yani su kollektörünün ekserji birikiminin ihmal edilebilir olduğu varsayılabilir. Güneş ışınımı dikkate alındığında camın ekserji dengesi şu şekilde verilir;

$$a_{eff,g}EX_{sun} + EX_{t,w-g} - EX_{t,g-a} = EX_{des,g} \quad (3.98)$$

$a_{eff,g}EX_{sun}$, cam örtü tarafından emilen güneş ekserjisinin miktarıdır. $EX_{des,g}$, camdan kaynaklanan ekserji yıkımı ve taşınım ve ışınım ile gerçekleşen kayıplarıyla camdan ortama ekserji kaybıdır ve Eşitlik 3.99 ile ifade edilir;

$$EX_{t,g-a} = EX_{c,g-a} + EX_{r,g-a} \quad (3.99)$$

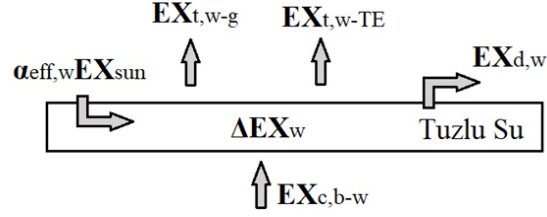
TEG modülündeki ekserji yıkımı, Şekil 3.24'te gösterilen ekserji akış şemasına göre hesaplanır.



Şekil 3.24. Termoelektrik modülün ekserji akış şeması

P_{TE} , termoelektrik modülden güç çıkışı ekserjisidir, $EX_{t,w-TE}$, tuzlu su ve termoelektrik modül yüzeyi arasındaki ısı alışverişi ile ilişkili ekserjinin toplamıdır, $EX_{loss-TE}$, termoelektrik modülden çevreye olan ekserji kaybını temsil eder.

Suyun ekserji kazancı, kollektörden su tarafından emilen ekserjinin toplamıdır. Bu ekserjinin bir kısmı taşınım, ışınım ısı transferi ve buharlaşan su buharı ile su yüzeyinden cama iletilir ve geri kalanı tersinmezlikler ile yok olur. Şekil 3.25'te şematik olarak gösterilen tuzlu suyun ve su havuzunun ekserji dengesi ifadesi Eşitlik 3.101 ile hesaplanır:



Şekil 3.25. Tuzlu suyun ve su havuzunun ekserji akış şeması

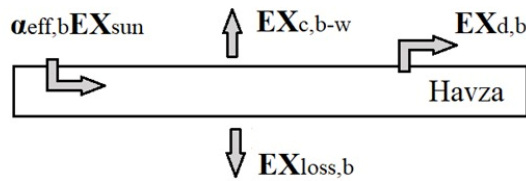
$$Ex_{d-w} = Ex_w - Ex_{t,w-g} \quad (3.100)$$

$$Ex_{d-w} = \alpha_{eff,w} EX_{sun} + Ex_{c,b-w} - EX_{t,w-g} - EX_{t,w-TE} - \Delta EX_w \quad (3.101)$$

Burada, $\alpha_{eff,w} EX_{sun}$, tuzlu suda emilen güneş ekserjisi miktarıdır, $EX_{c,b-w}$, havzadan tuzlu suya aktarılan faydalı ekserjidir. ΔEX_w ise, aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanan tuzlu suda depolanan ekserjiyi temsil etmektedir (Karakilcik and Dincer, 2008; Dehghan vd., 2015.)

$$\Delta EX_w = \frac{M_w c_{p,w} \left((T_{w,f} - T_{w,i}) - T_s \ln(T_{w,f} / T_{w,i}) \right)}{\Delta t} \quad (3.102)$$

$T_{w,i}$ ve $T_{w,f}$, tuzlu suyun zaman aralığındaki ilk ve son sıcaklıklarıdır. Şekil 3.26'da gösterilen damıtıcının havuzundaki ekserji yıkımı (tersinmezliklere) tuzlu su kütlesi boyunca ekserji akışı dikkate alınarak Eşitlik 3.103 ile hesaplanır.



Şekil 3.26. Su havzasının ekserji akış şeması

$$Ex_{d-b} = \alpha_{eff,b} Ex_{sum} - (Ex_{c,b-w} + Ex_b) \quad (3.103)$$

$\alpha_{eff,b} Ex_{sum}$, güneş enerjisi ekserjisinin havuzdaki yutulma miktarıdır. EX_w , su havuzundan tuzlu su kütlesine aktarılan ve tuzlu suyun ısıtılması ve buharlaştırılması için tüketilen toplam ekserjidir. Ex_b , ise havzadan T_o , sıcaklığında çevreye yalıtım yoluyla ekserji kaybıdır.

3.6.2 Enerji ve Ekserji Verimliliği

Herhangibir zaman aralığı için güneş enerjili damıtma sisteminin teorik anlık enerji verimliliği, toplam buharlaşma ısı transfer hızının, gelen güneş ışınım enerjisine oranıdır ve Eşitlik 3.104'teki şekilde ifade edilir. Termoelektrikten elde edilen gücü verim ifadesinde girdi olarak değerlendirmek yanlıştır ve sistemde azımsanamaz ölçüde etkiye sahiptir. Termoelektrik elemanlar sistemde buharlaşma ve yoğuşmayı etkilemekte olup, herhangi bir dış kaynaktan enerji tüketmemektedirler. Bu yüzden verim ifadesinde elde edilen kısma yazmak doğru olacaktır.

$$\eta_d = \frac{Q_{ev,w-g} + Q_{ev,w-TE}}{A_s \times I_{(t)s}} \quad (3.104)$$

Güneş enerjili damıtıcının toplam anlık ekserji verimliliği ifadesi, benzer şekilde, damıtıcının faydalı ekserji çıktısının toplam girdi ekserji oranına oranı olarak tanımlanabilir. Güneş enerjili damıtıcının faydalı ekserji çıktısının oranı, faydalı buharlaşma ısı transferi ile ilişkili toplam faydalı ekserji oranıdır (Zoori vd., 2013).

$$\eta_{Ex} = \frac{Q_{ev,t}(1 - \frac{T_a}{T_w})}{EX_{sun}} = \frac{\dot{m}_t * h_{fg}(1 - \frac{T_a}{T_w})}{EX_{sun}} \quad (3.105)$$

Güneş enerjili damıtma sisteminin global ekserji verimliliği, güneş enerjili damıtma sisteminin bileşenlerindeki tersinmezliklerin ekserji yıkımı dikkate alınarak değerlendirilir (Dehghan vd., 2015).

$$\eta_{ex-global} = 1 - \left[\frac{EX_{d,g} + EX_{d,TE} + EX_{d,w} + EX_{d,b}}{EX_{sun}} \right] \quad (3.106)$$

3.6.3 Ekonomik ve Çevresel-Ekonomik Analizler

Ekonomik analiz, tuzdan arındırma sistemlerinde damıtılmış suyun maliyetini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca, çevresel-ekonomik analiz, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik bir politika stratejisidir. Güneş enerjili damıtma sistemlerinde, sermaye maliyetleri, su

üretim maliyeti ve eksergo-ekonomik sonuçlar üzerinde etkili olan faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler arasında sermaye fiyatı (P), sermaye geri kazanım faktörü (CRF), sabit yıllık maliyet (FAC), yıllık kurtarma değeri (ASV), yıllık bakım maliyeti (AMC), ortalama yıllık su üretimi (M), yıllık maliyet (AC) gibi değişkenler yer almaktadır. Ayrıca, batan fon faktörü (SFF) de güneş enerjisiyle tuzdan arındırma sistemlerinde önemli bir faktördür (Esfahani vd., 2011; Pal vd., 2017; Rashidi vd, 2017).

Bu değişkenler, ekonomik analizin birincil faktörleri olarak düşünülmelidir. Bu analiz, damıtılmış suyun maliyetini belirlemek, sistemlerin ekonomik sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikaların etkisini anlamak için kullanılabilir. Ekonomik analiz, sermaye maliyetlerini ve işletme maliyetlerini hesaplamak, yatırım geri dönüş süresini belirlemek ve proje değerlendirmesi yapmak için kullanılan finansal yöntemleri içerir. Bu analiz, güneş enerjisiyle tuzdan arındırma sisteminin ekonomik performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Bu bağlamda, sermaye geri kazanım faktörü (CRF) bir yatırımın maliyetini geri kazanma hızını ölçen bir parametredir. Eşitlik 3.107 ile hesaplanır (Kianifar vd., 2012);

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.107)$$

Bu eşitlikte; *i*, faiz oranını ve *n* sistemin öngörülen işletim ömrünü göstermektedir.

FAC, sisteminin ilk yıllık maliyeti, tesisin kurulum maliyeti, ekipman maliyetleri, inşaat maliyetleri gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Güneş enerjisiyle tuzdan arındırmanın FAC değeri genel olarak sermaye ve bunu geri kazanımının ilişkisidir ve Eşitlik 3.108 ile hesaplanır.

$$FAC = P \times CRF \quad (3.108)$$

Sermaye maliyeti (P), galvanizli çelik sac, cam kapak, spreyci boya, TEG, soğutucu, DC fan vb. kullanılan malzemelerin yanı sıra işçilik maliyetlerini içeren tahminlerle

belirlenebilir. Bu çalışmada, sermaye maliyeti (P) geleneksel bir ünite için 150 \$ ve yeni tip güneş enerjisi için 250 \$ olarak kabul edilmektedir (soğutucu için 100 \$ ve 32 adet TEG ve 2 fan dahil). Sistem kurtarma değerinin (S) sermaye maliyetinin %20'sine eşit olduğu varsayımıyla batan fon faktörü (SFF) ve yıllık kurtarma değeri (ASV) hesaplanır.

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (3.109)$$

$$ASV = SFF \times S \quad (3.110)$$

Sistemin yıllık bakım maliyeti (AMC), tatlı su toplama, cam kapağı silme ve DC fan bakımı gibi faktörleri içerir. Bu durumda, AMC değerinin FAC'ın %15'i olduğu varsayılmaktadır.

$$AMC = 0,15 \times FAC \quad (3.111)$$

Sonuç olarak, güneş enerjisi damıtma sisteminin yıllık maliyeti (AC) aşağıdaki faktörleri içeren bir değerlendirmeyle elde edilir:

$$AC = FAC + AMC - ASV \quad (3.112)$$

Sonuç olarak, damıtılmış suyun litre başına (CPL) fiyatlandırması Eşitlik 3.113'teki şekilde tahmin edilebilir;

$$CPL = \frac{AC}{M} \quad (3.113)$$

Burada; M, güneş enerjili damıtma sisteminin metrekare başına yıllık su üretimidir. Güneş enerjisi geri ödeme süresi (P_b) Eşitlik 3.114 ile hesaplanır (Jeevadason vd., 2022; Omara vd., 2017);

$$P_B = \frac{\ln \left[\frac{M \times S_p}{(M \times S_p) - (P \times i)} \right]}{\ln(1+i)} \quad (3.114)$$

Burada, S_p, damıtılmış suyun satış fiyatıdır.

