

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DOĞAL SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNDE
ÇEKİRDEK-KABUK YAPIDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI
TRANSFER PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Osman Samet ÖZDEMİR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DOĞAL SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNDE
ÇEKİRDEK-KABUK YAPIDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI
TRANSFER PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Osman Samet ÖZDEMİR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNDE
ÇEKİRDEK-KABUK YAPIDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI
TRANSFER PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman Samet ÖZDEMİR
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez / / 201..... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim ATMACA (Danışman)	
Prof. Dr. Meltem ASİLTÜRK	
Doç. Dr. Ayla DOĞAN	
Doç. Dr. Yılmaz AKSU	
Doç. Dr. Ahmet COŞKUN	

ÖZET

DOĞAL SİRKÜLASYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNDE ÇEKİRDEK-KABUK YAPIDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI TRANSFER PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman Samet ÖZDEMİR

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim ATMACA

Temmuz 2019; 94 sayfa

Bu tez çalışmasında her biri çekirdek-kabuk yapısına sahip üç farklı nanoakışkan kullanılarak, bu nanoakışkanların kapalı devre güneş enerji sisteminin performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Kullanılan nanoakışkanlar sırasıyla SiO_2 kabuk – TiO_2 çekirdek, SiO_2 kabuk – Fe_3O_4 çekirdek ve SiO_2 kabuk – ZnO çekirdek içeren partiküller ile elde edilmiştir. Baz akışkan olarak su kullanılan nanoakışkanların her üçünün konsantrasyonu da kütlece %2 olacak şekilde hazırlanmıştır. Nanoakışkanların ısı transfer performansına etkilerini incelemek için birbirinin aynısı iki deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney sistemleri düz plakalı kollektöre sahip doğal sirkülasyonlu kapalı devre güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleridir. Sistemlerden birinde çalışma akışkanı olarak saf su kullanılırken diğerinde nanoakışkanlar sıralı olarak kullanılmıştır. Böylece saf su kullanılan sistemin performansı referans kabul edilerek nanoakışkan kullanımının performans üzerine etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Kollektör giriş sıcaklığı, kollektör çıkış sıcaklığı, yutucu yüzey sıcaklığı, depo sıcaklığı, çevre sıcaklığı, güneş ışıma şiddeti ve rüzgâr hızı gibi parametrelerin zamanla değişimi kayıt altına alınarak iki farklı sistemin sistematik bir şekilde karşılaştırılması sağlanmıştır. Çalışma sonucunda; Fe_3O_4 - SiO_2 ve ZnO - SiO_2 esaslı nanoakışkan ile performans artışı elde edilirken, TiO_2 - SiO_2 esaslı nanoakışkanla bu artış gözlenememiştir. TiO_2 - SiO_2 esaslı nanoakışkan ile saf su kullanılan sisteme oranla taşınım katsayısında %4.13 azalma, Fe_3O_4 - SiO_2 kullanılan sistemde %8.60 artış ve ZnO - SiO_2 esaslı nanoakışkan kullanılan sistemde taşınım katsayısında %3.07 artış tespit edilmiştir. TiO_2 - SiO_2 çekirdek-kabuk yapılı nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde toplanan ortalama faydalı enerjide saf suya göre %1.97 azalma tespit edilirken, Fe_3O_4 - SiO_2 esaslı nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde saf suya nazaran %16.65, ZnO - SiO_2 çekirdek-kabuk yapıdaki nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde ise saf suya göre %5.4 artış olduğu görülmüştür. TiO_2 - SiO_2 , Fe_3O_4 - SiO_2 ve ZnO - SiO_2 esaslı nanoakışkanların kullanıldığı sistemlerin ortalama verimlerinde sırasıyla; %4.43 azalma, %16.25 artış ve %7.39 artış olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: doğal taşınım, faydalı enerji, güneş kollektörü, nanoakışkan, ısı transfer performansı

JÜRİ: Doç. Dr. İbrahim ATMACA

Prof. Dr. Meltem ASİLTÜRK

Doç. Dr. Ayla DOĞAN

Doç. Dr. Yılmaz AKSU

Doç. Dr. Ahmet COŞKUN

ABSTRACT

CORE-SHELL STRUCTURED NANOFLUIDS EMPLOYMENT IN SOLAR WATER HEATING SYSTEMS WITH NATURAL CIRCULATION AND THEIR EFFECT ON HEAT TRANSFER PERFORMANCE

Osman Samet ÖZDEMİR

MSc Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim ATMACA

July 2019; 94 pages

In this study, the effects of nanofluids on the performance of the closed-circuit solar energy system were investigated by using three different nanofluids, each with a core-shell structure. The nanofluids used are based on SiO₂ shell – TiO₂ core, SiO₂ shell – Fe₃O₄ core and SiO₂ shell – ZnO core. Pure water was used as the base fluid in each nanofluid. In addition, 2 wt% mass concentration was used in the preparation of each nanofluid. An experimental set-up with flat-plate, natural circulation solar water heating system was prepared. Two identical experimental setups were prepared to examine the effects of nanofluids on thermal performance. In one of the experimental setups, pure water was used as the working fluid. In the other setup, nanofluids were used as the working fluid. Thus, the performance of the system with pure water was taken as reference for the comparison with nanofluids. In this respect, the effects of nanofluid usage on the system performance were investigated. By recording the time-dependent changes in the collector inlet temperature, collector outlet temperature, absorber surface temperature, storage tank temperature for the both setup, ambient temperature, solar radiation intensity and wind speed, the thermal performances of the both systems were examined and compared with each other. The results show that higher performances were obtained for Fe₃O₄-SiO₂ based and ZnO-SiO₂ based nanofluids. On the other hand, any performance enhancement could not be achieved with TiO₂-SiO₂ based nanofluid. It was determined that convective heat transfer coefficient decreased by 4.13% with TiO₂-SiO₂ based nanofluid. In contrast, in the system working with Fe₃O₄-SiO₂ based nanofluid, the convective heat transfer coefficient increased by 8.60%. Similarly, in the system working with ZnO-SiO₂ based nanofluid, 3.07% increase in the convective heat transfer coefficient was determined. Useful energy values obtained for TiO₂-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂ and ZnO-SiO₂ based systems; decrease by 1.97%, increase by 16.65% and increase by 5.4%, respectively. Collector efficiencies was also similar to these results. For TiO₂-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂ and ZnO-SiO₂, average collector efficiencies were decreased by 4.43%, increased by 16.25% and increased by 7.39%, respectively.

KEYWORDS: nanofluid, natural convection, solar collector, thermal performance

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İbrahim ATMACA

Prof. Dr. Meltem ASİLTÜRK

Assoc. Prof. Dr. Ayla DOĞAN

Assoc. Prof. Dr. Yılmaz AKSU

Assoc. Prof. Dr. Ahmet COŞKUN

ÖNSÖZ

Artan nüfus ile birlikte kaynakların tasarruflu kullanımına doğan ihtiyaç, enerji sistemlerinin de verimliliğine duyulan isteğin günden günde artmasına sebep olmaktadır. Uzun süredir ısı sistemlerin daha verimli çalışması için yapılan çalışmalar, günümüzde nanoteknoloji alanındaki gelişmelere bağlı olarak nanoakışkanların kullanımı ile farklı bir boyut kazanmıştır. Isı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanarak performans artışı hedeflenen ve birden fazla alandaki çalışmaların tek amaca yönelik olduğu bu interdisipliner çalışma ile bundan sonra yapılacak çalışmalara katkıda bulunmasını umut ediyorum.

