



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜZLEMSEL GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNDE TiO₂- SU
NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL
VERİMİN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Mehmet Kemal IŞIK

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Kemal IŞIK tarafından hazırlanan "DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE TiO2 - SU NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL VERİMİN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüsseyin AYDIN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Öye

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Şahinaz TIGREK
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 18.010 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mehmet Kemal IŞIK

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE TiO_2 - SU NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISIL VERİMİN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet Kemal IŞIK

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2019, 66 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Bu çalışmada düzlemsel güneş kollektörlerinde TiO_2 - su nanoakışkanı kullanarak, nanoakışkanların düzlemsel güneş kollektörlerindeki ısı verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada iki farklı sistem kurulmuştur birinde ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmış diğerinde ise ısı transfer akışkanı olarak TiO_2 - su nanoakışkanı kullanılmıştır. Farklı hacimsel oranlarda kullanılan nanoakışkanlar, farklı debilerde kullanılarak ısı transfer akışkanı olarak su kullanılan sistem, eş zamanlı yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarla kıyaslanmış ve düzlemsel güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı verim üzerindeki etkileriyle birlikte düzlemsel güneş kollektörlerinin net kollektör alanının ısı verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sonuçları karşılaştırıldığında nanoakışkan kullanılan sistemde elde edilen ısı verimin su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düzlemsel güneş kollektörlerinin net kullanım alanının ısı veriminde etkisi kollektör alanı küçüldüğünde ısı verimi daha çok artırdığını göstermiştir. Deney sonuçları ele alındığında, tüm debi değerlerine göre TiO_2 - su için %0.2, %0.4, ve %0.8' lik hacimsel oranlarda suya göre verimde sırasıyla maksimum %61, %56, %51 artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzlemsel güneş kollektörleri, Isıl verim, Kollektör yüzey alanı, Nanoakışkanlar

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING TiO₂ - WATER NANOFLUIDS AN THERMAL EFFİCIENCY İN A FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS

Mehmet Kemal IŞIK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2019, 66 Pages

Jury

Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Doç. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

In this thesis, the effect of nanofluids on the thermal efficiency of flat plate solar collectors was investigated by using TiO₂ - water nanofluids in flat plate solar collectors. In this study, two different systems were installed, one was used as heat transfer fluid and the other was used as heat transfer fluid TiO₂ - water nanofluids. Nanofluids used in different volumetric concentration and water used as heat transfer fluid in different flow rates were compared with the results obtained in concurrent experiments, and the effects of the use of nanofluid on the thermal efficiency of the flat plate solar collectors together with the effects of the net collector surface area on the thermal efficiency were investigated. When the results of the experiment were compared, it was found that the thermal efficiency obtained in the system using nanofluid was higher than the water used system. In addition, the thermal efficiency of flat plate solar collectors in thermal efficiency when the collector surface area is reduced. When the test results were considered, a yield of 61%, 56%, 51% increase in water yield was obtained for volumetric ratios of 0.2%, 0.4% and 0.8% respectively for TiO₂ - water according to all flow rates.

Key Words: Flat plate solar collector, Thermal efficiency, Solar collector surface area, nanofluids

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada ve yüksek lisansa başladığım ilk günden beri bana her konuda destek olan bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, gece, gündüz, tatil demeden her türlü sıkıntıda bana yol gösteren desteğini ve ilgisini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI'na teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Deneyisel düzeneğinin kurulumu esnasında malzeme temini konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halit Lütfü YÜCEL' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: .18.010 kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birim Yönetimi'ne teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren maddi manevi her şekilde hayatımı yönlendirmemde desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Mehmet Kemal IŞIK

BATMAN - 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Nanoakışkanlar.....	2
1.1.1. Nanoakışkan çeşitleri.....	4
1.1.1.1. Seramik nanoakışkanlar	4
1.1.1.2. Saf Metalik nanoakışkanlar	5
1.1.1.3. Alaşım nanoakışkanlar.....	5
1.1.1.4. Karbon tabanlı nanoakışkanlar	5
1.1.2. Nanoakışkanları hazırlama yöntemleri.....	5
1.1.3. Nanoakışkanların kararlılığı	7
1.1.4. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri.....	7
1.1.4.1. Isıl iletkenlik	7
1.1.4.1.1. Isıl iletkenlik ölçüm yöntemleri	8
1.1.4.2. Viskozite	9
1.1.4.3. Yoğunluk	9
1.1.4.4. Özgül Isı.....	10
1.1.5. Nanoakışkanların uygulama alanları	10
1.1.5.1. Elektronik uygulamalar.....	10
1.1.5.2. Ulaşım.....	11
1.1.5.3. Soğutma Uygulamaları	11
1.1.5.4. Isıtma Havalandırma Sistemleri.....	11
1.1.5.5. Malzemelerde Nanoakışkan Uygulamaları.....	11
1.1.6. Nanoakışkanlarda Isı Transfer Mekanizmaları	12

1.2. Güneş Enerjisi	13
1.2.1. Güneş enerjisi uygulama alanları	17
1.2.1.1. Güneş enerjisi ile ısıtma.....	17
1.2.1.2. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri.....	21
1.2.1.3. Fotovoltaik pil ve uygulamaları	25
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
2.1. Nanoakışkanların Tarihçesi ve Uygulamaları	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
3.1. Deneylerde kullanılan malzemeler.....	33
3.1.1. Nanoakışkan	33
3.1.2. Deney Düzenegi	33
3.1.3. Düzlemsel güneş kolektörleri	35
3.1.4. Boyler	35
3.1.5. Sirkülasyon Pompası	36
3.1.6. Fotovoltaik Pil	37
3.1.7. Debimetre	37
3.1.8. Isıl Çiftler.....	38
3.2. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları	38
3.2.1. Sıcaklık veri kayıt cihazı	38
3.2.2. Termo Higrometre	39
3.2.3. Piranometre.....	39
3.2.4. Anemometre	40
3.3. Verilerin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi	40
3.3.1. Nanoakışkanların temin edilmesi	40
3.3.2. Kollektör Veriminin Hesaplanması	41
3.3.3. Hata Analizi.....	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
4.1. Nanoakışkanlar İle İlgili Bilgiler	45
4.2. Kollektör Verim Deneyleri	45
4.2.1. Gün içerisinde sıcaklık-ışınım-saat değişimleri	45
4.2.2. Kollektör Verim - $[(T_g - T_0)GT]$ Değişimleri.....	50

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
5.1. Sonuçlar.....	58
5.2. Öneriler	59
KAYNAKÇA.....	60
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.Nanometre boyutu ile ilgili örnekler.....	2
Şekil 1.2. TiO₂ nanopartikülünün elektron mikroskobundaki görüntüsü	4
Şekil 1.3.Tek adım yöntemi	6
Şekil 1.4.İki adım yöntemi.....	7
Şekil 1.5.Nanopartiküllerin ısı iletkenlikleri.....	8
Şekil 1.6.Sıcak tel metodu.....	9
Şekil 1.7. Isıl sınır tabaka.....	13
Şekil 1.8. Hidrodinamik sınır tabaka.....	13
Şekil 1.9. Fosil yakıtların kalan ömürleri.....	14
Şekil 1.10. Türkiye' de güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA)	15
Şekil 1.11. Türkiye' de güneşlenme süreleri (saat)	16
Şekil 1.12. Türkiye'nin coğrafi konumu.....	16
Şekil 1.13. Güneş havuzu şematik gösterimi	19
Şekil 1.14. Güneş bacaları çalışma prensibi.....	19
Şekil 1.15. Güneş mimarisi	20
Şekil 1.16. Sera uygulaması.....	20
Şekil 1.17. Güneş ocağı örneği	21
Şekil 1.18. Tabi dolaşımli sistem	22
Şekil 1.19: Zorlanmış dolaşımli sistem.....	22
Şekil 1.20. Düzlemsel Güneş Kollektörünün Yapısı.....	23
Şekil 1.21. Düzlemsel güneş kollektörleri	24
Şekil 1.22. Düzlemsel güneş kollektörlerinin çalışma prensibi	24
Şekil 1.23. Vakum tüplü kollektörün çalışması	25
Şekil 1.24. Fotovoltaik pil çalışma prensibi.....	26
Şekil 2.1. Brownian hareketinin şematik görünümü.....	27
Şekil 2.2. Nanopartiküllerin kümeleşmesinin şematik görünümü	28
Şekil 3.1. Deney düzeneği	33
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	34
Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kollektörü	35
Şekil 3.4. Tek serpantinli boyler	36
Şekil 3.5. Sirkülasyon pompası.....	36
Şekil 3.6. Fotovoltaik pil.....	37
Şekil 3.7. a) Debimetre b) Elektromanyetik debimetre	37
Şekil 3.8. Isıl çift.....	38
Şekil 3.9. Sıcaklık veri kayıt cihazı	38
Şekil 3.10. Termo Higrometre	39
Şekil 3.11. Piranometre.....	39
Şekil 3.12. Anemometre	40
Şekil 3.13. Kollektöre eklenen TiO ₂ - su nanoakışkanı	41
Şekil 4.2. % 0.2 TiO ₂ hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler.....	46
Şekil 4.3. % 0.2 TiO ₂ hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler.....	46
Şekil 4.4.% 0.2 TiO ₂ hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler.....	47
Şekil 4.5.% 0.4 TiO ₂ hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler.....	47

Şekil 4.6.% 0.4 TiO ₂ hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler.....	48
Şekil 4.7.% 0.4 TiO ₂ hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler.....	48
Şekil 4.8.% 0.8 TiO ₂ hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler.....	49
Şekil 4.9.% 0.8 TiO ₂ hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler.....	49
Şekil 4.10.% 0.8 TiO ₂ hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler.....	50
Şekil 4.11. %0.2 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	51
Şekil 4.12.%0.2 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	52
Şekil 4.13.%0.2TiO ₂ - su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	52
Şekil 4.14.%0.4 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	53
Şekil 4.15.%0.4 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	54
Şekil 4.16.%0.4 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	54
Şekil 4.17.%0.8 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	55
Şekil 4.18.%0.8TiO ₂ - su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	56
Şekil 4.19.%0.8 TiO ₂ - su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_0)GT]$ değişimi	56

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları	14
Çizelge 1.2. Güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	17
Çizelge 3.1. Nanoakışkan özellikleri	33
Çizelge 4.1. Nanoakışkan miktarı ve özellikleri.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

- A_c : Kollektör yüzey alanı (m^2)
 C_p : Sıvının özgül ısısı (J/kgK)
 F_R : Kollektör ısı transfer faktörü
 k : Isı iletim katsayısı(W/mK)
 Pr : Prandtl sayısı
 q : Isı transferi miktarı(W/m)
 Q_g :Yutucu plakaya gelen ışıınım miktarı (W)
 Q_f : Akışkana aktarılan faydalı enerji (W)
 Q_d : Depolanan enerji (W)
 Q_k : Toplam ısı kaybı (W)
 T_c : Kollektör çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_g : Kollektör giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_{ng} : Nanoakışkan kollektör giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 $T_{nç}$: Nanoakışkan kollektör çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 U_L :Kollektördeki ısı transfer kayıp katsayısı (W/m^2K)
 G_T : Işıınım miktarı (W/m^2)
 μ : Akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)
 ρ : Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)
 ϕ : Hacimsel oran
 η : Verim
Alt indisler
 b_f : Temel akışkan
 n_f : Nanoakışkan
 e_{ff} Efektif
 p : partikül

1.GİRİŞ

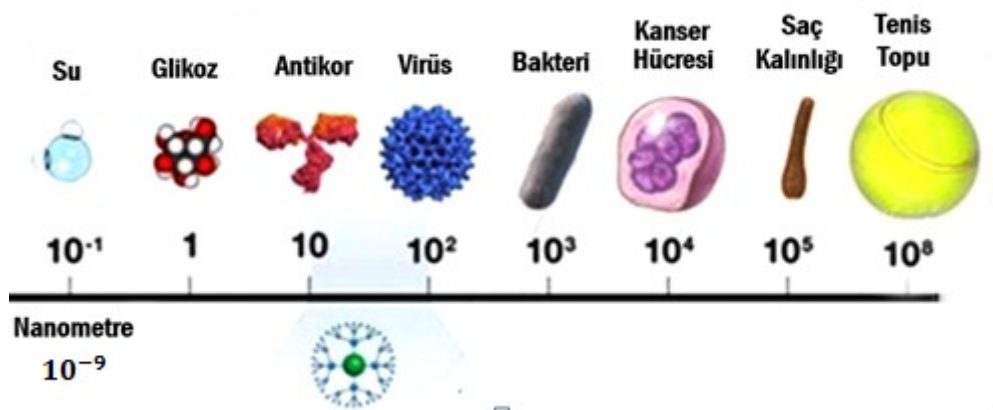
Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en büyük etkenlerinden birisi enerjidir. Yaşam standartlarını geliştirmek için önemli bir rolü bulunmaktadır. Başka bir söylemle yaşam standartları arttıkça enerjiye duyulan ihtiyaç artmakta ve enerji tüketimi de bu sebepten dolayı artmaktadır. Ekonomik ve sosyal kalkınma için yeterli enerjiye sahip olmak ve enerjiyi ihtiyacını karşılayabilmek için üretim yapmak gerekmektedir. Kalkınmayı devamlı hale getirebilmek için kendi enerji kaynaklarımızı aktifleştirip kendi enerjimizi kendimiz üretebilmeliyiz. Enerjide dışa bağımlılık olduğu sürece ekonomik ve sosyal kalkınmadan söz edilemez. Bu nedenden dolayı var olan enerji dönüşüm sistemlerine yeniden bakılıp mevcut kaynaklardan daha fazla nasıl yararlanabilir sorusuna cevap bulmak için yeni yöntemler geliştirilmelidir. Bu amaca istinaden var olan yöntemlerle ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar, gelişen teknoloji ile birlikte artmıştır. Isı transferi iyileştirme yöntemleri; aktif yöntem, pasif yöntem ve karma yöntem olarak üç sınıfa ayrılır. Aktif yöntemler, var olan sistemin ısı transfer akışkanına ya da ısı transferinin gerçekleştiği ortama dışarıdan enerji verilerek müdahale edilmesidir. Akışkana, yüzeye titreşim verilmesi, sistem akışının mekanik parçalar ile müdahale edilmesi ve akış ortamında elektrostatik alanlar oluşturularak akış ortamının etkilenmesi başlıca aktif yöntemlerdendir. Pasif yöntemler, sisteme ek olarak enerji verilmeden ısı transferindeki iyileşmeyi sağlayan yöntemlerdir. Yüzeyi artırma, yüzeyi pürüzleştirme, sisteme iyileştirme cihazları bırakmak gibi yöntemler pasif yöntemlere örnektir. Bu iki sistem birlikte kullanılabilir birlikte kullanılması durumuna karma yöntem denir. Isı transferi akışkanının ısı iletkenliğini artırmak için temel akışkanın içerisine katı partiküllerin süspanse edilmesi ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden pasif iyileştirme yöntemidir; bu partikül eklenmesi ısı iletkenliği artırır. Sebebi ise katı metalin ısı iletkenliğinin temel akışkanın ısı iletkenliğinden fazla olmasıdır. Çalışmaların çoğunda ısı transfer akışkanları olarak su, sentetik yağlar, antrifriz vs. kullanılmaktadır. Isı transferini artırmak için başvuru bu akışkanların ısı iletim performanslarının düşük olmasından dolayı istenilen verimin elde edilmesine katkı sağlamamışlardır. Bu durumu ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalarda akışkan içerisine yüksek ısı iletim katsayısına sahip katı parçacıkların akışkan ile karışım oluşturacak şekilde ilave edilmesi ortaya çıkmıştır. Bu akışkan nanoakışkan olarak adlandırılmıştır. Nanoakışkanı tanımlayacak olursak geleneksel ısı transferi akışkanlarına 100nm' den küçük metal veya metal olmayan nanoparçacıklarının

eklenerek elde edildiği süspansiyonlardır. Aslında nanoakışkan kavramına ulaşmadan önce yapılan çalışmalarda ısı transfer akışkanlarına milimetre veya mikrometre boyutlarında katı partiküllerin katılması fikri ilk Maxwell tarafından ortaya atılmıştır.

Mikrometre boyutundaki partiküllerin ısı transfer akışkanına eklenerek hazırlanan süspansiyonlar mikro kanallarda tıkanmaya sebep oldukları yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bu partiküllerin oluşturduğu süspansiyonlar kanal ve borularda basınç düşüşleri, aşınma, çökelme gibi sorunlara sebep olmuştur. Bu sebeplerden dolayı teknolojinin gelişmesi ve malzeme bilimindeki son gelişmelerden yola çıkarak nanometre boyutundaki partiküller üretilip ısı transfer akışkanının içerisine karıştırılıp süspansiyon haline getirilmesi yeniden gündeme gelmiştir(Morini, 2002).

1.1.Nanoakışkanlar

Gelişen teknolojinin önemli bir alanı olan nanoakışkanlar, nanometre boyutlu parçacıkların akışkan süspansiyonlarıdır. Özellikle malzeme bilimindeki gelişmelerden sonra ısı transferi iyileştirme uygulamalarından uzun yıllardır uygulanan akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin akışkan içerisinde süspanse edilmesi nanopartiküllerle yeni bir boyut kazanmıştır. Son yıllarda nano boyutlu malzemeler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar özellikle Amerika, Çin ve Japonya'da ki araştırmalar yeni ve heyecan verici teknoloji olacağını göstermiştir. Şekil 1.1'de nanometre boyutunu anlatan örnek gösterilmiştir(Rao ve ark., 2005)



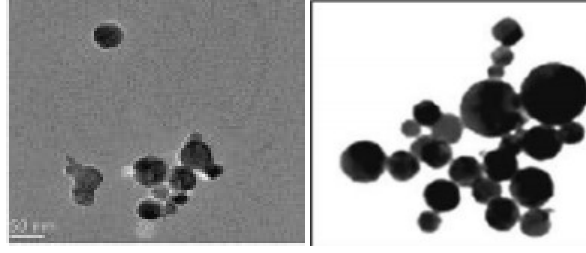
Şekil 1.1.Nanometre boyutu ile ilgili örnekler

Nanoakışkanlar; enerji temini, elektronik soğutma, havalandırma gibi çok sayıda uygulama alanlarında kullanılabilirler. Su, yağlar, etilen glikol gibi geleneksel ısı

transferi akışkanlarının düşük ısı iletkenliklerinden dolayı ısı transfer performansları düşüktür. Bu nedenle akışkanların ısı transferi kabiliyetlerini iyileştirmek için nanopartikül kavramı ortaya çıkmıştır. Maxwell' in (1904) öncülüğünü yaptığı ısı iletkenliğini arttırmak için geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi fikri ile mikrometre ve milimetre boyutlu katı parçacıkları ile süspansiyon oluşturulmuştur. Ancak bu büyük boyutlu katı parçacıkları mikro kanallarda tıkanmaya sebep olduğu için çok kullanışlı olmamıştır bu nedenle bu tür akışkanlar pek tercih edilmemiştir (Gupte ve ark., 1995).

Nanoakışkan terimi ilk olarak Choi (1995) tarafından öne sürülmüştür. Choi ve J. Eastman, nanoboyutlu metalik parçacıklar alanında Argonne Ulusal Laboratuvarı' nı ziyaret etmeleriyle çalışmalara başlamışlardır. Chio ve Eastman yaptıkları çalışmada nanoakışkan tanımını yapmışlardır. "Nano boyuttaki metalik parçaların , su, etilen glikol veya motor yağı gibi endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisinde karıştırılmasıyla oluşturulmuş yaklaşık 10 nm boyutundaki metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nanoboyut teknolojisi ile üretilebilecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar" olarak tanımlamışlardır(Choi ve Eastman, 1995). Daha sonra yapılan çalışmalarda birçok farklı akışkana çeşitli metal nanoparçacıkları eklenerek geliştirilmiştir.

Boyutları 100 nm' den küçük olan parçacıkların sıvı içerisinde oluşturduğu karışıma nanoakışkan denir. Bu karışım oluşturulurken temel akışkan olarak su, etilen glikol,mineral yağ ve hatta iki veya daha fazla akışkanla karışım oluşturulabilir. Parçacıklar ise metal ve metal oksitler olabilir. Metal olanlar C_u , N_i , Al vs metal oksitler Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 vb örnek olarak gösterilebilirler. Nanopartiküller küresel, boru ve çubuk şeklinde olabilirler. Nanoakışkanlar, kullanılan nanopartiküllerin konsantrasyonuna bağlı olarak şeffaf, yarı şeffaf ve opak olabilirler. Şekil 1.2 'de bu çalışmada kullanılan TiO_2 nanopartikülünün elektron mikroskobundaki görüntüleri verilmiştir(Witharana., 2010). Nanoparçacıkların boyuta bağlı fiziksel özelliklerinden dolayı (büyük yüzey alanı) düşük parçacık momentumu, yüksek hareketlilik özelliklerine sahiptirler. Büyük yüzey alanından dolayı nanoparçacıklar temel akışkan içerisinde iyi ve istikrarlı bir karışım oluşturmaktadır oluşturulan bu karışımdan şu özellikler beklenmektedir;



Şekil 1.2. TiO_2 nanopartikülünün elektron mikroskopundaki görüntüsü

a) Yüksek Isı İletimi: Nanopartiküller büyük yüzey alanına sahip olduklarından temel akışkan içerisinde daha fazla ısı transferinin oluşmasını sağlamaktadır. Nanopartiküllerin diğer avantajı partiküllerin hareketliliğidir. Bu durum akışkan hareketliliğini oluşturan küçük boyuta bağlanabilir bu hareketlilikten kaynaklı ısı transferi artar. Nanoakışkanın ısı iletkenliği sıcaklıkla doğru orantılıdır sıcaklık artıkça ısı iletkenlik artar. Bunun sebebi mikro taşınım hareketidir.

b) Kararlılık: Nanopartikül boyutları 100 nm den küçük olduğu için hafiftirler, bu hafiflikten dolayı çökelme olasılığı düşük olduğu için nanoakışkan daha kararlı hale gelir.

c) Mikro Kanal İçerisinde Hareket: nanoakışkanlar boyutlarından dolayı mikro kanallardan daha küçük yapıda oldukları için kanal içerisinde tıkanmalara sebep olmadan geçebilmektedirler.

d) Aşınımın Azalması: Nanopartiküller küçük yapılarından dolayı momentumun katı duvarlara aktarımı düşüktür. Bu azalan momentum ısı değiştiricileri, boru hatları pompalar vb öğelerin aşınma şansını azaltırlar(Das ve ark., 2006).

