



**PELTİER ENTEGRASYONU İLE GÜNEŞ DESTEKLİ
SU DAMITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Akif ÇOLAK

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Faraz AFŞAR**

**2024
Her hakkı saklıdır.**



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PELTİER ENTEGRASYONU İLE GÜNEŞ DESTEKLİ SU DAMITMA
SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Akif ÇOLAK

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Faraz AFŞAR

Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

01 / 03 / 2024

İmzası

Akif ÇOLAK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PELTİER ENTEGRASYONU İLE GÜNEŞ DESTEKLİ SU DAMITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Akif ÇOLAK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Faraz AFŞAR

Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu günümüzde en önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu konuya bağlı olarak güneş enerjisi kullanımı enerji tasarrufu için en önemli enerji kaynağı olarak kabul edilmiş ve fosil yakıtlardan bağımsızlık kazanmaya yönelik çalışmaların odak noktası olmuştur. Bu çalışmada, bir su damıtma sistemi kurulmuştur. Bu sistemin amacı enerji verimliliğini artırmak ve çeşitli parametrelerin su damıtma üzerindeki etkisini araştırmak için çok sayıda deney yapılmıştır. Bu çalışmanın en öne çıkan yanı, sünger parçaları kullanılarak hızlı buharlaşma için yüzey alanının artırılması tekniği kullanılarak damıtma hızının artırılması ile birlikte yoğunlaşma hızının da artırılması için sisteme termoelektrik soğutucu entegre edilmiştir. Sistemde dış ısı eşanjörüne su püskürten bir mekanizma ile donatılmış yeni bir yoğunlaşma parçası entegre edilmiştir. Çalışmada ayrıca siyah rengin güneş enerjisi üzerindeki etkileri, sistem içerisindeki fanın çalışmasının su buharı dağılımına etkisi, yalıtımın ısı enerji kayıplarını azaltmadaki rolü güneş radyasyonu yoğunluğu, sünger parçalar kullanımının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, sünger parçaları ve termoelektrik soğutucu kullanımının, yaklaşık %100,5 olan su damıtma oranını önemli ölçüde artırdığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca hava fanlarının damıtma hızına etkisi de gözlemlendi ve bu da damıtma oranını %51,1 den fazla artırdığı gözlemlenmiştir. Genel olarak bu çalışma, güneş enerjisiyle çalışan su damıtma sistemlerinin tasarımı ve sürece ilişkin değerli bilgiler sunarak enerji verimliliğinin önemini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ihtiyaçlarını karşılarken çevre üzerindeki etkisini azaltmaya yönelik potansiyeli vurgulanmıştır.

2024, 42 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Su damıtma, Termoelektrik soğutucu

ABSTRACT

MS. Thesis

SOLAR SUPPORTED WITH PELTIER INTEGRATION DESIGN OF WATER PURIFICATION SYSTEM AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Akif ÇOLAK

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faraz AFŞAR

Energy efficiency and conservation are critical issues today, and the widespread recognition of solar energy as a key solution for achieving independence from fossil fuels underscores its importance. In this study, we installed water treatment systems and conducted numerous experiments to enhance energy efficiency while exploring various parameters' impacts on water distillation rates. Our primary aim was to augment distillation rates by expanding the surface area for rapid evaporation using sponge pieces. Additionally, we integrated a novel condensation system that sprays water on the external heat exchanger of the thermoelectric module, thereby boosting condensation rates. Our investigation also delved into the effects of black color on solar energy absorption, the influence of indoor fan operation on water vapor distribution, and the role of solar radiation. The results demonstrated a significant increase in water distillation rates approximately 100.5% with the use of sponge pieces and a thermoelectric cooler. Furthermore, the operation of air fans was found to increase distillation by more than 51.1%. In sum, our study offers valuable insights into the design and optimization of solar-powered water treatment systems, emphasizing the importance of energy efficiency and the potential of renewable energy sources to meet our energy needs while mitigating environmental impact.

2024, 42 page

Keywords: Solar energy, Water distillation, Thermoelectric coolers

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yön gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım sayın Doç. Dr. Faraz Afşar'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileriyle ışık tutan, bana akademik yolda yürüme şevki kazandıran Marmara Üniversitesi ve Erzurum Teknik Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmanın uygulama sürecinde yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Akif ÇOLAK
Mart 2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Belirsizlik Analizi	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	21
4.1. Teorik Hesaplamalar	23
4.2. Termal Kamera Sonuçları	33
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A	Yüzey alanı (m^2)
h_{fg}	Buharlaştırma entalpisi (J/kg)
i	Gelen ışıma (W/m^2)
m	Kütle(kg)
$\dot{m}$	Kütle akış hızı (kg/s)
t	Zaman (s)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
Q	Isı transfer miktarı (J)
$\dot{Q}$	Isı transfer hızı (W)

Kısaltmalar

avg	Ortalama
b	Damıtılmış ünitenin tabanı
cm	Santimetre
evap	Buharlaştırılmış su
f	Son
gc	Camdan toplanan temiz su
g	Gram
i	İlk
m	Metre
m^2	Metre kare
mL	Mililitre
η	Termal verim
pc	Peltier ünitesinde toplanan toplam temiz su
PV/T	Fotovoltaik-Termal
PVC	Polivinil klorür
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopi)
SR	Güneş ışınımının giriş hızı

sw	Tuzlu su
T_c	Toplanan toplam temiz su
TEC	Termoelektrik elemanı
th	Termal
μm	Mikrometre



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan malzeme, deney ölçüm cihazları ve deney setinin görünümü.....	17
Şekil 3.2. İmal edilen tertibatın gövde ölçüleri görünüşü.....	18
Şekil 3.3. (a) Deneylerde siyah süngerlerin düzeni , (b) Beyaz süngerlerin düzeni	18
Şekil 3.4. Deney setinin Solid 3D çizimi ve ebatları	19
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan siyah ve beyaz süngerlerin sarılması	19
Şekil 4.1. (a, b) Kuru deney örneklerin mikroskopik görüntüleri, (c, d) Islak örneklerin görüntüleri, (e, f) Kuru örnekler için SEM görüntüleri.	22
Şekil 4.2. Deney 1,4,7 için kabin içindeki havanın sıcaklık değişimi	25
Şekil 4.3. (a) Deney 7, (b) Deney 6 için kabin içindeki havanın ve tuzlu suyun sıcaklık değişimi.	26
Şekil 4.4. Deney 1 ve Deney 7'de dış ısı değiştiricisinin sıcaklık değişimi, değiştiricinin periyodik olarak su spreyine maruz kaldığı deneylerin incelenmesi.....	28
Şekil 4.5. Gerçekleştirilen tüm deneyler için test süresi boyunca toplam damıtılmış su	29
Şekil 4.6. Yapılan tüm deneyler için damıtılmış suyun saatlik termal verimi	30
Şekil 4.8. Cam yüzeyindeki sıcaklığın zamana göre değişimi.....	32
Şekil 4.9. Peltier sıcaklığının zamana göre değişimi	33
Şekil 4.10. (a) Deney seti fotoğrafı, (b) Deney seti termal kamera görünümü, (c) İç elemanlar termal kamera görüntüsü, (d) Termoelektrik soğutucu ve eşanjör.	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatüre sunulan güncel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	14
Çizelge 3.1. Deneylerin test planı	17
Çizelge 4.1. Her deneyde Peltier ünitesinden ve camdan elde edilen damıtılmış su.....	30



1. GİRİŞ

Su, insanlığın devamı için temel bileşenlerden biridir ve insan yaşamı için kritik bir maddedir. Tarım, sulama ve yemek pişirme gibi evsel kullanımlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüz dünyasında en kritik sağlık tehlikelerinden biri tatlı sudur. Dünya yüzeyinin yaklaşık üçte ikisinden fazlası sularla kaplıdır. Bu suların %97'si tuzlu su, %2,6'sı buzdağlarını oluşturur. Geri kalan %1'inden daha azı ise insanların erişimindedir (Kumar et al. 2015).

Nüfus artışı, tarım ve sanayide hızlı kullanımı nedeniyle tatlı suya olan talep sürekli artmaktadır. Su kıtlığı sorununun üstesinden gelmek için alternatif su damıtma teknolojileri geliştirilerek tatlı su talebi ve arzı arasındaki uçurumu en aza indirmek esastır. İnsanlık için düşük maliyetli içme suyundan yararlanmak bir meydan okuma haline gelmektedir. Solar damıtma, güneş enerjisini yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanarak tuz ve acı su damıtma için en umut verici, basit ve ekonomik metotlardan biri olarak bilinmektedir Endüstriyel tuzdan arındırma teknolojileri, faz değiştirme/termal ve membran prosesleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Tüm tuzdan arındırma teknolojileri, kireçlenmeyi, köpürmeyi, korozyonu, biyolojik büyümeyi ve kirlenmeyi önlemek için ham deniz suyunun kimyasal bir ön damıtmaya tabi tutulmasını ve ayrıca kimyasal bir son damıtmaya ihtiyaç duyar (Mosleh et al. 2015; Tiwari and Sahota 2017).

Gelişen tuzdan arındırma yöntemlerinden biri de güneşle damıtmadır. Solar damıtıcılar, pasif ve aktif sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Aktif güneş damıtıcılarında, buharlaşma oranını artırmak için harici bir kaynak kullanılarak pasif güneş enerjisiyle damıtıcıya ek termal enerji verilebilmektedir. Buna karşılık, pasif sistemler hiçbir harici güç kaynağı kullanmaz (Badran et al. 2005).

Güneş enerjisi, küresel enerji kriziyle başa çıkmada ve çevresel bozulmayı azaltmada giderek daha önemli hale gelmektedir. Önemi belirleyen temel nedenlerden biri sürdürülebilirliğidir. Kömür ve petrol gibi sonlu fosil yakıtların aksine, güneş enerjisi bitmeyen bir kaynaktan gelir. Bu, güneş enerjisinin kullanımının sonlu kaynakları tüketmediği ve iklim değişikliğini tetikleyen zararlı emisyonlara katkıda bulunmadığı anlamına gelir, bu da daha sürdürülebilir bir enerji geleceğine geçişin önemli bir

parçasıdır. Ayrıca, güneş enerjisi, fiyat dalgalanmalarına ve jeopolitik gerilimlere maruz kalabilen ithal fosil yakınlara olan bağımlılığı azaltarak toplulukların ve ulusların enerji bağımsızlığı sağlar. Güneş enerjisi altyapısına yatırım yaparak, ülkeler enerji güvenliklerini güçlendirebilir ve yerel temiz enerji endüstrilerinin gelişmesi yoluyla ekonomik büyümeyi teşvik edebilirler.

Güneş enerjisi, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmek için muazzam bir fırsat sunar. Güneş enerjisinin kullanımı, geleneksel fosil yakıt temelli enerji üretim yöntemlerine kıyasla sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltır. Yeryüzüne ulaşan bol miktardaki güneş ışığından yararlanarak, güneş teknolojileri, elektrik üretimi ile ilişkilendirilen karbon ayak izini azaltarak, iklim değişikliğinin ilerlemesini ve bununla ilişkili çevresel ve sosyal sonuçları engeller. Dahası, güneş enerjisi sistemleri, uzak ve şebekeye bağlı olmayan bölgeler de dahil olmak üzere çeşitli coğrafi bölgelere yayılabilir, geleneksel şebeke altyapısının bulunmadığı veya güvenilir olmadığı yerlerde temiz ve uygun fiyatlı elektriğe erişimi sağlar. Bu erişilebilirlik yönü, güneş enerjisinin sağladığı, sağlık sonuçlarını iyileştirme, eğitimi mümkün kılma ve topluluklara daha büyük enerji özerkliği kazandırma gibi sosyo-ekonomik gelişime katkıda bulunur. Özüde, güneş enerjisinin önemi, çevresel faydalarının ötesine geçerek, küresel ölçekte ekonomik refahı ve sosyal adaleti kapsar.

Su ve özellikle temiz su erişimi, insan medeniyetinin ve refahının vazgeçilmez bir temel taşı olarak durmaktadır. Suyun önemi, sağlık, sanitasyon, tarım ve endüstri gibi çeşitli alanlara yayılmaktadır. Temiz su, hayatın devamı için temel bir gerekliliktir çünkü hidrasyon, gıda üretimi ve sanitasyon uygulamaları için esastır. Temiz suya uygun erişim, özellikle sanitasyon altyapısına erişimin sınırlı olduğu savunmasız topluluklarda, su kaynaklı hastalıkları önlemede ve halk sağlığını teşvik etmede temeldir.

Ayrıca, su tarımsal üretkenlik için merkezi bir role sahiptir, dünya çapındaki nüfusları besleyen ve gıda güvenliğini sağlayan sulama sistemleri için hayati bir kaynak olarak hizmet eder. Dahası, temiz su, üretimden enerji üretimine kadar geniş bir endüstriyel süreç yelpazesinde vazgeçilmezdir, bu da onu ekonomik kalkınma ve refah için kritik bir rol oynar. Özetle, temiz suya evrensel erişimin sağlanması sadece insan

1. GİRİŞ

hakları meselesi değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma ve gelecek nesillerin refahı için temel bir taşıdır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk bakışta basit gibi görünse de, su damıtma genel olarak en önemli mühendislik süreçlerinden ve uygulamalı bilimlerden biridir. Bu konunun önemini göstermek için dünya sularının %97'sinden fazlasının atık ve tuzlu olduğunu vurgulamak gerekir. Bu bağlamda sonuç oranını artırmanın yollarını bulmak için (düşük etkili olmasına rağmen) birçok parametre araştırılmıştır (Kumar et al. 2015; Tiwari and Sahota 2017).

Mosleh et al. (2015) yaptıkları çalışmaya göre vakum tüplü toplayıcı, ısı borulu toplayıcı ve parabolik oluklu yoğunlaştırıcıdan oluşan bir kombinasyon kullanarak yeni bir tuzdan arındırma sistemi tasarladı. Isı borusu ve çift camlı vakum tüplü kolektör kullanılarak sistemin üretim hızı $0,27 \text{ kg/m}^2.\text{h}$ olarak raporlanmıştır. Tuzdan arındırma sisteminin verimi de yaklaşık %22 olarak elde edilmiştir.

Badran et al. (2005) yapılan çalışmada düz bir güneş kolektörü ünitesinin entegre edilmesinin bir güneş damıtma sisteminin verimliliği üzerindeki etkilerini inceledi. Sonuçlar güneş damıtma çıkışının havzadaki en düşük su derinliği olan 2 cm için en yüksek değere ulaşabileceğini göstermiştir. Ayrıca havzadaki su derinliğinin artmasıyla toplam verim azaltmıştır.

Damıtılmış su kütlesinin, besleme olarak musluk suyu durumunda %230 ve tuzlu su durumunda %52 arttığı belirtilmiştir.

Chaouchi et al. (2007) yaptıkları çalışmaya göre, parabolik bir yoğunlaştırıcı ile donatılmış bir güneş tuzdan arındırma aparatı geliştirilmiştir. Deneysel teorik analizler yapılarak damıtılmış akış hızı için ortalama bağıl hata tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aparat tasarımının soğurucuya özel önem verilerek değiştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Kumar and Tiwari (2009) yaptığı çalışmada ise, pasif bir güneş sisteminden 5.5 kat daha fazla verimliliğe sahip bir hibrit (PV/T) güneş enerjili damıtma sistemi geliştirildi. Pasif ve hibrit PV/T sistemi için yıllık ortalama konvektif ısı transfer katsayısı 5 cm su derinliğinde sırasıyla $0,78$ ve $2,41 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olarak bulunmuştur.

