

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**HİBRİT NANOAKIŞKAN KULLANILARAK**  
**FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) SİSTEMLERİN TERMAL VE**  
**ELEKTRİK ÜRETİM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

**ETTAHİR EL HADİ ALİ OMAR SWESE**

**DOKTORA TEZİ**

**PROF. DR. AYBABA HANÇERLİOĞULLARI**

**OCAK - 2024**  
**KASTAMONU**

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

#### HİBRİT NANOAKIŞKAN KULLANILARAK FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) SİSTEMLERİN TERMAL VE ELEKTRİK ÜRETİM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ETTAHİR EL HADİ ALİ OMAR SWESE

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. AYBABA HANÇERLİOĞULLARI

Fotovoltaik/Termal (FV/T) sistemler, elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra sıcak akışkan (genellikle su) üretimi de sağlamaktadır. PV sistemlerin aşırı ısınması ilave edilen termal sistem ile atılarak PV'lerin elektrik üretim performansı artırılmaktadır. Nanoakışkanlar, termal sistemde emilen ısıyı artırmak için bir çözüm olarak sunulmaktadır. Nanoakışkanların ısı transfer performansında önemli bir iyileşmeye yol açan başlıca fiziksel olaylar şu şekilde özetlenebilir: (i) Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin yüksek olması, (ii) Akışkan içerisindeki partiküllerin ısı transfer yüzey alanını artırması, (iii) Nanoakışkanın özgül ısı kapasitesini artırması, (iv) Nanoakışkanın yüksek sıvı aktivitesi nedeniyle türbülanslı hacim oranının artması. Bu çalışmada, temel akışkanlardan biri olan suya ağırlıkça belirli oranlarda  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  ve  $NiFe_2O_4$  manyetik nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilen nanoakışkanların, PV/T sisteminin termal ısı transferinin artırılması sayesinde PV sisteminin daha fazla soğutulması sağlanarak hem elektrik üretim performansının artırılması hem de elde edilen sıcak akışkan sıcaklığının artırılarak sistemin termal performansının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmada, FV panellerde  $NiFe_2O_4$  nanoakışkanı ile elektrik üretiminde %14'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Termal sistemde emilen ısı miktarı yüksek olduğu için  $NiFe_2O_4$  nanoakışkanının sıcak akışkan sıcaklığında, baz akışkan suya göre ortalama %104 sıcaklık ( $\Delta T$ ) artışı elde edilmiştir. Ayrıca baz akışkan suya %0,5  $Fe_2O_3$  ve  $Fe_3O_4$  nanopartiküllerinin elde edilmesiyle elde edilen nanoakışkanın kullanılması durumunda FV panelin elektriksel ve ısı veriminde ortalama %80'lere ulaşan iyileşmeler elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Nanoakışkan, Fotovoltaik Panel, Hibrid, termo-fiziksel özellikler

Ocak 2024, 87 Sayfa

## **ABSTRACT**

### **PH.D THESIS**

#### **IMPROVING THERMAL AND ELECTRICITY GENERATION PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC/THERMAL (PV/T) SYSTEMS USING HYBRID NANOFLUID**

**ETTAHIR EL HADI ALI OMAR SWESE**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**

**SUPERVISOR: PROF. DR. AYBABA HANCERLIOGULLARI**

Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems provide hot fluid (usually water) production as well as electrical energy production. The electricity production performance of PV systems is increased by eliminating overheating of PV systems with the added thermal system. Nanofluids are offered as a solution to increase the heat absorbed in the thermal system. The main physical events that lead to a significant improvement in the heat transfer performance of nanofluids can be summarized as follows: (i) High thermal conductivity of nanofluids, (ii) Increasing the heat transfer surface area of the particles in the fluid, (iii) Increasing the specific thermal capacity of the nanofluid, (iv) Increased turbulent volume fraction due to high fluid activity. In this study, nanofluids obtained by adding certain weight ratios of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  magnetic nanoparticles to water, one of the basic fluids, increase the thermal heat transfer of the PV/T system, providing further cooling of the PV system, thus increasing both the electricity production performance and the temperature of the hot fluid obtained by increasing the temperature of the system. thermal performance has been improved. In the experimental study, a 14% improvement in electricity production was achieved with  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanofluid in PV panels. Since the amount of heat absorbed in the thermal system is high, an average 104% increase in temperature ( $\Delta T$ ) was obtained in the hot fluid temperature of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanofluid compared to the base fluid water. In addition, if the nanofluid obtained by obtaining 0.5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in the base fluid water is used, improvements reaching an average of 80% in the electrical and thermal efficiency of the PV panel have been achieved.

**KEYWORDS:** Nanofluid, Photovoltaic Panel, Hybrid, thermo-physical properties

January 2024, 87 Page

## TEŞEKKÜR

Bu tez boyunca her türlü desteği ve imkânı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Aybaba Hancerlioğulları'na ve eş danışmanım Prof.Dr. Adnan SÖZEN hocalarıma teşekkür ederim. Kastamonu Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim dalı öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine hem bilimsel hem de birçok pratik ihtiyaca yardımcı oldukları için teşekkür borçluyum. İyi ve kötü günlerimde yanımda olan ve başarılı olmama yardımcı olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tüm aile bireylerine teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bana Türkiye’de doktora eğitimim boyunca burs imkanı sağlayan Libya hükümetine ve sorumlu yetkililere teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarında deneysel imkanları sağlayan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümündeki değerli hocalarıma ve araştırma görevlilerine ve teknik ekibe teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ettahir El Hadi Ali Omar SWESE

Ocak, 2024

# İÇİNDEKİLER

|                                                                 | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>TEZ ONAYI .....</b>                                          | <b>ii</b>    |
| <b>TAAHHÜTNAME .....</b>                                        | <b>iii</b>   |
| <b>ÖZET.....</b>                                                | <b>iv</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                           | <b>v</b>     |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                           | <b>vi</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                        | <b>vii</b>   |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>                                    | <b>ix</b>    |
| <b>TABLolar DİZİNİ .....</b>                                    | <b>x</b>     |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                            | <b>1</b>     |
| <b>2. LİTERATÜR TARAMA .....</b>                                | <b>13</b>    |
| 2.1 Manyetik Nanopartiküller .....                              | 13           |
| 2.2 Özellikler.....                                             | 13           |
| 2.3 Manyetik Nanopartikül Tipleri .....                         | 14           |
| 2.3.1 Oksitler: Ferritler .....                                 | 14           |
| 2.3.2 Kabuklu Ferritler.....                                    | 14           |
| 2.3.3 Metalik .....                                             | 15           |
| 2.3.4 Kabuklu Metalik .....                                     | 16           |
| 2.4 Sentez .....                                                | 16           |
| 2.4.1 Eş Çökeltme .....                                         | 16           |
| 2.4.2 Termal Bozunma.....                                       | 17           |
| 2.4.3 Mikroemülsiyon .....                                      | 17           |
| 2.4.4 Alev Püskürtme Sentezi.....                               | 18           |
| 2.5 Potansiyel Uygulamalar .....                                | 18           |
| 2.5.1 Tıbbi Teşhis ve Tedaviler .....                           | 18           |
| 2.5.2 Manyetik İmmünoanaliz .....                               | 21           |
| 2.5.3 Atık Su Arıtımı .....                                     | 21           |
| 2.5.4 Elektrokimyasal Algılama .....                            | 21           |
| 2.5.5 Desteklenen Enzimler ve Peptitler.....                    | 22           |
| 2.5.6 Rastgele ve Bölgeye Yönelik Enzim İmmobilizasyonu .....   | 22           |
| 2.5.7 Katalizör Desteği .....                                   | 23           |
| 2.5.8 Biyomedikal Görüntüleme.....                              | 24           |
| 2.5.9 Kanseri Tedavisi .....                                    | 24           |
| 2.5.10 Bilgi Depolama .....                                     | 25           |
| 2.5.11 Genetik Mühendislik.....                                 | 25           |
| 2.6 Fiziksel Modelleme.....                                     | 25           |
| 2.7 Nanoakışkanların Hazırlanması .....                         | 28           |
| 2.7.1 Tek Adımlı Metotlar .....                                 | 28           |
| 2.7.2 İki Adımlı Metotlar .....                                 | 29           |
| 2.8 Termofiziksel Özellikler .....                              | 30           |
| 2.8.1 Yoğunluk .....                                            | 30           |
| 2.8.2 Özgül Isı.....                                            | 30           |
| 2.8.3 Isıl İletkenlik .....                                     | 31           |
| 2.9 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları ..... | 33           |
| 2.9.1 Güneş Kollektörlerindeki Nanoakışkanlar.....              | 34           |

|           |                                              |           |
|-----------|----------------------------------------------|-----------|
| 2.9.2     | FV/T Sistemlerinde Nanoakışkanlar.....       | 40        |
| <b>3.</b> | <b>MATERYAL VE METOT .....</b>               | <b>46</b> |
| 3.1       | Materyal .....                               | 46        |
| 3.2       | Hibrit Nanoakışkanın Hazırlanması.....       | 46        |
| 3.3       | Manyetik Nano Partikülün Modifikasyonu ..... | 48        |
| 3.4       | Manyetik Nanoakışkan Hazırlığı .....         | 49        |
| 3.5       | Manyetik Nanoakışkanın Hazırlanması .....    | 49        |
| 3.6       | Termofiziksel Özelliklerin Ölçümü .....      | 50        |
| 3.7       | Deneyel Kurulum .....                        | 51        |
| 3.8       | Soğutmalı FV/T Tasarımı .....                | 51        |
| 3.9       | CFV/T'nin Yapısı .....                       | 52        |
| 3.10      | Teorik Analiz .....                          | 54        |
| 3.11      | Belirsizlik Analizi .....                    | 56        |
| <b>4.</b> | <b>SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....</b>          | <b>57</b> |
| 4.1       | Fiziksel Özelliklerin Sonuçları .....        | 57        |
| 4.2       | Deneyel Analiz Sonuçları.....                | 58        |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇLAR.....</b>                         | <b>67</b> |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                       | <b>69</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                         | <b>87</b> |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Watt başına dolar cinsinden silikon fotovoltaiik hücrelerin değeri .....                                | 4  |
| Şekil 1.2 FV/T akışkan kolektörü .....                                                                            | 6  |
| Şekil 2.1 Parçacık boyutuna göre kolektör verimliliği, hacim oranı = %0,08 .....                                  | 36 |
| Şekil 2.2 Nanoakışkanlı FV/T sisteminin şematik diyagramı.....                                                    | 41 |
| Şekil 2.3 a) Nanoakışkanlı PV/T sisteminin deneysel kurulum fotoğrafı b) Deney donanımının şematik diyagramı..... | 44 |
| Şekil 3.1 Manyetik NP'ler (a) $Fe_2O_3$ , (b) $Fe_3O_4$ ve (c) $NiFe_2O_4$ .....                                  | 46 |
| Şekil 3.2 Nanopartiküllerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri .....                                  | 47 |
| Şekil 3.3 Nanoakışkan hazırlama prosedürü.....                                                                    | 48 |
| Şekil 3.4 Fotovoltaiik modüller (FV modülleri) .....                                                              | 53 |
| Şekil 3.5 Modül 1 ve soğutma devresi .....                                                                        | 54 |
| Şekil 3.6 FV/T sisteminin şematik görünümü.....                                                                   | 54 |
| Şekil 4.1 Panelde ölçülen sıcaklıklar .....                                                                       | 60 |
| Şekil 4.2 Soğutma devresinde kullanılan akışkanlara göre serpantin giriş ve çıkış sıcaklıkları.....               | 61 |
| Şekil 4.3 Soğutma devresindeki sıcaklık farklılıkları .....                                                       | 62 |
| Şekil 4.4 FV/T ve FV verimlilikleri.....                                                                          | 63 |
| Şekil 4.5 Termal ve toplam verimliliğin iyileştirilmesi .....                                                     | 64 |
| Şekil 4.6 Soğutma devresi kullanılarak akışkanlara göre serpantin giriş/çıkış sıcaklığı.....                      | 65 |
| Şekil 4.7 Soğutma devresinin girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkları .....                                  | 65 |
| Şekil 4.8 FV/T ve FV verimlilikleri ve termal ve genel verimlilikte iyileşme .....                                | 66 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1 Nanoakışkanların ısı iletkenliğine ilişkin bazı ampirik sonuçların özeti..                                                   | 31 |
| Tablo 2.2 Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin belirlenmesi için mevcut bazı korelasyonların özeti.....                                 | 32 |
| Tablo 2.3 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları.....                                                                   | 33 |
| Tablo 3.1 Nanopartiküllerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri (40 °C).....                                                        | 48 |
| Tablo 3.2 Hibrit nanoakışkanın termofiziksel özellikleri .....                                                                         | 51 |
| Tablo 3.3 Deney kurulumu ve bileşenlerin özellikleri.....                                                                              | 52 |
| Tablo 3.4 Belirsizlik analizi sonuçları .....                                                                                          | 56 |
| Tablo 4.1 Hem Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> hem de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MNP'ler için Denklem 1'deki sabitlerin değeri ..... | 58 |
| Tablo 4.2 Çalışma akışkanlarının termofiziksel özellikleri .....                                                                       | 58 |

## 1. GİRİŞ

Son birkaç yıl boyunca araştırmacılar, geleneksel enerji kaynaklarının tüketimiyle ilgili çevresel sorunların artışı sebebiyle alternatif çözümlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalara hız vermişlerdir. Çevre bilincinin artması, ülkeler arası çevresel sorunların farkındalığının geliştirilmesi ve uluslararası bazı antlaşmaların imzaya açılması gibi hususlar, yenilenebilir enerjiye yapılacak yatırımların hızlı bir artış sağlamasına da neden olmaktadır (Girgin, 2011).

Güneş paneli, güneş pilleri olarak da bilinen fotovoltaik hücreleri kullanarak güneşin ışınım enerjisini elektriğe dönüştürür. Fotovoltaik hücreler, ışığı elektriğe dönüştüren silikondan yapılmış ince, küçük yarı iletken cihazlardır. Bir güneş panelinin temel bileşenleri arasında güneş pilleri, fotovoltaik modüller ve yarı iletkenler bulunur. Güneş panelleri Dünya’da en hızlı büyüyen enerji kaynağıdır. Bugün Dünya piyasasında dolaşımda olan birçok güneş paneli türü vardır. Ana türleri; monokristalin silikon, polikristalin silikon, kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum selenit (CIS/CIGS) gibi daha yeni ince film türleridir. Güneş panelleri hasar görmediği veya arızalanmadığı sürece 20 ila 30 yıl ekonomik ömürlere sahiptirler. Hızla gelişen teknolojilere göre ortalama verimleri %18-27 oranlarındadır. Bir fotovoltaik panelin, üzerine yerleştirilen hücre sayısına göre gücü vardır. Aynı güçte farklı bölgelerde ürettikleri enerji miktarı değişkendir. Fotovoltaik panellerin güç üretmesi ortam sıcaklığı, kurulduğu yerdeki güneş radyasyonu, iklim şartları vb. parametrelere bağlıdır.

Güneş enerjisi teknolojileri ve enerji santralleri çalışırken hava kirliliği veya sera gazı üretmezler. Güneş enerjisi, çevre üzerinde daha büyük etkileri olan diğer enerji kaynaklarının yerini aldığı veya bu kaynakların kullanımını azalttığı anda, güneş enerjisinin kullanılması çevre üzerinde olumlu, dolaylı bir etkiye sahip olabilir. Ancak güneş enerjisi teknolojilerinin üretimi ve kullanımına ilişkin çevresel sorunlar bulunmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri, metal ve cam gibi yoğun malzemelerin kullanılmasını gerektirir. Bu malzemelerin üretimiyle ilgili çevresel sorunlar, yaşam döngüsü veya beşikten mezara çevre analizi yapılırken güneş enerjisi sistemleriyle ilişkilendirilebilir. Fotovoltaik (FV) hücrelerin ve panellerin yapımında kullanılan ve

çevreye salınmasını önlemek için dikkatli bir şekilde kullanılması gereken tehlikeli kimyasallar vardır. Bazı FV hücre teknolojileri türleri ağır metaller kullanır ve bu tür hücreler ve FV paneller, kullanım ömürlerinin sonuna ulaştıklarında özel işlem gerektirebilir.

Güneş enerjisi, diğer enerji türlerine göre daha caziptir çünkü diğer enerji türlerinin sunmadığı birçok avantaj sunar. Öncelikle yakıtla ilgili herhangi bir sorun yaşanmamakta ve mekanizmadaki normal aşınma ve yıpranma herhangi bir komplikasyona yol açmamaktadır. İkincisi, çok kısa bir sürede (en fazla bir yıla kadar) işletmeye alınabilmektedir, bu da kullanımını kolaylaştırmakta ve çok uzun yıllar sorunsuz olarak çalışmaya devam edebilmektedir. Ek olarak, fotovoltaiik (FV) sistemler kullanılarak elektrik üretimi basit ve karmaşık hale getirilebilmektedir. FV sistemleri, güneşten gelen radyasyonun enerjiye dönüştürülmesinden sorumlu olan fotovoltaiik (FV) hücrelerden oluşan sistemlerdir. Fotovoltaiik (FV) hücreler FV sistemlerin yapı taşlarıdır (Hançerlioğulları ve Swese, 2022).

Literatür kaynaklarında yapılan çalışmaların bulgularına göre, sıcaklığın artması açık devrede mevcut voltajı azaltıcı etkiye sahiptir. Bir fotovoltaiik (FV) sistemin elektriksel verimliliği bunun doğrudan bir sonucudur. Ek olarak, elektriğe dönüştürülmeyen emilen güneş enerjisi, FV hücresinin sıcaklığının artmasına neden olabilmekte ve bu da FV sisteminin güneş ışığını elektriğe dönüştürme verimliliğinin azalmasına sebep olabilmektedir. Gerekli elektrik verimliliğinde çalışmaya devam edebilmesi için fotovoltaiik (FV) sistemlere soğutma sistemlerinin dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sebeple, fotovoltaiik-termal (FV/T) güneş enerjisi olarak bilinen güneş enerjisinden yararlanmaya yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu son teknoloji, bir fotovoltaiik modülü (FV) ve bir güneş kollektörünü tek bir üniteye birleştirerek yalnızca elektrik enerjisi üretiminin verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ısı enerjisi de sağlamaktadır. Özetle, FV/T sistemleri olarak adlandırılan fotovoltaiik-termal sistemlerde, güneş enerjisini etkin ve verimli bir şekilde hem elektrik hem de ısı elde edilmesine yönelik tasarımların geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir (Hermann vd. 2022). FV/T, fotovoltaiik ve termal enerji anlamına gelebilecek bir kısaltmadır.

Son araştırmalar, fotovoltaik modüller tarafından kullanılabilir güce dönüştürülen güneş enerjisi oranının, süreçte kullanılan hücre türüne bağlı olarak yüzde 10 ila 20 arasında değişebileceğini göstermiştir. Bu bilgiler bir dizi farklı çalışmanın sonuçlarından derlenmiştir. Bir soğutucu ekleyerek FV/T sistemlerinin sıcaklığını azaltmak mümkündür, bu da FV sisteminin toplam verimliliğinde artışa yol açmaktadır. Bu teknik hem operasyonun gerçekleştirilebilmesini hem de sistemde kaybedilen ısıнын bir kısmının geri kazanılabilmesini sağlayarak ek bir avantaj kazandırmaktadır. Bu avantajların her ikisi de genel olarak stratejik bir kazanç anlamına gelmektedir. FV/T sistemler soğutucu bileşen olarak su, hava veya her ikisi kullanarak soğutulabilmektedir. Alternatif olarak ikisinin bir kombinasyonu da kullanılabilir (Rekstad ve Sandnes, 2022).

Güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji türleri, fotovoltaik panellerin kurulum maliyetinin sürekli ve büyük oranda azalmasından bu yana giderek daha önemli enerji kaynakları olarak ortaya çıkmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinin maliyetindeki bu büyük düşüş, 1977'den bu yana dünya çapında kurulu olan fotovoltaik sistemlerin toplam kapasitesindeki eş zamanlı büyüme eğilimi ile birlikte şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bu eğilimlerin her ikisi de birbiriyle eş zamanlı olarak görülebilir. 2000'li yıllarda fotovoltaik maliyetlerinde meydana gelen dramatik düşüş sonucunda güneş enerjisinden yararlanan uygulamaların sayısında önemli bir artış olmuştur. 2014 yılında 1 watt elektriğin maliyeti 0,36 dolar değere sahipti (URL-1, 2023). Türkiye, 2016 yılında 844 MW kurulu güneş enerjisi kapasitesiyle 25'inci sırada yer alırken; 2022 yılında 9820 MW kapasiteyle 14. sıraya yükselmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının, Türkiye'nin 2053'te net sıfır emisyonu ulaşma hedefi esas alınarak hazırlanan ve bu kapsamda 2035 yılına kada atılacak adımları içeren Türkiye Ulusal Enerji Planlaması yayınlanmıştır. Türkiye'nin 2000-2020 döneminde yıllık ortalama yüzde 4,4 artan elektrik tüketiminin, 2035 yılına kadar yılda yüzde 3,5 büyüyerek yaklaşık 510,5 terawatt/saate yükselmesi beklenmektedir. Nihai enerji tüketiminde 2020 yılında yüzde 21,8 olan elektrik enerjisi payının 2025'te yüzde 24,9'a ulaşacağı hesaplanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi verilerine göre, 2023 yılının Mart ayı itibarıyla Türkiye'de kurulumu yapılan güneş panellerinin toplam kapasitesi yaklaşık 10 000 MW'a yaklaştığını ve nispeten kısa bir sürede büyüme gösterdiği belirtilmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücünde 2035 yılına

kadar yaklaşık yüzde 500 artışla 520 GW'a ulaşması ve güneş enerjisinin en yüksek kurulu güce sahip olması hedeflenmektedir (Dağ, 2015).



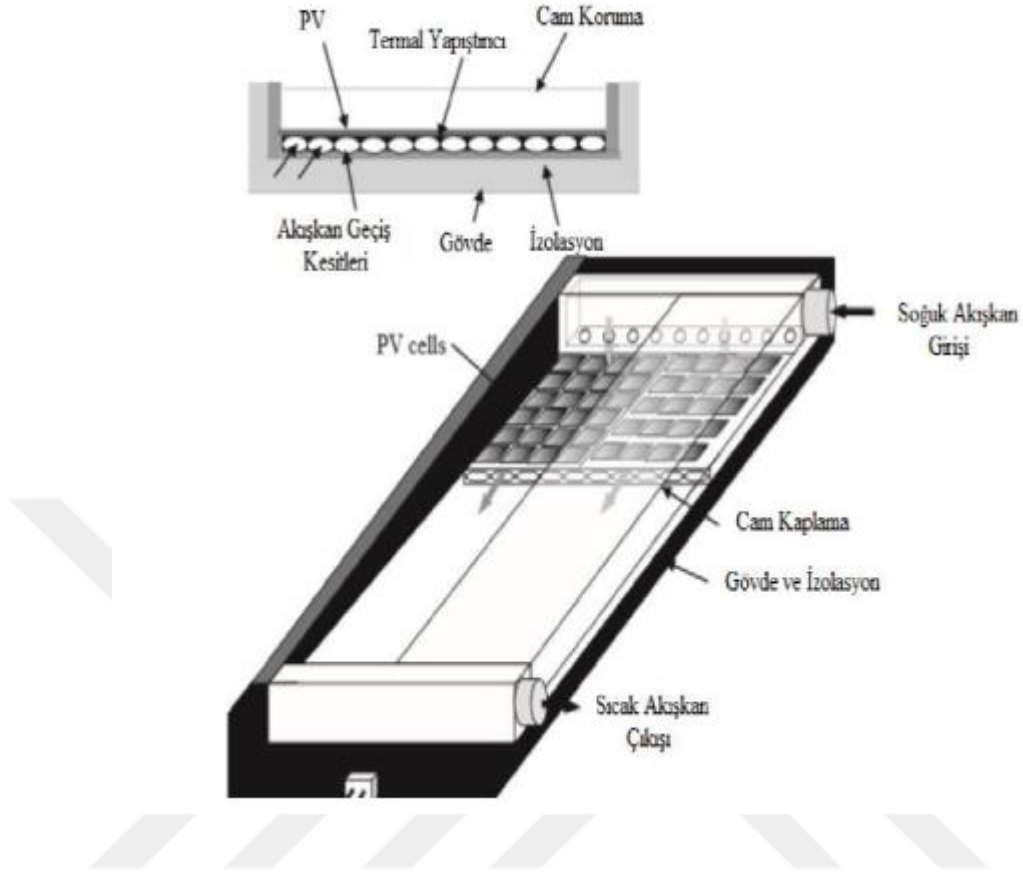
Şekil 1.1 Watt başına dolar cinsinden silikon fotovoltaik hücrelerin değeri

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yaptığı tahminlere göre, sektöre yapılan 1,3 trilyon dolara yakın yatırımın ardından küresel güneş enerjisi üretimi 2035 yılına kadar 662 GW civarına ulaşacaktır. Öte yandan bu tahmin "çok muhafazakar", daha açık ifadeyle "çok güvenli" olarak tanımlanmıştır. Şu anda kullanımda olan ikinci tür teknolojiyi ise Dünya'nın fotoğraflarını çekebilen uydular oluşturmaktadır. Bu uydular tarafından sağlanan bilgiler sayesinde SolarCity gibi şirketler artık yüksek düzeyde hassasiyeti korurken güneş panellerinin kurulumu konusunda kısa zamanda seçim yapma olanağına sahip olmuştur. Maliyetlerde meydana gelen değişim oldukça önemli olup, önceki dört yılda %50'den fazla ve 2020 yılında da %50 daha fazla bir düşüş yaşanmıştır (URL-1, 2023). Maliyetlerdeki bu süregelen düşüş eğilimine paralel olarak, üretilen pillerin sayısında da katlanarak bir artış yaşanmıştır. 2020 yılında Tesla'nın Gigafactory'si 35 gigawatt pil üretmiştir; bu, 2013 yılında dünya çapındaki tüm pil üretim kapasitesinden daha fazladır (URL-1, 2023).

Fotovoltaik hücreler tipik olarak güneşten emilen foton enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi işleminin gerçekleştirilmesinden sorumludur. Fotovoltaik hücreler ışığı enerjiye dönüştürme yeteneğine sahiptir, bu sayede elektrik üretme sürecinde

kullanılır. Enerji dönüşümü sürecinde çeşitli bileşenlerden oluşan yarı iletken yüzeyler kullanılmaktadır (Castaner ve Markvart, 2005).

Hücrelere alınan foton enerjisinin büyük çoğunluğunun dönüştürülmesi sonucu elektrik enerjisi üretilir. Elektrik enerjisinin tekrar foton enerjisine dönüştürülmesi mümkün olmadığından sistem, enerjinin sistem içerisinde ısı enerjisi olarak erişilebilir olmasını sağlar. Bu termal enerji, güneş pillerinin elektriksel verimliliğinin düşmesine ve bu da güneş pillerinin ürettiği elektrik miktarının azalmasına neden olur. Hücre içindeki sıcaklığın yüksek seviyede olması ve sıvının sağladığı yardımla sistemin elektriksel verimliliğinin daha yüksek seviyelere çıkarılması mümkündür. Bu amaca ulaşabilmek için endotermik bileşenler ve birbirine akuple edilmiş düzlemsel fotovoltaiik kollektörler kullanılarak bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 1.2’de, hibrit fotovoltaiik ve termal (FV/T) sistemlerin bir çizimi gösterilmiştir. Bu sayede sistem içinde hem ısı hem de termal enerji aynı anda yaratılır. Oluşan enerji miktarı, onu çıkarmak için kullanılan teknolojiye, güneş ışıınımı miktarına, ortam sıcaklığına, rüzgar hızına, kullanılan termostatlara ve sistemin bir parçası olan bileşenlerin çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Nousia vd. 2002).



Şekil 1.2 FV/T akışkan kolektörü

FV/T kolektörlerde akışkan olarak havanın kullanıldığı deneylerin bulgularına göre, havanın PV hücre sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$  üzerinde olduğunda suyunkinden daha az bir soğutma etkisine sahip olduğu görülmüştür (Dubey ve Tiwari, 2010; Kalogirou ve Tripanagnostopoulos, 2006). Bu sonuçlar, FV/T toplayıcılarda akışkan olarak havanın kullanıldığı, Dhiran ve Rawat (2017) tarafından yürütülen çalışmanın bulgularına dayanmaktadır. FV/T hava soğutmalı ve su soğutmalı sistemler arasında karşılaştırma yaparken genel sistem verimliliğinin dikkate alınması önemlidir. İncelenen bulgular sırasıyla %62,57 ve %70 başarı oranı göstermiştir. Bergene ve Lovvik (1995) tarafından yapılan çalışmada, enerji analizinin tamamlanmasının ardından FV/T sıvı akışkan sistemlerinin %60 ila %80 arasında değişen genel verime sahip olduğu görülmüştür. Fudholi vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, sistemin elektriksel ve termal performansları PV/Tex tarafından analiz edildiğinde araştırmacılar, sistemin elektriksel verimliliğinin %13,8, termal verimliliğinin ise %54,6 olduğunu keşfetmişlerdir. Çeşitli akış hızlarında yapılan çalışmalarda, akış hızının dikkate

alınması gereken bir faktör olduğu, FV yüzeyinde termal enerjiyi alma ve düşük sıcaklığı koruma kapasitesi üzerinde bir etkisi olduğu vurgulanmıştır.

Ülkemizde çok çeşitli çevre koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, FV/T sistemlerinin ürettiği enerji miktarı ve entropi değerlendirmeleri yapılmıştır. FV/T, bulguları karşılaştırmak için sistemin elektrik performansını soğutmalı ve soğutmasız olarak analiz etmiştir. Bu çalışma, Duran (2014) tarafından Isparta'nın genel hava durumu ve iklimi hakkında daha fazla bilgi edinmek için yapılmıştır. Hesaplamaları, bu senaryo dikkate alındığında elektrik sisteminin toplam verimliliğinde %7'lik bir artış olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak değerlendirdiği sistemin ortalama %21 ekserji verimliliğine sahip olduğu sonucuna varmıştır (Duran, 2014). Engin (2006)'in gerçekleştirdiği çalışmada, doğal ve yapay olarak uyarılmış sistemler arasında doğrudan bir karşılaştırma yapmak için İzmir'in hava durumu referans noktası alınmıştır. Doğal dolaşım sisteminin veriminin %41 olduğu kabul edilmiş ancak sirkülasyon bir pompa ile sağlandığında verimin %59'a çıkabileceği gösterilmiştir. En yüksek düzeyde verimlilik üretebilen FV/T sistemini araştırmak amacıyla deneysel diziler, çeşitli katman tipleri ve toplayıcılar kullanılarak aynı FV hücreleri ile çalışmalar yapılmıştır. Araştırma çeşitli çaplardaki borularla gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda sistemin toplam verimliliği yüzde 60,68 ila 67,14 aralığında ölçülmüştür (Engin, 2006).