1.1.1. Nanoakışkan çeşitleri

Nanoakışkanlar, nanopartiküllerin tipine göre dört gruba ayrılırlar. Bunlar seramik, saf metalik, karbon tabanlı ve alaşım nanoakışkanlarıdır. Bu parçacıkların farklı akışkanlarla karışımları farklı yapıda nanoakışkan oluşturur(Gohorshadi ve ark., 2013).

1.1.1.1. Seramik nanoakışkanlar

Üretimi ve kimyasal kararlılıkları fazla olduğu için seramik parçalar nanoakışkanlar için denenmiştir. Seramikler farklı kategorilerden oluşmaktadır;

zirkonyum, titanyum, alüminyum gibi oksitler, karbitler, nitridler vb gibi kompozitlerdir.

Bu seramikler arasından en fazla oksit nanoakışkanlarıyla çalışmalar yapılmıştır. Masuda ve ark.(1993) hazırlanan ilk raporda, suya hacimce % 4.3 Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesiyle ısı iletkenlikte % 30 artış sağlandığı gösterilmiştir.

1.1.1.2. Saf Metalik nanoakışkanlar

Metal nanoparçacıklarıyla ilgili çalışmalar oksit nanoakışkanlarına göre daha az olmasına rağmen yapılan çalışmalarda sonuçlar bu nanoparçacıkların umut verici olduğunu göstermektedir. Aynı hacimsel konsantrasyonda metal parçacık içeren nanoakışkanlar, metal oksit içeren nanoakışkanlara göre daha fazla ısı iletkenlik değerine sahip oldukları görülmüştür (Eastman ve ark., 2001).

1.1.1.3. Alaşım nanoakışkanlar

Farklı metallerin olduğu metal alaşımlar aynı kökten gelen metal alaşımlarla karşılaştırıldıklarında daha iyi özelliklerde yeni malzemeler geliştirme yöntemidir(Ceylan ve ark., 2006).

1.1.1.4. Karbon tabanlı nanoakışkanlar

Karbon tabanlı nanopartiküllerin ısı iletkenliğinin büyük olması ve metallere göre yoğunluklarının düşük olması bu nanopartikülleri ön plana çıkarmaktadır. Bu nanoakışkanlara örnek olarak karbon nanotüp, çok katmanlı nanotüp ve ultra dağılmış elmas örnek verilebilir.

Tek katmanlı nanotüpün ısı iletkenliği 3000 W/mK, çift katmanlı nanotüpün ısı iletkenliği 3986 W/mK, çok katmanlı karbon nanotüpün ısı iletkenliği 6000 W/mK dir(Chen ve Xie, 2010).

1.1.2. Nanoakışkanları hazırlama yöntemleri

Nanopartiküllerle temel akışkanların süspanse edilip nanoakışkan oluşumunu sağlamak için tek adım yöntemi ve iki adım yöntemi olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır.

Tek adım yöntemi: Nanoakışkanlar bu yöntemle, nanopartiküllerin eş zamanlı olarak temel akışkan ile sentezlenmesiyle oluşan tek bir işlemle elde edilir. Bu yöntemde kurutma, depolama, taşıma işlemi kullanılmamaktadır. Tek adım yönteminde genellikle bakır, gümüş ve altın gibi malzemeler üzerinde çalışılır. Bu malzemelerin ısı iletim sayısının yüksek oluşu ve hızlı oksitlenme özelliklerine sahip olmaları tercih edilmelerini sağlamıştır. Metal partiküller akışkan ile sentezlenerek havayla teması engellenmiş olur bu sebepten dolayı metalnanopartikül içeren nanoakışkanların üretiminde tek adım yöntemi daha uygundur (Özerinç ve ark., 2009).

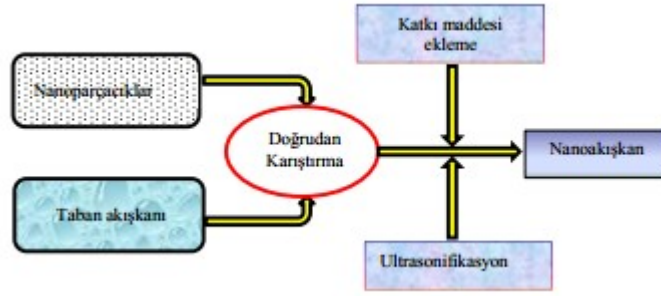
Bu yöntemle nanoakışkanlardan istenilen yüksek homojenlikteki süspanse durum sağlandığından dolayı elde edilmiş olur (Zhu ve ark., 2004; Zhu ve ark., 2007; Zhu ve ark., 2011).

Şekil 1.3'de nanoakışkanların tek adım yöntemiyle hazırlanması süreci detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Mukherjee ve Paria, 2013).



Şekil 1.3.Tek adım yöntemi

İki adım yöntemi: En yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde nanopartiküller direkt ana akışkan içerisine bırakılarak nanoakışkan, ultrasonik titreşimlerle veya ultrasonik karıştırıcılarla nanoparçacıklarının topaklanması engellenerek oluşturulur. En çok kullanılan iki adım yöntemi Şekil1.4' de gösterilmiştir (Mukherjee ve Paria, 2013).



Şekil 1.4.İki adım yöntemi

1.1.3. Nanoakışkanların kararlılığı

Nanopartiküllerin topaklanmasını engellemek için; süspansiyonun pH değerini değiştirmek, yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımı, ultrasonik titreşim yöntemleri kullanılarak topaklanma engellenebilir.

I. pH değerini değiştirmek: Nanoakışkanların kararlılığı onun elektro-kinetik özellikleriyle ilgilidir. Nanoakışkan pH' ının kontrolü itme kuvvetleri nedeniyle kararlılığın artmasında etkilidir. Asit işlemi sudaki CNT' ün kararlılığının artmasında etkilidir(Yu ve ark., 2008).

II. Yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımı: Nanoakışkanların kararlılığını arttırmak için sisteme dağıtıcılar eklenerek topaklanma engellenebilir. Dağıtıcılar, genellikle uzun zincirli hidrokarbon olup suyu emebilen polar gruptan oluşmaktadır örnek olarak Sodium dodecyl sulfate verilebilir (Chandrasekar ve ark., 2010).

III. Ultrasonik titreşim: Topaklanmayı engellemek için kullanılan en etkili yöntemdir. Ultrasonik banyoda nanopartiküllerin çökmesi ve topaklanması engellenir(Akyürek, 2014).

1.1.4. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Akışkanların en önemli termofiziksel özellikleri ısı iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı ve viskozitedir.

1.1.4.1. Isıl iletkenlik

Birçok uygulama için nanoakışkanların ısı iletkenlikleri önemli bir parametredir.(Kleinstreuer ve Freng, 2011).

Temel akışkanlara eklenen nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi performansını artırır. Böyle bir artışı; eklenen nanopartikülün ısı transfer yüzey alanını arttırması, akışkanın ısı iletkenliğini arttırması, nanopartiküllerle akışkanın çarpışması ile etkileşimin artması ile açıklanabilir(Xuan ve Li, 2000). Şekil 1.5' de bazı nanopartiküllerin ısı iletkenlikleri gösterilmiştir (Sungar ve Singh, 2013).

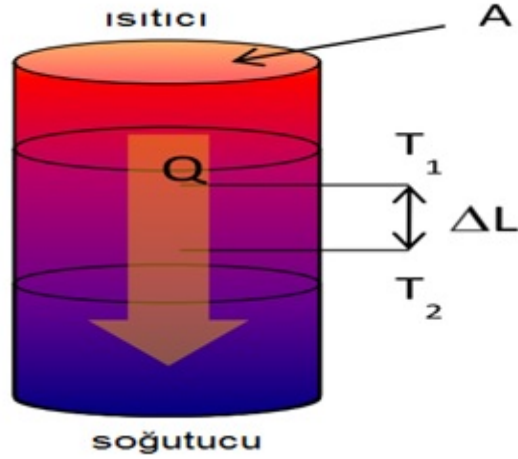
Malzeme	Isıl İletkenlik (W/mK)
TiO_2	8.4
CuO	32.9
Al_2O_3	40
Platinyum	70
N_a	72.3
F_e	80
C_d	92
Grafit	120
S_i	148
Al	237
AlN	285
A_u	317
TiC	330
S_iC	350
C_u	401
A_g	429
Karbon nanotüp	3000
Elmas	3300
Motor Yağı	0.15
Gaz Yağı	0.15
Etilen Glikol	0.253
Su	0.613

Şekil 1.5.Nanopartiküllerin ısı iletkenlikleri

1.1.4.1.1. Isıl iletkenlik ölçüm yöntemleri

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; geçici sıcak tel metodu, kararlı hal paralel plaka tekniği, sıcaklık salınım tekniği olmak üzere üç başlık altında incelenebilir(Artuç, 2007).

Geçici sıcak tel metodu: Elektriksel sinyallerle telin sıcaklık ve zaman tepkisini ölçerek kullanılan bu sistemde tel ısıtıcı ve termometre görevini görür. Bu yöntemde telin radyal doğrultuda silindirik bir örneğin eksenine yerleştirildiği varsayılarak bu örneğe ısıtıcı tel tarafından üretilen ısı enerjisi verilmektedir. Burada bazı varsayımlarla (telin uzunlu ve çapı) ısı aktarımı radyal doğrultudadır.



Şekil 1.6.Sıcak tel metodu

Kararlı hal paralel plaka tekniği: Genellikle ısı iletkenliği kötü olan malzemelerde kullanılır. Bir disk içerisine belirli kalınlıktaki disk, bakır disk ve plaka arasına yerleştirilerek ikisinin sıcaklıkları ısıl çiftler yardımıyla ölçülür.

Sıcak salınım tekniği: Bu yöntem ısı iletim kat sayısının yüksek olduğu malzemelerin ölçümünde kullanılır. Malzeme ısıtıcı kullanılarak uç tarafından ısıtılır ve iki adet ısıl çift belirli mesafelere yerleştirilerek ölçümler elde edilir.

1.1.4.2. Viskozite

Isı değıştiricileri, soğutma sistemleri gibi endüstri ve mühendislik içeren uygulamalarda, sistemde kullanılacak nanoakışkanların seçilmesinde, viskozite proses açısından önemli bir parametredir. Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnci olarak betimlenebilir ve akışkanların alakalı olduğu tüm ısıl sistemler için önemli bir özelliktir. Laminer akışta, basınç düşüşü ve ısı taşınım katsayısı doğrudan viskoziteden etkilenir. Bu nedenle, viskozite ilgili akışkanın kullanıldığı bütün sistemlerde ısı iletkenlik kadar önemli bir parametredir(Kole ve Dey, 2010).

1.1.4.3. Yoğunluk

Cheremisinoff, 1986 tarafından iki fazlı karışımların yoğunluk ifadesi elde edilmiştir. Daha sonra Pak ve Cho, (1998) tarafından nanoakışkanlara uyarlanmıştır.

$$\rho_{nf} = \rho_p \phi + \rho_{bf}(1 - \phi) \quad (1.1)$$

ρ_{nf} = nanoakışkan yoğunluğu

ρ_p = partikül yoğunluğu

φ = hacimsel oran

ρ_{bf} = temel akışkan yoğunluğu

1.1.4.4. Özgül Isı

Nanoakışkanlarda özgül ısı ile ilgili eşitliği ilk olarak Pak ve Cho, (1998) tarafından bulunmuştur.

$$C_{nf} = (1 - \phi_v)C_w + \phi_v C_p \quad (1.2)$$

Sonradan Xuan ve Roetzel, (2000) yaptıkları çalışmada 1.3 denklemini elde etmişlerdir.

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (1.3)$$

Kumaresan ve Velraj, (2012) yaptıkları çalışmada 1.4'de verilen denklemi elde etmişlerdir.

$$(C_p)_{nf} = [(1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_n] / [\phi \rho_n + (1 - \phi)\rho_f] \quad (1.4)$$

Bu eşitlikler yardımıyla özgül ısı hesapları yapılabilir.

1.1.5. Nanoakışkanların uygulama alanları

1.1.5.1. Elektronik uygulamalar

Elektronik parçalar için ısı iletimini iyileştirmede iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi soğutma cihazlarının en uygun geometrisini oluşturmak, diğeri ise ısı iletim performansını artırmaktır. Isı iletimi yüksek olan nanoakışkanlar ana akışkanlarla karıştırıldıkları zaman yüksek ısı iletim kat sayısına sahip olurlar. Jang ve Choi, (2006) yaptıkları çalışmada nanoakışkanlı mikro kanallı bir soğutucu

tasarlayarak saf su ile nanoakışkanı birlikte kullandıklarında yüksek soğutma performansı elde etmişlerdir.

1.1.5.2. Ulaşım

Araçlarda, şanzıman yağları, motor soğutucularının ısı iletim katsayıları düşüktür. Bu akışkanlara nanoakışkan eklenerek ısı iletim kat sayıları artırılarak daha verimli bir performans elde edilebilir ayrıca nanoteknoloji sayesinde araç parçaları daha küçük parçalar halinde üretilebilir bu sayede estetik ve hafif hatta daha verimli hale getirilebilir(Sing ve ark., 2006).

1.1.5.3. Soğutma Uygulamaları

Endüstriyel soğutma sistemlerinde nanoakışkanların kullanılması enerji tasarrufu ve emisyonlarda azalma olacağı için kullanımı için uygun olduğu görülmüştür. Amerika Birleşik Devletleri sanayisinde soğutma suyunda nanoakışkan kullanımı 1 trilyon Btu luk enerji korunumu oluşturmuştur (Wong ve Leon, 2010).

Enerji ihtiyaçlarının zamansal farkından dolayı gizli ve duyulur ısı şeklinde ısı enerjisinin depolanması verim açısından önemli bir yere sahiptir(Demirbaş, 2006). Faz değişim maddesi olarak nanoakışkan kullanımı ısı enerjisi depolamada önemli bir faktördür(Wu ve ark., 2010).

1.1.5.4. Isıtma Havalandırma Sistemleri

Isı değiştiricilerinde, ısı pompalarında kullanılan akışkana nanoakışkan eklenerek ısı performans artırılabilir. Böylelikle ısı performansın artmasıyla yatırım maliyeti düşer.

1.1.5.5. Malzemelerde Nanoakışkan Uygulamaları

Özellikle nanokatalizörler yardımıyla bitkisel yağların biyoyakıtlara dönüştürülmesi konusunda yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar verdiğiinden malzemelerde nanopartiküllerin kullanımı önem arz etmeye başlamıştır(Erkut, 2012).

1.1.6. Nanoakışkanlarda Isı Transfer Mekanizmaları

Bu konuda çalışma yapan araştırmacıların izlenimlerinde nanopartikül kullanılan sistemlerde hem ısı iletkenlikte bir artış olduğu hem de ısı transfer katsayısında temel akışkana göre artış olduğu tespit edilmiştir.

Temel akışkan ve nanopartiküllerin oluşturduğu karışımlarda ısı transfer özelliklerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$q_x = \frac{k_{eff}A}{L}(T_1 - T_2) \quad (1.5)$$

Farklı çalışmalar sonucu ortaya çıkan hem laminar hem de türbülanslı akış koşullarında nanoakışkanın ısı transfer katsayısındaki artışın, ısı iletkenlikten daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Newton'un soğuma yasası 1.6 denkleminde gösterilmiştir.

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (1.6)$$

Q: ısı transferi

A: yüzey alanı

T_w = yüzey sıcaklığı

T_f = akışkan sıcaklık ortalaması

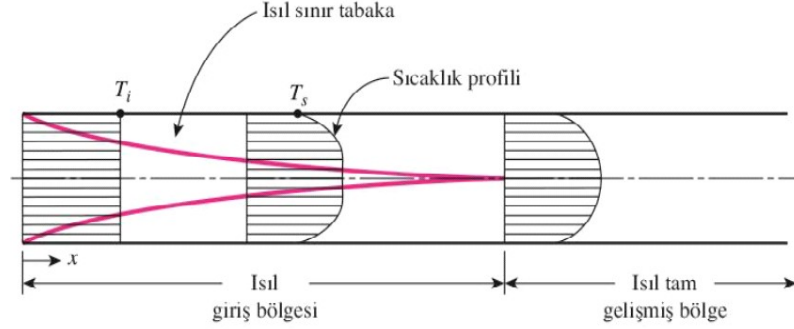
Taşıyım ile ısı transferinde sınır tabaka içinde bulunan akışkanın hem rastgele hareketi hem de toplu hareket ısı transferinin gerçekleşmesini sağlar. Ludwig ve Prandtl' in yaptığı çalışmada, akış durumunda viskozite ve sürtünmenin etkisiyle duvara yakın bir yerde ince bir sınır tabaka olduğu gözlemlenmiştir. Sınır tabaka iki çeşittir ısı sınır tabaka ve hidrodinamik sınır tabaka bu tabakaların kalınlıkları Prandtl sayısı ile belirlenir (Şahin, 2010).

$$P_r = \frac{\mu C_p}{k} \quad (1.7)$$

$P_r > 1$ ise hidrodinamik sınır tabaka

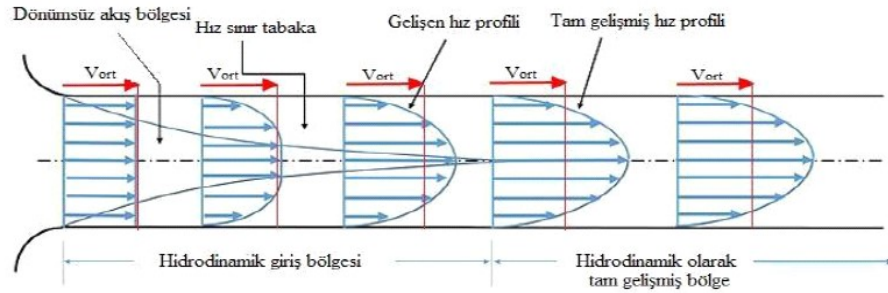
$P_r < 1$ ise ısı sınır tabaka

Isıl sınır tabaka: Dairesel bir boruya yüzey sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta akışkan girerse taşınım ile ısı transferi gerçekleşir. Bu sayede ısı sınır tabaka gelişir. Başka bir söylemle taşınım ile ısı transferinde akışkan sıcaklığının, katı cisim yüzeyindeki değerinden serbest akış sıcaklığına değiştiği bölgedir.



Şekil 1.7. Isıl sınır tabaka

Hidrodinamik sınır tabaka: Laminar akışlı bir dairesel boruda akışkan boruya sabit hızla girince akışkanın yüzeyde oluşturduğu sürtünme etkileri önem kazanır ve boru içinde akışkan hareket ettikçe sınır tabaka gelişir. Akış bölgesinin küçülmesi ve boru ekseninde sınır tabakaların birleşmesiyle bu gelişme son bulur.



Şekil 1.8. Hidrodinamik sınır tabaka

1.2. Güneş Enerjisi

Dünyada ve Türkiye' de enerji tüketiminin artmasına sebep olan en temel etken nüfustur. Bunun yanı sıra gelişen sanayi ve kentleşmemeden dolayı enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Gerekli enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil yakıt kaynakları hızla tükenmektedir. Yapılan araştırmalara göre 2040 yılına kadar fosil

yakıtların enerjideki payları şimdiye oranla azalacaktır bu azalmaya rağmen bu yakıtlar enerji üretiminde hakim kaynaklar olarak devam edecektir(Anonim, 2017). Enerji ve Tabi kaynakları Bakanlığının yapmış olduğu araştırmalara göre Şekil1.7' de fosil yakıtların kalan ömürleri gösterilmiştir. Ancak fosil yakıt kullanımının dezavantajları, dünyadaki ortam sıcaklığını yükseltmekle kalmayıp, buzulların erimesi ve doğal afetlerin oluşmasınasebep olmaktadır. Ayrıca, canlıların yaşamı için gerekli olan toprak, su, hava gibi doğal kaynaklarımızın kirlenmesinden kaynaklı canlıların yaşam alanları büyük zarar görmektedir.



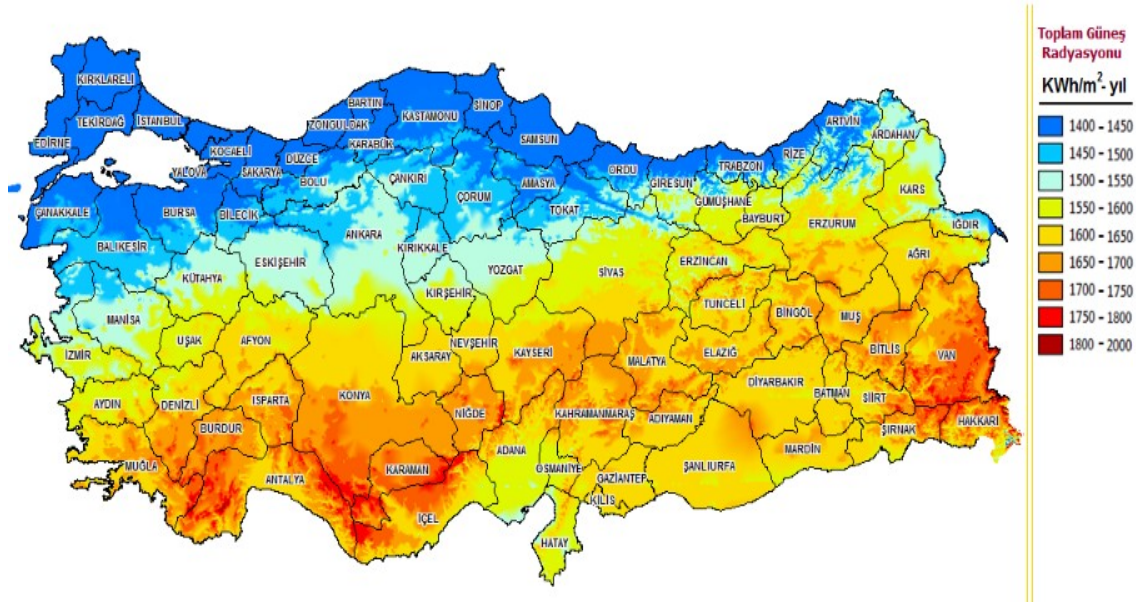
Şekil 1.9. Fosil yakıtların kalan ömürleri

Dünyadaki toplam petrol rezervleri 1.7 trilyon varil civarında olup bu miktar, yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılamaktadır. Dünya doğalgaz rezervi 187 trilyon m^3 olarak belirlenmiş olup bu miktar küresel üretimi 53 yıl gibi bir süre boyunca karşılamak için yeterlidir. Dünya kömür rezervleri küresel üretimi 114 yıl boyunca karşılamaya yeterli olup tüm yakıtlar arasında en yüksek rezerv üretim oranına sahiptir(Anonim, 2017).