Çevresel-ekonomik analiz, çevresel konulara odaklanan ekonomik analizin bir parçasıdır. Amacı, sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma ve çevreye CO₂ emisyonlarını azaltma performansını belirlemektir. Çevre-ekonomik analiz, kWh elektrik başına yaklaşık 0,96 kg olan karbon emisyonlarının maliyeti hesaplanarak gerçekleştirilir. Ayrıca, verimsiz ekipmanların neden olduğu iletim ve dağıtım kayıpları nedeniyle kWh başına CO₂ çıkışı 2 kg'a eşit olmaktadır. Enerji ve ekserji yaklaşımını göz önünde bulundurarak güneş enerjisiyle tuzdan arındırma sisteminden kaynaklanan CO₂ azaltımı Eşiklik 3.115 ile hesaplanmaktadır (Zoori vd., 2013; Tiwari vd., 2015; Shoeibi vd., 2022);

$$\Phi_{En}CO_2 = (E_{product} \times n) \times \psi \quad (3.115)$$

$$\Phi_{Ex}CO_2 = (Ex_{out} \times n) \times \psi \quad (3.116)$$

Burada, ψ , elektrik üretmek için kömür kullanımının neden olduğu CO₂ emisyonu (2 kg CO₂/kWh) ve Ex_{out} , güneş enerjili su damıtıcısından elde edilen yıllık ekserji çıkışını ifade etmektedir. Yüksek ve düşük fiyatlandırma senaryoları için, uluslararası karbon fiyatı (z_{CO_2}) 16 \$/tCO₂ ile 13 \$/tCO₂ arasında olmaktadır. Sonuç olarak, çevresel-ekonomik çalışma için ortalama değer olan 14,5 \$/tCO₂ kullanılmıştır. Çevresel maliyet (Z_{CO_2}), Eşitlik 3.117 ve Eşitlik 3.118 ile hesaplanmaktadır (Rajoria vd., 2013; Elbar vd., 2019);

$$Z_{En}CO_2 = z_{CO_2} \times \Phi_{CO_2} \quad (3.117)$$

$$Z_{Ex}CO_2 = z_{CO_2} \times \Phi_{Ex}CO_2 \quad (3.118)$$

3.7. HATA ANALİZİ

Deneysel sonuçların belirsizliğini belirlemek için kullanılan birkaç farklı istatistiksel yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri, tipik olarak kullanılan Standart Hata değerinin hesaplanmasıdır. Standart Hata, bir deneyin veya ölçümün tekrarlanabilirliğini ve sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılır (Velmurugan vd, 2009). Bu çalışmada, veri ölçümlerinin düzgün dağıldığı varsayılmaktadır, bu nedenle belirsizlik

analizi için sistemik hata kullanılmaktadır (Rahbar ve Esfahani 2012). Kline ve McClintock (1953) deneysel sonuçların belirsizliğini belirlemek için bir denklem önermektedir (Kirkup ve Frenkel, 2006).

$$w_r = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_i} w_i \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.119)$$

Burada, x bağımsız değişkeni, R, fonksiyonu ve w_r , toplam belirsizliği temsil eder. Enerji verimliliğini Holman ilişkisine koyarak, enerji verimliliğinin belirsizliği şu şekilde belirlenebilir:

$$w(\eta_{energy}) = \left[\left(\frac{\partial \eta_{energy}}{\partial m_w} \times w_{m_w} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{energy}}{\partial h_{fg}} \times w_{h_{fg}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{energy}}{\partial I(t)} \times w_{I(t)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.120)$$

$$w(\eta_{energy}) = \eta_{energy} \times \left[\frac{(w_{m_w})^2}{m_w^2} + \frac{(w_{h_{fg}})^2}{h_{fg}^2} + \frac{(w_{I(t)})^2}{I(t)^2} \right]^{1/2} \quad (3.121)$$

Ayrıca, ekserjetik verimi Holman denklemine koyarak, belirsizlik şu şekilde elde edilebilir;

$$w(\eta_{exergy}) = \left[\left(\frac{\partial \eta_{exergy}}{\partial m_w} \times w_{m_w} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{exergy}}{\partial h_{fg}} \times w_{h_{fg}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{exergy}}{\partial I(t)} \times w_{I(t)} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{exergy}}{\partial T_a} \times w_{T_a} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{exergy}}{\partial T_w} \times w_{T_w} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.122)$$

Yukarıda belirtilen denklemler kullanılarak, enerji verimi hesaplamalardaki belirsizliğin %0,24 olduğu hesaplanmıştır.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Sıcaklık-zaman verileri, damıtma sistemlerinin performanslarını analiz etmek, sistem optimizasyonu yapmak ve enerji verimliliğini artırmak gibi hedefler doğrultusunda kullanılabilirler. Sistemin çalışma süreci boyunca sıcaklık değişimleri sistemin performansını anlama konusunda bize yardımcı olmaktadır.

Yapılan çalışmada, her bir damıtma sistemi için yoğuşturucu camın alt yüzeyi, taban sıcaklığı, su sıcaklığı ve buhar sıcaklığı gibi altı farklı noktada sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, damıtma sisteminin içindeki sıcaklık dağılımını anlamak için yapılmıştır. Ayrıca, çevre sıcaklığı ve termoelektrik modüllerinin yüzey sıcaklıkları da ölçülmüştür. Yapılan ölçümler ile termoelektrik modüllerin performansını değerlendirmek ve damıtma sistemlerinde etkilerini analiz etmek mümkün olmuştur.

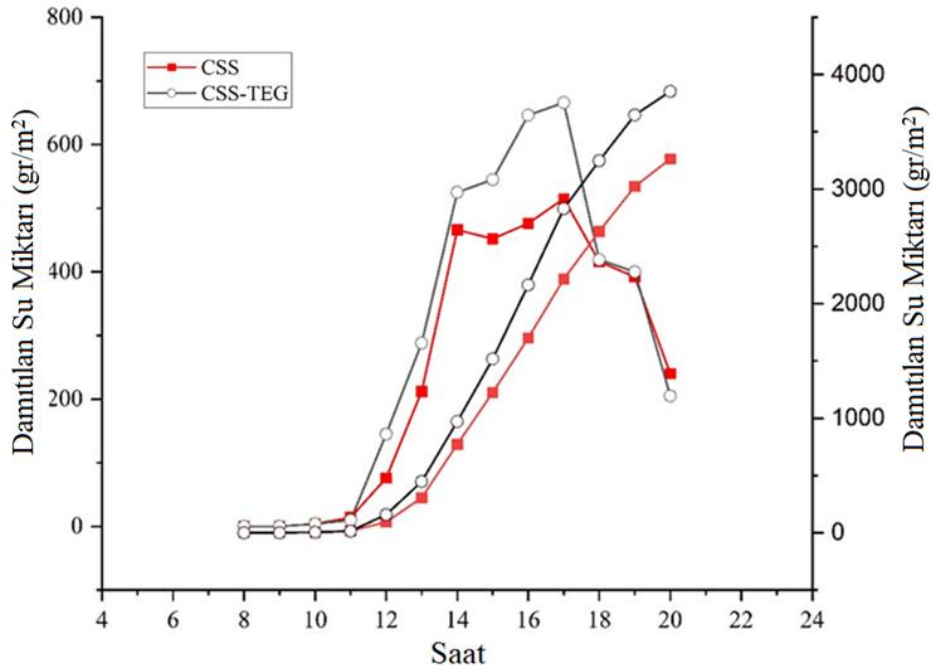
Elde edilen sıcaklık değerleri, zamanla ilişkili olarak grafiklere aktarılmıştır. Bu grafikler, sistemdeki sıcaklık değişimini ve zamanla nasıl etkilendiğini görsel olarak göstermektedir. Özellikle, güneşin etkisiyle damıtma sistemi içindeki sıcaklığın nasıl değiştiği, suyun buharlaşması ve yoğuşması süreçleri üzerindeki etkileri bu grafikler aracılığıyla anlaşılabilir hale gelmiştir. Ayrıca, termoelektrik modüllerin yüzey sıcaklıklarının da zamanla nasıl değiştiği ve sistem performansına nasıl katkı sağladığı gözlemlenebilmiştir.

4.1 DAMITMA SİSTEMLERİNİN DAMITMA ÖZELLİKLERİ

Damıtma sistemlerinde damıtılan su miktarı, güneş ışınımı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, güneş ışınımının sisteme ulaşmasıyla birlikte sıcaklık değişimleri meydana gelir ve buharlaşma ile yoğuşma başlar. Deneysel saat 08:00'da başlatılmıştır. Saat

08:00'dan önce sistemlerde çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve sistemlerin güneş ışınımına maruz kalmasını sınırlamak amacıyla sistemlerin üstü bir branda ile kapatılmıştır. Bu önlem, sistemlerin kontrol dışı ısınmasını ve erken başlayan buharlaşma veya yoğuşma süreçlerini engellemek amacıyla alınmıştır. Bu uygulama, matematiksel hesaplamalarda hata oranını minimuma indirmek ve analiz sonuçlarını daha iyi hesaplamak için yapılmıştır.

Damıtma sistemindeki saatlik su üretimi, birçok faktöre bağlıdır. Güneş ışınımı, sıcaklık, sistem tasarımı ve verimlilik gibi faktörlerin hepsi su üretimini etkileyebilir. Şekil 4.1'de damıtma sistemlerindeki saatlik su üretimi miktarlarındaki değişim gösterilmiştir. Saat 08:00'dan sonra damıtma sistemlerinde sıcaklıklar güneş ışınımının sistemi etkilemesi ile artma başlamaktadır.



Şekil 4.1. Damıtma sistemlerinde damıtılan su miktarının zamana bağlı değişimi

Damıtma genelde erken saatlerde güneş ışınımı ve çevre sıcaklığına bağlı olarak düşük olmaktadır. Ancak, her iki sistemde de öğleden sonra en yüksek seviyelere çıkmaktadır. Termoelektrikli sistemde yüzey sıcaklık farkı 10°C'yi geçtiğinde termoelektriklerden güç çıkışı olduğu görülmüş ve buna bağlı olarak sistem

içerisindeki fanların hareket ettiği gözlemlenmiştir. Sabah saatlerinden TEG'lerin yüzey sıcaklıkları düşük olmuştur ve sıcaklık farkları yeterli olmadığından fanlar çalışmamıştır. Bu zaman diliminde, fan sistemi pasif konumunda kalmıştır. Genel olarak, saat 10:00'dan sonra sistemde elektrik üretimi olduğu görülmekte ve akşam saatlerine kadar çevre hava sıcaklığının ve rüzgâr hızının etkisiyle elektrik üretimi devam etmektedir. TEG'lerin yüzeylerinde sıcaklık farkı oluşturabilmek için dış ortama soğutucu plakalar konulmuş ve bu sayede yüzeyler arası sıcaklık farklarının artması sağlanmıştır. Geliştirilen sistemde damıtma miktarında gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Bu artış fanların çalışmaya başladığı süreler içerisinde gerçekleşmiştir.

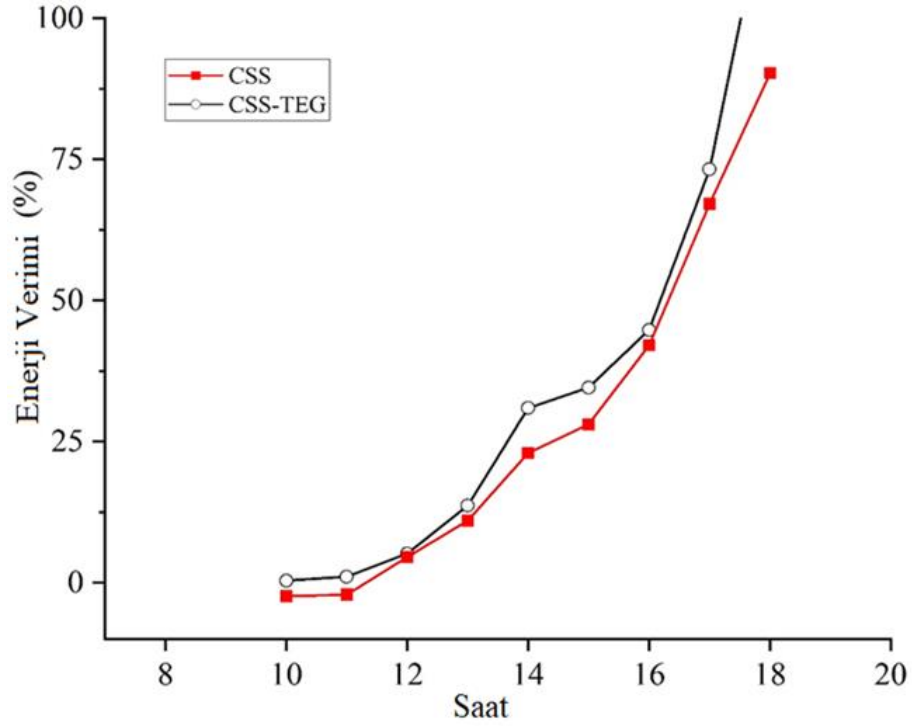
4.2 DAMITMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Geleneksel yapıdaki damıtma yöntemi kullanılan sistemde günlük ortalama 4312 gr temiz su üretimi gerçekleşmiştir. TEG'ler kullanılarak sistem içerisindeki atık ısıyı tekrar sisteme geri kazandırmak için geliştirilen damıtma sisteminde ise günlük 4892 gr temiz su üretimi gerçekleşmiştir. Damıtma sistemlerinde verim günlük verim ifadesinde Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_d = \frac{\sum m_{ew} \times h_{fg}}{\sum A_s \times I_{(t)s} * 3600} \quad (4.1)$$

Geleneksel sistemdeki verimlilik yaklaşık %40 seviyelerinde olmuştur, geliştirilen damıtma sisteminde ise günlük verimlilik %45'e yükselmiştir. Bu veriler sistemin günlük veriminde yaklaşık olarak %12'lik artışı ifade etmektedir. Şekil 4.2'de damıtma sistemlerinin saatlik enerji verimliliği gösterilmiştir. Damıtma sistemlerinin saatlik enerji verimliliği, geleneksel veya yenilikçi damıtma yöntemleri ve kullanılan enerji kaynaklarına bağlı olarak değişebilir. Enerji verimliliği, sistemin ne kadar enerji kullanarak ne kadar su üretebildiğinin bir ifadesidir.