Dwivedi and Tiwari (2010) yaptıkları çalışmada ise; doğal sirkülasyonla çalışan çift eğimli aktif bir güneş enerjisi damıtma ünitesi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, ünitenin enerji ve ekserji verimliliği 3 cm su derinliğin test durumu için değerlendirilmiştir. Çift eğimli aktif solar damıtıcının, çift eğimli pasif solar damıtma ile karşılaştırıldığında %51 daha yüksek verim verdiği bulunmuştur.

Kabeel and El-Agouz (2011), farklı enerji sistemleri ve faz değiştiren malzemelerle birleştirilmiş tek etkili güneş damıtıcılarını gözden geçirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda bir güneş takipçisi kullanmanın termal verimliliği ve genel üretkenliği artırabileceğini göstermişlerdir.

Gorjan et al. (2014), güneşli, hafif bulutlu ve tozlu günlerin su damıtma ünitesinin termal performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için nokta odaklı parabolik güneş dizisi kullanarak deneysel bir çalışma yürütmüştür. Ayrıca doğrudan güneş radyasyonu, rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve giriş suyu tuzluluğu gibi çevresel parametrelerin sistem üretim hızına etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, ünitenin üretim hızını etkileyen en kritik faktörlerin doğrudan güneş radyasyonu ve soğurucu yüzey sıcaklığı olduğunu göstermiştir. Güneş radyasyonu $628,8 \text{ W/m}^2$ ve soğurucu yüzey sıcaklığının ortalama değeri $150,7 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğunda, 7 saat içinde maksimum 5,1 kg üretim oranı rapor edilmiştir.

Moh'd A (2015), gözenekli bir buharlaştırıcı ve dahili bir yoğunlaştırıcı içeren bir güneş enerjili damıtma ünitesi tasarladı. Sonuçlar suyun damıtma hızının ve veriminin havzanın sıcaklığının artmasıyla hala arttığını göstermektedir. Ayrıca, rüzgâr hızının ve kondenser sıcaklığının düşmesi damıtma oranını artırabilir. Ortam sıcaklığının artması verimi ve damıtma oranlarını artırmış.

Elashmawy (2017), boru biçimli bir güneş damıtıcı ile entegre edilmiş güneş izleme sistemi ile donatılmış bir parabolik yoğunlaştırıcı kullanılmıştır. Parabolik yoğunlaştırıcı-güneş izleme sisteminin güneş enerjisi verimini %676 artırdığı ortaya çıktı. Bu sistemler uzak bölgelerdeki küçük topluluklar için icat edilmiştir.

Aybar et al. (2005) yaptıkları çalışma ile eğimli su damıtma ünitesi tasarlanmış ve gerçek çevre koşullarının etkilerini incelemiştir. Çalışmada besleme suyu güneş

yutucu plaka üzerine düşerek üniteni eş zamanlı olarak sıcak ve tatlı su üretmesi sağlanmıştır.

Aybar (2006), eş zamanlı olarak damıtılmış su ve sıcak su üreten bir güneş enerjili su damıtma ünitesini analiz etmek için matematiksel modelleme tekniğini kullanarak çalışma yürütülmüştür. Çalışmada model simülasyonu yapılmış ve besleme suyu debisi ile güneş ışınım şiddetinin parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kurulan sistemin günde 07:00-19:00 saatleri arasında 3,5-5,5 kg saf su üretilbildiği bildirilmiştir. Üretilen sıcak suyun sıcaklığı 60 °C olarak ölçülmüştür. Optimize edilebilir önemli bir parametrede güneş enerjili damıtma ünitesinin yoğunlaşma kapağı.

Tiwari et al. (2007) yoğunlaşma örtüsünün farklı eğimli açılarında tek eğimli pasif güneş damıtıcılarının yıllık performansını araştırdı. (15, 30 ve 45). Yoğunlaşma örtüsünün 15 ° eğilimin en yüksek yıllık verimi ve damıtma oranını verdiği bildirilmiştir.

El-Nashar (2009) yaptığı çalışmada, bir güneş enerjisi tuzdan arındırma tesisinin yoğunlaşma suyu üzerindeki toz birikiminin mevsimsel etkisini incelendi. Toz birikiminin cam tüp geçirgenliğinde %10-18 aralığında düşüşe neden olduğu ve bunun da bitkisel üretimde kayda değer bir düşüşe neden olabileceği belirtilmiştir.

Modi and Modi (2020) yaptıkları çalışmada; Jüt kumaştan fitil yığını kullanmanın çift havuzlu bir güneş enerjisi damıtma ünitesinde damıtma verimi üzerindeki etkisini bulmak için teorik ve deneysel bir çalışma yürüttü. Fitilsiz halatlı hav için sırasıyla %8,9, %28,9 ve %29,4 daha yüksek verim elde edildiği bulunmuştur. Farklı şeffaf kapak malzemelerine sahip boru şeklindeki güneş enerjili damıtıcı sistemleri, enerji ve ekserji açısından incelenmiş ve ardından cihazın uygulanabilirliğini değerlendirmek için ekonomik analizler yapılmıştır.

Sambare et al. (2022) yeni havuz filtrelerine sahip tek eğimli güneş enerjili damıtıcı sistemlerinin verimliliğini araştırmışlardır.

Suraparaju et al. (2021) yaptıkları çalışma ile sistemin maliyet/litre ve geri ödeme sürelerini tahmin etmişlerdir.

Singh et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada; doğal olarak boşatılmış bir tüp toplayıcı ile entegre edilmiş bir güneş enerjili damıtıcı sistemin performansını incelemiştir. Ek olarak, bir vakumlu tüp toplayıcı ile entegre edilmiş bir güneş enerjisi damıtma sisteminin performansı, Singh ve arkadaşları tarafından doğal olarak incelenmiştir

Güneş enerjisinden yararlanarak su damıtma için tasarlanmış olan güneş damıtma sistemleri, özellikle temiz su kaynaklarına sınırlı erişimi olan bölgelerde önemli bir rol oynamıştır. Bu sistemler, güneş enerjisini kullanarak kirli suyu buharlaştırarak kirlleticileri geride bırakmış ve yoğunlaşan arıtılmış suyu toplamıştır.

Önemleri, özellikle geleneksel damıtma yöntemlerinin uygulanabilir olmadığı veya mevcut olmadığı kuru ve uzak bölgelerde temiz içme suyu elde etmek için sürdürülebilir ve güvenilir bir yöntem sağlamıştır. Güneş damıtma sistemleri çevre dostudur, işlem için harici güç kaynaklarına veya kimyasallara gereksinim duymamışlar, bu da fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve karbon emisyonlarını en aza indirir. Güneş ışınlarının yoğunluğu ve ortam sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak enerji verimliliği değişse de güneş damıtma sistemlerinde oldukça verimli olabilir ve dünya çapındaki su kıtlığı sorunlarına yenilenebilir bir çözüm sunmuştur. Konuyla ilgili birçok değerli araştırma yapılmış ve araştırmacılar tarafından literatüre sunulmuştur (Mohamed et al. 2023; Abu-Zeid et al. 2024; Alsehlı 2024; Arunkumar et al. 2024; Attia et al. 2024; Bait 2024; Bacha et al. 2024; Davra et al. 2024; Easa et al. 2024; El-Said et al. 2024; Farvardin and Motlagh 2024; Hammad et al. 2024; Maurya et al. 2024; Negi et al. 2024; Jiao et al. 2024; Salama et al. 2024; Shanmugan et al. 2024; Shareef et al. 2024; Tei et al. 2024).

Su kıtlığı krizi dikkate alınmış ve uygun ve uygulanabilir çözümler bulmak için birçok çaba geliştirilmiştir; bu çözümler arasında deniz suyunun tuzunu alma sistemlerinin geliştirilmesi de yer almıştır. Genellikle, yapımı basit ve kullanımı kolay olan güneş distileleri (SS'ler), özellikle kurak bölgelerde tatlı su ihtiyacını karşılamak için geliştirilmiştir. Ancak, üretkenlikleri ve verimliliklerini artırmak hala bir zorluktur. Bu çalışma, bir piramit SS'nin (PSS) termo-ekonomik performansını artırarak buharlaşma ve kondensasyon süreçlerini artırmayı amaçlamıştır. İlk olarak, vakumlu tüpler ve ultrasonik sisleyiciler geliştirilmiş bir PSS'ye (DPSS-I) entegre edilmiş ve farklı sisleyici işletme

süreleri test edilmiştir. İkinci olarak, DPSS-II'de, 1,5 ağırlıkça% Co_3O_4 nanofluidi bir havuz sıvısı olarak eklenmiştir. Son olarak, DPSS-III'te, bir cam soğutma kondensasyon oranını artırmak için kullanılmıştır. Çalışma, enerjik ve ekserji verimlilikleri ve litre başına tatlı su maliyetini hesaplayarak tam bir termo-ekonomik performans analizi yaptı. DPSS performansı geleneksel PSS (TPSS) ile karşılaştırılmıştır. Tüm önerilen katkı maddelerinin DPSS-III'e entegre edilmesi, tatlı su üretimini, enerji ve ekserji verimliliklerini sırasıyla %83,87, %18,29 ve %38,86 oranında artırmıştır. Litre başına tatlı su maliyeti %11,61 azalmıştır. Bu sonuçlar, özellikle SS'lerde, güneşle tuzun alınması alanında önerilen katkı maddelerinin kullanışlı olduğunu göstermiştir (Lin et al. 2024).

Hoang et al. (2021) Güneş enerjisi bazlı su damıtma işlemini incelemek için deneysel bir araştırma yürüttüler. Bu çalışmada damıtma işleminde toplayıcı ve yoğunlaştırıcı olarak eğilimli metal borular kullanılmıştır. Ayrıca vakumlu ısı eşanjörleri, fotovoltaiik ısıtma sistemleri ve jeneratörlerle birleştirilmiş güneş enerjili damıtma ünitelerinin yanı sıra damıtılmış su verimliliğini artırmak için doğal liflerin kullanılması, kahve bazlı kolloid ve kobalt oksit nano akışkanın kullanımı da olmuştur.

Le et al. (2021) yaptıkları bir çalışmada, farklı havza türlerinin pasif güneş damıtıcılarının performansı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesine odaklanan analizler ve çalışmanın verimliliği çeşitli konularda incelemiştir.

Güneş distileleri, altyapı eksikliği olan uzak bölgeler için umut vadeden bir çözüm sunar. Bu çalışmanın amacı, çeşitli bez örgülerinin jüt, pamuk, peluş ve ipek dizgin sel piramit güneş distileleri (DPSS) performansını nasıl etkilediğini araştırmaktır. Ayrıca, güneş panellerinden enerji alan üç elektrikli ısıtıcı kullanılarak DPSS havzasındaki su sıcaklığını artırmak ve dolayısıyla verimliliği artırmak amaçlanmıştır. Testler, Mısır'daki Kafrelsheikh Üniversitesi çevresinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, DPSS'nin 8000 mL/m².gün, PSS'nin ise 3550 mL/m².gün ürettiğini göstermiş, bu da PSS'ye kıyasla DPSS üretiminde %125'lik bir artışı işaret etmektedir. En yüksek verimlilik artışları jüt (%125), pamuk (%115), peluş (%88) ve ipek (%60) ile elde edilmiştir. Isıtıcılarla birlikte DPSS, PSS'ye kıyasla günlük 10750 ve 3650 mL/m². gün verimlilik sağladı, bu da %195'lik bir

iyileşme demektir. Jüt örgülü ve elektrikli ısıtıcılı DPSS'nin termal verimliliği %63,5, ekserji verimliliği ise %6,1 olarak ölçmüşlerdir (Abdullah et al. 2023).

Güneş damıtma verimliliğini artırmak, dünya çapında etkin kullanımları için kritik bir öneme sahiptir. Güneş damıtmasının verimliliği, çeşitli enerji depolama malzemeleri, gözenekli maddeler ve yüzey alanı artırıcılar kullanılarak artırılmaktadır. Bu çalışmada, doğal olarak bulunan kurumuş göl liflerinin kullanımıyla tek eğimli güneş damıtımında tatlı su üretimini artırmak için bir girişimde bulunulmuştur. Daha iyi gözeneğe sahip olan kurumuş göl lifleri, buharlaşma yüzey alanını artırmak için absorber havuzundaki deniz suyunun üstüne yüzdürülmüştür. Yüzdürülecek lif sayısı, absorber havuzundaki işgal alanı yüzdesine dayalı olarak belirlenmiştir. Emici havuzunda yüzdürülen göl liflerinin (3, 4, 5, 6, 10, 15 ve 20 adet) sayısının güneş damıtmasına verimine etkisi incelenmiştir. Beş adet kurumuş göl lifi içeren güneş damıtması, tatlı su üretimini %29,67 artırmıştır. Buna karşılık, 3, 4, 6, 10, 15 ve 20 adet göl lifinin kullanılması, geleneksel güneş damıtmasına kıyasla üretkenliği sırasıyla %10,57, %25,97, %26,81, %23,83, %4,43 ve %3,63 artırmıştır. Ekonomik analiz, göl lifleriyle üretilen tatlı suyun litre başına maliyetinin, geleneksel güneş damıtmasına göre %30,76 daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, göl lifleriyle güneş damıtımında geri ödeme süresi 91 gün iken, geleneksel güneş damıtmasının geri ödeme süresi 115 gündür. Bununla birlikte, kurumuş göl lifleri doğal olarak bulunabilir olduğu ve lif işleme maliyetinin minimum olduğu için her iki sistem için başlangıç yatırım maliyeti aynı kalmıştır (Suraparju et al. 2021).

Güneş enerjisini kullanarak ham yeraltı ve yüzey suyunu temiz içme suyuna dönüştürmek için çeşitli damıtma sistemleri şimdiye kadar araştırılmıştır. Ancak, sürdürülebilir olması için bu sistemlerin verimliliği mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Tüp şeklinde güneş distileleri (TSS), daha verimli güneş damıtma sistemlerinden biri olarak incelenmiştir. Bu çalışma, farklı kapak malzemelerini araştırarak tüp şeklinde güneş distilelerinin verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Polivinil klorür (PVC), polikarbonat, akrilik ve cam gibi farklı kapak malzemeleri ile dört farklı TSS kurulumu deneysel olarak incelenmiştir. Diğer malzemelere kıyasla, her bir havuzda 0,5 cm su derinliğinde TSS ile cam kapak en yüksek verimliliği ($6,23 \text{ L/m}^2$) ve günlük ekserji ve enerji verimliliğini (sırasıyla %7,67 ve %71,56) sağladığı gözlemlenmiştir. Yapılan tüm

düzenlemelerin ekonomik analizine göre, incelenen tüm kombinasyonlar arasında, akrilik kapaklı TSS, tatlı su üretme maliyetini en düşük olmasını sağlamıştır (Sambare et al. 2022).

Son zamanlarda, nano sıvılar, üstün foto-termal özellikleri ve ısı transfer karakteristikleri nedeniyle su damıtma sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, metal, metal oksitleri ve karbon gibi çoğu inorganik nanopartiküller, üretim ve imha süreçlerine ilişkin risklerden ve bazı türlerinin toksitinden dolayı olumsuz çevresel etkilere sahiptirler.

Ayrıca, yüksek üretim maliyetleri, araştırmacıları, inorganik nano partiküllere düşük maliyetli ve çevre dostu alternatifler bulmaya yönlendiren başka bir sorundur. Bu çalışmada, kahve bazlı bir koloit, geleneksel inorganik bazlı nano sıvıların yerini almak üzere organik, düşük maliyetli ve çevre dostu bir alternatif olarak önerilmiştir ve güneş distilelerinin (SS) tatlı su üretimini artırmak için kullanılmıştır. Değiştirilmiş güneş distilesinin (MSS) performansı deneysel olarak incelenmiş ve aynı koşullar altında başka bir geleneksel güneş distilesiyle (CSS) karşılaştırılmıştır. MSS'den elde edilen günlük tatlı su üretimi, CSS'den %35,14 daha fazlaydı. MSS'nin enerji ve ekserji verimlilikleri, CSS'ye göre sırasıyla %35,34 ve %46,44 oranında iyileştirilmiştir. Son olarak, MSS'nin ekonomik değerlendirmesi maliyet analizi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Değiştirilmiş güneş distilesi tarafından üretilen damıtılmış suyun litre başına maliyeti 0,0136 \$/l olarak bulunmuştur (Essa et al. 2020).

