
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

HELİSEL BORULU TERMAL GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMİN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Burak KERSE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burak KERSE
03/01/2025

HELİSEL BORULU TERMAL GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU HAZIRLAMA SİSTEMİN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak KERSE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisinden çok sayıda yararlanma yöntemi olmakla beraber, bu yöntemler içerisinde en olgunlaşmış ve yaygın olarak kullanılanı güneş enerjisinden ısıl yollar ile yararlanılmasıdır. 1970'lerdeki petrol krizi ile yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan güneş enerjili sıcak su sistemleri, kısa sürede tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan sistemler haline gelmiştir ve zaman içerisinde farklı akışkanlar kullanılarak daha verimli sistemler için çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan literatür araştırmalarında helisel borudaki ısı transfer katsayısının düz borudaki ısı transfer katsayısından yaklaşık olarak %23 daha fazla olduğu görülmüştür. "Helisel Borulu Termal Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemin Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi" tez çalışmamızda, Helisel Borulu Termal Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sisteminin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Helisel Borulu Termal Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemi ile aynı deney şartlarında su ve nanoakışkanların ısıl verime etkisi incelenmiştir. Çalışmamızda helisel borulu güneş kollektörlerinin farklı çalışma sıvılarında ve farklı debilerde göstermiş olduğu reaksiyonlar incelenmiştir. Deneyler sırasıyla; 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk debilerinde su, MgO-Tio2/Su ve MgO-CuO-TiO2/Su akışkanları için yapılmıştır. Elde edilen bulgular nanoakışkanın helisel sargılı güneş kollektöründe başarılı bir şekilde kullanıldığını göstermiştir. Su ve nanoakışkan kullanılarak elde edilen ortalama ısıl verim değerleri sırasıyla %31,9, %43,76, %37,24, %51,95, %41,86 ve %56,77 ve maksimum ısıl verim değerleri ise %40,38, %55,28, %51,21, %68,61, %52,73 ve %72,22 olarak bulunmuştur. Aynı çalışma sıvıları üzerinde farklı debilerle yapılan deneyde yüksek debide yüksek ısıl verimin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında deneyler sonucunda çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanımının geliştirdiğimiz helisel borulu güneş kollektörünün ısıl performansını önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Bilim Kodu	:	92802
Anahtar Kelimeler	:	Solar kollektör, helisel boru, nanoakışkan, debi, solar radyasyon
Sayfa Adedi	:	43
Danışman	:	Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

DESIGN, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HELICAL PIPE THERMAL SOLAR HOT WATER PREPARATION SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Burak KERSE

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

The potential for solar energy to be harnessed as thermal energy is enormous. Among the existing uses of solar power the most developed and widely used one is thermal purposes. Solar water heating systems became popular during the 1970s energy crisis since then they become globally adopted systems. They evolved over time with the use of various fluids improving their efficiency. Research has shown that the heat transfer coefficient in a helical pipe is approximately 23% higher than that in a straight pipe. In this study, we proposed the design and manufacturing of a helical pipe solar water heating system. The thermal efficiency of water and nanofluids in this proposed system was also investigated under the same experimental conditions. The performance of helical pipe solar collectors was examined using different working fluids and flow rates. The experiments were conducted using water, MgO-TiO2/water and MgO-CuO-TiO2/water nanofluids at flow rates of 0,5 L and 0,9 L per minute. Our findings indicate that the use of nanofluids as working fluid in hellical pipe solar collectors significantly enhance their thermal performance. If the flow rate increases for the same fluids, the thermal efficiency increases. The average thermal efficiency values obtained for water and nanofluids were found to be 31,9%, 43,76%, 37,24%, 51,95%, 41,86% and 56,77%, respectively.

Science Code : 92802
Key Words : Solar collector, helical pipe, nanofluid, flow rate, solar radiation
Page Number : 43
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi sürecimde bilgi ve tecrübesinden faydalandığım, değerli bilgilerini, görüşlerini ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ'ye teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ek olarak yüksek lisans ve iş sürecimi birlikte yürütmemde sağladığı desteklerden ötürü ASKİ amir ve mesai arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım. Son olarak hayatımda huzurumu ve mutluluğumu borçlu olduğum eşim Yeşim KERSE'ye ve bu güne kadar desteklerini bir an olsun eksik hissettirmeyen annem Fatma KERSE, babam Orhan KERSE ve ablam Büşra ÇAKIR'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi
RESİMLERİN LİSTESİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xiv
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR TARAMASI 3
3. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ 8
3.1. Elektrik üretiminde güneş enerjisinden yararlanma 10
3.2. Termal güneş enerji sistemleri 10
3.3. Güneş enerji kaynaklı su ısıtma sistemleri 11
4. NANOAKIŞKANLAR VE NANOTEKNOLOJİ 14
4.1. Nanoakışkanların termal ve fiziksel (termofiziksel) özelikleri 15
4.2. Nanopartiküllerin baz akışkanla dağılımının faydaları 17
4.3. Nanoakışkanların hazırlanması 18
5. TEORİK HESAPLAMALAR 19
6. MATERYAL VE METOT 21
7. BULGULAR VE TARTIŞMA 24
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 32
KAYNAKLAR 35
ÖZGEÇMİŞ 43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Metaller, metal oksitler ve baz akışkanların ısı iletim katsayıları 15

Çizelge 7.1. Tez çalışmasının literatür çalışmalarıyla karşılaştırılması..... 31

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Tez çalışmasının genel yapısı 7

Şekil 3.1. Güneş radyasyonu haritası 8

Şekil 3.2. Yıl bazlı güneş enerjisinin Türkiye'de kullanılma durumu (1000 TEP 9

Şekil 3.3. Birincil enerji kaynaklarının Türkiye kurulu gücündeki payı 9

Şekil 3.4. Kurulu gücünün mw bazında birincil enerji kaynakları gelişimi 9

Şekil 3.5. Türkiye kurulu gücünün gelişimi..... 10

Şekil 3.6. Isıl güneş kapasitesinin Dünyada zamana bağlı değişimi..... 11

Şekil 3.7. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması..... 12

Şekil 3.8. Tabii dolaşımlı güneş enerji kaynaklı su ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması 12

Şekil 3.9. Zorlanmış dolaşımlı güneş kaynaklı su ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması 13

Şekil 6.1. Deney düzeninin görsel olarak temsili 21

Şekil 7.1. Ölçülen solar radyasyon, çıkış ve ortam sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişimleri..... 25

Şekil 7.2. Deneylerde elde edilen ısıl enerji değerlerinin karşılaştırılması..... 26

Şekil 7.3. Deneylerde elde edilen maksimum ısıl enerji değerlerinin karşılaştırılması 26

Şekil 7.4. Helisel borulu güneş kollektöründe ısıl verimin zamana bağlı değişi..... 27

Şekil 7.5. Maksimum ısıl verimin farklı deneylere göre karşılaştırılması 27

Şekil 7.6. 0,5 l/dk debi için maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması..... 28

Şekil 7.7. 0,9 l/dk debi için maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması..... 28

Şekil 7.8. Maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması 28

Şekil 7.9. Ekserji verimliliği değerlerinin zamana bağlı değişimi..... 29

Şekil 7.10. Maksimum ekserji verimliliği değerlerinin karşılaştırılması..... 29

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.11. Deneysel olarak elde edilen Sürdürülebilirlik endeksi değerleri 30

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 6.2. Deney Resimleri..... 22

Resim 6.3. Tasarlanan helisel sargılı güneş kollektörü 23

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
A	Kollektör Yüzey Alanı (m²)
C_p	Özgül Isınma Isısı (kJ/kg℃)
℃	Sıcaklık Birimi (Derece)
D_h	Hidrolik Çap(m)
$\dot{E}_x$	Ekserji Oranı(W)
h	Isı transfer katsayısı (W/m²/K)
I	Güneş Işınım Şiddeti (W/m²)
k	Termal İletkenlik(W/m.K)
$\dot{m}$	Birim Zamandaki Kütle (kg/s)
Nu	Nusselt Sayısı
η	Verim(%)
η_t	Termal Verim (%)
η_e	Ekserji Verimi (%)
u_i	Hız (m/s)
T_g	Deneye Ait Giriş Su Sıcaklığı (℃)
$T_{Ç}$	Deneye Ait Çıkış Suyu Sıcaklığı (℃)
Re	Reynolds Sayısı
SI	Sürdürülebilirlik Endeksi
Q_s	Sistemden Sağlanan Enerji (W)
W_R	Toplam Belirsizlik (%)
ρ_w	Suyun Özkütlesi (W/m$^{3)}$

Kısaltmalar	Açıklamalar
COP	Sistemin Etkinlik Katsayısı
dk	Dakika
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
kWh	Kilowatt Saat
l	Litre
m²	Metrekare
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
W	Watt

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, doğrudan güneş ışınlarını kullanarak ısı veya elektrik üretimi sağlamak için çeşitli teknolojiler kullanır. Bu teknolojiler arasında, özellikle güneş enerjisi ile ısıtma sistemleri, evsel ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Güneş ısı kollektörleri, bu sistemlerin temel bileşenlerinden biridir ve güneş ışınımını ısıya dönüştürerek, suyun ısıtılması, hava ısıtılması veya diğer ısıtma işlemleri için kullanılabilir. Türkiye, yıllık ortalama 2 737 saatlik güneşlenme süresi ve 1 527 kWh/m² yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ile güneş enerjisi uygulamaları açısından büyük bir avantaja sahiptir [1]. Türkiye gibi güneş ışınımının yüksek olduğu ülkelerde, güneş enerjisi kullanımının artırılması, enerji bağımsızlığını güçlendirebilir ve çevreye duyarlı enerji çözümleri sunabilir. Bu bağlamda, güneş enerjisine yönelim ve ısı kollektörlerinin kullanımı, ülkemizin enerji politikaları ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Türkiye'deki mevcut güneş enerjisi teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve bu alanda verimliliği artıracak yenilikçi sistemlerin geliştirilmesi de enerji bağımlılığını azaltmak ve karbon ayak izini düşürmek adına kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda, güneş enerjisi tabanlı termal sistemlerin daha verimli, ekonomik ve sürdürülebilir hale getirilmesine yönelik katkılar sağlamak tezimizin amacıdır.

Çalışmamızda Türkiyede'ki güneş potansiyeli belirtilmiş buna bağlı yararlanılan güneş enerjisi miktarları, kurulu gücünün gelişimi ve elektrik üretimi hususları irdelenmiştir. Sonrasında ısıl güneş enerjisi sistemlerinin durumu ve önemi belirtilip çalışma içeriğinde, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin performansını artırmak için nanoakışkanların kullanımı incelenmiştir. Nanoakışkanların geliştirilmiş termofiziksel özelliklerinin (yüksek ısı iletkenliği, düşük viskozite vb.) su ısıtma sistemlerindeki ısı transfer verimliliğine etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bunun yanı sıra, helisel boru geometrisinin akış rejimini ve enerji transferini nasıl etkilediği ile ilgili literatür araştırmaları yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu kısımda, daha önceki araştırmalarda kullanılan güneş enerji kollektör çeşitleri, uygulama yöntemleri ve tercih edilen akışkanlar üzerine bir literatür taraması gerçekleştirildi.

Aktaş, Ceylan ve Doğan (2005) çalışmalarında, izolasyon ve daha verimli eşanjör ile güneş enerjisiyle su ısıtma düzenini ısıl verim olarak yükselteceğini ortaya koymuşlardır [2].

Bilimsel literatürde helisel borulu ısı değiştiricileri konu alan birçok araştırma yer almaktadır [3]. Jamshidi ve arkadaşları (2013), sarmal sargılı eşanjör çalışmış ve ısıl iletim performansını artırmayı hedeflemiştir. Çalışmalarında sarmal sargılı eşanjörlerde debilerin, sarmal çapının ve sayısının modelleme açısından kritik olduğu görülmüştür [4].

Türkbay ve Varol (2001) çalışmalarında, sarmal borulardaki ısı iletimi ve sürtünme katsayısını incelemişlerdir. Bunun yanında düz boru ile sarmal boru içindeki ısı iletim katsayısının Reynolds Sayısı ile değişimini analiz etmişlerdir. Bu analizde sarmal borunun ısı iletim katsayısı %23 yüksek çıkmıştır [5].

Sadighi Dizaji ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, sarmal borulu ısı değiştiricilerinde geometrik parametrelerin ısıl verime etkilerini ekserji yardımıyla incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında, sarmal eşanjörde ana yapı ve sarmal boru kısmındaki akış debileri arttığında ekserji kaybı oranının da arttığı, sarmal boru giriş sıcaklığının artışı ve ana yapı giriş sıcaklığının azalışı da ekserji kaybı oranını azaltmıştır [6].

Alimoradi ve Veysi (2017), yürüttükleri araştırmada, sarmal borulu eşanjörler için en uygun geometrik parametreleri belirlemişlerdir [7].

Etghani ve Hosseini Baboli (2017) helisel borulu bir ısı değiştiriciyi incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanmıştır [8].

Debinin ısıl verime etkisini göstermek için; Hashım (2018) çalışmasında debinin termal verim üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla düz plaka kolektörde farklı debiler için sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 5,3 l/d ve 6,51 l/d debilerinde sırasıyla 51,4 °C ve

49 °C'lik en yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır. İki debi karşılaştırıldığında, daha düşük debide daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır [9].

Selvakumar ve Somasundaram (2012), çalışmalarında, güneş kolektörlerinin eğim açılarının bölge koşullarına uygun olarak belirlenip monte edilmesinin, ilgili ısıtma sistemlerinin performansını iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda, farklı eğim açılarına sahip vakumlu tüp kolektörler üzerinde deneysel incelemeler yapılmıştır. Eğim açısına bağlı olarak konvektif ısı kaybı katsayısının değişebileceği, ancak vakumlu tüplerin ışınımla ısı transferi sağladığından taşınımla ısı kaybının ciddi bir sıcaklık düşüşüne neden olmadığı sonucuna varılmıştır [10].