Atık ısıyı yakalamak ve sisteme geri kazandırmak için TEG'ler veya ısı geri kazanım sistemleri kullanılabilir. Bu, sistemdeki enerji kullanımını azaltır ve enerji verimliliğini artırır.



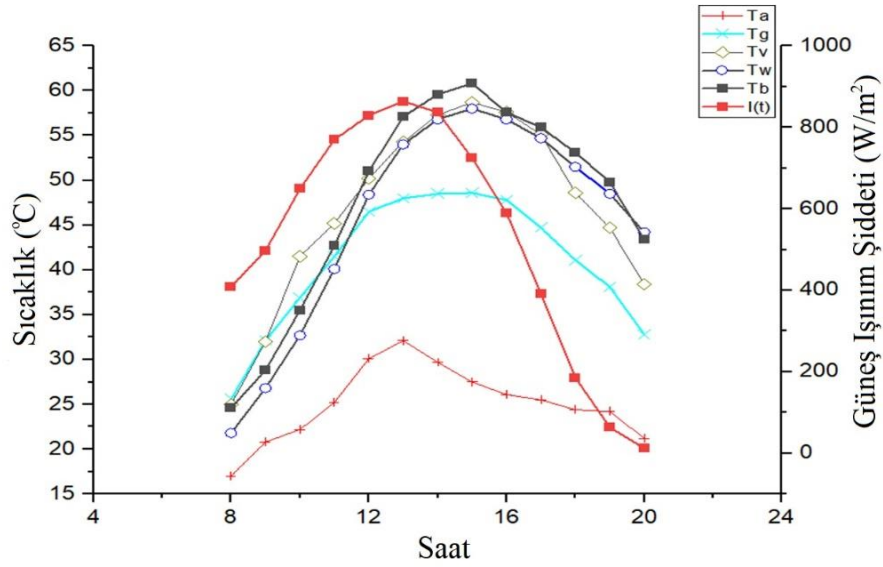
Şekil 4.2. Damıtma sistemlerinin saatlik enerji verimliliği

Yapılan çalışmalarda, CSS-TEG'in enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel-ekonomik (4E) davranışları gerçek çevresel koşullar altında deneysel olarak incelenmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde, geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerinde özellikle termoelektrik teknolojisinin ısı geri kazanımı için kullanıldığı ve kazanılan enerjinin sistemde performans artırımı için kullanıldığı bir uygulamanın bulunmadığı anlaşılmış ve gerçekleştirilen çalışma ile sistemlerden atılması gereken yoğuşma ısısının geri kazanılabileceği ve damıtılan su miktarının arttırılabileceği gösterilmiştir.

Deneysel çalışmalar, 2020 ve 2021 yaz aylarında gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda farklı yaklaşımlar test edilmiş ve çalışmalarda özellikle damıtıcı havuzunda tuzlu su miktarının 5 cm su derinliğinde olmasına özen gösterilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te deneyler sırasında güneş ışınımının ve ölçülen sıcaklıkların değişimini zamana göre gösterilmiştir. En yüksek güneş ışınım değeri saat 13:00 civarında 864 W/m^2 'ye ulaşmış ve maksimum çevre havası sıcaklığı 32.1°C olarak ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar, CSS-TEG sisteminin gerçek koşullarda nasıl performans gösterdiğinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Elde edilen sonuçlar

yardımıyla, sistemin enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel analizler yapılmış ve bu analizler sistemlerin daha iyi değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

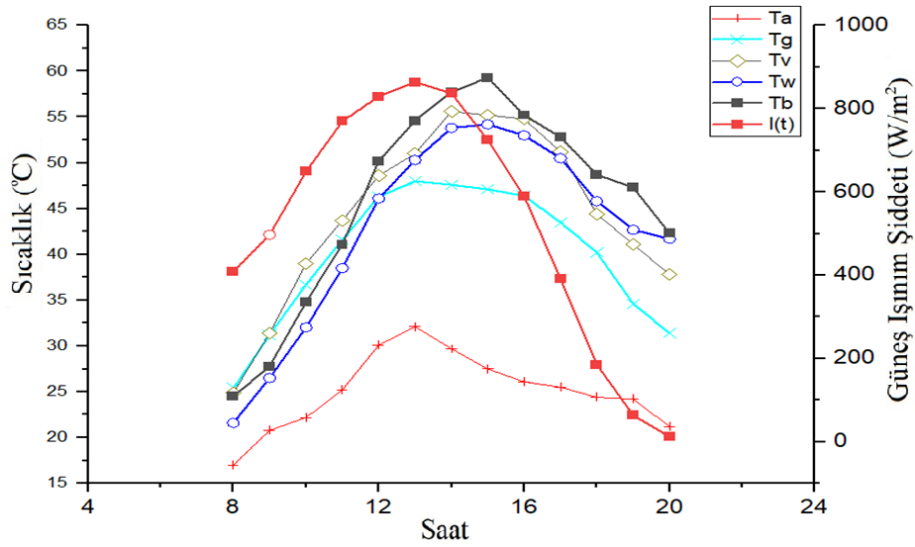
Geleneksel damıtma sisteminde saatlik ölçülen sıcaklıklar ve güneş ışınım şiddetindeki değişim Şekil 4.3'te verilmiştir. TEG kullanılan damıtma sistemindeki sıcaklıklar ve güneş ışınım şiddetindeki değişim ise, Şekil 4.4'te verilmiştir. CSS-TEG sistemindeki su ve cam yüzey sıcaklığı, CSS sistemindekine kıyasla daha düşüktür. CSS-TEG ile gözlemlenen maksimum T_w ve T_g değerleri sırasıyla 54.2°C ve 48°C iken, CSS sisteminde sırasıyla; 58°C ve 48.6°C olarak gerçekleşmiştir.



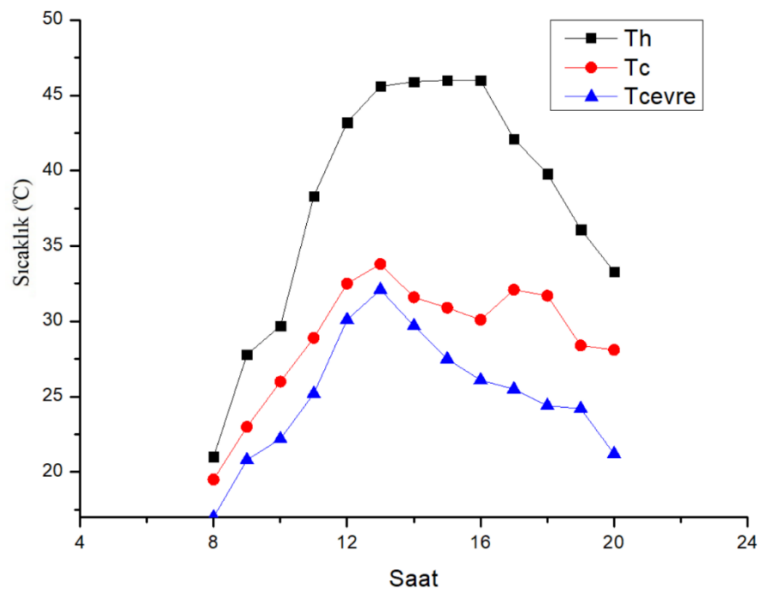
Şekil 4.3. CSS sisteminde ölçülen sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.5, TEG'in sıcak ve soğuk tarafları arasındaki sıcaklık farkının sabah saatlerinde düşük olduğunu, ardından güneş ışınımı ile arttığını ve öğleden sonra güneş ışınımı zayıfladığında azaldığını göstermektedir. TEG, modüllerinin soğuk yüzeyi ile sıcak yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı arttığında elektrik üretimine başlamaktadırlar. Ancak, sistemde kullanılan fanların çalışabilmesi TEG modüllerinin elektriksel üretimlerinin 1V ve 0.35A değerlerine ulaşmaları ile mümkün olmuştur. Genel olarak fanlar saat 10:00'dan sonra yeterli elektriksel üretimin elde edilmesi ile çalışmaya başlamışlar ve TEG yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının yeterli olduğu saat 17.00'ye kadar çalışmaya devam etmişlerdir. TEG yüzeyleri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı

15,9°C olarak yaklaşık 14:00-16:00 saat aralığında kaydedilmiş ve bu saatlerde TEG'ler tarafından üretilen elektrik maksimum değere ulaşmıştır. Fanlar, damıtma sistemi içerisindeki hava hareketini hızlandırmalarından dolayı taşınım ile gerçekleşen ısı ve kütle transferini arttırmıştır. Havanın su yüzeyi üzerinde hareketinin artması sonucunda, tuzlu suyun hemen üst bölgesinde bağıl nem azaltmış ve negatif kısmi basınç oluşturarak buharlaşma oranını ve sonuç olarakta damıtılan su miktarını arttırmıştır.



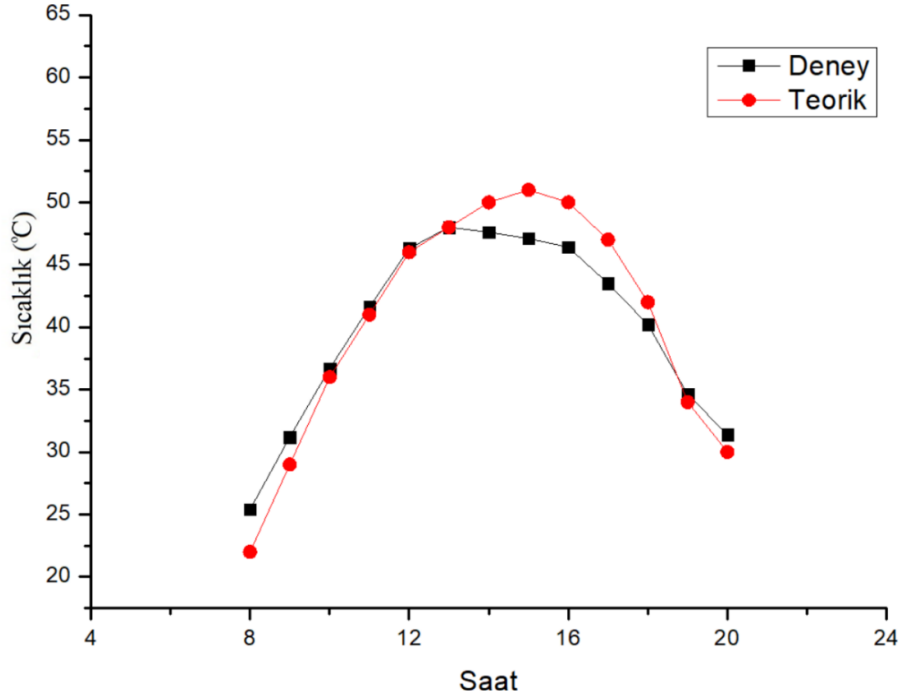
Şekil 4.4. CSS-TEG sisteminde ölçülen sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.5. TEG yüzey sıcaklıkları ve çevre havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, güneş ışınım şiddeti miktarının ve ortam sıcaklıklarının düşük seviyelerde olduğu sabah saatlerinde damıtma sistemlerinde damıtılan su miktarı düşük olmaktadır. Sistemlerin saatlik su damıtma miktarları saat 17:00'de en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. CSS ve CSS-TEG'in günlük ortalama damıtılmış su üretim değerleri gündüz saatlerinde sırasıyla 3263, 3853 gr/m² ve gece saatlerinde ise 1060, 1040 gr/m² olarak gerçekleşmiştir. Böylelikle, CSS-TEG sisteminin günlük su üretim miktarının, CSS sistemine göre %13,44 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.6'da CSS-TEG sisteminin deneylerde elde edilen saatlik cam yüzey sıcaklıkları ile teorik olarak hesaplanan cam yüzey sıcaklıkları karşılaştırılması gösterilmiştir. Sistemin cam yüzey sıcaklıkları Matlab programı yardımıyla Bölüm 3'te verilen eşitlikler kullanılarak simule edilmiştir. Deneysel ve teorik olarak elde edilen cam yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın ortalama %3 olduğu, gün içerisinde ise en büyük sıcaklık farkının %10 ile saat 15:00'da olduğu görülmüştür.