Su kıtlığı, dünya su kaynaklarının önemli bir kısmının tuzlu ve insan tüketimi için uygun olmayan kalması nedeniyle ciddi bir küresel sorun olarak karşımıza çıkıyor. Güneşle tuz giderme, bu sorunu ele almak için sürdürülebilir bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır ve su arıtımı için güneş enerjisinden yararlanır. Bu çalışma, termoelektrik (TE) modüllerin entegrasyonu yoluyla güneş distilelerinin geliştirilmesini araştırıyor ve bu entegrasyonun tuz giderme performansına etkisine odaklanıyor. Bu çalışmada, optimal tuzlu su seviyeleri, TE modül performansı ve sistemin verimliliği belirlenmiştir. Araştırmanın sonuçları, TE ünitelerinin güneş distile sistemlerine entegrasyonunun su üretiminde önemli ölçüde artışa neden olduğunu ortaya koymaktadır; bu da geleneksel güneş distilelerine kıyasla %35'lik etkileyici bir verimlilik artışı sağlar. TE modülleri

etkili soğutucu maddeler olarak hareket eder ve sistem içinde kondensasyon sürecini hızlandırır. Bu gelişme, kurak bölgelerde su kıtlığı ile mücadele etmek ve tatlı su üretimi için çevre dostu bir çözüm sunmak için önemli sonuçlar taşır. Güneş enerjisinden ve gelişmiş TE teknolojisinden faydalananarak, bu çalışma, TE ile güçlendirilmiş güneş distilasyon sistemlerinin sürdürülebilir ve güvenilir tatlı su kaynakları sağlama potansiyelini vurgulamaktadır; hatta geleneksel su kaynaklarına sınırlı erişimi olan bölgelerde bile. TE modüllerinin güneş damıtmasını başarılı bir şekilde entegrasyonu, gelecekteki araştırma ve geliştirme için umut vadeden bir yol sunmaktadır. Bu sistemlerin daha fazla keşfi, TE modül parametrelerinin optimize edilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanımı, su üretim verimliliğini artırmak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğine katkıda bulunmak için atılabilecek önemli adımlarındanmış (Mandev et al. 2024).

Bu çalışmanın amacı, Güneş Distileleri ve Güneş Parabolik Çanaklar gibi iki güneş teknolojisinin, damıtılmış su hazırlama ve diğer uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli kullanımlar için enerji taleplerini karşılama konusundaki pratik uygunluğunu değerlendirmektir. Analiz sonucunda, güneş damıtma sistemlerinin, basit veya gelişmiş tasarımlar aracılığıyla önemli miktarlarda saf su üretme yetenekleri nedeniyle damıtılmış su üretimi için tercih edilen seçenek olduğu bulunmuştur. Diğer yandan, sonuçlar, güneş parabolik çanakların, pişirme gibi daha yüksek sıcaklıklar gerektiren uygulamalar için daha uygun olduğunu göstermiştir, çünkü güneş ışınlarını daha küçük odak noktalarına yoğunlaştırırlar. Bu çalışma, belirli su damıtma uygulamalarında etkili enerji yönetimi için önemli bilgiler sunarak uygun güneş teknolojilerinin seçimine yardımcı olmaktadır. Sonuçlar, Parabolik Çanak Konsantratörünün (PDK) etkileyici bir 96,5 °C sıcaklık elde ettiğini göstermiştir. Ancak, bu yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına rağmen, deneylerde damıtılmış su üretimi gerçekleştirilememiştir. Güneş distilesinin termal verimliliği, değişiklik yapılmadan %5,6 ve uygulanan değişiklikle %9,4 olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, güneş damıtmasının verimliliğinde, işletme fanlarının entegrasyonunu içeren basit bir değişiklikle yaklaşık %66,6'lık dikkate değer bir artış gözlemlenmiştir. Ek olarak, verimlilikte önemli bir artış olmuş ve %67,8'lik dikkate değer bir yükseliş kaydedilmiştir (Afshari et al. 2024).

Enerji verimliliği ve korunumu hayati konulardır ve güneş enerjisinin kullanımı, enerji bağımsızlığının sağlanması ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için anahtar bir çözüm olarak geniş çapta kabul edilmektedir. Bir çalışmada, bir su damıtma sistemi kurulmuş ve su damıtma oranları üzerinde çeşitli parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Enerji verimliliğini artırmak için sistem üzerinde birçok deney yapılmıştır. Araştırmanın temel odak noktası, sünger parçalarının kullanımıyla etkin buharlaşma elde etmek ve yüzey alanını artırarak distilasyon oranı yükseltilmiştir. Ayrıca sisteme, su püskürtme mekanizması kurulmuştur ve yeni bir yoğuşma ünitesi entegre edilmiştir. Bu sistemde, termoelektrik modülün dış ısı değiştiricisine su püskürtülerek yoğuşma oranının artırılması sağlanmıştır. Çalışma ayrıca güneş enerjisi emiliminde siyah rengin etkileri, iç mekan fanının su buharı dağılımındaki etkisi, yalıtımın termal enerji kayıplarını azaltmadaki rolünü ve güneş ışınlarının yoğunluğunu incelemiştir.

Sonuçlar, sünger parçalarının ve bir termoelektrik soğutucunun su distilasyon oranını önemli ölçüde artırdığını ve yaklaşık olarak %100,5 olduğunu göstermiştir. Ayrıca, hava fanlarının distilasyon oranı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir, distilasyonu %51,1'in üzerinde artırmıştır. Genel olarak, bu çalışma, güneş enerjisiyle çalışan su damıtma sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu konusunda değerli görüşler sunmaktadır. Enerji verimliliğinin ve enerji talebini karşılama potansiyeline ek olarak çevresel etkiyi azaltmada yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi vurgulanmıştır (Çolak et al. 2023).

Güneş distilasyon sistemlerinin alanında, değiştirilmiş vakumlu tüp kolektörlü havuz güneş distilasyon ünitesi, ters ozmos konsantrasyonunun optimal deniz suyu giderimi için ve çeşitli tasarım parametrelerinin güneş distilasyon sistemlerinin performansına etkisi ile çeşitli çevresel parametrelerin ve üretim artırma tekniklerinin doğrudan güneş distilasyonu ve atık ısı enerjisi kullanarak güneş distilasyon performansının artırılması ve kılavuz kanatlar ile güneş distilasyonu performansının artırılması ve bir hava dolaşım odası ile entegre edilmiş yeni bir ısı pompası ile çalışan güneş deniz suyu damıtma ünitesi gibi diğer çalışmalar bulunmuştur (Kanka et al. 2024; Salem et al. 2024; Samimi and Moghadam 2024; Sharshir et al. 2024; Shivhare et al. 2024)

Ayrıca vakumlu ısı eşanjörü, fotovoltaik ısıtma sistemi ve termoelektrik jeneratörlerle birleştirilmiş güneş damıtma ünitesi doğal lifler kullanılarak damıtılmış suyun üretkenliğini artırmaya devam etmesi, güneşle damıtma sistemleri alanındaki diğer değerli çalışmalardır (Rahbar and Esfahani 2012; Shafii et al. 2016; Hosseini et al. 2018; Alshqirate et al. 2023; Badran et al. 2023; Özcan and Deniz 2023).

Literatür çalışmalarında da görüldüğü gibi entegre sistemler verimliliği artırabilmekte ve araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Termoelektrik Peltier soğutma sistemi, güneş enerjisi damıtma kabini içinde gerekli soğutmayı ve buhar yoğunlaşmasını sağlamak için çözüm olarak düşünülebilir. Bu kapsamda termoelektrik soğutma sistemleri alanında yapılan birtakım çalışmalar gözden geçirilmiştir. Termoelektrik soğutma sistemlerinde taban kalınlığı küçük olan uygun eşanjör kullanımının önemini göstermek için deneysel ve sayısal analizler yapılmış ve hava fanı kullanımının havadan havaya termoelektrik buzdolabının soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Ayrıca nano akışkanlar kullanılarak havadan nano akışkana termoelektrik Peltier sistemi çalıştırılmış ve nano akışkanların kararlılığını artırmak amacıyla söz konusu sistemlerde yüzeyi modifiye edilmiş Fe_3O_4 nano parçacıklarının kullanılması önerilmiştir (Afshari et al. 2022; Afshari et al. 2023a; Afshari et al. 2023b).

Bu çalışmaların yanı sıra, entegre uygulama süreci ve yenilikçi sistem tasarımının önemini gösteren, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanımında verimliliği artırmaya yönelik yenilikçi araştırmalar bulunmaktadır (Coccia et al. 2018; Coccia et al. 2021; Khanlari et al. 2022; Afshari et al. 2023; Aquilanti et al. 2023; Aytaç et al. 2023, Gülmüş et al. 2023; Tuncer et al. 2023).

Mevcut çalışmanın sonuçlarının, literatürde sunulan diğer çalışmalarla karşılaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla sunulmuştur. Bu karşılaştırmalı analiz, alanındaki çeşitli araştırma girişimleri arasındaki benzerlikleri, farklılıkları ve olası ayrılık veya uzlaşma alanlarını açıklamayı amaçlanmıştır (Çizelge 2.1).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelge 2.1. Literatüre sunulan güncel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

Çalışma	Sharshir et al. 2020	Liu et al. 2023	Suraparaju et al. 2021	Kabeel et al. 2017	Essa et al. 2020	Tez çalışması
Güneş sistem tipi	Su damıtma	Su damıtma	Su damıtma	Güneş damıtıcıyla entegre parabolik yoğunlaştırıcı	Su damıtma	Su damıtma
Amaç ve Hedefler	Nanopartiküller ve keten fitiller kullanılarak	Boşaltılmış tüplerle entegre	Tek eğimli güneş enerjisi damıtıcı tasarımı	Parabolik yoğunlaştırıcı ile birleştirilmiş güneş enerjisinde faz değiştiren malzeme kullanılması	Değiştirilmiş çift güneş enerjili damıtıcı	Peltier sistemini su damıtma sistemin entegre edilmesi
Verimlilik Artışı	80,5 %	83,8 %	29,7 %	140,4 %	35,2 %	100,5%
Verimlilik Artış Yüzdesi	110,5 %	18,3 %	76,4 %	-	35,4 %	36,5%
Yöntem	Pasif	Pasif	Pasif	Pasif	Pasif	Pasif

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Mevcut sistemin test prosedürü bu bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışma için kurulan su damıtma deney düzeneğinin bir resim Şekil 1’de gösterilmektedir. Sacdan imal edilen tertibatın gövde ölçüleri ile birlikte yandan görünüşü Şekil 2’de verilmiştir. Cihazın taban alanı yaklaşık 0.4 m²’dir. Cihazın yaklaşık 60*60 cm ebadında 4 mm kalınlığında cam kullanılmış ve eğimi 30° dereceye ayarlanmıştır. Hava sızdırmazlığını sağlamak için cam ile metal arasına özel plastik conta kullanılmış ve vidalarla kapatılmıştır. Laboratuvar koşullarında belirli bir radyasyon sağlamak için su damıtma sisteminin önüne yapay ışıklar yerleştirilmiştir. Projektör ısıları kullanılarak 0,30 kW/m² olmak üzere sabit ışıınım sağlandı. Sisteme termoelektrik soğuma sistemi yerleştirilmiş, soğutma alüminyum borularla yapılmış ve bunun sonucunda buhar yoğunlaştırılmıştır (Bkz. Şekil 3.2).

Termoelektrik soğutma sistemi 2 Peltier modülünden (TEC1-12715) oluşuyordu ve 5,5 voltluk bir elektrik kaynağıyla çalışıyordu. Ayrıca Peltier ’in harici ısı eşanjörünü soğutmak için 2 adet fan (12 V) kullanılmıştır. Deneyler 2 saatli periyotlar halinde gerçekleştirilmiş ve termokupllar ile 5 farklı noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Veriler veri okuyucu kartı (Ordell- UDL200) aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. İç kabindeki nem değişimlerini kaydetmek için iki nem ölçüm cihazı kullanıldı. Ayrıca elde edilen temiz arıtılmış sudaki artışa ilişkin parametreler 20 dakikalık aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Daha fazla radyasyon absorbe etmek amacıyla, siyah boyanın etkisini değerlendirmek için yapılan deneyler sırasında tuzlu su rezervuarı siyaha boyandı. Deney düzeneğinin yalıtımında 5 cm kalınlığında strafor yalıtım malzemesi kullanılmış ve yalıtım kullanımı ile performans değişiklikleri incelenmiştir.

Su yüzeyini genişletmek ve suyun buharlaşmasını artırmak için 1x1x5 cm ebadında sünger parçaları kullanılmıştır. Süngerin siyah ve beyaza boyanmış parçalarının dizilişi Şekil 3’te verilmiştir. Bu çalışmada hava soğutmalı Peltier harici ısı eşanjörünün etkin soğutmasını gerçekleştirmek için periyodik tuzlu su püskürtme yöntemi uygulanmıştır. Periyodik olarak 5 dakikada bir ilaçlama yapılmış ve her uygulamada 1,8 g tuzlu su püskürtülmüştür. (43,2 g su ile toplam 2 saat).

Literatürdeki çalışmalara göre su seviyesinin birkaç santimetre aralıklarla olması önerilmiş, tuzlu su deposunda su seviyesi 1 cm olarak ayarlanmıştır. Bu nedenle hazneye toplam 2.100 g (%5 tuz içerikli) tuzlu su doldurulmuştur. Her deneyin sonunda su deposu boşaltılarak kurutuldu ve sonraki deneyler için sisteme aynı oranda tuzlu su ilave edilmiştir. Deney planı Çizelge 3.1’de verilmiş ve farklı parametrelerin temiz artırılmış sudaki artış üzerindeki etkisini analiz etmek için deneyler yapılmıştır.

Şekil 3.4, deneysel kurulumun Katı 3D çizimini ve ölçülerini sunar, modern tasarım ve mühendislikte Katı 3D modellemenin önemini vurgular. Katı 3D modelleme, karmaşık nesnelerin ve sistemlerin hassas temsillerini oluşturabilme yeteneğiyle çeşitli endüstrilerde hayati bir öneme sahiptir. Şekil 3.4'teki tasvir, Katı 3D modellemenin deneysel cihazın açık bir şekilde görselleştirilmesini sağladığını, tasarımın iyileştirilmesine yardımcı olduğunu ve fiziksel prototipten önce potansiyel sorunların erken tespit edilmesine olanak tanıdığını göstermiştir. Ayrıca, Katı 3D modelleme, çok disiplinli ekipler arasında iletişim ve karar alma için ortak bir platform sağlayarak iş birliğini teşvik etmiştir. Detaylı görselleştirme ve etkili iletişim sağlayarak, ürün geliştirme ve araştırmada yenilik, verimlilik ve hassasiyeti artırmıştır.