Çizelge 1.1.Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları

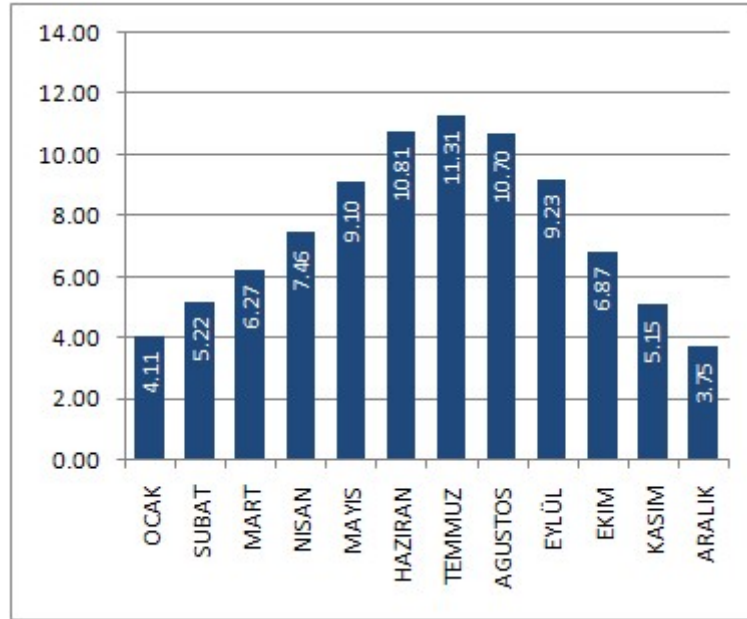
Yenilebilir Enerji Kaynakları	Kaynak
1 Güneş Enerjisi	Güneş
2 Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
3 Biyokütle Enerjisi	Biyolojik artıklar
4 Jeotermal Enerji	Yer altı suları
5 Hidrolik enerji	Nehirler

Bütün bu olumsuzlukları atlatabilmek için çevre kirliliğine neden olmayan canlıların yaşam alanlarına etki etmeyen yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın ve içinde bulunan bütün canlıların geleceği için büyük önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ülkemizin dışa bağımlılığını ortadan kaldırabilmek için önemli bir unsurdur. Türkiye' de güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı yaygınlaşabilecek niteliktedir. Çünkü Türkiye güneş enerjisi konusunda coğrafik konumundan dolayı oldukça şanslıdır. Şekil 1.10 ve 1.11' de Türkiye' deki güneşlenme radyasyonu ve güneşlenme süreleri verilmiştir (Gepa, 2019).



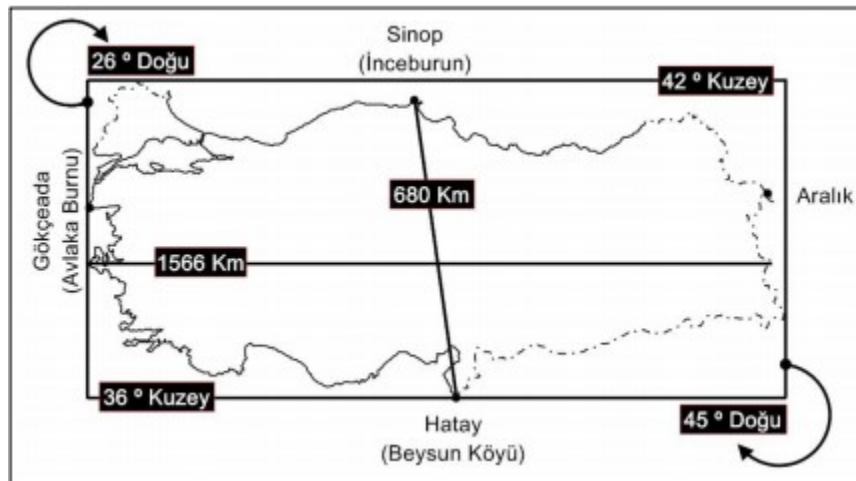
Şekil 1.10. Türkiye' de güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA)

Güneş bütün evrenin temel enerji kaynağıdır, bilinen enerji kaynakları arasında en temiz ve tükenmez olanların başında gelmektedir.



Şekil 1.11.Türkiye' de güneşlenme süreleri (saat)

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7.5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m².yıl, yani günlük toplam olarak 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir



Şekil 1.12.Türkiye'nin coğrafi konumu

Ülkemizde yıllık ortalama toplam güneş ışınlamının en küçük 1120 kWh/m²-yıl ile Karadeniz Bölgesi'nde ve en büyük değerleri 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmektedir. Bu ışınlam şiddetleri ile Türkiye'nin,

Güneydoğu ve Akdeniz bölgeleri içinde kalan bölümünde, güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca tam kapasiteli çalışmaları görülmektedir.

Çizelge 1.2. Güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye'nin neredeyse her bölgesinde güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanmak mümkündür. Günümüzde güneş enerjisi sistemleri genellikle binalarda kullanım suyunun depolanıp ısıtılması ve ısıtma sistemini desteklemede kullanılmaktadır. Son zamanlarda, ısıtma desteği sağlayan güneş enerji sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Sıcak su ihtiyacı, yüzme havuzlarının ısıtılması ve çeşitli tesislerde sıcak su gereksiniminin karşılanmasında, kurutma sistemlerinde ve elektrik üretiminde giderek artan miktarlarda güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır(Kılıç, 2015).

1.2.1. Güneş enerjisi uygulama alanları

Güneş enerjisi temelde iki amaç için kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi ısıtma sistemi, ikincisi güneş enerjisinden elektrik elde edilmesidir.

1.2.1.1. Güneş enerjisi ile ısıtma

Güneş enerjisi ile ısıtma, tarihin ilk zamanlarından beri var olan bir sistemdir insanoğlu var olduğu sürece ısıtma sistemine ihtiyaç duymuştur. İnsanlar ilk zamanlardan bu yana güneşi bir ısıtıcı olarak kullanmışlardır. Teknolojinin gelişmesiyle ısıtıcıların yapısı değişmiş düzenekler oluşmuş zamanla daha karmaşık komplike düzenekler geliştirilmiştir. Ayrıca güneş enerjisi elde edilen sıcaklık değerlerine göre üç başlıkta incelenebilir.

Düşük sıcaklık (20-100°C) uygulamaları

- Sıcak su elde edilmesi
- Bina ısıtma ve soğutma sistemi
- Seraların ısıtılması
- Güneş fırınları ve ocakları
- Sulama sistemi
- Güneş Pilleri sistemleri
- Su arıtma sistemleri
- Tuz üretimi
- Güneş mimarisi
- Güneş bacaları

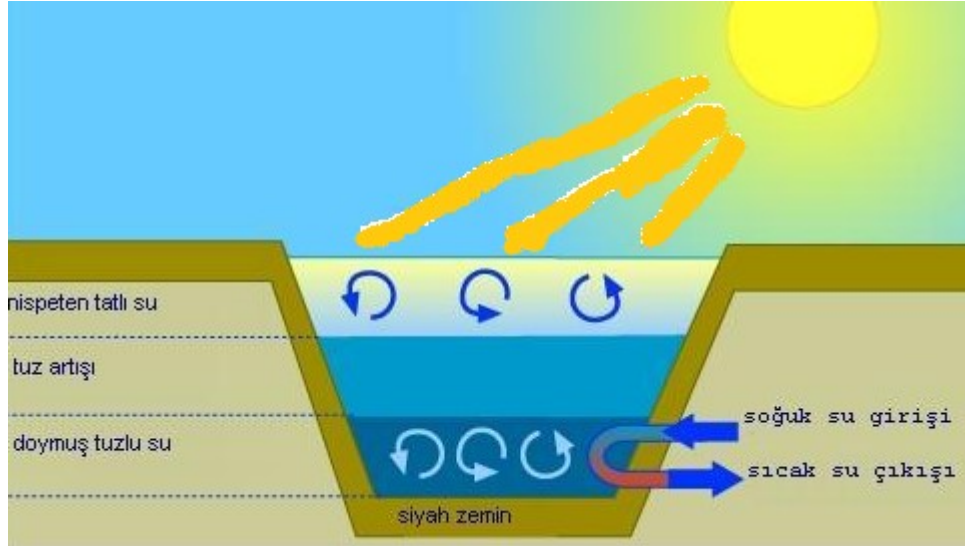
Orta sıcaklık (100-300°C) uygulamaları

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi
- Endüstriyel kullanım için elektrik üretimi
- Büyük kapasiteli ısıtma ve soğutma sistemleri

Yüksek sıcaklık (>300°C) uygulamaları

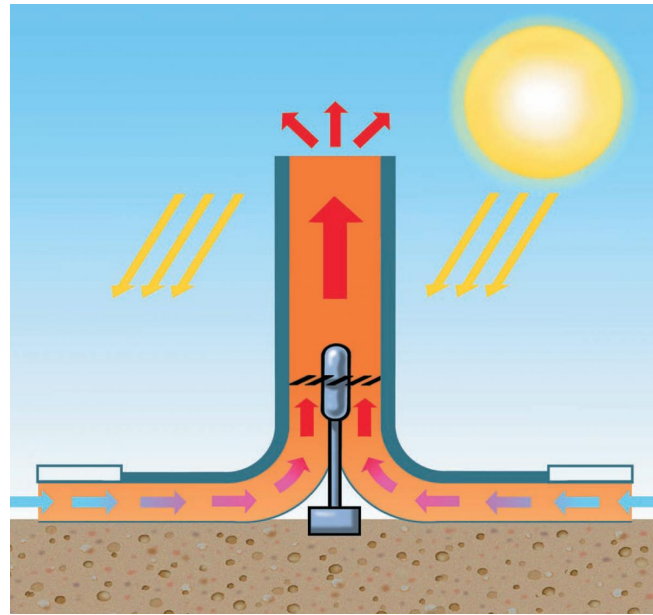
- Parabolik çanak alıcılarla elektrik üretimi

Güneş Havuzları: Güneş havuzları tuzlu suyun kaynama noktasından küçük sıcaklıklarda güneş enerjisinin toplanıp depolanmasını sağlar. Güneş havuzları 5-6 metre derinlikte bulunan suyla dolu havuzun siyah renkli zemini bulunan bir sistemdir. Bu havuzlar güneş ışımasını tutarak 90°C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesinde kullanılırlar. Elde edilen sıcak su, eşanjöre gönderilerek ısı olarak yararlanılacağı gibi, rankine çevrimi yardımıyla elektrik üretiminde kullanılabilir.



Şekil 1.13. Güneş havuzu şematik gösterimi

Güneş Bacaları: Güneş bacalarının çalışma prensibi ise, güneş ışınlarından alınan ısı etkisinden oluşan hava hareketlerinden yararlanarak elektrik üretilir. Sistemin çalışması hidroelektrik santrallerine benzerdir. Deneysel çalışmalar dışında uygulaması yoktur.



Şekil 1.14. Güneş bacaları çalışma prensibi

Güneş Mimarisi: Bölgenin meteorolojik yapısına göre güneş ışınlarından en verimli şekilde yararlanabilmek için konutların şekillendirilip tasarlanarak ısıtma, aydınlatma ve soğutma gibi uygulamaların yapılmasında kullanılır.



Şekil 1.15.Güneş mimarisi

Seralar: Tarım alanlarında güneş enerjisinden yararlanabilmek için yapılan uygulamalardır.



Şekil 1.16.Sera uygulaması

Güneş Fırınları ve Ocakları: Şekil olarak çanak veya kutuya benzeyen iç tasarımı yansıtıcı malzemelerle kaplı güneş ocakları bir noktada ısı toplayarak yemek pişirme işleminde kullanılır.



Şekil 1.17.Güneş ocağı örneği

1.2.1.2. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri

Güneş enerjili sistemlerin arasında en çok kullanılan sistem sıcak su hazırlama sistemidir. Sistemin bu denli yaygın olması, güneşten alınan ısı enerjisi ile ısınan ve depolanan suyun direk kullanıma hazır olması ve kurulum maliyetinin yüksek olmaması yaygınlaşmasında büyük rol oynamıştır. Ülkemizde güneşlenme süresinin fazla olması sistemi daha cazip hale getirmiştir. Güneş enerjili sıcak su sistemleri;

I. Sirkülasyon Şekline Göre;

- a) Tabi Dolaşım
- b) Zorlanmış Dolaşım

II: Devre Şekline Göre

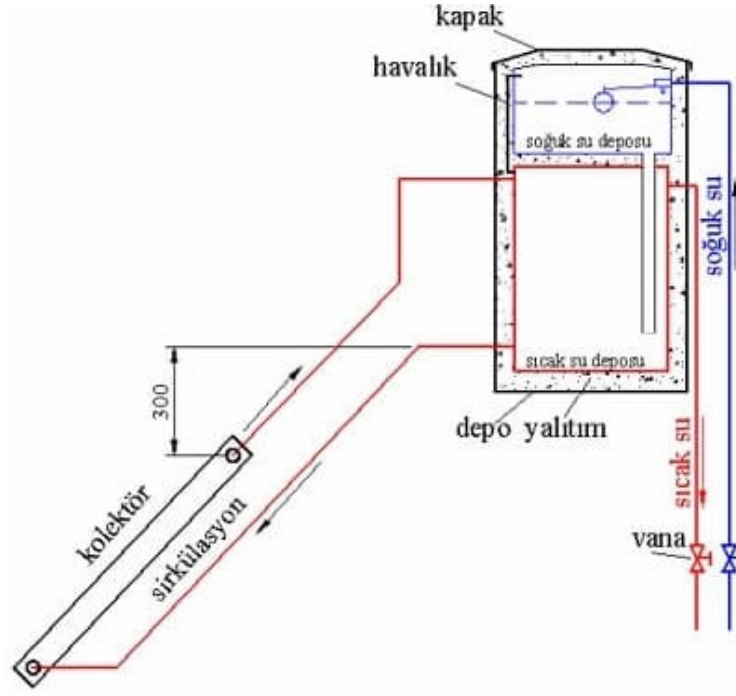
- a) Açık Sistem
- b) Kapalı sistem

III. Kollektör Tipine Göre

- a) Düzlemsel Kollektör
- b) Vakum Tüplü Kollektör

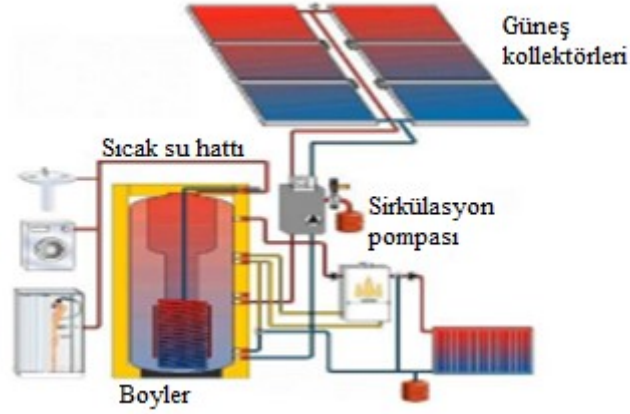
Sirkülasyon Şekline Göre;

a) Tabi Dolaşım Sistemleri: Bu sistemlerde ısı transfer akışkanı herhangi bir zorlanmaya maruz kalmadan sistemde kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Çalışma prensibi olarak kollektörde ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesine dayanmaktadır. Kullanılan depo akışın olabilmesi için üstte olması gerekmektedir. Bu zorunluluktan dolayı büyük sistemlerde uygulanmamaktadır.



Şekil 1.18. Tabi dolaşımli sistem

b) Zorlanmış Dolaşımli Sistemler: Bu sistemlerde ısı transfer akışkanının pompa yardımıyla dolaştığı sistemlerdir. Sistemde sirkülasyonu sağlayan pompa kullanıldığı için depo uygun görülen yerlerde kullanılabilir.



Şekil 1.19. Zorlanmış dolaşımli sistem

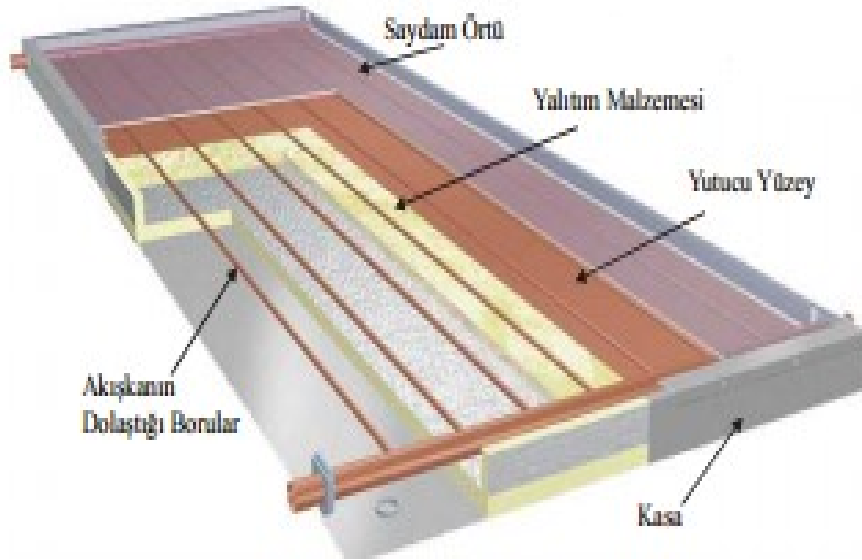
Devre Şekline Göre;

a) Açık Sistemler: Bu sistemlerde kolektörde dolaşan su ile kullanma suyu aynıdır. Kapalı sistemlere göre maliyeti düşük verimleri yüksektir.

b) Kapalı Sistemler: Bu sistemde iki farklı devre bulunmakta bu devreler birbirinden bağımsız bir şekilde çalışmaktadır. Kollektör devresinde bulunan ısı transfer akışkanı güneşten aldığı ısı enerjisini şebeke suyundan gelen kullanım suyuna transfer etmektedir

Kollektör Tipine Göre;

a) Düzlemsel Güneş Kollektörü: Güneş enerjisini toplayarak bir akışkana aktaran ısı eşanjörleridir. En çok sıcak su üretme amacıyla kullanılmaktadır. Evlerin ve tesislerin sıcak su, ısıtma sistemlerinde, soğutma sistemlerinde, yüzme havuzlarının ısıtılmasında düzlemsel güneş kollektörleri kullanılır. Düzlemsel güneş kollektörleri genel olarak saydam örtü, enerji toplayan panel, yüzey içine bağlanmış ısı taşıyan borular, yalıtım malzemesi ve kasadan ibarettir(Anonim, 2015). Şekil 1.20' de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



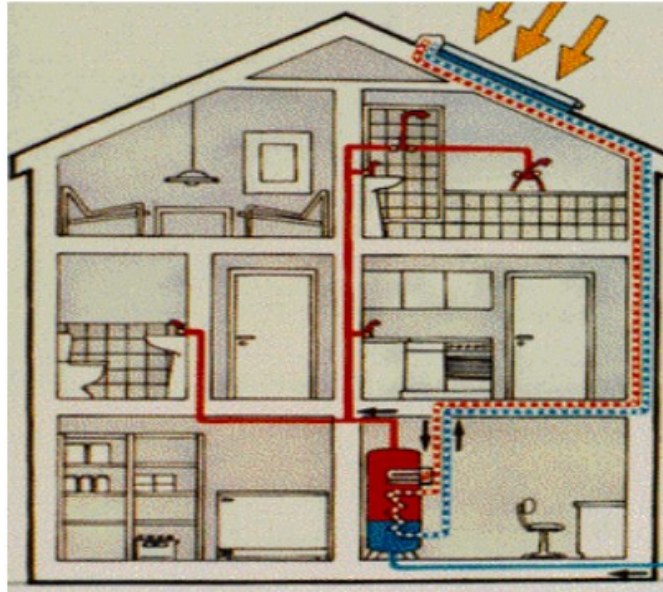
Şekil 1.20. Düzlemsel Güneş Kollektörünün Yapısı

Kollektör veriminde çevre faktörlerinin yanı sıra; kollektör konstrüksiyonu, kullanılan camın özellikleri, yutucu yüzeyin ışıyım yutma ve yayma değerleri, yutucu yüzeyin kalınlığı, yalıtım malzemesinin cinsi, kalınlığı ısı iletkenliği ve kollektör yüzey alanı etki etmektedir.



Şekil 1.21.Düzlemsel güneş kolektörleri

Şekil 1.21'de gösterilen düzlemsel güneş kolektörleri bulunduğu yapıdaki (Diyarbakır Kayapınar Belediyesi) mekanik sistemde yaz aylarında soğutma, kış aylarında ısıtma işlemlerinde yardımcı tesisat elamanı olarak görev almaktadır. Ayrıca bulunduğu yapıda sıcak su üretiminde de kullanılmaktadır.