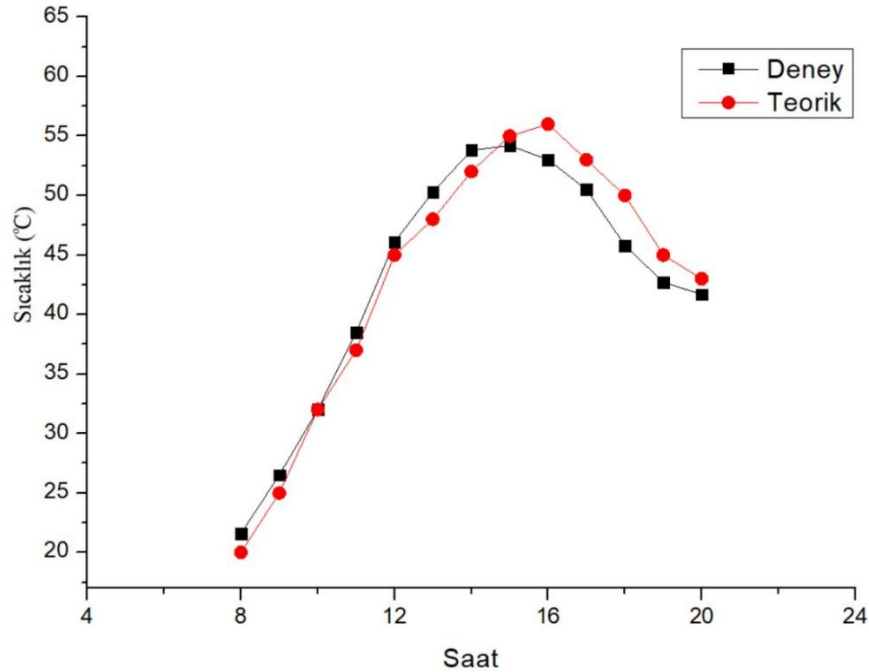


Şekil 4.6. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi

CSS-TEG sistemi üzerinde yapılan deneylerde elde edilen deneysel ve teorik cam yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi incelendiğinde saat 13:00'a kadar sıcaklıklarda

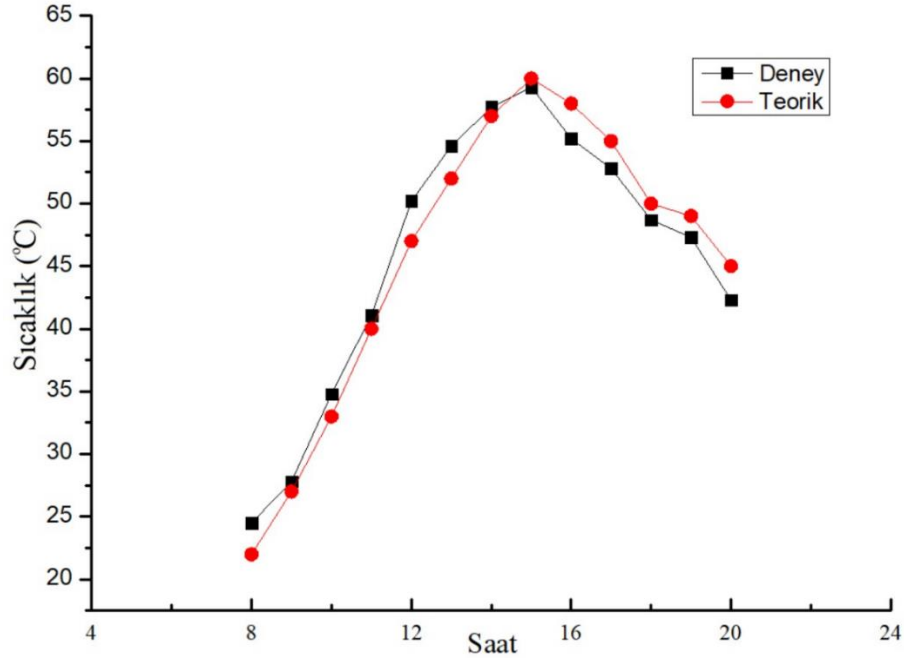
yakın değerler hesaplanmıştır. Ancak, saat 13:00'dan sonra hesaplanan değerler ile deneysel olarak elde edilen sonuçlarda maksimum 3°C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Sıcaklıklardaki farklılığın asıl nedeni güneş ışınım şiddeti ve sistem içerisindeki hava hareketi olduğu söylenilebilir. Teorik hesaplarda güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve çevre hava sıcaklığı, geçen süre için sabit kabul edilmektedir. Ancak, deneylerde bu değerler anlık olarak değişmekte ve hesaplamalarda belirli bir değeri kullanılmaktadır. Ayrıca, sistem içerisinde hava hareketinin artması da bu farkın ortaya çıkmasında önemli bir etkiye sahip olmuştur.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de tuzlu su sıcaklıkları ve havza yüzey sıcaklıklarının deneysel ve teorik değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Buna göre, deneysel veriler ile teorik olarak hesaplanan değerlerin sıcaklık eğrilerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda $R=0.966$ hesaplanmıştır. Bu değer damıtma sistemlerinde kabul edilen değerler aralığındadır. Teorik ve deneysel veriler arasında ortaya çıkan hata oranları yapılan kabullerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik tuzlu su sıcaklıklarının saatlik değişimi

Şekil 4.7’de CSS-TEG sistemi için deneysel ve teorik hesaplamalar sonucu elde edilen tuzlu su sıcaklığındaki değişim gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, CSS-TEG için tuzlu su sıcaklığı teorik ve deneysel olarak karşılaştırıldığında en yüksek farkın saat 16:00’da ortaya çıktığı görülmüştür. Bu zaman diliminde hesaplanan ve ölçülen tuzlu su sıcaklıkları sırasıyla 55°C ve 52°C olarak belirlenmiştir. Tuzlu su sıcaklığı için hesaplanan teorik ve ölçülen deneysel değerler arasındaki farkın nedeninin buharlaşma miktarında meydana gelen artışın olduğu söylenebilir. Saat 12:00’a kadar meydana gelen yoğuşma miktarında, geliştirilen sistem ile teorik hesaplamalar arasında kayda değer bir farklılık olmadığı görülmüştür. Ancak, 12:00’dan sonra fanların aktif olarak çalışması sistemde hava hareketinin artmasını sağlamış ve böylelikle daha fazla tuzlu suyun damıtılmasına imkan tanımıştır. Bu durum ise, yapılan kabuller neticesinde yapılan teorik hesaplamalardaki buharlaşma ve yoğuşma miktarlarının hesaplanabilme hassasiyetlerinin az olduğunu göstermiştir. Yapılan kabuller sonucunda teorik hesaplamalar ile deneysel ölçümler karşılaştırıldığında elde edilen değerler oldukça yakın olsa da aralarında farklılıkların bulunması kabul edilebilir bir durumdur.



Şekil 4.8. CSS-TEG sisteminde deneysel ve teorik emici yüzey sıcaklıklarının saatlik değişimi

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen ve teorik modeller ile hesaplanan cam yüzey, tuzlu su ve emici yüzey sıcaklık değerlerinin CSS-TEG sistemi için kıyaslamaları yapılmış olup, bu değerler arasında belirgin bir uyumun varlığı gözlemlenmiştir.

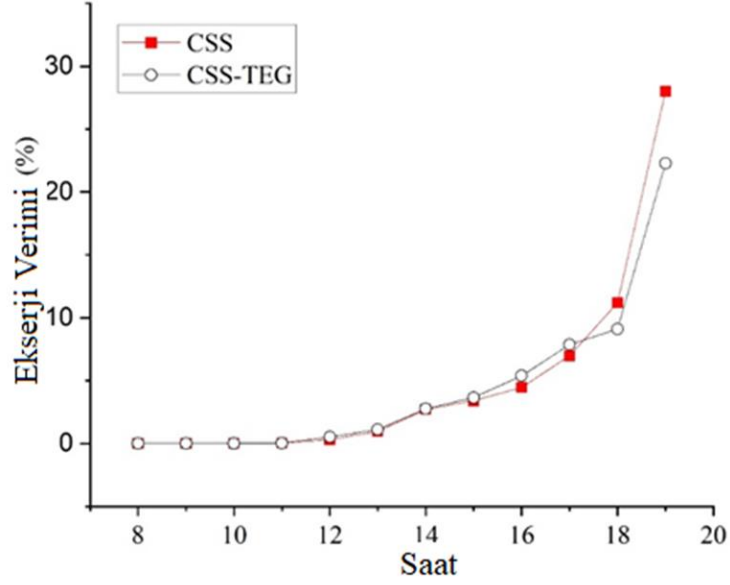
Damıtma sistemlerinde teorik olarak hesaplanan değerler ile deneysel olarak elde edilen verilerin gün içerisinde sabah saatlerinden gün ortasına kadar paralel hareket ettikleri görülmektedir. Özellikle, saat 16:00'dan sonra hesaplanan sıcaklık değerleri deneylerden elde edilen sıcaklıklardan ayrışmaktadır. Bu durumun nedenleri olarak, sistemin ısıl kapasitesi, çevresel koşullardaki ani değişiklikler ve sistem içerisinde gerçekleşen hava hareketinin artması gösterilebilir. Damıtma sistemlerinde, teorik hesaplamalar anlık olarak değerlendirilir. Ancak, gerçek koşullarda sisteme giren enerji farklı etkileşimlere girer ve enerji transferleri belli zaman aralıklarında gecikmeli şekillerde gerçekleşir. Bundan dolayı, gün içerisinde en yüksek güneş ışınım şiddeti saat 13:00'da gerçekleştiği halde sistem içerisinde en yüksek sıcaklık değerine saat 15:00'da ulaşılmıştır.

İki sistem su üretim potansiyelleri bakımından karşılaştırıldığında, CSS-TEG sisteminin termoelektrik jeneratörle güneş enerjisi toplama ve kullanma yeteneği sayesinde daha yüksek bir üretkenlik sağladığı görülmektedir. TEG'ler, sistemdeki atık ısıyı sisteme geri kazandırmakta ve bu da daha fazla damıtılmış su üretimine olanak sağlamaktadır. Sonuçta, CSS-TEG sistemi, CSS sistemine göre daha yüksek bir enerji verimliliği ve su damıtma potansiyeli sağlamaktadır.