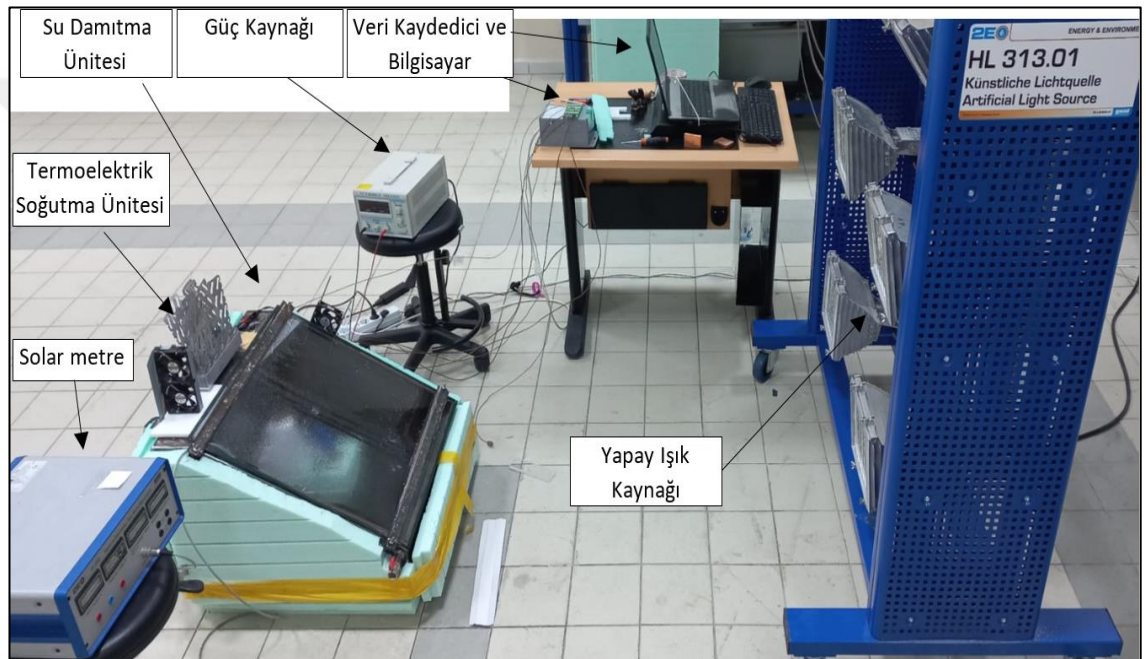
Çizelgede verildiği gibi, Deney 1’de, başlangıç parametrelerini alabilmek ve deney ön aşamalarını gözlemlemek için sadece fan kullanılmıştır.

Deney 2’de rezervuarı siyah boyalı ve fan kullanılmıştır. Deney 3’te deney düzeneğinde fanları kapatarak oluşan farklar gözlemlenmiştir. Deney 4’te ise yalıtım malzemesi ve dahili fan aktif hale getirilmiştir. Deney 5’te ise peltier üst kısmında bulunan levhalara su püskürterek gerçekleştirilen deneyler gözlemlenmiştir. Deney 6’da beyaz sünger deneyleri ve en son Deney 7’de ise siyah sünger deneyleri gerçekleştirilmiştir.

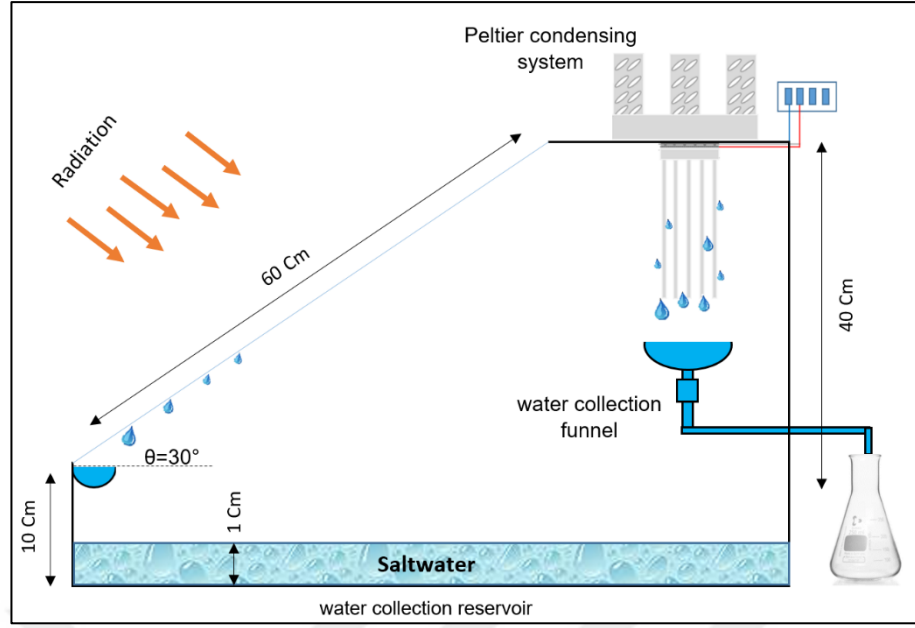
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.1. Deneylerin test planı

Test No	Yalıtım	Rezervuarı siyah boyalı	Dahili fan	Harici fan	Püskürtme	Sünger
Deney 1	×	×	✓	×	×	×
Deney 2	×	✓	✓	×	×	×
Deney 3	×	✓	×	×	×	×
Deney 4	✓	✓	✓	×	×	×
Deney 5	✓	✓	✓	✓	✓	×
Deney 6	✓	✓	✓	✓	✓	✓ (Beyaz)
Deney 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓ (Siyah)



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan malzeme, deney ölçüm cihazları ve deney setinin görünümü.



Şekil 3.2. İmal edilen tertibatın gövde ölçüleri görünüşü

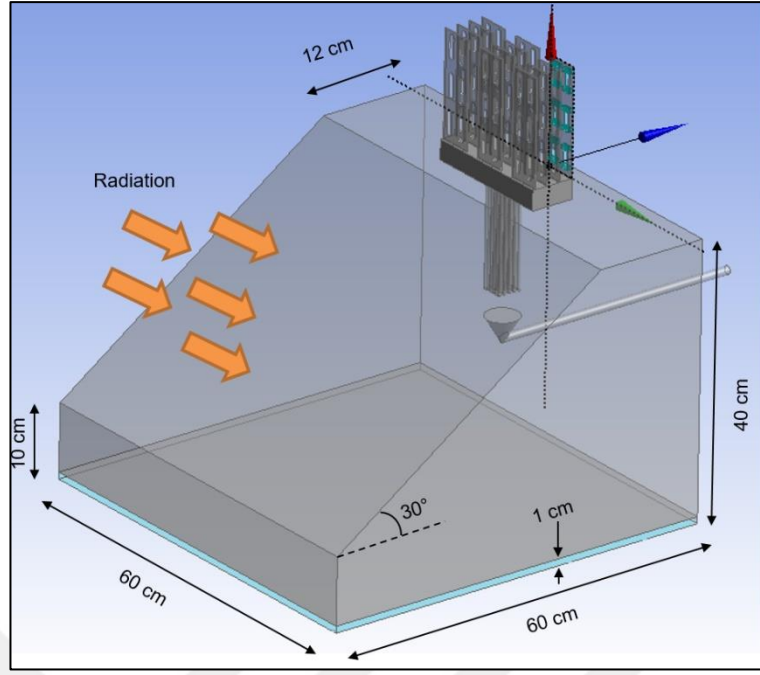


a



b

Şekil 3.3. (a) Deneylerde siyah süngerlerin düzeni , (b) Beyaz süngerlerin düzeni



Şekil 3.4. Deney setinin Solid 3D çizimi ve ebatları

Şekil 3.5’te görüldüğü gibi siyah sünger (Deney 6’da kullanılan eleman) ve beyaz sünger etrafına emici kâğıt (üzerinde özel tip peçete) sarılmış fotoğrafı eklenmiştir.



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan siyah ve beyaz süngerlerin sarılması

3.1. Belirsizlik Analizi

Bilimsel çalışmalarda belirsizliğin araştırılması çok önemli bir konudur. Deneysel belirsizlikler, cihaz seçimi, kalibrasyon, gözlemler, okumalar ve planlama dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Ayrıca bazı belirsizlikler çevresel hatalara atfedilebilir.

Deney sürecinde güneş enerjili damıtma ünitesi, yüksek kaliteli termal kamera olan TESTO 885-2 kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan termal kamera -30 °C ile +350 °C ölçüm aralığında, ± 2 °C hassasiyete ve 30 °C'de < 30 m K termal hassasiyete sahiptir. Sıcaklık değişimlerini kaydetmek için K tipi termokupllar ve bir veri kaydedici kullanıldı. Kullanılan termokupllar -20 °C ile 100 °C çalışma sıcaklığı aralığına ve 0,01 °C ölçüm doğruluğuna sahiptir. Kullanılan veri kaydedici kartı 0,01 °C çözünürlüğe sahip Ordell-UDL200 modelidir. Doğru ölçümler sağlamak için termokupllar 1 °C ile 49 °C arasında 3°C aralıklarla kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon noktalarına göre kalibrasyon eğrileri oluşturulmuş ve sonraki sıcaklık hesaplamalarında kullanılmıştır. Deneysel olarak ölçülen miktarlardaki belirsizlikler, türetilmiş miktarları hesaplamak için matematiksel ilişkiler kullanılarak birleştirilebilir. Genel olarak “Y” çıkış miktarı X_1 , X_2 , X_n giriş miktarlarına göre $Y = F(X_1, X_2, X_n)$ şeklinde bir matematiksel fonksiyon aracılığıyla belirlenirse, çıkış miktarının birleşik belirsizliği, $u_c(y)$ olarak gösterilen, $u(x_i)$ olarak gösterilen girdi verilerinin standart belirsizlikleri kullanılarak aşağıdaki ifadeye göre hesaplanabilir.

$$u_c(y) = \sqrt{\left[\frac{\partial Y}{\partial x_1} u(x_1)\right]^2 + \left[\frac{\partial Y}{\partial x_2} u(x_2)\right]^2 + \dots + \left[\frac{\partial Y}{\partial x_n} u(x_n)\right]^2} \quad (3.1)$$

Burada termal verim için hesaplanan belirsizliğin elde edildiği $\pm 6,51\%$ olarak hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

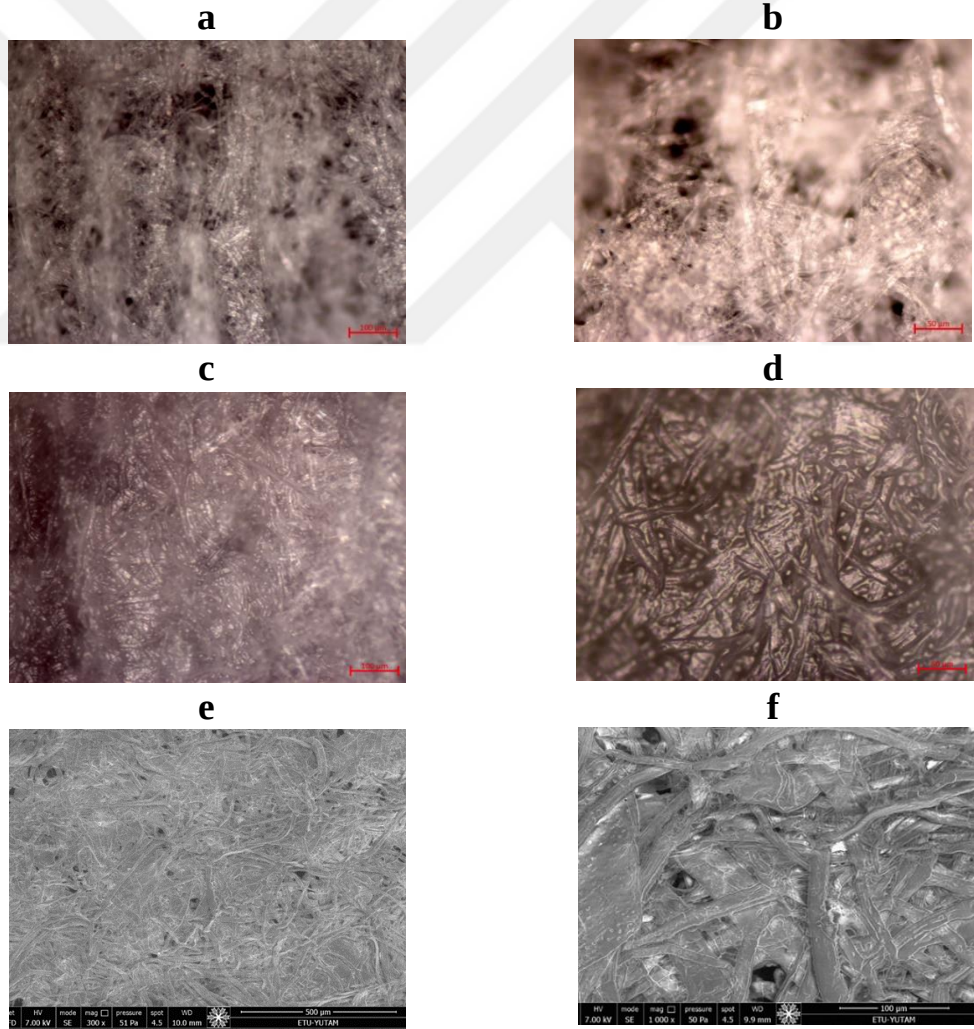
İlk başta deney parametreleri ve deney planlaması yapılmıştır. Başlangıç olarak 7 deneyin yapılması ön görülmüştür. Planlanması yapılan farklı deney grupları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Deney 1, 2,7 olarak sıralanmıştır.

Başlangıçta, yüksek emici kağıdın selüloz temelli yapısı analiz edilmiştir. Selüloz, bitki hücre duvarlarında bulunan kompleks bir karbonhidrat olup, kağıt, doku kağıdı ve lif ürünleri dahil olmak üzere çeşitli malzemelerde temel yapısal bileşen olarak hizmet eder. Bu malzemeler, selülozun benzersiz moleküler yapısı ve bağlanma desenleri sayesinde olağanüstü özelliklere sahiptir. Selüloz lifleri yüksek çekme dayanımına sahiptir, bu da onları dayanıklı kağıt ürünlerinin üretimi için uygun hale getirir.

Ayrıca, kağıtlardaki selüloz liflerinin birbirine bağlı ağı, etkili su emilimini sağlar. Bu dikkate değer özellik, hızlı sıvı emilimi ve tutulumunun önemli olduğu emici hijyen ürünleri gibi birçok uygulama için kritiktir. Selülozun doğal özelliklerinden yararlanılarak, yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi birçok endüstriyi devrim geçirmeye devam etmektedir, su emilimi ve ötesi için sürdürülebilir ve etkili çözümler sunarak. Şekil 4.1, kuru ve ıslak örnekler için yüksek emici kâğıdın mikroskobik görüntülerini sunar, yüzey detaylarını 50 µm ve 100 µm büyütme ile gösterir. Şekiller 4.1 (a) ve 4.1 (b), yüksek emici kâğıdın kuru halinin mikroskobik görüntüleri ayrıntılı bir bakış sunar, sırasıyla 50 µm ve 100 µm büyütmeyle elde edilen mikroskobik görüntüleri sergiler.