Koçer ve diğerleri (2016) çalışmalarında, Ankara'da sabit güneş kolektörlerinin genellikle 40° eğim açısına yakın bir konumda yerleştirildiğini bu nedenle, Ankara merkez ve ilçeleri baz alınarak yapılan çalışmalarda, güneş kolektörü ve panel sistemlerinin performansını en üst düzeye çıkarmak amacıyla en uygun eğim açısını belirlemişlerdir. Ankara ve çevresi için yıllık en ideal eğim açısı 34°±1 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, altı aylık dönemler için 15° ve 56°, mevsimlere bağlı olarak (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) ise sırasıyla 62°, 23°, 6° ve 49° açılar belirlenmiş ve bu açılar için güneş ışınım değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca, eğim açısının yılda sadece iki kez ayarlanmasının, birim alan başına düşen enerji miktarını artırarak sabit açılara göre yaklaşık %5 daha yüksek bir verim sağladığı ortaya konulmuştur. Özetle, güneş kolektörleri ve panel sistemlerinin termal verimliliğini artırmak için eğim açısının ayda bir ya da yılda en az iki defa yerel koşullara göre ayarlanmasını önermişlerdir [11].

Goudarzi ve diğerleri (2014), geleneksel güneş kollektörlerinden farklı olarak, sarmal olarak sarılmış bir güneş kollektörü üretip su ve CuO-su nanoakışkanı ile test etti [12]. Başka bir çalışmada Goudarzi ve diğerleri (2015), iki farklı nanoakışkan kullanarak yatay olarak konumlandırılmış sarmal sargılı bir güneş kollektörünün performansını deneysel olarak inceledi [13].

Shojaeizadeh ve diğerleri (2021), sarmal olarak sarılmış bir güneş enerjili su ısıtıcısı geliştirdi ve manyetik alan altında nanoakışkan kullanarak verimliliğini arttırdı [14].

Kumar ve diğerleri (2012), sarmal borulu eşanjörün ısı trasfer katayısının nanoakışkanlar

üzerindeki etkisini incelemiştir [15].

Doğan (2003) güneş kollektör tiplerini karşılaştırdıkları çalışmasında, yalın yüzeyli prizmatik sistemin geleneksel borulu sisteme göre % 15 verimli olduğunu elde etmiştir [16].

Ceylan, Doğan ve Yalçın (2004) çalışmalarında, prizmatik tipteki yüzeyleri farklı güneş kollektörünü incelemişlerdir [17].

Özkaya ve Variyenli (2003) makalelerinde, doğal dolaşımlı dolaylı sıcak su temini sisteminde ısı değiştirici kapasitelerinin verimliliğe etkisini incelemişlerdir [18].

Şahin (2006), bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Bu programda güneş enerjisiyle su ısıtma teknolojilerinin tasarımının ve maliyet incelemesinin yapılabileceği belirtilmiştir [19].

Sakınç ve Sözen (2010), yaptıkları çalışmada ülkemizde güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin estetik görünüşü olmadığı bir bölge seçerek burada yapılabilecek iyileştirmeleri önermişlerdir [20].

Karaçavuş (2017) çalışmasında, güneş kaynaklı sıcak su temini sistemlerinin Türkiye'de belirli bölgelerde iyileştirmeyi araştırmışlardır [21].

Gündüz (2007) ısı pompası ile ilgili çalışmasında, ısı pompasının Bilecik bölgesinde güneş enerjisi yardımlı ısı pompasının sıcak su elde edilmesinin verimliliğini hesaplamıştır [22].

Atmaca, Soylu, Özdemir ve Asiltürk (2019), nanoakışkanlar adına hazırlama yöntemi, sentezi, termofiziksel özellikleri, uygulama alanları ve güneş enerji sistemlerinde kullanımını araştırmışlardır [23].

Özdemir (2019), baz akışkan olarak su, nanoakışkan olarak Fe3O4-SiO2, ZnO-SiO2 ve TiO2-SiO2 kullandığı çalışmasında deneylerde kullanılan nanoakışkanların devresi kapalı tip güneş enerji sistemlerinin etkinliği üzerindeki tesirini incelemiştir.

Fotowat, Askar, İsmail ce Farjat (2017) çalışmalarında, ısı transfer sistemlerini tasarlarken,

nanoakışkanların performansını ve uygulanabilirliğini belirlerken, bir nanoakışkanla temas halindeki malzemeler üzerindeki korozyon etkisinin karşılaştırmalı bir şekilde incelenmesini sonrasında farklı sıcaklıkların ve nanoakışkan konsantrasyonlarının bir Al2O3/su nanoakışkanın termal iletkenliği üzerindeki etkisinin deneysel bir araştırmasını incelemişlerdir. Sonuçta, nanoakışkanın alüminyum ve bakırdaki aşındırıcılığının önemli olduğunu göstermekte olup paslanmaz çelikte önemsiz olduğu görülmüştür. Bunun yanında farklı sıcaklıklar ve sıvı konsantrasyonları dikkate alındığında nanoakışkanın termal iletkenliğinde baz akışkana göre yaklaşık %17'lik bir artış olduğu bulunmuştur. Bu geliştirmenin, nanoakışkanların potansiyel enerji açısından verimli ısı transfer sıvıları olarak kabul edilebileceğini gösterdiğini belirtmişlerdir [25].

Sivasubramian, Kumaresan, Santhosh, Reshvanth, Riyasudeen ve Medone (2022) çalışmalarında, su akışkanı ve suda difüze olan Alüminyum Oksit (Al2O3) nanoparçacıklarının termal iletkenlik analizini incelemişlerdir. Güneş enerjili su ısıtıcı ile önce su analizinde 355 K Çıkış sıcaklığı elde edilmiştir. Hacim oranı %4 olan su bazlı Al2O3 nanoakışkan daha sonra güneş enerjili su ısıtıcı ile analiz edilmiştir sonuçta, çıkış sıcaklığında suyunkine göre 30^{o} C'lik bir artış elde edilmiştir. Daha sonra analiz sonuçlarını teorik hesaplama sonuçları ile karşılaştırmışlardır [26].

Kumar, Suthahar, Saktivel, Vijayan ve Yukeshwaran (2020) çalışmalarında, su ve TiO2 nanoakışkanlarının konveksiyonla ısı transferi ve basınç düşüşü karakteristikleri üzerine araştırmalar yapmışlardır. Deney için %0,3 hacim konsantrasyonuna sahip TiO2 nanoakışkanı kullanılmışlardır. 2 m uzunluğundaki yükseltici boruyu hazırlamak için 3 mm çapında bakır çubuk kullanmışlar ve TiO2 nanoakışkanın düzlem tüp toplayıcıdan elde edilen maksimum verimi %58 bulmuşlardır [27].

Literatür incelendiğinde, güneş enerjisi sistemlerinde nanoakışkanların kollektörler üzerinde performanslarını inceleyen birçok çalışmanın olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların bazılarında nanoakışkanlar baz akışkan olarak su ile karşılaştırılmıştır. Bazı uygulamalarda ise sarmal sargılı kollektörler kullanılarak yüzey alanı arttırılıp ısıl verim iyileştirilmiştir. Ayrıca, nanoparçacıklardan oluşan hibrit kombinasyonlar kulanımı, yeni bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Çoğu çalışmada, hibrit nanoakışkanların güneş kollektörlerinde kullanılarak ısıl verimi arttırdığına dair sonuçlar elde edilmiştir.

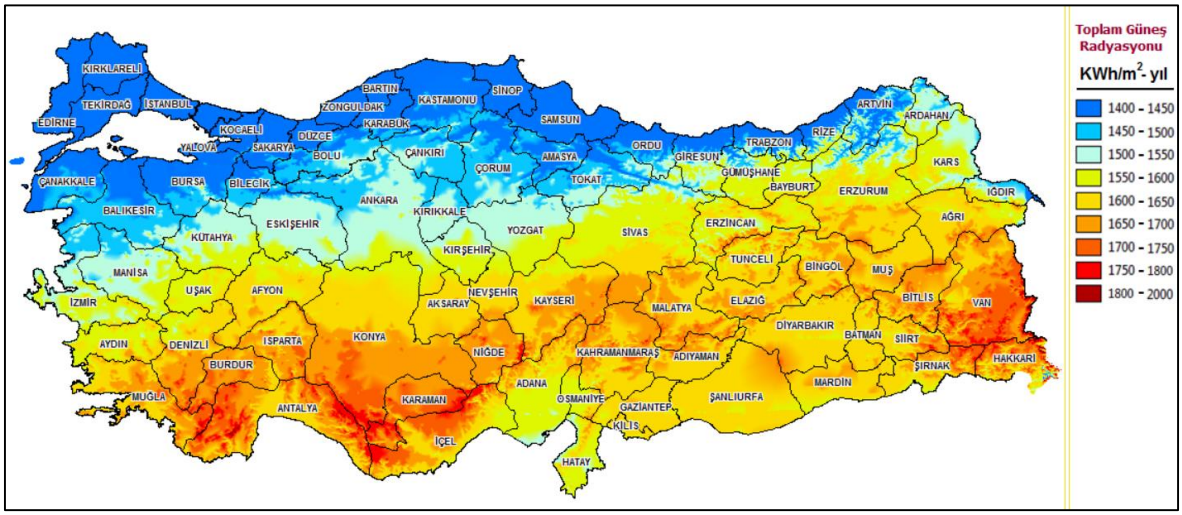
Şekil 2.1'de tez çalışmamızın genel yapısı özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Tez çalışmasının genel yapısı

3. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

Şekil 3.1'e göre Türkiye, güneş radyasyonu açısından oldukça elverişlidir. Günlük 7,5 saatten yıllık 2 737 saat güneşlenme süresi, günlük metrekareye 4,2 kWh, yıllık olarak ise güneş radyasyonunun metrekarede 1 527 kWh olduğu saptanmıştır [1].



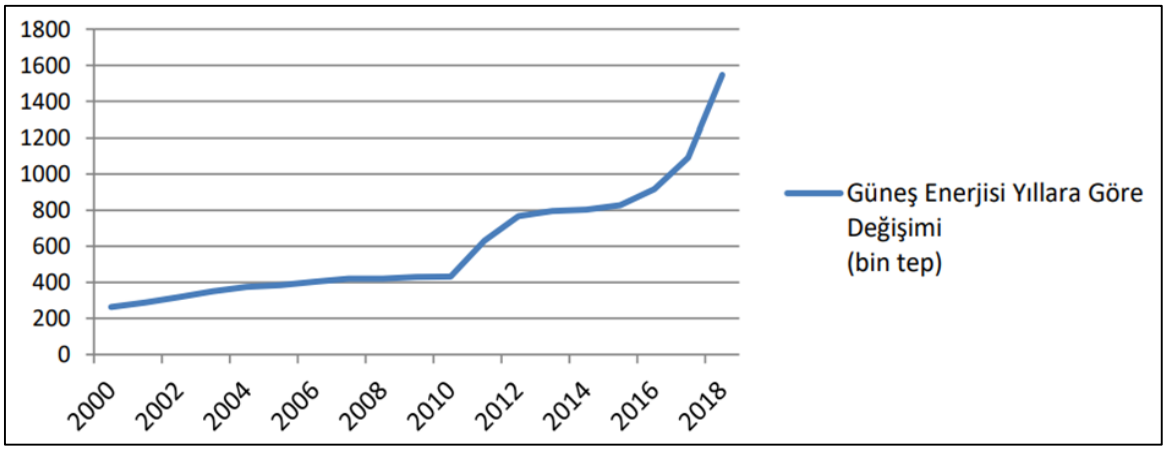
Şekil 3.1. Güneş radyasyonu haritası [1]

Şekil 3.1. incelendiğinde haritanın alt kısmından yukarı bölgelere gidildikçe yıllık güneş radyasyonunun azaldığı görülmüştür.

Enerji üretiminde birincil enerji kaynaklarının kullanımı

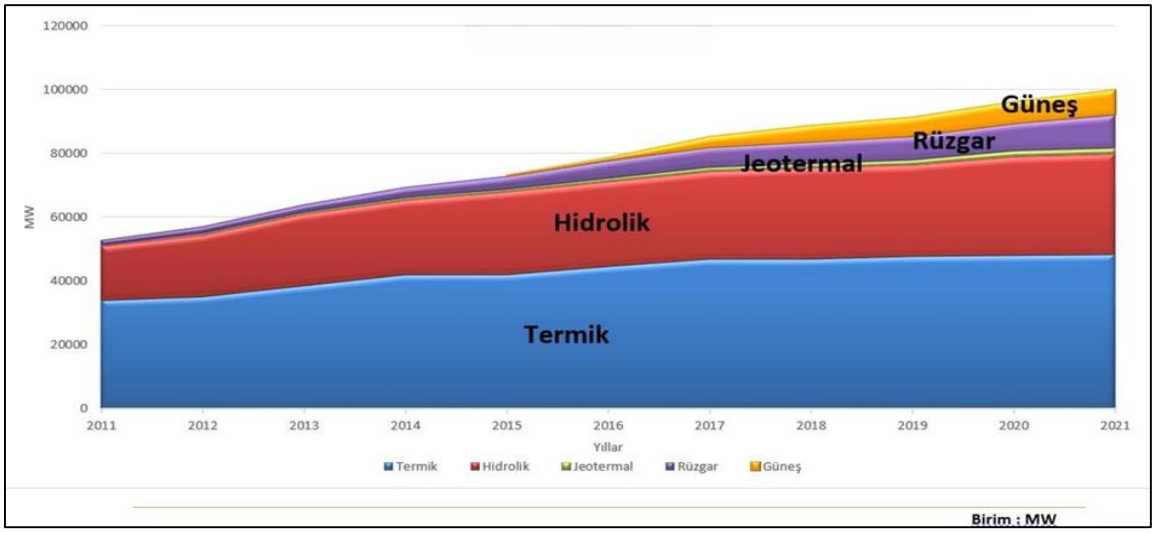
Doğal hallerinde bulunan ve herhangi dönüşüm veya işleme tabii tutulmayan kaynaklar, birincil kaynaklardır. Kaynaklar bakımından yenilenebilir türlerine ve fosil grubundan doğalgaz, kömür, petrol gibi yakıtlara örnekler verilebilir.