4.3 DAMITMA SİSTEMLERİNİN EKSERJİ VERİMİ

Sistemlerin ekserji verimlilikleri saatlik olarak hesaplamış ve en yüksek anlık verim değerinin olduğu zaman dilimi güneş ışınım şiddetinin en az olduğu ve damıtmanın gerçekleştiği anlar olmaktadır. Bu durumun nedeni, güneşten gelen enerjinin sistemde belli bir miktar suyun buharlaşmasında kullanılmakta olması ve bir miktarının da sistemdeki tuzlu suda depolanmasıdır. şekil 4.9'da geleneksel olan damıtma sisteminin ve termoelektrikli damıtma sisteminin ekserji verimliliği saatlik olarak verilmiştir. Güneş ışınımının en az olduğu zaman dilimlerinde, sistemdeki depolanan

enerji sayesinde sistemlerde buharlaşma ve yoğuşma devam etmektedir. Bu da, sistemin saatlik ekserji verimliliğine etki ederek ekserji verimliliğinin artmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.9. Damıtma sistemlerinin ekserji verimlerinin zamana bağlı değişimi

Damıtma sistemlerinin saatlik ekserji verimliliği, güneş ışınımı miktarı, sistemin tasarımı, çalışma koşulları ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak değişebilir. Ekserji verimliliği, sistemin güneş ışınımını ve diğer enerji girdilerini ne kadar etkili bir şekilde kullanabildiğini ölçer. Sonuç olarak, saatlik ekserji verimliliği incelendiğinde, güneş ışınım miktarının en az olduğu zaman dilimlerinin en yüksek ekserji verimliliği değerlerinin üretildiği görülmektedir.

4.4 DAMITMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZLERİ

Tuzdan arındırma uygulamalarında, sistemin ekonomik analizi, modelin kabul edilebilirliğinin önemli bir göstergesidir. Çizelge 4.1’de deneylerde kullanılan güneş enerjili su damıtıcılarının maliyet analizleri verilmiştir. Sistemlerde üretim sürecini ve uygulama maliyetlerini mümkün olduğu kadar düşük tutmak öncelikli hedef olmalıdır.

Yıllık damıtılmış su üretimi ve ekserji çıktılarını hesaplamak için, deney yapılan günün günlük ortalama ekserji çıktılarının ve üretkenliğinin yıl boyunca açık gün sayısı ile

çarpıldığına dikkat edilmelidir (Elbar vd.,2019). Karabük ilinde bir yılda 82,9 açık gün vardır (Deniz ve Çınar, 2016). Yıllık ekserji çıkışları CSS sistemi için 14,97 kWh, CSS-TEG sistemi için 15,33 kWh olarak hesaplanmıştır. CSS ve CSS-TEG sistemleri için eksergoekonomik parametreler sırasıyla 0,43 kWh/\$ ve 0,44 kWh/\$ olarak hesaplanmıştır. Exergo-çevre parametresine bakıldığında ise, CSS ve CSS-TEG sistemleri için sırasıyla ortalama 0,596 ve 0,6132 ton CO₂ azaltımına katkı sağlayacakları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Damıtma sistemlerinin maliyet analizi

Parametre	CSS	CSS-TEG	Birim
M	357,5	405,6	kg/m ²
i	10	10	%
N	20	20	yıl
CRF	0,117	0,117	
P	150	250	\$
FAC	17,61	29,3	\$
S	30	50	\$
SFF	0,017	0,017	-
ASV	0,52	0,872	\$
AMC	2,64	4,404	\$
AC	19,73	32,89	\$
CPL	0,055	0,081	\$/kg/m ²
Z _{ExCO2}	8,642	8,891	\$

BÖLÜM 5

SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, geleneksel tek eğimli bir güneş enerjili su damıtma sisteminde çevreye kaybedilen atık ısının TEG sistemi yardımıyla geri kazanılarak, elde edilen enerjinin yine aynı sistemin damıtma potansiyelinin ve enerji verimliliğinin artırılmasına etkileri deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı, güneş enerjili damıtma sistemlerinde TEG kullanımının performans ve damıtma potansiyeli başta olmak üzere sistemin çalışma özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla, hazırlanan iki güneş enerjili su damıtıcısı (CSS, CSS-TEG) aynı şartlar altında test edilmiş ve sistemlerin enerji ve ekserji analizlerine ek olarak çevresel ve ekonomik analizleri de yapılmıştır.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar neticesinde elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- CSS ve CSS-TEG sistemlerinde en yüksek üretkenlik değerlerine gün içinde 13:00 ile 17:00 saatleri aralığında gerçekleşmekte ve maksimum değerine yaklaşık 15:00'da ulaşılmaktadır. Ancak, bu saat aralıklarında CSS-TEG sistemi tarafında damıtılan su miktarı, CSS sistemine göre belirgin bir biçimde artış göstermiştir.
- CSS-TEG sisteminde damıtılan su üretimi günün erken zaman dilimi olan 08:00 ile 10:00 saatleri aralığında gerçekleşmektedir. Bu düşük üretkenlik durumunun nedeni, deneyin saat 08:00'da başlatılması ve sisteme giren enerjinin öncelikle damıtma sistemini oluşturan malzemelerde depolanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, sabah saatlerinde güneş ışınları daha düşük bir açıyla sisteme ulaşmakta ve sisteme ulaşan enerji miktarının yetersizliğinden dolayı sistem tam kapasiteyle çalışmaya başlamamış olmaktadır.

- CSS ve CSS-TEG sistemlerinin ortalama günlük damıtılmış su üretim miktarlarının sırasıyla ortalama 4313 gr/m² ve 4893 gr/m² olduğu ve CSS-TEG sisteminin %13.45 daha fazla su damıtma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.
- TEG'ler çok küçük sıcaklık farklarında akım ve gerilim üretme kabiliyetine sahip olsalar da sistemde kullanılan fanların çalışabilmesi için gerekli olan 1V ve 0.35A değerlerine saat 10:00'dan sonra ulaşmış ve fanlar devreye girmiştir.
- Saat 10:00 sonrasında CSS-TEG sisteminde kullanılan fanların devreye girmesi ile damıtma sistemi içerisindeki hava ile buhar karışımının sirkülasyon hızının ve yoğunlaşma miktarının arttığı gözlemlenmiştir.
- TEG'lerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı saat 14:00'da 15,9°C olarak en yüksek değerine ulaşmış ve aynı zamanda TEG'ler tarafından üretilen elektriksel çıktılar da en yüksek değerlerine ulaşmıştır. TEG'lerin yüzeyleri arasında oluşan sıcaklık farkları sayesinde saat 17:00'a kadar elektrik üretimine devam etmiş ve böylelikle fanlar işlevlerini yerine getirebilmiştir.
- Güneş enerjili su damıtma sistemlerinde havza içerisindeki hava sirkülasyonunun artması, buharlaşma hızını artırarak, sistemin hem verimliliğinin hem de damıttığı su miktarının artmasına katkı sağlamıştır. Bu bağlamda, daha etkili hava sirkülasyonu sağlanarak güneş enerjili su damıtma sistemlerinin performanslarının artırılması mümkün olabilir. Bu amaçla, daha etkili hava sirkülasyonu sağlayan tasarım değişiklikleri veya teknolojik iyileştirmeler, su damıtma verimliliğini artırabilir.
- Saatlik enerji ve ekserji verimliliğindeki değişimler birbirine benzer özellikler göstermişlerdir. CSS-TEG'in günlük enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla yaklaşık %40,34 ve %2,462 iken, CSS sistemi için sırasıyla %35,55 ve %2,403'tür. CSS-TEG sistemi, günlük enerji verimliliği açısından CSS sistemine göre daha yüksek bir performans sergilemiştir. Bu, sisteme gelen günlük enerji miktarına oranla CSS-TEG sisteminin daha fazla enerjiyi kullanışlı hale dönüştürdüğünü göstermektedir. Ayrıca, ekserji verimliliği açısından bakıldığında da CSS-TEG sistemi, CSS sistemine göre daha yüksek bir günlük ekserji verimliliği değerine sahiptir.

- Güneş enerjili damıtma sistemlerine ısı geri kazanım sisteminin entegre edilmesi, damıtma sisteminin verimliliği önemli ölçüde iyileştirmiştir.
- CSS ve CSS-TEG sistemleri tarafından tahmini damıtılan suyun maliyeti sırasıyla 0,055 ve 0,081 \$/kg'dır.
- CSS ve CSS-TEG sistemlerinin çevresel etkisi yılda 0,0298 ve 0,03066 ton CO₂ azaltımı olarak hesaplanmıştır. 20 yıllık hizmet ömürleri için sırasıyla eksergoekonomik etkileri 8,642 ve 8,8914\$ olarak hesaplanmıştır.

Damıtma sistemleri hakkında yapılacak ileriki çalışmalarda aşağıdaki belirtilen konularda incelemelerin yapılması uygun olacaktır.

- Damıtma sistemlerindeki atık ısının geri kazanılarak suyun buharlaşma hızı ve miktarını arttırmak amacıyla fan yerine hava kabarcıklandırma sistemi kullanımının etkileri incelenebilir. Damıtma sürecinin en kritik aşamaları buharlaşma ve yoğuşma süreçleridir. Bu iki aşamayı destekleyen her türlü uygulama, sistem verimliliğini önemli ölçüde değiştirir. Bu yöntem, suyun buharlaşma miktarını artırmak için suya küçük hava kabarcıkları enjekte etmek suretiyle kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte, su yüzey alanı ve buharlaşma hızı artırılabilen ve bu sayede, daha fazla suyun buharlaşması mümkün olabilmektedir. Bunlara ek olarak, buharlaşma için kullanılacak olan havanın ön ısıtmaya tabi tutulması kabarcıkların buharlaşma etkilerinin artmasına yardımcı olacaktır.
- Su üretimini iyileştirmek için hava kabarcıklandırma ve fan sisteminin birlikte kullanılabilir. Her iki yöntemde su buharlaştırma sürecini etkileyen önemli faktörlerdir ve birlikte kullanıldığında daha fazla damıtılmış su üretimi sağlayabilir.
- TEG'lerde yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının artırılması için özellikle soğuk yüzeylerin sıcaklıklarını düşürebilmek amacıyla ısı borusu, buharlaşmalı soğutucu vb. yöntemler geliştirilebilir ve gerçek şartlar altında sistemlerin çalışma özelliklerine ve performanslarına olan etkileri incelenebilir.

- TEG'ler farklı yapı ve özelliklere sahip olan damıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bu sistemlerin performans ve üretim potansiyellerindeki değişimler incelenebilir.
- Güneş enerjili damıtma sistemlerinde yoğuşma yüzeyinin soğutulması özellikle damıtma sürecini optimize etmek için etkili bir stratejidir. TEG'lerden elde edilecek enerji cam yüzeyinin soğutulmasında kullanılabilir.
- Güneş enerjili damıtma sistemlerinde enerjinin ısıya dönüştürülmesi sırasında kaybedilen enerji miktarının azaltılması ve daha uzun süreli kullanımın sağlanması amacıyla, gizli ısı depolamalı sistemlerin mevcut sistemlerle entegre edilerek kullanılması yönünde çalışmalar yapılabilir.
- Güneş enerjili damıtma sistemlerinde gece üretimi, sistem verimini etkileyebilecek kadar yüksek bir değere sahiptir. Yapılan hesaplamalarda bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network - ANN) yöntemi, karmaşık ilişkileri ve desenleri tespit edebilme yeteneği sayesinde, güneş enerjili damıtma sistemlerinin performanslarını tahmin etmek ve sistemleri optimize etmek amaçlarıyla kullanılabilir ve elde edilen veriler deneysel çalışmalar ile desteklenebilir.

Sonuç olarak, literatür çalışmalarına ek olarak yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, günümüz dünyasının yakın gelecekte karşı karşıya kalma ihtimalinin oldukça yüksek olduğu ve canlı yaşamında en ciddi sorunların ortaya çıkması potansiyeline sahip olan su kıtlığının aşılması amacıyla alternatif yöntemlerin geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Alternatif yöntemlerin geliştirilmesinde; temiz su kaynaklarına ulaşım durumu, temiz su ihtiyacının miktarı, damıtılacak suyun kalitesi, mevcut enerji kaynakları ve su arıtma teknolojilerine erişim gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Sistem tasarımlarında, güneş enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanılması çevresel ve ekonomik olumlu etkilerle birlikte basit ve pratik sistem yapıları ile su ihtiyaçlarının karşılanabilmesine yardımcı olabilecektir. Bu tür tasarım çalışmaları, özellikle düşük

miktarda su ihtiyaçlarının olduğu bölgelerde sürdürülebilir su kaynakları yönetimi alanında büyük etkilere sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdallah, S., Badran, O., and Abu-Khader, M. M. (2008). Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. *Desalination*, 219(1–3), 222–230.