Şekil 1.22.Düzlemsel güneş kolektörlerinin çalışma prensibi

b) Vakumlu Tüplü Kollektörler: Vakumlu tüplü kollektörlerinde ihtiyaca göre cam borular veya metal ya da cam yansıtıcılar kullanılabilir. Özellik olarak düzlemsel güneş kollektörlerinden farklıdır bu farklardan en belirgin kollektör cam tüplerden oluşur ve kullanılan cam vakumlandığı için basınç farklarına dayanıklıdır.

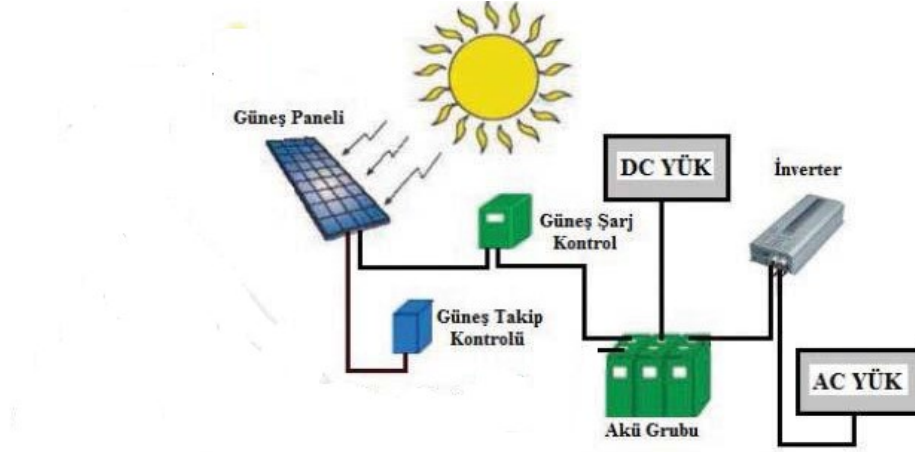


Şekil 1.23. Vakum tüplü kollektörün çalışması

1.2.1.3. Fotovoltaik pil ve uygulamaları

Güneş ışınlarından elde edilen elektrik enerjisi; ilk çalışmalarda, uzay çalışmalarında kullanılmış daha sonra gece aydınlatması, akü şarjı, su pompalama, haberleşme istasyonları, deniz fenerleri, elektrik şebekelerinin beslenmesi gibi pek çok uygulama için kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde yeterli sayıda güneş pili, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu, bulutlu havalarda ve geceleri kullanılmak üzere akümülatör kullanılır. Sistem gün boyunca elektrik enerjisi üreterek akümülatörlerde depolar depolanan bu enerji ihtiyaç durumunda akümülatörden temin edilir. akünün aşırı şarj ve deşarj olmasını engellemek için regülatör kullanılır. Sistemdeki inverter yardımıyla ihtiyaç duyulan alternatif akım elde etmek için doğrusal akım alternatif akıma dönüştürülür.

Yapılan bu çalışmada sistemde bulunan akışkanın sistem içerisinde dolaşımını sağlamak için kullanılan sirkülasyon pompasının çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi kullanılan fotovoltaik pil ve inverter yardımıyla elde edilmiştir. Anlık elektriğe ihtiyaç duyulduğu için akümülatör kullanılmamıştır gerekli olan elektrik enerjisi inverter yardımıyla DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülerek kullanılmıştır. Şekil 1.24' da Fotovoltaik pilin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



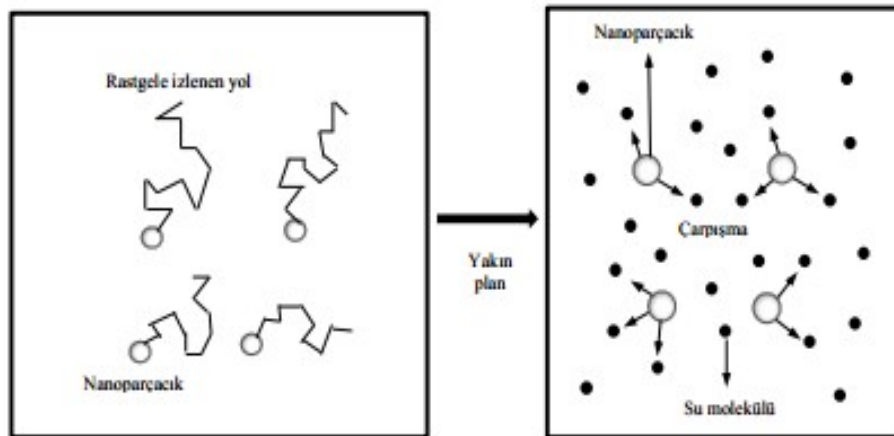
Şekil 1.24.Fotovoltaik pil çalışma prensibi

Yapılan bu çalışmada zorlanmış taşınımlı, kapalı sistemli, düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Bu çalışmadaki amaç iki farklı sistem kullanarak su ve nanoakışkanların düzlemsel güneş kollektörlerindeki verime etkisini incelemektir. Bu doğrultuda farklı hacimlerde ve farklı debilerde TiO_2 nanoakışkanı kullanılarak eş zamanlı yapılan deneylerde iki sistem arasındaki verim değerleri hesaplanıp kıyaslanacaktır. Aynı zamanda, standart boyutları dışında özel olarak imal edilen yüzey alanı daha küçük ($1 m^2$) düzlemsel güneş kollektörleri kullanılarak kollektör net alanının verim üzerindeki etkisini incelemek üzere deney düzeneği kurulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

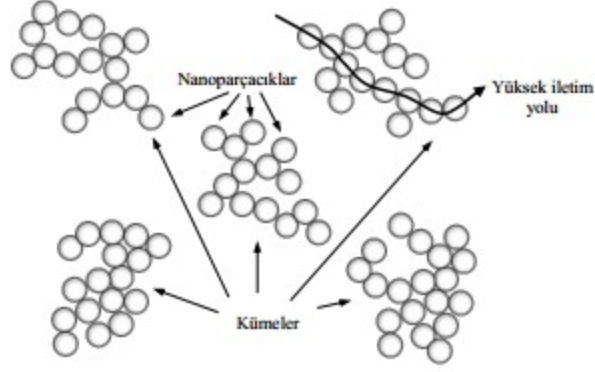
2.1. Nanoakışkanların Tarihçesi ve Uygulamaları

Bir sıvı içerisine katı partiküllerin eklenmesi ile oluşan karışımda ısı iletkenliğinin artması fikri ilk olarak (Maxwell, 1873; Maxwell, 1881) tarafından çalışılmıştır. Daha sonra milimetre ve makrometre boyutundaki parçacıkların oluşturduğu süspansiyonlarda ısı transferinin arttığı (Shon ve Chen, 1981; Ahuja, 1982) yapılan çalışmalarda gözlemlenmiş ama basınç düşümü parçacıkların hızlıca yerleşimi kanallarda tıkanma ve bileşenlerde aşınma gibi durumlarla karşılaşmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle nanometre boyutundaki parçacıkların üretilmesiyle beraber nanoakışkan olarak ortaya çıkan bu yeni akışkanlar, nano ölçüdeki partiküllerin elde edilmesiyle bu sorunların büyük bir kısmı sorun olmaktan çıkmıştır. Estman ve ark., (2001)'de belirttiği baz akışkana nano partikül eklenmesiyle ortaya çıkan süspansiyonun ısı iletim kat sayısı beklenmedik bir şekilde yükselmiştir. Bu tip süspansiyonlara nanoakışkan ismini veren ilk kişi olan Choi, Choi, (1995) çalışmasında nanoakışkan terimini kullanmıştır. Koblinski ve ark.,(2002) tarafından yapılan çalışmada söz konusu ısı iletim kat sayısındaki bu artışın dört etki ile meydana geldiği söylenmiştir. Bunlar nanopartiküllerin Brownian hareketi, nanopartiküllerin yüzeyindeki molekül seviyesindeki tabakalaşma, nanopartiküllerin doğal ısı transfer mekanizması, nanopartikül kümeleşmesi olduğu söylenmiştir.



Şekil 2.1. Brownian hareketinin şematik görünümü

Brownian hareketi: Nanoparçacıklar, karıştırıldığı akışkanın içindeki moleküller ile çarpışarak rastgele belli belirsiz hareket ederler bu hareketler sonucunda aştıkları yolun cebirsel toplamı sıfırdır. Bu tip harekete Brownian hareketi denir.



Şekil 2.2. Nanopartiküllerin kümeleşmesinin şematik görünümü

Choi ve ark., (2001) tarafından yapılan çalışmada, nanopartiküllerin süspanse edilerek kullanılmasının ısı transferinde güçlü bir iyileşmeye sebep olacağı ve metal nanopartiküllerin oluşturduğu süspanسیونlarda ısı iletkenliğinin saf akışkanlara göre fazla olduğunu söylemişlerdir.

Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri üzerine yapılan çalışmada % 0.5 hacimsel oranda kullanılan bu partiküllerin ısı iletkenliğinin suya göre %29 ve %60 fazla olduğu gözlemlenmiştir (Estman ve ark., 1997).

Pak ve Choi, (1998) tarafından dairesel kesitli çelik bir tüp içerisinde parçacık büyüklüğü 13 nm olan Al_2O_3 - su ve parçacık boyutu 27 nm olan TiO_2 - su nanoakışkanlarının tam gelişmiş türbülanslı akışında ısı transfer davranışı incelenmiş ve nusselt sayısının, hem hacimsel parçacık hemde Reynolds sayısındaki artışla arttığını fakat nanoakışkan konvektif ısı transfer kat sayısının % 3 hacimsel parçacık oranında saf suya göre % 12 daha küçük olduğu sonucuna varılmıştır.

Wang ve ark., (1999) tarafından yapılan çalışmalarda, paralel plakalar arasına Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri su, etilen glikol, vakum pompası yağı ve motor yağına süspanse edilip eklenmiş ve nanoakışkanların ısı iletkenliğinin temel akışkanların ısı iletkenliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Burada nanoakışkanların ısı iletkenliğinin hacimsel oranının artışıyla arttığı gözlemlenmiştir.

Xie ve ark., (2002) yaptıkları çalışmada; Hacimsel nanopartiküllerin oranı % 5 olan etilen glikol bazlı Al_2O_3 - su nanoakışkanı kullanımında ısı iletkenliğinin % 30 arttığı gözlemlenmiştir.

Khanafer ve ark.,(2003) yaptıkları çalışmada bakır nanopartikül içeren kare kaplı kapalı bir ortamda % 20 hacimsel oranda yapılan deneylerde ısı transferinde % 25 e yakın artış olduğu gözlemlenmiştir.

Wen ve Ding,(2004) yaptıkları araştırmada laminar akış tüpleriyle yaptıkları deneylerde ısı transfer kat sayılarında parçacık oranı 0.016 olan nanoparçacıklarda $Re:1050$ için % 41, $Re:1600$ için %46 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.

Roy ve ark.,(2004) çalışmalarında; Al_2O_3 - su nanoakışkanı içeren iki paralel disk arasındaki radyal kanalda ısı transferini incelemiş ve nanoakışkan kullanılması durumunda % 10 artış olduğu gözlemlenmiştir.

Maiga ve ark.,(2005) tarafından yapılan çalışmada 0.01m çapındaki ve 1m uzunluğundaki uniform olarak ısıtılan dairesel boruda Al_2O_3 - etilen glikol ve Al_2O_3 - su nanoakışkanlarının hem türbülanslı hem de laminar rejimde ısı transferini incelemişler ve etilen glikol' deki artışın suya göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Nguyen ve ark.,(2006) yapılan çalışmada kapalı bir ortamda Al_2O_3 - su nanoakışkanı eklenerek ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Türbülanslı akışın rejiminden elde edilen sonuçlar, nanoparçacıkların konvektif ısı transfer katsayısının arttığını göstermiştir. Ayrıca parçacık hacimsel oranı arttıkça ısı transfer katsayısının azaldığı tespit edilmiştir.

Kim ve ark.,(2009) tarafından yapılan çalışmalarda küçük basınçta suyun akışında noktasında kritik ısı akışını arttırmak için Al nanopartikülü kullanılmış ve ısı akışının % 30 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Mursed ve ark.,(2008) tarafından yapılan çalışmalarda nanoakışkanların yararlı katkıları arasında, nanopartiküllerin çok az tortulaşması sebebi ile mikro kanallarda sorunu olmaması pompalama azalma sağlaması daha küçük boyutlarda ısı sistem tasarımı için önem arz ettiği gözlemlenmiştir.

Bianco ve ark., (2011) yaptıkları çalışmada türbülanslı cebri konveksiyonda, dairesel bir boru içinden Al_2O_3 - su nanoakışkanının akışını sayısal olarak incelenmiştir. Nanopartikül çapı 38 nm olan Al_2O_3 - su nanoakışkanı konvektif ısı transfer katsayısının, baz akışkana göre yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Moghaddami ve ark.,(2011) yaptıkları çalışmada Al_2O_3 - su ve etilen glikol Al_2O_3 nanoakışkanlarının dairesel kesitli bir boru içinden laminar ve türbülanslı akışta,

ısı akısı sabit sınır şartı kullanarak entropi üretimini inlemişler ve $Re:40000$ den küçük olduğunda Al_2O_3 - su nanoakışkanının, $Re:11$ den küçük olduğu Al_2O_3 - etilen glikol nanoakışkanın ısı verimini iyileştirdiğini göstermişler.

Suresh ve ark.,(2011) yaptıkları çalışmada tam gelişmiş türbülanslı akışta, sabit ısı akısında hem düz hem helisel çukurlarla bir araya getirilmiş boruda,su ile kararlı olarak süspanse edilmiş CuO nanoakışkanı sistemde kullanılarak ısı transferi ve sürtünme faktörüne etkisini incelediler.Deneyler sonucunda helisel çukurlu boruda %0.1 ,%0.2,%0.3 hacimsel oranlı nanoakışkanın sürtünme faktörü ihmal edilebilecek kadar artmış olup,ısı transferi iyileştirilmiştir. Yine nanoakışkanın kullanıldığı helise çukurlu boruda akışkanın sadece su ve düz boru olması durumunda Nusselt sayısındaki artış hacimsel parçacık oranı %0.1 ,%0.2 ,%0.3 olduğu durumlarda sırasıyla %19 ,%27 ve %39 civarında artmıştır.

Xuan ve Roetzel, (2000) tarafından yapılan çalışmada nanoakışkanın ısı transferini iyileştirmesistemini deneysel olarak çalıştılar. Bu deneysel çalışmada nanoakışkanın geleneksel bir katı-akışkan karışımı gibi değilde tek fazlı bir akışkan gibi davrandığını kanıksadılar ve nanoakışkan için iki farklı yaklaşımla ısı transferi korelasyonu türetmişlerdir.

Gupta ve ark., (2015) yaptıkları çalışmalarda Al_2O_3 - su nanoakışkanının yüksek hızlarda akışkanın sıcaklık artışının küçük olduğunu ve bu artışın kollektör verimine etki etmediğini tespit etmiştir.

Akyürek,(2014) yaptığı çalışmada topaklanmayı engellemek için uygulanan ultrasonik titreşimin, diğer metotlarla kıyaslandığında topaklanmayı engellemek için en iyi yöntem olduğunu tespit etmiştir.

Colangelo ve ark., (2013) yaptıkları çalışmalarda nanopartiküllerin çökmesini engellemek için geliştirdikleri düzlemsel kollektör ile yaptıkları deneylerde %1, %2, %3 hacimsel oranlı Al_2O_3 - su nanoakışkanı kullanarak elde edilen % 3' lük karışımın ısı iletkenliğinde % 6.7 artış, taşınım ısı transfer katsayısının da aynı hacimsel oranda % 25 artış elde ettiğini tespit etmişlerdir.

Said ve ark., (2014) yaptıkları çalışmalarında tek duvarlı karbon nanotüp ve su içeren düzlemsel güneş kollektörlerinde sayısal modelleme sonucu entropi üretiminde % 4.34 düşüş ve ısı transferi kat sayısında %15.33 artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Sarkar,(2013) yaptığı çalışmasında düzlemsel güneş kollektörlerinde CO_2 - su nanoakışkanı kullanarak suyla mukayese ettiğinde % 18 verim artışı olduğunu tespit etmiştir.

Kabeel ve ark.,(2013) çalışmalarında deniz suyunun tuzdan arındırılması için hazırladıkları deney düzeneğinde CuO - su nanoakışkanı kullanarak günde $7.71 m^2$ arındırmayı başarmışlardır.

Qinbo ve ark.,(2015) yaptıkları çalışmalarda %0.1 hacimsel oranında 2.33 l/dk akış hızında CuO - su nanoakışkanını düzlemsel güneş kollektöründe kullanarak yaptıkları deneylerde ısı veriminde %23.33 artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Moghadam ve ark.,(2014) yaptıkları çalışmada 40nm boyutundaki CuO nanopartikülü ile hazırladıkları süspansiyonu düzlemsel güneş kollektöründe kullanarak % 0.4 oranında 1 kg/dk akış hızında, verimde % 21.8 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Budak, (2016) yaptığı çalışmada düzlemsel güneş kollektörlerinde %0.2, %0.4, %0.8 hacimsel oranlarında Al_2O_3 , TiO_2 ve CuO nanoakışkanlarını 50, 150, 250 lt/h debi değerlerinde kullanarak su ile mukayese yaptığı deney verlerinde, nanoakışkan kullanılan sistemde ısı verimin su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca kullanılan nanoakışkanlar arasında en yüksek verimi CuO-su nanoakışkanı kullanılan düzenekte edildiğini göstermiştir.

Akiner, (2018) yaptığı çalışmada nanoakışkanların dinamik simülasyonunu yaparak nano boyutlardaki termomekanik mekanizmaların ortaya çıkarılması ile ilgili yaptıkları çalışmada, Nanoakışkan durumunu ve literatürdeki metotların yeterliliklerini kavrayabilmek için su- bakır nanoakışkan sistemi modellenerek, bu sistem ve sadece su olan sisteme green-kuboformalizmi, nanoakışkanın ısı iletkenliği ve viskozitesindeki artışların, nanoparçacıkların Brownian hareketinin ısı iletkenliğine etkisi incelenip deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Kaya, (2018) yaptığı çalışmada vakum tüplü güneş kollektöründe ısı verimini etkileyen faktörleri tespit etmek için, 30nm partikül boyutundaki ZnO nanopartikülleri ile Etilen glikol - su nanoakışkanı dört farklı hacimsel oranda (%1, %2, %3, %4) nanoakışkanlar kullanılmış ve elde edilen sonuçlarda %3 hacimsel orandaki ZnO-etilen glikol nanoakışkanının kollektör çalışma alanı olarak % 26,42 verim artışıyla en iyi sonucu vermiştir.

Erol, (2018) yaptığı çalışmada borulu tip ısı değiştiricisinin verimini arttırmak için TiO_2 - su nanoakışkanı kullanarak deneyler yapılmıştır. Bu deneyler paralel akış ve ters akış şartlarında, 40 - 50 nm boyutunda % 97 saflıkta % 2 kütleli oranda TiO_2 saf suyla karıştırılarak süspansiyon edilip kullanılmıştır. Paralel akış şartlarında nanoakışkan

kullanımı ile toplam ısı transfer katsayısı suya göre % 38 artmıştır. Sıcak akışkanın ısı transfer katsayısı % 17, soğuk akışkanın ısı transfer katsayısı % 3 artmıştır. Zıt akış şartlarında veriler sırasıyla % 12, % 26 ve %1 artış olduğu tespit edilmiştir.

Budak Ziyadanoğulları, (2018) yaptığı çalışmada iki farklı sistem tasarlayarak birinde ısı transfer akışkanı olarak saf su diğerinde ise Al_2O_3 , TiO_2 ve CuO nanoakışkanlarını %0.2, % 0.4 ve %0.8 hacimsel oranlarda kullanmıştır. 250 lt/h debide yapılan deneylerde düzlemsel güneş kollektörleri giriş çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklıkları, ısıtım miktarı, nem, rüzgar hızı gibi değerler ölçülerek elde edilen veriler kullanılarak yapılan verim hesabı ASHRAE93-2003 standartlarına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mukayese edildiğinde nanoakışkan kullanımının kollektör verimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Ahmed, (2019) yaptığı çalışmada araba radyatörlerinde TiO_2 nanoakışkanı kullanılarak yapılan performans incelemesinde, %0.1, %0.2, %0.3 hacim oranında kullanılan TiO_2 - su nanoakışkanları sadece su kullanılan sisteme göre kıyaslandığında %0.2 oranında nanoakışkan kullanılan sistemde radyatör etkinliği % 47 ve %0.3 konsantrasyonunda % 47 oranında arttığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışma nanoakışkanın temin edilmesi ve nanoakışkanın ısı performansının düzlemsel güneş kolektörlerindeki etkisi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Birebir ölçülerde iki aynı sistem kurulmuştur. Bir tarafta sadece suyun kullanıldığı sistem diğer tarafta TiO_2 - su nanoakışkanının kullanıldığı sistem olmak üzere iki farklı sistem hazırlanmıştır. Sistemde kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri standart boyutlardan farklı olarak özel hazırlanmış $1m^2$ 'lik iki adet güneş kolektörü kullanılmıştır. Böylece kolektör yüzey alanının sistem verimi üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

3.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

3.1.1. Nanoakışkan

Bu çalışmada üç farklı hacimsel oranda %0.2, %0.4 ve %0.8 TiO_2 nanopartikülü temel akışkan olan saf suyun içerisine eklenerek nanoakışkan haline getirilmiştir.