Bu çalışmanın başından sonuna tüm aşamasını anlık olarak takip eden, büyük bir özveri ile destekleyerek motive eden, akademik bilgi ve tecrübelerinin yanında kişiliği ile de rol model olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim ATMACA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmasının oluşmasında büyük katkısı bulunan, sürecin tamamında bilgi ve desteğini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Meltem ASİLTÜRK'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bu çalışmayı FBA-2018-3755 nolu proje ile destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Güneş Enerjili Sistemler.....	3
2.1.1. Düz plakalı kollektörler	3
2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler	8
2.1.2.1. Merkezi alıcı güç santralleri.....	8
2.1.2.2. Parabolik çanak kollektörler	9
2.1.2.3. Parabolik oluk kollektörler	10
2.1.3. Fotovoltaik sistemler	11
2.2. Düzlemsel Kollektörün Isıl Analizi.....	11
2.3. Nanoakışkanlar	19
2.3.1. Nanoakışkan türleri.....	19
2.3.1.1. Seramik nanoakışkanlar	19
2.3.1.2. Metalik nanoakışkanlar	20
2.3.1.3. Polimer ve karbon nanotüp nanoakışkanlar	20
2.3.2. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri	20
2.3.2.1. İki adım yöntemi	20
2.3.2.2. Tek adım yöntemi	20
2.3.3. Nanoakışkanların kullanım alanları	21
2.3.3.1 Otomotiv sektörü	21
2.3.3.2. Endüstriyel soğutma.....	21
2.3.3.3. Nükleer reaktörler	22
2.3.3.4. Elektronik soğutma	22
2.3.3.5. Biyomedikal uygulamaları.....	22
2.3.3.6. Diğer alanlar.....	22
2.4. Güneş Enerjisinde Nanoakışkan Uygulamaları.....	23
3. MATERYAL VE METOT	27

3.1. Kullanılan Akışkanlar.....	27
3.1.1. Partiküllerin sentezi ve karakterizasyonu	28
3.1.1.1. TiO_2 - SiO_2 sentezi	29
3.1.1.2. Fe_3O_4 - SiO_2 sentezi	29
3.1.1.3. ZnO - SiO_2 sentezi	30
3.1.1.4. X Işınları Kırınımı Analizi.....	30
3.1.1.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi.....	32
3.1.1.6. Taramalı Elektron Mikroskopisi Analizi (SEM analizi)	33
3.1.1.7. Partiküllerin termofiziksel özellik analizleri.....	35
3.1.2. Nanoakışkanların hazırlanması ve karakterizasyonu.....	37
3.1.2.1. Nanoakışkanların hazırlanması.....	37
3.1.2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellik analizleri	37
3.2. Deney Düzeneği ve Ekipmanları.....	41
3.2.1. Isı değiştiricisi.....	42
3.2.2. Depo.....	43
3.2.3. Kollektör	44
3.2.4. Boru hattı	46
3.2.5. Hava tahliyesi	46
3.2.6. Yalıtım	47
3.2.7. Taşıyıcı konstrüksiyon.....	47
3.2.8. Tüm sistem.....	47
3.2.9. Sıcaklık sensörleri.....	51
3.2.10. Piranometre.....	53
3.2.11. Anemometre	54
3.2.12. Veri toplama	55
3.3. Analiz Metodu.....	57
3.3.1. Kollektör yutma-geçirme çarpımının tespiti.....	57
3.3.2. Kollektör toplam ısı transfer katsayısının tespiti	57
3.3.3. Kollektörde toplam faydalı enerji ve kollektör debisinin tespiti	58
3.3.4. Kollektör ısı kazanç faktörünün tespiti.....	59
3.3.5. Kollektör boru içi akışı için ısı taşınım katsayısı değeri	59
3.3.6. Kollektör veriminin tespiti.....	60
3.4. Belirsizlik Analizi.....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Sistemlerin Eş Çalışma Tespiti.....	63

4.2. Sıcaklık Değişimleri	64
4.3. Isıl Analizden Elde Edilen Bulgular	74
4.3.1. Kollektör yutma geçirme çarpımı	74
4.3.2. Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı	74
4.3.3. İdeal faydalı enerji ve ısı kazanç faktörü	75
4.3.4. Kollektör boru içi taşınım katsayısı	76
4.4. Faydalı Isı ve Verim	78
5. SONUÇLAR	86
6. KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğal Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinde Çekirdek-Kabuk Yapıda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansına Etkisinin İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

02/07/2019

Osman Samet ÖZDEMİR

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_b	: Kollektör borularının iç yüzey alanı [m^2]
A_c	: Kollektör yüzey alanı [m^2]
C_b	: Kaynak iletkenliği [W/mK]
$C_{p,na}$	: Nanoakışkana ait özgül ısı [J/kgK]
$C_{p,p}$	: Partiküle ait özgül ısı [J/kgK]
$C_{p,ta}$	: Temel akışkana ait özgül ısı [J/kgK]
D_i	: Kollektör borusu çapı [m]
D_{pd}	: Sirkülasyon borularına ait çap değeri [mm]
D_{sd}	: Serpantin borusu dış çapı [mm]
D_{si}	: Serpantin borusu iç çapı [mm]
D_{ya}	: Alt yatay boruya ait çap değeri [mm]
$D_{yü}$	: Üst yatay borulara ait çap değeri [mm]
F	: Kanatçık verimi
F_R	: Kollektör ısı kazanç faktörü
F'	: Kollektör verim faktörü
h_{b-a}	: Kollektör alt yüzeyi ile ortam arasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
$h_{c,i}$	: Kollektör borusu içerisindeki ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
h_d	: Depo yüksekliği [mm]
h_k	: Kollektör uzunluğu [mm]
h_s	: Serpantin giriş ve çıkış merkezleri arasındaki mesafe [mm]
$h_{sç}$	: Serpantin akışkan çıkış ucunun merkezinin depo tabanına uzaklığı [mm]
h_{sg}	: Serpantin akışkan giriş ucunun merkezinin depo tabanına uzaklığı [mm]
h_{Ta}	: Alt sıcaklık ölçüm cihazının depo tabanına uzaklığı [mm]
$h_{Tü}$	: Üst sıcaklık ölçüm cihazının depo tabanına uzaklığı [mm]
h_w	: Dış ortam ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]

I	: Yatay yüzeye düşen toplam anlık ışıınım [W/m^2]
I_b	: Yatay yüzeye düşen anlık direkt ışıınım [W/m^2]
I_T	: Eğik yüzeye düşen toplam anlık ışıınım [W/m^2]
k	: Isı iletim katsayısı [W/mK]
k_{na}	: Nanoakışkana ait ısı iletim katsayısı [W/mK]
k_{yal}	: Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı [W/mK]
l_{yal}	: Yalıtım kalınlığı [m]
L_s	: Kullanılan toplam boru uzunluğu [mm]
L_{yb}	: Üst ve alt yatay boruları arasındaki mesafe [m]
m	: Kütle [g]
$\dot{m}$	: Kütleli debi [kg/s]
N	: Saydam örtü sayısı
Q	: Isı transferi [W]
Q_d	: Birim zamanda depolanan ısı [W]
Q_f	: Birim zamanda faydalı ısı [W]
Q_{fi}	: İdeal faydalı enerji [W]
Q_k	: Kayıp ısı [W]
R_d	: Depo dış yarıçapı [mm]
S	: Efektif ışıınım şiddeti [W/m^2]
T	: Sıcaklık [K]
t	: Zaman [s]
T_a	: Dış ortam sıcaklığı [K]
T_b	: Boru dış yüzey sıcaklığı [K]
t_c	: Saydam örtü (cam) kalınlığı [mm]
$T_{\dot{c}}$	: Kollektör çıkış sıcaklığı [K]
T_d	: Depo sıcaklığı [K]
T_f	: Boru içindeki akışkan sıcaklığı [K]