Dirençteki artış, sıcaklık artışının doğrudan bir sonucu olarak meydana geldiğinden, sıcaklık arttığında fotovoltaiik hücrelerin verimliliğinde bir düşüş yaşanır. Bunun nedeni direnç ve sıcaklık arasındaki ilişkidir. FV/T sistemleri hücrelerin direncini düşürür, hücreleri soğutarak verimliliğini artırır. FV/T sistemleri, FV modele kıyasla daha düşük sıcaklıklarda çalışan, daha yüksek verime sahip ve daha uzun ömürlü bir güneş panelidir. Ayrıca bu sürecin tamamlanması, ticari ve endüstriyel kuruluşlar da dahil olmak üzere çok çeşitli ortamlarda kullanılabilecek, sıcak akışkanların eldesi ile farklı iki fonksiyon çıktısı olan bir sistem tasarımı olacaktır. Güneş pilleri, yüzeylerine çarpan güneş ışınlarının büyük çoğunluğunu kullanılabılır enerjiye dönüştüremez, bir miktar güneş enerjisi arta kalır. Bu sebeple hücrelerin içindeki sıcaklık yükselir ve bu sıcaklık artışı sonucunda hücrelerin elektrik üretme yeteneğinde bir azalma tespit edilir. FV hücresinin sıcaklığı, doğal olarak veya basınçlı soğutucu (genellikle su) kullanılarak iki yoldan biriyle düşürülebilir. Doğal yöntem daha yaygın olanıdır.

Monokristal (c-Si) ve polikristal (pc-Si) silikondan üretilen güneş pilleri, oda sıcaklığının üzerindeki her derece için yaklaşık %0,45 verim kaybına sahiptir. Bu etki, modülün tasarımına bağlı olarak değişiklik gösterse de yaklaşık yüzde 0,25 oranında sıcaklık artışına maruz kalan amorf silikon (a-Si) hücreler için çok daha az önemlidir. Sıvı dolaşımını artırarak ve yeterli miktarda ısıнын sistemden tahliye edilmesini sağlayarak bu istenmeyen sonucun etkilerini en aza indirmek mümkündür (Dağ, 2015; Jux vd. 2017).

Sistemin genel etkinliğini artırmak için uygulanabilecek birkaç farklı yaklaşım vardır. Güneş panellerini termal sistemlerle birleştiren hibrit bir sistem oluşturmak, bunu başarmanın yollarından biridir. Ek olarak, hibrit bir sistemin, geleneksel bir sistemle karşılaştırıldığında harici bir kaynaktan daha düşük güç girişine ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Bunun nedeni hibrit sistemin geleneksel ve alternatif enerji kaynaklarının bir kombinasyonunu kullanmasıdır. Bir dizi deneyle, hem gaz (genellikle hava) hem de sıvı (genellikle su) akışkanlar kullanılarak sistemdeki aşırı ısıнын etkili bir şekilde uzaklaştırılmasının mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Çoğu zaman en başarılı deneysel araştırmalar, deneyin bileşenlerinden biri olan soğutucunun su olarak kullanıldığı araştırmalardır. Havayla soğutulan FV-T panellerin sıvı soğutma devresine ihtiyacı olmadığından, bu panellerin kurulum işlemi, sıvıyla soğutulan panellerin kurulumundan çok daha hızlı yapılabilir. Bu çalışmada soğutma kapasitesinin artırılması için yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanoakışkanların soğutma sisteminde kullanılarak FV sisteminin daha yüksek verimli çalışmasını sağlayacaktır. Son yıllarda bu konu üzerinde çok sayıda teorik, deneysel ve hesaplamalı araştırma yürütülmüştür ve hala araştırılmaya devam etmektedir. Ayrıca bu konu diğer birçok araştırma türünün de odak noktası olmuştur. İbrahim vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada, FV/T sistem konfigürasyonlarının bir sınıflandırması oluşturulmuştur.

Alavi vd. (2014), enerji ve ekserji konusundaki araştırmaları sırasında, bir FV/T hava (hava akışkanı) toplayıcısının elektriksel ve termal özelliklerini, ekserji bileşenlerini ve ekserji verimliliğini analiz etmişlerdir. Ayrıca kolektörün elektriksel ve termal özelliklerine yönelik bir araştırma yapılmış ve sonuçlar derlenmiştir. Araştırmanın bir parçası olarak, FV/T toplayıcının termal ve elektriksel özelliklerini analiz etmek amacıyla bilgisayarda kullanılmak üzere bir algoritma da geliştirilmiştir. FV/T

toplayıcının genel verimleri %45,0, elektriksel verimleri %10,01, termal verimleri %17,18 ve ekserji verimleri %10,75 olarak bulunmuştur (Alavi vd. 2014).

Monokristal FV paneliyle donatılmış bir FV/T toplayıcının etkinliğinin araştırılması, Kim vd. (2019) tarafından yürütülen deneyin temel amacıdır. FV/T toplayıcı, termal enerji üretmek için alanda halihazırda mevcut olan havadan yararlanır. Daha sonra bu enerjiden yararlanılabilir. Deneyin tamamlanmasının ardından FV/T toplayıcının ısı veriminin %22, elektriksel veriminin ise %15 olduğu belirlenmiştir (J. H. Kim vd. 2019).

Aldabbagh vd. (2017), akışkan olarak su yerine hava kullanılacak şekilde değiştirilmiş bir FV/T toplayıcı kullanarak bir deney gerçekleştirmişlerdir. Kütle akış hızı 0,037 kg/s olduğunda ve FV panel ile koruyucu cam katman arasındaki mesafe 3 cm olduğunda %48'lik ulaşılabilir en yüksek termal verim elde edilmiştir. Bu koşullar altında elde edilebilecek maksimum ısı verim miktarına ulaşılmıştır (Aldabbagh vd. 2017).

Ahn vd. (2015)'nin FV/T verimliliğini belirlemek için yaptıkları çalışmada, sistemden çıkan egzoz havası, dışarıdan getirilen havayı ısıtmak için kullanılmıştır. Bu işlem, FV/T sisteminin etkinliğini ölçmek ve atılan enerji miktarını mümkün olduğu kadar azaltmak amacıyla yapılmıştır. Isı verimin %23 olduğu, elektriksel verimin ise %15 olduğu bulunmuştur.

Duran ve Kabul (2014), sistemin genel verimliliğinin artırılmasının hem sistemi hem de paneli soğutmak için su kullanılmasıyla gerçekleştirilebileceği fikrini kabul etmişlerdir. Sıvının (suyun) taşınması amacıyla güneş panelinin arka tarafına bağlanan soğutucu borular kullanılmıştır. Bu işlem, PV hücrelerinin sıcaklığı arttıkça verimliliğinin azalması gerçeğiyle mücadele etmek amacıyla yapılmıştır. Brands vd. (2021), çeşitli FV/T sistem yönetim tekniklerinin, genel sistem performansının yanı sıra ortalama ısı pompası performans katsayısı (COP) üzerindeki etkilerini değerlendirmek için araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırma, PV/T sistemlerinin ısı pompaları için enerji girdisi olma potansiyeline sahip olduğu ve sonuç olarak enerji geri kazanımına ihtiyaç duyan uygulamalara uygun bir alternatif olacağı hipotezine dayandırılmıştır.

FV/T sistemleri için farklı kontrol tekniklerini karşılaştırırken dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi, sistem tarafından kazanılan enerji miktarı ve kullanılan toplam enerji miktarıdır. Daia vd. (2020), bir ısı pompasına bağlanan FV/T modülünün termal ve elektriksel verimliliğini değerlendirmek için ısı pompasında faz değiştiren malzemeler kullanmış ve bunları ısı depolama sistemine dahil etmişlerdir. Bu, araştırmacıların modülün hem termal hem de elektriksel verimliliğini analiz etmelerine ve FV/T modülünün ısı pompasıyla eşleştirildiğindeki etkinliği üzerine çalışma yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Bellos vd. (2019), alan ısıtma ve elektrik üretimi için nanoakışkan bazlı hibrit FV toplayıcılarla çalıştırılan güneş destekli ısı pompası araştırmasında, Cu/su ve  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanlarını kullanarak sistemin performansını arttırmayı amaçlamışlardır. Bu proses, sistemin verimliliğini artırmak amacıyla hem alanın ısıtılmasında hem de enerji üretiminde kullanılmak üzere güneş destekli bir ısı pompası üzerine yapılan araştırmaların bir parçası olarak yapılmıştır. Ticari ve endüstriyel ortamlarda güneşin gücünden yararlanmada, halihazırda çok çeşitli alternatifler mevcuttur. Buna rağmen elektrik-termal hibrit sistemlerin büyük miktarlarda üretilmediği veya önemli ölçüde kullanılmadığı görülmektedir. FV/T modülleri, geleneksel güneş (FV) panellerine kıyasla daha iyi elektrik verimliliği ve toplam verimlilik (ısı verimliliğe ek olarak elektrik verimliliği) sağlar (Bellos vd. 2019).

Hibrit sistem inşasında güneş panellerinin termal sistemlerle birlikte kullanılması, verimin azalması sorununa çözüm olabilir. Hibrit bir sistemin kullanımının dışarıdan elektrik enerjisi kaynağı kullanımına olan ihtiyacı azalttığı da yaygın bir bilgidir (Kolahan vd. 2017).

Kolahan vd. (2017), kıvrımlı FV/T cihazını kullanarak araştırma yapmış ve nanoakışkan kullanımının ısı transfer katsayısında önemli bir artışa yol açtığını keşfetmişlerdir. Bu artışın  $SiO_2$  nanopartikülleri için biraz daha az ancak  $Al_2O_3$  nanopartikülleri için çok daha etkili olduğu görülmüştür. Arıcı vd. (2021), FV/T toplayıcı üzerinde bir araştırma yürütmüş ve  $Fe_3O_4-H_2O$  nanoakışkanının kullanımının termal, elektriksel ve genel verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğunu keşfetmişlerdir. Al-Waeli vd. (2017), kıvrımlı FV/T sisteminin deneysel araştırmasında SiC nanoparçacıklarını kullanmış ve sırasıyla termal verimlilikte %85,

elektrik verimliliğinde %12,75 ve toplam verimlilikte %97,75 oranında bir iyileşme bildirmişlerdir.

Abed vd. (2016), üç farklı nanopartikülün ( $\text{SiC}$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{SiO}_2$ ) dikdörtgen türdeki FV/T cihazındaki performansını karşılaştırdıkları bir deney gerçekleştirmiş ve  $\text{SiC}$  nanopartiküllerinin performansının oldukça üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.  $\text{SiC}$  nanopartiküllerinin kullanımının, birleşik FV/T sisteminin %81,73 verim elde etmesini sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, Iniyen ve Michael (2015), dikdörtgen FV/T sistemi üzerindeki araştırmalarında  $\text{CuO}$  nanoparçacıklarını kullanmışlar ve bunun sonucunda sistemin termal performansının büyük ölçüde arttığını keşfetmişlerdir. Dhaou vd. (2016) tarafından, FV/T sistemlerinin plaka ve tüp türlerinde iki farklı nanopartikül olan  $\text{Cu}$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  için karşılaştırmalı sayısal bir araştırma yapılmıştır. Bakır nanopartiküllerinin, baz akışkanlar ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanopartiküllerine kıyasla elektriksel ve termal verim açısından üstün performans sağladığı belirlenmiştir.  $\text{SiO}_2$  nanoparçacıklarını kullanan plaka ve tüp FV/T toplayıcı türlerine yönelik deneysel bir araştırma Heris vd. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın tamamlanmasının ardından nanopartikülün toplam ekserjisi %24,31, genel verimliliği ise %7,9 olarak tespit edilmiştir.

Benzer şekilde, Ghadiri vd. (2015),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanopartiküllerinin kullanımının sistemin genel verimliliğinde %79'a kadar bir iyileşmeye yol açtığını bulmuşlardır.

Güneş enerjisini kullanan birçok endüstriyel sistem örneği bulmak mümkündür. Ancak pratikte elektrik-termal hibrit sistemlerin kullanımı ve üretimi sınırlı görünmektedir. FV/T modüllerinin kullanımı, standart FV panellere göre elektriksel verim ve toplam verim (elektrik + ısı verim) açısından daha avantajlıdır. Bu çalışmada FV sisteme ilave edilen serpantin tipi bir soğutma sistemi kullanılarak içerisinde baz akışkan suya göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip %1 manyetik hibrit  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanopartikülleri içeren su bazlı nanoakışkan ve  $\text{NiOFe}_2\text{O}_3$  katkılı nanoakışkan kullanılarak sistemin elektriksel ve ısı veriminin artırılması, panellerin soğutulması ile de elde edilen elektrik enerjisinin artırılması amaçlanmaktadır. Deneysel çalışmalar, manyetik parçacıkların eklenmesiyle oluşan hibrit nanoakışkanın ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ ) baz akışkan suya kıyasla termal ve elektriksel performansı artıracığı ve doğal hibrid olan  $\text{NiOFe}_2\text{O}_3$ 'le kıyaslama yapılarak oluşturulan manyetik hibrid

nanoakışkanın gerek termofiziksel gerekse ısı ve elektrik uygulamada gerçekleştireceği termal davranışların ölçülmesi yönünde bir çalışmanın literatüre katılması amaçlanmıştır.



## 2. LİTERATÜR TARAMA

### 2.1 Manyetik Nanopartiküller

Manyetik nanopartiküller, manyetik alanların üzerlerindeki etkisine karşı hassastır. Bu tür parçacıkların bileşenlerinden biri genellikle demir, nikel veya kobalt gibi manyetik malzemelerdir, diğer bileşen ise aktif bir kimyasal bölümdür. Mikro yapıların boyutları 0,5 mikrometreden 500 mikrometreye kadar değişebilirken, nanopartiküllerin çapı bir mikrometreden küçüktür ve genellikle bir ila yüz nanometre arasındadır. Mikro boncuklar kozmetik ve tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır. Manyetik nanoboncuklar, çapları elli ila iki yüz nanometre arasında değişen manyetik nanopartikül kümelerinden meydana gelir. Manyetik nanopartikül kümeleri ise tek tek nanopartiküllerin bir araya getirilmesiyle oluşur (Bossman ve Wang, 2017; Marko vd. 2014). Manyetik nanopartikül kümeleri, manyetik birleştirme işleminin yapı taşları olarak, bireysel manyetik nanopartiküller kullanılarak manyetik nanozincirlerin yapımının temeli olarak kullanılır (Kralj ve Makovec, 2015). Son yıllarda, manyetik nanopartiküller, nanomateryal bazlı katalizörler, biyotıp ve dokuya özgü hedefleme dahil olmak üzere katalizde kullanılabilecek arzu edilen özelliklere sahip oldukları için büyük ilgi görmüştür (A.K. Gupta ve M. Gupta, 2005; Araneda vd. 2015; Bill vd. 2004). Bu ilgi, manyetik nanopartiküllerin kataliz sürecinin yanısıra manyetik olarak ayarlanabilen kolloidal fotonik kristaller, mikroakışkanlar, manyetik rezonans görüntüleme, manyetik parçacık görüntüleme, veri depolama, nanoakışkanlar, optik filtreler, kusur sensörü, manyetik soğutma ile katyon tespit cihazlarında kullanılabilecek arzu edilen özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Araneda vd. 2015; ; Babič vd. 2014; Chaundray vd. 2019; Chaundhary ve Ramanujan, 2016; Demourgues vd. 2006; Elliot ve Zhang, 2001; Felicia vd. 2013; Frey; Ge vd. 2012; Gleich ve Weizenecker, 2005; Hyeon, 2003; Kalyanasundaram vd. 2003; Mahendran, 2012).

### 2.2 Özellikler

Manyetik nanoparçacıkların üretim yöntemi ve kimyasal yapısı, bu atom altı parçacıkların kimyası ve fiziğini tartışırken dikkate alınması gereken en önemli

faktörlerden ikisidir. Manyetik nanopartiküllerin üretim sürecinde bu elementlerin her ikisi de önemli bir rol oynamaktadır. Süperparamanyetizma, boyutları 1 ila 100 nm arasında değişen parçacıklar tarafından sergilenebilen bir özelliktir ve bu parçacıklar çok çeşitli şekillerde davranabilirler (Lu vd. 2007).

## **2.3 Manyetik Nanopartikül Tipleri**

### **2.3.1 Oksitler: Ferritler**

Ferrit ve demir oksit nanopartikülleri, manyetik nanopartiküllerle ilgili yürütülen araştırmaların büyük çoğunluğunun odak noktası olmuştur. Manyetit ve maghemit kristal yapıları, demir oksitlerden oluşan bu nanopartiküllerin üretimi için hammadde sağlar. Ferrit parçacıkları yaklaşık 128 nanometrelik bir boyuta ulaştığında, süperparamanyetik bir şekilde davranmalarına neden olan bir eşiği geçerler (Lu vd. 2007). Ferrit parçacıkları yalnızca harici bir manyetik alan varlığında manyetik davranış sergileyeceğinden, parçacıkların bu özelliği onların kendi kendine toplanıp daha büyük yapılar oluşturmasını engeller. Bir takım bireysel süperparamanyetik nanopartiküllerin kontrollü kümelenmesiyle ferrit nanopartiküllerin manyetik momentini önemli ölçüde artırmak için, manyetik nanoboncuklar olarak da adlandırılan süperparamanyetik nanopartiküllerin kullanılması mümkündür (Hanzel vd. 2014). Manyetik alanlar arasındaki bağlantı yok edildikten sonra, kalıcılık sıfırlanacak ve önceki değer artık geçerli olmayacaktır. Ferrit nanoparçacıklarının çözünürlüğünü artırmaya çalışırken yüzeylerini yüzey aktif maddeler, silika, silikonlar veya fosforik asit türevleriyle işlemek yaygın bir uygulamadır. Bu uygulama, manyetik olmayan oksit nanopartiküllerin yüzeyinin modifikasyonu açısından nanopartikülleri daha çözünür hale getirme umuduyla yapılır (Kim ve Mikhaylova, 2003).

### **2.3.2 Kabuklu Ferritler**

Nispeten atıl doğaları nedeniyle, bu manyetik nanopartiküllerin yüzeyi genellikle manyetit veya maghemitten yapılır ve çoğu durumda, çalışmada kullanılabilecek bir dizi molekülle güçlü kovalent bağlar oluşturmasına hiçbir şekilde izin verilmez. Bunun nedeni yüzey oluşum sürecinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, manyetik

nanopartiküllerin yüzeyine belirli bir silika tabakasının uygulanması, partikülleri daha reaktif hale getirerek reaktivitesini artırabilir (URL-2, 2022). Ek olarak, bir dizi organosilis molekülü ve silika kabuk arasında bir dizi kovalent bağ oluşturulursa, silika kabuğun yüzeyini işlevsel olarak farklı olabilecek çeşitli gruplarla hızla değiştirmek mümkündür (Čampelj vd. 2010; Drofenik vd. 2010). Ayrıca uygun koşullar sağlandığı takdirde, parlak pigmentin bazı moleküllerinin işlevselleştirilmiş silika kabuk ile kovalent bağlar kurması da mümkündür (Jagodič vd. 2012).

Metal nanopartiküllerle karşılaştırıldığında, dar boyut dağılımlarına sahip, süperparamanyetik oksit nanopartiküllerinden (tane başına 80'den az süperparamanyetik maghemit nanopartikülleri) oluşan ve bir silika kabukla kaplanmış ferrit nanopartikül kümeleri, aşağıdakiler gibi bir dizi avantaj sunar (Hanzel vd. 2014):

- Biyolojik uygulamalar için gerekli olan yüksek derecede kimyasal stabiliteye sahip proses değerleri
- Biyomedikal alandaki uygulamalar için gerekli olan hacimsel dağılım
- Manyetik olarak topaklanmaması nedeniyle mükemmel koloidal stabilite
- Nanopartiküllerin bir değişken olan kütlesi ayarlanarak manyetik momentin ayarlanabilmesi
- Süperparamanyetik özelliklerin korunması (nanopartikül dizisinin boyutundan bağımsız olarak)
- Silika yüzeyi sayesinde doğrudan kovalent işlevselleştirme elde edilebilmesi

### 2.3.3 Metalik

Maghemit ve manyetit gibi oksitler belirli biyolojik uygulamalar için faydalı olabilse de metalik nanopartiküllerin sahip olduğu gelişmiş manyetik moment, teknolojik uygulamalar için daha faydalı olabilir. Bunun nedeni metalik nanopartiküllerin oksitlerden daha küçük bir boyuta sahip olmasıdır. Ek olarak bu durum, metalik nanoparçacıkların boyutunun, oksit muadillerinininkine eşdeğer bir seviyeye indirilmesinin mümkün olabileceğine dair bazı işaretler vermektedir. Öte yandan metalik nanopartiküller, piroforik olma ve oksitleyici maddelere karşı reaktif olma gibi temel bir dezavantaja sahiptir. Bu nedenle baş edilmesi zor bir kimyasaldır. Çalışması zor olduğundan biyotıp ile bağlantılı uygulamalarda kullanıma uygun değildir ve

bunun sonucunda istenmeyen yan etkiler yaratabilir. Diğer parçacıklarla kolloid çözelti oluşturma işlemiyle karşılaştırıldığında metal parçacıklarla kolloid çözelti oluşturma yöntemi çok daha zordur (Hanzel vd. 2014).

#### **2.3.4 Kabuklu Metalik**

Yüzey aktif maddeler, polimerler, değerli metaller ve çok az miktarda oksidasyon kullanarak manyetik nanopartiküllerin metalik çekirdeğini pasifize etmek mümkündür. Bu süreç pasifleştirme olarak bilinir (Lu vd. 2007). Bir kobalt nanopartikülünün yüzeyinin, oksijene maruz kaldığında anti-ferromanyetik kobalt oksit (CoO) kaplaması oluşturmaya mümkündür. Bu kaplama kobaltın mıknatıslanmasını önler. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, özellikle değişim etkisine odaklanarak, bu nanopartiküllerin altın dış kabukla üretilmesini incelemiştir. Bu nanopartiküllerin kobalttan yapılmış bir çekirdeği ve kobalt oksitten yapılmış bir dış kabuğu bulunur (Kolahan vd. 2017). Son araştırmalar, elementel demir veya kobalttan yapılmış manyetik bir çekirdeğe sahip olan ve çevresiyle reaksiyona girmeyen bir grafen kabukla kaplanmış nanopartiküllerin üretimine olanak sağlamıştır. Bu nanopartiküller çeşitli uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahiptir (Arıcı vd. 2021). Ferrit veya elementel nanopartiküllerle karşılaştırıldığında elemental nanopartiküllerde aşağıdaki avantajlar görülür (Athanassiou vd. 2007; Cole vd. 2010; Grass ve Stark, 2006):

- Daha yüksek derecede mıknatıslanma
- Organik çözücülere ek olarak hem asidik hem de bazik çözeltilerde daha yüksek derecede stabilite
- Karbon nanotüplerle çalıştığı bilinen teknikleri kullanan grafen yüzeyindeki kimya

### **2.4 Sentez**

#### **2.4.1 Eş Çökeltme**

Eş çökeltme adı verilen bir işlemle sulu  $Fe_2+/Fe_3+$  tuz çözeltilerinden demir oksitler ( $Fe_3O_4$  veya  $-Fe_2O_3$ ) üretmek mümkündür. Bu yaklaşım, oda sıcaklığında veya yüksek

sıcaklıktaki inert bir ortama bir bazın eklenmesini içerir. Eş çökeltme basit ve kullanışlı bir tekniktir. Eş çökelmenin oda sıcaklığında veya daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleşmesi mümkündür.  $Fe_2^{+}$ 'nın  $Fe_3^{+}$ 'ya oranı, reaksiyonun sıcaklığı, ortamın pH değeri, iyonik gücü ve çökelmeyi tetiklemek için kullanılan baz çözeltisiyle karıştırma hızı unsurlarının tümü, reaksiyonda üretilen manyetik nanopartiküllerin boyutu, şekli ve bileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faktörlerdir (Lu vd. 2007). Bu elemaların bazı örnekleri arasında klorürler, sülfatlar ve nitratlar yer alır (Belova vd. 2011). Son yıllarda eş çökeltme yaklaşımı, boyutları ve manyetik özellikleri dikkatle kontrol edilebilen ferrit nanopartiküllerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu oluşum, yöntemin ferrit ve diğer elementleri eş çökeltme yeteneği sayesinde mümkün olmuştur (Ayyappan vd. 2006; Ayyappan vd. 2009; Ayyappan vd. 2010; Gnanaprakash vd. 2007). Hızlı karıştırmanın geniş bir yelpazedeki deneysel koşullarla birlikte kullanılmasının, manyetik parçacıkların sürekli ve büyük ölçüde ölçeklenebilir eş çökertilmesini mümkün kılabileceği varsayılmıştır (Ghadiri vd. 2015; Hanzel vd. 2014). Son dönemlerde, manyetit nanopartikülleri çökertilirken manyetik nanopartiküllerin büyüme hızını gerçek zamanlı olarak belirlemek için reaktanların karışım bölgesi içinde entegre bir AC manyetik süseptometre kullanılmıştır. Bu, manyetit nanoparçacıklarının bir AC manyetik alanına duyarlılığının ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir ve nanopartiküllerin sayısının arttığı hızı tespit etmek için yapılmıştır (Bossman ve Wang, 2017).

#### **2.4.2 Termal Bozunma**

Alkali organometalik bileşiklerin, stabilize edici yüzey aktif maddeler içeren yüksek kaynama noktalı organik çözücülerdeki termal parçalanması, daha küçük boyutlu manyetik nanokristallerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Bu prosedürü gerçekleştirmek için en iyi ortam bilimsel bir laboratuvarıdır (Behnamghader vd. 2016; Beygzadeh vd. 2017; Colin vd. 2008; Lu vd. 2007; Olsson vd. 2010; Raston vd. 2006).

#### **2.4.3 Mikroemülsiyon**

Mikroemülsiyon prosedürü, setiltrimetilamonyum bromürün ters misellerinde metalik kobalt, kobalt/platin alaşımları ve altın kaplı kobalt/platin nanopartiküllerini başarıyla

oluşturmak için kullanılmıştır. Yağ fazı için oktan kullanılmış ve bu işlemde yardımcı yüzey aktif madde 1-bütanol olmuştur (Athanassiou vd. 2010; Lu vd. 2007; Rana vd. 2010).

#### **2.4.4 Alev Püskürtme Sentezi**

Bir üretim tekniği olarak alev püskürtme pirolizinin kullanılması, reaksiyonun parametrelerini değiştirerek oksitlerin, metalin veya karbon kaplı nanopartiküllerin 30 g/saatten daha yüksek bir hızda üretilmesini mümkün kılmaktadır (Araneda vd. 2015; Arıcı vd. 2021; Athanassiou vd. 2010; Grass ve Stark, 2006).

### **2.5 Potansiyel Uygulamalar**

İzlenebilecek oldukça çeşitli uygulamaların olduğu belirlenmiştir. Manyetik nanopartiküllerin yapımının yüksek maliyeti nedeniyle, bu nanopartiküllerin geri dönüştürülmesine veya bunların oldukça uzmanlaşmış uygulamalarda kullanılmasına artan bir ilgi vardır. Bu ilginin bir diğer nedeni, manyetik nanopartiküllerin geri dönüştürülmesinin atıkların azaltılmasına yardımcı olabilmesidir. Manyetik kimyanın vaat ettiği çeşitlilik, manyetik nanopartiküllerin hızlı ve basit bir şekilde ayrılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu, kimya alanında yoğun olarak kullanılan işgücü ve kaynak ayırma yöntemlerinin ortadan kaldırılmasını mümkün kılmaktadır. Ek olarak, manyetik nanopartiküller, örneğin kanserle kesin bir hassasiyetle mücadele etmek amacıyla, oldukça faydalı olabilecek bir manyetik alan aracılığıyla ilgi alanına yönlendirilebilir (Athanassiou vd. 2010; Grass ve Stark, 2006).

#### **2.5.1 Tıbbi Teşhis ve Tedaviler**

Manyetik hipertermi olarak bilinen kansere yönelik yeni bir tedavide, manyetik nanopartiküllerin kullanılma olasılığı üzerine araştırmalar yapılmıştır (Rabias vd. 2010). Bu tür tedaviye manyetik hipertermi denir ve söz konusu nanopartiküllerin alternatif bir manyetik alan (AMF) kullanımıyla ısıtılmasını içerir. Alternatif manyetik alanın (AMF) frekansı genellikle 100 ile 500 kHz arasında değişir; ancak düşük frekansların yanı sıra 10 MHz'e kadar yüksek frekanslarda da önemli araştırmalar yapılmıştır. Alanın genliği tipik olarak 8 ile 16 kAm arasında değişir; ancak hem düşük

frekanslarda hem de yüksek frekanslarda önemli araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Kumar ve Mohammad, 2011).

Çok sayıda çeşitli kimyasal işlemlerden yararlanılarak manyetik nanopartiküllerin yüzeyine afinite ligandlarının bağlanması mümkündür. Epidermal büyüme faktörü (EGF), folik asit, aptamerler ve lektinler bu kategoride bulunabilecek ligandların bazı örnekleridir. Bu sayede, manyetik nanopartiküller uygun manyetik alanlar kullanılarak belirli dokulara veya hücrelere yönlendirilebilir. Bu yöntem, kanser araştırmaları alanında, manyetik hipertermi veya kanser ilaçlarının nanopartiküller aracılığıyla iletilmesiyle birlikte tümörleri hedeflemek ve tedavi etmek için kullanılır. Çalışmada gösterilen çabalara rağmen, afinite ligandlar kullanıldığında bile her türlü kötü huylu tümör içindeki nanopartiküllerin toplanması optimalin altındadır. Audet vd. (2016), tümörlere nanoparçacık verilmesi konusu hakkında kapsamlı bir araştırma yapmış ve enjekte edilen dozun yalnızca %0,7'sinin katı bir tümöre nüfuz edebildiği sonucuna varmışlardır. Nanotıpın genel olarak karşılaştığı en büyük zorluk, tümörlerin içinde biriken önemli sayıda nanopartikülle ilgili sorunlardır. Bu hiç şüphesiz nanotıbbın aşması gereken en önemli engeldir. Bununla birlikte, intravenöz enjeksiyon, parçacıkların tümör boyunca uygun bir şekilde dağılmasını sağlamada en sık önerilen yaklaşımdır. Bazı durumlarda, parçacıkların tümör boyunca uygun bir şekilde dağılmasını sağlamaya çalışırken doğrudan enjeksiyon kullanılabilir. Manyetik nanopartiküllerin, manyetik olarak yönlendirildikten sonra seçilen konumlarda toplanabileceği gerçeği, bu teknolojinin katı tümörlere başarılı bir şekilde verilmesini sağlamak için hala önemli ölçüde iyileştirmeye ihtiyaç duyması gerçeğine rağmen, bu nanopartiküllerin kullanımına bağlı önemli bir fayda sağlar. Tüm bunlara rağmen manyetik nanopartiküllerin kullanımının birçok avantajı vardır.