Şekil 3.2'e göre güneş enerjisinden yararlanma oranının 2010'dan sonra yükseldiği görülmektedir. 2015 yılı öncesinde güneş kaynağının kurutma ve sıcak su üretimi gibi amaçlarla kullanılırken, sonrasında elektrik enerjisi üretimi amacıyla yararlanılmaya başlanmıştır [28].



Şekil 3.2. Yıl bazlı güneş enerjisinin Türkiye'de kullanılma durumu (1000 TEP)

Elektrik üretim oranlarına bakıldığında 2014 yılı dönüm noktası olmuştur. Şekil 3.3'te ve Çizelge 3.1.'de görüleceği üzere elertrik üretiminde güneş kaynağı 2014 yılına kadar yoktur [29].



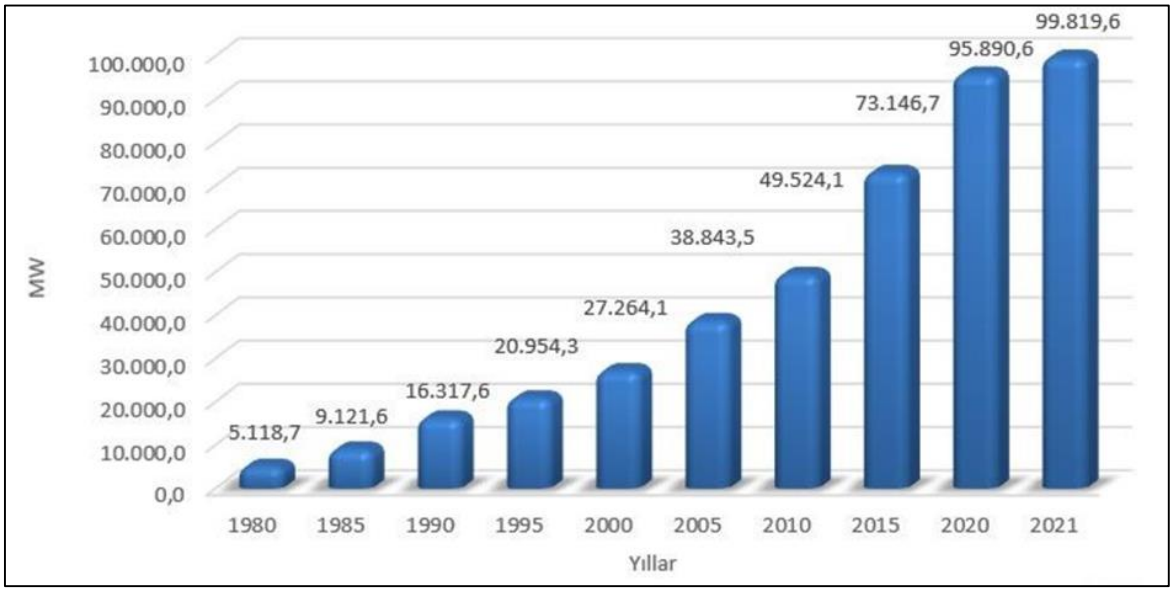
Şekil 3.3. Birincil enerji kaynaklarının Türkiye kurulu gücündeki payı [29]

Çizelge 3.1. Kurulu gücünün mw bazında birincil enerji kaynaklarını gelişimi [29]

	Termik	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2011	33.931,10	17.137,10	114,20	1.728,70	0,00	52.911,10
%	64,13	32,39	0,22	3,27	-	100,00
2021	48.228,26	31.492,58	1.676,17	10.606,97	7.815,63	99.819,61
%	48,32	31,55	1,68	10,63	7,83	100,00

3.1. Elektrik üretiminde güneş enerjisinden yararlanma

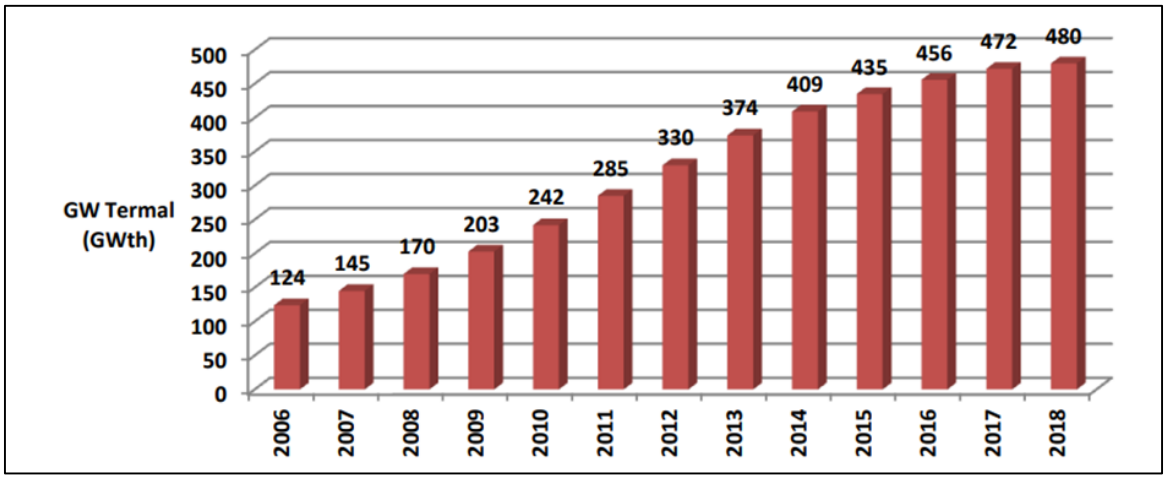
Şekil 3.4.'de Türkiye'nin toplam kurulu gücü ve yıllara göre dağılımı verilmiştir. Şekil 3.4.'de ise güneş enerjisinin kurulu güçteki payı sunulmuştur. Kaynağı güneş olarak elektrik üretimi 2013-2014 yıllarında Türkiye'de görülmeye başlanmıştır. 2021 yılında üretim 7 815,8 GWh olarak gerçekleşmiştir. 2021'deki üretimlerine göre güneş bazlı üretimin tüm üretimdeki payı %7,83'tür [29].



Şekil 3.4. Türkiye kurulu gücünün gelişimi [29]

3.2. Termal güneş enerji sistemleri

Termal sistemler günümüzde, yüzey alanlarında ısıtma, soğutma yapılması, kurutma işlemlerinde, sıcak su eldesinde, profesyonel mutfaklarda, endüstride, buhar vb. bir çok alanda kullanılmaktadır. Şekil 3.5'da ısıl güneş kapasitesinin dünya bazında yıllara göre değişimi görülmektedir [30].



Şekil 3.5. Isıl güneş kapasitesinin Dünyada zamana bağlı değişimi

Türkiye'de termal güneş enerji sektöründe genişleme yaşanmıştır fakat resmi kayıtlarda bulunmayan küçük işletmelerin pazardaki payının ciddi rakamlarda olmasından kaynaklı olarak net bir veri vermek zordur. Sadece 2015 senesinin sonlarında uygulamaya konulan termal güneş enerjisi sistemleri Türkiye'nin senelik doğalgaz gereksinimin neredeyse %10 oranını karşıladığı görülmüştür [30].

Güneş enerji kaynaklı yöntemlerin belirlenmesinde TS EN 12975-1+A1, TS EN 12976-1, TS EN ISO 9806, TS 13594 standartları kullanılabilir [31]. Güneş enerjisi kaynaklı kullanımları desteklemek adına 5346 sayı numaralı Yenilenebilir Enerji Kaynakları kanununda güneş sistemleri önceliklendirilmiştir [32].

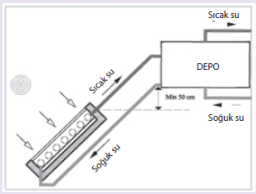
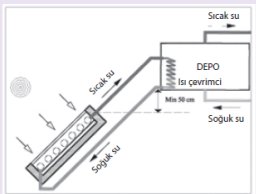
3.3. Güneş enerji kaynaklı su ısıtma sistemleri

Güneş enerjisi yardımıyla içerisinden geçen sıvıyı ısıtma biçimi popülerdir. Türkiye'de güneş enerjisi kaynaklı en çok kullanılan alansa sıcak su elde edilmesidir [19]. Bu sistemler, kollektörler, sıvının depolandığı tanklar, gerekirse pompa, borular ve gerekli kontrol elemanlarını içeren bileşenlerden oluşur. Bu sistemlerin tasarımı, hazırlanacak suyun kullanılacağı yer ve amaca göre değişiklik gösterir. Güneş kaynaklı sıcak su elde etme yöntemleri, çeşitli sınıflandırmalara buna bağlı olarak da tasarımlara sahiptir.

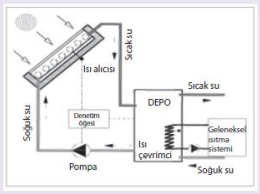
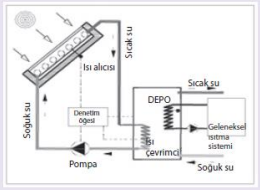


Şekil 3.6. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması [19]

Su dolaşımına göre sınıflandırılan güneş enerji kaynaklı sıcak su elde etme sistemlerinin açık veya kapalı devre olması durumunda tasarlanacak sistemi etkileyecek genel özellikleri Şekil 3.7. ve 3.8.'da belirtilmiştir.

		Çalışma özellikleri	Olumlu özellikleri	Olumsuz özellikleri
Doğal Dolaşımlı Açık Devre		• Pompa gerekmez • Akışkan kullanım suyudur • Depo toplaçların üstünde yer alır	• Ekonomiktir • Verim yüksektir • İşletme bakım kolaydır • Az bileşenli ve basittir. • İşletim masrafı yoktur	• Korozyon olasılığı vardır • Donma olasılığı vardır • Soğuk iklimlerde uygun değildir • Mimariyle uyumu zordur
Doğal Dolaşımlı Kapalı Devre		• Pompa gerekmez • Akışkan antifriz özelliklidir • Depo toplaçların üstünde yer alır	• Ekonomiktir • Soğuk iklime uygundur • Donma olasılığı düşüktür • İşletim masrafı yoktur • Korozyon olasılığı yoktur	• Mimariyle uyumu zordur • Verimdaha düşüktür • Depo yerleşimi esnek değildir • Mimariyle uyumu zordur

Şekil 3.7. Tabii dolaşımlı güneş enerji kaynaklı su ısıtma sistemlerinin karşılaştırması [20]

Zorlanmış Dolaşımlı Açık Devre		• Pompa gerekir • Akışkan kullanım suyudur • Depo toplaçlardan ayrı olabilir	• Depo yerleşimi esnektir • Mimariyi zorlamaz • Verim yüksektir	• Donma sorunu vardır • Korozyon sorunu vardır • Çok bileşenli ve karmaşıktır • İşletim gideri vardır • Pahalıdır
Zorlanmış Dolaşımlı Kapalı Devre		• Pompa gerekir • Akışkan antifriz özelliklidir • Depo toplaçlardan ayrı olabilir	• Her koşulda güvenilirdir • Soğuk iklime uygundur • Depo yerleşimi esnektir • Mimariyi zorlamaz • Donma sorunu yoktur • Korozyon sorunu yoktur	• Pahalıdır • Elektrik tüketir • İşletim gideri vardır • Çok bileşenli ve karmaşıktır • Verim daha düşüktür

Şekil 3.8. Zorlanmış dolaşımlı güneş kaynaklı su ısıtma sistemlerinin karşılaştırması [20]

4. NANOAKIŞKANLAR VE NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji, Ulusal Nanoteknoloji Girişimi tarafından, yaklaşık 1 ila 100 nm boyutlarındaki malzemelerin anlaşılması ve kontrol edilmesi olarak tanımlanır; bu benzersiz olgular, yeni uygulamaların ortaya çıkmasını sağlar. Nanoskala bilimi, mühendisliği ve teknolojisini kapsayan nanoteknoloji, bu boyutta maddeyi fotoğraflama, ölçekleme, modelleme ve manipüle etmeyi içerir. Nanoyapılı malzemeler, nanopartiküller, nanotel, nanotüpler, nanorodlar, nanoporu maddeler ve birçok başka yapı olabilir.

On yıl önce, modern nanoteknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, baz sıvılarda karıştırılmak üzere mikrometre boyutundaki parçacıklar yerine nanometre boyutundaki parçacıklar (genellikle 100 nm'den daha küçük) kullanılmaya başlandı [33]. Nanopartiküllerle karıştırılan sıvılar, nanoakışkan olarak bilinir ve bunların ısıl iletkenliği, karşılık gelen baz sıvılardan daha yüksektir [34]. Genel olarak, nanoyapılı malzemeler, aynı bileşime sahip yığın malzemelere kıyasla farklı ve benzersiz özellikler sergiler. Son yıllarda, baz sıvılara nanopartikül eklemenin ısı değiştiricilerin verimliliği üzerindeki etkisini anlamak için birçok araştırma yapılmıştır. Nanopartiküller, suyun yoğunluğunun üç katından daha fazla yoğunluğa ve yüksek iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle, nanopartiküllerin suya eklenmesiyle, yeni sıvının (nanoakışkan) yoğunluğu artar. Aynı hacimsel akış hızı için, nanoakışkanın kütlesel akış hızı, suyun kütlesel akış hızından daha fazla olacaktır. Bu yoğunluk artışı, ısı transfer hızını artırır [35].