T_g	: Kollektör giriş sıcaklığı [K]
t_{is}	: Depo dışına kaplanan yalıtıcı malzeme kalınlığı [mm]
t_k	: Kollektör kalınlığı [mm]
T_p	: Yutucu yüzey sıcaklığı [K]
U_{alt}	: Kollektör alt yüzeyindeki toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
U_L	: Kollektör toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
$U_{üst}$	: Kollektör üst yüzeyindeki toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
V	: Hacim [l]
v	: Rüzgar hızı [m/s]
V_p	: Partikül hacmi [cm^3]
W_k	: Kollektör genişliği [mm]
W_{pb}	: Paralel borular arasındaki mesafe [mm]
α	: Yutma oranı
β	: Kollektör eğim açısı [$^\circ$]
ε_g	: Saydam örtü yayma katsayısı
ε_p	: Yutucu yüzeyin yayma katsayısı
η	: Verim [%]
μ	: Dinamik viskozite [cP]
ρ	: Yoğunluk [g/cm^3]
ρ_{na}	: Nanoakışkan yoğunluğu [g/cm^3]
ρ_p	: Partikül yoğunluğu [g/cm^3]
ρ_{ta}	: Temel akışkan yoğunluğu [g/cm^3]
ρ_y	: Yutucu plakanın geri yansıtma oranı
τ	: Geçirme katsayısı
ϕ_m	: Nanoakışkan içindeki kütleli partikül oranı [%]
ϕ_v	: Nanoakışkan içindeki hacimsel partikül oranı [%]

Kısaltmalar

AÜ : Akdeniz Üniversitesi

IEA : Uluslararası Enerji Ajansı

İLTEM: İleri Teknolojiler Merkezi

ODTÜ : Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Ondalık yazım kullanılan bu tezde ondalık ayracı “.” olarak tercih edilmiştir.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye ve dünyada fosil yakıt kullanımı oranlarının yıllara göre değişimi	1
Şekil 2.1. Kapalı devre güneş enerjili su hazırlama sisteminin şeması (Aung ve Li 2013)	5
Şekil 2.2. Saydam örtüde kullanılan malzemelerin insan sağlığına etkileri (Martinopoulos vd. 2013).....	6
Şekil 2.3. Çeşitli formlardaki yutucu plaka şekilleri (Anonymous 1)	6
Şekil 2.4. Örnek bir kapalı devre güneş enerjili kullanım suyu hazırlama sistemine ait şema (Kodsan 2019).....	8
Şekil 2.5. a) Merkezi alıcılı bir güneş enerji santraline ait fotoğraf b) Heliostat sistemine ait örnek bir şematik diyagram	9
Şekil 2.6. a) Örnek bir parabolik çanak kollektöre ait görüntü b) Parabolik çanak kollektörün temel unsurları	10
Şekil 2.7. a) Parabolik oluk kollektöre ait bir şema b) Parabolik oluk kollektörün parçalarının kesit gösterimi	10
Şekil 2.8. Bir güneş pilinde bulunan temel elemanlar	11
Şekil 2.9. Kollektöre gelen güneş ışınımının teorik hareketi ile yutma geçirme katsayısına etkileri.....	12
Şekil 2.10. Düz plakalı kollektörde kullanılan borulu yutucu plakaya ait temel boyutlar	15
Şekil 2.11. Yutucu plaka ve borular için enerji dengesi	17
Şekil 2.12. Düz plakalı güneş kollektörüne ait verim eğrisi	19
Şekil 2.13. a) Kollektör veriminin partikül boyutuna göre değişimi; b) Kollektör veriminin hacimsel orana göre değişimi	23
Şekil 2.14. a) Mikro güneş kollektörünün şematik gösterimi; b) 30 nm grafit küreleri kullanılarak yapılan deneysel ve teorik çalışmaların karşılaştırılması	24
Şekil 3.1. Deney düzeneğinde çalışma akışkanı olarak yer alan akışkanlara ait numune görüntüleri	28
Şekil 3.2. TiO ₂ -SiO ₂ nanopartiküllerinin XRD spektrumu.....	30
Şekil 3.3. Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ nanopartiküllerinin XRD spektrumu.....	31
Şekil 3.4. ZnO-SiO ₂ nanopartiküllerinin XRD spektrumu	31
Şekil 3.5. TiO ₂ -SiO ₂ ve Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ nanopartiküllerinin FTIR spektrumu.....	32

Şekil 3.6. ZnO-SiO ₂ nanopartiküllerinin FTIR spektrumu.....	33
Şekil 3.7. TiO ₂ -SiO ₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli	33
Şekil 3.8. Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli	34
Şekil 3.9. ZnO-SiO ₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli.....	34
Şekil 3.10. TiO ₂ -SiO ₂ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi	36
Şekil 3.11. Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi ...	36
Şekil 3.12. ZnO-SiO ₂ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi	37
Şekil 3.13. a) Serpantin tipi ısı değiştiricisinin detay görüntüleri; b) Bilgisayar destekli olarak görselleştirilmiş görüntüsü.....	42
Şekil 3.14. Deponun bilgisayar destekli olarak katı modeli ve boyutlar	43
Şekil 3.15. a) Depo tasarımının görselleştirilmiş katı modeli; b) Depoya ait katı modelin iç görünümü	44
Şekil 3.16. Kollektörün fiziksel büyüklüklerinin gösterildiği çizimin üstten ve yandan görünümü.....	45
Şekil 3.17. Kollektöre ait çizimin bilgisayar destekli görselleştirilmiş hali	46
Şekil 3.18. Sistemin taşıyıcı konstrüksiyon modeline ait bir görüntü	47
Şekil 3.19. Montaj tamamlandıktan sonra sistemin görüntüsünün bilgisayar destekli görselleştirilmiş halinin ait çeşitli açılardan görünümü	48
Şekil 3.20. Deponun yarı saydam şekilde görselleştirildiği tüm sistem görüntüsü	49
Şekil 3.21. Veri toplayıcı ve sistemin diğer unsurlarının bilgisayar destekli görselleştirilmiş detay görüntüleri.....	49
Şekil 3.22. Montajı tamamlanmış iki sistemin çeşitli açılardan deney anındaki görüntüsü.....	50
Şekil 3.23. a) Veri toplama cihazı üzerine sıcaklık ölçüm sensörlerinin bağlanması için kullanılan konnektörlere ait bir görüntü; b) Konnektöre ait bağlantı şeması	51
Şekil 3.24. Sıcaklık ölçüm cihazlarının yerleştirildiği noktalar.....	52
Şekil 3.25. a) Yatay düzleme gelen ışıyı ölçmek için kullanılan piranometre b) Eğik düzleme gelen ışıyı ölçmek için kullanılan piranometre.....	54
Şekil 3.26. Rüzgâr hızının ölçülmesi için kullanılan cihaz.....	55
Şekil 3.27. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan veri toplama cihazına ait görüntü	56

Şekil 3.28. Piranometreden elde edilen verilerin kayıtlarının tutulduğu veri toplayıcıya ait görüntü.....	56
Şekil 4.1. Her ikisinde de çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan iki sistemin depo ve yutucu yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	63
Şekil 4.2. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan (NA1) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği.....	65
Şekil 4.3. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan (NA2) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği	66
Şekil 4.4. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan (NA3) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği.....	67
Şekil 4.5. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kollektör giriş (T_g) ve kollektör çıkış (T_c) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.6. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kollektör giriş (T_g) ve kollektör çıkış (T_c) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.....	69
Şekil 4.7. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kollektör giriş (T_g) ve kollektör çıkış (T_c) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.....	70
Şekil 4.8. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi	71
Şekil 4.9. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi	72
Şekil 4.10. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi	73
Şekil 4.11. Çalışmada kullanılan akışkanların boru içindeki ortalama ısı taşınım katsayıları	77
Şekil 4.12. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısının (Q_f) zamana bağlı değişimi.....	79
Şekil 4.13. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısının (Q_f) zamana bağlı değişimi.....	80