Bu sağlık durumunun bir başka olası tedavisi, vücutta serbestçe hareket eden kanser hücrelerine kendilerini bağlamak için manyetik nanopartiküllerin kullanılmasıdır. Bu sayede kanser hücrelerini tespit edip vücuttan uzaklaştırmak mümkün olacaktır. Tedavi laboratuvarında fareler kullanılarak incelenmiştir ve çok uzak olmayan bir gelecekte hayatta kalma testlerine tabi tutulacaktır (Anonim, 2008; Dickerson vd. 2008).

Manyetik nanopartiküllerin bir gün kanser tespit sürecinde kullanılma ihtimali var. Kan, manyetik nanopartiküllerden oluşan bir mikroakışkan çip üzerine yüklenebilir ve cihazın içine yerleştirilebilir. Kanın serbestçe akmasına izin verilirken dışarıdan bir manyetik alan üretilir ve bu da manyetik nanopartiküllerin cihazın içinde sıkışmasına neden olur. Manyetik nanopartiküller, kanser hücrelerini veya proteinlerini tam olarak hedef alan antikorlarla üretilmiş ve kaplanmış. Bu nanopartiküller klinik deneylerde test edilmektedir. Manyetik nanopartiküllerin geri kazanılması mümkündür ve bunlara bağlı kanserle ilişkili bileşiklerin ilave incelemesi, nanopartiküllerin mevcut olup olmadığını ortaya çıkarabilir.

Manyetik nanopartiküllerin bakterilerin tespitinde kullanılması, bu nanopartiküllerin karbonhidrat molekülleri ile konjugasyonu ile mümkün olmaktadır. Demir oksit parçacıkları, *Escherichia coli* gibi gram-negatif bakterilerin yanı sıra *Streptococcus suis* gibi gram-pozitif bakterilerin tanımlanması sürecinde de kullanılmıştır. Bu işlem her iki bakteri türüne de uygulanabilir (Barden, 2012; Finne vd. 2010).

Çekirdek-kabuklu manyetik nanopartiküller ve özellikle kobalt ferrit, *Candida parapsilosis* ve *Candida albicans* dahil potansiyel olarak tehlikeli ökaryotik ve prokaryotik enfeksiyonlara karşı etkili antibakteriyel özelliklere sahiptir. Çekirdek-kabuklu manyetik nanopartiküller özellikle *Candida albicans*'a karşı etkilidir. Antimikrobiyal aktivitenin büyüklüğünün manyetik nanoparçacıkların parçacık boyutuyla ters ilişkili olduğu ve parçacıklar ne kadar küçükse etkinin anlamlılığının da o kadar yüksek olduğu iyi bilinen bir bilgidir. İki kavram arasındaki bu ilişki kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Drabavičius vd. 2018).

Nanopartiküllerin oligonükleotidlerle konjugasyonu diğer teşhis uygulamalarına kapı açmaktadır. Bu oligonükleotidler, patojenik DNA veya patojenik DNA'nın varlığında DNA amplifikasyon işlemlerinin sonuçlarında olduğu gibi, onu tespit etmek için ilgili bir DNA veya RNA dizisine tamamlayıcı olabilir veya ilgili bir molekülü tanıyan aptamerler olabilirler (Göransson vd. 2010). Her iki durumda da bu oligonükleotidlerin amacı hedef molekülün varlığını tanımlamaktır. Bu, nanopartiküllerin tasarlandıkları teşhis rolünü yerine getirmelerini sağlar. Bu sayede, virüs veya bakteri gibi patojenlerin neden olduğu bozuklukların yanı sıra, vücutta

potansiyel olarak tehlikeli kimyasalların veya diğer maddelerin keşfedilmesi sağlanabilir (Ban ve Jo, 2016).

### **2.5.2 Manyetik İmmünoanaliz**

Manyetik immünoanaliz (MIA), tipik enzimler, radyoizotoplar veya floresan kısımlar yerine etiket olarak manyetik nanoboncukları kullanan yenilikçi bir tanısal immünoanaliz türüdür (Nikitin vd. 2008). Bu özel testte, bir çiftin bileşenlerinden birine manyetik bir etiket bağlanır ve bu, bir antikorun karşılık gelen antijene spesifik bağlanmasıyla sonuçlanır. Manyetometre olarak da bilinen manyetik bir okuyucu, boncukların neden olduğu manyetik alan gücündeki değişikliği analiz ederek, manyetik nanoboncukların mevcut olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Orijinal numunedeki analit miktarı, manyetometre tarafından kaydedilen sinyalle orantılıdır. Analitler diğerlerinin yanı sıra virüsleri, toksinleri, bakterileri ve kardiyak belirteçleri içerir (Nikitin vd. 2008).

### **2.5.3 Atık Su Arıtımı**

Manyetik nanopartiküller, manyetik alan uygulandığında kolayca ayrılabilmesi ve sahip oldukları olağanüstü yüksek yüzey/hacim oranı nedeniyle, kirlenmiş suyun arıtımında kullanılma potansiyeline sahiptir (Chaudhary vd. 2019). EDTA benzeri şelatörlerin karbon kaplı metal nanomiknotislara eklenmesi, bu tekniğin, ağır metallerin çözeltilerden veya üç kat büyüklükte kirlenmiş sudan, litre başına mikrogram kadar düşük konsantrasyonlara kadar hızlı bir şekilde uzaklaştırılması için manyetik bir reaktif geliştirmesine olanak sağlar. Bu reaktif sayesinde, litre başına mikrogram kadar düşük konsantrasyonlara sahip çözeltilerden ağır metallerin ekstrakte edilmesi mümkündür (Nikitin vd. 2008).

### **2.5.4 Elektrokimyasal Algılama**

Manyeto-elektrokimyasal analizlerde, manyetik nanopartiküller elektrokimyasal algılamada iki yoldan biriyle kullanılır; analiti toplayıp yoğunlaştırabilecekleri ve bir manyetik alan tarafından işlenebilecekleri bir numune aracılığıyla dağıtılma yoluyla veya bir elektrot yüzeyini değiştirerek, iletkenliğini ve analite olan afinitesini artırma

yoluyla. Bu yöntemlerin her ikisi de manyetik nanopartiküllerin bir manyetik alan tarafından yönetilmesini ve numune boyunca dağıtılmasını gerektirir. Manyeto-elektrokimyasal test, birincil test aracı olarak büyük ölçüde manyetik nanopartiküllerin kullanımına dayanır. Kaplanmış manyetik nanopartiküller, yalnızca analitin toplanmasını kolaylaştırdıkları için değil, aynı zamanda MNP'lerin, sensörün bilgi ilettiği sürecin bir bileşeni olmasını mümkün kıldıkları için de elektrokimyasal algılamada önemli bir rol oynarlar (Chen vd. 2019). Elektrokimyasal algılama söz konusu olduğunda, bu, kaplanmış manyetik nanopartiküllerin bu kadar hayati bir rol oynamasının birçok nedeninden sadece bir tanesidir. MNP'leri değiştirmek için, manyetik elektrot şaftları veya kalıcı olarak tutturulmuş mıknatıslar içeren tek kullanımlık serigrafi baskılı elektrotlar ile elektrokimyasal algılama kullanılmıştır (Yang vd. 2014). Bu elektrotlar, manyetik desteklere veya herhangi başka bir dış manyetik alana alternatif sunma çabasıdadır (Panagiotopoulos vd. 2020).

#### **2.5.5 Desteklenen Enzimler ve Peptitler**

Manyetik nanopartiküllerin, diğer molekül türlerinin yanı sıra enzimler ve proteinler gibi biyolojik ve kimyasal olarak aktif molekülleri hareketsizleştirebildiği gösterilmiştir (Chen vd. 2004). Enzimlerin ucuz, toksik olmayan ve kolayca üretilen demir manyetik nanopartiküller (MNP) üzerinde immobilizasyonu, daha stabil proteinler, daha yüksek ürün verimi, protein saflaştırmasının basitliği ve manyetik duyarlılığı sayesinde çok sayıda uygulamanın bir sonucu olarak büyük umut vaat etmektedir. Ayrıca katı faz sentezinde destek görevi görme potansiyeline sahip oldukları için ilgi görmektedir (Ertan vd. 2017).

Bu uygulama, hücresel etiketleme ve ayırma, doku iyileştirme, ilaç dağıtımı, manyetik rezonans görüntüleme, hipertermi ve manyetofeksiyon dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yararlı olma potansiyeline sahiptir (A.K. Gupta vd. 2005; Norén ve Kempe, 2009).

#### **2.5.6 Rastgele ve Bölgeye Yönelik Enzim İmmobilizasyonu**

Enzimler, rastgele çok noktalı bağlanma yoluyla manyetik nanopartiküller (MNP) üzerinde immobilize edildiğinde ortaya çıkan protein popülasyonu daha çeşitli olur,

ancak aktivitesi azalır. Bunun nedeni enzimin aktif bölgesine substratların ulaşmasının daha zor olmasıdır. MNP'nin bir protein molekülüne tek bir spesifik amino asitle (N-veya C-terminalleri gibi) bağlanabildiği kimyasal modifikasyonlara dayanan ve böylece MNP'nin protein molekülüne bağlı olarak substratın aktif bölgeye serbest erişimi sırasında meydana gelebilecek aktivite kaybını önleyen yöntemler mevcuttur. Bu faydaya ek olarak bölgeye yönelik immobilizasyon, katalitik kalıntılarda herhangi bir değişikliğin önlenmesini sağlar. Proteinlerde bu grupların her ikisi de eksik olduğundan, yaygın strateji, alkin-azid tıklama kimyası adı verilen bir kimyasalın kullanılmasını içerir (Guerriero vd. 2019).

### 2.5.7 Katalizör Desteği

Çok çeşitli uygulamalarda, manyetik nanopartiküller ya katalizör olarak ya da diğer katalizör türleri için destek olarak kullanılabilir (Bahrami vd. 2017; Reiser vd. 2010). Kataliz, bir katalizörün genellikle büyük miktarda yüzey alanına sahip bir katı olan katalitik bir desteğe tutturulduğu işlem olarak tanımlanır. Belirli bir kimyasala kimya alanında katalizör desteği adı verilir. Gerçek reaksiyon, heterojen katalizörlerin yüzeyinde, yani yüzey katmanını oluşturan atomlar arasında gerçekleşir. Bu sebeple, daha hızlı bir reaksiyon oranı elde etmek amacıyla katalizörün yüzey alanını desteğin her tarafına dağıtarak arttırmak için büyük miktarda çaba gerekir. Koşullara bağlı olarak desteğin ya hiç tepki vermemesi ya da katalitik eylemlerde aktif olarak yer alması mümkündür. Desteklerin çoğunluğu farklı miktarlarda karbon, alümina ve silika karışımından yapılmıştır. Katalitik çekirdeğin yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip nanopartiküllerin yüzeyine hareketsiz hale getirilmesiyle bu sorunun aşılması ve istenen sonuçların alınması mümkündür. Bu sayede manyetik nanopartiküller basit bir şekilde ayrılabilir. Örneklerden biri, manyetik demir oksit nanoparçacıklarına bağlanan rodyum katalizidir (J. K. Lee vd. 2003). Yine başka bir örnekte, stabil radikal TEMPO'yu grafen kaplı kobalt nanopartiküllerine bağlamak için bir diazonyum reaksiyonu kullanılmıştır. Daha sonra reaksiyonun bir parçası olan birincil ve ikincil alkoller, kemoselektif bir şekilde üretilen katalizör yardımıyla oksitlenmiştir (Grass vd. 2008). Katalitik reaksiyonun kesikli reaktör yerine sürekli akışa izin veren bir reaktörde gerçekleştirilmesi durumunda, katalitik reaksiyon sonucu oluşan üründe katalizörün izi kalmayacaktır. Bunun nedeni, sürekli akışlı reaktörlerin, katalizörün

işlemden tamamen çıkarılmasına olanak sağlamasıdır. Deneyde, harici bir manyetik alan yardımıyla hızlı ve belirgin bir ayırmanın gerçekleştirilebilmesi için grafen kaplı kobalt nanopartikülleri kullanılmıştır. Deneyin başarılı olabilmesi için düşük manyetikliğe sahip olan Ferrit nanopartiküllerinden daha büyük manyetik güce sahip nanopartiküllerin kullanılması gerekir (Grass vd. 2010).

#### **2.5.8 Biyomedikal Görüntüleme**

Demir oksitten yapılan nanopartiküller, özellikle manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ile birleştirildiğinde, geniş bir potansiyel kullanım alanına sahiptir (Colombo vd. 2012). Manyetik CoPt nanopartikülleri artık nakledilen beyin kök hücrelerinin tespit edilmesi sürecinde kullanılmaktadır. Bu nanopartiküller, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) için bir tür kontrast maddesi işlevi görmektedir (Meng vd. 2011).

#### **2.5.9 Kanser Tedavisi**

Manyetik sıvı hipertermisi işlemi sırasında, demir oksit, manyetit, maghemit ve hatta altın dahil olmak üzere farklı türdeki nanopartiküller tümöre enjekte edilir (Amiri vd. 2012). Daha sonra tümör, yüksek frekanslı bir manyetik alanın içine yerleştirilir. Bu nanopartiküller, tümörün sıcaklığını 40 ila 46 santigrat derece arasına yükselten ve kanser hücrelerini öldürebilen ısı üretir (Amanpour vd. 2014; Amanpour vd. 2015; Haghpahahi vd. 2014). Manyetik nanopartiküllerin ısı işlemi (hipertermi) ilaç dağıtımıyla birleştirme yeteneği, bu partiküllerin ek bir önemli potansiyel kullanımıdır ve birçok olası uygulamasından biridir. Terapötik yüke ek olarak manyetik nanoparçacıkları taşıyabilen parçacıkların gelişimi bir dizi çalışmayla gösterilmiştir (Estelrich vd. 2015). "Manyetolipozom" en sık rastlanan yapı türüdür; tipik olarak çift lipit katmanına entegre edilmiş manyetik nanopartiküller içeren bir lipozomdur. Manyetik nanopartiküller alternatif bir manyetik alana maruz kaldığında, bu durum nanopartiküllerin ısınmasına neden olur, bu da membranı ısıtarak daha geçirgen hale getirir ve bu sayede yüklenen ilacın sisteme salınmasına neden olur. Bu tedavi yaklaşımı, hipertermi ve ilaç salımı kombinasyonunun tümörleri her iki seçeneğin tek başına kullanımından daha iyi iyileştirebileceği gerçeği nedeniyle büyük miktarda potansiyele sahip olmasına rağmen henüz geliştirilmemiştir. Bunun nedeni hipertermi

ve ilaç salınımı kombinasyonunun hastanın vücut ısını yükseltmesidir (Bartel vd. 2019).

#### **2.5.10 Bilgi Depolama**

FePt alaşımının yüzey merkezli tetragonal fazı, yüksek yoğunluklu depolama için olası bir rakip olarak önemli miktarda umut vaat eden bir malzemedir. Bu faz bazı kristal yapılarda bulunabilir. Tane büyüklüğü 3 nanometreden küçük olan malzemelerin üretilmesi mümkün değildir. Eğer MNP'leri bu dakika ölçeğinde değiştirmek mümkün olursa, o zaman bu ortamla sağlanabilecek bilgi yoğunluğunun inç kare başına 1 Terabyte'a hızla ulaşma ihtimali çok güçlü olacaktır. Bunun nedeni, MNP'lerin değişikliklere uyum sağlayabilecek olmasıdır (Frey ve Song, 2010).

#### **2.5.11 Genetik Mühendislik**

Manyetik nanopartiküller kullanıldığında genetik alanında çok çeşitli potansiyel uygulamalara kapı açılmaktadır. mRNA ve DNA'nın hızlı ayrılması bu tip bir uygulamanın örneğidir (Rana vd. 2010). Uygulanabilecek çeşitli kullanımlardan birinde, poli T kuyruğunun ucuna manyetik bir boncuk takılabilir. mRNA ile birleştiğinde, mRNA'nın poli A kuyruğu boncuğun poli T kuyruğuna bağlanacaktır ve RNA'yı izole etme işlemi, bağlama gerçekleştikten sonra tüpün yanına bir mıknatıs yerleştirilip sıvının boşaltılmasıyla tamamlanabilir. Buna ek olarak, plazmit birleştirme işlemine manyetik boncuklar da dahil edilmiştir. Genetik devrelerin hızlı bir şekilde birleştirilmesi, bir çapa olan nanoboncuklara bağlı olarak genlerin büyüyen bir genetik zincire teker teker yerleştirilmesi süreciyle mümkün olmuştur. İn vitro fonksiyonel çoklu gen yapılarını oluşturmak bir saatten az zaman alır, bu da bu yöntemin kendisinden önce gelenlerden çok daha hızlı olduğunun kanıtıdır (Chatterjee vd. 2010).

### **2.6 Fiziksel Modelleme**

Manyetik nanoparçacıkların dönüş dinamiklerinin nasıl modellendiğini açıklamak için kullanılabilecek çok çeşitli matematiksel modeller bulunmaktadır (Reeves, 2017; Reeves ve Weaver, 2014). Bir nanopartikül denge durumunda olduğunda,

manyetizması çeşitli basit modeller kullanılarak açıklanabilir; bunlardan ikisi Langevin fonksiyonu ve Stoner-Wohlfarth modelidir. Bu modellerin her ikisi de Langevin fonksiyonunun örnekleridir. Debye-Rosenzweig modeli, koşullara bağlı olarak düşük genlikli veya yüksek frekanslı parçacıkların salınımları için kullanılabilir, çünkü bu model, mıknatıslanmanın salınımlı bir manyetik alana doğrusal bir tepkisini varsaymaktadır (Carrey vd. 2011). Denge dışı tekniklerin örnekleri arasında Langevin denklem formalizmi ve Fokker-Planck denklem formalizmi yer alır. Bunların her ikisi de diğerlerinin yanı sıra manyetik nanopartikül hipertermisi, manyetik nanopartikül görüntüleme (MPI) manyetik spektroskopi ve biyoalgılama gibi uygulamaları taklit etmek için önemli miktarda gelişme göstermiştir (Borgert vd. 2009; Gimi vd. 2013; Reeves ve Weaver, 2012).

Isı iletebilen çok çeşitli sıvılar vardır; en yaygın olanları etilen glikol, motor yağı ve hatta normal sudur. Bazı ısı transfer akışkanları diğerlerinden daha etkilidir. Isı değişimi söz konusu olduğunda, standart akışkanların kullanılması genleşmeye kısıtlamalar getirir ve daha az toplam ısı değiştirici sayısının kullanılmasını gerektirir. Bağlantı malzemesi olarak katı parçacıkların kullanılması, baz akışkanların termal iletkenliğinin artırılması veya baz sıvılarda yayılan bir kimyasal madde kullanılması, sonuca ulaşmanın diğer yollarındandır. Bu stratejilerin tümü potansiyel seçenekler olarak değerlendirmeye açıktır. Bir akışkanın ısı iletkenliğini artırma hedefine ulaşmak için, katı parçacıkların daha düşük bir ısı iletkenliğe sahip bir baz metal içinde süspansiyon edilmesi gereklidir. Potansiyel çözümlerden biri olarak nanopartiküllerden üretilen malzemelerin kullanılmasıyla bu kısıtlama potansiyel olarak aşılabılır. Nanoakışkanların bir nanometre veya daha küçük boyutlarda parçacık ve madde içermesi imkansız değildir. Baz akışkanların termal ve taşıma özelliklerinin, süspansiyondaki nanopartiküllerin mevcut olup olmadığına ve ayrıca bu nanopartiküllerin varlığına ne kadar güvenildiğine bağlı olarak değişmesi mümkündür. Nanopartiküller, bütünüyle, daha önce doğal ortamlarında hiç görülmemiştir. Örneğin bu parçacıklar sahip oldukları boyut oranları ve nitelikler nedeniyle yeterli fiziksel boyuta ve düşük kinetik enerjiye sahiptirler. Corcione (2010) tarafından yürütülen ve yayınlanan araştırmaya göre, geniş yüzey alanına sahip nanopartiküllerin, bir baz akışkan boyunca yayıldıklarında stabiliteyi koruma şansları daha yüksektir (Finne vd. 2010). Nanoakışkanlar, normalde kullanılan değişim akışkanlarının nano boyutlu

katı bileşenlerle birleştirilmesiyle üretilen iki fazlı bir sistem türüdür. Baz akışkanlarla karşılaştırıldığında nanoakışkanlar, gelişmiş termal iletkenlik ve daha da önemlisi daha yüksek özgül ısı gibi daha iyi özellikler sunar (Corcione, 2010).

Nanoakışkanların sunduğu birçok avantajdan biri de çok küçük olmalarıdır. Nanoakışkanlar daha fazla mekanik, optik, manyetik ve elektriksel yeteneklere sahip olduklarından, ısı transferi de dahil olmak üzere birçok açıdan baz akışkanlardan üstündür. Özellikleri nedeniyle nanoakışkanlar, kütle ve enerjinin depolanması ve iletiminin yanı sıra mekanik ve biyomekanik işlemlerde rol oynama dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda yararlı olma potansiyeline sahiptir (Xie ve Yu, 2012).

Nanoakışkanların ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) alanında, özellikle de çok uzak olmayan bir gelecekte güneş enerjisiyle çalışan HVAC sistemlerinde kullanım alanı bulması muhtemeldir. Güneş enerjisini elektrik gücü kaynağı olarak ve sıvıları ısıtmak için kullanmak, yalnızca çevre için değil, aynı zamanda masraflar ve bakım bütçeleri için de birçok fayda sağlar. Bu avantajlar arasında dünyada daha az ayak izine sahip olmak ve finansal tasarruftan faydalanmak yer almaktadır. Bu tür enerjiye yönelik yatırımların artmasına yönelik genel bir eğilim vardır; bu eğilim, dünyanın her bölgesindeki insanların çevrenin durumu ve iklim değişikliğinin geleceğe yönelik etkileri konusunda artan endişelerine bağlanabilir. Güneş enerjisi, ışık, ısı, sıcak su (güneş enerjisi termal kolektörleri aracılığıyla) ve elektrik (fotovoltaik yoluyla) oluşturmakta, daha geleneksel enerji türlerinin yerini almak üzere kullanılabilir. Bunlar yapılabilecek birçok farklı şeyden sadece birkaçına örnektir (Kaushik vd. 2012; Makki vd. 2015).

Güneşin sağladığı enerjiden faydalı elektrik elde edilmesi, hızla gelişen ve önemi giderek artan bir disipline dönüşmektedir. Enerji verimliliğinin artan popülaritesi, doğal çevrenin korunması ve teknik ilerlemeler, güneş enerjili su ısıtıcıları ve fotovoltaik panellerin kurulu kapasitesindeki büyümeden kısmen sorumlu olabilir. Bu dikkate alınması gereken bir şey unsurdur. Fotovoltaik termal kolektör sistemi hem güneş teknolojisini hem de termal enerjiyi içeren bir fikir olarak öne sürülen bir kavramdır. Bu fikir genellikle FV/T kısaltmasıyla anılır ve önceki olayların doğrudan bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Yalıtım, güneş paneli ve emici plaka, FV/T sisteminin toplam hacminin büyük çoğunluğunu oluşturan üç bileşenidir. Fotovoltaik

güneş paneli, gerçek elektrik üretiminden sorumlu olan bileşendir; emici plaka ise güneşten gelen ısıнын emilmesinden ve daha sonra bu ısıнын sistem boyunca akan akışkana aktarılmasından sorumlu olan bileşendir. Bu iki bileşen birlikte sistemin elektriğinin fiili üretiminden sorumludur. Fotovoltaik güneş termal kolektör sistemlerinde, güneş pilinin elektrik verimliliğinde gelişme, fotovoltaik panellerin ilk olarak soğutulmasıyla elde edilebilir; bu işlem, dolaşım akışkanı olarak su veya hava kullanılarak gerçekleştirilebilir. Fotovoltaik panellerin sıcaklığına bağlı olarak dolaşan bu iki akışkandan biri diğerine göre daha verimli olacaktır (Kaushik vd. 2012; Makki vd. 2015).

Nanoakışkanın üstün termal davranışı ve güneş enerjisi toplayıcılarındaki enerji dönüşümü sonucunda, güneş pillerini etkili bir şekilde soğutmak amacıyla fotovoltaik termal sistemlerde kullanılma potansiyeli vardır. Bu fırsat, nanoakışkanın geliştirilmiş termal davranışının ve güneş enerjisi toplayıcılarında güneş enerjisi dönüşümünün doğrudan bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Nanoakışkanın fotovoltaik termal sistemlerde kullanılması, bu hedefe ulaşmada başarılı olmanın bir yoludur (Kaushik vd. 2012; Makki vd. 2015).

## **2.7 Nanoakışkanların Hazırlanması**

Nanoakışkanların sentezi söz konusu olduğunda, nanopartikül malzemeler ve baz sıvılar temel konulardır; yine de düzgün performans gösteren termal akışkanlar üretmek için bir dizi önemli parametrenin dikkatli yönetimi gerekmektedir (Arora vd. 2014). Topaklanma olmadan veya akışkanın kimyasal bileşimini değiştirmeden stabil, üniform ve uzun ömürlü bir süspansiyon üretebilmek için nanopartiküllerin tanımlanan baz akışkanla yüksek dispersiyon ve kimyasal uyumluluk sergilemesi gerekmektedir. Nanoakışkanların yapımında kullanılabilecek süreçlerin çoğunluğu tek adımlı veya iki adımlı olmak üzere iki geniş kategoriden birine girer. Nanoakışkanlar çok sayıda yöntem kullanılarak üretilir (Abdullah vd. 2018).

### **2.7.1 Tek Adımlı Metotlar**

Tek adımlı işlemler, baz akışkanın içinde doğrudan nanopartiküllerin oluşturulmasını içermektedir. Parçacıklar oluştuktan sonra sıvının her tarafına yayılırlar. 1978’de

Akoh vd. (1978) tarafından nanopartiküllerin, elektron ışını ve yağ kaplı bir disk ile uygulanan, vakumda doğrudan buharlaştırma (çalışan yağ substratı üzerinde vakum buharlaşması (VEROS)) olarak bilinen bir teknik kullanılarak, bir vakum odasında tek bir adımda buharlaştırılabileceği önerilmiştir.

Daha sonra 1997’de VEROS tekniğinin değiştirilmiş bir versiyonunda, Gunther vd. (1997) tarafından, metal parçacıklar içeren süspansiyonların üretiminde yüksek basınçlı katodik spreyn kullanılmasını içerebileceği önerilmiştir. Tozaltı ark nanopartiküllerinin sentezi endüstride 2005 yılında Chen vd. (2005) tarafından kullanılmıştır.

Bakır parçacıkları ve dielektrik bazlı sıvılardan oluşan nanoakışkanların üretiminde, vakuma daldırılmış ark nanopartikül sentezi olarak bilinen bir teknoloji kullanılmıştır (Chen vd. 2005; Makki vd. 2015). Bu, nanopartiküllerin toplanmasını en aza indirmek amacıyla yapılmıştır. Tek adımlı tekniklerin karmaşıklığı, bu süreçlerin dispersiyonu ve karışım stabilitesini geliştirmesine rağmen geniş kullanımını sınırlamaktadır (Murshed ve Nieto De Castro, 2014). Topaklanmayı azaltmak ve sıvı stabilitesini arttırmak için nanoparçacıkların kurutulması, saklanması veya taşınması tekniği sık kullanılan bir teknik değildir (Schneider vd. 2009). Öte yandan, tek adımlı prosedürlerin kullanılmasıyla fizyolojik olarak tetiklenen bir yüksekliğe ulaşılabilir. Ancak bu yöntemlerin en önemli dezavantajlarından biri, eksik reaksiyonların nanoakışkanlarda kirleticilerin oluşumuna yol açabilmesidir (C. J. Choi vd. 2011; Makki vd. 2015). Bu nedenle bu metodolojilerin özellikleri nedeniyle endüstriyel ölçekte yaygın olarak uygulanması uygun değildir (Schneider vd. 2009).

### **2.7.2 İki Adımlı Metotlar**

İki aşamalı işlemde, kuru tozlar halinde üretildikten sonra nanopartiküller sıvı bir ortamda çözülür. Bu stratejiler en yaygın olanıdır çünkü nanopartikülleri yapmak için gereken teknoloji endüstriyel düzeyde zaten yerleşiktir. Sonuç olarak, nanopartiküller hızlı, ucuz ve çok sayıda üretilebilir (Makki vd. 2015). Çoğu durumda, nanopartiküllerin baz akışkan içinde daha sonra dağılmasını teşvik etmek için manyetik alanlar kullanılır. Nanopartiküllerin baz akışkan boyunca dağılması, nihai

nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinin yanı sıra stabilitesi için de risk oluşturan önemli bir süreçtir (Abdullah vd. 2018).

## 2.8 Termofiziksel Özellikler

Nanoakışkanların termofiziği üzerine yapılan araştırmaların çoğunluğu, malzemelerin ısı transfer ve termal iletkenlik yeteneklerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Ancak bu tür sistemleri doğru bir şekilde ölçeklendirmek için nanoakışkan değişim sistemlerinde mevcut olan tüm termofiziksel özelliklerin karakterize edilmesi gerekmektedir. İlerleyen paragraflarda, bu tür nanoakışkanların ısı transfer performansına doğrudan etkisi olan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinden bahsedilecek ve birkaç farklı çalışmanın sonuçları vurgulanacaktır (Duangthongsuk ve Wongwises, 2008).

### 2.8.1 Yoğunluk

Belirli bir hacmin içerdiği madde miktarı, o hacmin yoğunluğunu belirtir. Yoğunluktaki aşırı bir artışın, zorlamalı konveksiyonlu ısı değiştiricinin pompalama kapasitesi ve verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğundan, bu parametre dikkatli bir değerlendirme gerektirmektedir (Arora vd. 2014; C. J. Choi vd. 2011).

### 2.8.2 Özgül Isı

Özgül ısı, bir malzemenin belirli bir miktar ısıya maruz kaldıktan sonra sıcaklığının değişme miktarı olarak tanımlanır ve malzemenin sahip olduğu bir özelliktir. Bir vücuttan diğerine taşınabilecek enerji miktarının belirlenmesinden sorumlu olduğu için bu bileşen son derece önemlidir. Araştırmacıların önerdiği Denklem 1 kullanılarak nanoakışkanların özgül ısıları belirlenebilir (Abdullah vd. 2018).

$$C_{pnf} = (1 - \phi)C_{pnf} + \phi C_{pp} \quad (1)$$

Burada  $C_{pnf}$ , nanoakışkanın ( $\phi$ ) özgül ısısını;  $C_{pfb}$ , baz akışkanın özgül ısısını;  $C_{pp}$ , nanopartiküllerin özgül ısısını göstermektedir. Araştırmacılar Chaudhary ve Ramanujan (2016) ve Cho ve Pak (1998), Denklem 2 ile gösterilen, nanoakışkanların özgül ısısı için bir bağlantı önermişlerdir.

$$C_{pnf} = \frac{\phi C_{pp} + (1-\phi) p_{fb} C_{pnf}}{P_{nf}} \quad (2)$$

Nanoakışkanın  $p_{nf}$  yoğunluğu ile gösterilirken, baz akışkan yoğunluğu “ $p_{fb}$ ” ile gösterilmektedir. Nanoakışkanın özgül ısısının hem sıcaklık hem de nanoparçacık konsantrasyonu ile birlikte arttığı görülmüştür. Nanoakışkanın spesifik ısısının baz akışkandan, nanopartikül boyutundan ve nanopartikül konsantrasyonundan etkilendiği görülmüştür (Du vd. 2010).