Çizelge 3.1. Nanopartikül özellikleri

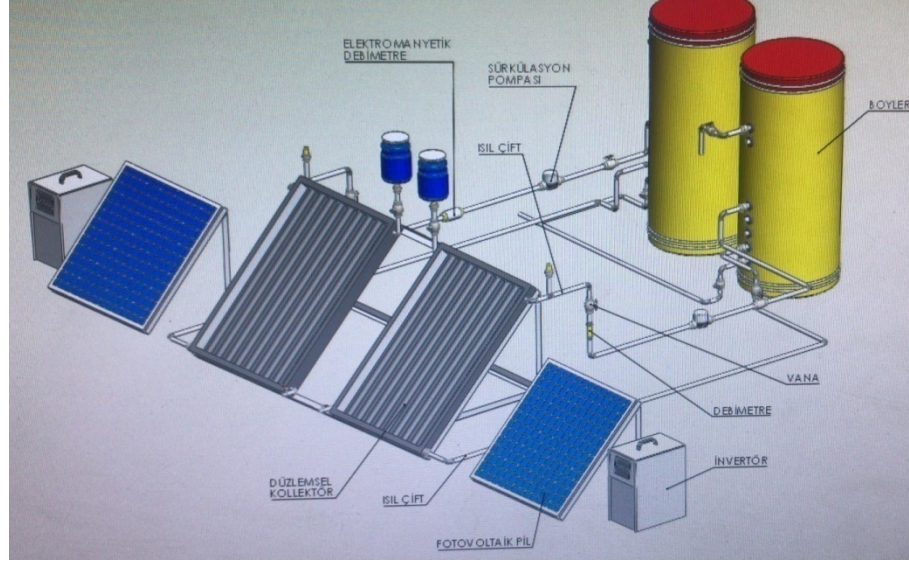
Partikül Adı	Moleküler Formülü	Molekül Ağırlığı	Partikül Boyutu	Isıl İletkenliği
Titanyumdioksit	TiO_2	79.86 g/mol	25nm	21.9 W/mK

3.1.2. Deney Düzenegi



Şekil 3.1. Deney düzenegi

Hazırlanan deney düzeneği Şekil 3.1'de gösterildiği gibi Diyarbakır'da tam güneş alacak şekilde kurulmuştur. Deneyler Diyarbakır iklim koşullarında Ağustos - Eylül aylarında yapılmıştır.



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Şekil 3.2'de şematik görünümü gösterilen deney düzenekleri birbirinden bağımsız çalışan zorlanmış (cebri) taşınımlı düzlemsel güneş kolektörlü sistemden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan $1m^2$ 'lik kolektörlerin birinde ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan diğesinde ise su kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her iki sistemde de ısı transfer akışkanın kapalı kolektör devresindeki sirkülasyonu sağlayan iki adet sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Kullanılan bu pompaların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi invertör yardımıyla fotovoltaiik pillerden sağlanmıştır. İki sistemde tamamıyla güneş enerjisinden yararlanılarak enerji ihtiyacını karşılamıştır. Sistemdeki suyun depolanması için ve ısı değıştirtgeci görevinde üstlenen boyler kullanılmıştır. Sistemde istenilen debiyi ayarlamak için vanalar kullanılmıştır. Ayrıca ısı transfer akışkanı olarak su kullanılan sistemde şamandıralı debimetre, nanoakışkan kullanılan sistemde ise nanopartikül birikmesini engellemek aynı zamanda akışa müdahale etmemek için elektromanyetik debimetre kullanılmıştır. Kullanılan bu debimetreler kolektör girişlerine monte edilmiştir. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarını kontrol etmek ve ölçüm alabilmek için kolektörlerin giriş ve çıkışlarına ısı çiftleri monte edilmiştir. Sistemin hava almasını engellemek için kolektörlere otomatik hava

purjürleri bırakılmıştır. Havanın nemi, hızı, çevre sıcaklığı, depo kullanma suyu sıcaklıkları ve güneş ışıını cihazlar yardımıyla ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

3.1.3. Düzlemsel güneş kolektörleri

Sistem için Şekil 3.3'de gösterilen $1m^2$ net alana sahip alüminyum borulu, siyah boyalı, sıcak su kolektörü kullanılmıştır. Bu konuda yapılan diğer çalışmalarda standart kolektörler kullanıldığından, kolektör yüzey alanının düşürülerek nanoakışkanın daha küçük kolektörde verim üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kolektör yüzey alanı $1m^2$ olan düzlemsel güneş kolektörü seçilmiştir.



Şekil 3.3.Düzlemsel güneş kolektörü

3.1.4. Boyler

Sistemde sıcak suyu depolamak ve kullanım suyuna aktarmak için Şekil 3.4' de gösterilen boyler kullanılmıştır.



Şekil 3.4.Tek serpantinli boyler

3.1.5. Sirkülasyon Pompası

Deney düzeneğindeki suyun dolaşımını sağlayabilmek için Şekil 3.5' de verilen WELKO marka sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Pompa 10 bar işletme basıncına kadar kullanılabilen, üç hız kademesi bulunmaktadır. Pompanın çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi fotovoltaiik pil yardımıyla karşılanmaktadır.



Şekil 3.5.Sirkülasyon pompası

3.1.6. Fotovoltaik Pil

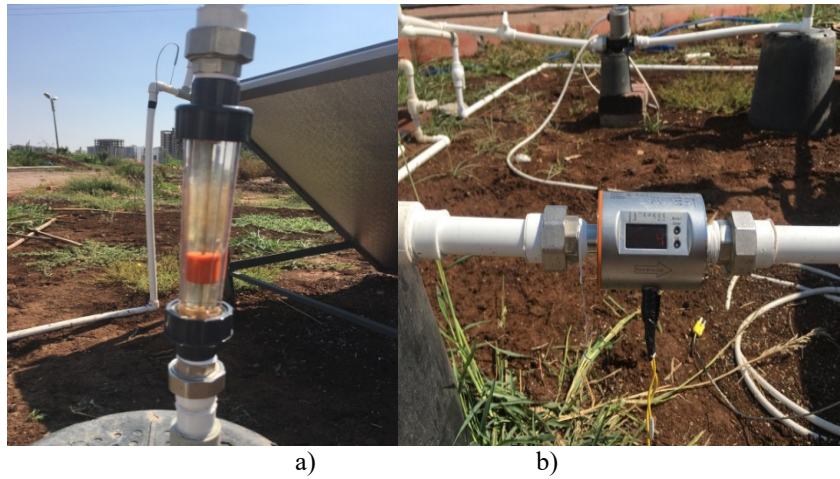
Deney düzeneğinde akışkanın sistemde dolaşımını sağlamak için kullanılan sirkülasyon pompasının enerji ihtiyacını karşılayabilmek için invertör ile birlikte fotovoltaik pil kullanılmıştır. Kullanılan bu fotovoltaik pilden 80W enerji elde edilmektedir.



Şekil 3.6. Fotovoltaik pil

3.1.7. Debimetre

Isı transfer akışkanı olarak su kullanılan sistemde şamandıralı debimetre, nanoakışkan kullanılan sistemde ise nanopartikül birikmesini engellemek aynı zamanda akışa müdahale etmemek için elektromanyetik debimetre kullanılmıştır.



Şekil 3.7.a)Debimetre b)Elektromanyetik debimetre

3.1.8. Isıl Çiftler

Sistemde kullanılan akışkanların sıcaklıklarını belirlemek için kollektörlerin giriş ve çıkışlarına ısı çiftleri yerleştirilerek sıcaklık tespiti yapılmıştır.



Şekil 3.8. Isıl çift

3.2. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları

3.2.1. Sıcaklık veri kayıt cihazı

Kollektör giriş ve çıkışlarına bırakılan ısı çiftlerinin kanallarını Şekil 3.9' da verilen TESTO marka 176 T4 model sıcaklık veri kayıt cihazına bağlayarak ölçümler elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Sıcaklık veri kayıt cihazı

3.2.2. Termo Higrometre

Deney düzeneğinin kurulu olduğu yerdeki havanın nemini ölçmek için Şekil 3.10' da verilen TESTO 435 marka çok amaçlı ölçüm cihazı ve başlığı kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Termo Higrometre

3.2.3. Piranometre

Deney düzeneğinin kurulu olduğu yerdeki güneş ışınım şiddetini Şekil 3.11' de verilen TESTO 435 marka ölçüm cihazı ve başlığı kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Piranometre

3.2.4. Anemometre

Deney yapılan mahaldeki hava hızını ölçebilmek için Şekil 3.12'de verilen TESTO 435 marka ölçüm cihazı ve başlığı kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Anemometre

3.3. Verilerin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler iki başlık altında incelenebilir.

- Nanoakışkanların temin edilmesi
- Deneyler sonucunda ölçülen verilerle kollektör veriminin hesaplanması

3.3.1. Nanoakışkanların temin edilmesi

Temel akışkan içerisine %0.2, %0.4 ve %0.8 olmak üzere üç farklı hacimsel oranda eklenmiş nanoakışkanlar NANOGRAPHİ firmasından temin edilmiştir. Deneylerde nanoakışkan olarak TiO_2 - su nanoakışkanı kullanılmıştır. Çizelge 3.1' de nanoakışkanın özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.13. Kollektöre eklenen TiO_2 - su nanoakışkanı

3.3.2. Kollektör Veriminin Hesaplanması

Kollektör verimi hesaplanırken kollektöre giren ve çıkan akışkanların sıcaklıkları, deneyin yapıldığı yerdeki ortam sıcaklığı, kollektör yüzeyine gelen ışıyım miktarı, havanın nemi, rüzgar hızı, kullanılan akışkanların özgül ısı değeri, hacimsel kütlesi, kollektör alanı gibi parametreler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada kullanılan düzlemsel kollektörlerin net alanı standartlardan daha küçüktür. Bu çalışmada verim hesabı yapılırken ASHRAE93-2003 standardı kullanılmıştır.

$$Q_u = \dot{m} * C_p * (T_c - T_g) \quad (3.1)$$

$$Q_u = A_c * F_R * [G_T - U_L(T_c - T_g)] \quad (3.2)$$

Burada C_p özgül ısı, φ hacimsel oran, $C_{p,np}$ TiO_2 için 692 j/kg K ve $C_{p,bf}$ saf su için 4182 j/kg K olarak alınmıştır. Her hacimsel oran için $C_{p,nf}$ değerleri hesaplanmıştır.

$$C_{p,nf} = C_{p,np}(\varphi) + C_{p,bf}(1 - \varphi) \quad (3.3)$$

C_p : Özgül ısı

$C_{p,np}$: TiO_2 için 692 j/kg K

φ : Kullanılan nanoakışkanın hacimsel oranı

A_c : Kollektör yüzey alanı

G_T : Işınım miktarı

F_R : Kollektör ısı transfer faktörü

U_L : Kollektördeki ısı transfer kayıp katsayısı

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{\dot{m} * C_p * (T_c - T_g)}{G_T} \quad (3.4)$$

Giriş sıcaklığının kullanılması durumunda kollektör verim ifadesinin birinci yasası eşitlik 3.4' de verilmiştir.

3.3.3. Hata Analizi

Deneyisel çalışmalarda elde edilen sonuçlar kadar önemli olan bir diğer etken , deneyler esnasında farklı nedenlerden ortaya çıkabilecek hatalardır. Deneyler sonuçlarında elde edilen verilerde, hata iki farklı şekilde bulunabilir. Birinci grupta, deney setinden ve ölçü aletlerinden kaynaklı hatalar, ikincisi ise deneyi yapan kişiden kaynaklı hatalardır. İkinci hata türündeki hatalarda tecrübeli bir araştırmacı tarafından tespiti yapılabilir ve hatalar giderilebilir. Ancak birinci tip hataların belirlenmesi ve giderilmesi deneyde kullanılan araç ve gereçlerden kaynaklı olduğu için her zaman kolay olmayabilir. Bütün bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek hatalar değerleri şu şekilde belirlenebilir.

Sıcaklık ölçümünde yapılan hatalar:

- Isıl çiftlerden kaynaklanan hatalar = $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hatalar = $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- Ortam sıcaklığının ölçülmesinde yapılacak ortalama hata = $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- Kollektör giriş ve çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılacak hata = $\pm 0.1^\circ\text{C}$

Zaman ölçümünden kaynaklanan hatalar:

- Periyodik olarak sıcaklık değerinin alınmasında yapılabilecek hata = ± 0.10 dakika
- Periyodik olarak hava hızının ölçümünden yapılabilecek hata = ± 0.10 dakika
- Periyodik olarak ışıınım hızının ölçümünden yapılabilecek hata = ± 0.10 dakika

- Periyodik olarak hava hızının ölçümünden yapılabilecek hata = ± 0.10 dakika
- Periyodik olarak nem hızının ölçümünden yapılabilecek hata = ± 0.10 dakika

Debi ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar:

- Debimetre okuma belirsizliği = $\pm 0.5-1$
- Sistem kaçakları ile ilgili belirsizlik = $\pm 0.5-1$
- Sıcaklık farklarından kaynaklanan belirsizlik = $\pm 0.5-1$

Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, tüm hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı,

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots \dots \dots \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Kollektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılacak toplam hata:

$$W_{T_{kg}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2]^{1/2} \quad (3.6)$$

(3.6) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde $\pm 0.165^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

Kollektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata:

$$W_{T_{kç}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (d_1)^2]^{1/2} \quad (3.7)$$

(3.7) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde $\pm 0.165^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

Boyle sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata:

$$W_{T_b} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (f_1)^2]^{1/2} \quad (3.8)$$

(3.8) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde $\pm 0.165^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

Ortam sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata:

$$W_{T_o} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (e_1)^2]^{1/2} \quad (3.9)$$

(3.9) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde $\pm 0.165^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam hata:

$$W_{t_s} = [(a_2)^2 + (b_2)^2]^{1/2} \quad (3.10)$$

(3.10) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde ± 0.1 dk olarak hesaplanmıştır.

Periyodik hava hızının ölçülmesinden oluşacak toplam hata:

$$W_{t_v} = [(a_2)^2 + (c_2)^2]^{1/2} \quad (3.11)$$

(3.11) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde ± 0.1 dk olarak hesaplanmıştır.

Periyodik olarak ısıtım ölçümünden yapılabilecek ortalama hata:

$$W_{t_i} = [(a_2)^2 + (d_2)^2]^{1/2} \quad (3.12)$$

(3.12) denklemi kullanılarak yapılan hata analizinde ± 0.1 dk olarak hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Nanoakışkanlar İle İlgili Bilgiler

Bu çalışmada TiO_2 nanoakışkanı, üç farklı hacimsel oranda %0.2, %0.4 ve %0.8 temel akışkan olan saf suyun içerisine eklenerek hazırlanmıştır. Kullanılan nanoakışkanın miktarı ve özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nanoakışkan miktarı ve özellikleri

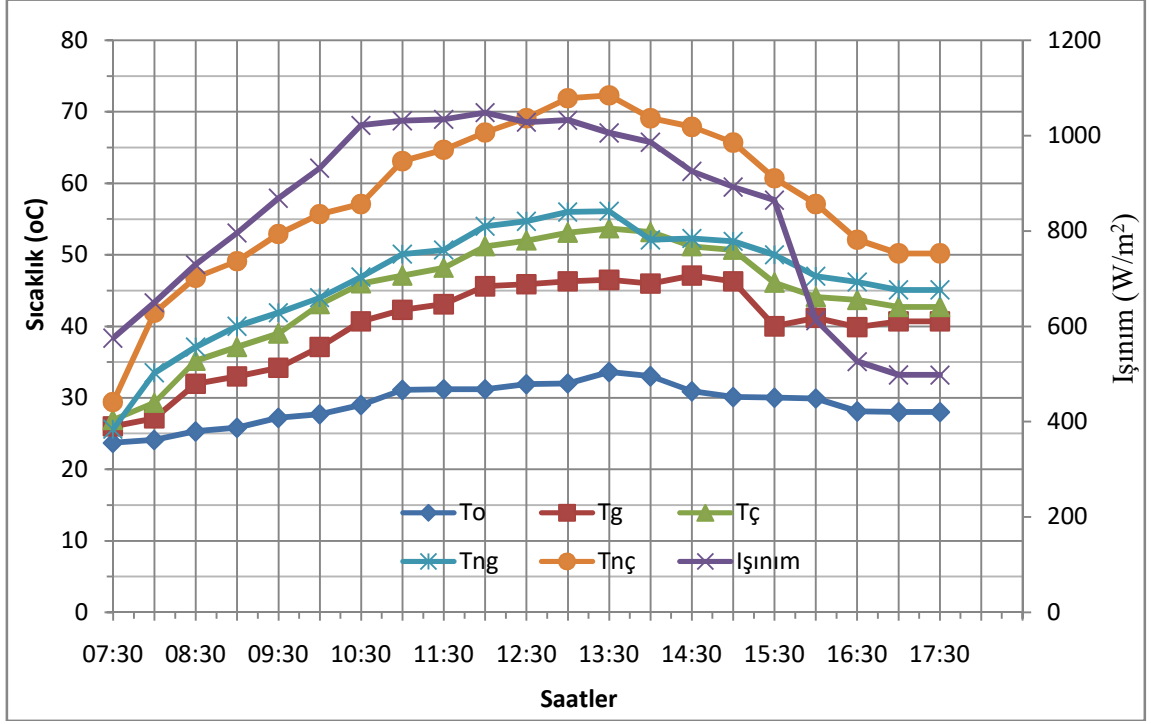
Nanoakışkan	Hacimsel Oran(%)	Partikül Boyutu (nm)	Nanoakışkan Kütlesi (gr)	V_{su} (mL)
TiO_2	0.02	25-45	4612.385	5000
	0.04	25-45	4728.312	5000
	0.08	25-45	503.753	5000

4.2. Kollektör Verim Deneyleri

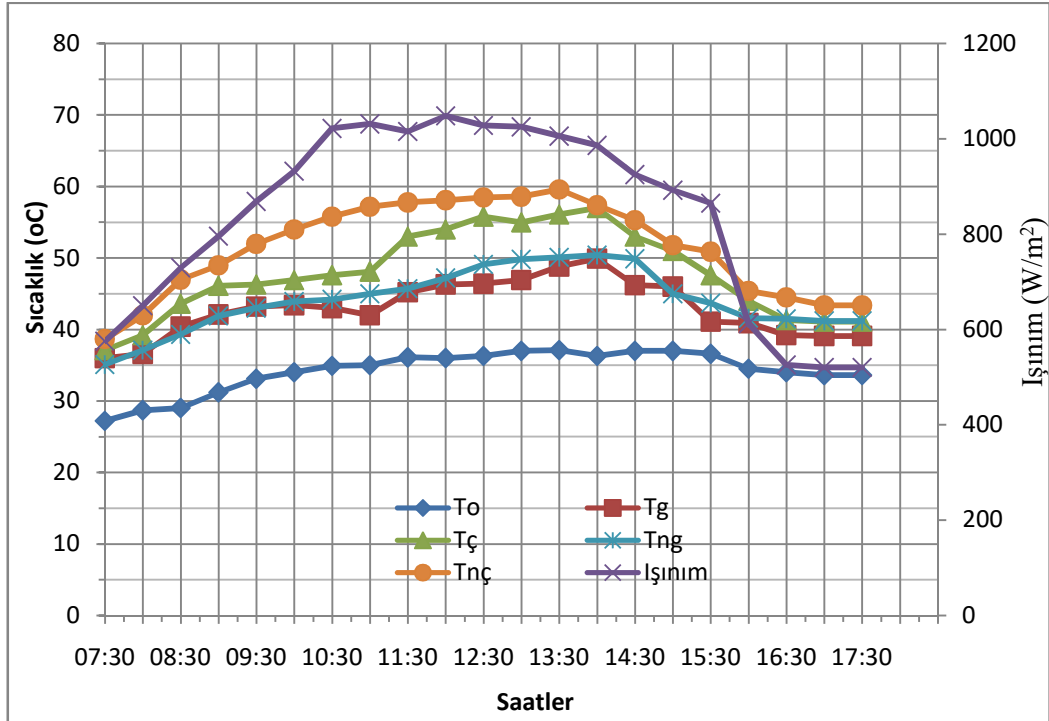
4.2.1. Gün içerisinde sıcaklık-ışınım-saat değişimleri

Düzlemsel güneş kollektörlerinde nanoakışkanların kollektör verimi üzerindeki etkilerini incelemek için iki farklı deney düzeneği hazırlanmıştır. Birinci düzenekte ısı transfer akışkanı olarak su, ikinci düzenekte ise farklı hacimsel oranlarda hazırlanan %0.2, %0.4, %0.8 oranlarındaki TiO_2 -saf su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneyler üç farklı hacimsel debide (50lt/h, 150lt/h ve 250lt/h) gerçekleştirilmiştir. Debi kontrolleri, ısı transfer akışkanı olarak sadece su kullanılan sistemde şamandıralı debimetre, nanoakışkan kullanılan sistemde elektromanyetik debimetre yardımıyla sağlanmıştır. İki sistemde her sabah kalibre edilip kararlı hale geldikten sonra, 07:30 ile 17:30 saatleri arasında 30 dakikada bir aynı anda kollektör giriş, kollektör çıkış ve ortam sıcaklıkları; ışıınım miktarı, rüzgar hızı, nem ve kullanma suyu sıcaklıkları ölçülerek iki sistem arasında kıyaslama yapılmıştır. Kollektör verim standartlarından ASHRAE standart koşullarını sağlayan veriler alınarak Şekil 4.2 ile Şekil 4.10 arasında verilmiştir. Bu iki sistemde farklı debilerdeki nanoakışkan ve suyun verim üzerindeki etkileri incelenmiş ve iki akışkan birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı sistemdeki tüm debi değerlerinde kollektör çıkış sıcaklığının su kullanılan sisteme göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kollektör giriş ve çıkış sıcaklıklarındaki bu değişimin sebebi;

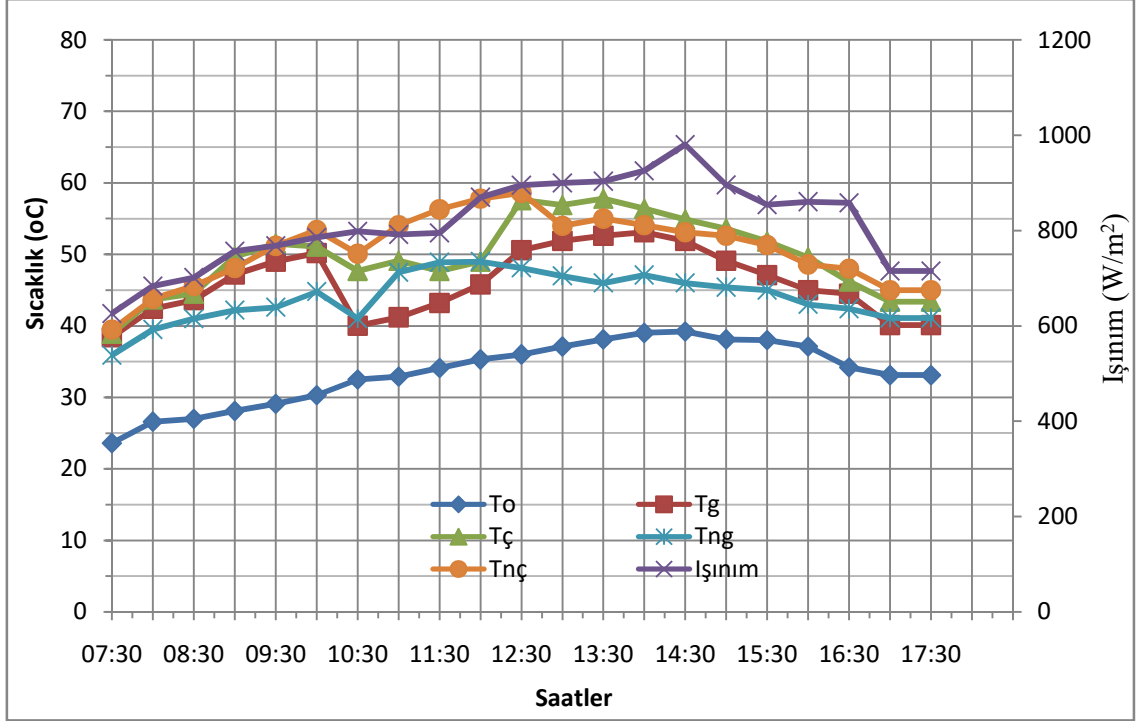
güneş ışınlam miktarı, rüzgarın hızı ve neme bağılı olduğu alınan ölçümlerle belirlenmiştir.