Şekil 4.14. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO ₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısı'nın (Q _f) zamana bağlı değişimi.....	81
Şekil 4.15. Nanoakışkan olarak TiO ₂ çekirdek SiO ₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör veriminin değişimi	82
Şekil 4.16. Nanoakışkan olarak Fe ₃ O ₄ çekirdek SiO ₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör veriminin değişimi	83
Şekil 4.17. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO ₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör veriminin değişimi	84
Şekil 4.18. Nanoakışkan kullanılan sistemlerle temel akışkan kullanılan sistemlerin her bir deney için ortalama faydalı ısı değerleri.....	85
Şekil 4.19. Nanoakışkan kullanılan sistemlerle temel akışkan kullanılan sistemlerin her bir deney için ortalama verim değerleri	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı yalıtım malzemeleri ve performans karakteristikleri	7
Çizelge 2.2. Saydam yüzeylerin yutucu plakadan yansıtılan ışını geri yansıtma oranları	13
Çizelge 2.3. Sık kullanılan saydam örtüler özellikleri ve sayısına göre $(\tau\alpha)_0$ ve b değişimi	14
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan akışkanlara ait temel bilgiler	28
Çizelge 3.2. Sentez işlemi için kullanılan kimyasal maddelere ait özellikler.....	29
Çizelge 3.3. Çekirdek-kabuk yapıları nanopartiküllerin yoğunluk değerleri.....	35
Çizelge 3.4. Kullanılan akışkanlara ait yoğunluk ve özgül ısı değerleri	38
Çizelge 3.5. Akışkanların farklı sıcaklıklar için ölçülen dinamik viskozite değerleri....	39
Çizelge 3.6. Nanoakışkanların 25°C sabit sıcaklıkta ısı iletim katsayısı değerleri.....	39
Çizelge 3.7. Sentez ve karakterizasyon işlemlerinde yararlanılan üniversite laboratuvarları ve cihazların listesi	40
Çizelge 3.8. Şekil 3.13’de çizimi görülen serpantine ait fiziksel boyutlar	42
Çizelge 3.9. Depoya ait fiziksel boyutlar	43
Çizelge 3.10. Kollektöre ait fiziksel boyutlar	45
Çizelge 3.11. Sıcaklık ölçüm sensörü olarak kullanılan termokupla ait özellikler.....	52
Çizelge 3.12. Ölçüm cihazlarının bağlantı noktaları	53
Çizelge 3.13. Kullanılan piranometrelere ait özellikler	54
Çizelge 3.14. Kollektörün üst kısmındaki ısı transfer katsayısının hesabında kullanılan sabit değerler	58
Çizelge 3.15. Ölçümlerde elde edilen tahmini belirsizlik değerleri.....	61
Çizelge 3.16. Ölçümlerden kaynaklanabilecek belirsizlik değerlerinin hesaplandığı eşitlikler ve hesaplanan değerler	62
Çizelge 4.1. Deneylerin yapıldığı tarihlerdeki ortalama çevre şartları	64
Çizelge 4.2. Yapılan deneylere ait kollektör yutma geçirme çarpımları	74
Çizelge 4.3. Her bir deney için temel akışkan ve nanoakışkan kullanılan sisteme ait toplam ısı kayıp katsayıları ve bu katsayıları hesaplamak için kullanılan veriler.....	75

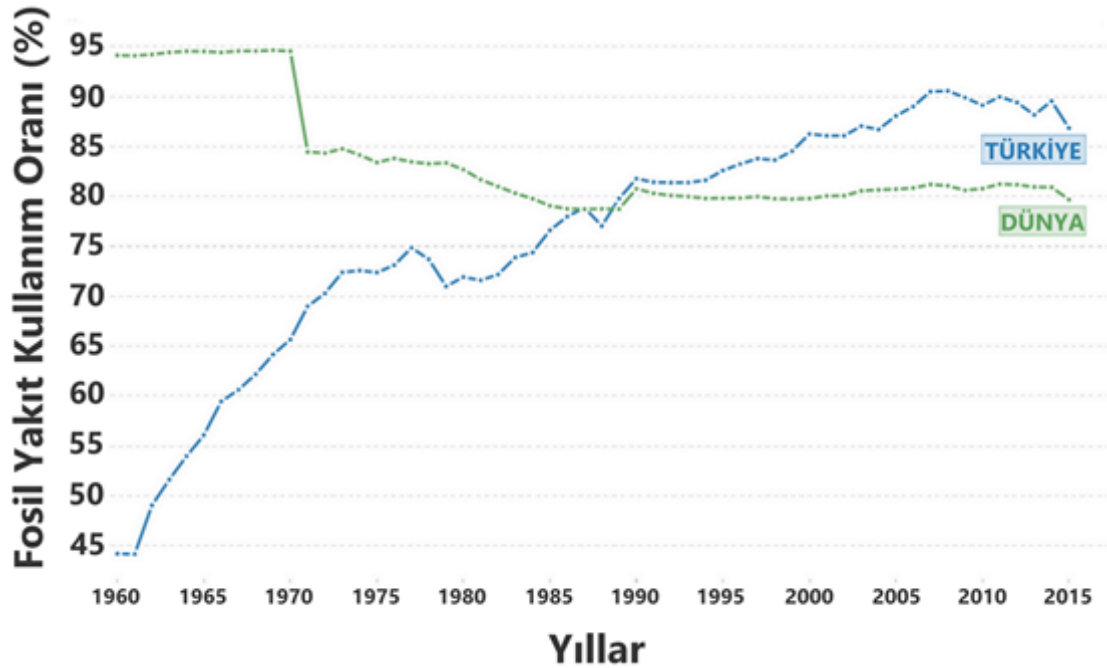
Çizelge 4.4. Üç farklı çalışma için ortalama faydalı enerji, ortalama faydalı enerji, ortalama ısı kazanç faktörleri, ortalama kolektör verim faktörleri ve kanatçık verimleri	76
---	----

Çizelge 4.5. Saf su ve nanoakışkan kullanılan sistemlerde boru içerisindeki taşınım katsayıları	77
--	----



1. GİRİŞ

Dünya toplumundaki enerji ihtiyacı hızlı nüfus artış oranı ile birlikte her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı atmosferde bulunan karbon miktarının artışını tetiklemekle birlikte küresel ısınmaya yol açmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıtların sebep olduğu olumsuz etkileri önlemek için son yıllarda tüm dünya genelinde yenilenebilir enerjiye olan ilgi sürekli artmaktadır. Günümüzde IEA'nın verilerine göre dünya genelinde üretilen enerjinin yaklaşık yüzde 79'u fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Türkiye'de ise fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin oranı yaklaşık %86 olarak verilmiştir (International Energy Agency 2014). Şekil 1.1'de fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin dünyada ve ülkemizde değişimi yer almaktadır. Geçmiş 50 yılda dünyada fosil yakıtların kullanımı nispeten azalırken, ülkemizde 1960 yılından 2015 yılına kadar artış eğilimi görülmüştür. Ayrıca, karbon salınımı dışında ülkemiz fosil yakıtlar bakımından zengin olmaması sebebiyle tükettiği fosil yakıtların büyük bir bölümünü ithal etmektedir. Dünya genelindeki fosil yakıtlardan kaçınma eğilimine ülkemizin de ayak uydurması, yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının faydalı kullanımı ile mümkün olacaktır. Yenilenebilir enerjiden elde edilen enerjinin artması hem çevresel açıdan hem de ekonomik açıdan ülkemiz için önem arz etmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye ve dünyada fosil yakıt kullanımı oranlarının yıllara göre değişimi (IEA 2014)

Hidroelektrik, jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyoenerji gibi yenilenebilir enerji kaynağı türlerinin yanında güneş enerjisi küresel bazda kolay bulunabilen ve tükenmesi ön görülmeyen bir enerji türüdür. Güneş enerji sistemleri temel olarak güneşin ışıyım enerjisini ısı enerjisiye dönüştürmeye yarayan sistemlerdir. Güneşten alınan enerji bir tür ısı eşanjörü ile kullanım amacına göre çeşitli şekillerde kullanılır. Güneş enerjisi, temelde evlerde sıcak su ihtiyacı, ortam ısıtması, yemek pişirme, elektrik üretimi, sokak aydınlatması gibi pek çok alanda aktif olarak kullanılır.