### 2.8.3 Isıl İletkenlik

Çok sayıda araştırma, nanoakışkanların termal iletkenliğine çok çeşitli elementlerin katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bulgulara göre nanoakışkanlar, baz akışkana göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip çok küçük nanopartiküllerden oluşmaktadır.

Literatürde kullanılan bazı nanoakışkanların ısı iletkenliğine ilişkin karışım oranına bağlı olarak iyileşme oranları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Nanoakışkanların ısı iletkenliğine ilişkin bazı ampirik sonuçların özeti

| Nanoakışkan türü /<br>Baz akışkan         | Konsantrasyon % | Isı iletkenliğindeki<br>artış % |
|-------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| “Al-Cu/EG”                                | “1,5”           | “200”                           |
| “ZnO/EG-su”                               | “10”            | “17”                            |
| “Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /EG-su”   | “10”            | “35”                            |
| “CuO/EG-su”                               | “10”            | “32”                            |
| “Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /kerosen” | “1”             | “34”                            |
| “Cu/EG”                                   | “0,3”           | “0,5”                           |
| “Cu/EG”                                   | “5”             | “8”                             |
| “Cu/EG”                                   | “11”            | “16”                            |
| “Cu/EG”                                   | “33”            | “46”                            |
| “Au/su”                                   | “0,00026”       | “48”                            |
| “SiO <sub>2</sub> /su”                    | “4”             | “23”                            |
| “SiO <sub>2</sub> /su”                    | “1”             | “3,23”                          |

Tablo 2.1'in devamı.

|                        |         |         |
|------------------------|---------|---------|
| “SnO <sub>2</sub> /su” | “0,024” | “7”     |
| “MWCNT/EG”             | “1,5”   | “17”    |
| “MWCNT/su”             | “3”     | “13”    |
| “MWCNT/su”             | “0,45”  | “19,73” |

Nanoakışkanların ısı iletkenliğı konusunda önemli miktarda ampirik ve teorik araştırma yapılmıştır; ancak akademik camiada evrensel destek almış bir model henüz mevcut değildir. Bunun nedeni nanoakışkanların davranışını doğru bir şekilde tahmin edebilecek bir modelin bulunmamasıdır.

Nanoakışkanların ısı iletkenliklerini arttırmak için kullandıkları dört önemli mekanizma vardır. Bu mekanizmalar şunlardır: (1) sıvı/molekül arayüzünde sıvı katmanlaşması; (2) nanopartiküllerin Brown hareketi; (3) nanoakışkanlarda nanoparçacık birleşimi ve (4) balistik olmalarına rağmen ısı taşıyan parçacıkların doğası. Bu süreçleri gösteren çok sayıda araştırma yapılmıştır. Çeşitli modellerin kullanılması, nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerinin teorik bir tahminine ulaşmayı sağlamaktadır (Hamilton, 1962).

Kakaç ve Pramuanjaroenkij (2009) tarafından yapılan çalışma, çeşitli farklı kavramsal çerçevelerin bir özetini içermesi açısından yararlı bir çalışmadır. Tablo 2.2, nanoakışkanların termal iletkenliğini tahmin etmek için belirlenen korelasyonların kısa bir özetini sunmaktadır.

Tablo 2.2 Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin belirlenmesi için mevcut bazı korelasyonların özeti

|   |                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | $k_{nf} = k_{fb} \frac{k_p + 2k_{fb} + 2\phi(k_p + k_{fb})}{k_p + (n-1)k_{fb} - \phi(k_p - k_{fb})}$                                                                                                                                     |
| 2 | $k_{nf} = k_{fb} \frac{k_p + (n-1)k_{fb} + (n-1)\phi(k_p - k_{fb})}{k_p + (n-1)k_{fb} - \phi(k_p - k_{fb})}$                                                                                                                             |
| 3 | $k_{nf} = k_{fb} \frac{k_{pe} + 2k_{fb} + 2\phi(k_{pe} - k_{fb})(1-\beta)^3}{k_{pe} + k_{fb} - \phi(k_{pe} - k_{fb})(1+\beta)^3}$<br>$k_{pe} = k_p \frac{[2(1-\gamma) + (1+\beta)^3(1+2\gamma)]}{-1(1-\gamma) + (1+\beta)^3(1+2\gamma)}$ |

Tablo 2.2'nin devamı.

|   |                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | $k_{nf} = \phi k_p + (1 - \phi)k_{fb}$                                                                                                                                                             |
| 5 | $k_{nf} = k_{fb} \frac{1 - \phi + 2\phi \frac{k_p}{k_p - k_{fb}} \ln \frac{k_p + k_{fb}}{2k_{fb}}}{1 - \phi + 2\phi \frac{k_{fb}}{k_p - k_{fb}} \ln \frac{k_p + k_{fb}}{2k_{fb}}}$                 |
| 6 | $k_{nf} = \frac{k_p - k_{Ir}(2\beta 1^3 - \beta^3 + 1) + (k_p - k_{Ir})\beta 1^3 [\phi \beta^3 (k_{Ir} - k_{fb}) + k_{fb}]}{\beta^3 (k_p - 2k_{Ir}) + (k_p - k_{Ir})\phi \beta 1^3 + \beta^3 - 1}$ |
| 7 | $k_{nf} = \frac{k_p - k_{Ir}(2\beta 1^2 - \beta^2 + 1) + (k_p - k_{Ir})\beta 1^2 [\phi \beta^2 (k_{Ir} - k_{fb}) + k_{fb}]}{\beta^2 (k_p - 2k_{Ir}) + (k_p - k_{Ir})\phi \beta 1^2 + \beta^2 - 1}$ |

## 2.9 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları

Nanoakışkanlar, güneş enerjisi sistemlerini, özellikle de güneş kolektörlerini ve FV/T sistemlerini geliştirmek amacıyla hem teorik hem de pratik araştırmalara konu olmuştur. Bu tez çalışması öncelikli olarak güneş enerjisi sistemlerini iyileştirmenin yollarını arayacaktır. Bunun nedeni, daha önce anlatıldığı ve Tablo 2.3'de gösterildiği gibi, nanoakışkanların sahip olduğu şaşırtıcı termal ve fiziksel niteliklerdir. Bu özellikler, nanoakışkanların son derece küçük bir boyuta sahip olmasının bir sonucu olarak görülebilir (Eshghi vd. 2015). Nanoakışkanların güneş enerjisi sistemlerinde kullanımı konusunda yapılan birçok çalışmadan ikisi Agrawal vd. (2012) ve Khanafer ve Vafai (2018)'nin yaptığı çalışmalardır. Bu iki çalışmadan Khanafer ve Vafai (2018)'nin yaptığı çalışmada, güneş kolektörü, FV/T sisteminin en önemli bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Nanoakışkanlarla çalışan FV/T sisteminin araştırılmasında kullanılabilecek önemli bir bilgi Agrawal vd. tarafından verilmiştir.

Tablo 2.3 Güneş Enerjisi Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları

| Termofiziksel Özellik   | Sıcaklık (C°) | Baz akışkan      |       |       |       |
|-------------------------|---------------|------------------|-------|-------|-------|
|                         |               | SiO <sub>2</sub> | ZnO   | CuO   | Su    |
| Termal İletkenlik W/m.K | 25            | 0,628            | 0,618 | 0,612 | 0,600 |
|                         | 35            | 0,655            | 0,648 | 0,641 | 0,637 |
|                         | 45            | 0,708            | 0,689 | 0,675 | 0,655 |
| Yoğunluk g/mL           | 25            | 1,051            | 1,025 | 1,012 | 0,998 |
|                         | 35            | 1,042            | 1,019 | 1,008 | 0,992 |
|                         | 45            | 1,033            | 1,015 | 1,002 | 0,986 |

Tablo 2.3'ün devamı.

|                 |    |       |       |       |       |
|-----------------|----|-------|-------|-------|-------|
| Viskozite mpa/s | 25 | 1,243 | 1,150 | 1,098 | 1,010 |
|                 | 35 | 0,982 | 0,957 | 0,921 | 0,781 |
|                 | 45 | 0,813 | 0,758 | 0,702 | 0,648 |

### 2.9.1 Güneş Kollektörlerindeki Nanoakışkanlar

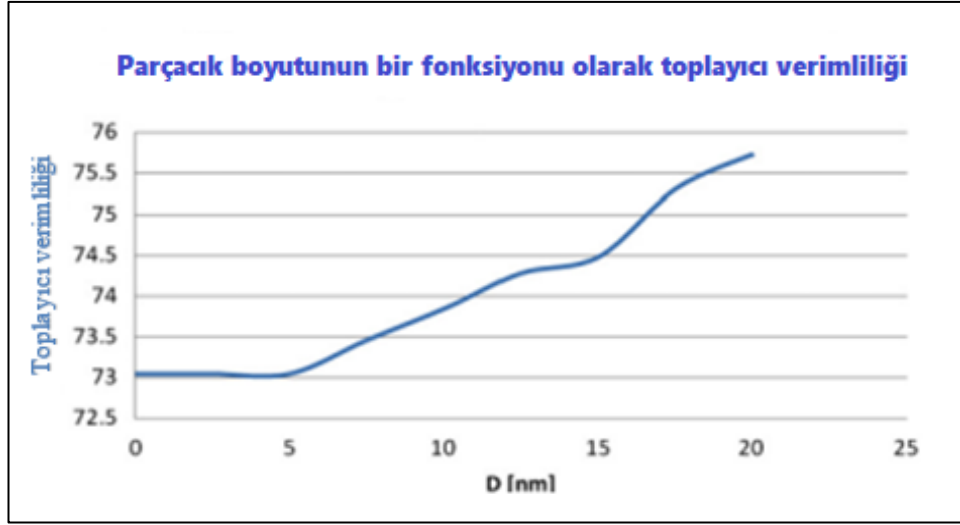
Düz plakalı güneş kolektörleri en yaygın güneş kolektörü türüdür. Bu güneş kolektörleri güneş ışınlamını termal enerjiye dönüştürmek için kullanılmaktadır. Hava veya sudan oluşabilen çalışma akışkanının sıcaklığı, yukarıda bahsedilen enerji dönüşümünün doğrudan bir sonucu olarak artacaktır. Son yıllarda araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin odak noktası, geleneksel olarak kabul edilen güneş kolektörlerinin ısı performansının iyileştirilmesine yönelmiştir. Anuar vd. (2014) ve Asnaghi vd. (2013) yaptıkları araştırmalarda güneş kolektörlerine ilişkin en güncel bulguların kapsamlı bir incelemesini sunmuşlardır.

Taylor vd. (2011) yaptıkları çalışmada araştırmacılar, nanoakışkanlardan yararlanarak doğrudan güneş enerjisini absorbe etmenin fizibilitesini araştırmışlardır. Daha önce nanoakışkanların sisteme giren ışık tarafından üretilen ışınlamın yalnızca çok küçük bir miktarını absorbe edebildiğine inanılıyordu; ancak araştırmanın bulguları durumun böyle olmadığını ortaya koymaktadır. Phelan vd. (2009), yüksek akışlı güneş kolektörlerinde nanoakışkanların etkisi ve nanoakışkanlardan faydalanan güneş kolektörlerinde güneş emilimini arttırmak için birbirleriyle nasıl etkileşime girdikleri üzerine teorik bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu araştırma, güneş emilimini daha verimli hale getirmek için yapılmıştır. Sonuçlara göre, güneş kolektöründe nanoakışkanların kullanılması, verimde yüzde beş ila on arasında değişen bir performans artışına neden olmuştur. Verimlilikteki bu artış, güneş kolektörünün daha fazla ışık yakalama yeteneğinden kaynaklanmıştır (Phelan vd. 2009).

Benzer bir modeli izleyen bir araştırma, düz plakalı kolektör yerine doğrudan soğurmalı kolektör kullanımının arttırılmasının, düz plakalı kolektör kullanılarak elde edilebilecek artıştan %10 daha fazla verim artışı sağladığını ortaya çıkarmıştır. Düşük sıcaklık sisteminin teorik performansının çeşitli koşullardan nasıl etkilendiğini keşfetmek ve sistemin nasıl çalıştığını daha iyi anlamak için çalışmalar yürütmüşlerdir.

Ürettikleri  $Al_2O_3$  ve sudan oluşan nanoakışkan, geliştirdikleri doğrudan soğurmalı güneş kolektörünün bir bileşenydi. Sonuçlara göre, akışkana yüzde 0,1 ile yüzde 5 arasında değişen hacim oranlarında nanopartiküllerin eklenmesi akışkan performansında önemli bir iyileşmeye yol açmış, bu da güneş kolektörünün termal performansının artmasını sağlamıştır. Bu hedefe ulaşılması, sıvı içerisinde dağılmış olan nanopartiküllerin doğrudan bir sonucu olarak mümkün olmuştur. Deney boyunca kullanılan  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanın kullanımıyla hedeflerine ulaşmada başarılı olmuşlardır. Düz plakalı toplayıcıların ısı performansını arttırmak amacıyla nanoakışkanların kullanıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Deneyler düz plakalı toplayıcılar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ucuz fiyat ve ihtiyaç duyduğu minimum bakım seviyesi sayesinde, düz plakalı toplayıcıların kullanılmasında karar kılınmıştır (Otanicar ve Prasher, 2010).

Çeşitli nanoparçacıkları içeren bir doğrudan absorpsiyon toplayıcının etkinliği Hasanuzzaman vd. (2012)'nin çalışmasında incelenmiştir; bu çalışma, bu tezde yapılan araştırmayla bir şekilde karşılaştırılabilir bir çalışmadır. Bu nanopartiküller, bazıları karbon tüpler, grafit ve gümüş olan bir dizi farklı bileşene sahiptir. Araştırmacılar, toplayıcının etkinliğinin, %0,5'lik bir hacim oranına çok az miktarda nanopartikül eklenmesiyle artırılabilceğini keşfetmişlerdir. Bu değişiklikten sonra kolektörün verimi aynı kalmış, hacim oranı daha da arttıkça verim daha da kötüleşmiştir. Shojaeizadeh vd. (2012), çalışma akışkanı olarak nanoakışkanın kullanılmasının, doğrudan güneş kolektörü olan aynı tür güneş kolektörü üzerindeki etkisini araştırmış ve etkinin önemli ölçüde büyüdüğünü keşfetmişlerdir. Nanoakışkanların ışık geçirgenliğinin, saf suyun ışık geçirgenliğiyle karşılaştırıldığında %1 hacim oranında arttığı bulunmuştur; yine de nanoakışkan opak bir ışık dalgası gibi görünmektedir. Bu, nanoakışkanların ışık geçirgenliği, saf suyun ışık geçirgenliğiyle karşılaştırıldığında keşfedilmiştir. Bu bulgular, alüminyum içeren nanoakışkanların gelecekte doğrudan güneş kolektörlerinde etkili bir şekilde kullanılma potansiyeline sahip olabileceğini düşündürmektedir. Nanopartikül boyutundaki artışa bağlı olarak toplayıcı verimliliğinde küçük bir iyileşme olduğu keşfedilmiştir. Ancak bu yalnızca toplayıcı yüksekliği, nanoparçacık hacmi yüzdesi ve toplayıcı uzunluğunun Şekil 2.1'de gösterilen değerlerde tutulduğu durumlarda geçerlidir.



Şekil 2.1 Parçacık boyutuna göre kolektör verimliliği, hacim oranı = %0,08

$\text{Al}_2\text{O}_3$  ve sudan oluşan nanoakışkanın varlığının düz plakalı güneş kolektörlerinin performansını nasıl etkilediğini anlamak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları ayrıntılı bir şekilde ayrıştırılmış ve analiz edilmiştir. Yüzde 0,2 ve 0,4 gibi değişen ağırlık oranlarına ve 15 nanometre parçacık çapına sahip nanoakışkanların sistem üzerindeki etkisini araştırılmıştır (Shojaeizadeh vd. 2012). %0,2'lik bir nanoakışkan ağırlık fraksiyonunda çalışırken, güneş kolektörlerinin verimliliği %28,3'lük bir ağırlık fraksiyonu kadar artmıştır. Su MWCNT'lerinin düz plakalı güneş kolektörünün termal verimliliği üzerindeki etkisini araştırmak için çeşitli nanoakışkanlar kullanarak aynı yerde bir deney düzeneği kurulmuştur (Imani vd. 2013).

Çalışma akışkanı olarak su kullanan düzeneikle karşılaştırıldığında, nanoakışkan MWCNT (yüzey aktif madde içermeyen su) içeren toplayıcının verimliliği, ağırlıkça %0,4 nanoakışkan kullanıldığında artmış, ancak ağırlıkça %0,2 nanoakışkan kullanıldığında azalmıştır. Başka bir deyişle bu, nanoakışkan MWCNT'den (yüzey aktif madde içermeyen su) oluşan toplayıcının verimliliğinin, nanoakışkanın konsantrasyonu artırıldığında arttığı anlamına gelmektedir (Imani vd. 2013).

Çok çeşitli nanoakışkanlar ve güneş kolektörleri artık laboratuvar ortamında yürütülen deneysel araştırmaların odak noktasıdır. Cu/su nanoakışkanı kullanılarak gerçekleştirilen deneyin sonuçları, ağırlıkça %0,05 nanoakışkan içeren kolektör için verimliliğin yaklaşık %24 arttığını göstermiştir (Liu vd. 2011). Bu çalışmalarda,

nanoakışkanların kararsız hale gelmesini önlemek amacıyla, değişen derecelerde sonikasyona tabi tutulmuş çok çeşitli yüzey aktif maddeler kullanılmıştır. Nanoakışkanların kararsız hale gelmesi engellenmiş ve bu da hedefe ulaşılmasına olanak sağlamıştır. Liu vd. (2011)'nin yaptıkları çalışmada, bir termosifonun termal performansı, içi boşaltılmış boru şeklinde bir güneş kolektörü içinde yüksek sıcaklıklarda sıkı testlere tabi tutularak araştırılmıştır. Araştırmada, aynı tür nanoakışkan kullanılırken aynı zamanda çok çeşitli güneş kolektörleri kullanılmıştır. Bu kombinasyon istenen etkinin elde edilmesini sağlamıştır. Kolektör için çalışma akışkanı olarak CuO ve sudan oluşan bir nanoakışkan veya akışkan olarak sadece su kullanılabilir. Her iki durumda da kolektör görevini yerine getirerek ışık toplayabilecektir. Güneş kolektörünün buharlaştırıcısının taban suyu içeren versiyonuyla karşılaştırıldığında, nanoakışkan içeren versiyon, baz suyu versiyonundan yaklaşık yüzde otuz daha yüksek olan termal verimlilikte önemli bir artış sergilemiştir. CuO nanopartiküllerinin termosifonun ısı aktarma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır, daha ideal ısı transferine ulaşma etkisine sahip olduğundan %1,2'lik konsantrasyon önerilmektedir. CuO nanopartiküllerinin varlığı ile termosifon arasında bir korelasyon vardır. Alemrajabi vd. (2016), CuO nanoakışkanın doğrudan soğurmalı güneş kolektörünün verimliliği üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek için hacim konsantrasyonunun termal verimlilik değerleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bulgulara göre, CuO nanoakışkanın hacim konsantrasyonunda bir artış olmuş ve bu da güneş kolektörünün ısı verimliliğinde %0,006'lık bir artış olduğunda %18'den %52'ye kadar değişen bir artışa yol açmıştır. 0,7 metre genişliğinde ve 2 metre yüksekliğinde bir güneş parabolik oluk kolektörünün modeli üretilmiş ve deneysel düzenlemenin şemasıyla birlikte Alemrajabi vd. (2016) ve Danesh vd. (2015) tarafından verilmiştir. Reflektör, iç kısmında sırasıyla %0,3 ve %0,2 CNT/yağ nanoakışkanı içeren çelik bir aynadan yapılmıştır. Araştırma boyunca dört farklı soğurucu kategorisinin özellikleri analiz edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bulgular, vakum tüpünün kullanılmasının, çıplak tüpün performansı ile karşılaştırıldığında çıplak tüpün kullanılmasına göre %11'lik bir performans artışı sağladığını göstermektedir. Çalışma akışkanı olarak  $Al_2O_3$  nanoakışkanın kullanıldığı düz plakalı ve U-borulu iki farklı güneş kolektörü tipinin termal verimlilikleri üzerine daha ileri bir karşılaştırmalı araştırma Cho vd. (2017)

tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada, iki farklı güneş kolektörünün ısı verimleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bilgiler, çalışma ortamı olarak yalnızca su ile çalışan geleneksel bir güneş kolektörünün termal verimliliği açısından incelenmiştir. Bulgulara göre nanoakışkan konsantrasyonunun artırılması, güneş kolektörlerinin genel termal verimlilik seviyesinin artmasına neden olmuştur. Nanoakışkan kullanan iki güneş kolektörünün ısı verimlerinde, su kullanan güneş kolektörünün elde ettiği değerden %10,7 daha fazla bir iyileşme aralığına sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Gorji ve Ranjbar, 2017). Bu, önceki seviyeye kıyasla %14,8'lik bir artışa işaret etmektedir.

Nanoakışkanların değişen bileşimlerinin doğrudan soğurmalı güneş kolektörlerinin performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla deneye dayalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Gorji ve Ranjbar, 2017). Bu araştırmanın amacı, bu nanoakışkanların güneş kolektörlerinin performansı üzerindeki etkisini analiz etmek ve faydalı olup olmadıklarını belirlemektir. Deiyonize edilen suya daha sonra çok çeşitli nanopartiküller enjekte edilmiş, bunların hepsi daha sonra birbiriyle birleştirilmiş ve su boyunca dağılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre manyetit dispersiyonları enerji verimliliğinin yanı sıra mümkün olan en yüksek ısı verim seviyelerine de ulaşmaktadır. Daha sonra karışıma gümüş nanoakışkanlar ve grafit nanoakışkanlar eklenmiştir. Badarudin vd. (2015), nanoakışkan kullanımının güneş kolektörlerinin termal performansını iyileştirebileceği yollar konusunda araştırma yapmış ve bir inceleme yazmışlardır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, nanoakışkanlı düz plakalı kolektörler üzerinde yapılan sayısal çalışmaların aksine, düz plakalı güneş kolektörlerinin performansının nanoakışkan uygulaması yoluyla iyileştirilmesine yönelik daha fazla sayıda deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar güneş kolektörlerinin verimliliğini artırmak için nanoakışkanların kullanımına odaklanmıştır. Nanoakışkanlara sahip güneş kolektörlerinin işleyişi hakkında kesin hesaplamalar yapabilmek için hesaplamalı analizin çeşitli biçimleri gerçekleştirilmiştir (Alim vd. 2013a, 2013b, 2014).

Araştırmacılar, Prandtl sayısının güneş kolektörünün iç kısmında meydana gelen serbest taşınımı nasıl etkilediğini belirlemeyi amaçlamış ve sonuçlarını yayınlarında sunmuşlardır (Alim vd. 2013).  $Al_2O_3$  ve su içeren bir nanoakışkan kullanarak bu

hedefe ulaşmada başarılı olmuşlardır. Alim vd. (2013) sonlu elemanlar yaklaşımını kullanarak bazı sayısal çalışmalar yapmışlar ve sinüzoidal soğurma camı kaplamalı bir güneş kolektöründe dalga sayısı ve dalga genliğinin doğal konveksiyon akış sınır tabakası üzerindeki etkisini rapor etmişlerdir. Alim vd. (2013) ayrıca dalga genliğinin doğal konveksiyon akışı sınır tabakası üzerindeki etkisi üzerine de bazı araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmaların bulgularına göre dalga sayısının, dalgaların genliğinden daha büyük bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu deneyin gerçekleştirildiği yer bir güneş kollektörünün sınırları içerisindedir.  $Al_2O_3$  ve sudan oluşan nanoakışkan, koleksiyonun tamamı için temel çalışma sıvısı olarak görev yapmıştır. Toplayıcı, çalışmasında bu nanoakışkanı kullanmıştır. Nanopartiküller bu nanoakışkanın tüm hacminin %5'ini oluşturduğundan nanoakışkan olarak kabul edilmiştir.  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanı içindeki ısı transfer hızı hem dalga sayısındaki artışın hem de bu dalgaların genliğindeki artışın doğrudan bir sonucu olarak artmıştır. Bu nedenle sistem, geliştirilmiş performansı sayesinde ısıyı daha iyi yönetebilmiştir.  $Al_2O_3$ /su kullanıldığında, belirli bir çalışma aralığı içinde meydana gelen ısı transferindeki artış miktarının doğru bir şekilde değerlendirilmesini tamamlama konusunda gerçek bir potansiyel vardır. Bu, tercihe bağlı olarak çok çeşitli sıcaklıklarda yapılabilir. Benzer şekilde, iki nanoparçacık içeren nanoakışkan kullanımına dayanan düz plakalı bir toplayıcıda zorlanmış konveksiyonun bir simülasyonu oluşturulmuştur (Alim vd. 2014). Bu simülasyon, nanoakışkandaki nanopartiküllerin katalizör görevi gördüğü fikrine dayanmaktadır. Bu simülasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için nanopartiküllerin nanoakışkan boyunca yayıldığı gerçeğinin dikkate alınması gerekmektedir. Simülasyon, daha resmi olarak sonlu elemanlar modeli olarak adlandırılan yöntem kullanılarak tamamlanmıştır. Bu yöntemin kullanılması simülasyonun başarıyla tamamlanmasını sağlamıştır.

Sonuçlara göre bakır ve alüminadan oluşan çift nanopartiküllerin kullanılması, tek başına alüminadan oluşan tek nanopartikül kullanımına kıyasla daha yüksek performans sağlamıştır. Sonlu hacim tekniği olarak bilinen başka bir sayısal yaklaşım, tekdüze olmayan yanal ısı girişi ve adyabatik duvar ucu olan tek uçlu bir tüpte kullanılmıştır (Houshang vd. 2010). Bu, Cu/su nanoakışkanının varlığının, doğal konveksiyon ısı transferinin yanı sıra üç boyutlu akışkan akışı üzerindeki etkisini değerlendirmenin mümkün olacağı şekilde gerçekleştirilmiştir.

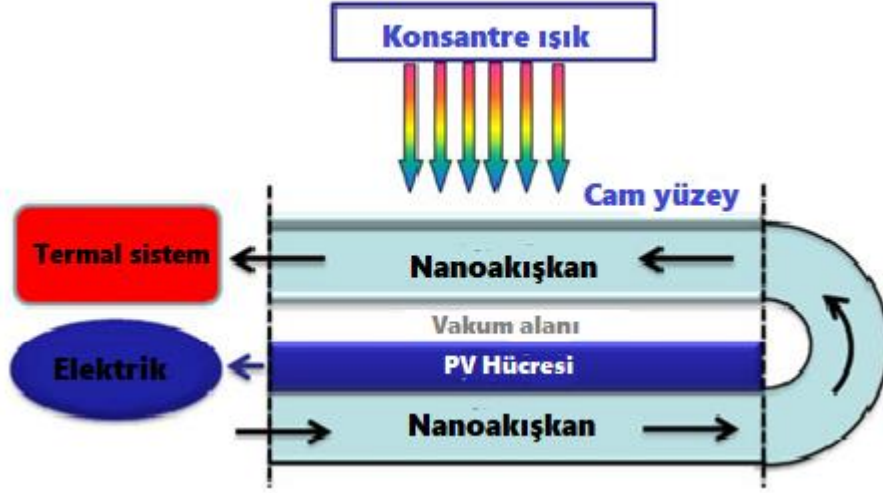
Bu model, suyun bir cam kap içinde tutulduğu, güneş enerjisiyle çalışan, tek uçlu boşaltılmış borulu su ısıtıcısının basitleştirilmiş bir örneğidir. Model, Rhinoceros 3D modelleme yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Isı katkısı oranındaki artış, artışı sağlayan nanoakışkan kullanımının doğrudan bir sonucu olarak görülmüştür. %5 katı konsantrasyonundaki Nusselt sayısı,  $100 \text{ W/m}^2$ 'de ısı akışında %62'lik bir artışa işaret ederken, baz akışkanın ısı akışında  $700 \text{ W/m}^2$ 'de %100'lük bir artış sergilemiştir. Buna karşılık bazik sıvı önceki duruma göre %100 iyileşme göstermiştir. Moustafa ve Tora (2013),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve sudan yapılmış bir nanoakışkan ile hazırlanan düz plakalı bir toplayıcının ısı performansını analiz etmek için bilgisayar simülasyonları kullanmıştır. Sonuçlara göre, deneysel verilerle kabul edilebilir sayılabilecek derecede bir uyum bulunmaktadır.

### 2.9.2 FV/T Sistemlerinde Nanoakışkanlar

Fotovoltaikleri (FV) ve termoelektrikleri (T) tek bir enerji üretim sisteminde birleştirmenin temel amacı, daha yüksek bir genel fotovoltaik (FV) üretim verimliliği düzeyi elde etmektir. Soğutucu olarak su veya hava kullanan hibrit FV/T sistemleri üzerine teorik veya pratik olarak yürütülen önemli miktarda araştırma vardır (Besheer vd. 2016; Hamid vd. 2014). Bu sistemler çeşitli açılardan incelenmiştir. Sistemlerin etkinliğini artırmak için yenilikçi stratejilerin geliştirilmesine olan ilgide bir artış olmuştur. Bu hedefe ulaşmak için, geniş bir yelpazedeki güneş kolektörü tasarımları, nanoakışkanlar ve fotovoltaik paneller kullanılarak çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, test prosedürü boyunca nanoakışkanlar dahil olmak üzere çok çeşitli çalışma akışkanları çeşitli zorluklara maruz bırakılmıştır (Abu Bakar vd. 2014; Adouane vd. 2013; Daghigh vd. 2011; Ibrahim vd. 2009; Kleinstreuer ve Xu, 2014; Zakharchenko vd. 2004).

Kollektör tasarımının modernleştirilmesinin FV/T sisteminin genel verimliliği üzerinde pek bir etkisi olmayacaktır. Örneğin istatistikler, temel düz plakalı kollektörün termal verimliliğinin, diğer çeşitli kollektör türlerinin verimliliğiyle karşılaştırıldığında yalnızca %2 civarında daha zayıf olduğunu ortaya koymaktadır (Ibrahim vd. 2011). Bu, diğer farklı toplayıcı türlerinin verimliliğiyle karşılaştırılmıştır. Son yıllarda, bir dizi araştırma projesi ve çalışma, nanoakışkanların

FV/T hibrit sistemlerde çalışma akışkanları olarak kullanımına odaklanmıştır (Elmir vd. 2012).