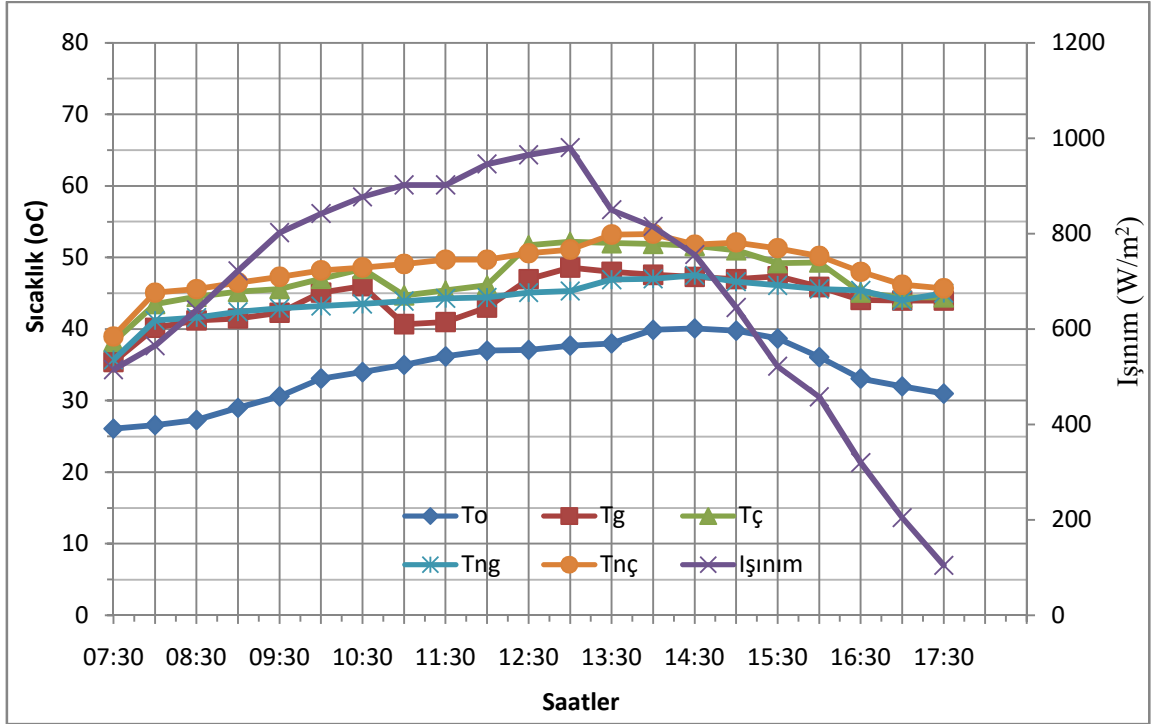
Şekil 4.1. % 0.2 TiO_2 hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler



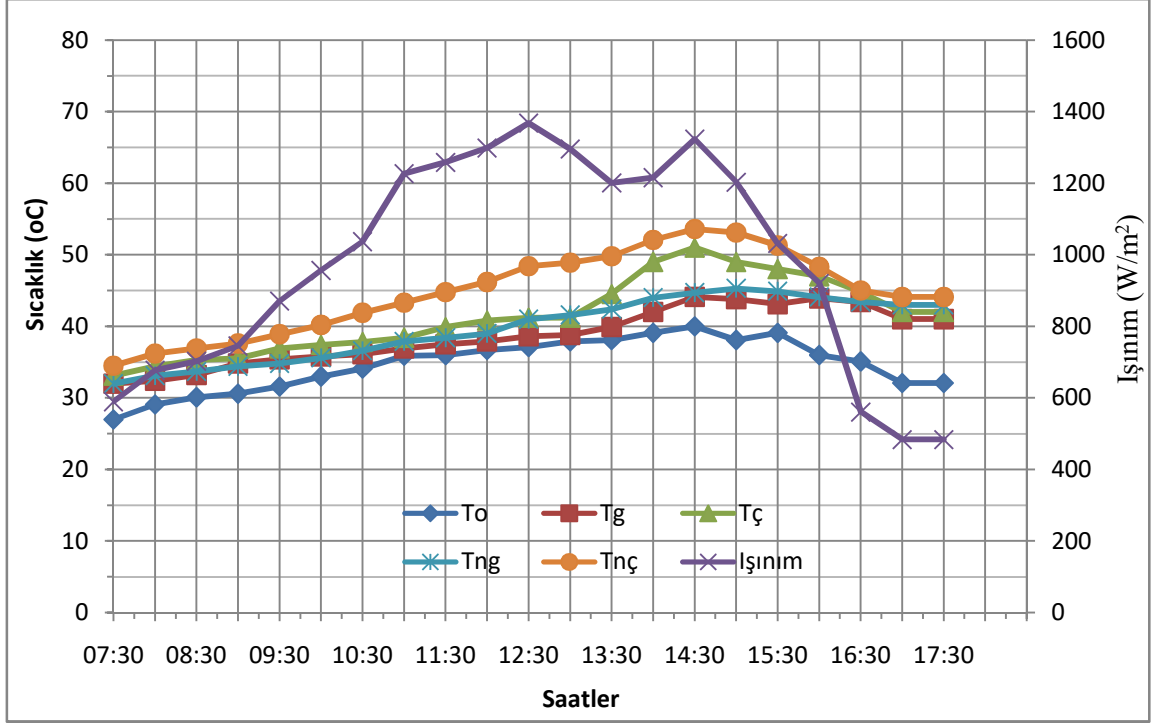
Şekil 4.2. % 0.2 TiO_2 hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler



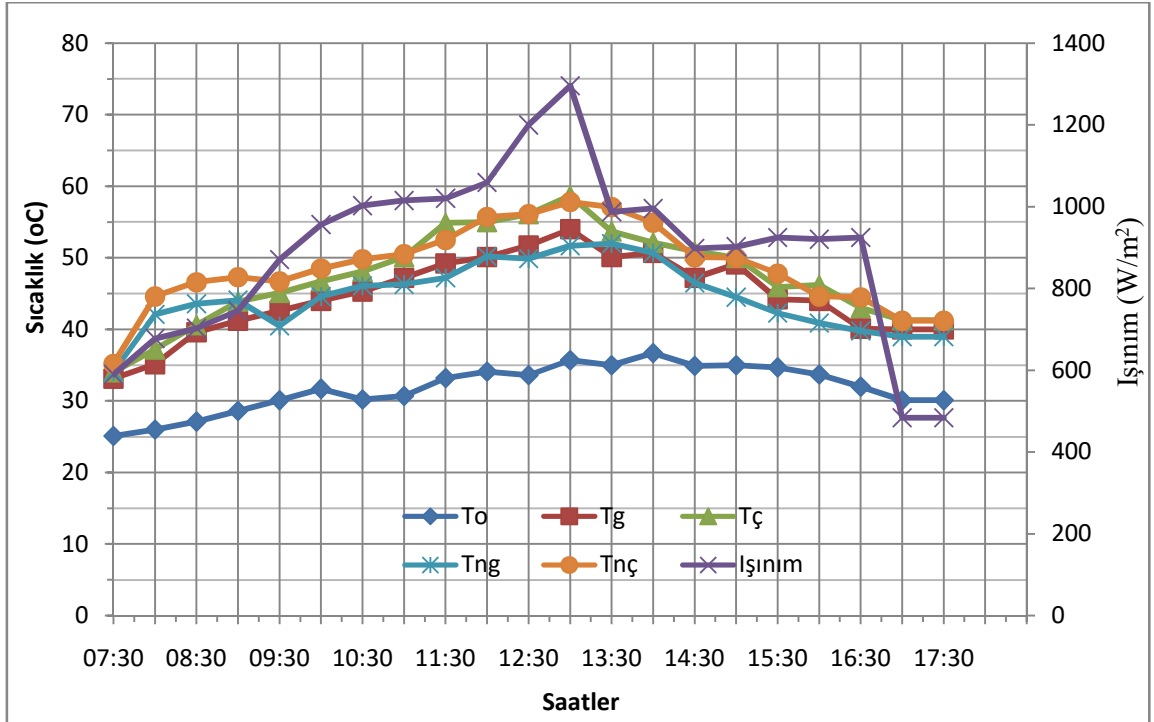
Şekil 4.3.% 0.2 TiO_2 hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler



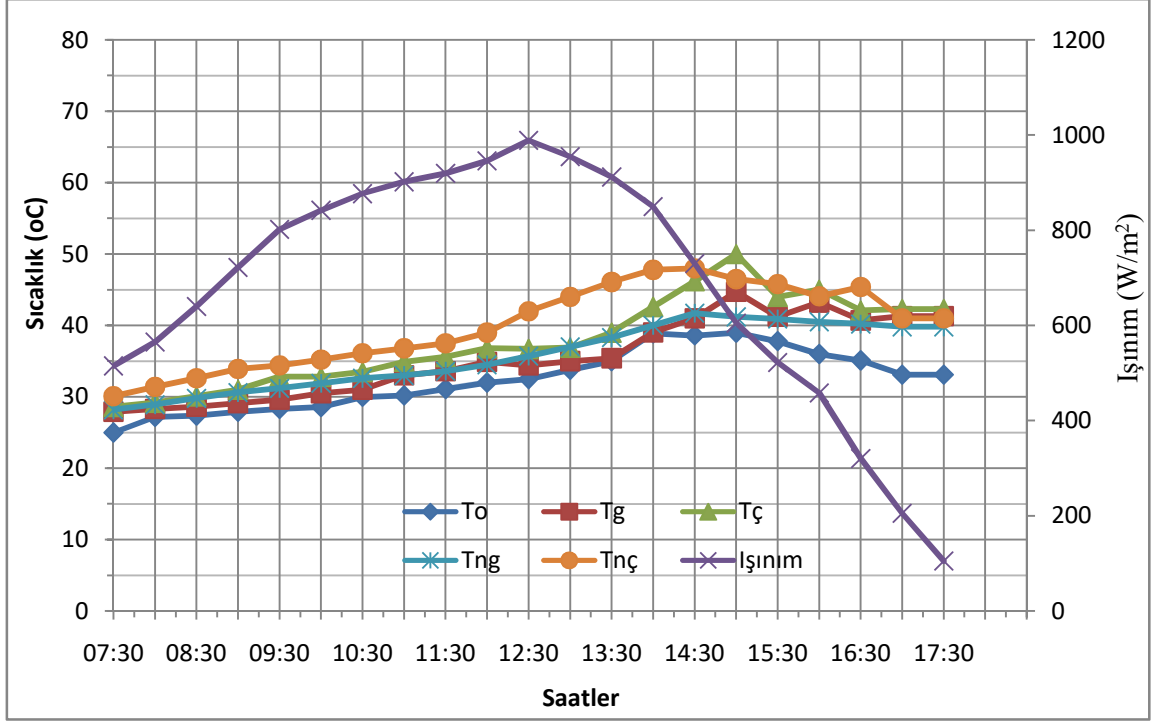
Şekil 4.4.% 0.4 TiO_2 hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler



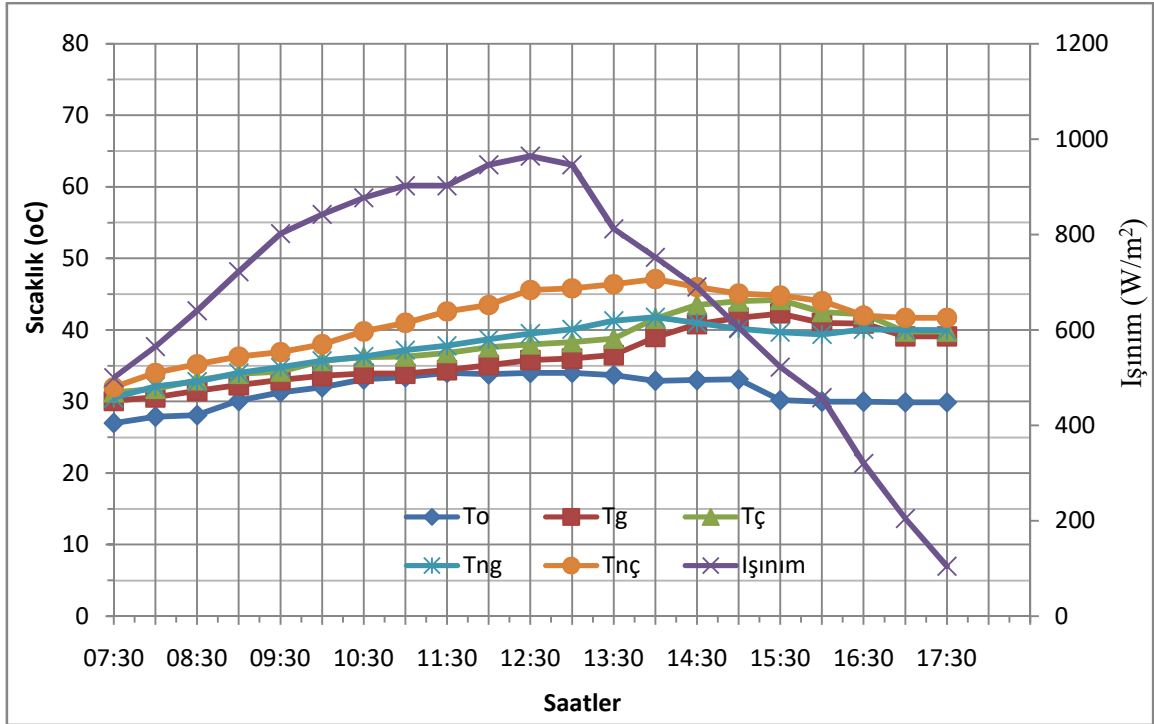
Şekil 4.5.% 0.4 TiO_2 hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler



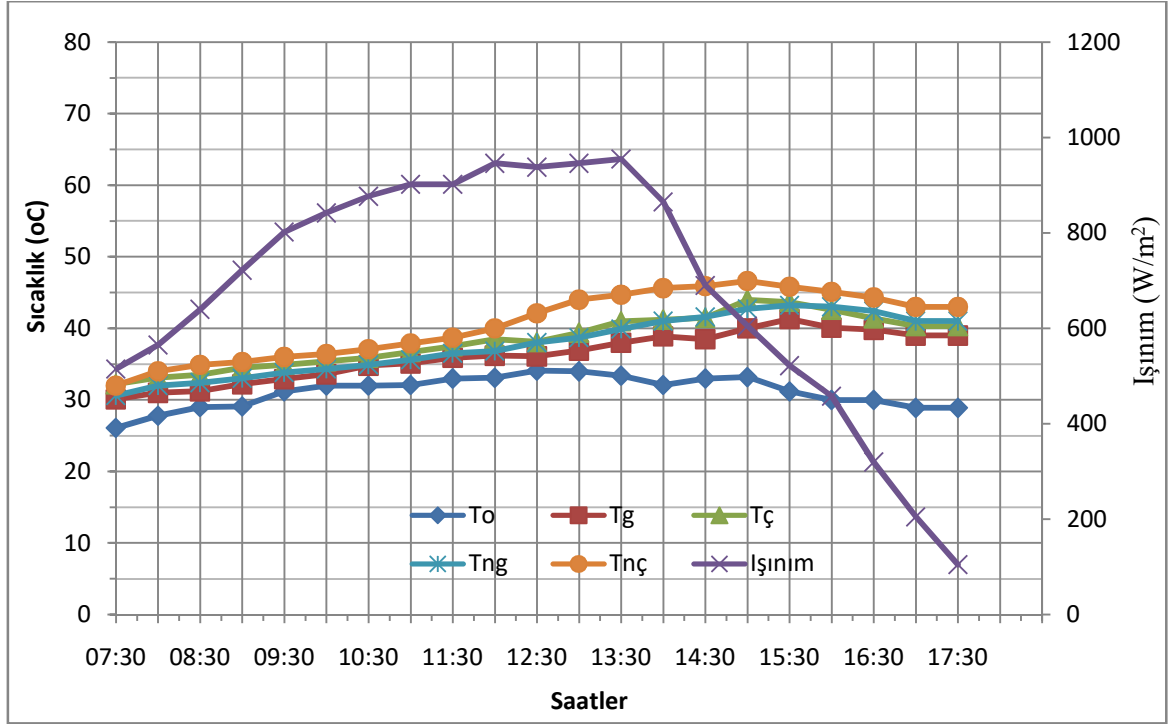
Şekil 4.6.% 0.4 TiO_2 hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler



Şekil 4.7.% 0.8 TiO_2 hacimsel oran ile 50lt/h debi için deneysel veriler



Şekil 4.8.% 0.8 TiO_2 hacimsel oran ile 150lt/h debi için deneysel veriler



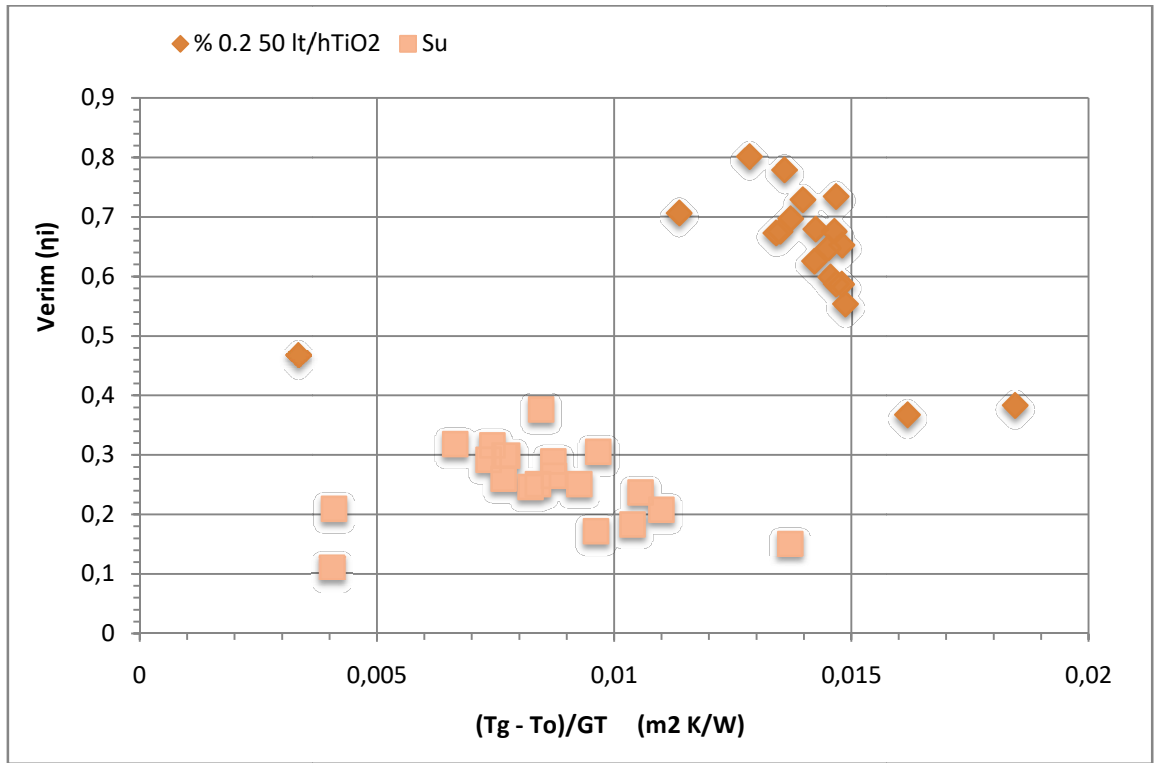
Şekil 4.9. % 0.8 TiO_2 hacimsel oran ile 250lt/h debi için deneysel veriler

Deneyler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde; maksimum ısıtım değerleri $1036-1360 \text{ W/m}^2$ aralığında olduğu görülmüştür bu değerler 12:30-14:00 arasında ölçülmüştür. Çalışmalar devam ederken ölçülen diğer değerler ise, ortam sıcaklığı $23^\circ\text{C}-40^\circ\text{C}$ arasında değişiklik göstermekte, havadaki nem oranı %15 ile %50 aralığında, havanın hızı $0.6-1\text{m/s}$ değerlerinde olduğu görülmüştür. Isı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan deney düzeneğinde kollektör giriş sıcaklıkları 26°C ile 56°C ve kollektör çıkış sıcaklıkları $30^\circ\text{C}-72^\circ\text{C}$ aralığında olduğu görülmüştür. Isı transfer akışkanı olarak sadece su kullanılan deney düzeneğinde bu değerler sırasıyla $26^\circ\text{C}-53^\circ\text{C}$ ve $27^\circ\text{C}-58^\circ\text{C}$ arasında olduğu ölçümler yapılarak tespit edilmiştir.