Abdullah, A. S., Younes, M. M., Omara, Z. M., and Essa, F. A. (2020). New design of trays solar still with enhanced evaporation methods – Comprehensive study. *Solar Energy*, 203(February), 164–174.

Aberuee, M. J., Baniasadi, E., and Ziaei-Rad, M. (2017). Performance analysis of an integrated solar based thermo-electric and desalination system. *Applied Thermal Engineering*, 110, 399–411.

Abu-Hijleh, B. A. . (1996). Enhanced solar still performance using water film cooling of the glass cover. *Desalination*, 107(3), 235–244.

Abu-Hijleh, B. A. K., and Mousa, H. A. (1997). Water film cooling over the glass cover of a solar still including evaporation effects. *Energy*, 22(1), 43–48.

Agrawal, A., Rana, R. S., and Srivastava, P. K. (2017). Heat transfer coefficients and productivity of a single slope single basin solar still in Indian climatic condition: Experimental and theoretical comparison. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 466–482.

Ahıska, R., Mamur, H., ve Metin U., (2011). Termoelektrik modülün jeneratör olarak modellenmesi ve deneysel çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4).

Akash, B. A., Mohsen, M. S., and Nayfeh, W. (2000). Experimental study of the basin type solar still under local climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 41(9), 883–890.

- Al-Garni, A. Z. (2014). Productivity enhancement of single slope solar still using immersion-type water heater and external cooling fan during summer. *Desalination and Water Treatment*, 52(34–36), 6295–6303.
- Al-Hayeka, I., and Badran, O. O. (2004). The effect of using different designs of solar stills on water distillation. *Desalination*, 169(2), 121–127.
- Al-Hinai, H., Al-Nassri, M. S., and Jubran, B. A. (2002). Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still. *Energy Conversion and Management*, 43(13), 1639–1650.
- Al-Karaghoul, A. A., and Alnaser, W. E. (2004). Performances of single and double basin solar-stills. *Applied Energy*, 78(3), 347–354.
- Al-Nimr, M. A., Al-Ammari, W. A., and Alkhalidi, A. (2019). A novel hybrid photovoltaics/thermoelectric cooler distillation system. *International Journal of Energy Research*, 43(2), 791–805.
- Al-Nimr, M. A., and Qananba, K. S. (2018). A solar hybrid system for power generation and water distillation. *Solar Energy*, 171(May), 92–105.
- Al-Sulttani, A. O., Ahsan, A., Rahman, A., Nik Daud, N. N., and Idrus, S. (2017). Heat transfer coefficients and yield analysis of a double-slope solar still hybrid with rubber scrapers: An experimental and theoretical study. *Desalination*, 407, 61–74.
- Arjunan, T. V., Aybar, H. S., Sadagopan, P., Sarat Chandran, B., Neelakrishnan, S., and Nedunchezian, N. (2014). The effect of energy storage materials on the performance of a simple solar still. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 36(2), 131–141.
- Aydın, F., and Ardalı, Y. (2012). Deniz Suyu Arıtım Teknolojileri. *Sigma* 30, 20(362), 156–178.
- Badran, O. O. (2007). Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity. *Desalination*, 209(1–3), 136–143.

- Bahiraee, M., Nazari, S., and Safarzadeh, H. (2021). Modeling of energy efficiency for a solar still fitted with thermoelectric modules by ANFIS and PSO-enhanced neural network: A nanofluid application. *Powder Technology*, 385, 185–198.
- Bahiraee, M., Nazari, S., Moayedi, H., and Safarzadeh, H. (2020). Using neural network optimized by imperialist competition method and genetic algorithm to predict water productivity of a nanofluid-based solar still equipped with thermoelectric modules. *Powder Technology*, 366, 571–586.
- Bataineh, K. M., & Abbas, M. A. (2020). Performance analysis of solar still integrated with internal reflectors and fins. *Solar Energy*, 205, 22-36.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., and Dewitt, D. P. (2015). Fundamentals of heat and mass transfer. *John Wiley and Sons Hoboken*, NJ, USA.
- Boretti, A., and Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report (Vol. 2).
- Boubekri, M., and Chaker, A. (2011). Yield of an improved solar still: numerical approach. *Energy Procedia*, 6, 610–617.
- Chen, W. H., Liao, C. Y., Hung, C. I., & Huang, W. L. (2012). Experimental study on thermoelectric modules for power generation at various operating conditions. *Energy*, 45(1), 874-881.
- Ciylan, B., and Yilmaz, S. (2007). Design of a thermoelectric module test system using a novel test method. *International journal of thermal sciences*, 46(7), 717-725.
- Cooper, P. I. (1972). Some factors affecting the absorption of solar radiation in solar stills. *Solar Energy*, 13(4), 373-381.
- Dehghan, A. A., Afshari, A., and Rahbar, N. (2015). Thermal modeling and exergetic analysis of a thermoelectric assisted solar still. *Solar Energy*, 115, 277–288.
- Deniz, E. (2015). Solar-Powered Desalination. *Intech*, 2015, 89–124.

Deniz, E., and Çınar, S. (2016). Energy, exergy, economic and environmental (4E) analysis of a solar desalination system with humidification-dehumidification. *Energy Conversion and Management*, 126, 12-19.

Dev, R., and Tiwari, G. N. (2009). Characteristic equation of a passive solar still. *Desalination*, 245(1–3), 246–265.

Dhivagar, R., El-Sapa, S., Alrubaie, A. J., Al-Khaykan, A., Chamkha, A. J., Panchal, H., El-Sebaey, M. S., and Sharma, K. (2022). A case study on thermal performance analysis of a solar still basin employing ceramic magnets. *Case Studies in Thermal Engineering*, 39(August), 102402.

Dhivagar, R., Shoeibi, S., Kargarsharifabad, H., Ahmadi, M. H., & Sharifpur, M. (2022). Performance enhancement of a solar still using magnetic powder as an energy storage medium-exergy and environmental analysis. *Energy Science & Engineering*, 10(8), 3154-3166.

Dimri, V., Sarkar, B., Singh, U., and Tiwari, G. N. (2008). Effect of condensing cover material on yield of an active solar still: an experimental validation. *Desalination*, 227(1–3), 178–189.

Dunkle, R. V. (1961) Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still. *In Proc. International Heat Transfer Conference*, University of Colorado, USA, vol. 5, p. 895.

Dwivedi, V. K., and Tiwari, G. N. (2009a). Comparison of internal heat transfer coefficients in passive solar stills by different thermal models: An experimental validation. *Desalination*, 246(1–3), 304–318.

Elango, C., Gunasekaran, N., and Sampathkumar, K. (2015). Thermal models of solar still—A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 856–911.

Elango, T., Kannan, A., and Kalidasa Murugavel, K. (2015). Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids. *Desalination*, 360, 45–51.

- Elbar, A. R. A., Yousef, M. S., and Hassan, H. (2019). Energy, exergy, exergoeconomic and enviroeconomic (4E) evaluation of a new integration of solar still with photovoltaic panel. *Journal of Cleaner Production*, 233, 665–680.
- El-Maghlany, W. M., El-Samadony, Y. A. F., & Kabeel, A. E. (2016). Glass cover inclination angle effect on the radiation shape factor within conventional solar still. *Desalination and Water Treatment*, 57(38), 17722-17730.
- El-Nashar, A. M. (2009). Seasonal effect of dust deposition on a field of evacuated tube collectors on the performance of a solar desalination plant. *Desalination*, 239(1–3), 66–81.
- El-Samadony, Y. A. F., El-Maghlany, W. M., and Kabeel, A. E. (2016). Influence of glass cover inclination angle on radiation heat transfer rate within stepped solar still. *Desalination*, 384, 68–77.
- El-Sebaili, A. ., Aboul-Enein, S., and El-Bialy, E. (2000). Single basin solar still with baffle suspended absorber. *Energy Conversion and Management*, 41(7), 661–675.
- El-Sebaili, A. A. (2011). On effect of wind speed on passive solar still performance based on inner/outer surface temperatures of the glass cover. *Energy*, 36(8), 4943–4949.
- El-Sebaili, A. A., and El-Naggar, M. (2017). Year round performance and cost analysis of a finned single basin solar still. *Applied Thermal Engineering*, 110, 787–794.
- Eltawil, M. A., Zhengming, Z., and Yuan, L. (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2245–2262.
- Esfahani, J. A., Rahbar, N., and Lavvaf, M. (2011a). Utilization of thermoelectric cooling in a portable active solar still — An experimental study on winter days. *Desalination*, 269(1–3), 198–205.

Esfahani, J. A., Rahbar, N., and Lavvaf, M. (2011b). Utilization of thermoelectric cooling in a portable active solar still — An experimental study on winter days. *Desalination*, 269(1–3), 198–205.

Feilizadeh, M., Soltanieh, M., Karimi Estahbanati, M. R., Jafarpur, K., and Ashrafmansouri, S.-S. (2017). Optimization of geometrical dimensions of single-slope basin-type solar stills. *Desalination*, 424(October), 159–168.

Fiorenza, G., Sharma, V. K., and Braccio, G. (2003). Techno-economic evaluation of a solar powered water desalination plant. *Energy Conversion and Management*, 44(14), 2217–2240.

Ghoneyem, A., and Ileri, A. (1997). Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover. *Desalination*, 114(1), 37–44.

Goldsmid, H. J. (2010). *Introduction to thermoelectricity* (Vol. 121, p. 46). **Berlin: Springer.**

Goosen, M., Mahmoudi, H., Alyousef, Y., and Ghaffour, N. (2023). Solar desalination: A review of recent developments in environmental, regulatory and economic issues. *Solar Compass*, 5(February), 100034.

Gopal Singh, R., and Tiwari, G. N. (2020). Simulation performance of single slope solar still by using iteration method for convective heat transfer coefficient. *Groundwater for Sustainable Development*, 10(September 2019), 100287.

Gupta, B., Shankar, P., Sharma, R., and Baredar, P. (2016). Performance Enhancement Using Nano Particles in Modified Passive Solar Still. *Procedia Technology*, 25(Raerest), 1209–1216.

Gupta, B., Sharma, R., Shankar, P., and Baredar, P. (2016). Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: An experimental approach. *Perspectives in Science*, 8, 191–194.

- Haddad, Z., Chaker, A., and Rahmani, A. (2017). Improving the basin type solar still performances using a vertical rotating wick. *Desalination*, 418(November 2016), 71–78.
- Hassan, H., Omran Osman, O., and Abo-Elfadl, S. (2022). Novel dynamic simulation model and detailed performance evaluation of single slope solar still: Impact of side walls material. *Solar Energy*, 244(August), 298–314.
- Hedayatizadeh, M., and Sarhaddi, F. (2021). Thermal simulation of a modified solar desalination system with four transparent apertures with the aim of productivity augmentation. *Computers and Chemical Engineering*, 150, 107314.
- Hedayatizadeh, M., Sarhaddi, F., and Pugsley, A. (2020). A detailed thermal modeling of a passive single-slope solar still with improved accuracy. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(April), 100384.
- Hegazy, A. A. (2001). Effect of dust accumulation on solar transmittance through glass covers of plate-type collectors. *Renewable Energy*, 22(4), 525–540.
- Hidouri, K., Ben Slama, R., and Gabsi, S. (2010). Hybrid solar still by heat pump compression. *Desalination*, 250(1), 444–449.
- Hongfei, Z., Xiaoyan, Z., Jing, Z., and Yuyuan, W. (2002). A group of improved heat and mass transfer correlations in solar stills. *Energy Conversion and Management*, 43(18), 2469–2478.
- Hough, T. P. (2006). Trends in solar energy research. *Nova Publishers*.
- Ibrahim, A. G. M., and Dincer, I. (2015). A solar desalination system: Exergetic performance assessment. *Energy Conversion and Management*, 101, 379–392.
- Ibrahim, A. G., Rashad, A. M., and Dincer, I. (2017). Exergoeconomic analysis for cost optimization of a solar distillation system. *Solar Energy*, 151, 22–32.