Nanoakışkanlar, kullanılan baz akışkan ve nanoparçacık türlerine göre farklı kategorilere ayrılabilir. Bu türler arasında saf metalik nanoakışkanlar, seramik nanoakışkanlar, alaşım nanoakışkanlar ve karbon esaslı nanoakışkanlar bulunur. Seramik nanoakışkanlar, üretim kolaylığı ve süspansiyon içindeki kararlılıkları nedeniyle yaygın olarak kullanılır. CuO, SiO2, MgO, Al2O3, Fe2O3, ZnO2, TiO2 ve CeO2 gibi materyaller, seramik nanoakışkanlara örnek olarak verilebilir.

Çizelge 4.1. Metaller, metal oksitler ve baz akışkanların ısı iletim katsayıları [36]

Metaller	Isı İletim Katsayısı(W/mK)
Bakır(Cu)	398
Grafit	145
Gümüş (Ag)	412
Nikel (Ni)	102
Alüminyum (Al)	273
Demir (Fe)	80
Metal Oksitler	
TiO2	8,4
SiO2	10,4
Al2O3	42,3
MgO	48,4
CuO	32,9
Fe2O3	7
ZnO	110
Akışkanlar	
Etanol	0,172
Su	0,608
Gliserol	0,285
Motor yağı	0,117
Etilen glikol	0,257

4.1. Nanoakışkanların Termal Ve Fiziksel (Termofiziksel) Özellikleri

Bir malzemenin termofiziksel özellikleri, ısıl iletkenlik, özgül ısı, viskozite ve yoğunluk gibi özelliklerin yanı sıra, basınç, sıcaklık ve özgül hacim gibi termodinamik hal değişimlerini içerir. Nanoakışkanlar, temel akışkanlara nano boyuttaki parçacıkların eklenmesiyle elde edilen sıvılardır ve bu eklemeler, akışkanın termofiziksel özelliklerinde iyileşmelere yol açar. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin gelişmesi, özellikle ısıl iletkenlik, özgül ısı ve viskozitenin artmasıyla ısıl performansı artırır. Bu gelişmeler, şekil, cins, büyüklük gibi kullanılan nanoparçacıkların fiziksel özelliklerine, derişim oranına, çalışma sıcaklığına ve baz akışkanın türüne bağlı olarak değişir. Bu özelliklerdeki değişimler, nanoakışkanların

verimliliğini ve uygulama potansiyelini doğrudan etkiler.

Isı iletim katsayısı

Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı, temel akışkan içerisine eklenen nanoparçacıklar sayesinde artmaktadır. Katıların ısı iletim katsayısının daha yüksek olması, nanoparçacıkların yüzeylerinde nanokatmanlar oluşturarak ısı köprüsü işlevi görmesinden kaynaklanır [37]. Temel akışkanın ısı iletim katsayısı da nanoakışkanın iletim katsayısını etkiler. Baz akışkanın içindeki nanoparçacıkların payı arttıkça ısı iletimi katsayısı da yükselir. Buna karşın yüksek derişim çökelme gibi problemlere yol açabilir. Ayrıca, nanoparçacık türü ve şekli de önemli rol oynar. Murshed ve diğerlerinin nanoparçacıkların şeklinin ısı iletim katsayısına etkisini inceledikleri çalışmalarında temel akışkana kıyasla şekil açısından; silindirik nanoparçacıkların %33 küresel nanoparçacıkların ise %30 ısı iletim katsayısını daha fazla artış olduğu görülmüştür [38]. Küçük boyutlu nanoparçacıklar, akışkan içinde daha serbest hareket ettiklerinden, büyük boyutlulara göre daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptir.

Özgül ısı

Isı verilerek belirli maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1℃ artırmak amacıyla gereken enerji miktarını ifade eder. Çalışma akışkanının termal sistemlerde seçimi için kayda değer bir faktördür. Nanoakışkanlarda özgül ısı kapasitesini, nanoparçacık tipi, kullanılan baz akışkan türü ve baz akışkanın içindeki nanoparçacıkların payına göre değişir. Ancak yapılan araştırmalar, nanoparçacıkların şekil ve boyut özelliklerinin özgül ısısı için herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir [39, 40].

Viskozite

Viskozite, akışkan akışını etkileyen önemli bir parametre olup, pompa türü, basınç düşüşü ve aşınma gibi faktörleri belirler. Nanoakışkanlarda, nanoparçacıkların viskozite üzerindeki etkileri büyük önem taşır. Yapılan çalışmalar, nanoparçacıkların türü, boyutu, şekli ve derişim oranının viskoziteyi etkilediğini göstermiştir. Derişim oranı, viskoziteyi en çok etkileyen parametredir; yani nanoparçacık miktarı arttıkça viskozite de artar. Ayrıca, nanoparçacıkların şekli ve boyutu da viskoziteyi etkiler. Aynı derişim oranında, daha büyük

nanoparçacıklar içeren nanoakışkanların viskozitesi daha yüksektir. Nguyen ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, küçük ve büyük alümina nanoparçacıkları kullanılmış, büyük boyutlu nanoparçacıklara sahip nanoakışkanların viskozitesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [41].

Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunluğu, en fazla baz akışkanın içindeki nanoparçacıkların payıyla ilişkilidir. Nanoakışkanlarda, derişim oranının arttığında yoğunluğun da arttığı görülmüştür [42, 43]. Nanoparçacıkların ilave edilmesiyle, birim hacimdeki akışkan miktarı sabit kalırken, toplam kütledeki artış nedeniyle çözeltinin yoğunluğu daha yüksek olur. Nanoparçacıkların şekli, türü, boyutu yoğunluğu değiştirmez.

4.2. Nanopartiküllerin Baz Akışkanla Dağılımının Faydaları

Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada nanopartiküllerin baz akışkana uygun şekilde dağılması sonucu sağladığı faydalar şu şekilde belirtilmiştir [44]:

- Yüksek Isı İletimi: Nanopartiküller, akışkan içinde geniş bir ısı transfer alanı oluşturarak daha yüksek ısı iletimi sağlar. Özellikle 20 nm'den küçük nanopartiküller, yüzeylerindeki yüksek atom oranı sayesinde hızlı termal etkileşim sağlar. Nanopartiküllerin hareketliliği de ısı transferini artırır.
- Kararlılık: Nanopartiküller hafif olduğu için baz akışkan içinde homojen bir şekilde dağılır ve çökelme riski düşer. Bu da mikrokanallı ısı değiştiricilerdeki tıkanma sorununu ortadan kaldırır.
- Düşük Aşınma İhtimali: Nanopartiküller küçük boyutları nedeniyle, ısı eşanjörleri, pompalar gibi sistemlere zarar verme ihtimalleri düşer.
- Düşük Pompalama Gücü Gereksinimi: Nanopartiküllerle hazırlanan nanoakışkanlar, ısıl iletkenlikteki artış sayesinde daha düşük pompalama gücü gerektirir, ancak baz akışkanın yoğunluğunu artırmazlar.

4.3. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanlar, baz akışkanın kimyasal özelliklerini değiştirmeyecek ve çökelme

oluşturmayacak şekilde kararlı bir süspansiyon olarak hazırlanmalıdır. Nanoakışkanların hazırlanma süreci, tek ve iki kademeli olmak üzere iki yönteme ayrılır.

Tek kademeli metod

Nanopartiküllerin eşzamanlı olarak fiziksel buharlaştırma veya kimyasal yöntemle üretilip baz akışkana karıştırılması metodudur. Bu yöntemde nanopartiküllerin havayla teması engellenir, bu da özellikle ısıl verimi yüksek ve çabuk oksitlenebilen metaller (örneğin bakır ve gümüş) için uygundur. Ancak, bu yöntem yalnızca baz akışkanının düşük buhar basıncına sahip olması durumunda uygulanabilir [45].

İki kademeli metod

Kuru toz halindeki nanoparçacıkların fiziksel veya kimyasal olarak elde edildikten sonra baz akışkana karıştırılması metodudur. Nanopartiküller baz akışkana doğrudan eklendiğinde genellikle topaklanma eğilimindedir. Bu topaklanmayı engellemek için, karışıma yüzey aktifleştirici eklenir ve ultrasonik karıştırıcıda belirli bir süre bekletilir. İki adım yöntemi genellikle ametal ve oksit nanoparçacıklar için uygulanır [45].

5. TEORİK HESAPLAMALAR

Tasarımı yapılan ve üretilmiş olan helisel sargılı güneş enerji sistemimiz için sayısal analiz yapılmak istenildiği takdirde enerji ve ekserji analizleri kullanılabilir. Reynolds ve Nusselt sayıları denklemlerle hesaplanabilir [46].

$$Re = \frac{\rho_w v_i D_h}{\mu_w} \tag{5.1}$$

$$Nu = \frac{hD_h}{k_w} \tag{5.2}$$

Kollektörden elde edilen faydalı enerji şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{Q} = \dot{m}.C_p.(T_{w,o} - T_{w,i}) \tag{5.3}$$

Güneş kollektörünün termal verimliliği, performansın tahlil edilmesinde kritik bir parametre olup şu şekilde hesaplanabilir:

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}}{IA} \tag{5.4}$$

Ekserji, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının birleşimi olarak tanımlanır. Bu analiz, ısıl sistemlerin tasarım aşamalarında sıklıkla kullanılır. Ekserjinin genel formülü şu şekilde edilebilir [47]:

$$\sum \dot{E}x_{i,net} - \sum \dot{E}x_{o,net} = \sum \dot{E}x_{loss} \tag{5.5}$$

Aşağıdaki denklem aracılığıyla ekserji verimliliği hesaplanabilir [48]:

$$\eta_e = \frac{\sum \dot{E}x_{o,net}}{\sum \dot{E}x_{i,net}} = 1 - \frac{\sum \dot{E}x_{loss}}{\sum \dot{E}x_{i,net}} \tag{5.6}$$

Güneş enerjili su kollektörünün net giriş ekserjisi şu denklem aracılığıyla hesaplanabilir [49]:

$$\sum \dot{E}x_{i,net} = IA\left[1 - \frac{4}{3}\left(\frac{Ta}{Ts}\right) + \frac{1}{3}\left(\frac{Ta}{Ts}\right)^4\right] \quad (5.7)$$

Bunun yanı sıra, güneş enerjili su ısıtma sisteminin net çıkış ekserjisi aşağıdaki şekilde elde edilebilir [50, 51]:

$$\sum \dot{E}x_{o,net} = \dot{Q}\left(1 - \frac{T_a}{T_{w,o}}\right) \quad (5.8)$$

Sürdürülebilirlik indeksi, ekserjiye dayalı bir faktör olup, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [52]:

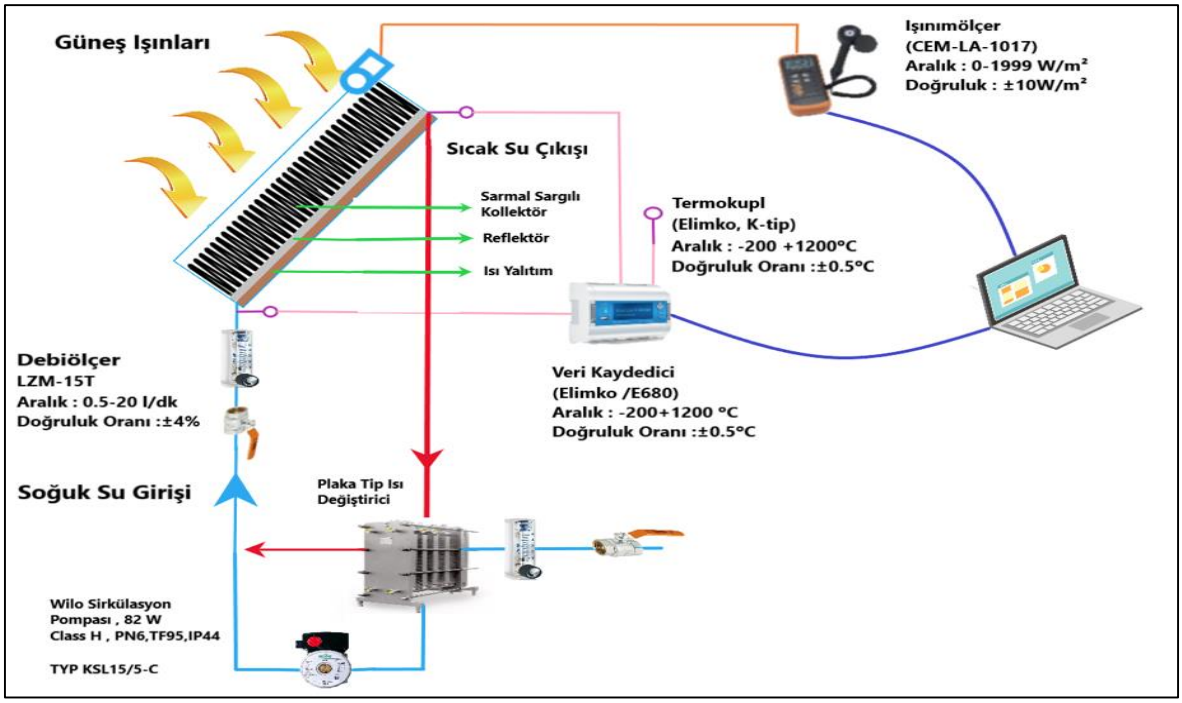
$$SI = \frac{1}{1-\eta_e} \quad (5.9)$$

Deneysel belirsizlik, deneysel sonuçların analizinde önemli bir parametre olup, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1}w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2}w_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n}w_n\right)^2\right]^{1/2} \quad (5.10)$$

6. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, yüksek ısıl verim sağlamak amacıyla helisel diğer adıyla sarmal sargılı güneş enerjili kollektör tasarlanmış ve soğurucu yüzey silindirik olarak şekillendirilmiştir. Silindirik tasarım, güneş ışınlarının farklı açılarda gelmesini sağlayarak kolektörün verimli ısıl soğurmasını ve verimi artırmasını hedefler. Ayrıca, bu tasarım geleneksel kolektörlere kıyasla daha küçük bir hacimde daha yüksek verimlilik sunmaktadır. Kolektör camı, dış yüzeyde maksimum emilim sağlamak için düz, iç yüzeyde ise güneş ışınımının atmosfere geçmesini engellemek için pürüzlü cam kullanılmıştır. Sistemde suya ek, çalışma sıvısı olarak nanoakışkan da kullanıldığı için bir pompa sistemi de yer almıştır. Sarmal sargılı kolektörün performansı, farklı debilerde yapılan testlerle karşılaştırılmış ve su ile yapılan denemelere ek olarak MgO-TiO2/su ve MgO-CuO-TiO2/su nanoakışkan karışımları ile de deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 6.1'de çalışma kapsamında hazırlanan düzeneğinin tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Deney düzeninin görsel olarak temsili

Çalışmamızda, sarmal sargılı bir güneş kollektörü üretilmiş ve deneysel analizleri yapılmıştır. Geliştirilen güneş kollektöründe sarmal sargılı boru kullanılmış olup, boru tipi olarak bakır tercih edilmiştir. Sistemde kullanılan bakır borunun çapı 8 mm'dir. Ayrıca,

geliştirilen sarmal kollektörün çapı 85 mm'dir. Bobin hatvesinin çapı ise 15 mm, toplam bobin dönüş sayısı ise 49 adet olarak belirlenmiştir.