Şekil 2.2 Nanoakışkanlı FV/T sisteminin şematik diyagramı

Soğutma ortamı olarak nanoakışkanı kullanan FV/T hibrit sistem Şekil 2.2'de şematik biçimde gösterilmektedir. Artan ısı transfer kapasitesine sahip bir çalışma akışkanının kullanılması, yapının tasarımında çok az değişiklik yapılarak, genel sistem verimliliğini artırmanın bir yoludur. Bu, çalışma akışkanının sıcaklığının artırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bahsedilen nanoakışkanlar, bu kategoriye giren sıvı türlerine bir örnektir. Bu amaca ulaşmak için bir strateji, geliştirilmiş ısı transfer yeteneklerine sahip bir çalışma akışkanının kullanılmasıdır (Euh vd. 2012). FV/T kojenerasyon sisteminin verimliliğine ilişkin hesaplamalar hem termal analiz hem de CFD simülasyonlarını içeren iki boyutlu bir model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamaların gerçekleştirilme sürecinde bir modelin kullanılması çok önemlidir. Sistemin ısıtılması ve soğutulması işleminde yenilikçi bir termal iletkenlik modelinin kurulmasının yanı sıra nanoakışkanlardan da yararlanılmıştır. Bir dizi farklı faktörün verimlilik üzerindeki etkilerini araştırmak için sayısal yöntemlerin kullanımından yararlanılmıştır. Sonuçlar, nanoakışkan bazlı sistemlerin verimliliğinin muhtemelen %70'e kadar çıkabileceğini ortaya çıkarmıştır. Levha ve tüplü su bazlı bir kollektörle donatılmış bir FV/T sisteminin geçici mekanizması, simülasyonlar, testler ve tek boyutlu bir matematiksel model kullanılarak Euh vd. (2012) tarafından araştırılmıştır. Söz konusu teknoloji, güneş enerjisini termoelektrik enerjiye dönüştürmek amacıyla geliştirilmiştir. Isıtma ve termo-elektrik soğutma ünitesinde kullanılan FV/T sisteminin deneysel ve teorik bir çalışmasının yapıldığı rapor edilmiştir (Chen vd.

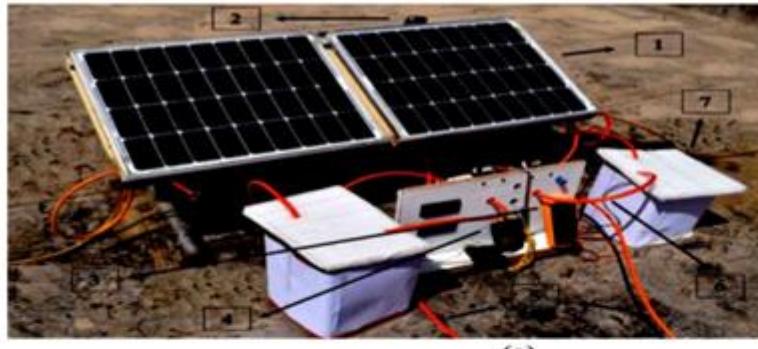
2014). Bu soru, kendisinden önce gelen düşünce çizgisinin devamı niteliğindedir. Bu soruşturmanın ana odak noktası, doping prosedürünün ne kadar etkili olduğunu belirlemektir. Fotovoltaik-termal (PV/T) verimliliğinde olağanüstü seviyelere ulaşıldığı, termal verimliliğin sırasıyla %23,5'e, elektrik verimliliğinin ise %16,7'ye ulaştığı söylenmiştir. Fotovoltaik termal düz panel teknolojisi kullanılarak yürütülen bu çalışmada çalışan araştırmacılar tarafından çapları 11 ila 14 nm arasında değişen nanopartiküller kullanılmıştır (Passandideh-Fard vd. 2014). Güneşten gelen ışınımın önemli miktarda arttığı, 200 W/m<sup>2</sup>'den 700 W/m<sup>2</sup>'ye çıktığı, bunun da çok büyük bir fark olduğunu bulunmuştur. Verilere göre, genel enerji verimliliğindeki artış, %1'e kıyasla ağırlıkça %3 ile %3,6 daha yüksek olurken, termal verimlilikteki artış, önceki rakama göre sırasıyla %12,8 ve %7,6 daha yüksek olmuştur. Ek olarak, nanoakışkan olarak SiO<sub>2</sub> kullanılan sistemde kolektör alanındaki güneş enerjisi %21,6 oranında düşmüştür (yani, her yıl kullanılan her 1000 güneş kolektörü için 220 MJ enerji, bu da CO<sub>2</sub>'de 170 kg'lık bir azalmaya eşdeğerdir). Bir FV/T sisteminde nanoakışkanların kullanılmasının etkilerini öngörmeye yönelik bir başka deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu sefer araştırma nanoakışkanların kullanımına odaklanmıştır (Otanicar vd. 2012).

Deney, SiC nanoakışkanın bir FV/T sisteminde baz akışkan olarak kullanılma olasılığını araştırmak için planlanmıştır. Ağırlıkça %3 konsantrasyonda SiC nanoakışkanın eklenmesinin, tek başına FV sistemi ile karşılaştırıldığında sistemin elektriksel verimliliğinde %24,1 oranında bir iyileşme sağladığı gösterilmiştir. Öte yandan hibrit güneş FV/T sistemlerinde kullanılma potansiyeline sahip nanoakışkan bazlı filtrelerin tasarımını değerlendirmek amacıyla teorik bir araştırma yapılmıştır (Otanicar vd. 2012). Nanoakışkan filtrelerin toplam beş farklı fotovoltaik (FV) hücrede kullanımı araştırılmış ve performanslarının geleneksel optik filtrelerden daha üstün olduğu keşfedilmiştir. Bundan sonra, Becker vd. (2015) ve Hassani vd. (2016), bu stratejiye sırasıyla deneysel ve teorik açıdan bakmıştır. Nanoakışkan olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanan FV/T sistemi için deneyler yapılmıştır (Babu vd. 2007; Becker 2015; Das vd. 2009; Hassani vd. 2016). Babu vd. (2007)'nin çalışmasında araştırmacılar, sistemin genel performansının üç farklı nanopartikül konsantrasyonu tarafından nasıl değiştirildiğini incelemişlerdir. Bu konsantrasyonlar sırasıyla %1, %1,5 ve %2 olmuştur. FV/T üretmek için sistemdeki çalışma akışkanı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olacak ve bu amaçla

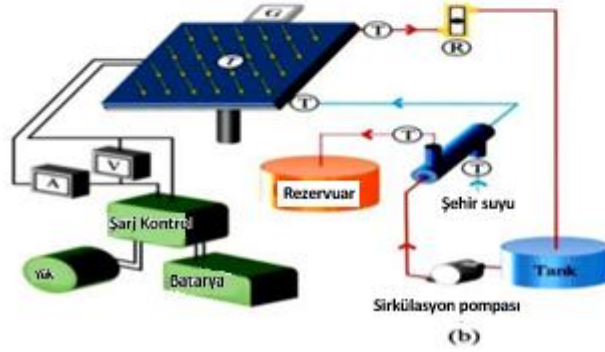
kullanılacaktır. Yüzde elli dolum oranının ve ağırlıkça yüzde bir buçuk nanoparçacık konsantrasyonunun en arzu edilen sonuçları verdiği sonucuna varmadan önce çeşitli dolum oranlarıyla deneyler yapılmıştır. Araştırma, geleneksel FV/T sistemleriyle karşılaştırıldığında yukarıda verilen optimum değerlere sahip termal ve elektriksel verimlerin sırasıyla %27,3 ve %1,1 oranında arttığını göstermektedir (Farzaneh vd. 2018).

Farzaneh vd. (2018),  $Al_2O_3$  nanoakışkanının uygulanmasının çeşitli ideal koşullar ve ayarlar altında FV/T'nin işlevselliği üzerindeki etkisini belirlemek için araştırma yürütmüşlerdir. Bu deney için kullanılan çeşitli konfigürasyonlar arasında 40 L/H'lik bir kütle akış hızı ve ağırlıkça %1,2'lik bir nanopartikül konsantrasyonu vardır. Veriler, su olmayan bir çalışma akışkanı kullanan sistemde genel, termal ve elektriksel verimliliğin, çalışma sıvısı olarak su kullanılan FV/T sistemiyle karşılaştırıldığında sırasıyla %58, %45 ve %13 oranında arttığını ortaya çıkarmıştır. Bu iyileştirme, numunenin toplam ağırlığının %2'sine eşdeğer bir nanopartikül konsantrasyonu ile elde edilmiştir. Çeşitli nanoakışkanların çalışma akışkanları olarak deneysel kullanımı, bir dizi farklı testte FV/T sisteminin performansında bir iyileşme ile sonuçlanmıştır ve bu gelişme, nanoakışkanların sistemin işlevlerini yerine getirme performansını iyileştirmesinden kaynaklanmıştır (Alemrajabi vd. 2016; Liu vd. 2011). Zn ve ZnO olarak kısaltılan çinko ve çinko oksit, bu nanoakışkanların bileşenleridir (Danesh vd. 2015).

Nanoakışkan kullanmanın FV/T performansı üzerindeki etkisi, çeşitli Zn/su nanoparçacık konsantrasyonları (%0,1; %0,2; %0,3; %0,4 ve %0,5) kullanılarak Liu vd. (2011) tarafından araştırılmıştır. Araştırmacılar, %0,3'lük bir konsantrasyon değerinin optimal seçim olduğunu ve kütle akış hızının dakikada 2 litre olarak belirlenmesi gerektiğini düşünmüşlerdir. Bu iki faktörün birleşiminin doğrudan bir sonucu olarak, elektrik sisteminin bir bütün olarak verimliliği %7,8 oranında artmıştır. Ghazikhani vd. (2017), bir FV/T sisteminde çalışma akışkanı olarak ZnO nanoakışkanının kullanılmasının etkileri üzerine bazı çalışmalar yapmış ve bazı etkileyici keşiflere ulaşmışlardır. Nanopartikül konsantrasyonunun sahip olduğu etkiye ek olarak, FV/T ünitesinin performansı bir dizi başka hususun da incelenmesiyle araştırılmıştır. Bu faktörler arasında ortamın genel sıcaklığı, güneş ışınımı miktarı ve kütle hareketinin hızı yer almaktadır (Ghazikhani vd. 2017).



- 1: PVT sistemi
- 2: Güneş ışığı ölçer
- 3: Multimetre
- 4: Sıcaklık sensörü
- 5: Şehir suyu
- 6: Kolektör bağlantısı
- 7: Rezervuar bağlantısı



- G: Güneş ışığı ölçer
- T: Sıcaklık sensörü
- A: Ampermetre
- V: Voltmetre
- R: Rotametre

Şekil 2.3 a) Nanoakışkanlı PV/T sisteminin deneysel kurulum fotoğrafı b) Deney donanımının şematik diyagramı

Araştırma sırasında kullanılan deney düzeneği ve FV/T sisteminin detayları Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Elektrik sisteminin ve termal sistemin genel verimliliğinin bir önceki yıla göre %16,21 oranında arttığı tespit edilmiştir. ZnO nanoakışkanlarının ve faz değişim malzemelerinin FV/T performansına etkisine odaklanan bir çalışma açıklanmıştır (Ghazikhani vd. 2017). Bunu, su bazlı fotovoltaik paneller ve enerji panelleri tarafından sağlanan performansla karşılaştırdığımızda, sonuçlar hem termal hem de elektrik çıktılarının, daha önce ulaşılan seviyelere göre sırasıyla %5 ve %13 oranında bir iyileşme gösterdiğini göstermiştir. Bu, FV/T testinin sonuçlarının su kullanıldığında elde edilenlerle karşılaştırılması yoluyla kanıtlanmıştır. Daha sonra, ZnO nanoakışkanının yanı sıra diğer iki nanoakışkan tipini ( $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$ ) kullanırken FV/T performansını tahmin etmek için başka bir deneysel araştırma sunulmuştur (Hosseinzadeh vd. 2017; Passandideh-Fard ve Sardarabadi, 2016).

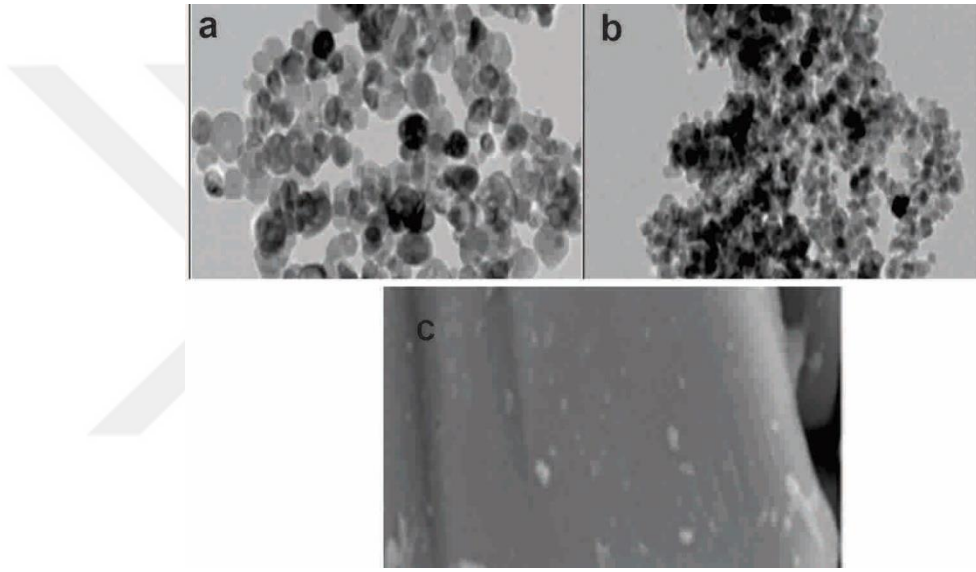
Araştırma, çinko oksit nanoakışkanı diğer iki tür nanoakışkanla karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Araştırma ekibi, saatte otuz kilogramlık bir kütle akış hızı ve hazırlanan nanoakışkanların toplam hacminin ağırlıkça yüzde ikisine eşdeğer bir nanopartikül konsantrasyonu kullanmıştır (Gorji ve Ranjbar, 2017). ZnO ve  $TiO_2$  nanoakışkanları FV/T sisteminde diğer nanoakışkanlara göre enerji ve verimlilik

açısından çok daha yüksek performans elde etmiş ve elde edilen sonuçlara göre su bazlı FV/T performansı ortaya konulmuştur. Güneş kollektörü içerisinde soğutma ortamı bulunmayan fotovoltaik panellerin performansı karşılaştırıldığında sonuçlar, sistemlerin FV/T  $\text{Al}_2\text{O}_3$  için toplam enerji verimliliğinin %18,27'ye, FV/T  $\text{TiO}_2$  için enerji verimliliğinin %15,93'e, FV/T ZnO için enerji verimliliğinin %15,45'e ve son olarak FV/T su için verimliliğinin %12,34'e yükseldiğini göstermiştir. Bu, hiçbir soğutma ortamı içermeyen fotovoltaik panellerin genel performansı ile tezatlık oluşturmaktadır. Fotovoltaik panellerin performansı bir güneş parkının içi ile karşılaştırıldığında bu sonuca varılmıştır. Ek olarak, aynı tip nanoakışkanların kullanıldığı diğer çalışmalarda, FV/T'nin ZnO nanoakışkanlarının kullanımı yoluyla diğer birçok nanoakışkan türüyle ve suyla karşılaştırıldığında en yüksek termal verime ulaştığı gösterilmiştir. Öte yandan, diğer nanoakışkan türleri ve su bazlı teknolojilerle karşılaştırıldığında, FV/T  $\text{TiO}_2$  ve FV/T ZnO nanoakışkanları maksimum elektriksel verimliliği elde etmiştir (Gorji ve Ranjbar, 2017).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Mevcut çalışmada kullanılan Şekil 3.1'deki SEM görüntülerine ait nanopartiküller ((a)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve (c) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) Nanografi'den satın alınmış ve FV/T sisteminde kullanılmak üzere baz akışkan suya belirli oranlarda katılarak nanoakışkanlar elde edilmiştir.

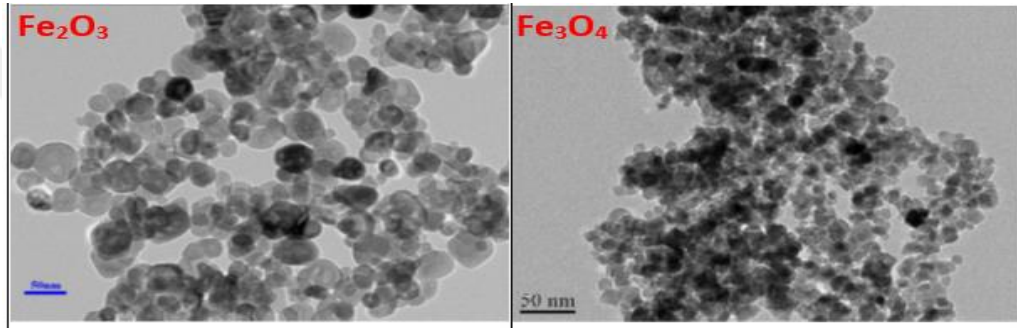


Şekil 3.1 Manyetik NP'ler (a) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve (c) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

#### 3.2 Hibrit Nanoakışkanın Hazırlanması

Nanografi Nanoteknoloji Bilimi ve Danışmanlığı Ltd. şirketi, bu araştırmada kullanılan hem Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hem de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerini sağlamıştır. Nanopartiküllerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alınan görüntüleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Tablo 3.1, nanopartiküllerin partikül boyutu, şekli ve saflığının yanı sıra saf suyun fiziksel özelliğinin bir listesini içermektedir. Hibrit nanoakışkanda nanopartiküllerin ağırlıkça oranı %1 iken, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ün partikül oranları ağırlıkça %0,5'tir. İlk olarak nanopartiküller bir dispersiyon oluşturmak amacıyla steril su ile mekanik olarak karıştırılmıştır. Hem çökeltme konusu hem de homojen bir sıvı elde etme hedefi, bir dizi farklı yöntemle ele alınmaktadır. Bu özel araştırmada, %1 nanopartikül konsantrasyonuna sahip çözelti, %0,2 yüzey aktif madde Triton X-100

ile topaklaşma ve çökelmeye karşı dirençli hale getirilmiştir. Yüzey aktif maddelerin eklenmesi, parçacıkların dış yüzeylerinin ısıtma kapasitesini artırır, temas açılarının yanı sıra yüzey gerilimini de azaltır ve sonuçta kararlı nanoakışkan oluşumuna katkıda bulunur (Aytaç vd. 2020). Hibrit nanoakışkan elde edildikten sonra,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanopartiküllerinin saf su olan baz akışkan boyunca eşit şekilde dağılabilmesi için beş saat süreyle ultrasonik banyoya bırakılmıştır. Şekil 3.3 nanoakışkanın hazırlanması için takip edilmesi gereken sürece genel bir bakış sunmaktadır. Daha uzun bir hazırlık periyodundan sonra oluşturulan nanoakışkanlar mükemmel bir stabilite ve neredeyse çok az sedimentasyon sergilemiştir (Şekil 3.2).

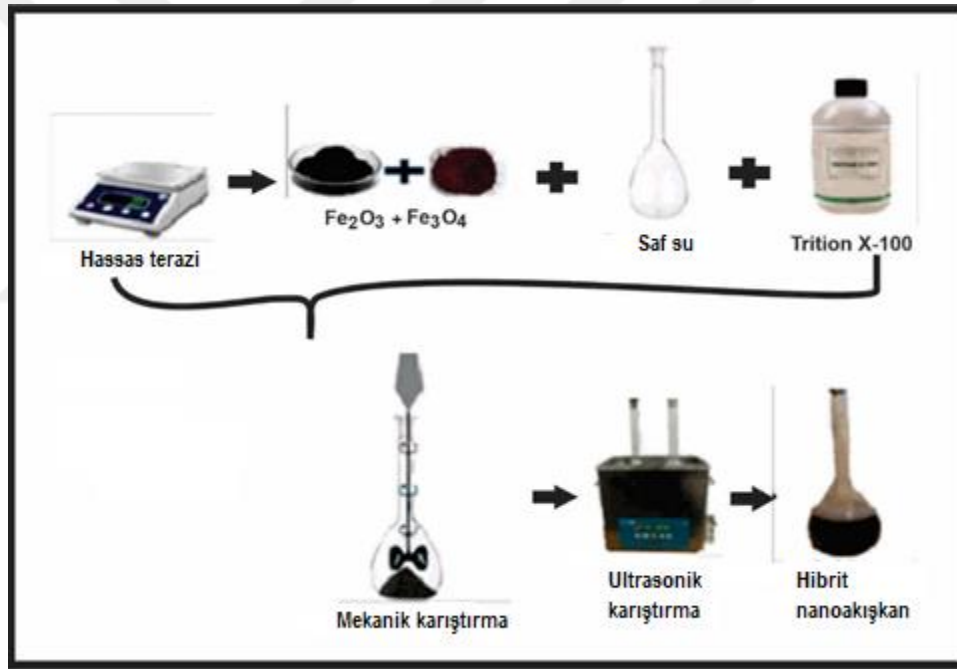


Şekil 3.2 Nanopartiküllerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Bu çalışmada nanopartiküllerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri 40 °C sıcaklıkta ölçülmüştür. Saf suyun yoğunluğu 998 kg/m<sup>3</sup>, özgül ısısı 4180 J/Kg.K ve ısıl iletkenliği 0,613 W/m.K olarak bulunmuştur. Karşılaştırıldığında nanopartiküllerin termofiziksel parametreleri aşağıdaki gibidir.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  parçacıkları küresel bir şekle, kırmızı kahveye benzer bir renge, %99,55 saflığa, 18 milimetre parçacık boyutuna ve metre küp başına 5250 kilogram yoğunluğa sahiptir. Benzer şekilde  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  parçacıkları da Tablo 3.1'de görüldüğü gibi küresel şekle, koyu renge, %98,45 saflık düzeyine, 18 milimetre parçacık boyutuna, 5180 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa, 670 J/Kg.K özgül ısıya ve 80 W/m.K'lik bir ısıl iletkenlik seviyesine sahiptir.

Tablo 3.1 Nanopartiküllerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri (40 °C)

| Materyal                       | Parçacık morfolojisi | Renk        | Safılık (%) | Parçacık boyutu (nm) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Özgül ısı (J/Kg.K) | Termal iletkenlik (W/m.K) |
|--------------------------------|----------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Saf su                         | /                    | /           | /           | /                    | 998                           | 4180               | 0,613                     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Küresel              | Kızıl kahve | 99,55       | 18                   | 5250                          | 650                | 20                        |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | Küresel              | Siyah       | 98,45       | 18                   | 5180                          | 670                | 80                        |



Şekil 3.3 Nanoakışkan hazırlama prosedürü

### 3.3 Manyetik Nano Partikülün Modifikasyonu

Manyetik immünolojik test (MIA) olarak bilinen yeni bir tanısal immünolojik test türü, daha geleneksel enzimler, radyoizotoplar veya floresan kısımlar yerine etiket olarak manyetik nanoboncukları kullanır (Lenglet vd. 2008). Bu özel test sırasında, bir çiftin bileşenlerinden birine manyetik bir etiket bağlanır. Bu, bir antikorun ilgili antijene spesifik bağlanmasına neden olur ve bu daha sonra testle tespit edilebilir. Bundan sonra, manyetometre olarak da bilinen manyetik bir okuyucu, boncukların neden

olduğu manyetik alan gücündeki değişikliği değerlendirerek manyetik nanoboncukların mevcut olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Başlangıçta alınan numunede bulunan analit miktarı manyetometre tarafından kaydedilen sinyalle doğru orantılıdır (Lenglet vd. 2008). Virüsler, toksinler, bakteriler ve kardiyak indikatörler de dahil olmak üzere çeşitli maddeler analitler olarak sınıflandırılır.

### 3.4 Manyetik Nanoakışkan Hazırlığı

Farklı manyetik nanoakışkanları üretmek için manyetik nanopartiküller ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ve  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ) ilk önce damıtılmış su içerisinde dağıtılır. %0,2'lik MNF üretimi için, tipik olarak 0,08 g MNP, 40 mL damıtılmış su içinde dağıtılır ve daha sonra karışım, 303 K'de yaklaşık 5 saat boyunca 24 kHz frekansta ultrasonik banyoda sonikasyona tabi tutulur. Parçacıklar etkili bir şekilde dağıtılır. Benzer şekilde sırasıyla %0,4 ve %0,6 konsantrasyonlarda MNF yapmak için 0,16 g ve 0,24 g MNP, 40 mL distile su içerisinde dağıtılır. Bağımsız olarak, MNP olarak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ve  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kullanılmış ve MNF'ler on farklı konsantrasyonda yapılmıştır (%0,2; %0,4; %0,6; %0,8; %1,0; %1,2; %1,4; %1,6; %1,8 ve %2,0).

### 3.5 Manyetik Nanoakışkanın Hazırlanması

Bu çalışmada manyetik nanoakışkanların üretimi iki adımlı teknik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yukarıdan aşağıya yaklaşım, ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) veya ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ) olabilen manyetik nanopartiküllerinin üretimi için kullanılır. Spex tipi yüksek enerjili bilyeli değirmenin yanı sıra bilye kırma yöntemleri de kullanılmıştır. Üç farklı manyetik nanopartikül,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , baz akışkan görevi gören damıtılmış su içinde %1 (ağırlık) konsantrasyon oranında dağıtılır. Ayrıca nanopartiküllerin toplanıp tıkanıklığa neden olmasını önlemek amacıyla karışıma ağırlıkça %0,2 oranında Triton X-100 ilave edilmiştir. Çalışmalara başlamadan önce her bir süspansiyon, ISOLAB Laborgerate GmbH tarafından üretilen ultrasonik banyo içerisinde toplam beş saat çalkalanmıştır. Bu karıştırılma durumunu ultrasonik titreşim takip etmiştir.

### 3.6 Termofiziksel Özelliklerin Ölçümü

Çeşitli termal ve fiziksel parametreler için baz akışkan ile hibrit nanoakışkan arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla hesaplamalar yapılmıştır.

Dinamik viskozite için aşağıdaki korelasyon kullanılır:

$$\frac{\mu_{hna}}{\mu_{saf su}} = 1/(1 - \Phi_{Fe_3O_4})^{2.5}(1 - \Phi_{Fe_2O_3})^{2.5} \quad (1)$$

Yoğunluk için kullanılan denklem aşağıdaki gibidir (Ali, 2020):

$$\rho_{hna}/\rho_{saf su} = (1 - \Phi_{Fe_2O_3}) \left[ (1 - \Phi_{Fe_3O_4}) + \left( \frac{\Phi_{Fe_3O_4} \rho_{Fe_3O_4}}{\rho_{saf su}} \right) \right] + \left( \frac{\Phi_{Fe_2O_3} \rho_{Fe_2O_3}}{\rho_{saf su}} \right) \quad (2)$$

Hibrit nanoakışkanın termal iletkenliği şu şekilde bulunmuştur (Ganji ve Sheikholeslami, 2015):

$$\begin{aligned} \frac{k_{hna}}{k_{saf su}} = & \frac{(\Phi_{Fe_3O_4} k_{Fe_3O_4} + \Phi_{Fe_2O_3} k_{Fe_2O_3})}{\Phi} + 2k_{saf su} + 2(\Phi_{Fe_3O_4} k_{Fe_3O_4} + \\ & \Phi_{Fe_2O_3} k_{Fe_2O_3}) - 2\Phi k_{saf su} \chi \left( \frac{(\Phi_{Fe_3O_4} k_{Fe_3O_4} + \Phi_{Fe_2O_3} k_{Fe_2O_3})}{\Phi} + 2k_{saf su} - \right. \\ & \left. (\Phi_{Fe_3O_4} k_{Fe_3O_4} + \Phi_{Fe_2O_3} k_{Fe_2O_3}) + \Phi k_{saf su} \right)^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Burada  $k_{hna}$ , hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliğini;  $k_{saf su}$ , baz akışkan olarak saf suyun ısı iletkenliğini;  $k_{Fe_3O_4}$ ,  $Fe_3O_4$  nanopartiküllerinin ısı iletkenliğini;  $k_{Fe_2O_3}$ ,  $Fe_2O_3$  nanopartiküllerinin termal iletkenliğini;  $\Phi_{Fe_3O_4}$ , nanoakışkandaki  $Fe_3O_4$  konsantrasyonunu;  $\Phi_{Fe_2O_3}$ , nanoakışkandaki  $Fe_2O_3$  konsantrasyonunu ve  $\Phi$ , nanoakışkanın konsantrasyonunu temsil etmektedir.

Hibrit nanoakışkanın özgül ısı değeri şu şekilde hesaplanmıştır (Çiftçi vd. 2016):

$$Cp_{hna} = \frac{\Phi_{Fe_3O_4} \rho_{Fe_3O_4} Cp_{Fe_3O_4} + \Phi_{Fe_2O_3} \rho_{Fe_2O_3} Cp_{Fe_2O_3} + (1 - \Phi) \rho_{saf su} Cp_{saf su}}{\rho_{hna}} \quad (4)$$

Burada  $Cp_{hna}$ , hibrit nanoakışkanın özgül ısısını;  $\rho_{Fe_3O_4}$ ,  $Fe_3O_4$  nanopartiküllerinin yoğunluğunu;  $\rho_{Fe_2O_3}$ ,  $Fe_2O_3$  nanopartiküllerinin yoğunluğunu;  $\rho_{saf su}$ , baz sıvının yoğunluğunu;  $\rho_{hna}$ , hibrit nanoakışkanın yoğunluğunu;  $Cp_{Fe_3O_4}$ ,  $Fe_3O_4$  nanopartiküllerinin özgül ısısını ve  $Cp_{Fe_2O_3}$ ,  $Fe_2O_3$  nanopartiküllerinin özgül ısısını temsil etmektedir. Hibrit nanoakışkanın hesaplanan termofiziksel özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Hibrit nanoakışkanın termofiziksel özellikleri

| Hibrit Nanoakışkan                                                   | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Özgül ısı (J/Kg K) | Termal iletkenlik<br>(W/m K) |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|
| (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/su | 4171,9                           | 824,94             | 92,3                         |

### 3.7 DeneySEL Kurulum

Tablo 3.3'te deney setini oluşturan bileşenlerin adlarının yanı sıra parçaların modülleri ve özelliklerinin yer aldığı bir liste görülmektedir. Güneş paneli her iki modülde de bulunabilir ancak Modül 1, soğutma suyu devresine sahip olan tek modüldür. Deneyde boyutları ve diğer özellikleri bakımından birbirinin aynı olan güneş panelleri kullanılmıştır. Fotovoltaik teknolojiyi kullanan güneş panelleri de aynı platform üzerine kurulmaktadır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4, sırasıyla modüller ve soğutma devresi hakkında daha fazla ayrıntı sağlamaktadır. Ayrıca soğutma devresi ve modüller daha açık bir şekilde Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

### 3.8 Soğutmalı FV/T Tasarımı

Soğutmalı FV/T (CFV/T) için toplayıcı çekirdek, fotovoltaik malzemelere çok çeşitli optimizasyonlar dahil edilerek inşa edilmiştir. Bu, güneş FV sisteminin genel elektrik verimliliğini artırmak için yapılmıştır. Yoğunlaştırıcı plakalı fotovoltaik termoelektrik, CFV/T kısaltmasıyla ifade edilir. Her iki yönde performansı artırmak için  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  ve  $NiFeO_4$ 'ten oluşan manyetik nanopartiküller, ağırlıkça %1 konsantrasyonda baz sıvı suya karıştırılmıştır. Bu işlem, aynı anda FV sistemine sağlanan soğutma

miktarındaki artışın bir sonucu olarak FV/T sisteminin ısı transfer kapasitelerinde artışa yol açmıştır.