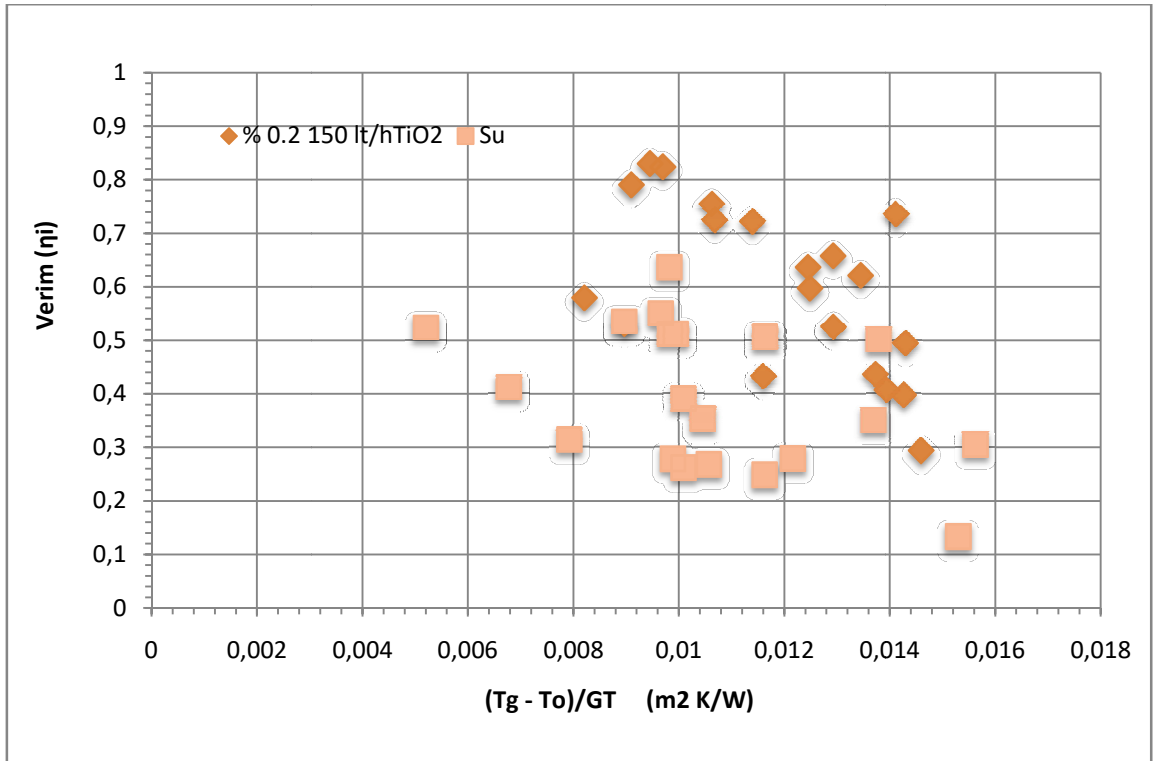
4.2.2. Kollektör Verim - $[(T_g - T_0)/G_T]$ Değişimleri

Verim hesaplamaları yapılan su ve nanoakışkan kullanılan iki sistemden elde edilen değerlerle Verim - $[(T_g - T_0)/G_T]$ değişim grafikleri Şekil 4.11 ile Şekil 4.19 arasında nanoakışkan miktarı ve hacimsel debilerine göre bu iki sistem karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tüm grafikler ve veriler incelendiğinde ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistem veriminin sadece su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumu iki parametreyi karşılaştırarak açıklayabiliriz, bu parametrelerden birincisi absorbe edilen enerji $[F_R(\tau \alpha)]$ diğeri ise ısı kaybı (U_L) ' dir.

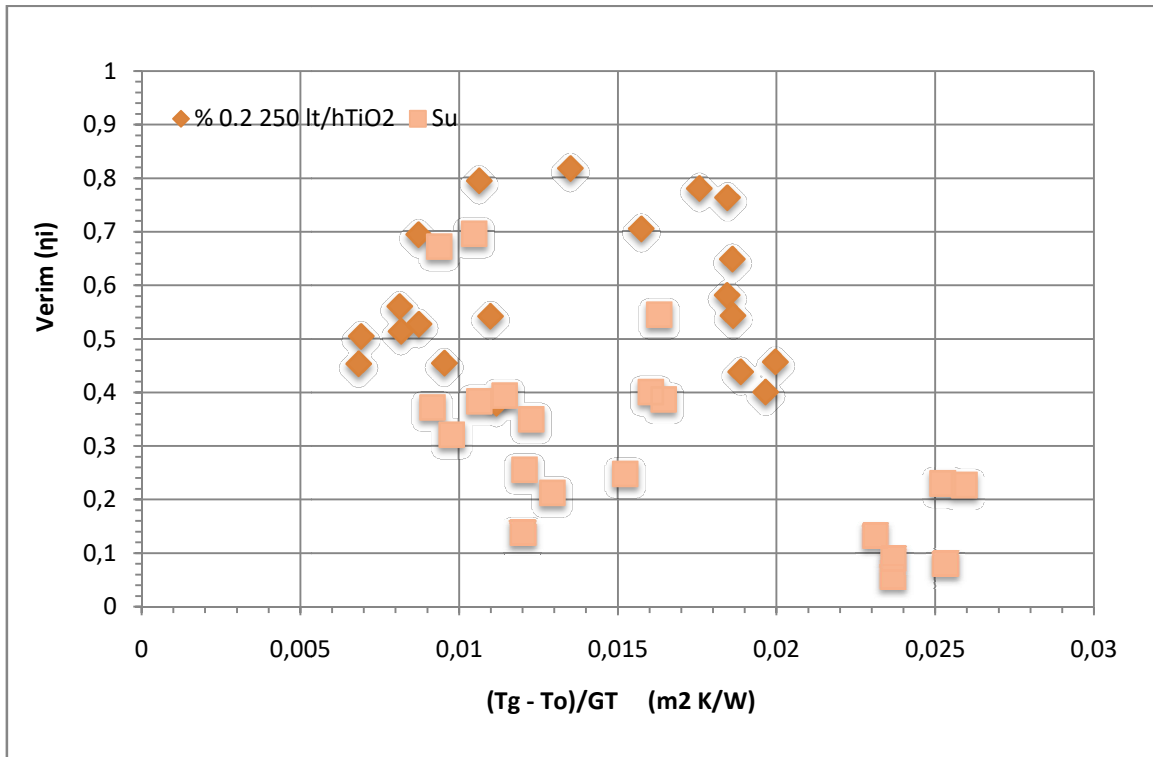
Absorbe edilen enerji yükseldiğinde kollektörden ayrılan enerji düşer ise verim artar. Küçük debilerde, akışkanın kollektörde kalma süresi yüksek debilere göre daha fazla olduğundan sıcaklığının arttığı görülür. Fakat çok küçük debilerde akışkan daha fazla enerji kayıplarının etkisinde olduğundan verim daha düşüktür. Yapılan bu çalışmada ısı transfer akışkanı olarak kullanılan üç farklı hacimsel oranlardaki %0.2, %0.4, %0.8 TiO_2 - su nanoakışkanlarıyla ve sadece su kullanılan deney düzeneklerindeki sonuçların kıyaslamalı olarak verildiği grafikler incelendiğinde nanoakışkan kullanılan sistemin su kullanılan sisteme göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi; nanoparçacıklar, karıştırıldığı akışkanın içindeki moleküller ile çarpışarak rastgele belli belirsiz hareket ederler bu hareketler sonucunda aştıkları yolun cebirsel toplamı sıfırdır. Bu tip harekete Brownian hareketi denir. Bu hareketin oluşturduğu kuvvet akışkan içinde etki eden net kuvvetin büyüklüğüne eşit sayılır bu sebeple nanoparçacıklar sıvı içinde ortam sıcaklığının etkisine bağlı olarak yüzerler. Bu verim artışında brownian hareketinin rolü büyüktür.



Şekil 4.10. %0.2 TiO_2 - su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

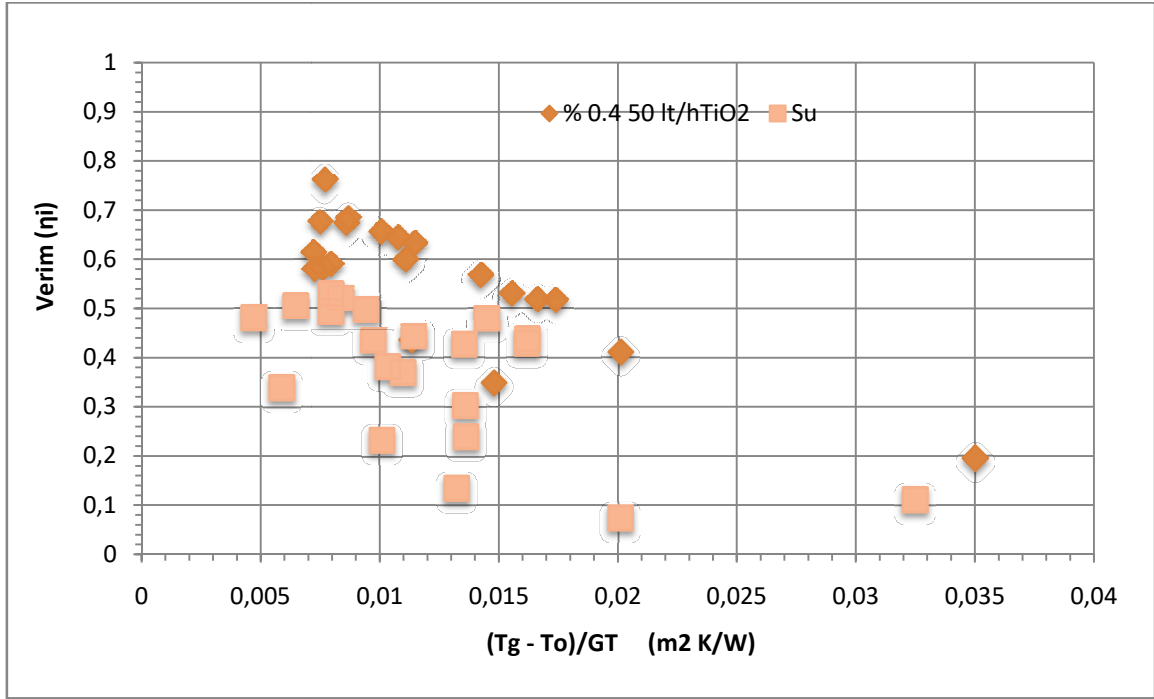


Şekil 4.11.%0.2 TiO₂- su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

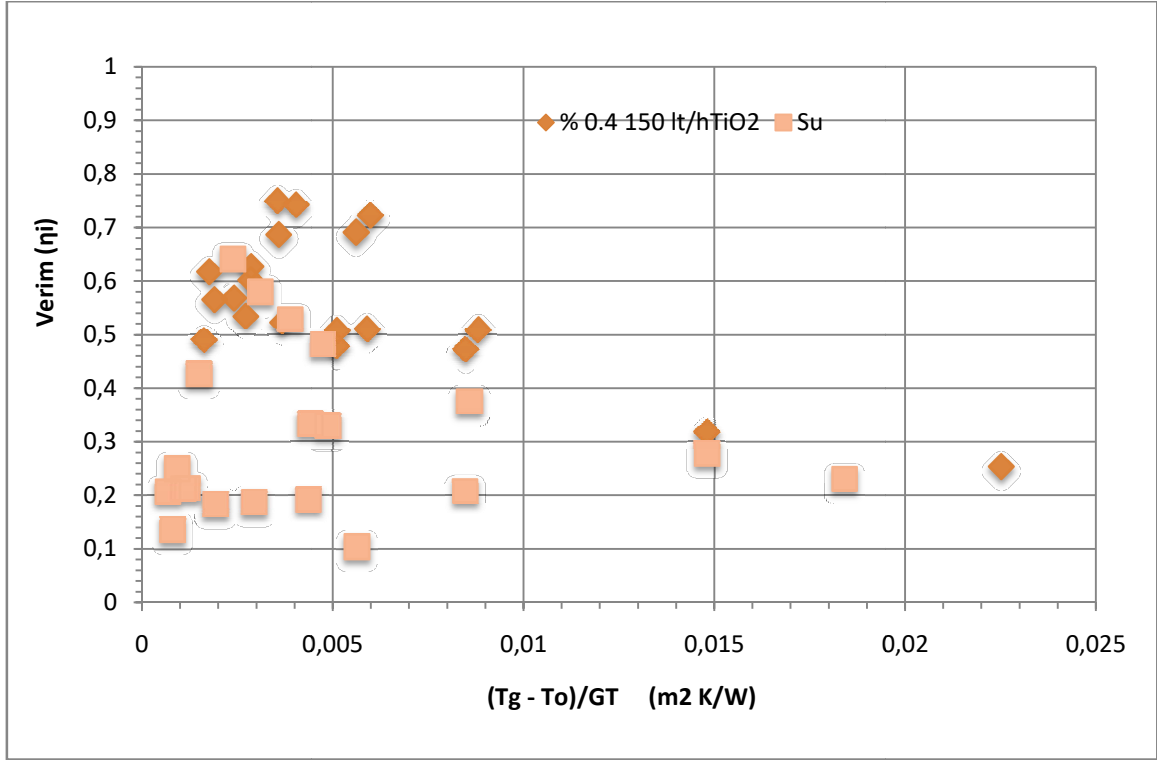


Şekil 4.12.%0.2TiO₂- su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

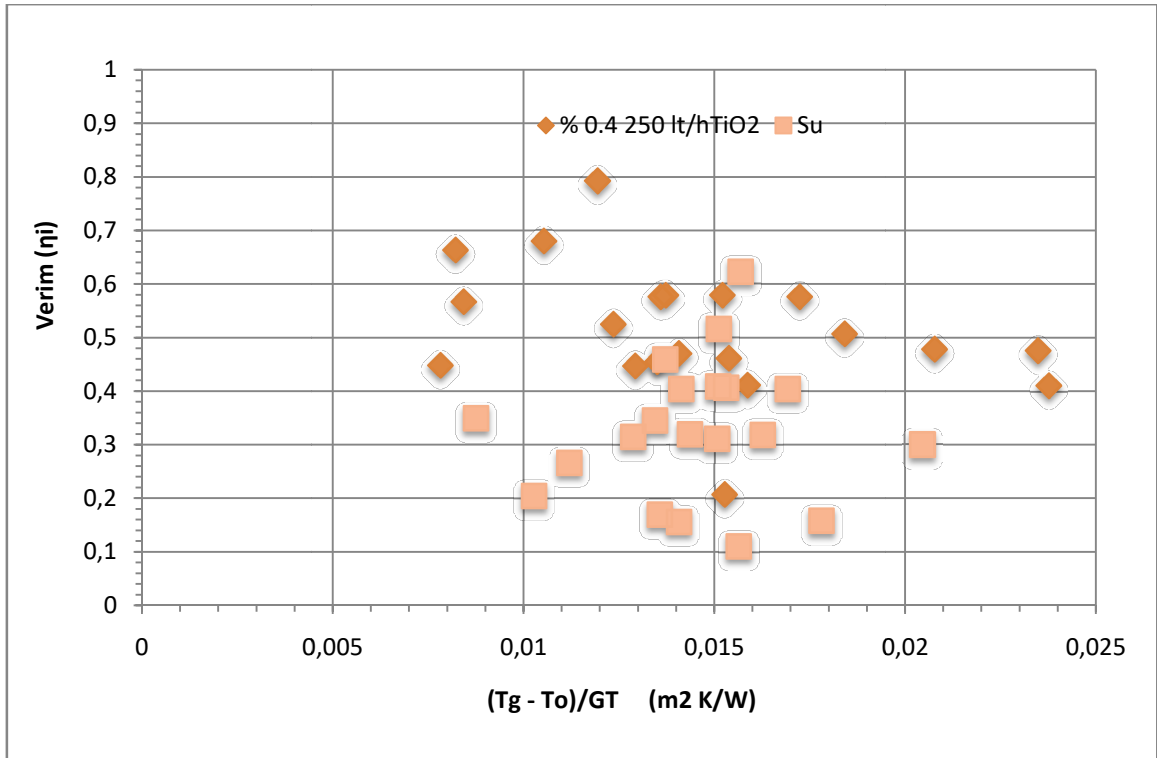
Şekil 4.11, şekil 4.12 ve şekil 4.13 grafikleri incelendiğinde % 0.2 hacimsel oranda 50, 150, 250 lt/h debideki deney sonuçlarına göre, nanoakışkanlı sistem sulu sistemle kıyaslandığında verim değerleri sırasıyla %61, % 58 ve % 56 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla debi arttıkça verimin azaldığı görülmektedir. Yüksek debilerde ısı transfer katsayısının, akışkanın ısıl iletkenliği ile hiçbir önemli bağıllığı bulunmamaktadır. Bu sebepten kaynaklı ısıl iletkenliğin etkisi daha az belirgin olur.