Sarmal yapı kullanılması, küçük bir hacimde soğurucu yüzeyin artırılmasına olanak verir. Sistemde kullanılan sarmal kollektör, % 95 emiciliğe sahip endüstriyel tip mat siyah boya sürülerek hazırlanmıştır. Kollektörün kasası üretilirken 4 mm kalınlığında, %92 geçirgenliğe sahip cam dikdörtgenler prizması tercih edilmiştir. Helisel diğer adıyla sarmal sargılı kollektörün alt kısmına da güneş ışınlarının ulaşması amacıyla prizmanın alt iç yüzeyine bir reflektör plaka yerleştirilmiştir. Açık şekilde tasarlandığı takdirde kollektörün arka tarafında ısı kayıpları oluşacağı için bu kayıpları önlemek adına kollektör alt kısmı ısıl olarak yalıtılmıştır.



Resim 6.2. Deney Resimleri

Tasarlanan ve üretilen sarmal sargılı güneş enerjili su kollektörü testleri, Eylül ayında Ankara, Türkiye'de yapılmıştır. Bu çalışmada, farklı debi ve çalışma sıvılarının etkileri incelenmiştir. Geliştirilen sarmal sargılı güneş enerjili su kollektörü testleri, farklı debi ve çalışma sıvılarının ısıl ve ekserji performansları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 2 farklı debide ve 3 farklı sıvıda gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasıyla 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk

debileri için su, MgO-TiO2/su ve MgO-CuO-TiO2/su çalışma sıvıları için yapılmıştır. Hibrit ve trihibrit nanoakışkanların kullanıldığı deneylerde, baz akışkanla nanoakışkanlar %2 oranında sentezlenmiştir. Konsantrasyonların belirlenmesinde gr/gr kütlesel yaklaşımı dikkate alınmıştır. 3. ve 5. deneylerde 490 gram saf suya, hassas terazi kullanarak yaklaşık 10 gram nanokarışım eklenmiştir. Çökelme ve topaklanmayı önlemek amacıyla da bu karışımlara 2 gram Trizen X-100 eklenmiştir. Karışım sonrasında daha kararlı bir nanoakışkan elde etmek için, hazırlanan karışımlar toplamda 4 saat ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Aynı işlemler 4. ve 6. deneyler için 882 gram saf suya 18 gram nanokarışım ve yaklaşık 4 gram Trizen X-100 eklenmesiyle tekrarlanmıştır.

2 farklı debide ve 3 farklı sıvıda gerçekleştirilen deneyler toplamda 6 gün sürmüştür. Helisel sargılı güneş kollektörü deneyleri azimut açısı 0 olacak şekilde güneye yönlendirilmiştir. Ek olarak eğim açısı ise açısal yerleşiminde deney yapılan yerin yıllık eğim açısına karşılık gelen 40^0 seçilmiştir. Sistemin kararlı hale gelmesi için deneylere başlamadan, kapalı kollektörde 15 dakika su dolaşımı yapılmıştır. 6 gün süren deneylere, öğleden önce 10:00'da başlanmış ve öğleden sonra 16:00'da deneyler sonlandırılmıştır. Testlerde sıcaklık için ölçüm alınan noktalar kollektör girişi, kollektör çıkışı ve ortamdır. Sıcaklık değerleri 30 dakikada bir kaydedilmiştir.



Resim 6.3. Tasarlanan helisel sargılı güneş kollektörü

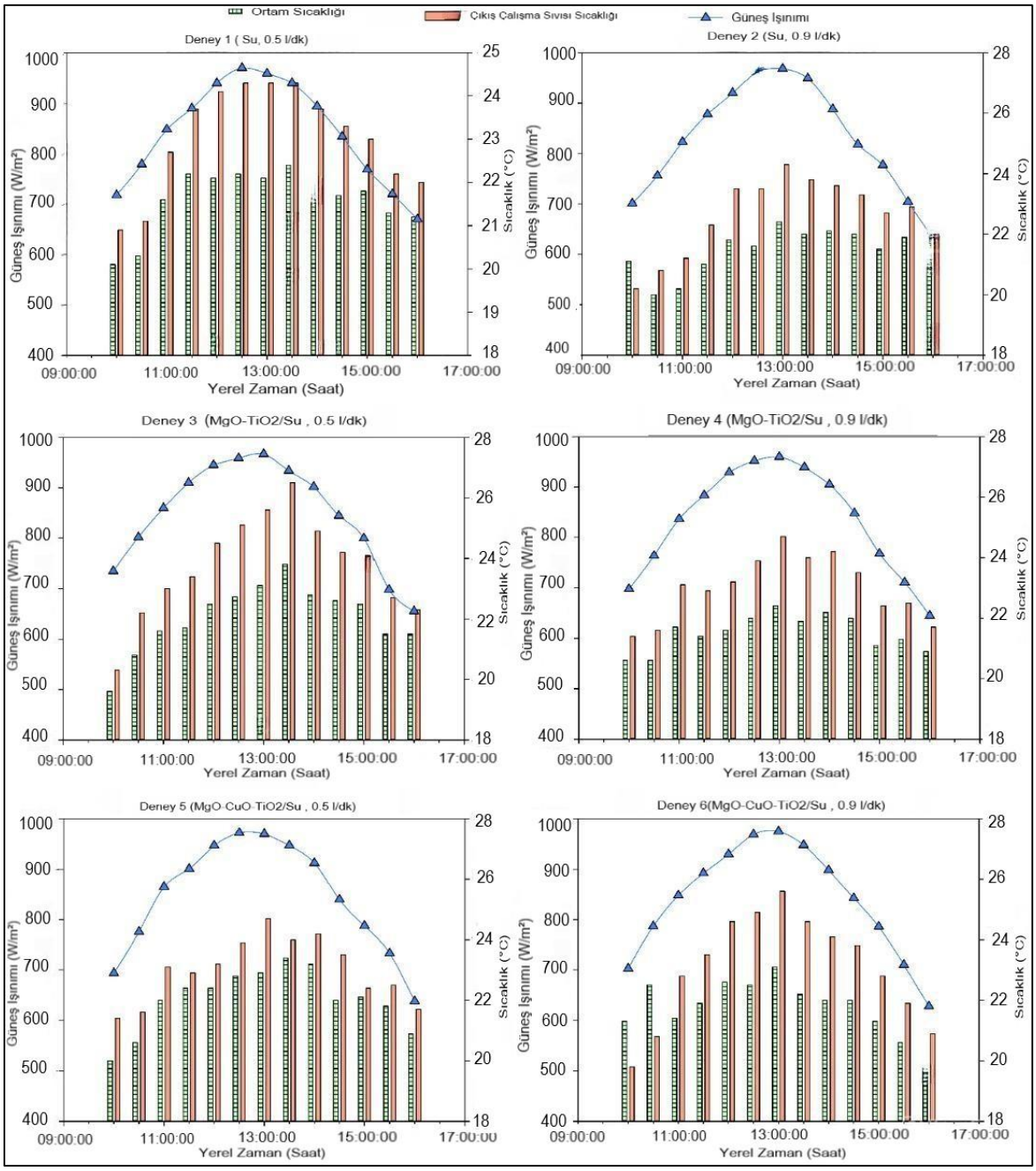
7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında yapılan deneyler 0,5 l/dk su için 1.deney, 0,9 l/dk su için 2.deney, 0,5 l/dk MgO-TiO2/su için 3. deney, 0,9 l/dk MgO-TiO2/su için 4. deney, 0,5 l/dk MgO-CuO-TiO2/su için 5. deney ve 0,9 l/dk MgO-CuO-TiO2/su için 6. deney olarak adlandırılacaktır. Şekil 7.1'de ölçülen solar radyasyon, ortam sıcaklığı ve çıkış sıvısı sıcaklıklarının değerlerinin zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir.

Helisel sargılı kollektörün deneylerinde elde edilen ortalama güneş ışınımı değerleri 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk için sırasıyla su akışkanında 840,84 W/m² - 829,02 W/m², MgO-TiO2/su akışkanında 847,08 W/m² - 833,85 W/m² ve MgO-CuO-TiO2/su akışkanında 844,84 W/m² - 839,76 W/m² olmuştur. En yüksek ve en düşük ortalama güneş ışınımı değerleri deney 3 ve deney 2'de kaydedilmiştir. Ayrıca en yüksek anlık güneş ışınımı değerlerinin 12:30 ile 13:30 saatleri arasında olduğu ve en yükseğinin 975 W/m² olduğu ölçülmüştür.

Deneyler eylül ayında yapılmıştır. Şekil 7.1'de ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Deneylerdeki ortalama çevre sıcaklıkları sırasıyla 1. deneyde 21,6 °C, 2. deneyde 21,44°C ve 3. deneyde 22,06 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 4. deneyde 21,51 °C, 5. deneyde 22,03 °C ve 6. deneyde 21,78 °C olarak kaydedilen ortam sıcaklıkları da rapor edilmiştir. En yüksek anlık ortam sıcaklığı değerleri 12:30 ile 13:30 saatleri arasında ölçülmüştür.

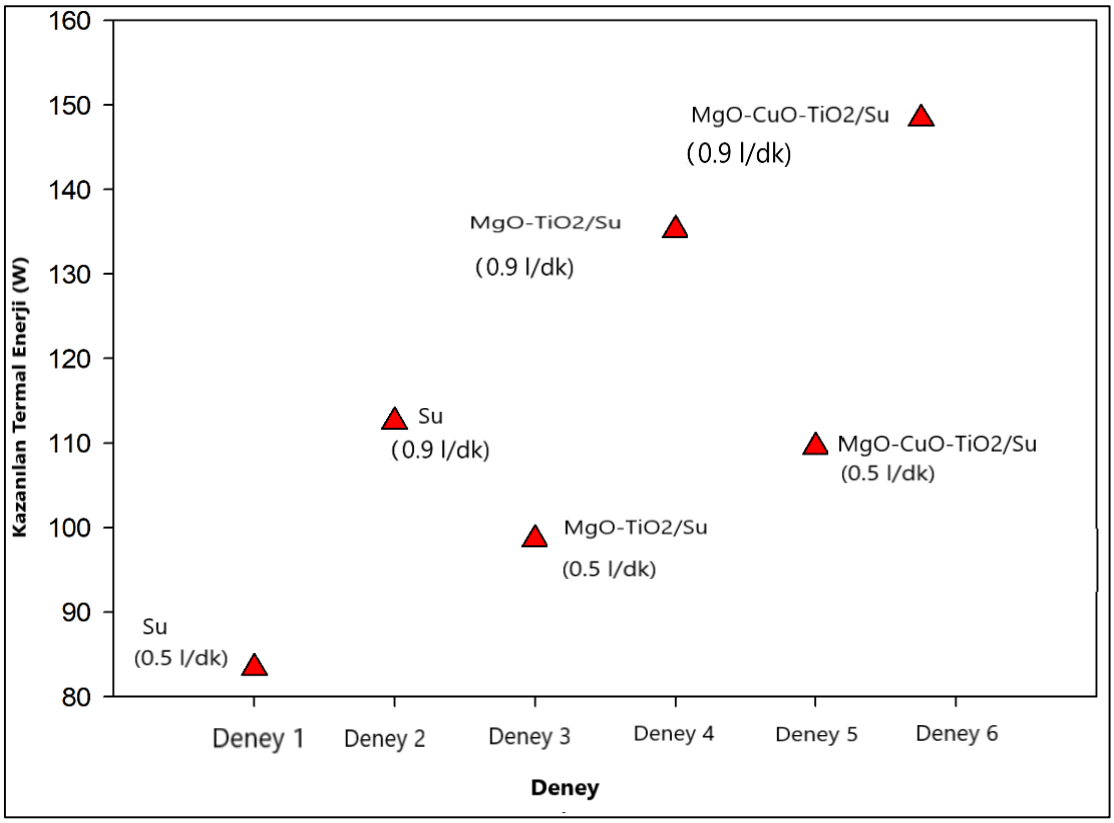
Çıkış çalışma sıvısı sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi şekil 7.1'de gösterilmiştir. Helisel sargılı kollektörün ortalama çıkış çalışma sıvısı sıcaklıkları sırasıyla 1. deneyde 23,05 °C, 2. deneyde 22,62 °C ve 3. deneyde 23,75 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 4. deneyde 23,01 °C, 5. deneyde 23,89 °C ve 6. deneyde 23,08 °C arasında ölçülmüştür. Düşük kütlesel debide yapılan deneylerde yüksek kütlesel debide yapılan deneylere kıyasla çıkış sıcaklıklarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 3 nanoakışkanın trihibrit şekilde su ile birlikte çalışma sıvısı olarak kullanıldığı 5. Deneyde ise diğer çalışma sıvılarına göre daha yüksek çıkış çalışma sıvısı sıcaklığı elde edildiği gözlemlenmiştir.