### 3.9 CFV/T'nin Yapısı

Bu çalışmada, her biri 2 metre uzunluğunda ve 1 metre genişliğinde iki adet güneş paneli kullanılmıştır. Her panel 15 watt olarak derecelendirilmiştir. Tablo 3.3'te sadece deney setinde yer alan malzemelerin adlarının bir listesi değil, aynı zamanda malzemelerin parçası olduğu modüllerin adlarının yanı sıra bireysel bileşenlerin özelliklerinin de bir listesi verilmektedir. Her iki modül de güneş paneli içermesine rağmen yalnızca Modül 1'de soğutma suyu devresi bulunmaktadır. Deney setinde kullanılan güneş panellerinin boyutları ve özellikleri de dahil olmak üzere hepsi aynıdır. Fotovoltaik teknolojiden faydalanan güneş panellerinin kurulumunda da aynı platform kullanılmaktadır. Şekil 3.4 iki modülü, Şekil 3.5 soğutma devresinin ayrıntılarını göstermektedir. Şekil 3.6 ayrıca modüllerin ve soğutma devresinin gösterimini daha anlaşılır bir şekilde sunan şematik bir tasarımı da içermektedir.

Tablo 3.3 Deney kurulumu ve bileşenlerin özellikleri

| İsim              | Modül   |         | Özellikler                                                                   |
|-------------------|---------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Modül 1 | Modül 2 |                                                                              |
| Yük               | √       | √       | Rezistans: 4 $\Omega$                                                        |
| Akış ölçer        | √       |         | Akış aralığı: 0-10 L/dk                                                      |
| Güneş ışığı ölçer | √       | √       | CEM DT-1307<br>Ölçüm aralığı: 2000W/635 BTU'ya kadar                         |
| Su serpantini     | √       |         | Bakır ( $\lambda$ :394 W/mK)<br>Boru çapı: 24mm/32mm                         |
| Gelişmiş Tarayıcı | √       | √       | ELİMKO 680<br>Ölçüm elemanı: Termokupl                                       |
| PV Paneli         | √       | √       | ELNSM60M-HC-HV-370 Wp<br>Voc: 41.6 V Isc: 11.34 A<br>Vmp: 34.6 V Imp:10.70 A |

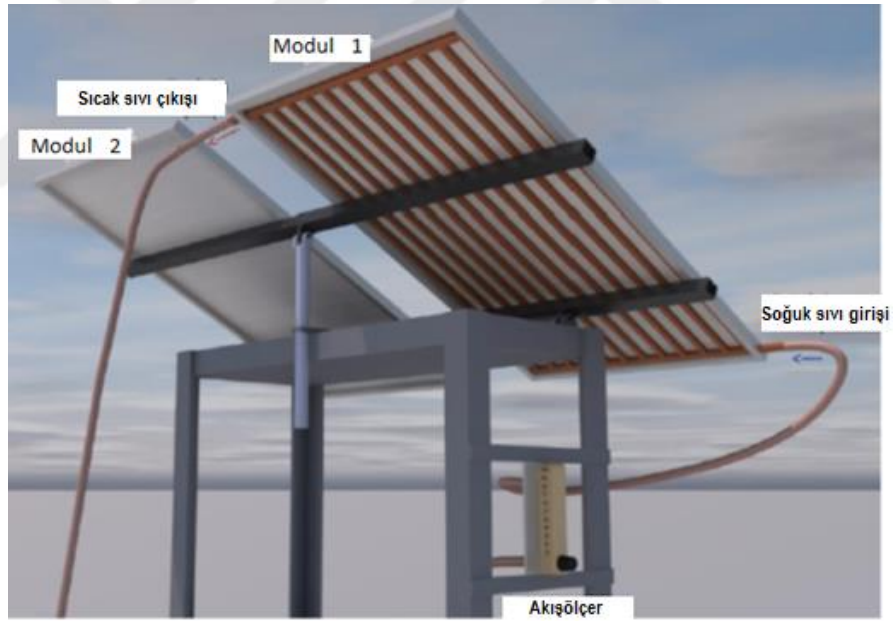
Hem Modül 1 (FV/T) hem de Modül 2 (FV), her biri aynı şirket tarafından üretilen ve eşdeğer miktarda güç üreten iki güneş paneliyle inşa edilmiştir. Serpantin boru dizili soğutucu, Modül 1'de, odanın en uzak köşesinde, güneş panelinin altına gizlenmiş olarak bulunabilir. Serpantin üretimi için öncelikle bakır boruların belli bir dereceye kadar ezilmesi gerekmektedir. Bu, panelin arka kısmı ile bakır borular arasında tam temas olmasını sağlamak için yapılır ve aynı zamanda FV modülü ile temas yüzey alanını da arttırır. Öte yandan, Modül 2'de herhangi bir ek bileşen bulunmamaktadır. Şekil 3.4, her iki modülün de aynı açıda konumlandırılmasını garanti etmek için panellerin aynı iki profil boru üzerine yerleştirildiğini göstermektedir. Modül 1'de şebekeden gelen su serpantin girişine itilirken, ortamdaki gelen suyun da çıkıştan serbestçe akması sağlanmıştır. Debimetre kullanımıyla serpantine giren su miktarının Şekil.3.5'teki gibi tam istenilen seviyede tutulması sağlanmıştır.



Şekil 3.4 Fotovoltaik modüller (FV modülleri)



Şekil 3.5 Modül 1 ve soğutma devresi



Şekil 3.6 FV/T sisteminin şematik görünümü

### 3.10 Teorik Analiz

Deneyin bulguları olarak toplanan veriler kullanılarak uygun teorik analiz gerçekleştirilmiştir. FV/T panellerin ürettiği ısı miktarı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_{FVT} = \dot{m}_{FVT} c_p (T_{FVT,o} - T_{FVT,i}) \quad (5)$$

Bu ifadede, FV/T paneller tarafından üretilen ısı  $\dot{Q}_{FVT}$  ile, çalışma akışkanının spesifik ısı kapasitesi  $c_p$  ile, FV/T'deki çalışma akışkanının kütle akış hızı  $\dot{m}_{FVT}$  ile, FV/T panelinin çıkışında ölçülen sıcaklık  $T_{FVT,o}$  ile, FV/T panelinin girişinde ölçülen sıcaklık ise  $T_{FVT,i}$  sembolüyle temsil edilir.

FV/T panellerin ısı verimliliği şu şekilde gösterilebilir:

$$\eta_{FVT,l} = \frac{\dot{Q}_{FVT}}{G \cdot A_{FVT,toplam}} \quad (6)$$

Bu senaryoda  $\eta_{FVT,l}$ , FV/T panelin termal verimliliğini;  $G$ , metrekare başına watt cinsinden güneş ışınlamını ve  $A_{FVT,toplam}$ , metrekare ( $\text{W/m}^2$ ) cinsinden FV/T panellerin toplam etkin alanını temsil eder. Bu değişkenlerin tamamı metrekare ( $\text{m}^2$ ) cinsinden ifade edilmektedir.

FV/T panellerin üretebileceği elektrik miktarı aşağıdaki kriterler kullanılarak tahmin edilebilir:

$$E_{FVT} = U_{FVT} I_{FVT,toplam} \quad (7)$$

$E_{FVT}$ , FV/T panellerinin toplam çıkış gücünü (W);  $U_{FVT}$ , FV/T panellerinin çıkış voltajını (V) ve  $I_{FVT,toplam}$ , FV/T panellerinin toplam çıkış akımını (A) göstermektedir.

FV/T panelinin elektriksel verimliliği ( $\eta_{FVT,e}$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\eta_{FVT,e} = \frac{\dot{Q}_{FVT}}{G \cdot A_{FVT,toplam}} \quad (8)$$

FV/T panellerin toplam verimliliği ( $\eta_{FVT,toplam}$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\eta_{FVT,toplam} = \eta_{FVT,e} + \eta_{FVT,l} \quad (9)$$

Panelin ısı verimi ( $\eta_{F,termal}$ ) aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\eta_{F,termal} = \frac{\dot{m}_{termal} c_p (T_{termal,o} - T_{termal,i})}{G \cdot A_{p,toplam}} \quad (10)$$

Burada  $\dot{m}_{termal}$ , termal paneldeki çalışma akışkanının kütleli akış hızı (kg/s),  $T_{termal,o}$  ve  $T_{termal,i}$  ise sırasıyla termal panelin çıkış ve girişindeki sıcaklıktır (°C).

Isı pompası sisteminin COP değeri şu şekilde ifade edilebilir:

$$COP = \frac{Q_k}{P} \quad (11)$$

Burada  $Q_k$ , kondenserden çıkan ısıdır (W) ve P, kompresörün giriş gücüdür (W).

### 3.11 Belirsizlik Analizi

Testte kullanılan termokupllar da dahil olmak üzere tüm ölçüm ekipmanlarının kalibrasyonu yapıldıktan sonra araştırmada görülen belirsizliğin temel nedeninin ölçüm hatalarından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Gerçekte ölçülen değer ile alınan okuma arasındaki fark, ölçüm hatası oluşturur. Sonuç olarak, ( $W_E$ ) sembolüyle temsil edilen genel deneysel belirsizlik, U'nun ( $x_1; x_2; x_3; \dots; x_n$ ) ile çarpılmasıyla elde edilir. Bu denklem kapsamında ilgilendiğimiz bağımlı değişken U harfiyle gösterilmektedir (Duran, 2014).

$$W_U = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial U}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial U}{\partial x_n} w_n\right)^2\right]} \quad (12)$$

Belirsizlik analizi sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 3.4'te gösterildiği gibi Sıcaklık  $\pm 0,55^\circ\text{C}$ , Akış ölçer  $\pm \%2,1$  lpm ve Güneş ışığı ölçer  $\pm 10$  W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.4 Belirsizlik analizi sonuçları

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Sıcaklık (°C)                         | $\pm 0.55$   |
| Akış ölçer (lpm)                      | $\pm 2.1 \%$ |
| Güneş ışığı ölçer (W/m <sup>2</sup> ) | $\pm 10$     |

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1 Fiziksel Özelliklerin Sonuçları

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su manyetik nanoakışkanının yoğunluk ve özgül ısı gibi fiziksel özellikleri, Cho ve Pak (1998)'in çalışmasında tartışılan formüller uygulanarak belirlenir.

MNF'nin yoğunluğu Denklem 1 ile hesaplanır (Dhiran ve Rawat, 2017):

$$\rho_{MNF} = \rho_{baz} \cdot (1 - \varphi_{MNP}) + \rho_{MNP} \cdot \varphi_{MNP} \quad (1)$$

$\rho_{MNF}$  = MNF'nin yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{baz}$  = baz akışkanın (suyun) yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$\varphi_{MNP}$  = konsantrasyon oranı (%)

MNF'nin özgül ısısı Denklem 2 ile hesaplanır (Dhiran ve Rawat, 2017):

$$c_{p,MNF} = \frac{\rho_{baz} \cdot c_{p,baz} (1 - \varphi_{MNP}) + \rho_{MNP} \cdot \varphi_{MNP} c_{p,MNP}}{\rho_{MNF}} \quad (2)$$

$c_{p,MNF}$  = MNF'nin özgül ısısı (J/kg.K)

$c_{p,baz}$  = baz akışkanın (suyun) özgül ısısı (J/kg.K)

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'ün manyetik nanopartikülleri ( $c_{p,MNF}$ )'nin özgül ısısı Denklem 3 ile hesaplanır:

$$c_{p,MNF}^{\circ} = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + d \cdot t^3 + \frac{e}{t^2} \quad (3)$$

t = sıcaklık (K)/1000

$c_{p,MNF}^{\circ}$  = özgül ısı (J/mol.K)

$$M_w(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 231,533$$

$$M_w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,688$$

Hem  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  MNP'ler için Denklem 1'deki sabitlerin değeri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Hem  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  MNP'ler için Denklem 1'deki sabitlerin değeri

| $\text{Fe}_3\text{O}_4$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ |
|-------------------------|-------------------------|
| a = 104,2096            | a = 93,43834            |
| b = 178,5108            | b = 108,3577            |
| c = 10,61510            | c = -50,86447           |
| d = 1,132534            | d = 25,58683            |
| e = -0,994202           | e = -1,61133            |

Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak hesaplanan termofiziksel özellikler Tablo 4.2'de verilmiştir.

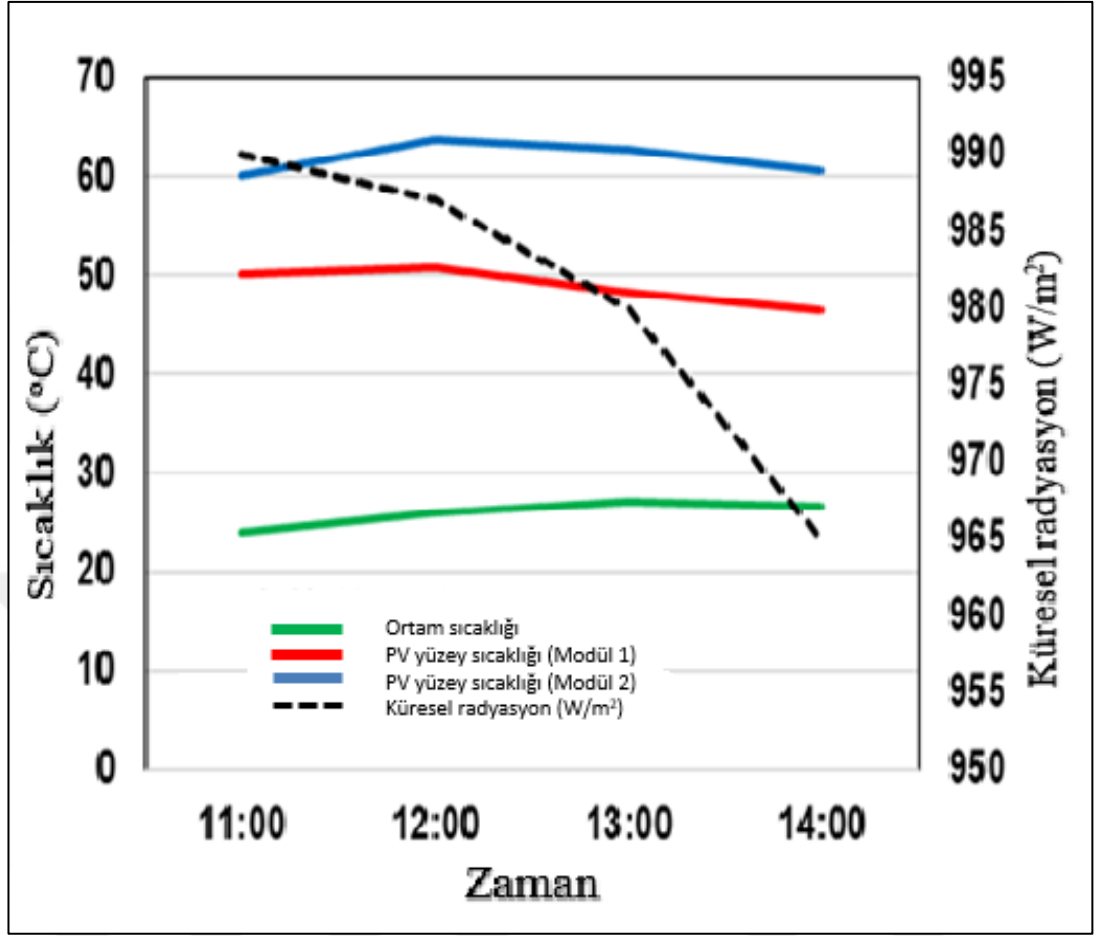
Tablo 4.2 Çalışma akışkanlarının termofiziksel özellikleri

| Termofiziksel özellikler          | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ | Saf su |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------|
| Özgül ısı                         | 4179,994                | 4116,54                 | 4178,8                    | 4180   |
| $c_{p,MNF}$ (J/kg.K)              |                         |                         |                           |        |
| Yoğunluk                          | 1003,37                 | 1009,735                | 1010,4                    | 997    |
| $\rho_{MNF}$ (kg/m <sup>3</sup> ) |                         |                         |                           |        |

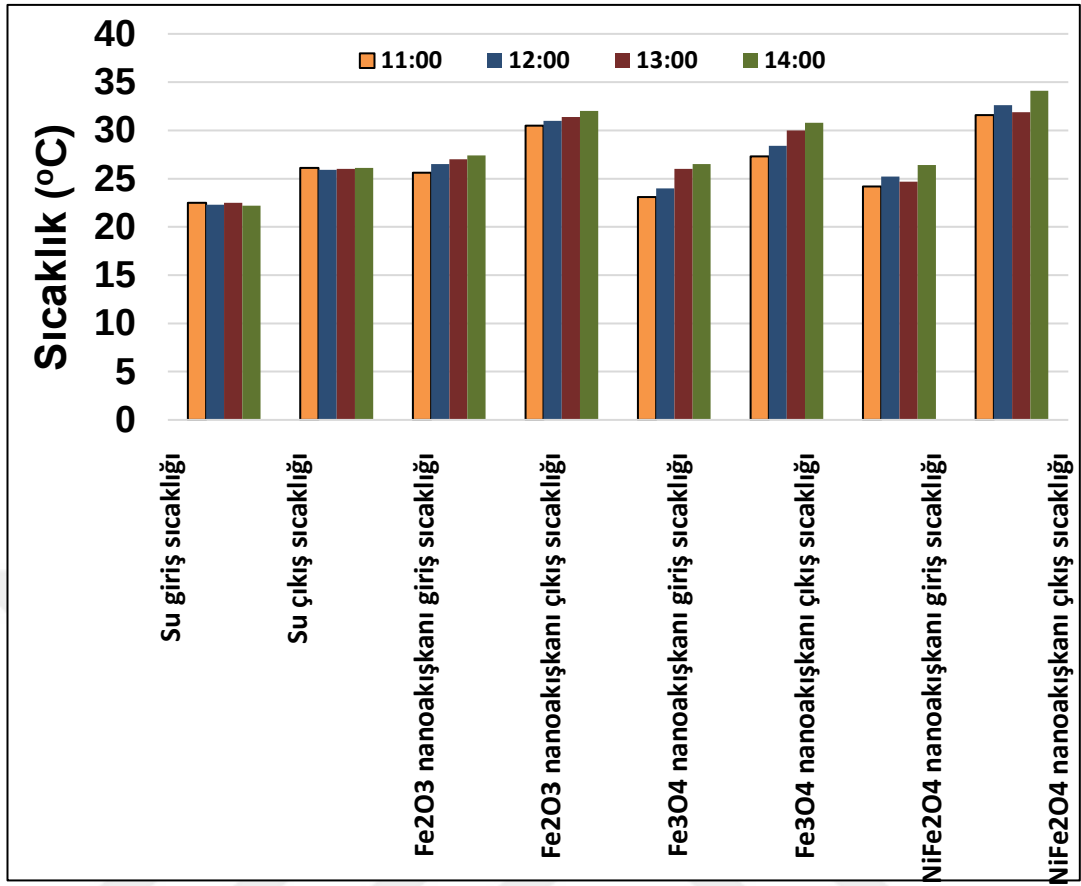
## 4.2 Deneysel Analiz Sonuçları

Deneyler Ankara ilinin iklim koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ölçülen ortam sıcaklıkları, küresel radyasyon değişimleri ve panel yüzey sıcaklıkları Şekil 4.1'de verilmiştir. Şebeke suyu ile yapılan deneylerde Modül 1 (FV/T) sistemi ile Modül 2 (FV) sistemi arasındaki panel yüzeylerinin ortalama sıcaklığı da Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Maksimum yüzey sıcaklık farkı 14,2°C'dir. Panelin soğumasının önemli bir dereceye ulaştığı gözlemlenmiştir. FV/T sisteminde su ve nanoakışkan olmak üzere iki farklı akışkan kullanılarak soğutma miktarı artırılmıştır.

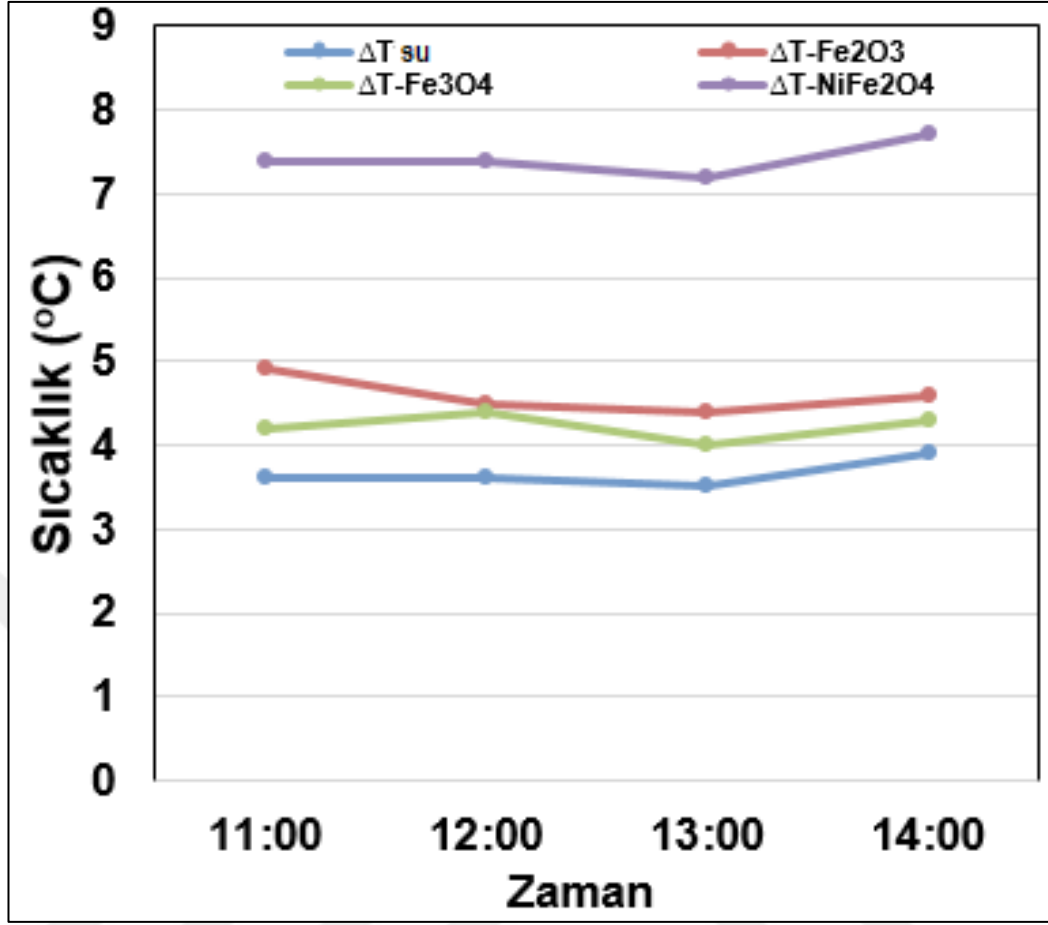
Soğutma devresinde kullanılan akışkanlara göre serpantin giriş ve çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak Şekil 4.2'de verilmiştir. Ölçülen günün değerlerine göre yapılan deneylerde soğutma akışkanı olarak öncelikle şebeke suyu kullanılmıştır. Öncelikle soğutma sisteminin absorbe ettiği ısınn hesaplamaları yapılmış ve sistemden maksimum ısınn hangi soğutma akışkanı ile elde edileceği belirlenmiştir. Soğutma devresi çıkışı ve girişi arasındaki akışkan sıcaklık farkları Şekil 4.3'teki gibi ölçülmüştür.  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoakışkanında maksimum sıcaklık farkı  $7,7^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Diğer nanoakışkanlarda sıcaklık farkı baz akışkan suya göre daha fazladır. Bu grafikten de görülebileceği gibi nanoakışkanlarda emilen ısı, baz akışkan suya göre daha yüksektir. Panelin elektriksel veriminin ve ısı veriminin değişimi ve toplam verim Şekil 4.4'te verilmiştir. Nanoakışkan kullanıldığında ısı verimindeki artış fazladır fakat toplam verimdeki artış daha yüksektir. Elektrik verimliliğindeki iyileşme nedeniyle verimlilik sınırlıdır. Bu iyileştirmelerin yüzde değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Toplam verimdeki değişim en fazla  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoakışkanında görülürken, baz akışkan su kullanımına göre diğer nanoakışkanlarda, baz akışkan su kullanımına göre nanoakışkanlarda iyileşmeler görülmektedir.



Şekil 4.1 Panelde ölçülen sıcaklıklar

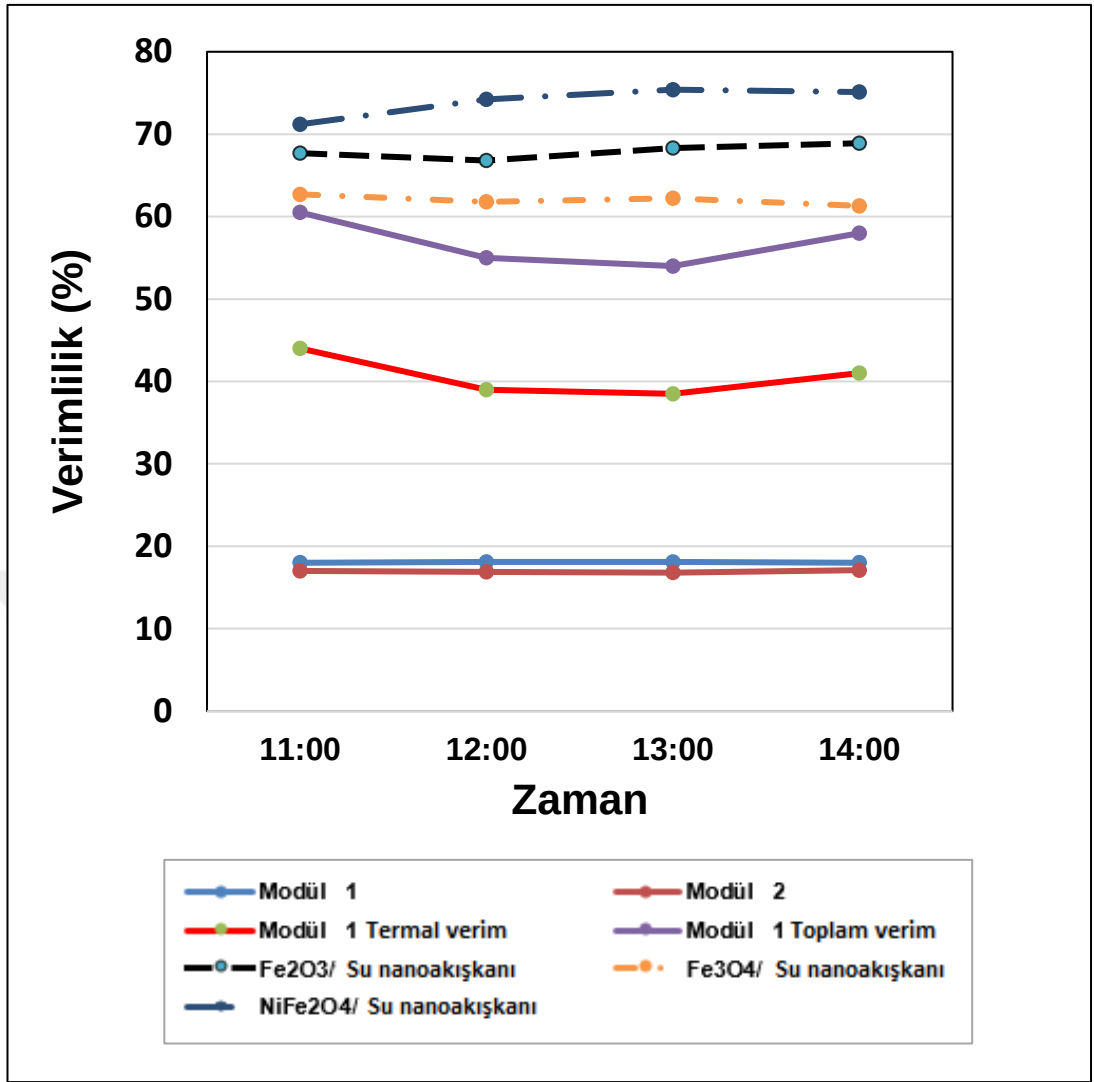


Şekil 4.2 Soğutma devresinde kullanılan akışkanlara göre serpantin giriş ve çıkış sıcaklıkları

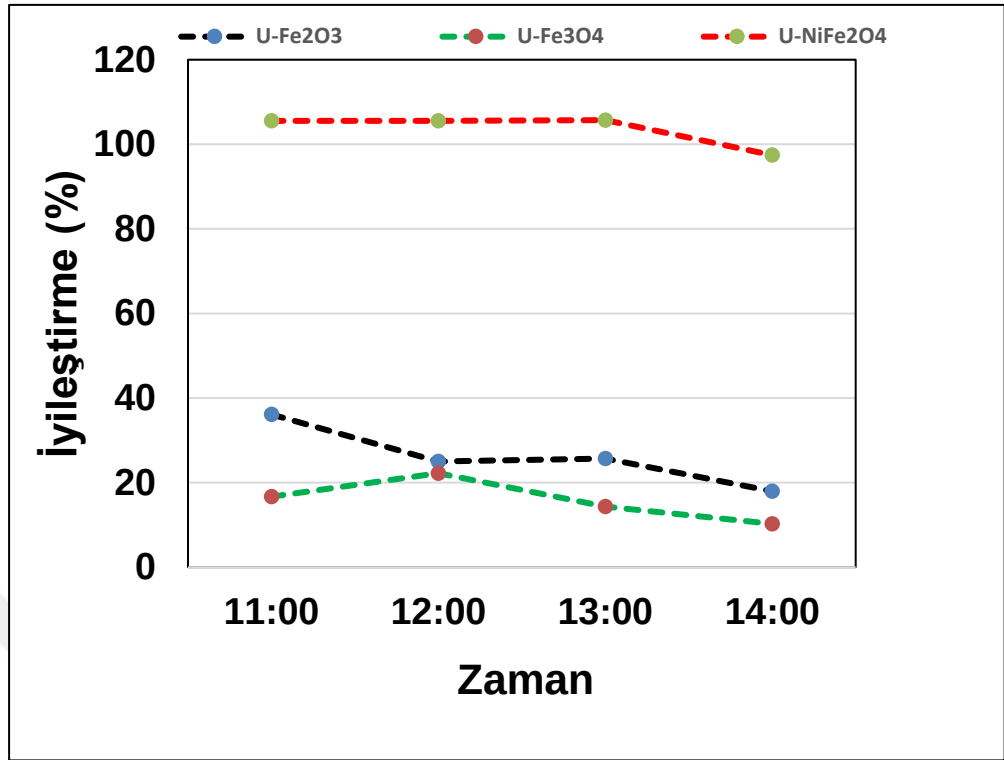


Şekil 4.3 Soğutma devresindeki sıcaklık farklılıkları

Soğutma devresi olan ve olmayan FV panellerin (Modül 1) ölçülen elektrik üretim verimlilikleri sırasıyla ortalama %18 ve %16 civarındadır (Şekil 4.4). Soğutma devresinde akışkan olarak suyun kullanılması durumunda ısı verim %40 civarında olup, FV panelin elektriksel ve ısı verimi toplamda %55'e ulaşmaktadır. Soğutma devresinde nanoakışkan kullanılmasıyla toplam verimdeki bu değişim  $Fe_3O_4$  nanoakışkanı için ortalama %62,  $Fe_2O_3$  nanoakışkanı için ortalama %68,  $NiFe_2O_4$  nanoakışkanı için ortalama %75'e ulaşmaktadır (Şekil 4.4). Sonuç olarak toplam verimde en iyi iyileşme %105 olarak  $NiFe_2O_4$  nanoakışkanı ile elde edilmiştir. Bunu sırasıyla %25 ile  $Fe_2O_3$  ve %15 ile  $Fe_3O_4$  takip etmektedir (Şekil 4.5).