Bu görüntüler, yüksek emici kağıdın yüzey topografyasının ve mikro yapısının karmaşık detaylarını ortaya çıkararak, selüloz liflerinin düzeni ve özelliklerinin titiz bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Buna karşılık, Şekiller 4.1 (c) ve 4.1 (d), ıslak koşullara maruz kaldığında yüksek emici kâğıdın dinamik dönüşümüne derinlemesine iner ve sırasıyla 50 µm ve 100 µm büyütmeyle elde edilen görüntüler, materyalin yapısı ve bileşimi üzerinde nemin etkisini ortaya çıkarır. Islak örnekler, selüloz liflerinin düzeninde belirgin bir değişiklik sergiler ve suyun varlığı, mikro yapısal özellikleri etkiler. Ayrıca, SEM analizinin kullanımı, yüksek çözünürlüklü görüntüleme sunarak, malzemelerin nanoölçekte kapsamlı karakterizasyonunu sağlayan önemli bir araçtır. Bu yetenek, yüzey topografyasının, elementel bileşiminin ve mikro yapısal özelliklerin titiz

bir şekilde incelenmesine olanak tanır ve SEM'i çeşitli bilimsel ve endüstriyel uygulamalar için çok yönlü bir araç haline getirir. Özellikle, Şekiller 4.1 (e) ve 4.1 (f) yüksek emici kağıdın kuru halini yakalayan SEM görüntülerine odaklanır ve iki farklı büyütme seviyesinde ayrıntılı bir görünüm sunar. Bu görüntüler, selüloz liflerinin birbirine geçmiş yapısının karmaşık detaylarını ortaya çıkararak, düzen ve bileşimleri hakkında daha derin bir anlayış sağlar. Mikroskobik inceleme, selüloz liflerinin anlaşılmasını artırır ve güneş enerjisiyle çalışan distilasyon havuzundaki su emilimi ile ilgili deneysel süreçlerdeki kilit rolünü aydınlatır. Bu SEM sonuçlarından elde edilen bilgiler, malzeme davranışının geniş anlayışına değerli bilgiler sağlar ve su emilimi gibi alanlardaki uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olmuştur.



Şekil 4.1. (a, b) Kuru deney örneklerin mikroskobik görüntüleri, (c, d) Islak örneklerin görüntüleri, (e, f) Kuru örnekler için SEM görüntüleri.

4.1. Teorik Hesaplamalar

Peltier yoğunlaştırıcı ve camdan güneş enerjili damıtma ünitesinin toplam saatlik verim oranı şu şekilde verilir.

$$\dot{m}_{Tc} = \dot{m}_{pc} + \dot{m}_{gc} \quad (4.1)$$

Ayrıca kütle korunumu dengesine göre tuzlu suyun başlangıç kütesinden deney sırasında buharlaşan su miktarının çıkarılmasıyla elde edilen değer, deneyler sonunda ünite kalan tuzlu su kütesini temsil etmektedir. Denklemdedir. sunulmaktadır.

$$m_{sw,f} = m_{sw,i} - m_{evap} \quad (4.2)$$

Burada buharlaşan suyun kütesi, buharlaşmayı sağlamak için gereken enerji miktarının suyun buharlaşma entalpisine oranından elde edilir.

$$m_{evap} = \frac{Q_{evap}}{h_{fg}} \quad (4.3)$$

Alana gelen radyasyonun termal enerjisi aşağıdakilerden denklemlerle hesaplanabilir;

$$\dot{Q}_{SR} = I \times A_b \quad (4.4)$$

Kurulu güneş sisteminin saatlik ısı verimi (η_{th} , saat), tuzlu suyu tuzdan arındırmak için gereken ısı enerjisinin güneş radyasyonunun giriş hızına oranı olarak hesaplanabilir. Matematiksel ifadeler şu şekilde verilir,

$$\eta_{th,hour} = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{I \times A_b} \quad (4.5)$$

Burada, $\dot{m}$ [kg/s] olarak damıtılmış su üretkenlik oranıdır. I [W/m²] olarak havza

alanı üzerine gelen güneş radyasyonu, A_b [m^2 olarak birim tabanının tüm alanıdır.]

$$h_{fg} = [2501.9 \times 10^3 - 2,40706 \times 10^3 T_{avg} + 1,192217 T_{avg}^2 - 1.5863 \times 10^{-2} T_{avg}^3] \quad (4.6)$$

Burada h_{fg} , kabin içindeki ortalama tuzlu su sıcaklığı olan [J/kg] cinsinden gizli ısıdır. Ayrıca Peltier elemanı güç hesaplaması bu çalışmada dikkate alınmıştır ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu bağlamda Peltier gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$W = V * I \quad (4.7)$$

Burada, W peltier gücü, V elektrik akım şiddetini ve I elektrik gerilimini göstermektedir.

Sahada sunulan çalışmalar incelendiğinde damıtılmış su ünitelerinin verimliliğini etkileyen temel faktörlerin kapsamlı bir şekilde incelenmediği görülmektedir. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla çalışmamız damıtılmış su ünitelerinin verimliliğine etki eden birçok faktörü göz önünde bulundurarak daha kapsamlı bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın temel amacı çeşitli parametrelerin su damıtma verimliliği üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu parametreler arasında izolasyon, rezervuarın siyaha boyanması, dahili fan kullanılması, peltier ünitesinin harici eşanjörlerin soğutulması için su püskürtme mekanizmasının uygulanması ve sünger parçalarının kullanılması yer alıyor.

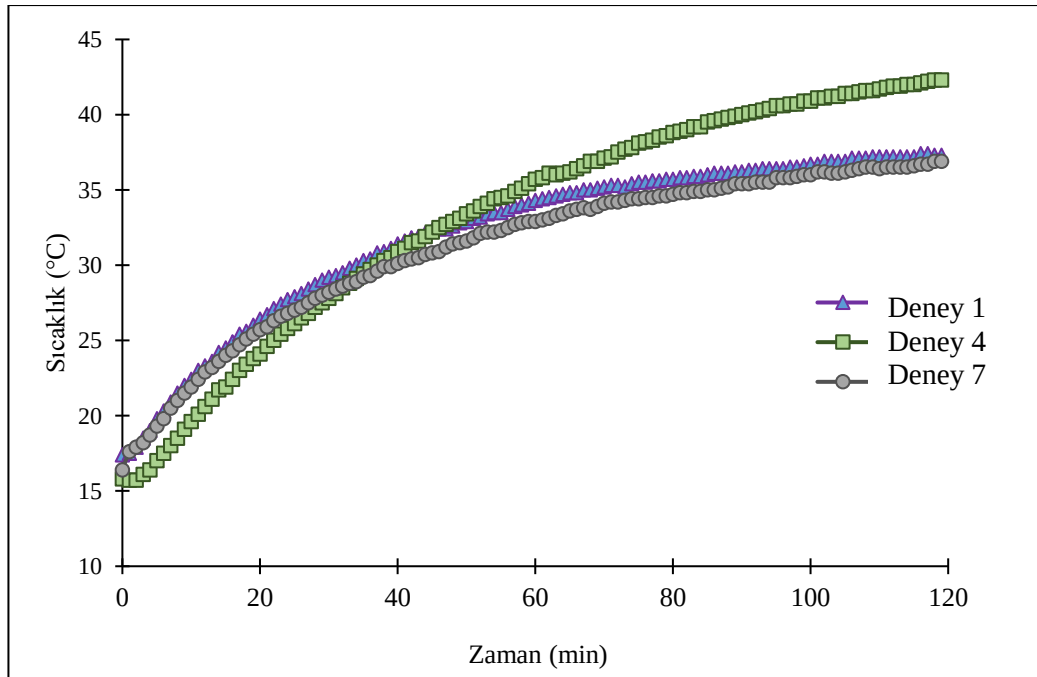
Bu faktörlerin etkisini araştırarak bunların damıtılmış s ünitelerinin verimliliği üzerindeki bireysel ve birleşik etkilerini daha iyi anlamayı amaçlıyoruz.

Ayrıca sistemin kabin içindeki sıcaklık değişimlerini görselleştirmek için termal kamera görüntülerinden yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada sabit bir solar radyasyon değeri dikkate alınmış ve yapay bir ışık kaynağı ile 300 W/m^2 radyasyon akısı sağlanmıştır. Bu sabit gelen ışınlama farklı

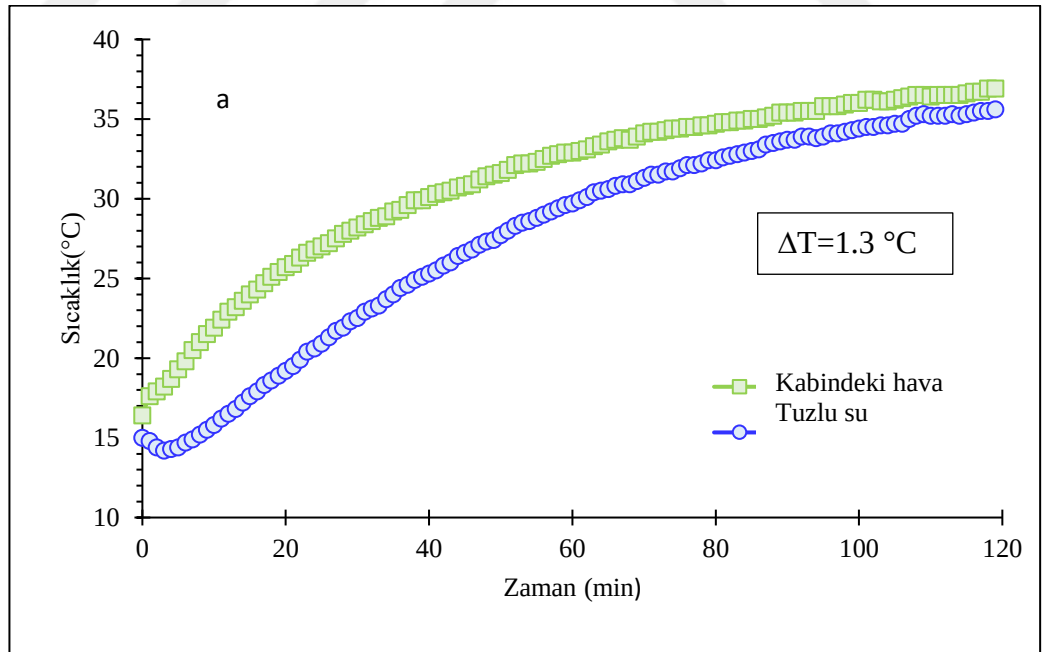
deneyler yapılmış farklı parametreler incelenmiş ve sonuçlar diyagramlar halinde bu bölümde diyagramlar halinde sunulmuştur.

Kabin içerisindeki havanın sıcaklık değerleri üç farklı deney için sıcaklık değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Deney 1 ve Deney 7 de görüldüğü gibi hava sıcaklıkları belli bir noktadan artmaya başlar ve bir süre (yaklaşık 60 dk.) sonra kararlı hale gelir. (Gerçekte, bu eğilim 4. Deney hariç tüm durumlarda gözlemlendi). Deney 1’de kabin içindeki hava önce ısınır, daha sonra izolasyonun olmaması durumunda metal gövdeden kaynaklanan ısı kayıpları nedeniyle sıcaklık sabitlenir. Yalıtım uygulandığında bu kayıplar azalmakta, Deney 4’te iç sıcaklıklar önemli ölçüde yükselmekte, kararlı bir duruma ulaşamamıştır ve sıcaklık artmaya deva etmektedir. Bu farklı eğilim sadece 4. Deneyde ortaya çıktı. Çünkü diğer deneylerde yalıtım olması ile beraber cam fanları da çalıştırıldı ve camın soğutulmasıyla daha fazla su yoğunlaşmış, iç sıcaklık daha düşük ve daha dengeli ve kararlı hale gelmiştir. Peltier yoğuşma kapasitesinin sınırlı olduğu dikkate alındığından artan buhar, çerçevenin metal kısımları gibi başka noktalardan yoğuşma fırsatı bulacaktır. Yani Deney 4’te iç sıcaklığın yanı sıra cam yüzeyi de sıcak olduğundan, cam yüzeyinden ziyade kabin duvarlarında yoğuşma meydana gelmektedir. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Çünkü duvarlarda yoğunlaşan su, havuz içindeki tuzlu suya tekrar karışmaktadır.

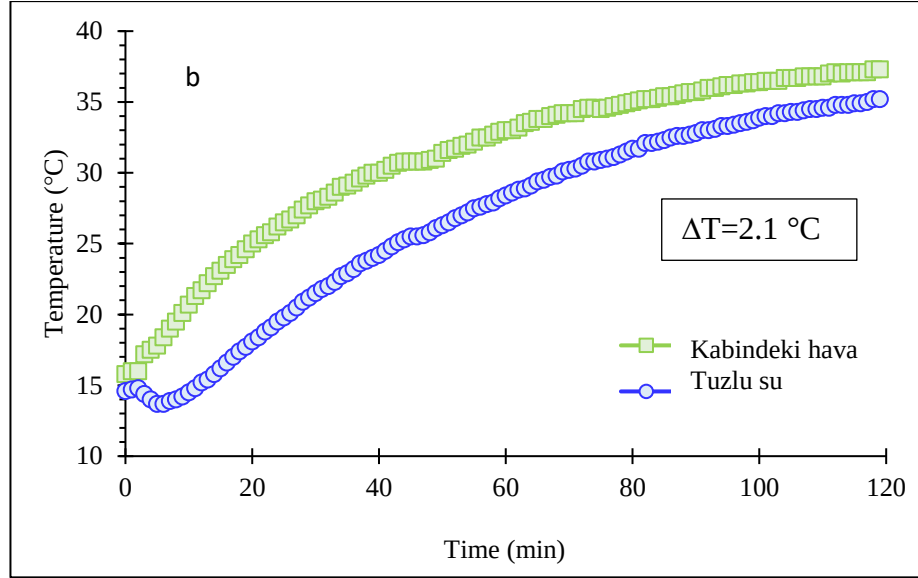


Şekil 4.2. Deney 1,4,7 için kabin içindeki havanın sıcaklık değişimi

Su damıtma ünitesinde iç hava sıcaklığının artması ile birlikte tuzlu suyun sıcaklığının da artması önemlidir. Bu nedenle sünger kullanılarak yapılan hava ve su sıcaklığının artışı iki çalışma için de Şekil 4.3'te verilmiştir. Buharlaştırma oranının artması için su sıcaklığının daha hızlı yükselmesi gerekmektedir. Deneyler, siyah süngerin tuzlu su su içerisinde kullanılmasıyla daha fazla radyasyon enerjisi absorbe edilmiş ve tuzlu suyun kabin iç hava sıcaklığına daha hızlı yaklaştığını ortaya çıkardı. Yani yapılan deneylerde, siyah bir süngerin havza içerisindeki tuzlu su içerisinde kullanıldığında daha fazla miktarda radyasyon emildiği gözlemlenmiştir. Bu sorun, tuzlu suda siyah sünger kullanımının, güneş ışımasını enerjisini verimli bir şekilde emerek ve aktararak hızlandırılmış bir buharlaştırma sürecine katkıda bulunabileceği ve sonuçta su ile çevredeki hava arasında daha hızlı bir sıcaklık dengesine yol açabileceğini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi 120 dakika sonra su ve hava sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT), Şekil 4.3 (a) da gösterildiği gibi yaklaşık $\Delta T=1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak kaydedilmiştir. Öte yandan beyaz sünger parçalarının etkisiyle tuzlu su tarafından enerji absorpsiyonu bir miktar daha az olmuştur. Ve bunun neticesinden 120 dakika sonunda su sıcaklığı hava sıcaklığına ulaşmamıştır. Şekil 4.3 (b) de sıcaklık farkı $\Delta T=2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplandı.