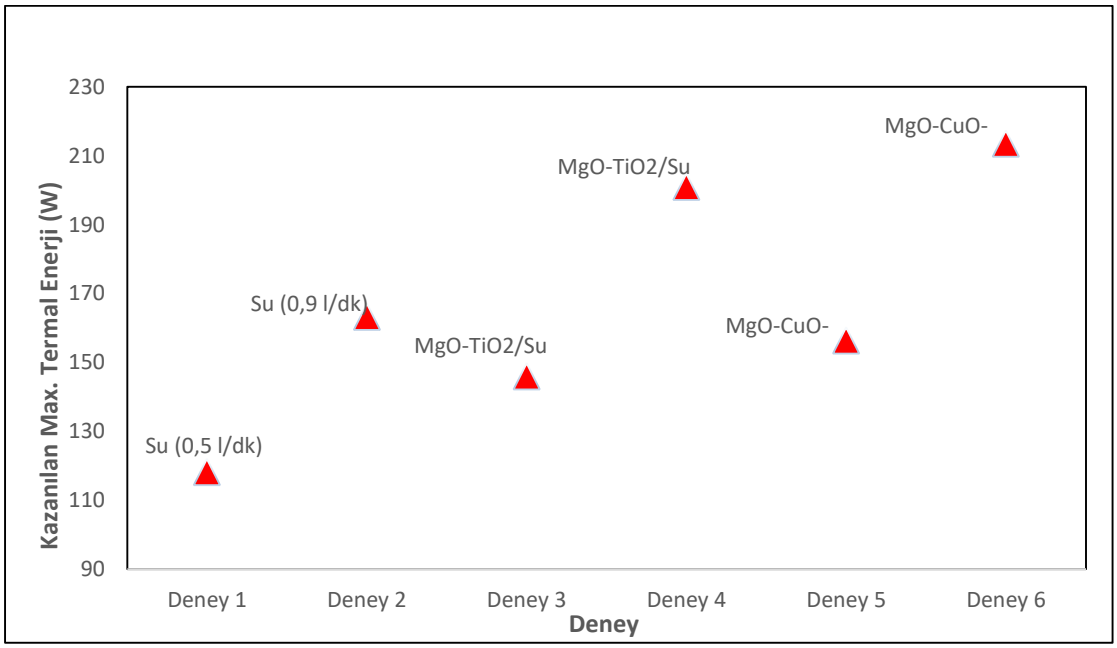
Şekil 7.1. Ölçülen solar radyasyon, çıkış ve ortam sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişimleri

Helisel sargılı güneş kollektöründe, farklı debi ve çalışma sıvıları için kazanılan ortalama termal enerji şekil 7.2'de gösterilmektedir. Kazanılan termal enerji ortalama değerleri sırasıyla 1. deneyde 83,36 W, 2. deneyde 112,51 W, 3. deneyde 98,60 W, 4. deneyde 135,20 W, 5. deneyde 109,55 W ve 6. deneyde 148,25 W olarak ölçülmüştür. Deneyler sırasında ölçülen kazanılan termal enerjinin maksimum değerleri ise 1. deneyde 118,10 W, 2. deneyde 163,21 W ve 3. deneyde 145,89 W olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 4. deneyde 200,88 W, 5. deneyde 156,30 W ve 6. deneyde 213,43 W olarak ölçülmüştür.

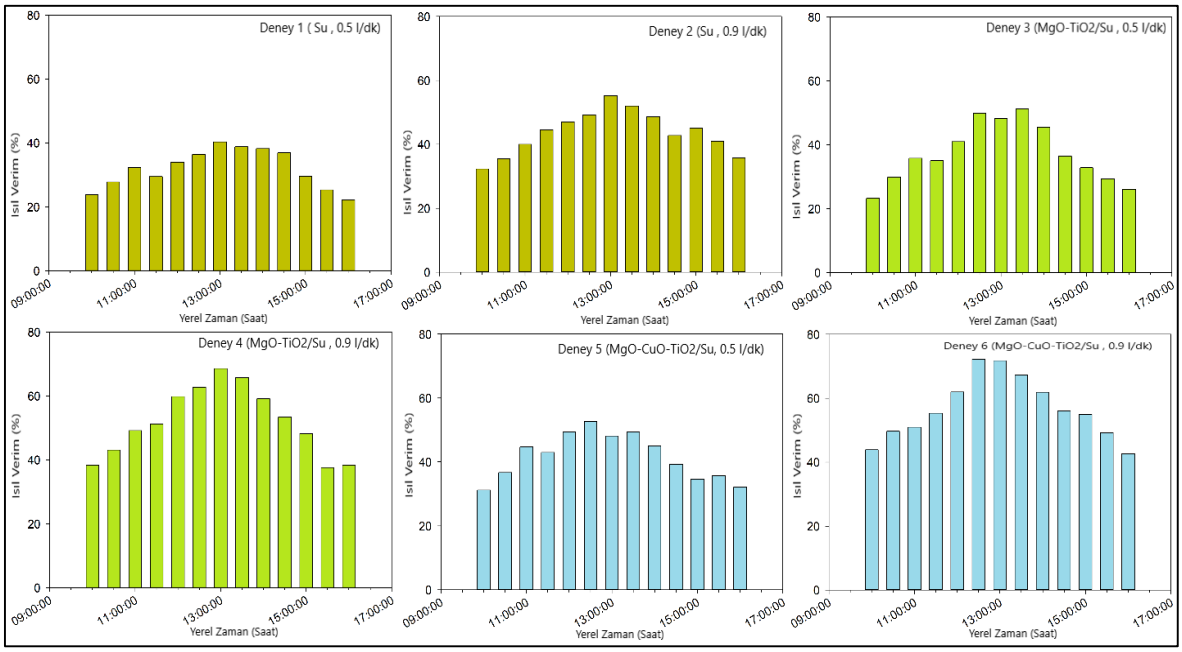
Kazanılan termal enerjinin maksimum değerleri şekil 7.3'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Deneylerde elde edilen ortalama ısıl enerji değerlerinin karşılaştırılması

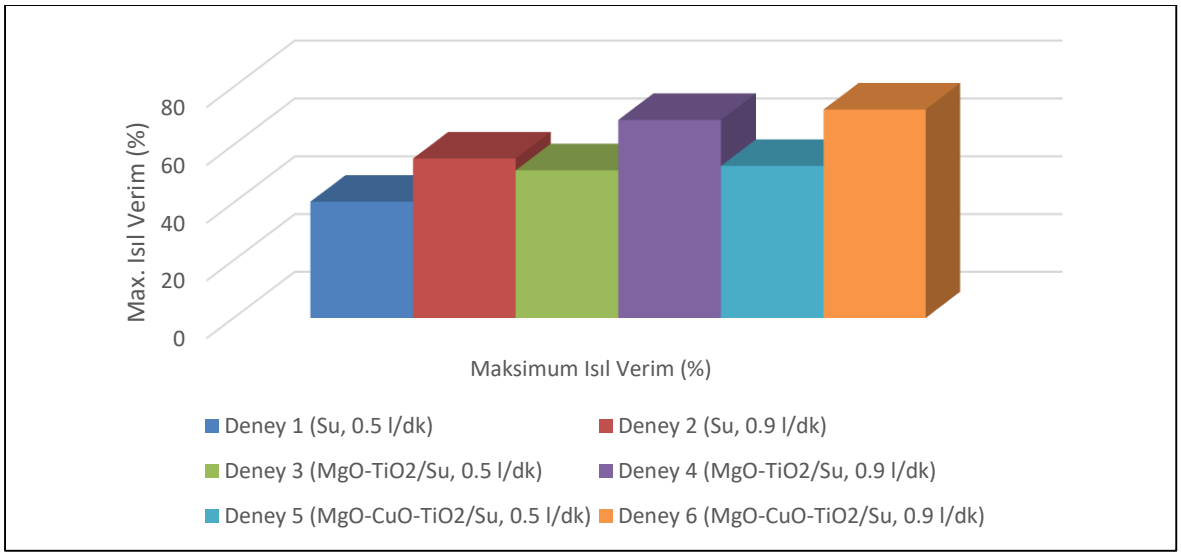


Şekil 7.3. Deneylerde elde edilen maksimum ısıl enerji değerlerinin karşılaştırılması



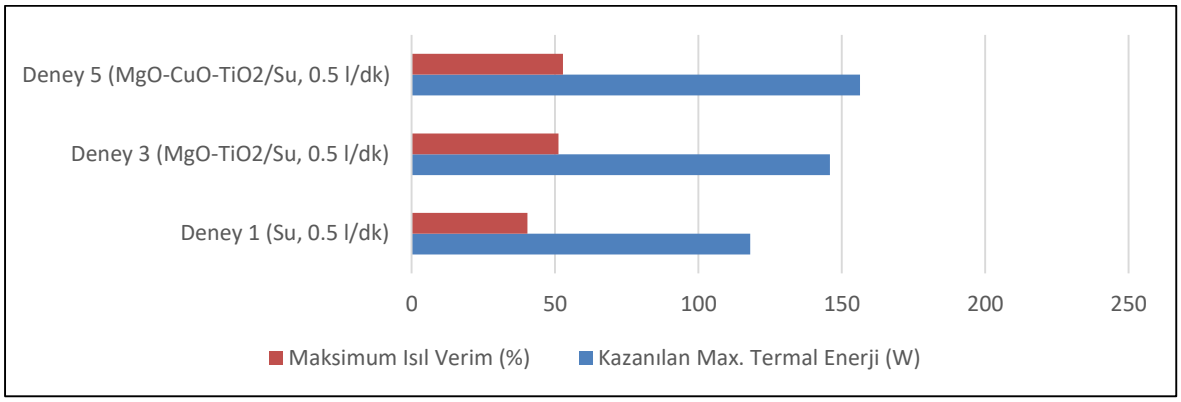
Şekil 7.4. Helisel borulu güneş kollektöründe ısıl verimin zamana bağlı değişimi

Helisel sargılı güneş enerjili kollektör yardımıyla yaptığımız deneylerde farklı debi ve çalışma sıvıları için termal verimlilik değerlerindeki zamana bağlı değişim şekil 7.4'de görülmektedir. Deneyler için ortalama ısıl verim değerleri sırasıyla 1. deneyde %31,9, 2. deneyde %43,76 ve 3. deneyde %37,24 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca 4. deney, 5. deney ve 6. deneylerde sırasıyla %51,95, %41,86 ve %56,77 olarak bulunmuştur. Maksimum ısıl verim değerleri ise sırasıyla %40,38, %55,28, %51,21, %68,61, %52,73 ve %72,22 olarak elde edilmiş olup şekil 7.5'de gösterilmiştir.

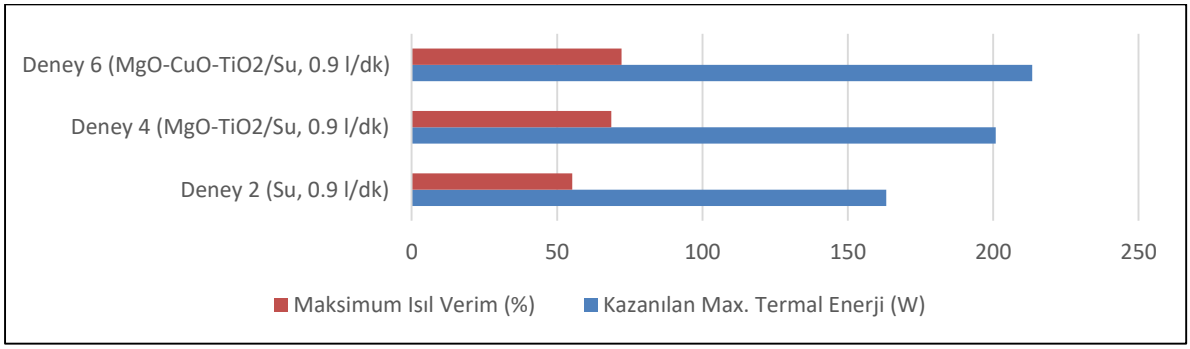


Şekil 7.5. Maksimum ısıl verimin farklı deneylere göre karşılaştırılması

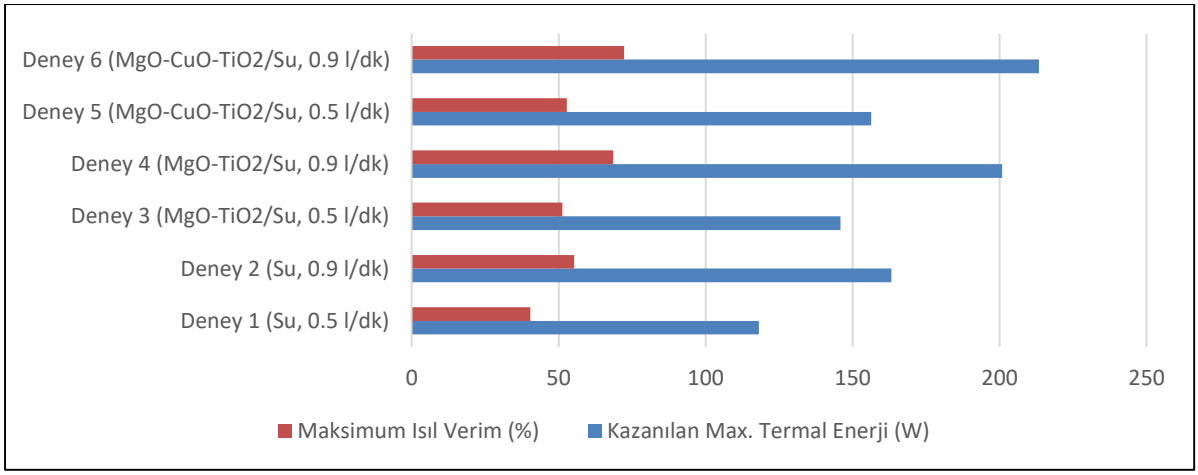
Deneylerde alınan ölçümlere göre hesaplanan kazanılan maksimum termal enerji ve maksimum ısıl verimlerinin debi ve çalışma sıvısı bazlı olarak oluşturulan karşılaştırma grafikleri şekil 7.6, 7.7 ve 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.6. 0,5 l/dk debi için maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması

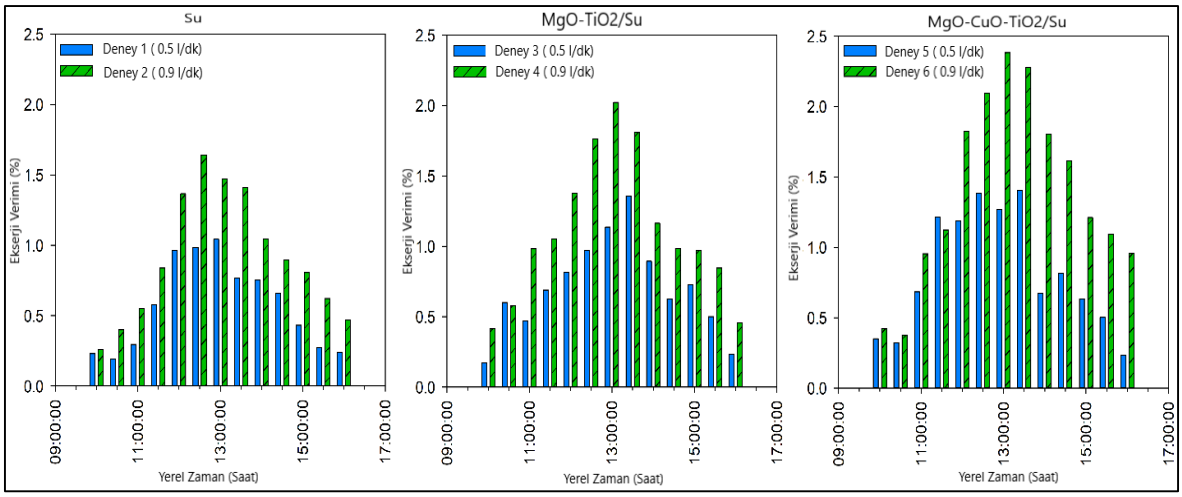


Şekil 7.7. 0,9 l/dk debi için maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması



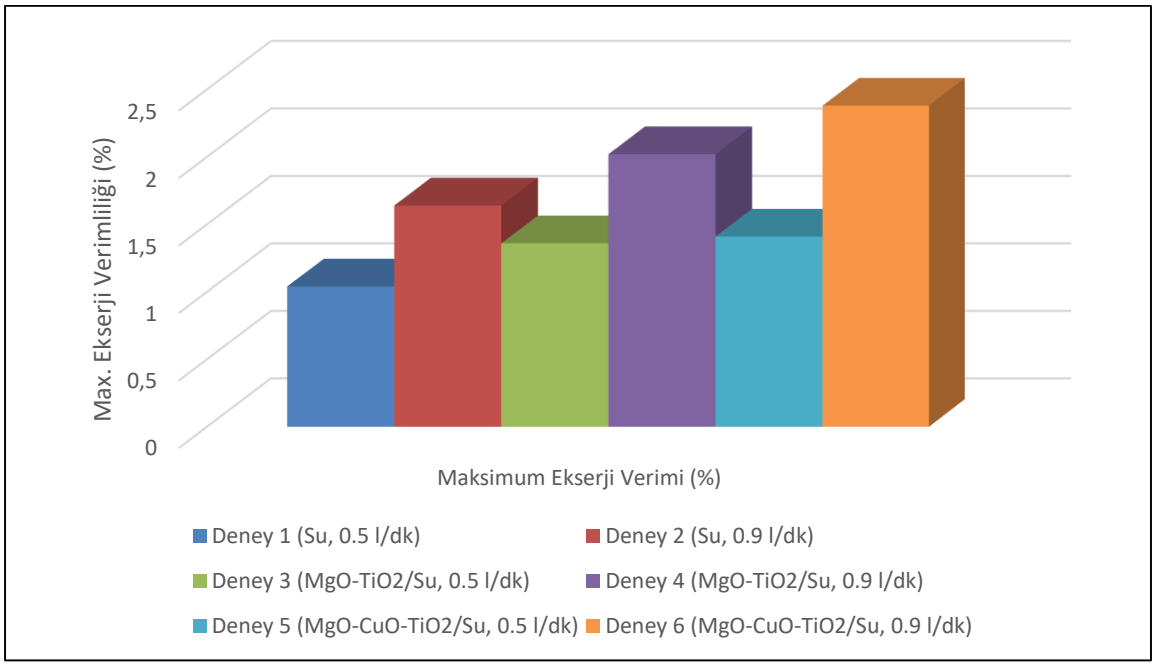
Şekil 7.8. Maksimum ısıl verimin ve kazanılan maksimum termal enerjinin karşılaştırılması

Helisel sargılı güneş enerjili kollektörün değişik debi ve akışkanlar üzerinde ekserji verimliliği değerlerindeki zamana bağlı değişimi şekil 7.9'da gösterilmektedir. Helisel sargılı güneş kollektörünün deneylerdeki ortalama ekserji verimliliği değerleri sırasıyla %0,56, %0,90, %0,70, %1,11 , %0,82 ve %1,39'dur.



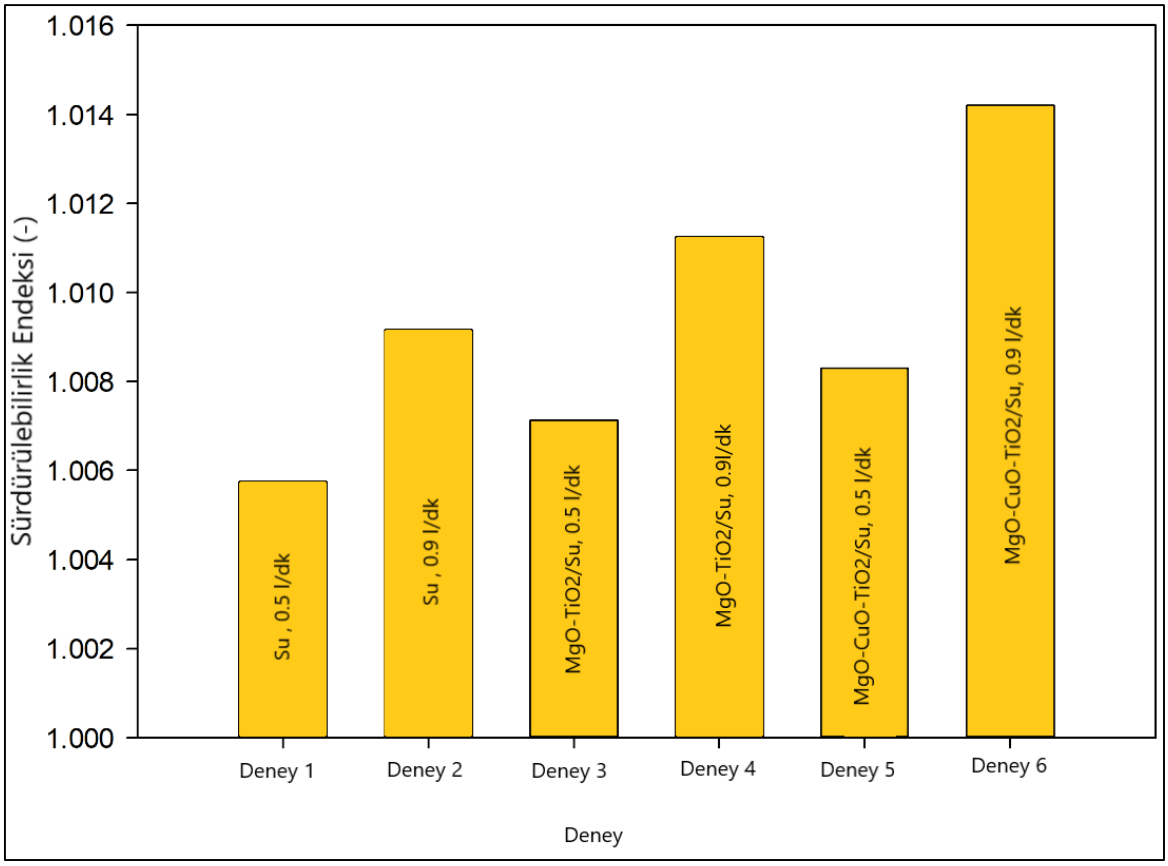
Şekil 7.9. Ekserji verimliliği değerlerinin zamana bağlı değişimi

Maksimum ekserji verimliliği değerleri deney sırasına göre %1,04, %1,64, %1,36, %2,02, %1,41 ve %2,38 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Maksimum ekserji verimliliği değerlerinin karşılaştırılması

Farklı debi ve çalışma sıvıları kullanılan sarmal sargılı güneş kollektöründen deneysel olarak elde edilen ortalama SI (Sürdürülebilirlik İndeksi) değerleri şekil 7.11'de gösterilmektedir. SI değerleri 1. deneyde 1,00574, 2. deneyde 1,00916 ve 3. deneyde 1,00713 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca 4. deney, 5. deney ve 6. deneylerde sırasıyla 1,01125, 1,00829 ve 1,01419 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.11. Deneysel olarak elde edilen Sürdürülebilirlik endeksi değerleri

Çizelge 7.1'de tez çalışmamızda tasarladığımız kollektörün, benzer çalışmalarla karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Çizelge 7.1. Tez çalışmasının literatür çalışmalarıyla karşılaştırılması

Kaynak Numarası	Kollektör Tipi	Debi	Kullanılan Akışkan	Bulgular
[16]	Düz yüzeyli prizmatik güneş kollektörü	-	Su	Prizmatik kollektörlü tasarım %15 verimlidir
[2]	Düz	-	Su	Isıl verimi artırmak için verimli eşanjör ve nitelikli yalıtım fayfalıdır
[24]	Düz plakalı	-	Su, TİO2-SİO2/Su, Fe3O4-SiO2/Su, ZnO-SiO2	Nanoakışkanlardan TiO2-SiO2/su, Fe3O4-SiO2/su, ZnO-SiO2 kullanılması durumunda ort. verimleri; %4,43, %16,25, %7,39 artış göstermiştir
[53]	Helisel	0,5-1,5 l/dk	Su	Termal verim 0.5 l/dk'de 27,17 - 1,5 l/dk'de 52,71 bulunmuştur
[5]	Helisel	-	Su	Isı transfer katsayısı, sarmal boru kullanılması durumunda düz boruya oranla %23 fazladır
[54]	Helisel	0,0083, 0,0167-0,033 kg/s	Su	Termal verimler yaklaşık %10 ile %7 aralığında bulunmuştur
[55]	Helisel	0,5 ve 0,9 l/dk	Su ve NiFe2O4/su	Isıl verim oranı yüksek debi ve su/NiFe2O4 manyetik nanoakışkanı ile yapılan performans testlerinde daha yüksek çıkmıştır
[56]	Helisel	-	SiO2/su, Ag/su	Transfer edilen ısı %8-23 aralığında arttırılmıştır
[57]	Gövde borulu	-	TiO2/su, Al2O3/su	Isı transfer katsayısı max. % 42,37 iyileştirilmiştir
[58]	U tipi	-	CuO/su, CuO-Al2O3/su	Deneyde CuO, Al2O3/su kullanarak max. %12 verim gerçekleşmiştir
[59]	Plakalı	-	TiO2/ su, TiO2-Al2O3/su	Nanoakışkanların hibrit şekilde uygulanması ısı transferini ort. %7,5-12,3 yükseltmiştir

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, helisel borulu bir güneş kollektörü dizayn edilerek deneysel incelemesi yapılmıştır. Deneylerde çalışma akışkanı su kullanarak iki farklı debide ölçümler alınmıştır. Sonrasında ısıl performansını mukayese edebilmek adına aynı debilerde MgO-Tio2/su ve MgO-CuO-TiO2/su çalışma akışkanlarıyla deneyler tekrarlandı. Böylece su, hibrit nanoakışkan/su ve tri hibrit nanoakışkan/su çalışma sıvılarıyla deneyler yapıldı. Çalışma kapsamında yapılan deneyler 0,5 l/dk su için 1.deney, 0,9 l/dk su için 2.deney, 0,5 l/dk MgO-TiO2/su için 3. deney, 0,9 l/dk MgO-TiO2/su için 4. deney, 0,5 l/dk MgO-CuO-TiO2/su için 5. deney ve 0,9 l/dk MgO-CuO-TiO2/su için 6. deney olarak adlandırılacaktır. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Kazanılan yararlı termal enerji ortalama değerleri sırasıyla 1. deneyde 83,36 W, 2. deneyde 112,51 W ve 3. deneyde 98,60 W olarak ölçülmüştür. Ayrıca, 4. deneyde 135,20 W, 5. deneyde 109,55 W ve 6. deneyde 148,25 W olarak ölçülmüştür. Deneyler sırasında ölçülen kazanılan termal enerjinin maksimum değerleri ise sırasıyla 118,10 W, 163,21 W,145,89 W, 200,88 W, 156,30 W ve 213,43 W olarak elde edilmiştir.
- Ortalama ısıl verim değerleri sırasıyla 1. deneyde %31,9, 2. deneyde %43,76 ve 3. deneyde %37,24 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca 4. deney, 5. deney ve 6. deneylerde sırasıyla %51,95, %41,86 ve %56,77 olarak bulunmuştur. Maksimum ısıl verim değerleri ise sırasıyla %40,38, %55,28, %51,21, %68,61, %52,73 ve %72,22 olarak elde edilmiştir.
- Sürdürülebilirlik İndeksi değerleri 1. deneyde 1,00574, 2. deneyde 1,00916 ve 3. deneyde 1,00713 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca 4. deney, 5. deney ve 6. deneylerde sırasıyla 1,01125, 1,00829 ve 1,01419 olarak bulunmuştur.