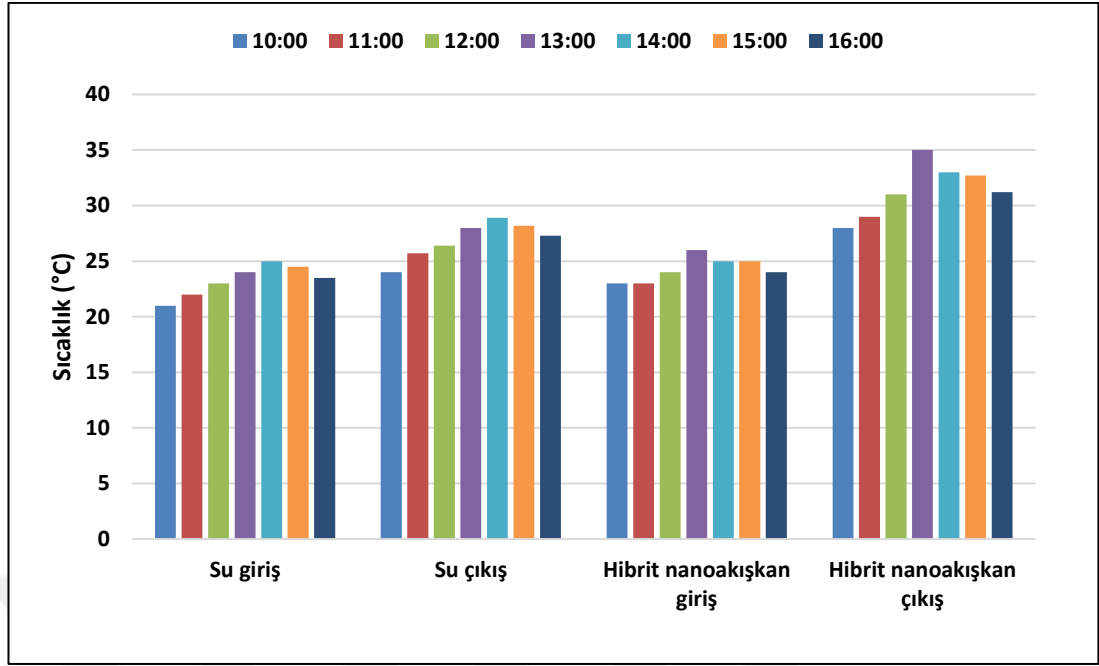


Şekil 4.4 FV/T ve FV verimlilikleri

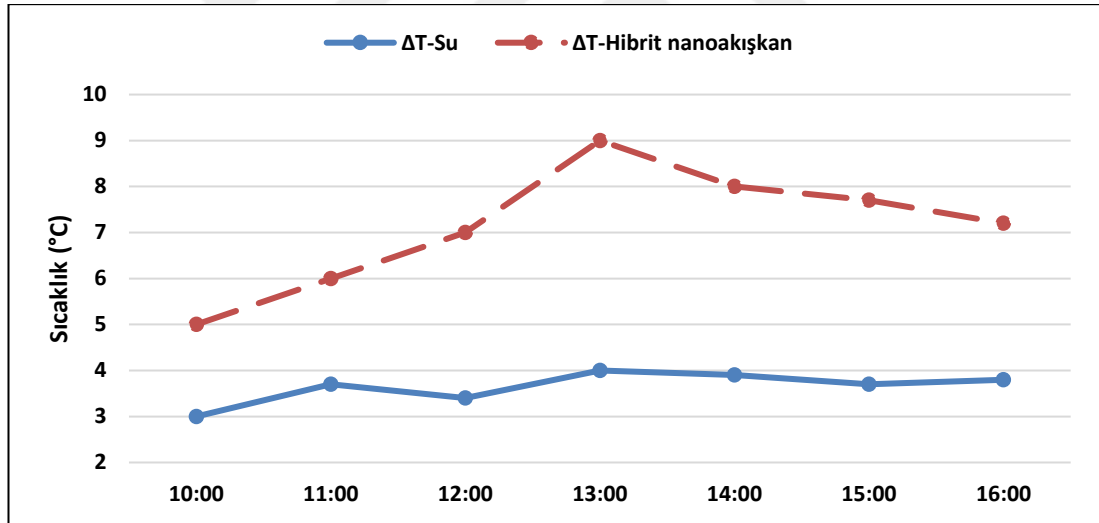


Şekil 4.5 Termal ve toplam verimliliğin iyileştirilmesi

Şekil 4.6. soğutma devresinde kullanılan akışkan cinsine göre serpantin giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimini göstermektedir. Günün belirli saatlerinde ölçülen değerlere göre yapılan deneylerde soğutma sıvısı olarak öncelikle şebeke suyu kullanılmıştır. Soğutma sisteminin absorbe ettiği ısının hesabı yapılmış ve maksimum ısıyı uzaklaştırabilen soğutucu akışkan tespit edilmiştir. Soğutma devresinin girişi ve çıkışı arasındaki akışkan sıcaklık farkları Şekil 4.7'de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Hibrit nanoakışkandaki maksimum sıcaklık farkı 9°C olarak ölçülmüştür. Hibrit nanoakışkan için bu sıcaklık farkı sudan daha fazladır. Bu nedenle, çalışma akışkanı olarak hibrit nanoakışkan kullanıldığında emilen ısı, baz akışkan olarak sudan daha yüksektir.



Şekil 4.6 Soğutma devresi kullanılarak akışkanlara göre serpantin giriş/çıkış sıcaklığı

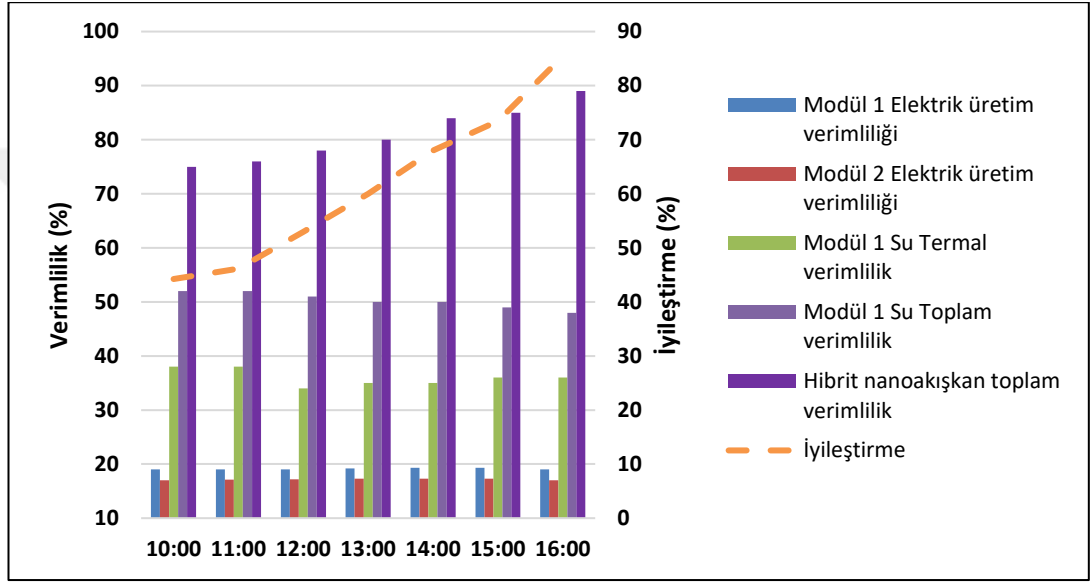


Şekil 4.7 Soğutma devresinin girişi ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkları

Panelin elektriksel, termal ve toplam verimliliğinin değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir. Hibrit nanoakışkanlar kullanıldığında termal ve genel verim daha yüksektir, ancak elektriksel verimdeki iyileşme sınırlamaya neden olmaktadır. Soğutma devresi olan ve olmayan FV panellerden ölçülen elektrik üretiminin verimliliği Şekil 4.8'de olduğu gibi sırasıyla %19 ve %17 civarındadır. Soğutma devresinde akışkan olarak su kullanılması durumunda ısı verim %36 civarında olurken, FV panelin elektriksel ve ısı verimleri toplamda %50'ye ulaşmaktadır. Soğutma devresinde nanoakışkan

kullanılmasıyla birlikte hibrit nanoakışkanlarda toplam verimdeki bu değişim ortalama %81'e ulaşmaktadır.

Isıl ve toplam verimlilik iyileştirme değerleri de Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Genel verimlilikteki değişim ve iyileşme, hibrit nanoakışkanda baz akışkan (su) kullanımına göre çok daha yüksektir. Toplam verimde ise en iyi gelişme %86 ile hibrit nanoakışkanda elde edilmiştir.



Şekil 4.8 FV/T ve FV verimlilikleri ve termal ve genel verimlilikte iyileşme

## 5. SONUÇLAR

FV/T sistemler son yıllarda bilimsel çalışmaların odaklandığı konulardan biridir. Bunun temel nedeni FV'lerin elektrik üretim performansının artırılmasının yanı sıra sistemden termal olarak sıcak akışkan elde edilmesidir. Elde edilen sıcak akışkanın mahal ısıtması, sera ısıtması, kurutma sistemlerinde kullanılması, ısı pompalarında ısı kaynağı olarak kullanılması gibi birçok uygulama alanının bulunması da FV/T sistemlerinin önem kazanmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere FV/T'lerden elde edilecek toplam verimin (elektrik + termal) ve termal sistemden elde edilen sıcak akışkan sıcaklığının artırılması kullanım portföylerini genişletecektir. Sadece pasif ısı kazancı sağlayacak olması süreci basitleştirmektedir.

Termal ünite (FV/T) sistemli hibrit FV modülleri, bir güneş pili ile birlikte monte edilen ısı tahliye sistemleridir. FV/T'nin ikili işlevleri, büyük miktarda güneş enerjisinin FV aracılığıyla elektriğe dönüştürülmesinde etkilidir. Sistem ayrıca fazla ısının başka amaçlar için depolanmasına da olanak tanımaktadır, böylece güneş enerjisinin faydalarından büyük ölçüde yararlanılmaktadır. FV/T sistemleri son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Araştırmalar, FV/T ünitelerinin, güneş kolektörleriyle birleştirilmiş FV panellere kıyasla daha düşük üretim ve kurulum maliyetleriyle birim alan başına daha fazla enerji üretebildiğini göstermektedir. FV sistemlerin elektrik üretim performansının artırılmasının yanı sıra FV/T sistemlerinin önem kazanmasının başka bir sebebi sistemden termal olarak sıcak akışkan elde edilmesidir. Endüstriyel kurutma sistemlerinde ısı pompalarında enerji kaynağı olarak, oda/alan ve seraların ısıtılmasında ve üretilen sıcak akışkanın geniş çapta kullanılabilmesi nedeniyle FV/T sisteminin önemi de artmıştır.

Bu çalışmada, nanometre boyutunda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  parçacıkları içeren hibrit nanoakışkanın, yüksek ısı iletkenliği ve ısı transfer katsayısı gibi özellikleriyle saf suyun yerini alması amaçlandığı sonucuna varılabilir. Etkili ısı transferi, FV/T sisteminin çalışmasının ve güç üretiminin verimliliğini artırabilir. Hibrit nanoakışkanlar kullanan FV/T sisteminin performansı, geleneksel akışkanlara kıyasla

genel verimlilik açısından arttırılmıştır, böylece hibrit nanoakışkanlar kullanan daha küçük ve sıkıştırılmış FV/T sistemleri üretilebilir. Dolayısıyla üretimin ağırlığı, enerjisi ve maliyeti azalacaktır. FV/T'lerden toplam verimin (elektrik + termal) ve termal sistemden gelen sıcak akışkanın sıcaklığının artmasının kullanım alanını genişleteceği görülmektedir. Ayrıca sadece pasif ısı kazancı sağlayarak süreci kolaylaştıracaktır.



## KAYNAKLAR

- Abdullah, A. L., Misha, S., Rosli, M. A. M., Sachit, F. A., & Tamaldin, N. (2018). Nanofluids Used in Photovoltaic Thermal (PV/T) Systems: a Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, (3.20) 599-611
- Abdulrahman, R. A., Hussein, H. A., & Numan, A. H. (2017). Improving the Hybrid Photovoltaic/Thermal System Performance Using WaterCooling Technique and Zn-H<sub>2</sub>O Nanofluid. *vol. 2017*, no. 3.
- Abed, A. M., Alghoul, M. A., Al-Shamani, A. N., Ammar, A. A., Elbreki, A. M., & Sopian, K. (2018). Mathematical and experimental evaluation of thermal and electrical efficiency of PV/T collector using different water based nano-fluids. *Energy*, vol. 145, pp. 770–792.
- Abed, A. M., Al-Shamani, A. N., Hasan, H. A., Mat, S., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2016). Experimental studies of rectangular tube absorber photovoltaic thermal collector with various types of nanofluids under the tropical climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 124, 528-542.
- Abu Bakar, M. N., Din, M. H., Jarimi, H., Manaf, N. A., & Othman, M. (2014). Design concept and mathematical model of a bi-fluid photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector. *Renew. Energy*, vol. 67, pp. 153–164.
- Adouane, M., Embarek, A., Khelifa, A., Khettaf, E. H., & Touafek, K., (2013). Experimental Study on a New Conception of Hybrid PV / T Collector. *14th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2013*, Sousse, Tunisia, 2013 STA'2013-PID3271-REC Experimenta, pp. 140–145.
- Agrawal, G. D., Chandel, M., & Mathur, A. (2012). Recent Developments In The Field Of Solar Water Heater Using Flat Plate Collector-A Review Address For Correspondence. *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, pp. 12–14.
- Ahn, J. G., Kim, J. H., & Kim, J. T. (2015). A study on experimental performance of air-type PV/T collector with HRV. *Energy Procedia*, 78:3007–3012.
- Akoh, H., Tasaki, A., Tsukasaki, Y., & Yatsuya, S. (1978) Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *J. Cryst. Growth*, vol. 45, no. C, pp. 495–500.
- Akyüz, E., & Gül, M. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *J. Baun Inst. Sci. Technol.*, 21(1), 444-458, DOI: 10.25092/baunfbed.548728.
- Aldabbagh, L. B. Y., Mirzaei, N., Nowzari, R., & Saygın, H. (2017). Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: A case study in design and analysis of experiment. *Sol. Energy*, 141:210–221.

- Alemrajabi, A. A., Menbari, A., & Rezaei, A. (2016). Heat transfer analysis and the effect of CuO/Water nanofluid on direct absorption concentrating solar collector. *Appl. Therm. Eng.*, vol. 104, pp. 176–183.
- Ali, M. (2020). *Instability of Hydromagnetic Hybrid Flow Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O of Thermocapillary Layers of Shear-Thinning Nanofluids*.
- Alim, M. A., & Nasrin, R. (2014). Finite Element Simulation of Forced Convection in a Flat Plate Solar Collector: Influence of Nanofluid with Double Nanoparticles. *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 7, no. 3, pp. 543–556.
- Alim, M. A., Chamkha, A. J., & Nasrin, R. (2013). Effects of Physical Parameters on Natural Convection in a Solar Collector Filled with Nanofluid. *Heat Transf. Res.*, vol. 42, no. 1, pp. 73–88.
- Alim, M. A., Nasrin, R., & Parvin, S. (2013). Effect of Prandtl number on free convection in a solar collector filled with nanofluid. *Procedia Eng.*, vol. 56, pp. 54–62.
- Alipanah, M., Dehghani, A., Hosseinizadeh, S. F., Jahanshahi, M., & Vakilinejad, G. R., (2010). Numerical simulation of free convection based on experimental measured conductivity in a square cavity using Water/SiO<sub>2</sub> nanofluid. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. 6, pp. 687–694.
- Al-Waeli, A. H. A., Al-Shamani, A. N., Chaichan, M. T., Hasan, H. A., Kazem, H. A., & Sopian, K. (2017). An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system. *Energy Convers. Manag.*, vol. 142, pp. 547–558, 2017.
- Al-Waeli, A. H., Chaichan, M. T., Ibrahim, A., Kazem, H. A., Mat, S., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2017). Evaluation of the nanofluid and nano-PCM based photovoltaic thermal (PVT) system: An experimental study. *Energy Conversion and Management*, 151, 693-708.
- Amanpour, S., Attar, M. M., Haghpanahi, Heydari, M., M., Javidi, M., Karimi, A., & Navidbakhsh, M. (2014). Cylindrical agar gel with fluid flow subjected to an alternating magnetic field during hyperthermia. *International Journal of Hyperthermia*, 31 (1), 33–39. doi:10.3109/02656736.2014.988661. PMID 25523967. S2CID 881157.
- Amanpour, S., Attar, M. M., Haghpanahi, M., Heydari, M., Javidi, M., Karimi, A., Navidbakhsh, M., (2015). Magnetic Fluid Hyperthermia in a Cylindrical Gel Contains Water Flow. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 15 (5), 1550088. doi:10.1142/S0219519415500888.
- Amiri, S., Sharifi, I., & Shokrollahi, H. (2012). Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324 (6), 903–915. Bibcode:2012JMMM..324..903S. doi:10.1016/j.jmmm.2011.10.017. ISSN 0304-8853.

- Anuar, M. K., Ellias, S., Mat, S., Rosli, M. A. M., Sopian, K., & Sulaiman, M. Y. (2014). Progress on Flat-Plate Water Based of Photovoltaic Thermal (PV/T) System: A Review. *J. Energy Environ. Iran.* 5 407-418.
- Araneda, R. C., Depireux, D. A., Eberly, C., Kulkarni, S. D., Shapiro, B., Smith, R. S., Ramaswamy, B., & Villar, P. S. (2015). Movement of magnetic nanoparticles in brain tissue: mechanisms and safety. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 11 (7), 1821–9. doi:10.1016/j.nano.2015.06.003. PMC 4586396. PMID 26115639.
- Arıcı, M., Estellé, P., Jha, P., & Shahsavari, A. (2021). Experimental investigation of the usability of the rifled serpentine tube to improve energy and exergy performances of a nanofluid-based photovoltaic/thermal system. *Renewable Energy*, 170, 410-425.
- Arora, N., Dilbaghi, N., Gupta, M., Kumar, R., & Kumar, S. (2014). A comprehensive review of experimental investigations of forced convective heat transfer characteristics for various nanofluids. pp. 1–21.
- Asnaghi, A., Izadkhast, P. S., Kashani, A. H., & Ladjevardi, S. M. (2013). Applicability of graphite nanofluids in direct solar energy absorption. *Sol. Energy*, vol. 94, pp. 327–334.
- Athanassiou, E. K., Evagelos, K., Grass, R. N., & Stark, W. J. (2010). Chemical Aerosol Engineering as a Novel Tool for Material Science: From Oxides to Salt and Metal Nanoparticles. *Aerosol Science and Technology*, 44 (2), 161–72. Bibcode:2010AerST..44..161A. doi:10.1080/02786820903449665. S2CID 97163337.
- Athanassiou, E. K., Grass, R. N., Günther, D., Koehler, F. M., Limbach, L. K., Rossier, M., Stark, W. J., & Waelle, M. (2009). Magnetic EDTA: Coupling heavy metal chelators to metal nanomagnets for rapid removal of cadmium, lead and copper from contaminated water. *Chem. Commun.*, 32 (32), 4862–4. doi:10.1039/B909447D. PMID 19652806. S2CID 33582926.
- Athanassiou, E. K., Grass, R. N., Robert, N., & Stark W. J. (2007). Covalently Functionalized Cobalt Nanoparticles as a Platform for Magnetic Separations in Organic Synthesis. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46 (26), 4909–12. doi:10.1002/anie.200700613. PMID 17516598.
- Audet, J., Chan, W., Dai, Q., Dvorak, H. F., Ohta, S., Tavares, A. J., & Wilhelm, S. (2016). Analysis of nanoparticle delivery to tumours. *Nature Reviews Materials*, 1 (5), 16014. Bibcode:2016NatRM...116014W. doi:10.1038/natrevmats.2016.14.
- Aytaç, İ., Filiz, Ç., Martin, K., & Sözen, A. (2020). Upgrading the Performance of Heat Recovery Unit Containing Heat Pipes by Using a Hybrid (CuO+ ZnO)/Water Nanofluid. *Heat Transfer Research*, 51(14), 1289-1300.
- Ayyappan, S., Chandramohan, P., Mahadevan, S., Philip, J., Raj, B., & Srinivasan, M. P. (2010). Influence of Co<sup>2+</sup> Ion Concentration on the Size, Magnetic Properties,

- and Purity of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Spinel Ferrite Nanoparticles. *J. Phys. Chem., C. 114* (14): 6334–6341. doi:10.1021/jp911966p.
- Ayyappan, S., Gnanaprakash, G., Jayakumar, T., Philip, J., & Raj, B. (2006). A simple method to produce magnetic nanoparticles with enhanced alpha to gamma-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase transition temperature. *Nanotechnology*, 17 (23), 5851–5857. Bibcode:2006Nanot..17.5851G. doi:10.1088/0957-4484/17/23/023. S2CID 94579266.
- Ayyappan, S., Philip, J., & Raj, B. (2009). Solvent polarity effect on physical properties of CoFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *J. Phys. Chem., C. 113* (2), 590–596. doi:10.1021/jp8083875.
- Babič, D., Kavre, I., Kostevc, G., Kralj, S., & Vilfan, A. (2014). Fabrication of magneto-responsive microgears based on magnetic nanoparticle embedded PDMS. *RSC Advances*, 4 (72), 38316–38322. Bibcode:2014RSCAd...438316K. doi:10.1039/C4RA05602G.
- Babu, P. S., Ramanathan, S., Sharma, K. V., & Sundar, L. S. (2007). Temperature dependent flow characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid. *Int. J. Nanotechnol. Appl.*, vol. 2, no. 1, pp. 35–44.
- Badarudin, A., Kazi, S. N., & Sarsam, W. S. (2015). A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors. *Sol. Energy*, vol. 122, pp. 1245–1265.
- Bahrami, F., Khalafi-nezhad, A., & Panahi, F. (2017). Magnetic nanoparticles grafted l-carnosine dipeptide: remarkable catalytic activity in water at room temperature. *Journal of Iranian Chemical Society*, 14 (10), 2211–20. doi:10.1007/s13738-017-1157-2. S2CID 103858148.
- Ban, C., & Jo, H. (2016). Aptamer–nanoparticle complexes as powerful diagnostic and therapeutic tools. *Experimental & Molecular Medicine*, 48 (5), e230. doi:10.1038/emm.2016.44. ISSN 2092-6413. PMC 4910152. PMID 27151454.
- Banerjee, D., Nelson, I. C., & Ponnappan, R. (2009). Flow Loop Experiments Using Polyalphaolefin Nanofluids. *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. 23, no. 4, pp. 752–761.
- Barden, D. (2010). An attractive method for bacteria detection. *Highlights in Chemical Biology*. Archived from the original on 21 October 2012.
- Bartel, A., Elferink, J. W., Ernst, C., Eschbach, E., Feßler, A. T., Huhn, J., Oberheitmann, B., Schönfeld, K., & Schwarz, S. (2019). Improved DNA extraction and purification with magnetic nanoparticles for the detection of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Veterinary Microbiology*, 230, 45–48. doi:10.1016/j.vetmic.2019.01.009. PMID 30827403. S2CID 73465453.
- Becker, J., Crisostomo, F., Hjerrild, N., Mesgari, S., & Taylor, R. A. (2015). Desing and on-sun testing of a hybrid PVT prototype using a nanofluid-based selective absorption filter. *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, vol.2015–August, pp. 2–6.

- Behnamghader, A., Sharifi, I., & Zamanian, A. (2016). Synthesis and characterization of  $\text{Fe}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ferrite magnetic nanoclusters using simple thermal decomposition method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 412, 107-113. Bibcode:2016JMMM..412..107S. doi:10.1016/j.jmmm.2016.03.091. ISSN 0304-8853.
- Bellos, E., Nikolaou, N., & Tzivanidis, C. (2019). Investigation and optimization of a solar assisted heat pump driven by nanofluid-based hybrid PV. *Energy Conversion and Management*, 198, 111-131.
- Belova, L., Fang, M., Olsson, R. T., Rao, K. V., & Ström, V. (2011). Rapid mixing: A route to synthesize magnetite nanoparticles with high moment. *Appl. Phys. Lett.*, 99 (22), 222501. Bibcode:2011ApPhL..99v2501F. doi:10.1063/1.3662965.
- Bergene, T., & Lovvik, O. M. (1995). Model Calculations On A Flat-Plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells. *Solar Energy*, 55(6), 453-462.
- Besheer, A. H., Mondol, J., Pugsley, A., Smyth, M., & Zacharopoulos, A. (2016). Review on recent approaches for hybrid PV/T solar technology. *Int. J. Energy Res.*
- Beygzadeh, M., Monfared, A. H., Mozafari, M., Sharifi, I. & Zamanian, A. (2017). A rapid and efficient thermal decomposition approach for the synthesis of manganese-zinc/oleylamine core/shell ferrite nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 693, 1090–1095. doi:10.1016/j.jallcom.2016.09.253. ISSN 0925-8388.
- Bhattarai, S., Euh, S. H., Kafle, G. K., Kim, D. H., & Oh, J. H. (2012). Simulation and model validation of sheet and tube type photovoltaic thermal solar system and conventional solar collecting system in transient states. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 103, pp. 184–193.
- Bill, E., Bönnemann, H., Kiefer, W., Lu, A. H., Matoussevitch, N., Schmidt, W., Schüth, F., Spliethoff, B., Tesche, B., (2004). Nanoengineering of a Magnetically Separable Hydrogenation Catalyst. *Angewandte Chemie International Edition*, 43 (33), 4303–4306. doi:10.1002/anie.200454222. PMID 15368378.
- Borgert, J., Dahnke, H., Gleich, B., Rahmer, J., Weizenecker, J., (2009). Three-dimensional real-time in vivo magnetic particle imaging. *Physics in Medicine and Biology*, 54 (5), L1–L10. Bibcode:2009PMB....54L...1W. doi:10.1088/0031-9155/54/5/L01. ISSN 0031-9155. PMID 19204385. S2CID 2635545.
- Bossmann, S. H., & Wang, H. (2017). Magnetic Nanomaterials. *Royal Society of Chemistry, Cambridge*. <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-78801-037-5>

- Brands, M., Fung, A. S., Juan, N., Ma, J., Mhanna, A., & Moyeed, O. M. (2021). Effects of photovoltaic/thermal (PV/T) control strategies on the performance of liquid-based PV/T assisted heat pump for space heating. *Renewable Energy*, 172, 753-764.
- Čampelj, S., Drofenik, M., Kralj, S., & Makovec, D. (2010). Producing ultra-thin silica coatings on iron-oxide nanoparticles to improve their surface reactivity. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322 (13), 1847–1853. Bibcode:2010JMMM..322.1847K. doi:10.1016/j.jmmm.2009.12.038.
- Canalett, J. L., Cristofari, C., & Notton, G. (2009). Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions. *Solar Energy*, (83), pages:11231138.
- Carrey, J., Mehdaoui, B., & Respaud, M. (2011). Simple models for dynamic hysteresis loop calculations of magnetic single-domain nanoparticles: Application to magnetic hyperthermia optimization (PDF). *Journal of Applied Physics*, 109 (8), 083921–083921–17. arXiv:1007.2009. Bibcode:2011JAP...109h3921C. doi:10.1063/1.3551582. ISSN 0021-8979. S2CID 119228529.
- Castaner. L., & Markvart, T. (2005). Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation. *Elsevier Ltd*.
- Chatterjee, J., Elaissari, A., Fessi H., & Hamoudeh M. (2010). Chapter 14. Advances in the Preparation and Biomedical Applications of Magnetic Colloids. In Roque Hidalgo-Álvarez (ed.). *Structure and Functional Properties of Colloidal Systems*. CRC Press. pp. 315–337. doi:10.1201/9781420084474-c14. ISBN 978-1-4200-8447-4.
- Chaudhary, V., & Ramanujan, R. V. (2016). Magnetocaloric Properties of Fe-Ni-Cr Nanoparticles for Active Cooling. *Scientific Reports*, 6 (1), 35156. Bibcode:2016NatSR...635156C. doi:10.1038/srep35156. PMC 5057077 . PMID 27725754.
- Chaudhary, V., Chen, X., & Ramanujan, R.V. (2019). Iron and manganese based magnetocaloric materials for near room temperature thermal management. *Progress in Materials Science*, 100, 64–98. doi:10.1016/j.pmatsci.2018.09.005. hdl:10356/142917. S2CID 139870597.
- Chaudhary, V., Ramanujan, R. V., Ray, A., Sridhar, I., & Wang, Z. (2017). Self pumping magnetic cooling. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 (3), 03LT03. Bibcode:2017JPhD...50cLT03C. doi:10.1088/1361-6463/aa4f92.
- Chen, C., He, W., Ji, J., & Zhou, J. (2014). Experimental study and performance analysis of a thermoelectric cooling and heating system driven by a photovoltaic/thermal system in summer and winter operation modes. *Energy Convers. Manag.*, vol. 84, pp. 41–49.
- Chen, D., Gloag, L., Gooding, J. J., Mehdipour, M., & Tilley, R. D. (2019). Advances in the Application of Magnetic Nanoparticles for Sensing. *Advanced*

- Materials*, 31 (48), 1904385. doi:10.1002/adma.201904385. ISSN 1521-4095. PMID 31538371.
- Chen, L. C., Lo, C. H., & Tsung, T. T. (2005). Ni Nano-Magnetic Fluid Prepared by Submerged Arc Nano Synthesis System (SANSS). *JSME Int. J. Ser. B*, vol. 48, no. 4, pp. 750–755, 2005.
- Chen, L., Li, Y., Xie, H., & Yu, W. (2010). Enhancement of thermal conductivity of kerosene-based Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>nanofluids prepared via phasetransfer method. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 355, no. 1–3, pp. 109–113.
- Chen, L., Li, Y., Xie, H., & Yu, W. (2010). Investigation on the thermal transport properties of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Powder Technol.*, vol. 197, no. 3, pp. 218–221.
- Chen, R. H., Massoudi, M., & Phuoc, T. X. (2011). Viscosity and thermal conductivity of nanofluids containing multi-walled carbon nanotubes stabilized by chitosan. *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 12–18.
- Chen, X. L., Wang, X. R., Xu, J. G., Yang, H. H., Zhang, S. Q., & Zhuang, Z. X. (2004). Magnetite-Containing Spherical Silica Nanoparticles for Biocatalysis and Bioseparations. *Analytical Chemistry*, 76 (5), 1316–1321. doi:10.1021/ac034920m. PMID 14987087.
- Cho, H., Kang, W., & Shin, Y. (2017). Economic Analysis of Flat-Plate and U-Tube Solar Collectors Using an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid. *Energies*, vol. 10, no. 12, p. 1911.
- Cho, Y. I., & Pak, B. C. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Exp. Heat Transf.*, vol. 11, no. 2, pp. 151–170.
- Choi, C. J., Choi, S. U. S., Jang, S. P., Lee, J. H., & Lee, S. H. (2011). A Review of Thermal Conductivity Data, Mechanisms and Models for Nanofluids. *Int. J. Micro-Nano Scale Transp.*, vol. 1, no. 4, pp. 269– 322.
- Choi, S. U. S., & Yu, W. (2003). The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: A renovated Maxwell model. *J. Nanoparticle Res.*, vol. 5, no. 1–2, pp. 167–171.
- Choi, S. U. S., Hwang, K. S., & Jang, S. P. (2009). Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids in fully developed laminar flow regime. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 52, no.1–2, pp. 193–199.
- Chopkar, M., Das, P. K., & Manna, I. (2006). Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications. *Scr. Mater.*, vol. 55, no. 6, pp. 549–552.
- Cole, M. W., Hirsch, S., Johnson, C. L., Johnson, S. H., May, S. J., & Spanier, J. E. (2010). Co@CoO@Au core-multi-shell nanocrystals. *Journal of Materials Chemistry*, 20 (3), 439–443. doi:10.1039/b919610b.