Şekil 4.13.%0.4 TiO₂- su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

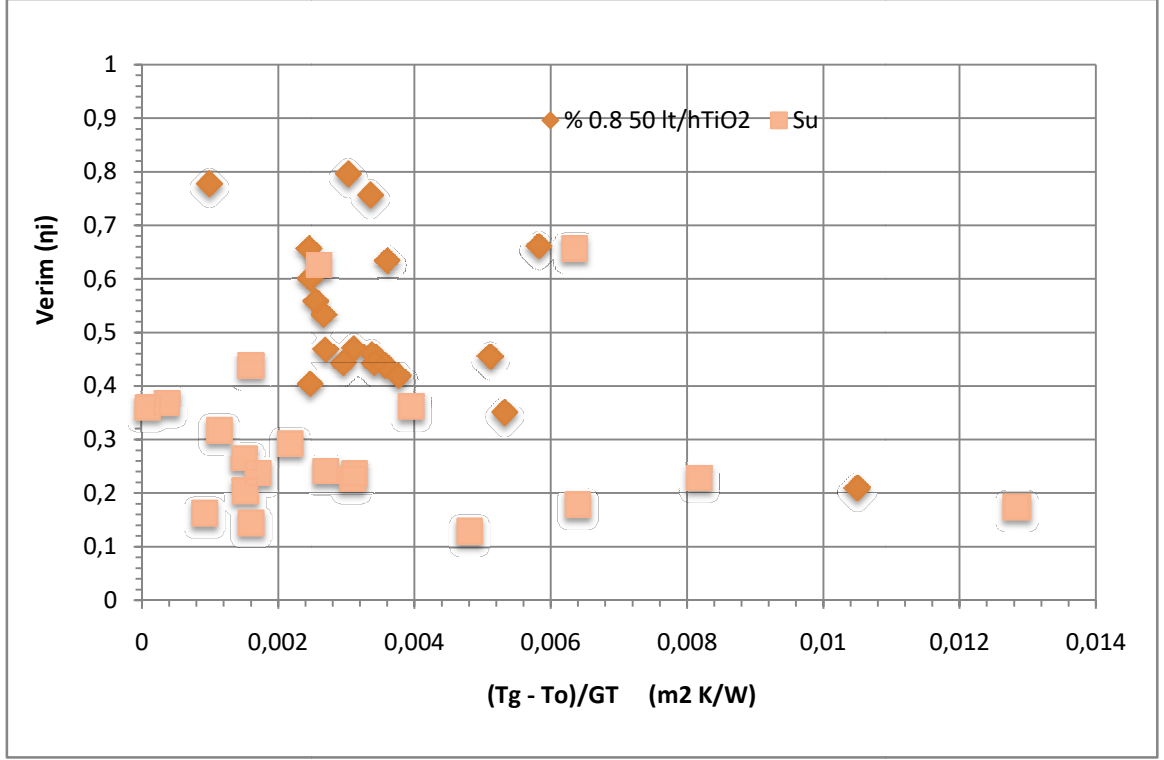


Şekil 4.14.%0.4 TiO₂- su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

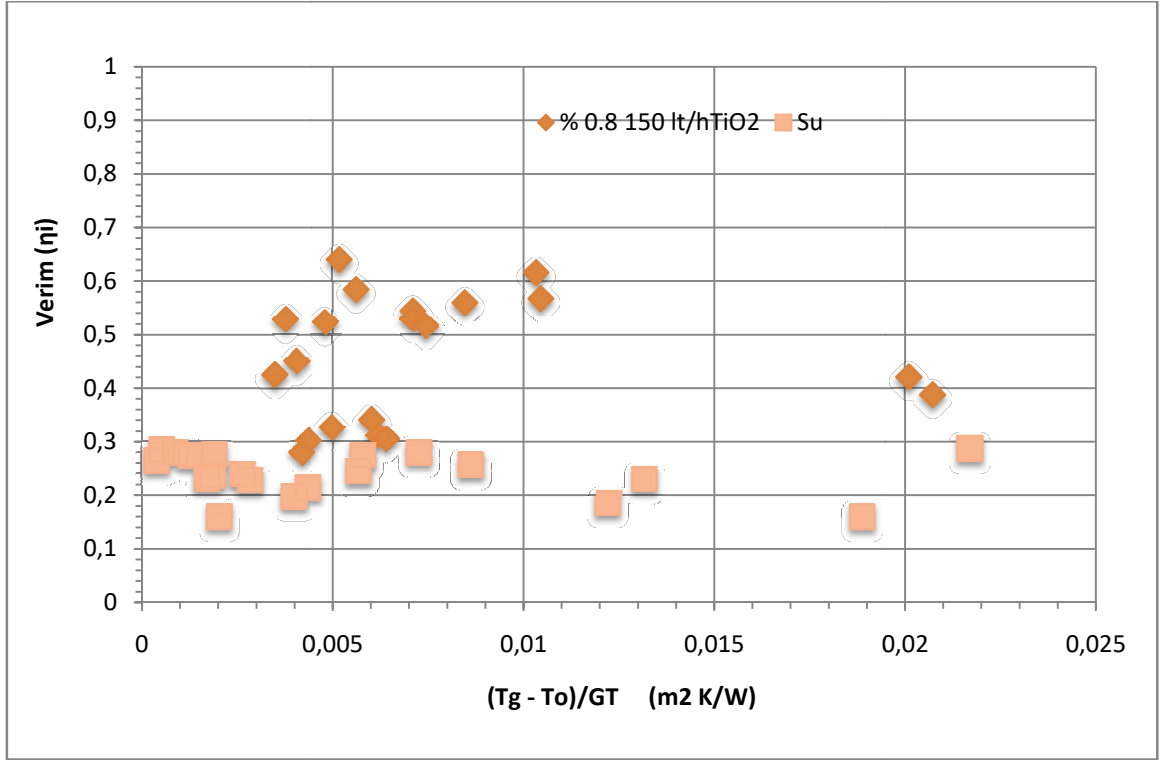


Şekil 4.15.%0.4 TiO₂- su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

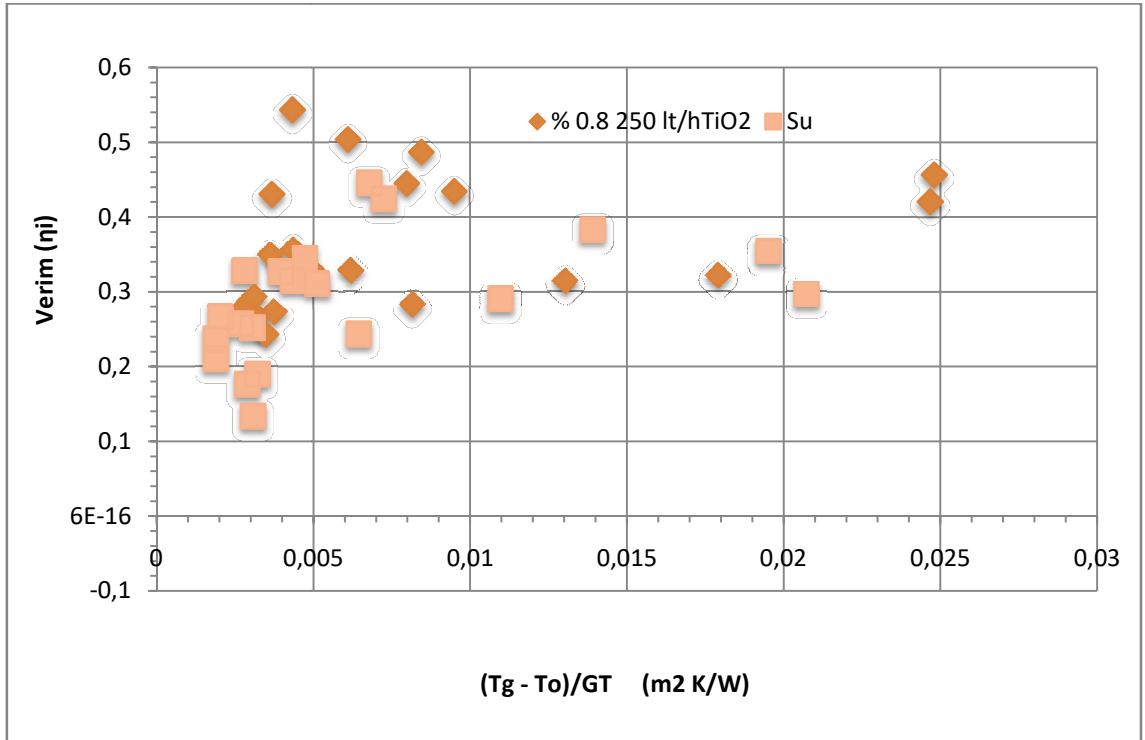
Şekil 4.14, şekil 4.15 ve şekil 4.16 grafikleri incelendiğinde % 0.4 hacimsel oranda 50,150 ve 250 lt/h debideki deney sonuçlarına göre nanoakışkanlı sistem verimi %56, %54 ve %51 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Nanoakışkan kullanılan sistemin sadece su kullanılan sisteme göre daha verimli çalıştığını ve sistemin debisi arttıkça verimin azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.16. %0.8 TiO_2 - su hacimsel oran ile 50lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi



Şekil 4.17.%0.8TiO₂- su hacimsel oran ile 150lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi



Şekil 4.18.%0.8 TiO₂- su hacimsel oran ile 250lt/h debi için verim - $[(T_g - T_o)/G_T]$ değişimi

Grafikler incelendiğinde, tüm debi değerlerine göre TiO₂ - su için %0.2, %0.4, ve %0.8' lik hacimsel oranlarda suya göre verimde sırasıyla maksimum %61, %56,

%51 artış elde edilmiştir. Tüm grafikler (şekil 4.11 - şekil 4.19) incelendiğinde nanoakışkan kullanılan sistem verimi su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca debi değeri arttıkça sistem veriminin düştüğü ve hacimsel konsantrasyon arttıkça verimin düştüğü tespit edilmiştir.

Yapılan deneylerde hesaplanan verim değerleri %0.2 için 50lt/h debi için %61, %0.2 için 150lt/h debide %58, % 0.2 için 250lt/h debide % 56 olduğu aynı şekilde %0.4 ve %0.8 için 50, 150, 250 lt/h debilerinde sırasıyla %56, %54, %51 ve %51, %45, %37 olduğu elde edilen sonuçlarla tespit edilmiştir. Budak, (2016) yaptığı çalışmada TiO_2 - su nanoakışkanı için elde ettiği sonuçlar %0.2, % 0.4, % 0.8 hacimsel konsantrasyonda su kullanılan sisteme göre sırasıyla % 52.55, % 47.6 ve % 35.7 artış olduğu elde etmiştir. Bu iki çalışma sonuçları mukayese edildiğinde, düzlemsel güneş kolektörü net yüzey alanı azaldıkça kolektör veriminin arttığı sonucuna varılmıştır. Yani akışkanın kolektör içindeki dolaşım alanı ne kadar az olursa akışkanın ısı kaybetmesi aynı oranda azalmaktadır. Kolektörden çıkan su girişe gelene kadar çok ısı kaybetmeden kolektöre tekrar girerek performansı olumlu yönde etkilemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak T_iO_2 - su nanoakışkanı özel imalatla yapılan $1 m^2$ net alana sahip düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Kollektörün $1 m^2$ lik kullanılma sebebi Budak (2016)' da yapmış olduğu çalışmadan yola çıkarak kollektör alanının verim üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Çalışmada 2 sistem kurulmuştur birinde sadece ısı transfer akışkanı olarak su diğerinde %0.2, %0.4, %0.8 hacimsel oranlarda T_iO_2 - su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneyler iki sistemde de 50, 150, 250 lt/h debilerinde eş zamanlı olarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Nanoakışkan kullanılan sistemdeki deneyler ile su kullanılan sistemdeki deney sonuçları kıyaslandığında kollektör çıkış sıcaklıkları nanoakışkan kullanılan sistemde suya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Nanoakışkan kullanılan sistemdeki kollektör çıkış ve kollektör giriş sıcaklığı farkı su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Yüksek debilerde sıcaklık artışı küçük olduğundan kollektör veriminin debiden bağımsız olduğu görülmüştür.
- Yapılan deneylerde hesaplanan verim değerleri %0.2 için 50lt/h debi için %61, %0.2 için 150lt/h debide %58, % 0.2 için 250lt/h debide % 56 olduğu aynı şekilde %0.4 ve %0.8 için 50, 150, 250 lt/h debilerinde sırasıyla %56, %54, %51 ve %51, %45, %37 olduğu elde edilen sonuçlarla tespit edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlara göre maksimum verim %0.2 hacimsel oranda 50 lt/h debide T_iO_2 - su nanoakışkanı kullanılan sistemde % 61 oranında olduğu tespit edilmiştir.
- Aynı zamanda, standart boyutları dışında özel olarak imal edilen yüzey alanı daha küçük ($1 m^2$) düzlemsel güneş kollektörleri kullanılarak kollektör net alanının verim üzerindeki etkisini incelemek üzere kurulan deney düzeneğinde sonuçlar kollektör alanı küçülse bile sistemde nanoakışkan kullanıldığında; hem su hemde daha büyük alanlı düzlemsel güneş kollektörlerine göre verimin daha fazla olduğunu göstermiştir.

5.2. Öneriler

- Aynı çalışma koşullarında farklı aylarda T_iO_2 - su nanoakışkanı kullanılarak ısı verim incelenebilir.
- Benzer şekilde aynı ekipmanlarla farklı nanoakışkanlar kullanılarak ısı verim incelenebilir.
- Aynı nanoakışkanı farklı boyutlardaki düzlemsel güneş kolektörlerinde eş zamanlı kullanarak incelemeler yapılabilir.
- Nanoakışkan partikül oranı küçültülerek benzer bir çalışma yapıp partikül miktarının ısı verimindeki değişimi araştırılabilir ve benzer çalışmalarla kıyaslama yapılabilir.
- Nanoakışkan kullanımını artırabilmek için farklı sistemlerde nanoakışkan kullanıp nanoakışkanın etkileri incelenebilir.
- Güneşlenme süresi fazla olan ülkemizde güneş enerjisinin önemini ve kullanımını artırabilmek için bu alanda güneş enerji sisteminin verimini artıracak benzer çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Ahuja, A.S., 1982, Thermal Design of a Heat Exchanger Employing Laminar Flow of Particle Suspensions, *Int. J. Heat Mass Trans*, 25(5), 725-728.
- Akyürek, E.F., 2014. Nanoakışkanların ve Türbülatorlerin İç İçe Borulu Isı Değiştirici Isıl Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum
- Anonim, 2017, Dünya ve Türkiye, Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Ankara, 3-4
- Akiner, T. 2018, Molecular dynamics study of water- hbn nanofluid, Doctor of Philosophy, *Boğaziçi University*, İstanbul, 102-117.
- Ahmed, S.A. 2019, TiO_2 - su nanoakışkan kullanılarak araba radyatörler performansının geliştirilmesi, Yüksek Lisans, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 82-83
- Artuç, M., 2007. Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi,
- Benli, H., 2016. Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 99–109.
- Bianco, V., Manca, O. ve Nardini, S., 2011, Numerical Investigation on Nanofluids Turbulent Convection Heat Transfer inside a Circular Tube, *International Journal of Thermal Sciences*, 341-349.
- Budak, N., 2016, Güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı verime etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 100-117.
- Budak Ziyadanoğulları, N., 2018, Thermal performance enhancement of flat -plate solar collectors by means of three different nanofluids, *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 55-65.
- Ceylan, A., Jastrzembski, K., Shah, S.I., 2006. Enhanced solubility Ag-Cu nanoparticles and their thermal transport properties. *Metall. Mater. Trans. A*, 37A 2033-2038.
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Chandra Bose, A., 2010, Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al_2O_3 /water nanofluid. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 34 (2), 210-216.
- Chen, L. and Xie, H., 2010, Surfactant-free nanofluids containing double- and single-walled carbon nanotubes functionalized by a wet-mechanochemical reaction. *Thermochimica Acta*, 497 (1-2), 67-71.
- Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E. ve Grulke, E. A., 2001, Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspension, *Appl. Phys*, 79, 2252-2254.

- Choi, S., 1995, Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flow, *D.A. Siginer and H.P. Wang, eds.*, ASME, New York, 231 (66), 99-105.
- Choi, S.U.S., Eastman, J.A., 1995, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *International Mechanical Engineering Congress and Exhibition*, San Francisco, 12-17.
- Colangelo, G., Favale, E., Laforgia A, D., 2013, A new solution for reduced sedimentation flat panel solar thermal collector using nanofluids, *Applied Energy*, 111, 80–93.
- Das, S.K., Choi, S.U.S., Patel, H.E., 2006, Heat transfer in nanofluids-a review, *Heat Transfer Engineering*, 27 (10), 3-19.
- Demirbas, M.F., 2006, Thermal energy storage and phase change materials an overview, *Energy Sources Part B*, 1 (1), 85-95.
- Eastman, J., Choi, S. U. S., Li, S., Thompson, L., ve Lee, S., 1997, Enhanced Thermal Conductivity Through the Development of Nanofluids, Proceedings of the Symposium on Nanophase and Nanocomposite Materials II, *Materials Research Society*, Boston, 457,3-11.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Yu, W., and Thompson, L.J., 2001. Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 78 (6), 718-720.
- Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Yu, W. ve Thompson, L.J., 2001, Anomalously Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.*, 78, 714–720.
- EI-Said, E.M., Kabeel, A.E., 2013, Applicability of flashing desalination technique for small scale needs using a novel integrated system coupled with nanofluid based solar collector. *Desalination*, 333, 10–22.
- Erkut, T. Z., 2012, Nanoakışkan Kullanarak Elektrikli Radyatörlerin Isıl Veriminin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.
- Erol, E., 2018, Borulu tip ısı değiştiricilerde, TiO_2 nanoakışkanı kullanılarak ısı iletkenliğinin artırılması, Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Gupta, H.K., Agrawal, G.D., Mathur J., 2015. Investigations for effect of Al_2O_3 – H_2O nanofluid flow rate on the efficiency of direct absorption solar collector, *Case Studies in Thermal Engineering*, 5, 70-78.
- Gupte, S.K., Advani, S.G., Huq, P., 1995, Role of micro-convection due to non-affine motion of particles in a mono-disperse suspension. *Int. J. Heat Mass Tran*, 38, 16, 2945-2958, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

- He, Q., Zeng, S., Wang, S., 2015, Experimental investigation on the efficiency of flat plate solar collectors with nanofluids. *Appl Thermal Eng*, 88, 165–171.
- Jang, S.P., Choi, S.U.S., 2006. Cooling performance of a microchannel heat sink with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 26 (17-18), 2457-2463.
- Kaya,H. 2018, Nanoakışkan kullanılan vakum tüplü güneş kolektörünün ısı veriminin deneysel ve sayısal incelenmesi, Doktora, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 115-118
- Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. ve Eastman, J.A., 2002, Mechanisms of Heat Flow in Suspensions Of Nano-Sized Particles Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45, 855–863.
- Khanafer, K., Vafai, K. ve Lightstone, M., 2003, Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. Heat and Mass Trans*, 46, 3639–3653.
- Kılıç, Ç.K.,2015,Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim teknolojileri,56.
- Kim D., Kwon Y.H., Cho Y.H., Li C., Cheong S., Hwang Y., Lee J.K., Hong D.S., ve Moon S., 2009, Convective Heat Transfer Characteristics of Nanofluids under Laminar and Turbulent Flow Conditions, *Current Applied Physics*, 9 (2), 119-123.
- Kleinstreuer C., Feng Y., 2011, Experimental and theoretical studies of nanofluid thermal conductivity enhancement: a review. *Nanoscale Research Letters*, 6, 229.
- Kole, M., Dey, T.K., 2010, Viscosity of alumina nanoparticles dispersed in car engine coolant. *Exp. Therm. Fluid Sci*, 34 (6), 677-683.
- Kumaresan, V.,Velraj,R., 2012, Experimental investigation of the thermo-physical properties of water–ethyleneglycol mixture based CNT nanofluids.*Thermochim Acta*, 545(0), 180–6.
- Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G. ve Galanis, N., 2005, Heat Transfer Enhancements by Using Nanofluids in Forced Convection Flows, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26, 530–546.
- Masuda, H., Ebata, A.,Teramae, K., Hishinuma., N., 1993, Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles), *Netsu Bussei (Japan)* 4 (4), 227-233.
- Maxwell, J.C., 1904, A treatise on electricity and magnetism, *Oxford University Press*, 480p, Cambridge.
- Maxwell, J.C., Electricity and Magnetism, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
- Moghadam, A.J., Farzane-Gord, M., Sajadi, M., Hoseyn-Zadeh, M., 2014, Effects of CuO/water nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector,*Exp Thermal Fluid Sci*, 58, 9–14.

- Moghaddami, M., Mohammadzade, A. ve Esfehiani, S.A.V., 2011, Second Law Analysis of Nanofluid Flow, *Energy Conversion and Management*, 52, 1397-1405.
- Morini, G. L., Lorenzini, M., Single-phase fluid flow and heat transfer in microchannels, *Mühendis ve Makine*, 47 (557), 68-96.
- Mukherjee S., Paria S., 2013, Preparation and stability of nanofluids-a review, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9 (2), 63-69.
- Murshed, S., Leong, K., ve Yang, C., 2008, Thermophysical and Electrokinetic Properties of Nanofluids - a Critical Review, *Appl. Therm. Eng*, 28(17-18), 2109-2125.
- Nguyen C.T., Galanis N., Roy G., Divoux S., ve Gilbert D., 2006, Pool Boiling Characteristics of Water-Alumina Nanofluids, Proc, 13th Int, *Heat Transfer Conf*, Sydney, 8-20.
- Özerinç, S., Kakaç, S., Yazıcıoğlu, A.G., 2009, "Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review". *Microfluidics and Nanofluidics*, 8 (2), 145-170.
- Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Exp. Heat Transf Int. J*, 11(2), 151-170.
- Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998, Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles, *Experiment Heat Transfer*, 11(2), 151-170.
- Pirahmadian, P. H., Ebrahimi, A., 2012, Theoretical investigation heat transfer mechanisms in nanofluids and the effects of clustering on thermal conductivity, *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2, 2.
- Rao, C.N.R. Müller, A. Cheetham, A.K., 2005, The chemistry of nanomaterials: synthesis, properties and applications, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 741p, Weinheim.
- Roy, G., Nguyen, C.T., ve Lajoie, P.-R., 2004, Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer in a Radial Flow Cooling System with the Use of Nanofluids, *Superlatt, Microstructure*, 35 (3-6), 497-511.
- Said, Z., Saidur, R., Rahim, N.A., Alim, M.A., 2014, Analyses of exergy efficiency and pumping power for a conventional flat plate solar collector using SWCNTs based nanofluid, *Energy Build*, 78, 1-9.
- Sarkar, J., 2013, Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical carbon dioxide as heat transfer fluid, *Int J Sustain Energ*, 32, 531-43.
- Singh, D., Toutbort, J., Chen, G. et al., 2006, Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation, Annual Report, Argonne National Laboratory.

- Sohn, C.W., ve Chen, M.M., 1981, Microconvective Thermal Conductivity in Disperse Two-Phase Mixtures as Observed in a Low Velocity Couette Flow Experiment, *J. Heat Transfer*, 103, 45-51.
- Sundar, L.S., Singh, M.K., 2013, Convective heat transfer and friction factor correlations of nanofluid in a tube and with inserts: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 23-35.
- Sundar, L.S., Singh, M.K., 2013, Convective heat transfer and friction factor correlations of nanofluid in a tube and with inserts: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 23-35.
- Suresh, S., Chandrasekar, M. ve Sekhar, S.C., 2011, Experimental Studies on Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of CuO/Water Nanofluid under Turbulent Flow in a Helically Dimpled Tube, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 542-549.
- Şahin, B., 2010, Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, TÜBİTAK Proje No: 105M292, Erzurum.
- Wang, X., Choi, S. U. S., ve Xu, X., 1999, Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture, *J. Thermophys Heat Transfer*, 13(4), 474-480.
- Wen, D. ve Ding, Y., 2004, Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions, *Int. J. Heat and Mass Trans*, 47, 5181–5188.
- Witharana, S., Chen, H., Ding, Y., 2010, Nanofluids for Heat Transfer, *Handbook of Nanophysics, Nanoparticles and Quantum Dots*, 12p. Leeds.
- Wong, K.V., and Leon, O., 2010, Applications of nanofluids, *current and future. Advances in Mechanical Engineering*, 1-11, Article ID 519659.
- Wu, S., Zhu, D., Zhang, X. and Huang, J., 2010, Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/paraffin nanofluid as phase-change material (PCM), *Energy and Fuels*, 24(3), 1894-1898.
- Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., ve Ai, F., 2002, Dependence of the Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture on the Base Fluid, *J. Mater. Sci. Lett*, 21(19), 1469-1471.
- Xuan, Y., and Li, Q., 2000, Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int. J. of Heat and Fluid Flow*, 21 (1), 58-64.
- Xuan, Y., Roetzel, W., 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *Int J Heat Mass Transfer*, 43(19), 3701–3707.
- Xuan, Y., ve Roetzel, W., 2000, Conceptions For Heat Transfer Correlation of Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Trans*, 43(19), 3701-3707.
- Yu, Q., Kim, Y.J. and Ma, H., 2008, Nanofluids with plasma treated diamond nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 92 (10), Article ID 103111.

- Zhu, H., Han, D., Meng, Z., Wu, D., Zhang, C., 2011, "Preparation and thermal conductivity of CuO nanofluid via a wet chemical method". *Nanoscale Res Lett*, 6(1), 181.
- Zhu, H., Zhang, C., Tang, Y., Wang, J., Ren, B., Yin, Y., 2007, "Preparation and thermal conductivity of suspensions of graphite nanoparticles", *Carbon*, 45(1), 226-228.
- Zhu, H.T., Lin, Y. S., Yin, Y. S., 2004, "A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids", *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 100.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Kemal IŞIK, 1991 yılında Diyarbakır' da doğdu. Lise eğitimini Diyarbakır 80. Yıl Cumhuriyet Lisesi' nde tamamladı. 2010 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında iş hayatına kontrol mühendisi olarak başladığı Zeda Yapı Denetim Firması' nı 2016 yılında ayrılıp aynı yıl Diyarbakır Kayapınar Belediyesi'nde başladığı görevine halen devam etmektedir.

Uzmanlık alanları;

- Sıhhi Tesisat
- Isıtma ve Havalandırma
- İklimlendirme ve Soğutma
- Asansör periyodik kontrol
- Asansör avan ve uygulama