Yapılan literatür araştırmalarında helisel boru kullanılmasının ısı transfer katsayısını artırdığı görülmüştü. Bunun nedeni kollektör yapısının sarmal olması ve güneş ışınlarını her yönden dik şekilde alabilmesidir. Bunun yanında tasarlanan deney düzeneğine eklenen reflektör de kollektörü daha fazla ışınla buluşturdu. Aynı şekilde kollektörün prizma şeklinde cam ile çevrilmesi sera etkisi yarattı ve kollektörün siyah boya ile boyanması ise kollektör soğurganlığını arttırdı. Deneyler incelendiğinde çalışma sıvısında nanoakışkan kullanımı, çalışma sıvısı suya göre ısıl verimi artırdı ve sürdürülebilirlik endeksi de yüksek çıktı. Aynı şekilde tri hibrit nanoakışkanın kullanımı da hibrit nanoakışkana göre ısıl verim

ve sürdürülebilirlik endeksi olarak daha avantajlı olduğu görüldü. Farklı debilerde yapılan deneylerde ise yüksek debide daha yüksek ısıl verim ve sürdürülebilirlik endeksi elde edilmiştir.

Bu çalışmadan yola çıkarak ileriki araştırmalar için öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Isıl verimin artırılacağı yeni sistem tasarımları yapılabilir.
- Farklı nanoakışkanlar ile literatürdeki test koşullarında deneyler tekrarlanarak kollektörlerdeki, çalışma sıvısı olan nanoakışkanların verim karşılaştırılması sağlanabilir.
- Hazırlanan ve deneyi gerçekleştirilen nanoakışkanların farklı derişimde hazırlanması ile performans testleri gerçekleştirilebilir.
- Tekli, hibrit ve üçlü hibrit nanoakışkanlar aynı deneyde kullanılarak karşılaştırması yapılabilir.
- Tekli, hibrit ve üçlü hibrit nanoakışkanlar farklı deney düzeneklerinde kullanılarak farklı kollektör tipleri karşısında verimleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Makine Mühendisleri Odası (MMO). (2018). *Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018*. MMO Yayın No 691.

2. Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H. (2005). Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Isıl Analizi. *Politeknik Dergisi*, 8(3), 263-269.

3. Satapathy, A. K. (2009). *Thermodynamic optimization of a coiled tube heat exchanger under constant wall heat flux condition*. Energy, 34, 1122-1126. 41. Colorado.

4. Jamshidi, N., Farhadi, M., Ganji, D. D. and Sedighi, K. (2013). Experimental analysis of heat transfer enhancement in shell and helical tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 51, 644-652.

5. Türkbay, İ., Varol, Y., (2001). Helisel borularda akış ve ısı transferinin incelenmesi. *Technology*, 4(3-4), 57-61.

6. Dizaji, H. S., Jafarmadar, S., Hashemian, M. (2015). The effect of flow, thermodynamic and geometrical characteristics on exergy loss in shell and coiled tube heat exchangers. *Energy*, 91, 678-684.

7. Alimoradi, A., Veysi, F. (2017). Optimal and critical values of geometrical parameters of shell and helically coiled tube heat exchangers. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 73-78.

8. Etghani, M. M., Baboli, S. A. H. (2017). Numerical investigation and optimization of heat transfer and exergy loss in shell and helical tube heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 121, 294-301.

9. Hashım, W. M. (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12: 666-671.

10. Selvakumar, P. and Somasundaram, P. (2012). Effect of inclination angle on temperature characteristics of water in-glass evacuated tubes of domestic solar water heater. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, , 1.4: 1-4.

11. Koçer, A., Şevik, S. ve Güngör, A. (2016). Ankara ve ilçeleri için güneş kolektörü optimum eğim açisinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21.1: 63-78

12. Goudarzi, K., Shojaeizadeh, E., Nejati, F. (2014). An experimental investigation on the simultaneous effect of CuO–H2O nanofluid and receiver helical pipe on the thermal efficiency of a cylindrical solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 1236-1243.

13. Goudarzi, K., Nejati, F., Shojaeizadeh, E., Yousef-Abad, S. A. (2015). Experimental study on the effect of pH variation of nanofluids on the thermal efficiency of a solar collector with helical tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60, 20-27.

14. Shojaeizadeh, E., Veysi, F., Habibi, H., Goodarzi, K., Habibi, M. (2021). Thermal efficiency investigation of a ferrofluid-based cylindrical solar collector with a helical pipe receiver under the effect of magnetic field. *Renewable Energy*, 176, 198-213.

15. Kumar, P. M., Kumar, J., Suresh, S., Babu, K. P. (2012). Heat transfer enhancement in a helically coiled tube with Al2O3/water nanofluid under laminar flow condition. *International Journal of Nanoscience,* 11(05), 1250029.

16. Doğan, H., (2003). Prizmatik depo tip kollektörlü güneş enerjili bir sıcak su hazırlama sisteminin veriminin deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(4), 789 - 796.

17. Ceylan, İ. , Aktaş, M. & Doğan, H. (2006). Sıcak Su Hazırlamak için Kullanılan Güneş Enerjili Sistemlerde Sıvı ve Hava Akışkanlarının Performans Üzerindeki Etkileri. *Politeknik Dergisi*, 9 (3) , 181-184.

18. Özkaya, M. G., Variyenli, H. İ. (2003). Tabii Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Endirekt Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Eşanjör Kapasitesinin Verime Olan Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 6 (3) , 551-557.

19. Şahin, (2006). *Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstütüsü, Şanlıurfa, 89-90.

20. Sakınç, E., Sözen, M. (2010). Yapılarda Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri Sorunsalı ve Mimari Çözüm Önerileri (Mersin Örneği). *Megaron,* 5(1), 1 - 10.

21. Karaçavuş, B., (2017). Türkiye'nin belirli iklim bölgeleri için güneş enerjili sıcak su sisteminin optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 843 - 853.

22. Gündüz, A., Bilecik İlinde Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasıyla Sıcak Su Üretiminin Performansı. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, 2007.

23. Atmaca, İ., Soylu, S., Özdemir, O., Asiltürk, M., (2019). Nanoakışkanlar Ve Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinde Kullanımı. *8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, Mersin.

24. Özdemir, O., Doğal Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinde Çekirdek–Kabuk Yapıda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi*, 2019.

25. Fotowat, S., Askar, S., Ismail, M., Fartaj, A., (2017). A study on corrosion effects of a water based nanofluid for enhanced thermal energy applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 24, 39-44.

26. Sivasubramanian, R., Kumaresan, G., Santhosh, N., Reshvanth, K., Syed Riyasudeen, S., Shannon Medone R., (2022). Performance analysis of multipass tubes solar water heater using nanofluids. *Meterialstoday: Proceedings*, 66,(3), 1051-1055.

27. Ram kumara, R., Jaya Suthaharb, S.T., Sakthivela, C., Vijayana V., Yokeshwarana R., (2020). Performance analysis of solar water heater by using TiO2 nanofluids. *Meterialstoday: Proceedings*, 21(1), 817-819.

28. Özgür, E., Türkiye'de Güneş Enerjisi. *Türkiye'nin Enerji Görünümü*, Bölüm 12, 2020, Sayfa 297-316

29. İnternet: Elektrik İstatistikleri URL: https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri. Son Erişim Tairihi 15.06.2024.

30. Ren21, (2019), *Renewable Global Status Report: Solar Thermal Heating and Cooling*, sayfa 110-117.

31. İnternet: Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli Ve Gelişme Durumu URL: https://www2.tse.org.tr/tr/icerikdetay/402/404/enerji-teknolojileri-laboratuvari-ankara-tuzla.aspx. Son Erişim Tarihi: 22.08.2024.

32. Altuntop, Necdet, Erdemir Doğan, 2011, "Türkiye'de Güneş Enerjisi Isıl Sistemlerinin Mevcut Pazarı ve Gelişiminin İncelenmesi", *5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, MMO Mersin Şubesi.

33. Albadr, J. Tayal, S. Alasadi, M. (2013). Heat transfer through heat exchanger using Al2O3 nanofluid at different concentrations, *Case Studies in Thermal Engineering*, 1(1), 38–44.

34. Arvind, R. D. (2015). *Heat Transfer Analysis Of Shell And Tube Heat Exchanger Using Aluminium Nitride - Water Nanofluid*, 1(1), 13–15.

35. Cheng, C. (2016). Experimental Investigation of Heat transfer rate of Nano fluids using a Shell and Tube Heat exchanger. *Materials Science and Engineering*, 1(9), 149.

36. Nazififard, M., Nematollahi, M., Jafarpur, K. and Suh, K. Y. (2012). Numerical simulation of water-based alumina nanofluid in subchannel geometry. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 1-12.

37. Khanları, A. (2018). *Plakalı Isı Değiştiricilerin Deneysel ve Sayısal Analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-12.

38. Murshed, S. M. S., Leong, K. C. and Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO2 water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44(4), 367-373.

39. Wang, B. X., Zhou, L. P. and Peng, X. F. (2006). Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles. *International Journal of Thermophysics*, 27, 139-151.

40. Tiznobaik, H. and Shin, D. (2013). Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 542-548.

41. Nguyen, C. T., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., Boucher, S. and Mintsa, H. A. (2008). Viscosity data for Al2O3-water nanofluid-hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(2), 103-111.

42. Teng, T. P. and Hung, Y. H. (2014). Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid. *Journal of Experimental Nanoscience*, 9(7), 707-718.

43. Pastoriza-Gallego, M. J., Casanova, C., Paramo, R. and Pineiro, M. M. (2009). A study on stability and thermophysical properties (density and viscosity) of Al2O3 in water nanofluid. *Journal of Applied Physics*, 106, 123-129

44. Chen, Y. J., Wang, P. Y., Liu, Z. H. and Li, Y. Y. (2013). Heat transfer characteristics of a new type of copper wire-bonded flat heat pipe using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 548-559.

45. Mukherjee, S. and Paria, S. (2013). Preparation and stability of nanofluids-a review. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 63-69.

46. Fattahi, A., Karimi, N. (2022). Numerical simulation of the effects of superhyd rophobic coating in an oval cross-sectional solar collector with a wavy absorber filled with water-based Al2O3-ZnO-Fe3O4 ternary hybrid nanofluid. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101881.

47. Wong, K.F.V., (2000). Thermodynamics for Engineers. *University of Miami/CRC Press LLC*, Taylor & Francis, USA.

48. Yazdanpanahi, J., Sarhaddi, F., Adeli, M. M. (2015). Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses. *Solar Energy*, 118, 197-208.

49. Petela, R., (2003). Exergy of undiluted thermal radiation. *Solar Energy.* 74, 469-488.

50. Sözen, A., Sirin, C., Khanlari, A., Tuncer, A.D., Gürbüz, E.Y., (2020). Thermal performance enhancement of tube-type alternative indirect solar dryer with iron mesh modification. Solar Energy 207, 1269-1281. 42. ÇalıĢkan, H. (2017). Energy, exergy, environmental, enviroeconomic exergo environmental (EXEN) and exergoenviroeconomic (EXENEC) analyses of solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 488-492.

51. Çalışkan, H. (2017). Energy, exergy, environmental, enviroeconomic exergo environmental (EXEN) and exergoenviroeconomic (EXENEC) analyses of solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 488-492.

52. Tiwari, A., Dubey, S., Sandhu, G.S., Sodha, M.S., Anwar, S.I., 2009. Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature modes. *Applied Energy*. 86 (12), 2592–2597.

53. Kolay, S. (2023). Sarmal sargılı, güneş enerjili sıcak su kollektörünün farklı açılardaki performansının deneysel ve sayısal karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi*. Ankara.

54. Afshari, F., Tuncer, A. D., Sözen, A., Çiftçi, E., Khanlari, A. (2021). Experimental and numerical analysis of a compact indirect solar dehumidification system. *Solar Energy*, 226, 72-84.

55. Satay, E., (2023). Güneş enerjili helisel sargılı ısıl güneş kolektörünün performansının nanoakışkan kullanarak deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi*. Ankara.

56. Ardekani, A. M., Kalantar, V., Heyhat, M. M. (2019). Experimental study on heat transfer enhancement of nanofluid flow through helical tubes. *Advanced Powder Technology*, 30(9), 1815-1822.

57. Elmnefi, M., Abdullah, R. (2021). Experimental study of heat transfer enhancement using Al2O3/water and TiO2/water nanofluids in a shell-and-tube heat exchanger. *Heat Transfer Research*, 52(18), 15-37.

58. Gürbüz, E. Y., Variyenli, H. İ., Sözen, A., Khanlari, A., Ökten, M. (2021). Experimental and numerical analysis on using CuO-Al2O3/water hybrid nanofluid in a U-type tubular heat exchanger. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 31(1), 519-540.

59. Afshari, F., Tuncer, A. D., Sözen, A., Variyenli, H. I., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y. (2022). A comprehensive survey on utilization of hybrid nanofluid in plate heat exchanger with various number of plates. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 32, 241-264.



Gazili olmak ayrıcalıktır