Ayrıca PV (fotovoltaik) adı verilen yarı iletkenlerin kullanıldığı güneş pilleri ile de güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Genel anlamda güneş ısı enerjisi sistemleri yüzeyde meydana gelen güneş ışınımını emer ve ısıyı içinden akan bir başka akışkana aktarır. Hemen hemen her ısı sistemde olduğu gibi güneş kolektörlerinde de ısı verim oldukça büyük önem taşır. Bu sistemlerde ısı verimin artırılması için panelin önü, arkası ve sistemin geri kalanından ısı kaybı yalıtım ile azaltılabilir. Verim artışı sağlamak için yapılabilecek çözümlerden bir diğeri de ısı transfer yüzey alanını arttırmaktır. Akışkanın ısı çekeceği yüzey alanının artırılması verimi de olumlu etkilemektedir (Ho vd. 2005). Tüm bu tasarımsal kriterler en optimum koşula getirildiği durumda sistemin verimini ısı transferi akışkanının termofiziksel özellikleri etkiler. Akışkanın debisi, hızı, ısı iletim katsayısı kollektör verimini etkileyen temel parametrelerdendir. Güneş enerji sistemlerinde çalışma akışkanının birim zamanda sistemden çekebildiği ısı miktarını arttırmak sistemin verimini de arttırmak anlamına gelmektedir. Bu sebeple farklı pek çok kullanım alanı da bulunan nanoakışkanlar, güneş enerji sistemlerinde kullanılarak sistem veriminde pozitif bir değişim amaçlanmaktadır (Tyagi vd. 2009).

Sıvıların içerisinde katı parçacıklar karıştırılması fikri öncelerden düşünülmüş bir fikirdir. Ancak partikül hazırlanması teknolojik imkanlar gerektirdiğinden nano boyutlardaki partiküllerin hazırlanarak nanoakışkan ismini alması ancak son dönemde mümkün olmuştur (Maxwell 1881; Abdelrahman 1979; Gupte vd. 1995).

Nanoakışkanlar genel olarak metrenin yüz binde birinden daha küçük (100 nm) boyutundaki nanopartiküllerin, nispeten daha düşük ısı iletme sahip çalışma akışkanları ile karıştırılması sonucu oluşan süspansiyonların genel adıdır. Nanopartiküllerin bağli olarak çok küçük olması akışkanın küçük, hatta mikro ölçekteki kanallarda dahi kabul edilebilir basınç düşüşleri ile akmasına olanak tanır (Jang ve Choi 2006). Oluşan yeni karışım ile, nispeten daha düşük ısı iletkenliğe sahip olan çalışma akışkanının akışkanlık özelliğinden ve daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan nanopartiküllerin ısıyı iletme özelliğinden faydalanılır. Nanoakışkanlarda baz akışkan olarak genellikle etilen glikol, su gibi geleneksel ısı transferi akışkanları kullanılır. Nanopartikül olarak Al_2O_3 , CuO , TiO_2 gibi metal oksitler, SiC gibi metal olmayan maddeler, Fe , Au , Ag gibi saf metaller kullanılabilirken karbon esaslı nanopartiküller de kullanılmaktadır. Isıtma veya soğutma fark etmeksizin ısı transferinin amaçlandığı her alanda nanoakışkanlar kullanılabilir.

Daha önce de anıldığı gibi güneş enerji sistemlerinde temel amaç olan sistem verimliliği; tasarımsal kriterlere, coğrafi koşullara, iklim koşullarına ve içerisindeki ısı transfer akışkanın özelliklerine bağli olarak değişkenlik gösterir. Bu sistemlerde nanoakışkan kullanımının etkilerinin araştırılması yalnızca yeni sistemler için değil mevcut sistemler için de verim artışı açısından umut verici bir gelişmedir. Tüm bu sebeplerle, tez çalışmasının kapsamının belirlenmesi sürecinde dünyadaki gelişmeler göz önünde bulundurularak bu çalışmalara katkıda bulunma düşüncesi ön plana çıkmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Güneş Enerjili Sistemler

Güneş kollektörü, güneşin ışıyım enerjisini aktaran bir tür eşanjördür. Kollektöre gelen ışıyım enerjisi içerisinde bulunan çalışma akışkanına ısı enerjisi olarak aktarılır, PV (fotovoltaik) sistemlerle ise güneş ışıyımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Termal sistemlerde güneşten gelen ışıymlar kollektör tarafından emilerek sıvı veya gaz halindeki çalışma akışkanına aktarılır. Çalışma akışkanına aktarılan ısı konutlarda sıcak su kullanımı, ortam ısıtması gibi kullanılabilirken türbinlerden geçirilmesi gibi metotlarla diğer enerji türlerine de dönüştürülebilir. Akışkandaki ısı, daha sonra kullanılmak üzere enerji deposunda da depolanabilir.

2.1.1. Düz plakalı kollektörler

Düz plakalı güneş kollektörleri en yaygın kullanılan kollektör türlerindendir. Genellikle kullanılacak yere kalıcı olarak sabitlenir. Geleneksel düz plakalı kollektörler genellikle cam bir kaplama, yutucu plaka ve yalıtımlardan oluşur. Güneşten gelen ışıyım yüzey tarafından yutularak akışkana iletim ve taşınım ile aktarılır. Bu süreçte yüzeyden bulunduğu çevreye ısı geçişi olmaktadır. Bu sebeple yüzeyde bulunan cam kısa dalga boyu geçirgenliği yüksek, uzun dalga boyu geçirgenliği düşük malzemeden yapılmalıdır. Böylece yutucu plaka üzerindeki taşınım kayıpları azalacağı gibi kollektördeki ışıyım kayıpları da azalır. Örneğin düşük demir oksitli cam düşük dalga boylarındaki yüksek geçirgenliği ve yüksek dalga boylarındaki düşük geçirgenliği nedeniyle ideal bir malzemedir (Khoukhi vd. 2005).

Kollektörde kullanılan yutucu yüzeyin mümkün olduğunca çok ısı emmesi amaçlandığından, bu yüzey genellikle koyu renkte yapılır. Kollektör performansını etkileyen etmenlerden bir diğeri de seçici yüzeylerdir. Kısa dalga ışıyımlarını emen ancak uzun dalga ışıyımlarına karşı geçirgen olan üst tabaka ve uzun dalga boyları için yansıtıcı olan alt tabakaya sahip seçici yüzeyler tercih edilir. Ancak bu durum kollektörün üretim maliyetini etkileyen faktörlerden bir tanesidir (Kontinen vd. 2003). Yutucu plaka üzerinden olan kayıplar da kollektör verimini düşüren bir diğer etmendir. Francia (1961) tarafından yapılan bir çalışmada, cam ile yutucu plaka arasında şeffaf malzemeden yapılan bal peteği şeklindeki malzeme ile ısı kaybının azaltılması sağlanmıştır.

Kollektör verimini yükseltmek için yapılan çalışmalar bazı durumlarda olumsuz sonuçlar da doğurabilir. Ortalama bir güneş ışıyımında kullanılmak üzere optimize edilen sistemdeki çalışma akışkanı yeterli ısı kapasiteye sahip değilse ışıyım arttığı durumda aşırı ısınma durumu oluşabilir. Çalışma akışkanı yutucu plakadaki ısıyı yeterince taşıyamayacağı için aşırı ısınma beklenenin aksine sistem verimini hızla düşürecektir. Bu verim kaybını önlemek için çalışmalar yapılmıştır (Slaman vd. 2009).

Ho vd. (2005) tarafından yapılan araştırmada çift geçişli bir yapı kullanılarak ısı transfer hızında artış görülmüştür. Bir diğer çalışmada kollektör panelleri üzerinde kanatçıkların etkisi araştırılmıştır. Kanatçıkların ısı transfer performansına olumlu etki ettiği ve kanatçıkta kullanılan malzemenin ısı transfer katsayısının verime etki ettiği sonucuna varılmıştır (Ackermann vd. 1995). İki kanal ile yapılan bir diğer çalışmada ikinci kanala gözenekli ortam yerleştirildiğinde çıkış sıcaklığının arttığı sonucuna

varılmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda polikarbonat petekler ve metal köpükler ile de kollektörde verim artışı sağlanmıştır (Sopian vd. 2009, Martinopoulos vd. 2010, Tian vd. 2011).