- Jafari Mosleh, H., Jahangiri Mamouri, S., Shafii, M. B., and Hakim Sima, A. (2015). A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic trough collector. *Energy Conversion and Management*, 99, 141–150.
- Jeevadason, A. W., Padmini, S., Bharatiraja, C., and Kabeel, A. E. (2022). A review on diverse combinations and Energy-Exergy-Economics (3E) of hybrid solar still desalination. *Desalination*, 527, 115587.
- Joy, N., Antony, A., and Anderson, A. (2018). Experimental study on improving the performance of solar still using air blower. *International Journal of Ambient Energy*, 39(6), 613–616.
- Kabeel, A. E., and El-Agouz, S. A. (2011). Review of researches and developments on solar stills. *Desalination*, 276(1–3), 1–12.
- Kabeel, A. E., El-Agouz, S. A., Arunkumar, T., and Sathyamurthy, R. (2017). Enhancing the Performance of Single Slope Solar Still Using Jute Cloth Knited With Sand Heat Energy Storage. *Twentieth International Water Technology Conference*, May, 18–20.
- Kabeel, A. E., Omara, Z. M., and Essa, F. A. (2014). Enhancement of modified solar still integrated with external condenser using nanofluids: An experimental approach. *Energy Conversion and Management*, 78, 493–498.
- Kalbasi, R., Alemrajabi, A. A., and Afrand, M. (2018). Thermal modeling and analysis of single and double effect solar stills: An experimental validation. *Applied Thermal Engineering*, 129, 1455–1465.
- Kalidasa Murugavel, K., Chockalingam, K. K. S. K., and Srithar, K. (2008). Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still. *Desalination*, 220(1–3), 677–686.
- Kalogirou, S. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(3), 242–281.

- Karakilcik, M., and Dincer, I. (2008). Exergetic performance analysis of a solar pond. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(1), 93-102.
- Khalifa, A. J. N. (2011). On the effect of cover tilt angle of the simple solar still on its productivity in different seasons and latitudes. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 431–436.
- Khalifa, A. J. N., and Hamood, A. M. (2009). Effect of insulation thickness on the productivity of basin type solar stills: An experimental verification under local climate. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2457–2461.
- Khalifa, A. J. N., and Ibrahim, H. A. (2009). Effect of inclination of the external reflector on the performance of a basin type solar still at various seasons. *Energy for Sustainable Development*, 13(4), 244–249.
- Khechekhouche, A., Boukhari, A., Driss, Z., and Benhissen, N. eddine. (2017). Seasonal effect on solar distillation in the El-Oued region of south-east Algeria. *International Journal of Energetica*, 2(1), 42.
- Kianifar, A., Zeinali Heris, S., and Mahian, O. (2012). Exergy and economic analysis of a pyramid-shaped solar water purification system: Active and passive cases. *Energy*, 38(1), 31–36.
- Kirkup, L., & Frenkel, R. B. (2006). *An introduction to uncertainty in measurement: using the GUM (guide to the expression of uncertainty in measurement)*. Cambridge University Press.
- Kline, S. J. (1963). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mech. Eng.*, 75, 3-8.
- Kumar, R. A., Esakkimuthu, G., and Murugavel, K. K. (2016). Performance enhancement of a single basin single slope solar still using agitation effect and external condenser. *Desalination*, 399, 198–202.
- Kumar, S., and Tiwari, G. N. (1996). Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems. *Solar Energy*, 57(6), 459–464.

- Kumar, S., Heister, S. D., Xu, X., Salvador, J. R., and Meisner, G. P. (2013). Thermoelectric Generators for Automotive Waste Heat Recovery Systems Part I: Numerical Modeling and Baseline Model Analysis. *Journal of Electronic Materials*, 42(4), 665–674.
- Layek, A. (2018). Exergetic analysis of basin type solar still. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(1), 99–106.
- Lindblom, J. (2003). Solar Thermal Technologies for Seawater Desalination. *Renewable Energy Sytems, Lulea University of Technology*, 2-5.
- Lisboa, A. A., Segurado, R., & Mendes, M. A. (2022). Solar still performance for small-scale and low-cost seawater desalination: Model-based analysis and water yield enhancement techniques. *Solar Energy*, 238, 341-362.
- Madhlopa, A., and Clarke, J. A. (2013). Computation of irradiance in a solar still by using a refined algorithm. *Renewable Energy*, 51, 13–21.
- Manju, S., and Sagar, N. (2017). Renewable energy integrated desalination: A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(December 2016), 594–609.
- Miller, J. E. (2003). Review of water resources and desalination techniques. *Materials Chemistry Department Sandia National Laboratories*, March, 3–54.
- Mohaisen, H. S., Esfahani, J. A., and Ayani, M. B. (2021). Improvement in the performance and cost of passive solar stills using a finned-wall/built-in condenser: An experimental study. *Renewable Energy*, 168, 170–180.
- Morse, R. N., and Read, W. R. W. (1968). A rational basis for the engineering development of a solar still. *Solar Energy*, 12(1), 5–17.
- Muftah, A. F., Alghoul, M. A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M. M., and Sopian, K. (2014). Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 430–447.

- Nafey, A. S., Abdelkader, M., Abdelmotalip, A., and Mabrouk, A. A. (2000). Parameters affecting solar still productivity. *Energy Conversion and Management*, 41(16), 1797–1809.
- Nazari, S., Safarzadeh, H., and Bahiraei, M. (2019). Performance improvement of a single slope solar still by employing thermoelectric cooling channel and copper oxide nanofluid: An experimental study. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1041–1052.
- Omara, Z. M., Abdullah, A. S., and Dakrory, T. (2017). Improving the productivity of solar still by using water fan and wind turbine. *Solar Energy*, 147, 181–188.
- Pal, P., and Dev, R. (2019). Thermal Modeling, Experimental Validation, and Comparative Analysis of Modified Solar Stills. *Journal of Solar Energy Engineering*, 141(6).
- Panchal, H., Mevada, D., Sadasivuni, K. K., Essa, F. A., Shanmugan, S., and Khalid, M. (2020). Experimental and water quality analysis of solar stills with vertical and inclined fins. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(April), 100410.
- Panchal, H., Patel, D. K., and Patel, P. (2018). Theoretical and experimental performance analysis of sandstones and marble pieces as thermal energy storage materials inside solar stills. *International Journal of Ambient Energy*, 39(3), 221–229.
- Phadattare, M. K., and Verma, S. K. (2007). Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. *Desalination*, 217(1–3), 267–275.
- Pounraj, P., Prince Winston, D., Kabeel, A. E., Praveen Kumar, B., Manokar, A. M., Sathyamurthy, R., and Christabel, S. C. (2018). Experimental investigation on Peltier based hybrid PV/T active solar still for enhancing the overall performance. *Energy Conversion and Management*, 168(December 2017), 371–381.
- Pradeep, H., and Sharin, S. (2015). Hybrid Solar Still with Thermoelectric Generators and Evacuated Tubes. *International Journal for Ignited Minds*, 49–59.
- Rahbar, N., and Esfahani, J. A. (2012a). Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module. *Desalination*, 284, 55–61.

Rahbar, N., and Esfahani, J. A. (2012b). Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module. *Desalination*, 284, 55–61.

Rahbar, N., Esfahani, J. A., and Asadi, A. (2016). An experimental investigation on productivity and performance of a new improved design portable asymmetrical solar still utilizing thermoelectric modules. *Energy Conversion and Management*, 118, 55–62.

Rahbar, N., Gharaiian, A., and Rashidi, S. (2017). Exergy and economic analysis for a double slope solar still equipped by thermoelectric heating modules - an experimental investigation. *Desalination*, 420(April), 106–113.

Rajoria, C. S., Agrawal, S., and Tiwari, G. N. (2013). Exergetic and enviroeconomic analysis of novel hybrid PVT array. *Solar Energy*, 88, 110–119.

Ranjan, K. R., and Kaushik, S. C. (2013). Energy, exergy and thermo-economic analysis of solar distillation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 709–723.

Rashidi, S., Esfahani, J. A., & Rahbar, N. (2017). Partitioning of solar still for performance recovery: experimental and numerical investigations with cost analysis. *Solar Energy*, 153, 41-50.

Sakthivel, M., and Shanmugasundaram, S. (2008). Effect of energy storage medium (black granite gravel) on the performance of a solar still. *International Journal of Energy Research*, 32(1), 68–82.

Samee, M. A., Mirza, U. K., Majeed, T., and Ahmad, N. (2007). Design and performance of a simple single basin solar still. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(3), 543-549.

Sarkar, M. N. I., Sifat, A. I., Reza, S. M. S., and Sadique, M. S. (2017). A review of optimum parameter values of a passive solar still and a design for southern Bangladesh. *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 4(1), 1.

Sathyamurthy, R., El-Agouz, S. A., Nagarajan, P. K., Subramani, J., Arunkumar, T., Mageshbabu, D., Madhu, B., Bharathwaaj, R., and Prakash, N. (2017). A Review of

integrating solar collectors to solar still. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(December 2016), 1069–1097.

Saxena, A., Cuce, E., Kabeel, A. E., Abdelgaied, M., & Goel, V. (2022). A thermodynamic review on solar stills. *Solar Energy*, 237, 377-413.

Sharshir, S. W., Elsheikh, A. H., Peng, G., Yang, N., El-Samadony, M. O. A., and Kabeel, A. E. (2017c). Thermal performance and exergy analysis of solar stills – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(December 2016), 521–544.

Sharshir, S. W., Peng, G., Wu, L., Essa, F. A., Kabeel, A. E., and Yang, N. (2017a). The effects of flake graphite nanoparticles, phase change material, and film cooling on the solar still performance. *Applied Energy*, 191, 358–366.

Sharshir, S. W., Peng, G., Wu, L., Yang, N., Essa, F. A., Elsheikh, A. H., Mohamed, S. I. T., and Kabeel, A. E. (2017b). Enhancing the solar still performance using nanofluids and glass cover cooling: Experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 113, 684–693.

Shoeibi, S., Rahbar, N., Abedini Esfahlani, A., and Kargarsharifabad, H. (2021b). Improving the thermoelectric solar still performance by using nanofluids—Experimental study, thermodynamic modeling and energy matrices analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47(June), 101339.

Shoeibi, S., Rahbar, N., Esfahlani, A. A., and Kargarsharifabad, H. (2021a). Energy matrices, exergoeconomic and enviroeconomic analysis of air-cooled and water-cooled solar still: Experimental investigation and numerical simulation. *Renewable Energy*, 171, 227–244.

Shoeibi, S., Rahbar, N., Abedini Esfahlani, A., & Kargarsharifabad, H. (2022). Energy matrices, economic and environmental analysis of thermoelectric solar desalination using cooling fan. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(17), 9645-9660.

Shukla, S. K., and Sorayan, V. P. S. (2005). Thermal modeling of solar stills: an experimental validation. *Renewable Energy*, 30(5), 683–699.

- Singh, H. N., & Tiwari, G. N. (2004). Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic conditions. *Desalination*, 168, 145-150..
- Singh, S. K., Kaushik, S. C., Tyagi, V. V., & Tyagi, S. K. (2021). Comparative Performance and parametric study of solar still: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101541.
- Sivakumar, V., Sundaram, E. G., and Sakthivel, M. (2016). Investigation on the effects of heat capacity on the theoretical analysis of single slope passive solar still. *Desalination and Water Treatment*, 57(20), 9190–9202.
- Suter, C., Jovanovic, Z. R., & Steinfeld, A. (2012). A 1 kWe thermoelectric stack for geothermal power generation–Modeling and geometrical optimization. *Applied energy*, 99, 379-385.
- Tanaka, H. (2009). Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter. *Desalination*, 249(1), 130–134.
- Tanaka, H. (2010). Monthly optimum inclination of glass cover and external reflector of a basin type solar still with internal and external reflector. *Solar Energy*, 84(11), 1959–1966.
- Tanaka, H., and Nakatake, Y. (2006). Theoretical analysis of a basin type solar still with internal and external reflectors. *Desalination*, 197(1–3), 205–216.
- Tiwari, G. N., Gupta, S. P., and Lawrence, S. A. (1989). Transient analysis of solar still in the presence of dye. *Energy Conversion and Management*, 29(1), 59–62.
- Tiwari, G. N., Singh, H. N., and Tripathi, R. (2003). Present status of solar distillation. *Solar Energy*, 75(5), 367–373.
- Tiwari, G. N., Yadav, J. K., Singh, D. B., Al-Helal, I. M., & Abdel-Ghany, A. M. (2015). Exergoeconomic and enviroeconomic analyses of partially covered photovoltaic flat plate collector active solar distillation system. *Desalination*, 367, 186-196.