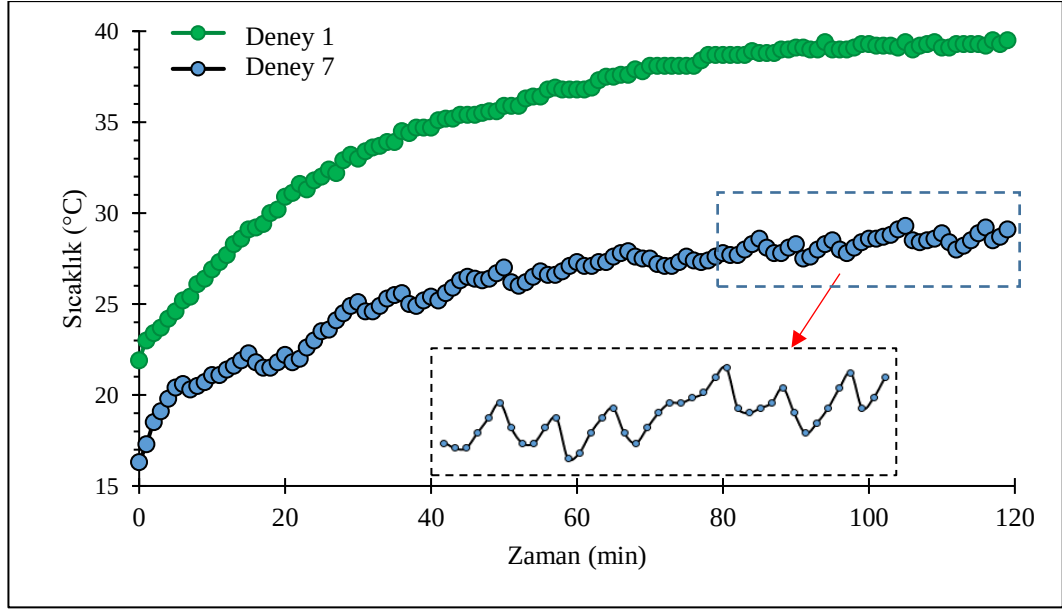
Şekil 4.3. (a) Deney 7, (b) Deney 6 için kabin içindeki havanın ve tuzlu suyun sıcaklık değişimi.



Şekil 4.3. (Devam)

Şekil 4.4'te Deney 1 ve Deney 7 olmak üzere iki durum için dış ısı eşanjörünün sıcaklık değişimleri verilmiştir. Deney 1 de test zamanı ile birlikte sıcaklığın artışı ve belli bir süre sonra kararlı hale gelmesi Şekil 4.4 (a)'da görülmektedir. Eşanjörü yaklaşık olarak 40 °C seviyelerine kadar ulaşması elde edilen sonuçlarla ortaya çıkmıştır. Eşanjörü iki fan kullanılarak soğutulmasına rağmen bu yüksek dış eşanjör sıcaklığına ulaşmıştır. Bu seviyelerdeki sıcaklık değerler peltier soğutma sistemleri için uygun değildir. Buna bir çözüm olarak kullanılan ünite de periyodik su püskürtme yöntemi ile eşanjörün soğutulması ve ortaya çıkan diğer;

Şekil 4.4 (b)'de verilmiştir. Püskürtmenin pozitif etkisi son sıcaklık değerinin düşürülmesiyle açıkça görülmektedir. Yani Şekil 4.4 (b) ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak 10 °C'lik bir düşüş vardır. 80-120 dakika aralığında veriler yakınlştırılarak diyagram üzerinde verilmiştir. Su püskürtülmesi ile ani sıcaklık düşüşleri ve genel etkisi açıkça görülmektedir.



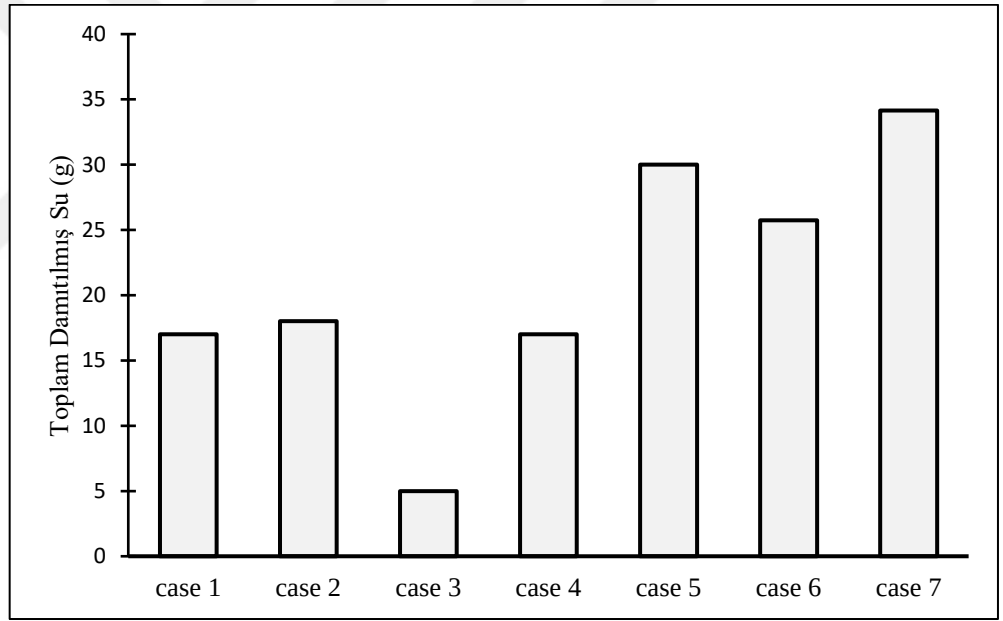
Şekil 4.4. Deney 1 ve Deney 7'de dış ısı değiştiricisinin sıcaklık değişimi, değiştiricinin periyodik olarak su spreyine maruz kaldığı deneylerin incelenmesi.

Bu çalışmanın en önemli noktası toplanan arıtılmış su miktarıdır. Bu nedenle bütün yapılan deneyler için toplanan temiz su miktarları aşağıdaki şekilde (Şekil 4.5) verilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. En yüksek su miktarı ise Deney 7'den elde edilen yaklaşık olarak 34.14 g olarak 120 dakika içerisinde elde edilmiştir. Bu deneyde elde edilen sonucun en yüksek olmasının nedeni siyah sünger kullanılması dış fanların aktif olması ve Peltier harici eşanjörün su spreyi ile periyodik olarak soğutulmasıdır.

Sünger olmadığı deneyde (Deney 5) yaklaşık olarak elde edilen temiz su miktarı 30 g'dır. Bu nedenle siyah süngerin kullanılmasıyla %14 gibi artış görülmektedir. Ancak elde edilen sonuçlara göre süngerin rengi çok önemli bir parametre olduğu da ortaya çıkmıştır. Deney 6'da görüldüğü gibi beyaz süngerin kullanılması verimliliğin düşüşüne sebep olmuştur ve elde edilen değer beyaz süngerin kullanılmasının negatif bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni alan artışına rağmen gelen solar radyasyonun absorbe edilme miktarını azaltmasıdır. Beyaz renkli materyallerin yansıtıcılığı fazla olduğundan siyah metal olan taban alanını daraltmaktadır. Dolayısıyla bu şekilde su temizleme ünitelerinde alan artışı çalışmalarında kullanılan sünger tarzı materyallerin rengi (absorbe-yansıtma oranı) dikkat edilmelidir.

Deneylerin en düşük seviyelerinde olan ilk deneylere (Deney 1 ve Deney 2) dikkat edildiğinde zemin boyasının siyah yapılmasıyla yaklaşık olarak %6'lık bir artış

gözlenmektedir. Deney 3'e gelince kabinde içerdeki hava sirkülasyonunun önemli etkisi ortaya çıkmıştır. Çünkü içerdeki fan kapatıldığında iç hava + buhar sirkülasyonunu kapatılmış ve bunun neticesinde bütün testlerin en düşük temiz su miktarı elde edilmiştir. Deney 4'te sistem 5 cm kalınlığındaki straforlar ile iyi bir şekilde yalıtılmış ve çevre olan ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışma yürütülmüştür. Ancak elde edilen sonuçlara baktığımızda bu durumda herhangi bir fark ortaya çıkmamıştır. Bununda nedeni su buharı miktarı artışına rağmen cam üzerinde yoğunlaşma meydana gelmemesi ve su buharının sistemden ayrılamamasıdır. Dolayısıyla yapılan deneylerde çok önemli bir hususa dikkat edilmelidir. Deney 5'te radyasyon nedeniyle sıcaklığı artan camın düşük sıcaklık değerlerine ulaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada cam yüzeyinin iki harici fanla soğutulması neticesinde test süresinin sonunda elde edilen temiz su miktarında önemli ölçüde artış sağlanmıştır.



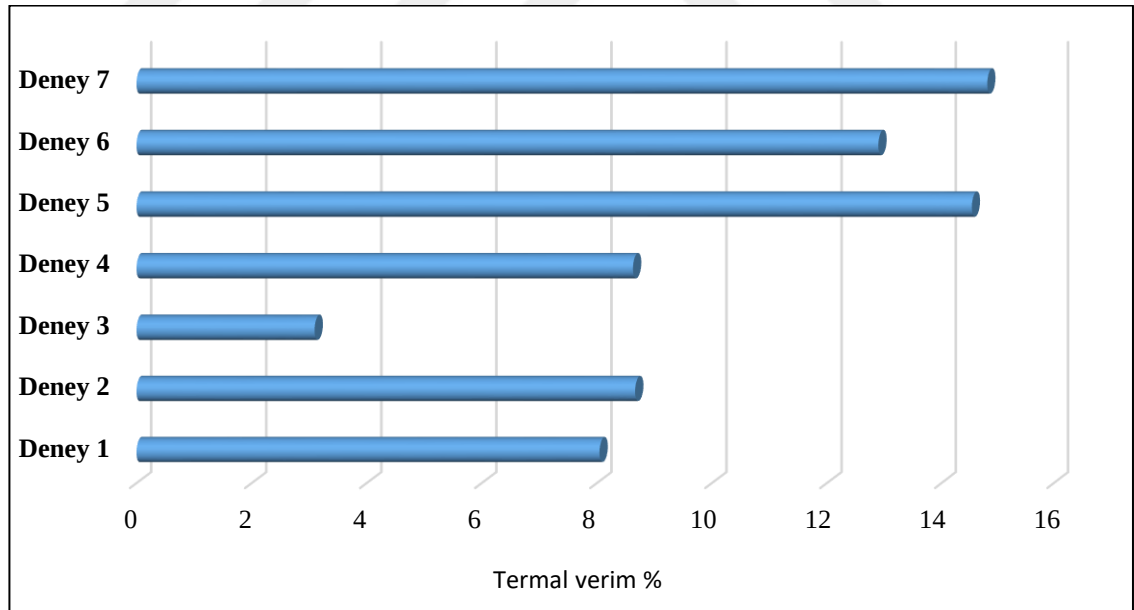
Şekil 4.5. Gerçekleştirilen tüm deneyler için test süresi boyunca toplam damıtılmış su

Toplam damıtılmış su miktarları yukarıdaki diyagramlarda verilmiştir. Ancak konuyu daha iyi anlatabilme Peltier ve cam tarafından ayrı ayrı alınan su miktarı değerlerini detaylı olarak ortaya koyabilmek için toplanan distile su değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Aynı zamanda Deney 1 ile karşılaştırma sonucunda tüm deneyler için temiz su miktarı artış yüzdesi verilmiştir.

Çizelge 4.1. Her deneyde Peltier ünitesinden ve camdan elde edilen damıtılmış su

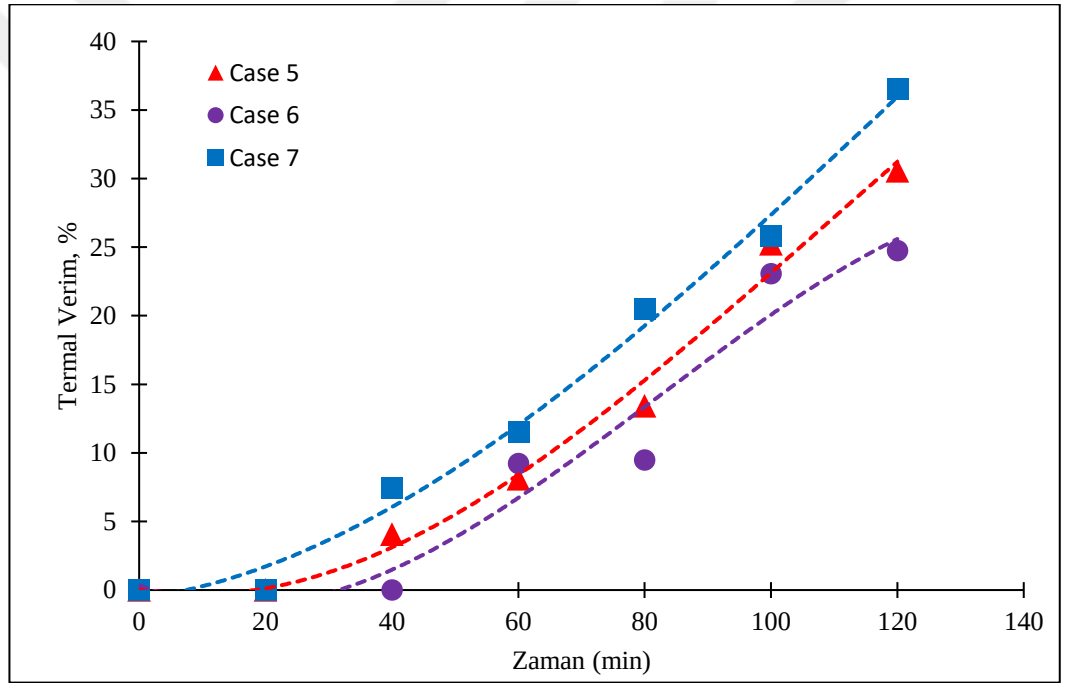
	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7
Peltier ünitesinden damıtılmış su (g)	17,0	18,0	5,0	17,0	13,0	10,5	15,5
Camdan yoğunlaştırılmış damıtılmış su (g)	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	15,2	18,6
Toplam damıtılmış su(g)	17,0	18,0	5,0	17,0	30,0	25,7	34,1
Deney 1 ile karşılaştırıldığında oran	-	5,8%	-70,5%	0,0%	76,5%	51,1%	100,5%

Termal verim değeri, aşağıdaki şemada verilen sabit gelen radyasyon şiddeti ve diğer taraftan radyasyonla ısıtma sonucu buharlaşma miktarı dikkate alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Deney sürecinde elde edilen su verimlerine göre en yüksek verim yaklaşık %14,81 ile Deney 7 de elde edilmiştir. Görüldüğü gibi en düşük ısı verim %3,1 ile Deney 3'te elde edilmiştir.