Kollektör verimi üzerine yapılan bir başka çalışmada ise düz plakalı güneş kollektöründe yüksek performanslı sistem tasarımı için bazı analizler yapılmıştır. Çalışmada kollektör yüzey alanı ve depo hacmi çeşitli durumlarda karşılaştırılıp birbiri ile ilişkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda depo hacminin kollektör alanına oranı (lt/m^2) arttıkça kollektör performansının arttığı tespit edilmiştir. Ancak bu oran 50-60 aralığından daha yüksek olduğu durumlarda kollektör performansının yaklaşık olarak sabit kaldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sonucunda belli bir büyüklükten sonra deponun etkisi ihmal edilebildiği gibi, ilk kurulum maliyetine etkisine de dikkat çekilmiştir (Shariah 1996).

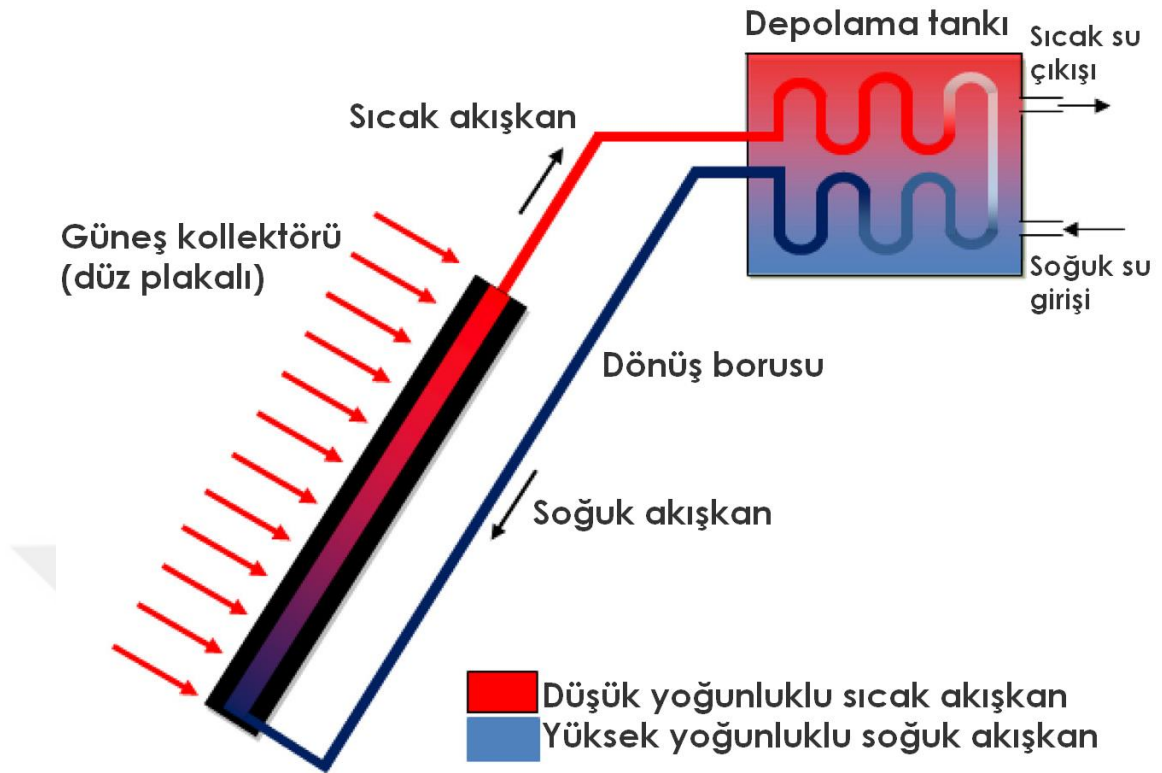
Tyagi vd. (2009) tarafından durağan halde iki boyutlu ısı transferi varsayımı ile düz plakalı kollektör verimi:

$$\eta = \frac{\text{faydalı enerji}}{\text{toplam enerji}} = \frac{\dot{m}C_p(T_c - T_g)}{A_c I_T} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Eşitlik 2.1’de kollektördeki akışın kütleli debisi $\dot{m}$, özgül ısı C_p , sırasıyla akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları T_g ve T_c , kollektörün alanı A_c , güneş akısı ise I_T olarak verilmiştir.

Kapalı devre çalışan, güneşin enerjisi kullanılarak sıcak su elde edilen sistemlerde başlangıçta boru içerisinde sabit bulunan akışkanın kollektördeki kısmı güneş ışınımı etkisiyle ısınmaya başlar. Isınan akışkan, sıcaklık farkının yarattığı yoğunluk farkı nedeniyle potansiyel dengeye ulaşmak için yukarı hareket eder. Sıcak akışkan, kollektörün üst çıkışına bağlı bulunan depolama tankı içerisindeki ısı değiştiricisi (serpantin) ile soğuyarak borular vasıtasıyla tekrar soğuk akışkan olarak kollektörün alt kısmından giriş yapar. Çalışma akışkanının depo içindeki soğuması, depoda bulunan suya akışkandan ısı transferi gerçekleştirilmesi ile olur. Geleneksel bir kapalı devre doğal sirkülasyonlu güneş enerjili su ısıtma sistemi temel olarak kollektör, depo, ısı değiştiricisi ve borulardan oluşmaktadır.

Şekil 2.1’de doğal sirkülasyonlu kapalı devre bir güneş enerjili su ısıtma sisteminin şematik resmi yer almaktadır. Bu şemada sıcak akışkan kırmızı renk tonları, soğuk akışkan ise mavi tonları ile sembolize edilmiştir.

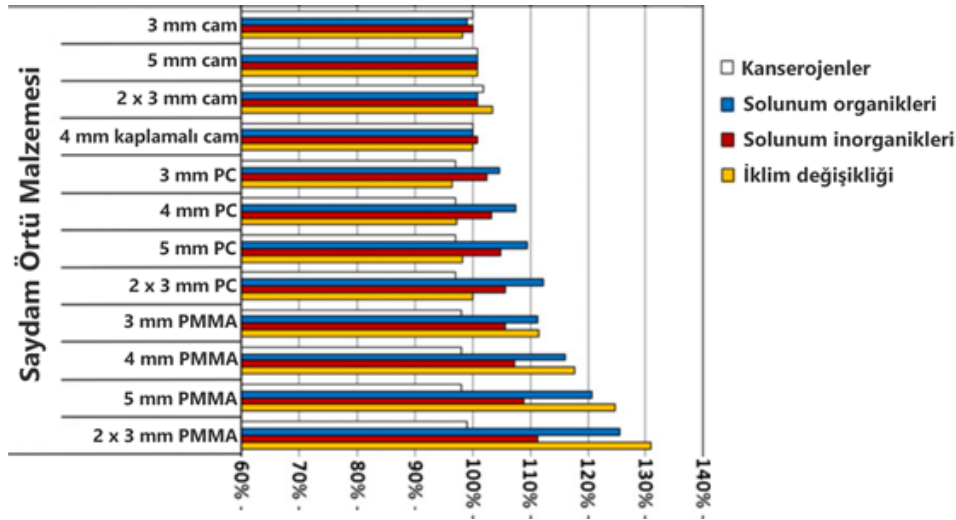


Şekil 2.1. Kapalı devre güneş enerjili su hazırlama sisteminin şeması (Aung ve Li 2013)

Düz plakalı güneş kolektörü genel olarak üstte bir saydam örtü, altında yutucu plaka ve borular, arkasında ve çevresinde kasa ile yalıtıcı malzeme bulunur. Kolektörde cam ya da diğer saydam örtünün kullanılmasındaki temel amaç kısa dalga boyundaki ışıının geçirilmesi ancak uzun dalga boyundaki ışıının dışarı çıkışını engellemektir. Kullanılacak saydam örtünün yüzeyinden de taşınım ile ısı transferinin mümkün olduğunca düşük olması istenir.