- Tohidi, F., Ghazanfari Holagh, S., and Chitsaz, A. (2022). Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications. *Applied Thermal Engineering*, 201(PA), 117793.
- Tripathi, R., and Tiwari, G. N. (2004). Performance evaluation of a solar still by using the concept of solar fractionation. *Desalination*.
- Tripathi, R., and Tiwari, G. N. (2006). Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of solar fraction. *Solar Energy*, 80(8), 956–967.
- Tsilingiris, P. T. (2007). The influence of binary mixture thermophysical properties in the analysis of heat and mass transfer processes in solar distillation systems. *Solar Energy*, 81(12), 1482–1491.
- University, C. for I. E. S. I. N.-C.-C. (2012). National Aggregates of Geospatial Data Collection: Population, Landscape, And Climate Estimates, Version 3 (PLACE III). NASA *Socioeconomic Data and Applications Center*
- Vaithilingam, S., and Esakkimuthu, G. S. (2015). Energy and exergy analysis of single slope passive solar still: an experimental investigation. *Desalination and Water Treatment*, 55(6), 1433–1444.
- Vaithilingam, S., Muthu, V., Athikesavan, M. M., Afzal, A., and Sathyamurthy, R. (2022). Energy and exergy analysis of conventional acrylic solar still with and without copper fins. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(4), 6194–6204.
- Velmurugan, V., and Srithar, K. (2011). Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1294–1304.
- Zoori, H. A., Tabrizi, F. F., Sarhaddi, F., & Heshmatnezhad, F. (2013). Comparison between energy and exergy efficiencies in a weir type cascade solar still. *Desalination*, 325, 113-121.

EK AÇIKLAMALAR A.

GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICI

Çizelge Ek.A1. Güneş enerjili damıtıcının teknik özellikleri

Özellik	Boyutları	Özellik	Boyutları
Cam kapak alanı (m ²)	1,18	Havzanın boyutları (cm)	100*100
Cam kalınlığı (mm)	4	Havzanın yüksekliği (m)	0,20
Doğu-Batı cam yüzey alanı (m ²)	0,34	SP1848 Thermoelectric Modul (mmxmm)	40x40
Damıtıcının yükseklikleri, (m)	0,22 0,90	DC fan motoru	1,2V and 0,4A
Camın eğimi (°)	35	Pervane boyutu (mm)	21

Çizelge Ek.A2. Deneyleri doğrulamak için kullanılan parametreler (Agrawal vd, 2017)

Havza alanı, (A _b)	1 m ²
Havza emiciliği, (a _b)	0,90
Cam emiciliği, (a _g)	0,05
Suyun emiciliği, (a _w)	0,05
Cam yansıtıcılığı, (R _g)	0,05
Su yansıtıcılığı, (R _w)	0,05
Cam emisyonu, (ε _g)	0,94
Su emisyonu, (ε _w)	0,95
Zaman, (t)	3600 sn
Cam kapak kalınlığı, (L _g)	0.004 m
Camın ısı iletim katsayısı (k)	1,03 W/mK
Yalıtım kalınlığı, (L _i)	0,10 m
Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (k)	0,0363 W/mK

EK AÇIKLAMALAR B.

TUZLU SUYUN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek.B. Tuzlu suyun termodinamik özellikleri (Heyaitzadeh vd, 2020)

<p>Tuzlu suyun yoğunluğu (kg/m³)</p>	$\rho_w = \left[\begin{aligned} &(a_1 + a_2 * (T_w - 273) + a_3 * (T_w - 273)^2 + \\ &a_4 * (T_w - 273)^3 + a_5 * (T_w - 273)^4) + \\ &(b_1 * S + b_2 * S * (T_w - 273) + b_3 * S * (T_w - 273)^2 + \\ &b_4 * S * (T_w - 273)^3 + b_5 * S^2 * (T_w - 273)^2); \end{aligned} \right]$
	<p>$S = 1;$ $a_1 = 9.999 * 10^2; a_2 = 2.034 * 10^{-2};$ $a_3 = -6.162 * 10^{-3}; a_4 = 2.261 * 10^{-5};$ $a_5 = -4.657 * 10^{-8}; b_1 = 8.020 * 10^2;$ $b_2 = -2.001; b_3 = 1.677 * 10^{-2};$ $b_4 = -3.060 * 10^{-5}; b_5 = -1.613 * 10^{-5};$</p>
<p>Tuzlu suyun özgül ısı kapasitesi (J/(kg K))</p>	<p>$A = 5.328 - 9.76 * 10^{-2} * Sp + 4.04 * 10^{-4} * Sp^2;$ $B = -6.913 * 10^{-3} + 7.351 * 10^{-4} * Sp - 3.15 * 10^{-6} * Sp^2;$ $C = 9.6 * 10^{-6} - 1.927 * 10^{-6} * Sp + 8.23 * 10^{-9} * Sp^2;$ $D = 2.5 * 10^{-9} + 1.666 * 10^{-9} * Sp - 7.125 * 10^{-12} * Sp^2;$ $Cp_w = 1000 * (A + B * T_w + C * T_w^2 + D * T_w^3);$</p>
<p>Tuzlu suyun dinamik viskozitesi (N.s/m²)</p>	<p>$\mu_{pw} = 4.2844 * 10^{-5} + (0.157 * (T_w - 208.157)^2 - 91.296)^{-1};$ $A = 1.541 + 1.998 * 10^{-2} * (T_w - 273.15) - 9.52 * 10^{-5} * (T_w - 273.15)^2;$ $B = 7.974 - 7.561 * 10^{-2} * (T_w - 273.15) + 4.724 * 10^{-4} * (T_w - 273.15)^2;$ $\mu_w = \mu_{pw} * (1 + A * Sp + B * Sp^2);$</p>
<p>Tuzlu suyun ısı iletim katsayısı (W/(m K))</p>	<p>$Sp = S;$ $k_w = \left(\begin{aligned} &10^{-3} * (10^{(\log_{10}(240 + 0.0002 * S))} + \\ &0.434 * (2.3 - (343.5 + 0.037 * S)/T_w) \\ &* (1 - T_w/(647 + 0.03 * S))^{0.333}); \end{aligned} \right)$</p>
<p>Tuzlu suyun Isıl genleşme katsayısı (1/K)</p>	<p>$\beta_{-w} = 1/T_w;$</p>

EK AÇIKLAMALAR C.

VERİ KAYIT CİHAZI



Çizelge Ek.C1. Adam 4520 teknik özellikleri

Parametre	Teknik Özelliği
Güç Tüketimi	10-30 W
Data Bits	5, 6, 7, 8
Max. Uzaklık	15 m
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C (14~158 °F)
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Depolama Sıcaklığı	-25~85 °C(-13~185 °F)
Güç Tüketimi	10-30 W

Çizelge Ek.C2. Adam 4019+ teknik özellikleri.

Parametre	Teknik Özelliği
Güç Tüketimi	10-30 W
Doğruluk	±%0,1
Ölçüm Kanalı Sayısı	8
Girdi Tipleri	T/C, mV, V, mA
Çalışma Nem Aralığı	%5-95 RH
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10~70 °C
Ölçüm Aralıkları	J, K, T, E, R, S, B, Tipi Isılçiftler. ±1 V, ±2.5 V, ±5V, ±10 V10 V ±100 mV, ±500 mV, ±20 mA, 4~20 mA

EK AÇIKLAMALAR D.

PİRANOMETRE



Çizelge Ek.D. Piranometrenin teknik özellikleri

Parametre	Teknik Özelliği
Dönüştürücü	Silikon fotovoltatik 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

EK AÇIKLAMALAR E.

ANENOMETRE

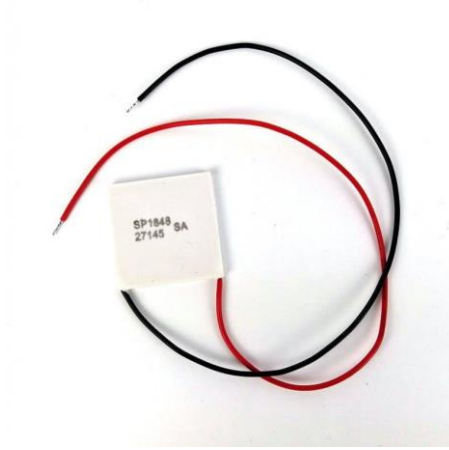


Çizelge Ek.E. Anenometre teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
Hız	0-45 m/s	$\pm\%3$ m/s
Sıcaklık	0-60°C	$\pm 1.0^\circ\text{C}$
Nem	80% RH	

EK AÇIKLAMALAR F.

TERMOELEKTRİK JENERATORLER

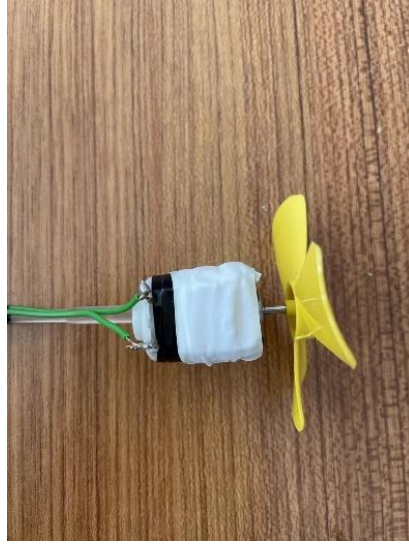


Çizelge Ek.F. Termoelektrik jeneratör modülünün katalog değerleri

Sıcaklık Farkı (°C)	Açık devre gerilimi (V _o)	Güç akımı (mA)
20	0,97	225
40	1,8	368
60	2,4	469
80	3,6	558
100	4,8	669

EK AÇIKLAMALAR G.

FAN VE MOTORU



Çizelge Ek.G. Sistemde kullanılan elektrik motoru ve fanların özellikleri

Referans akımı:	0.35-0.4A
Ağırlık:	14g
Besleme gerilimi:	1-3V
Mil uzunluğu:	9mm
Mil çapı:	2mm
Boyutlar:	20*15*25mm

EK AÇIKLAMALAR J.

GÜÇ KAYNAĞI



Çizelge Ek.J. Güç kaynağı özellikleri

Çıkış Gerilimi	CH1-CH2: 0-30 V CH3:2,5-3,3-5V
Çıkış Akımı	CH1-CH2-CH3:0-3A
Gürültü	5 Hz-1mHz
Minumum Çözünürlük	1 mV/1mA
Sıcaklık Katsayısı	300 ppm/°C
Güç	AC100V/120V/220V/230V±%10,50/60Hz
Boyut ve Ağırlık	210/130/265 mm, ~7 kg

ÖZGEÇMİŞ

Yasin ÖZCAN 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlayıp 2009 yılında mezun olmuştur. 1 yılında bir yıl süreyle ABD ülkesinde dil eğitimi aldıktan sonra Suudi Arabistanda santiye mühendisi olarak bir süre çalışmıştır. YLSY programı ile 2013 yılında The Universty of Texas'ta yüksek lisans eğitimi almış ve 2015 yılında mezun olmuştur. 2015 yılında Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen Kastamonu Üniversitesindeki aynı görevini sürdürmektedir. 2016 yılında ise, Karabük Üniversitesinde Makine Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalında doktora eğitimine başlamıştır.