**Şekil 4.6.** Yapılan tüm deneyler için damıtılmış suyun saatlik termal verimi

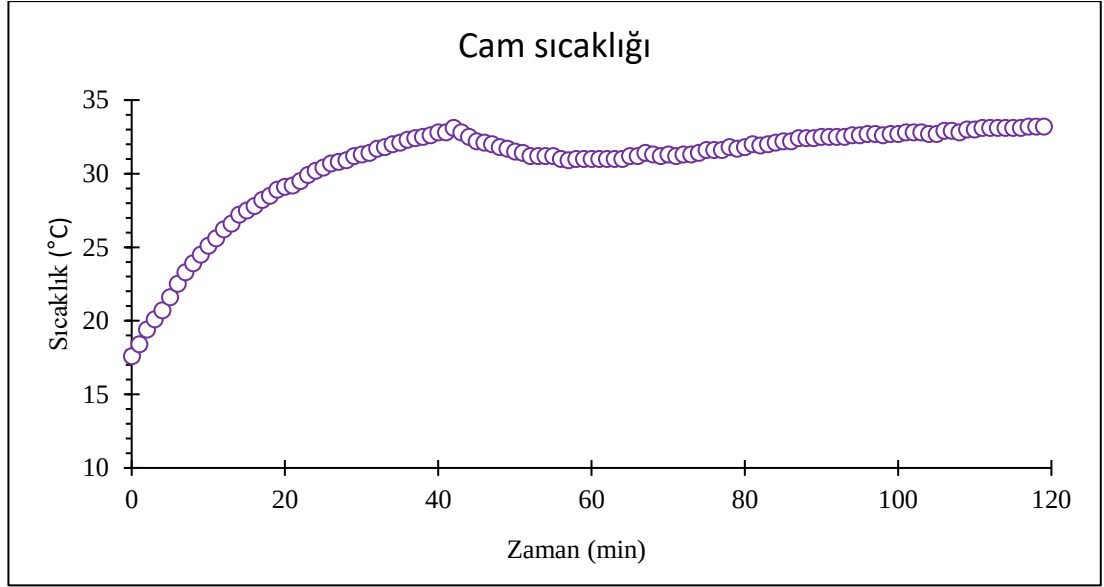
Üç yüksek verimli deneyler için (Deney 5, 6 ve 7) zaman bağımlı termal verimlilikler Şekil 4.7'de verilmiştir. Diyagram, her 20 dakikada bir elde edilen su miktarını göz önünde bulundurarak bireysel olarak hesaplanan zaman bağımlı termal verimlilik değerlerini göstermiştir. Termal verimlilik, test süresi boyunca elde edilen

damıtılmış su miktarıyla yakından ilişkilidir. Tüm deneylerin verilerinden açıkça görülmektedir ki, zaman içinde daha fazla verim elde edildikçe verimlilikte sürekli bir artış eğilimi vardır. Veriler, zamanla toplanan damıtılmış su miktarı ile termal verimlilik arasında doğrudan bir orantılı ilişki olduğunu açıkça göstermektedir. Buharlaşma entalpisi (h_{fg}) değeri su sıcaklığı arttıkça nispeten azalmasına rağmen, elde edilen temiz su miktarı artmış ve termal verimlilik sürekli artan bir eğilim göstermiştir. Deney 6'da beyaz süngerlerin kullanılmasının negatif etkisi, ilk 40 dakikada su buharlaşmasını engelleyerek yoğunlaşma olmamasına neden oldu. En yüksek termal verimliliğe sahip deney (Deney 7), diğer deneylerle karşılaştırıldığında test süresinin tüm dakikalarında daha yüksek verim değerleri sergilemiştir.



Şekil 4.7. Deney 5, 6, 7 için zamana bağlı termal verimlilik değişimi

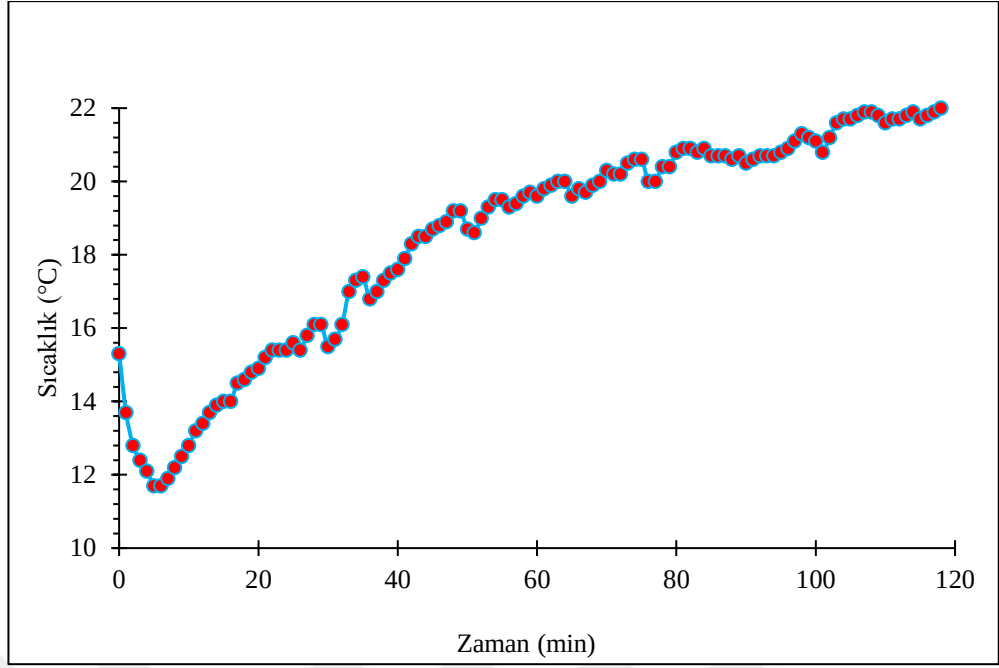
Cam sıcaklığının zamana bağlı olarak sıcaklık artışı ve belirli bir süre sonra kararlı hale gelmesi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.8). Bu sıcaklık aralığı 120 dakikalık deney süresi boyunca yaklaşık 18 °C- 35 °C arasında kararlı bir hal almıştır. Bu çalışmada 60×60 ölçülerinde 4 mm şeffaf cam kullanılmıştır. Düz cam özelliklerine baktığımızda %97-%98 uv ışınları geçirgenliği sağlamaktadır. Bu deney deneylerimiz için çok küçük fark oluşturduğu için tolere edilebilmiştir. Ortam sıcaklığının artması verimi ve damıtma oranını da artmıştır.



Şekil 4.8. Cam yüzeyindeki sıcaklığın zamana göre değişimi

Deneylerimizdeki en önemli parametrelerden biri peltierin gösterdiği performanstır.

Peltier, uçlarına DC gerilim uygulandığında iki yüzü arasında ısı transferi yapan yarı iletken termoelektrik soğutuculardır. 5,5 V'luk elektrik akımını uygulayarak bir tarafın sıcak diğer tarafın soğuk tutulması amaçlanmaktadır. Yaptığımız çalışmalarda peltierin sıcak tarafıyla soğuk tarafı arasında yaklaşık olarak 15°C-20 °C sıcaklık farkı oluşmuştur. Dolayısıyla istediğimiz düşük sıcaklık elde etmek ve bu yüzden dış yüzeye 2 fan ekleyerek soğutma işleminin sağlanması, peltierin aşırı sıcaklıklardan dolayı yanmasının önüne geçmiştir. Şekil 4.9'da peltierin dış sıcaklığı zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.9. Peltier sıcaklığının zamana göre değişimi

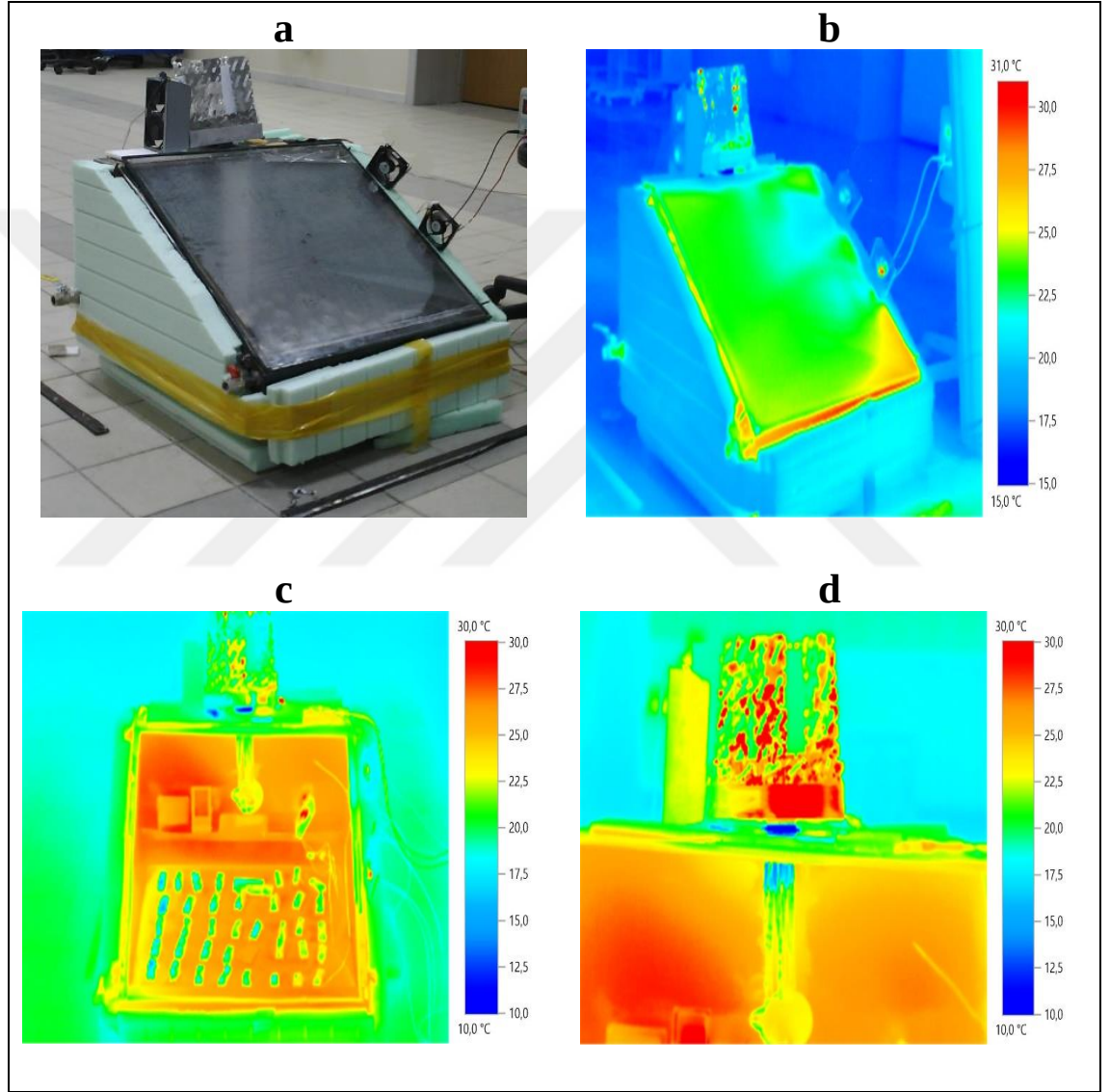
4.2. Termal Kamera Sonuçları

Şekilde test bölgesinden alınan termal kamera görüntüleri sunulmuştur. Şekil 4.10 (a) ve 4.10 (b)'de test bölgesinin fotoğrafı görülmektedir. Bu görsellerde test bölgesinin yalıtımlı olduğu deney göz önüne alınmıştır. Bu sayede sistem duvarlarından gerçekleşen ısı kaybı oldukça düşük seviyelerde tutulmuş ve duvar sıcaklıkları 20 °C'nin altına indirgenmiştir. Ayrıca termal yalıtım uygulamasıyla ısı kayıplarının önüne geçilmesiyle test bölgesinin iç sıcaklıklarının artmasına sebebiyet vermiştir. Test bölgesinin üzerini kapsayan camın dış yüzeyinde sıcaklıkların 25 °C ye yaklaştığı görülmektedir. Şekil 4.10 (c)'de ise iç elemanların yerleştirildiği deney için test süreci sonunda oluşan sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.

Şekilde de görüleceği gibi absorbasyon tabakası üzerine yerleştirilen iç elemanlar tabaka sıcaklığında bir miktar düşüklüğe sebebiyet vermiştir. Üzerlerinde yoğun şekilde buharlaşma olduğu için bu iç elemanların sıcaklıkları da hazne iç sıcaklığına göre bir miktar düşüktür. Yoğuşmaya yardımcı olması için yerleştirilen termoelektrik soğutucu ve bu soğutucuya bağlı iç, dış eşanjörleri Şekil 4.10 (d)'de gösterilmiştir. Şekilde termoelektrik soğutucunun soğuk yüzeyine yerleştirilen boru tipi kanatçıklarla test bölgesinde oluşturulan yoğuşma yüzeyleri gösterilmektedir. Soğuk yüzey yakınlarında

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

10°C civarında olan iç eşanjör sıcaklıkları test bölgesinin merkezine doğru daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Bu durum eşanjörler yüzeyinde yoğunlaşma neticesinde meydana gelmektedir. Ayrıca ısının ortama atıldığı dış eşanjörde ise 30 °C'nin üzerinde sıcaklık bölgeleri görülmüştür. Ortam sıcaklığının üzerindeki bu sıcaklık bölgelerinin oluşmasıyla dış eşanjörler üzerinde ortama ısı atılmakta ve termoelektrik soğutucu sürekli olarak çalışmaya devam etmiştir.



Şekil 4.10. (a) Deney seti fotoğrafı, (b) Deney seti termal kamera görünümü, (c) İç elemanlar termal kamera görüntüsü, (d) Termoelektrik soğutucu ve eşanjör.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada sabit radyasyonlu yapay ışık kaynakları altında bir güneş enerjili su damıtma sisteminde yalıtım, rezervuar rengi, iç fan, dış fan, spreyci soğutma modeli ve sünger parametrelerinin sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Herhangi bir değişiklik yapılmayan güneş etkileşiminin olumlu yönde etkilendiği bunun da elde edilen temiz su miktarının %6 artırdığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca siyah sünger kullanımı ile su-hava ara yüzey alanı arttığı için kabin içindeki suyun havaya geçiş hızı artmış ve siyah sünger kullanımı sonucunda elde edilen temiz su miktarı öncekine göre (süngerli kasaya göre) %14 oranında artmıştır.

Beyaz sünger kullanılması durumunda radyasyon etkileşimi olumsuz etkilendiği için performans düşmüştür. Bunun nedeni beyaz rengin radyasyon emilimini olumsuz etkilemesidir. Kabinin dışarıdan izolasyonu bir yandan kabin sıcaklığını artırmış ve dolayısıyla olumlu yönde etki yapmıştır. Ancak diğer yandan soğuk yüzeyler yoğunlaşma işlemi için yeterince etkili olmadığı için alınan toplam damıtılmış su miktarı olumlu yönde değiştirmemiştir. Uygun yalıtım uygulanarak ve harici fanlar gibi çeşitli yöntemlerle yerel soğuk bölgeler oluşturularak geri alınan temiz su miktarı yüksek seviyelere çıkarak 120 dakikada 34,14 g'a gelmiştir.

Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu günümüzde kritik konulardır ve güneş enerjisinin kullanımı, enerji bağımsızlığına ulaşmak ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için temel bir çözüm olarak geniş çapta kabul edilmiştir. Bu çalışmada, su damıtma sistemleri kurulmuş, enerji verimliliğini artırmak ve çeşitli parametrelerin su damıtma oranlarına etkisini araştırmak amacıyla çok sayıda deney yapılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, sünger parçalarının kullanımı yoluyla hızlı buharlaşma için yüzey alanını artırarak damıtma oranını arttırmak ve sistemi, dış ısı eşanjörüne su püskürten bir mekanizma ile donatılmış yeni bir yoğunlaşma parçasıyla entegre edilmiştir. Yoğunlaşma oranını arttırmak için termoelektrik modül kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca siyah rengin güneş enerjisi emilimi üzerindeki etkileri, iç mekan fanının çalışmasının su buharı dağılımı üzerindeki etkisi ve güneş ışınımının rolü de incelenmiştir.

Sonuçlar, sünger parçaları ve termoelektrik soğutucu kullanımının suyun damıtma oranını yaklaşık %100,5 oranında önemli ölçüde artırdığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca hava fanlarının damıtma hızına etkisi de gözlemlendi ve damıtma oranı %51,1'den fazla artmıştır. Genel olarak bu çalışma, güneş enerjisiyle çalışan su damıtma sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonuna ilişkin değerli bilgiler sunarak enerji verimliliğinin önemini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ihtiyaçlarını karşılarken çevresel etkiyi azaltmadaki potansiyelini vurgulanmıştır. Bu çalışmanın ana odak noktası toplanan damıtılmış su miktarı yükseltilmiştir.