- Colombo, M. (2012). Biological Applications of Magnetic Nanoparticles. *Chem Soc Rev.* 41 (11), 4306–34. doi:10.1039/c2cs15337h. PMID 22481569.
- Corcione, M. (2010). Heat transfer features of buoyancy-driven nano fluids inside rectangular enclosures differentially heated at the sidewalls. *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 49, no. 9, pp. 1536–1546.
- Çiftçi, E., Karaman, E., & Sözen, A. (2016). TiO<sub>2</sub> İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 367–376.
- Daghigh, R., Ibrahim, A., Jin, G. L., Ruslan, M. H., & Sopian, K. (2011). Predicting the performance of amorphous and crystalline silicon based photovoltaic solar thermal collectors. *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 3, pp. 1741–1747. *International Journal of Engineering & Technology* 611.
- Dağ, H. İ. (2015). Pv-termal kolektörlerin tasarımı, üretimi ve verimini etkileyen parametrelerin belirlenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Dağ, H. İ., (2015). Pv-termal kolektörlerin tasarımı, üretimi ve verimini etkileyen parametrelerin belirlenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Daia, Y., Huangc, M., Xua, H., & Yaoa, J. (2020). Performance analysis of solar assisted heat pump coupled with buildin PCM heat storage based on PV/T panel. *Solar Energy*, 197, 279-291.
- Danesh, R., Daviran, S., Kasaeian, A., & Rashidi, A. (2015). Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector. *Energy Convers. Manag.*, vol. 89, pp. 368–375, 2015
- Das, D. K., & Vajjha, R. S. (2009). Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 52, no. 21–22, pp. 4675–4682.
- Das, D. K., Mahagaonkar, B. M., & Vajjha, R. S. (2009). Density measurement of different nanofluids and their comparison with theory. *Pet. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 6, pp. 612–624, 2009.
- Demourgues, A., Duguet, E., Grasset, F., Goglio, G., Mornet, S., Pollert, E., Portier, J., Vasseur, S., & Veverka, P. (2006). Magnetic nanoparticle design for medical applications. *Progress in Solid State Chemistry*, 34 (2–4), 237–247. doi:10.1016/j.progsolidstchem.2005.11.010.
- Dhaou, M. H., Jemni, A., Ménézo, C., Passandideh-Fard, M., Rejeb, O., & Sardarabadi, M. (2016). Numerical and model validation of uncovered nanofluid sheet and tube type photovoltaic thermal solar system. *Energy Conversion and Management*, 110, 367-377.

- Dhiran, T. S., & Rawat, P. (2017) Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, - 3(1).
- Dickerson, E. B., McDonald, J. F., Scarberry, K. E., & Zhang, Z. J. (2008). Magnetic Nanoparticle-Peptide Conjugates for in Vitro and in Vivo Targeting and Extraction of Cancer Cells. *Journal of the American Chemical Society*, 130 (31), 10258–62. doi:10.1021/ja801969b. PMID 18611005.
- Drabavičius, A., Jagminas, A., Niaura, G., Ramanavičius, S., & Žalneravičius, R. (2018). Shell-dependent antimicrobial efficiency of cobalt ferrite nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 15, 40–47. doi:10.1016/j.nanoso.2018.03.007. ISSN 2352-507X. S2CID 139265717.
- Drofenik, M., Kralj, S., & Makovec, D. (2010). Controlled surface functionalization of silica-coated magnetic nanoparticles with terminal amino and carboxyl groups. *Journal of Nanoparticle Research*. 13 (7): 2829–2841. Bibcode:2011JNR....13.2829K. doi:10.1007/s11051-010-0171-4. S2CID 97708934.
- Du, X. Z., Peng, X. F., Wang, B. X., Yang, Y. P., & Zhou, L. P. (2010). On the specific heat capacity of CuO nanofluid. *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2010.
- Duangthongsuk, W., & Wongwises, S. (2008). Effect of thermophysical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluid. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 35, no. 10, pp. 1320–1326.
- Dubey S., & Tiwari, G. N. (2010). Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications. *RSC Publishing, Cambridge*.
- Duran, F., & Kabul, A. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (Pv/T Hibrit Sistemin Performans Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Uluslararası Teknol. Bilim. Derg.*, 6(1), 31–43.
- Duran, F., (2014). PV/T Hibrit sistemlerin termodinamik ve performans analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Elliott, D. W., & Zhang, W. (2001). Field Assessment of Nanoscale Bimetallic Particles for Groundwater Treatment. *Environmental Science & Technology*, 35 (24), 4922–4926. Bibcode:2001EnST...35.4922E. doi:10.1021/es0108584. PMID 11775172.
- Elmir, M., Mehdaoui, R., & Mojtabi, A. (2012). Numerical Simulation of Cooling a Solar Cell by Forced Convection in the Presence of a Nanofluid. *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 594–603.

- Engin, D., (2006). Yapı ile bütünleştirilebilir güneş pili/termal toplayıcı (pv/t) hibrid sistemin performans analizi ve optimizasyonu. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.
- Ertan, H., Guerriero, G., Najnin, T., Shemsi, A. M., Siddiqui, K. S., (2017). Biotechnological improvements of cold-adapted enzymes: commercialization via an integrated approach. In: Margesin, Rosa (Ed.), *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology*, Springer-Verlag, pp. 477–512.
- Eshghi, A. T., Kasaeian, A., & Sameti, M. (2015). A review on the applications of nanofluids in solar energy systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 584–598.
- Estelrich, J. (2015). Iron Oxide Nanoparticles for Magnetically-Guided and Magnetically-Responsive Drug Delivery. *Int. J. Mol. Sci.*, 16 (12), 8070–8101. doi:10.3390/ijms16048070. PMC 4425068. PMID 25867479.
- Farahat, S., Sarhaddi, M. A. A., Sobhnamayan, F., & Yazdanpanahi, J. (2014). Optimization of a solar photovoltaic thermal (PV/T) water collector based on exergy concept. *Renew. Energy*, 68:356–365.
- Farzaneh, A., Moradgholi, M., & Nowee, S. M. (2018). Experimental study of using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/methanol nanofluid in a two phase closed thermosyphon (TPCT) array as a novel photovoltaic/thermal system. *Sol. Energy*, vol. 164, no. March, pp. 243–250.
- Felicia, L. J., & Philip, V. M. (2013). A Simple, In-Expensive and Ultrasensitive Magnetic Nanofluid Based Sensor for Detection of Cations, Ethanol and Ammonia. *Journal of Nanofluids*, 2 (2), 112–119. doi:10.1166/jon.2013.1050.
- Finne, J., Kouki, A., Parera, P. N., & Pieters, R. J. (2010). Detection of pathogenic *Streptococcus suis* bacteria using magnetic glycoparticles. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 8 (10), 2425–2429. doi:10.1039/C000819B. PMID 20448902. S2CID 44593515.
- Frey, N. A., & Sun, S. (2010). Magnetic Nanoparticle for Information Storage Applications. *Inorganic Nanoparticles: Synthesis, Application, and Perspective*, 33-68.
- Fudholi, A., Kazem, H., Ruslan, I., Sopian, K., & Yazdı, M. (2014) Performance analysis of photovoltaic thermal (pvt) water collectors. *Energy Conversion and Management*, 78, s641-651.
- Fun Chin, S., Iyer, K. S., Raston, C. L., & Saunders, M. (2008). Size Selective Synthesis of Superparamagnetic Nanoparticles in Thin Fluids under Continuous Flow Conditions (PDF). *Adv. Funct. Mater.*, 18 (6), 922–927. doi:10.1002/adfm.200701101. S2CID 138114978.
- Gangacharyulu, D., & Harkirat (2010). Preparation and characterization of nanofluids and some investigation in biological applications. *Mech.Eng. Carbondale South. Illinois Univ.*, no. June.

- Ganji, D. D., & Sheikholeslami, M. (2015). Nanofluid Flow and Heat Transfer between Parallel Plates Considering Brownian Motion Using DTM. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 283, 651–663.
- Ge, J., He, L., Wang, M., & Yin, Y. (2012). Magnetic Assembly Route to Colloidal Responsive Photonic Nanostructures. *Accounts of Chemical Research*, 45 (9), 1431–1440. doi:10.1021/ar200276t. PMID 22578015.
- Ghadiri, M., Moghadam, A. J., Pasandideh-Fard, M., & Sardarabadi, M. (2015). Experimental investigation of a PVT system performance using nano ferrofluids. *Energy Conversion and Management*, 103, 468-476.
- Ghazikhani, M., Maghrebi, M., Passandideh-fard, M., & Sardarabadi, M. (2017). Experimental study of using both ZnO/water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 161, no. November 2016, pp. 62–69.
- Gimi, B., Griswold, K. E., Kett, W. C., Perreard, I. M., Reeves, D. B., Weaver, J. B., & Zhang, X. (2013). Molecular sensing with magnetic nanoparticles using magnetic spectroscopy of nanoparticle Brownian motion. *Biosensors and Bioelectronics*, 50, 441–446. doi:10.1016/j.bios.2013.06.049. PMC 3844855. PMID 23896525.
- Girgin, M. H. (2011). Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw' lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*. İstanbul.
- Gleich, B., & Weizenecker, J. (2005). Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles. *Nature*. 435 (7046): 1214–1217. Bibcode:2005Natur.435.1214G. doi:10.1038/nature03808. PMID 15988 521. S2CID 4393678.
- Gnanaprakash, G., Jayakumar, T., Philip, J., & Raj, B. (2007). Effect of Digestion Time and Alkali Addition Rate on the Physical Properties of Magnetite Nanoparticles. *J. Phys. Chem., B*, 111 (28), 7978–7986. doi:10.1021/jp071299b. PMID 17580856.
- Gorji, T. B., & Ranjbar, A. A. (2017). Thermal and exergy optimization of a nanofluid-based direct absorption solar collector. *Renew. Energy*, vol. 106, pp. 274–287.
- Göransson, J., Nilsson, M., Russell, C., Strömberg, M., Strømme, M., Svedlindh, P., & Zardán Gómez De La Torre, T. (2010). Sensitive Detection of Bacterial DNA by Magnetic Nanoparticles. *Analytical Chemistry*, 82 (22), 9138–9140. doi:10.1021/ac102133e. ISSN 0003-2700. PMID 20977277.
- Grass, R. N., & Stark W. J. (2006). Gas phase synthesis of fcc-cobalt nanoparticles. *J. Mater. Chem.*, 16 (19), 1825. doi:10.1039/B601013J. S2CID 97850340.
- Grass, R. N., Kainz, Q., Reiser, O., Schätz, A., & Stark, W. J. (2010). Cu(II)–Azabis(oxazoline) Complexes Immobilized on Magnetic Co/C

- Nanoparticles: Kinetic Resolution of 1,2-Diphenylethane-1,2-diol under Batch and Continuous-Flow Conditions. *Chemistry of Materials*, 22 (2), 305–310. doi:10.1021/cm9019099.
- Grass, R. N., Reiser, O., Schätz, A., & Stark, W. J. (2008). TEMPO Supported on Magnetic C/Co-Nanoparticles: A Highly Active and Recyclable Organocatalyst. *Chemistry: A European Journal*, 14 (27), 8262–8266. doi:10.1002/chem.200801001. PMID 18666291.
- Guerriero, G., Khalil, A., Khanday, F., Qureshi, A. H., Shemsi, A. M., & Siddiqui, K. S. (2019). Site-directed chemically-modified magnetic enzymes: fabrication, improvements, biotechnological applications and future prospects. *Biotechnol. Adv.* 37:357-381
- Gunther, B., Murty, B. S., & Wagener, M. (1997). Magnetrotating Drum. *Vol. 457*, pp. 149–154.
- Guo, L., Hu, Y., Jing, D., Liu, M., & Wei, J. (2015). Preparation of highly dispersed nanofluid and CFD study of its utilization in a concentrating PV/T system. *Sol. ENERGY*, vol. 112, pp. 30–40.
- Gupta, A. K., & Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*, 26 (18), 3995–4021. doi:10.1016/j.biomaterials.2004.10.012. PMID 15626447.
- Gupta, A. K., & Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*, 26 (18), 3995–4021. doi:10.1016/j.biomaterials.2004.10.012. PMID 15626447.
- Habibzadeh, S., Kazemi-Beydokhti, A., Khodadadi, A. A., Mortazavi, Y., Omanovic, S., & Shariat-Niassar, M. (2010). Stability and thermal conductivity of nanofluids of tin dioxide synthesized via microwave-induced combustion route. *Chem. Eng. J.*, vol. 156, no. 2, pp. 471–478.
- Haghpasahi, M., Heydari, M., Javidi, M., Karimi, A., Navidbakhsh, M., & Razmkon, A. (2014). Evaluation of the effects of injection velocity and different gel concentrations on nanoparticles in hyperthermia therapy. *J Biomed Phys Eng.*, 4 (4), 151–62. PMC 4289522. PMID 25599061.
- Hamid, S. A., Othman M. Y., Sopian, K., & Zaidi, S. H. (2014). An overview of photovoltaic thermal combination (PV/T combi) technology. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 212–222.
- Hamilton, R. L. (1962). Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems. *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, vol. 1, no. 3, pp. 187–191.
- Hançerlioğulları, A., & Swese, E. O. E. (2022). Investigation of performance on photovoltaic/thermal (PV/T) system using magnetic nanofluids. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 411-416.

- Hanzel, D., Jagodic, M., Kralj, S., Makovec, D., & Tadic, M. (2014). Magnetic properties of novel superparamagnetic iron oxide nanoclusters and their peculiarity under annealing treatment. *Applied Surface Science*, 322, 255–264. Bibcode:2014ApSS..322..255T. doi:10.1016/j.apsusc.2014.09.181.
- Hasanuzzaman, M., Kamyar, A., Meng, T. C., Said, Z., & Saidur, R. (2012). Evaluation of the effect of nanofluid-based absorbers on direct solar collector. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 21–22, pp. 5899–5907.
- Hassani, S., Mekhilef, S., Saidur, R., & Taylor, R. A. (2016). A cascade nanofluid-based PV/T system with optimized optical and thermal properties. *Energy*, vol. 112, pp. 963–975.
- Heris, S. Z., Passandideh-Fard, M., & Sardarabadi, M. (2014). Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units). *Energy*, 66, 264–272.
- Hermann, M., Kramer, K., Kramer, W., Lämmle, M., Oliva, A. (2017). PVT collector technologies in solar thermal systems: A systematic assessment of electrical and thermal yields with the novel characteristic temperature approach. *Solar Energy*, 155, 867–879.
- Hosseinzadeh, M., Kazemian, A., Passandideh-Fard, M., & Sardarabadi, M. (2017). Experimental investigation of the effects of using metaloxides/water nanofluids on a photovoltaic thermal system (PVT) from energy and exergy viewpoints. *Energy*, vol. 138, pp. 682–695.
- Hosseinzadeh, M., Passandideh-Fard, M., Salari, A., & Sardarabadi, M. (2018). Optimization and parametric analysis of a nanofluid based photovoltaic thermal system: 3D numerical model with experimental validation. *Energy Convers. Manag.*, vol. 160, no. October 2017, pp. 93–108.
- Houshang, A., Shahi, M., & Talebi, F. (2010). Numerical simulation of steady natural convection heat transfer in a 3-dimensional single-ended tube subjected to a nano fluid. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. 10, pp. 1535–1545.
- Hyeon, T. (2003). Chemical synthesis of magnetic nanoparticles. *Chemical Communications*, (8), 927–934. doi:10.1039/B207789B. PMID 12744306. S2CID 27657072.
- Ibrahim, A. vd. (2009). Performance of Photovoltaic Thermal Collector ( PVT ) With Different Absorbers Design. *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 5, no. 3, pp. 321–330.
- Ibrahim, A., Mat, S., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., and Sopian, K. (2011). Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 352–365.
- Imani, E., Jamal-Abad, M. T., Mansouri, M., & Zamzamian, A. (2013). Experimental Study of the Performance of a Flat-Plate Collector Using Cu–Water Nanofluid. *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. 27, no. 4, pp. 756–760.

- Iniyan, S., & Michael, J. J. (2015). Performance analysis of a copper sheet laminated photovoltaic thermal collector using copper oxide–water nanofluid. *Solar Energy*, 119, 439–451.
- İbrahim, M. Y., Othman, M. H., Ruslan, S. M., & Sopian, K., (2011). Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renew. Sustain. Energy, Rev* 15(1), 352–365.
- Jagodič, M., Kos, J., Kralj, S., Makovec, D., Rojnik, M., & Romih, R. (2012). Effect of surface charge on the cellular uptake of fluorescent magnetic nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 14 (10), 1151. Bibcode:2012JNR....14.1151K. doi:10.1007/s11051-012-1151-7. S2CID 94550418.
- Jux vd. (2017). A review of concentrated photovoltaicthermal (CPVT) hybrid solar systems with waste heat recovery (WHR), *Sci.Bulliten*, 62(20), 1388–1426.
- Kakaç, S., & Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol.52, no. 13–14, pp. 3187–3196.
- Kalogirou, S. A., & Tripanagnostopoulos, Y. (2006). *Energy conversion and management* 47, 3368–3382.
- Kalyanasundaram, P., Kumar, T. J., Philip, J., & Raj, B. (2003). Tunable Optical Filter. *Measurement Science and Technology*, 14 (8), 1289–1294. Bibcode:2003MeScT..14.1289P. doi:10.1088/0957-0233/14/8/314. S2CID 250923543.
- Kaushik, S. C., Tyagi S. K., & Tyagi, V. V. (2012). Advancement in solar photovoltaic / thermal ( PV / T ) hybrid collector technology. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 1383–1398.
- Kempe, M., & Norén, K. (2009). Multilayered Magnetic Nanoparticles as a Support in Solid-Phase Peptide Synthesis. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 15 (4), 287–292. doi:10.1007/s10989-009-9190-3. S2CID 40277196.
- Khanafer, K., & Vafai, K. (2018). A review on the applications of nanofluids in solar energy field. *Renew. Energy*.
- Khanlari, A., Sözen, A., & Variyenli, H. İ. (2019). Simulation and experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO<sub>2</sub>/water nanofluid. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 29(4), 1343–1362.
- Kim, D. K. G., & Mikhaylova, M. (2003). Anchoring of Phosphonate and Phosphinate Coupling Molecules on Titania Particles. *Chemistry of Materials*. 15 (8): 1617–1627. doi:10.1021/cm001253u.

- Kim, J. H., Kim, J. T., & Kim, S. M. (2019). Experimental study on the thermal and electrical characteristics of an air-based photovoltaic thermal collector. *Energies*, 12 (14).
- Kleinstreuer, C., & Xu, Z. (2014). Concentration photovoltaic-thermal energy co-generation system using nanofluids for cooling and heating. *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 504–512.
- Kolahan, A., Passandideh, M. F., Sardarabadi, M., & Maadi, S. R. (2017). Effects of Nanofluids Thermo-Physical Properties on the Heat Transfer and 1st Law of Thermodynamic in a Serpentine PVT System. *Proceedings of the 17th Fluid Dynamics Conference, Shahrood, Iran*, 27-29.
- Kralj, S., & Makovec, D. (2015). Magnetic Assembly of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticle Clusters into Nanochains and Nanobundles. *ACS Nano*, 9 (10), 9700–9707. doi:10.1021/acsnano.5b02328. PMID 26394039.
- Kumar, C. S., & Mohammad, F. (2011). Magnetic nanomaterials for hyperthermia-based therapy and controlled drug delivery. *Adv. Drug Deliv., Rev.* 63 (9), 789–808. doi:10.1016/j.addr.2011.03.008. PMC 3138885. PMID 21447363.
- Kumaresan, V., & Velraj, R. (2012). Experimental investigation of the thermo-physical properties of water-ethylene glycol mixture based CNT nanofluids. *Thermochim. Acta*, vol. 545, pp. 180–186.
- Lamas, B. C. (2011). EG/CNTs Nanofluids Engineering and ThermoRheological Characterization. *J. Nano Res.*, vol. 13, pp. 69–74.
- Lee, J. K., Lee, W., Oh, Y. S., & Yoon, T. J. (2003). Magnetic nanoparticles as a catalyst vehicle for simple and easy recycling. *New Journal of Chemistry*, 27 (2), 227.229. doi:10.1039/B209391J.
- Lenglet, L., Nikitin, P., & Péquignot, C. (2008). Magnetic immunoassays: A new paradigm in POCT. *IVD Technology*. Archived from the original on 2008-08-30.
- Li, Y., Schneider, E., Tung, S., Xi, S., & Zhou, J. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder Technol.*, vol. 196, no. 2, pp. 89–101.
- Liu, Z., Lu, L., & Xiao, H. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors Part 1 : Indoor experiment. *Sol. Energy*, vol. 85, no. 2, pp. 379–387.
- Lu, A. H., Salabas, E. L., & Schüth, F. (2007). Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization, and Application. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46 (8), 1222–1244. doi:10.1002/anie.200602866. PMID 17278160.
- Lu, L. T., Meng, X., Nguyen, T. K., Prior, I. A., Seton, H. C., & Song, B. (2011). Magnetic CoPt nanoparticles as MRI contrast agent for transplanted neural stem cells detection. *Nanoscale*, 3 (3), 977–

984. Bibcode:2011Nanos...3..977M. doi:10.1039/C0NR00846J. PMID 212938 31.
- Mahendran, V. (2012). Nanofluid based optical sensor for rapid visual inspection of defects in ferromagnetic materials. *Appl. Phys. Lett.*, 100 (7), 073104. Bibcode:2012ApPhL.100g3104M. doi:10.1063/1.3684969.
- Makki, A., Omer, S., & Sabir, H. (2015). Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 658–684.
- Makovec, D., Kralj, S., Kos, J., & Rojnik, M. (2013). Targeting EGFR-overexpressed A431 cells with EGF-labeled silica-coated magnetic nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 15 (5), 1666. Bibcode:2013JNR....15.1666K. doi:10.1007/s11051-013-1666-6. S2CID 135831754.
- Manna, I., Pal, T., & Paul, G. (2010). Thermo-physical property measurement of nano-gold dispersed water based nanofluids prepared by chemical precipitation technique. *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 349, no. 1, pp. 434–437.
- Maxwell, J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol.II, vol. I.1881.
- Moustafa, T., & Tora, E. A. (2013). Numerical Simulation of an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O Nanofluid as a Heat Transfer Agent for a Flat-Plate Solar Collector. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 4, no. 5, pp. 762–773.
- Murshed, S. M. S., & Nieto De Castro, C. A. (2014). Superior thermal features of carbon nanotubes-based nanofluids - A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, pp. 155–167.
- Nousia, T., Souliotis, M., Tripanagnostopoulos, Y., & Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 72(3):217-234.
- Olsson, R. T., Rao, K. V., & Ström, V. (2010). Real-time monitoring of the evolution of magnetism during precipitation of superparamagnetic nanoparticles for bioscience applications. *Journal of Materials Chemistry*, 20 (20), 4168. doi:10.1039/c0jm00043d.
- Otanicar, T., & Prasher, R. S. (2010). Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 3.
- Otanicar, T., Rosengarten, G., & Taylor, R. A. (2012). Nanofluid-based optical filter optimization for PV/T systems. *Light Sci. Appl.*, vol.1, no. October, pp. 1–7.
- Panagiotopoulos, I., Papavasileiou, A. V., Prodromidis, M. I. (2020). All-screen-printed graphite sensors integrating permanent bonded magnets. Fabrication, characterization and analytical utility. *Electrochimica Acta*, 360, 136981. doi:10.1016/j.electacta.2020.136981. ISSN 0013-4686. S2CID 225022388.

- Passandideh-Fard, M., & Sardarabadi, M. (2016). Experimental and numerical study of metal-oxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT). *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 157, pp. 533–542.
- Passandideh-fard, M., Sardarabadi, M., & Zeinali, S. (2014). Experimental investigation of the effects of silica / water nano fluid on PV / T (photovoltaic thermal units). *Energy*, vol. 66, pp. 264–272.
- Phelan, P., Prasher, R., & Tyagi, H. (2009). Predicted Efficiency of a Low Temperature Nanofluid- Based Direct Absorption Solar Collector. *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 131, no. November 2009, pp. 1–7.
- Philip, J., Raj, B., & Rana, S. (2010). Micelle based synthesis of Cobalt Ferrite nanoparticles and its characterization using Fourier Transform Infrared Transmission Spectrometry and Thermogravimetry. *Materials Chemistry and Physics*, 124, 264–269. doi:10.1016/j.matchemphys.2010.06.029.
- Philip, J., Raj, B., & Shima, P. D. (2006). Nanofluid with tunable thermal properties. *Applied Physics Letters*, 92 (4), 043108. Bibcode:2008ApPhL..92d3108P. doi:10.1063/1.2838304.
- Prabhu, N. K., & Ramesh, G. (2011). Review of thermo-physical properties, wetting and heat transfer characteristics of nanofluids and their applicability in industrial quench heat treatment. *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 6, no. 1, p. 334.
- Rabias, I. (2010). Rapid magnetic heating treatment by highly charged maghemite nanoparticles on Wistar rats exocranial glioma tumors at microliter volume. *Biomicrofluidics*, 4 (2), 024111. doi:10.1063/1.3449089. PMC 2917883. PMID 20697578.
- Raston, C. L., Saunders, M., Smith, N., & Woodward, R. (2006). Synthesis of Magnetic Nanoparticles Using Spinning Disc Processing. *TechConnect Briefs*. 1 (2006): 343–346.
- Reeves, D. B. (2017). Nonlinear Nonequilibrium Simulations of Magnetic Nanoparticles. *Magnetic Characterization Techniques for Nanomaterials*, Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 121–156. doi:10.1007/978-3-662-52780-1\_4. ISBN 978-3-662-52779-5.
- Reeves, D. B., & Weaver, J. B. (2012). Simulations of magnetic nanoparticle Brownian motion. *Journal of Applied Physics*, 112 (12), 124311. Bibcode:1998JChPh.109.4281T. doi:10.1063/1.4770322. ISSN 0021-8979. PMC 3537703. PMID 23319830.
- Reeves, D. B., & Weaver, J. B. (2014). Approaches for Modeling Magnetic Nanoparticle Dynamics. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 42 (1), 85–93. arXiv:1505.02450. doi:10.1615/CritRevBiomedEng.2014010845. ISSN 0278-940X. PMC 4183932. PMID 25271360.

- Reiser, O., Schätz, A., & Stark, W. J. (2010). Nanoparticles as Semi-Heterogeneous Catalyst Supports. *Chem. Eur. J.*, 16 (30), 8950–8957. doi:10.1002/chem.200903462. PMID 20645330.
- Rekstad, J., & Sandnes, B. (2002). A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate, Experimental study and analytical model. *Solar Energy*, 72(1), 63-73.
- Roetzel, W., & Xuan Y. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 43, no. 19, pp. 3701–3707.
- Shojaeizadeh, E., Veysi, F., Yousefi, T., & Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *vol. 39*, pp. 293–298.
- Shojaeizadeh, E., Veysi, F., Yousefi, T., & Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of MWCNT-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 39, pp. 207–212.
- Taylor, R. A. (2011). Applicability of nanofluids in high flux solar collectors. *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 3, no. 2.
- URL-1. United Solar Initiative. *Solar Energy Revolution: A Massive Opportunity*. <http://unitedsolarinitiative.org/category/news/page/7/>. Erişim tarihi: 01/01/2023
- URL-2. <http://nanos-sci.com/technology.html>. *Properties and use of magnetic nanoparticle clusters (magnetic nanobeads)*. Erişim Tarihi: 01/05/2022
- Using Magnetic Nanoparticles to Combat Cancer Newswise. (2008).
- Xie, H. A., & Yu, W. (2012). Review on Nanofluids: Preparation, Stability Mechanisms, and Applications. *J. Nanomater*, vol. 201.
- Yang, G., Zeng, B., & Zhao, F. (2014). Magnetic entrapment for fast and sensitive determination of metronidazole with a novel magnet-controlled glassy carbon electrode. *Electrochimica Acta*, 135, 154–160. doi:10.1016/j.electacta.2014.04.162. ISSN 0013-4686.
- Zakharchenko, R. (2004). Photovoltaic solar panel for a hybrid PV/thermal system. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 82, no. 1–2, pp. 253–261.