Bu nedenle tüm deneyler için toplanan temiz su miktarları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Yaklaşık 34,14 g olan en büyük su hacmi, 120 dakikalık bir süre içinde elde edilmiştir. Siyah sünger kullanımı, harici fanların aktif çalışması ve Peltier harici ısı eşanjörünün su spreyi ile periyodik olarak soğutulması, bu deneyde gözlemlenen en yüksek sonuca katkıda bulunan faktörlerdendir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, A. S., Alawee, W. H., Mohammed, S. A., Majdi, A., Omara, Z. M. and Essa, F. A. 2023. Increasing the productivity of modified cords pyramid solar still using electric heater and various wick materials. *Process Safety and Environmental Protection*, 169, 169-176.
- Abu-Zeid, M. A. R., Elhenawy, Y., Toderas, M., Bassyouni, M., Majozi, T., Al-Qabandi, O. A. and Kishk, S. S. 2024. Performance enhancement of solar still unit using v-corrugated basin, internal reflecting mirror, Flat-plate solar collector and nanofluids. *Sustainability*, 16(2), 655.
- Afshari, F. 2024. Experimental comparative analysis of solar system productivity and performance in water distillation: Solar stills vs. Parabolic Dish Systems. *Desalination*, 577, 117402.
- Afshari, F., Ceviz, M. A., Mandev, E. and Yıldız, F. 2022. Effect of heat exchanger base thickness and cooling fan on cooling performance of Air-To-Air thermoelectric refrigerator; experimental and numerical study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102178.
- Afshari, F., Mandev, E., Rahimpour, S., Muratçobanoğlu, B., Şahin, B., Manay, E. and Teimuri-Mofrad, R. 2023a. Experimental and numerical study on air-to-nanofluid thermoelectric cooling system using novel surface-modified Fe₃O₄ nanoparticles. *Microfluidics and Nanofluidics*, 27(4), 26.
- Afshari, F., Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Yetim, A. F. and Ceviz, M. A. 2023b. Experimental and numerical study on a novel fanless air-to-air solar thermoelectric refrigerator equipped with boosted heat exchanger. *Renewable Energy*, 207, 253-265.
- Afshari, F., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E., Ceviz, M. A. and Mirzaee, Z. 2023. Effects of double glazing, black wall, black carpeted floor and insulation on thermal performance of solar-glazed balconies. *Energy and Buildings*, 285, 112919.
- Alsehli, M. 2024. Maximizing solar distillation efficiency and cost-effectiveness with the rotating ball spherical solar still: An energetic, exergetic, and economic analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 182, 234-244.
- Alshqirate, A., Awad, A. S., Al Alawin, A. and Essa, M. A. 2023. Experimental investigation of solar still productivity enhancement of distilled water by using natural fibers. *Desalination*, 553, 116487.
- Aquilanti, A., Tomassetti, S., Coccia, G., Muccioli, M. and Di Nicola, G. 2023. Experimental characterization and performance comparison of four prototypes of panel solar cooker for low to high sun elevations. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136158.
- Arunkumar, T., Suh, Y., Lim, H. W., Christopher, S. and Lee, S. J. 2024. Sustainable solar desalination through interfacial evaporation: Integration of chitosan aerogel-

impregnated graphene nanoplatelets solar evaporator and phase change material. *Desalination*, 572, 117102.

- Attia, M. E. H., Zayed, M. E., Kabeel, A. E., Abdelgaied, M., Arıcı, M. and Abdel-Aziz, M. M. 2024. A comparative experimental study on hemispheric distillation system integrated with metamorphic fabric materials for efficient and low-cost solar desalination. *Thermal Science and Engineering Progress*, 47, 102277.
- Aybar, H. Ş. 2006. Mathematical modeling of an inclined solar water distillation system. *Desalination*, 190(1-3), 63-70.
- Aybar, H. Ş., Egelioglu, F. and Atikol, U. 2005. An experimental study on an inclined solar water distillation system. *Desalination*, 180(1-3), 285-289.
- Aytaç, İ., Tuncer, A. D., Khanlari, A., Variyenli, H. İ., Manticı, S., Güngör, L. and Ünvar, S. 2023. Investigating the effects of using MgO-CuO/water hybrid nanofluid in an evacuated solar water collector: A comprehensive survey. *Thermal Science and Engineering Progress*, 39, 101688.
- Bacha, H. B., Abdullah, A. S., Omara, Z. M. and Essa, F. A. 2024. Enhancing freshwater production in solar distillation: Hemispherical absorber modification and reflectors integration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 61, 103576.
- Badran, A. A., Al-Hallaq, I. A., Salman, I. A. E. and Odat, M. Z. 2005. A solar still augmented with a flat-plate collector. *Desalination*, 172(3), 227-234.
- Badran, O., Alahmer, A., Hamad, F. A., El-Tous, Y., Al-Marahle, G. and Al-Ahmadi, H. M. 2023. Enhancement of solar distiller performance by photovoltaic heating system. *International Journal of Thermofluids*, 18, 100315.
- Bait, O. 2024. A critical review on triangular pyramid, weir-type, spherical, and hemispherical solar water distiller conceptions. *Solar Energy*, 269, 112322.
- Chaouchi, B., Zrelli, A. and Gabsi, S. 2007. Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator. *Desalination*, 217(1-3), 118-126.
- Coccia, G., Aquilanti, A., Tomassetti, S., Ishibashi, A. and Di Nicola, G. 2021. Design, manufacture and test of a low-cost solar cooker with high-performance light-concentrating lens. *Solar Energy*, 224, 1028-1039.
- Coccia, G., Di Nicola, G., Tomassetti, S., Pierantozzi, M., Chieruzzi, M. and Torre, L. 2018. Experimental validation of a high-temperature solar box cooker with a solar-salt-based thermal storage unit. *Solar Energy*, 170, 1016-1025.
- Çolak, A., Çelik, A., Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Gülmüş, B., Afshari, F. and Ceviz, M. A., 2023. Study on a novel inclined solar water distillation system using thermoelectric module for condensation. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 986-994.

- Davra, D., Mehta, P., Patel, N. and Markam, B. 2024. Solar-enhanced freshwater generation in arid coastal environments: A double basin stepped solar still with vertical wick assistance study in northern Gujarat. *Solar Energy*, 268, 112297.
- Dwivedi, V. K. and Tiwari, G. N. 2010. Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode. *Desalination*, 250(1), 49-55.
- Easa, A. S., Khalaf-Allah, R. A., Mohamed, S. M., Habba, M. I. and Tolan, M. T. 2024. Optimization of humidification-dehumidification solar desalination unit: comparative analysis. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121610.
- Elashmawy, M. 2017. An experimental investigation of a parabolic concentrator solar tracking system integrated with a tubular solar still. *Desalination*, 411, 1-8.
- 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-Said, E. M., Hegazi, A. A., El-Agouz, S. A. and Awad, A. M. 2024. Experimental investigation of a desalination system using porous carbon tube as a humidification media with swirl flow. *Desalination*, 574, 117231.
- Essa, F. A., Elsheikh, A. H., Algazzar, A. A., Sathyamurthy, R., Ali, M. K. A., Abd Elaziz, M. and Salman, K. H. 2020. Eco-friendly coffee-based colloid for performance augmentation of solar stills. *Process Safety and Environmental Protection*, 136, 259-267.
- Farvardin, A. and Motlagh, S. Y. 2024. Investigating the effects of air inlet jet on the performance of solar still: A comprehensive numerical study. *Desalination*, 569, 117048.
- Gorjian, S., Ghobadian, B., Hashjin, T. T. and Banakar, A. 2014. Experimental performance evaluation of a stand-alone point-focus parabolic solar still. *Desalination*, 352, 1-17.
- Gülmüş, B., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E. and Afshari, F. 2023. Experimental and Numerical Investigation of Flow and Thermal Characteristics of Aluminum Block. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 33, 8.
- Hammad, F. A., Zayed, M. E., El-Bialy, E., Irshad, K., Lu, Z. and Shalaby, S. M. 2024. Performance assessment of a novel solar distiller with a fountain-shaped basin design embedded with phase change materials enriched with copper oxide nano-additives: A detailed experimental investigation. *Journal of Energy Storage*, 82, 110555.
- Hoang, A. T., Le, T. H., Chitsomboon, T. and Koonsrisook, A. 2021. Experimental investigation of solar energy-based water distillation using inclined metal tubes as collector and condenser. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-17.

- Hosseini, A., Banakar, A. and Gorjian, S. 2018. Development and performance evaluation of an active solar distillation system integrated with a vacuum-type heat exchanger. *Desalination*, 435, 45-59.
- Jiao, L., Luo, X., Zha, L., Bao, H., Zhang, J. and Gu, X. 2024. Machine learning assisted water management strategy on a self-sustaining seawater desalination and vegetable cultivation platform. *Computers and Electronics in Agriculture*, 217, 108569.
- Kabeel, A. E. and Abdelgaied, M. 2017. Observational study of modified solar still coupled with oil serpentine loop from cylindrical parabolic concentrator and phase changing material under basin. *Solar Energy*, 144, 71-78.
- Kabeel, A. E. and El-Agouz, S. A. 2011. Review of researches and developments on solar stills. *Desalination*, 276(1-3), 1-12.
- Kanka, S. D., Kibria, M. G., Anika, U. A., Das, B. K., Hossain, M. S. and Roy, D., Mohtasim, M. S. 2024. Impact of various environmental parameters and production enhancement techniques on direct solar still: A review. *Solar Energy*, 267, 112216.
- Khanlari, A., Sözen, A., Afshari, F., Tuncer, A. D., Ağbulut, Ü. and Aytaç Yılmaz, Z. 2022. Numerical and experimental analysis of parallel-pass forced convection solar air heating wall with different plenum and absorber configurations. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 32(3), 978-1001.
- Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Aytaç, İ., Çiftçi, E. and Variyenli, H. İ. 2022. Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles. *Renewable Energy*, 187, 586-602.
- Kumar, P. V., Kumar, A., Prakash, O. and Kaviti, A. K. 2015. Solar stills system design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 153-181.
- Kumar, S. and Tiwari, G. N. 2009. Estimation of internal heat transfer coefficients of a hybrid (PV/T) active solar still. *Solar Energy*, 83(9), 1656-1667.
- Le, T. H., Pham, M. T., Hadiyanto, H. and Hoang, A. T. 2021. Influence of various basin types on performance of passive solar still: a review. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(4), 789. 89-802.
- Liu, H., Ji, D., An, M., Kandeal, A. W., Thakur, A. K., Elkadeem, M. R. and Sharshir, S. W. 2023. Performance enhancement of solar desalination using evacuated tubes, ultrasonic atomizers, and cobalt oxide nanofluid integrated with cover cooling. *Process Safety and Environmental Protection*, 171, 98-108.
- Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Manay, E. and Şahin, B. 2024. Desalination performance evaluation of a solar still enhanced by thermoelectric modules. *Solar Energy*, 268, 112325.
- Maurya, A., Shanmugan, S., Kabeel, A. E., Akanovna, Z. A., Sarsenbayev, Y. and Panchal, H. 2024. Use of absorber plate built of ZnO/PVC/Bioactivation modified

- epoxy nanocomposites to improvement of double-effect Solar Distiller productivity analyzing the Energy, Exergo-environment and Enviro-economical. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139601.
- Modi, K. V. and Modi, J. G. 2020. Influence of wick pile of jute cloth on distillate yield of double-basin single-slope solar still: Theoretical and experimental study. *Solar Energy*, 205, 512-530.
- Moh'd A, A. N. 2015. Modeling of a novel concentrated solar still enhanced with a porous evaporator and an internal condenser. *Solar Energy*, 114, 8-16.
- Mohamed, H. A. E. D., Elgndy, N. M. H. and AlTohamy, A. R. 2023. Enhancing the performance of conventional solar still using Nano-doped paint (NDP) coating. *An Experimental Study*, 7(6), 6.
- Mosleh, H. J., Mamouri, S. J., Shafii, M. B. and Sima, A. H. 2015. A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic trough collector. *Energy Conversion and Management*, 99, 141-150.
- Negi, A., Ranakoti, L. and Verma, R. P. 2024. Performance evaluation of single slope tilted wick solar still with varying salt concentrations. In *IOP conference series: Earth and Environmental Science*, 1285(1), 012002.
- Özcan, Y. and Deniz, E. 2023. Solar thermal waste heat energy recovery in solar distillation systems by using thermoelectric generators. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 40, 101362.
- Rahbar, N. and Esfahani, J. A. 2012. Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module. *Desalination*, 284, 55-61.
- Salama, M. A., Galal, Y. G. M., Hussien, M. A., Atia, M. F. and Eldehn, I. F. M. 2024. Using desalinated water from solar stills to irrigate green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in different water regimes with an application of 15N stable isotope. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(1), 31-47.
- Salem, M. R., Sakr, R. Y., Assassa, G. M., Aly, O. A. 2024. Augmentation of solar still distillation performance using waste heat energy and guiding vanes: A field study. *Desalination*, 572, 117150.
- Sambare, R. K., Dewangan, S. K., Gupta, P. K. and Joshi, S. 2022. Energy, exergy and economic analyses of Tubular solar still with various transparent cover materials. *Process Safety and Environmental Protection*, 168, 1101-1108.
- Samimi, M. and Moghadam, H. 2024. Modified evacuated tube collector basin solar still for optimal desalination of reverse osmosis concentrate. *Energy*, 289, 129983.
- Shafii, M. B., Shahmohamadi, M., Faegh, M. and Sadrhosseini, H. 2016. Examination of a novel solar still equipped with evacuated tube collectors and thermoelectric modules. *Desalination*, 382, 21-27.
- Shanmugan, S., Hammoodi, K. A., Eswarlal, T., Selvaraju, P., Bendoukha, S., Barhoumi, N., Mansour, M., Refaey, H. A., Rao, M. C., Mourad, A. I., Fujii, M. and Elsheikh,

- A. 2024. A technical appraisal of solar photovoltaic-integrated single slope single basin solar still for simultaneous energy and water generation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54, 104032.
- Shareef, A. S., Kurji, H. J. and Hamzah, A. H. 2024. Modifying performance of solar still, by using slices absorber plate and new design of glass cover, experimental and numerical study. *Heliyon*, 10(1).
- Sharshir, S. W., Eltawil, M. A., Algazzar, A. M., Sathyamurthy, R. and Kandeal, A. W. 2020. Performance enhancement of stepped double slope solar still by using nanoparticles and linen wicks: energy, exergy and economic analysis. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115278.
- Sharshir, S. W., Joseph, A., Elsayad, M. M. and Kandeal, A. W. 2024. A new heat pump-operated solar desalination unit integrated with an air recirculating room. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121487.
- Shivhare, M. K., Samsher and Kumar, A. 2024. Impact of various design parameters on solar still systems performance: a review. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(2), 239-265.
- Singh, R. V., Kumar, S., Hasan, M. M., Khan, M. E. and Tiwari, G. N. 2013. Performance of a solar still integrated with evacuated tube collector in natural mode. *Desalination*, 318, 25-33.
- Suraparaju, S. K., Dhanusuraman, R. and Natarajan, S. K. 2021. Performance evaluation of single slope solar still with novel pond fibres. *Process Safety and Environmental Protection*, 154, 142-154.
- Tei, E. A., Hameed, R. M. S., Illyas, M. and Athikesavan, M. M. 2024. Experimental investigation of inclined solar still with and without sand as energy storage materials. *Journal of Energy Storage*, 77, 109809.
- Tiwari, A. K. and Tiwari, G. N. 2007. Annual performance analysis and thermal modelling of passive solar still for different inclinations of condensing cover. *International journal of Energy Research*, 31(14), 1358-1382.
- Tiwari, G. N. and Sahota, L. 2017. Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation systems. *Desalination*, 401, 151-179.
- Tuncer, A. D., Khanlari, A., Afshari, F., Sözen, A., Çiftçi, E., Kusun, B. and Şahinkesen, İ. 2023. Experimental and numerical analysis of a grooved hybrid photovoltaic-thermal solar drying system. *Applied Thermal Engineering*, 218, 119288.