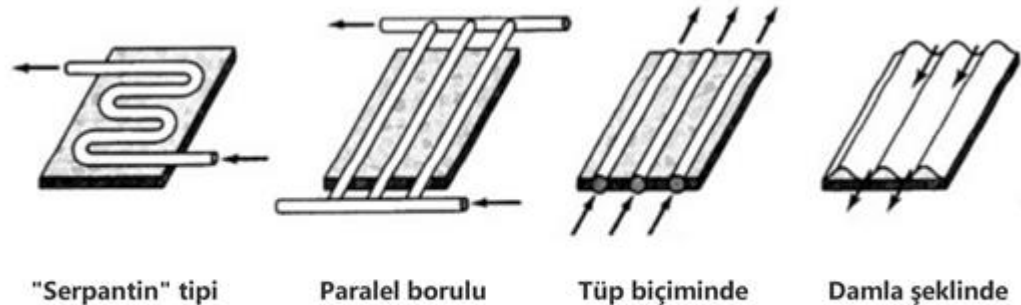
Kolektörlerde en sıklıkla kullanılan saydam malzeme camdır. Cam dışında polikarbonat, polimetilmetakrilat gibi saydam plastikler de kullanılır (Martinopoulos vd. 2013). Cam örtü olarak plastik esaslı malzeme kullanımının ana avantajı cam kadar kolay kırılabilir malzeme olmamalarıdır. Ancak camların bu narin özellikleri temperleme gibi yöntemlerle azaltılabilmektedir. Diğer yandan plastik esaslı örtü malzemeleri genellikle uzun dalga boyları ışıının geçirgenlikleri de yüksek olduğundan avantajlı değildir. Kolektör yüzeyinden ısı kaybının yüksek olduğu çevre koşullarında yüzeyde birden fazla saydam tabaka kullanılabilir (Malhotra vd. 1980).

Kolektörlerde kullanılan plastik esaslı saydam örtüler bazı durumlarda avantaj sağlasalar da insan sağlığına etkileri de bulunmaktadır. Cam, PC (polikarbonat) ve PMMA (polimetil metakrilat) malzemelerinin insan sağlığına etkileri üzerine yapılan bir araştırmanın sonucu Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Saydam örtüde kullanılan malzemelerin insan sağlığına etkileri (Martinopoulos vd. 2013)

Düz plakalı sistemlerde kullanılan yutucu plakanın asıl amacı mümkün olduğu kadar çok güneş ışınımını absorbe edip en verimli şekilde çalışma akışkanına aktarmaktır. Malzeme olarak bakır, alüminyum, çelik gibi malzemeler kullanılır. Bu malzemelerin içerisinde ısı transfer katsayısı ve korozyon direnci en yüksek malzeme bakır olsa da kullanımı her durumda avantajlı olmayabilir. Yüksek maliyeti ve sonraki bölümlerde açıklanacağı üzere bazı nanoakışkanların kullanıldığı sistemlerde korozyon direncinin düşmesi gibi durumlar nedeniyle sistem tasarımı yapılırken pek çok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Yutucu plakanın yüzeyi maksimum absorpsiyon amaçlandığı için genellikle koyu renkli olur. Yüksek performans amaçlanan durumlarda, yutucu plaka seçici yüzey ile kaplanabilir. Seçici kaplamalar yüzeyde yüksek emilim, düşük yayılım sağlar. Genellikle paralel borulu sistemlerin kullanıldığı düz plakalı sistemlerde pek çok farklı tasarım mümkündür. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi metal levha üzerine sabitlenmiş eğimli borudan oluşan serpantin tipi, boruların tüp geçit şeklinde levhanın içinden geçtiği tüp biçiminde veya damla şeklinde olukların bulunduğu tip yaygın kullanılan diğer örneklerdir.



Şekil 2.3. Çeşitli formlardaki yutucu plaka şekilleri (Anonymous 1)

Isı alanındaki her sistemde olduğu gibi bu sistemlerde de yalıtım büyük önem taşır. Isı kayıplarını olabildiğince azaltmak performans artışı için istenen bir durumdur. Kollektörde akışkana ısı transferini yapan, üst tarafı saydam bir tabaka ile kaplı yutucu plakanın özellikle alt tarafından olabilecek ısı kayıpları uygun bir yalıtıcı tabaka ile engellenir. Çizelge 2.1’de yalıtım amaçlı kullanılan bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları ve bazı özellikleri verilmiştir.

Yalıtım yalnızca kollektörde değil tüm sistemde önemli bir performans faktörüdür. Sistemde kullanılan depo, borulama sistemleri ve tüm bağlantı elemanlarından amaçlanmayan şekillerde olacak ısı transferi sistem performansını düşürücü etkilere yol açar. Bu yüzden ısı transferinin arzulanmadığı tüm yüzeyler uygun yalıtım malzemeleriyle kaplanır. Doğrudan güneş ışığına maruz kalabilecek yüzeyler ise ışığı yansıtma özelliğine sahip malzemelerle kaplanır. Yansıtıcı kaplama hem yalıtım performansının artırılması için hem de yalıtıcı malzemenin doğrudan güneş ışığı altında kalarak zarar görmesini engellemek için gereklidir.

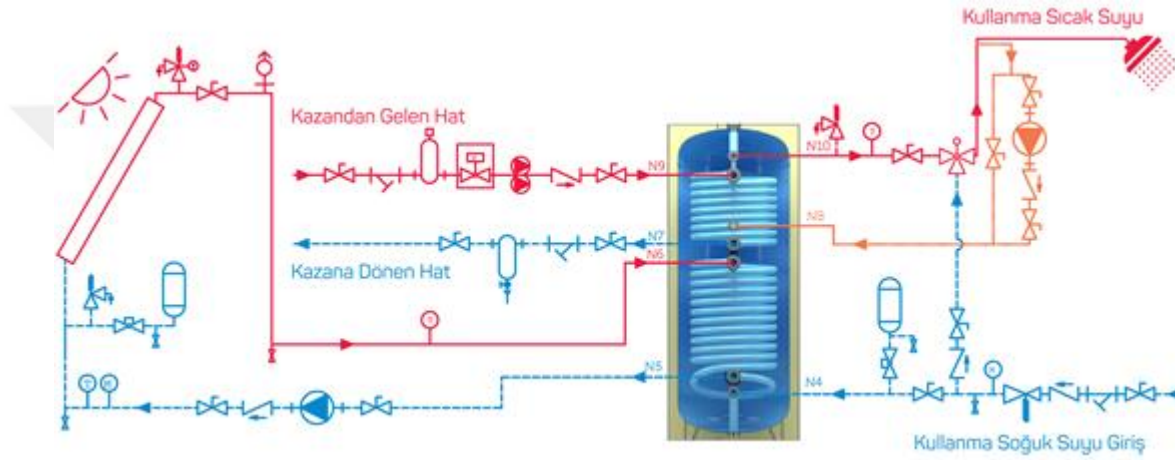
Çizelge 2.1. Bazı yalıtım malzemeleri ve performans karakteristikleri (Al-Homoud 2005)

<i>Malzeme</i>	<i>Yoğunluk (kg/m³)</i>	<i>İletim katsayısı (W/m-K)</i>	<i>Maksimum çalışma sıcaklığı (°C)</i>	<i>Dezavantaj</i>
Taşıyünü	40 – 200	0.037	800	Tahriş edici zararlı toz
Vermikulit (doğal mineral)	64 – 130	0.068 – 0.063	1315	Yüksek ağırlık
Poliüretan	40 – 55	0.023	100	Zehirli gazlar kullanılır
PVC	40 – 80	0.035	100	Kanserojen etkiler
Camyünü	14 – 110	0.036	300	Tahriş edici zararlı toz
Fiberglas (açık hücre yapısı)	24 – 112	0.035 – 0.032	350	İnorganik
Polietilen	35 – 44	0.044	90	Zehirli duman

Güneş enerjili su hazırlama sistemlerinde bulunan bir diğer sistem elemanı ise depodur. Genellikle paslanmaya karşı dayanıklı metal malzemedan yapılmış silindirik bir tank ile içerisine monte edilmiş ısı değiştiricisinden oluşur. Deponun içinde, ısı değiştiricisinin bir yüzüyle temas eden kullanım suyu bulunur. Kollektörde ısıtılan çalışma akışkanı depo içerisindeki ısı değiştiricisi serpantininin içinden geçerek sahip olduğu ısıyı depoda yer alan kullanım suyuna iletir. Çalışma akışkanı kapalı döngüde

yalnızca ısı değıştircisi içinden depodan geçtiğı için iki akışkan birbirine karışmaz. Isı aktarımı sonucunda soğuyan çalışma akışkanı kollektöre ısınmak üzere yeniden giderken, depo içerisinde kullanıma hazır sıcak su elde edilmiş olur. Depoda ısıtılan su istenildiğinde banyo ve mutfakta kullanım suyu olarak kullanılabilirdiği gibi evlerin ısıtılması için de kullanılabilir.

Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ile hazırlanan sıcak su, doğrudan kullanım suyu olarak kullanılabilirdiği gibi diğer sıcak su hazırlama sistemleriyle birlikte hibrit şekilde de kullanılabilir. Böylece güneş ışınımının yeterli olmadığı koşullarda sistemin desteklenmesi sağlanmış olur. Şekil 2.4'te tek depoda çift ısı değıştircili sistem kullanılarak tasarruf yapılan bir sisteme ait örnek şema bulunmaktadır. Bu sistemde kazan ısısı ile güneş ısısı eşzamanlı olarak kullanım suyuna aktarılmaktadır.



Şekil 2.4. Örnek bir kapalı devre güneş enerjili kullanım suyu hazırlama sisteminin şeması (Kodsan 2019)

2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler

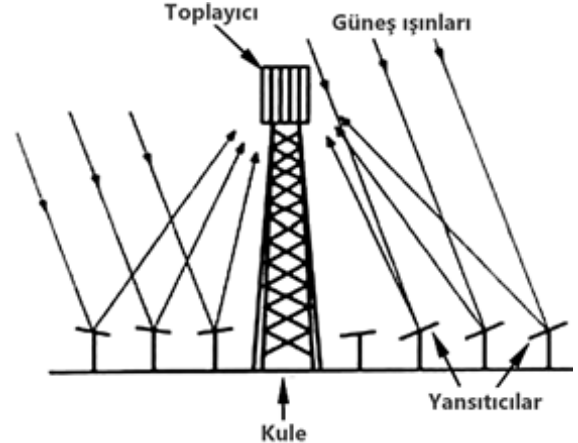
Güneş enerji sistemlerinde optik yöntemlerle güneş ışığının belirlenen yerde odaklanması yöntemiyle daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Literatürde yoğunlaştırıcı sistemler üzerinde de pek çok çalışma bulunmaktadır.

2.1.2.1. Merkezi alıcı güç santralleri

Genellikle bir kule üzerinde bulunan ısı eşanjörü üzerinde çevresinden odaklamanın yapıldığı sistemlerdir. Heliostat alan kollektörleri olarak bilinen bu sistemde odaklama aynalar ile yapılır. Güneşin bağıl hareketiyle eş zamanlı hareket eden aynalar çoğu kez otomatik sistemler ile yönetilir. Wei vd. (2010) tarafından bu tür sistemlerin optimizasyonu için bir tasarım yöntemi önerilmiştir. Şekil 2.5.a'da örnek bir merkezi alıcı güç santraline ait görüntü, Şekil 2.5.b'de ise merkezi alıcı güç santralinin temel unsurları yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.5. a) Merkezi alıcılı bir güneş enerji santraline ait fotoğraf (Anonymous 2) **b)** Heliostat sistemine ait örnek bir şematik diyagram (Kalogirou 2007)

. Genel anlamda düz plakalı sistemlerle aynı çalışma prensiplerine sahip olsa da merkezi alıcı sistemlerde çalışma sıvısı sıcaklığı düz plakalı sistemlere göre çok daha yüksek değerlere çıkabilir. Sistemin verimli çalışabilmesi için tasarım önemli kriterlerdendir. Heliostatların dizilimi ve odaklamadaki hassasiyeti tasarımda ciddi rol oynar. Heliostatlar ile belirlenen noktaya odaklanan güneş enerjisi çalışma akışkanına aktarılır. Aktarılan enerji ile buhar elde edilerek ısı enerji buhar türbinleri ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Buhar türbininde genellikle buhar, sodyum nitrat veya potasyum nitrat gibi erimiş tuzlar kullanılır. Ya da ısıl depolarda sıvı sodyum, erimiş nitrat tuzu gibi malzemelerle yüksek sıcaklıkta sentetik yağ karıştırılarak depolanır.

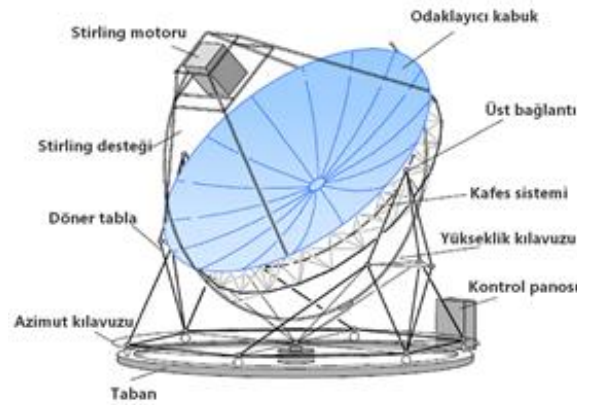
2.1.2.2. Parabolik çanak kolektörler

Parabolik çanak kolektörleri tıpkı uydu alıcılarının çanaklarına benzer şekilde bir yapıya sahiptir. Güneşten ışıınımı en iyi şekilde değerlendirmek için parabolik çanak kolektörler güneşin hareketlerini izler. Güneşin izlenmesi, genellikle birden fazla eksende ve bilgisayar sistemlerinin denetiminde olur. Böylece bir çukur ayna formunda olan kolektörün çanağı sayesinde güneş ışıınımı odak noktasında toplanır. Çanak şeklindeki aynanın odak noktasında eşanjör yer almaktadır. Böylece güneş ışınları odak noktasında yoğunlaşarak istenilen enerji elde edilir.

Parabolik çanak kolektörler ile elektrik, buhar veya sıcak hava üretilebilir. Genellikle elektrik üretimi için Strling ve Brayton motorları kullanılır. Bu tür sistemlerin verim artışı üzerine çalışmalar mevcuttur (Zhang vd. 2007; Tavakolpour vd. 2008). Şekil 2.6'da parabolik çanak kolektöre ait bir görüntü ile bu kolektör tipinin kısımlarını içeren bir çizim yer almaktadır. Bu çizimde geleneksel bir parabolik çanak kolektörün genel hatları görülebilir.



(a)

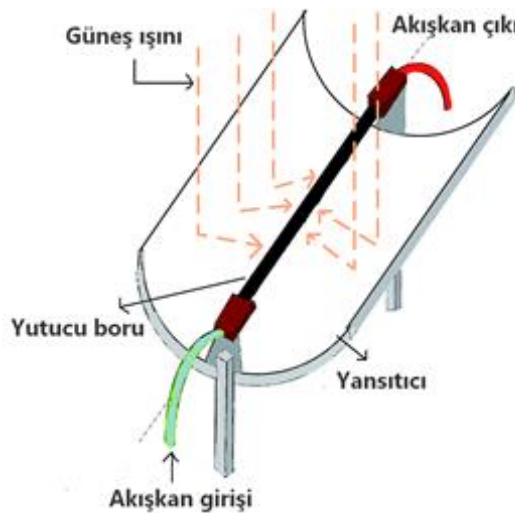


(b)

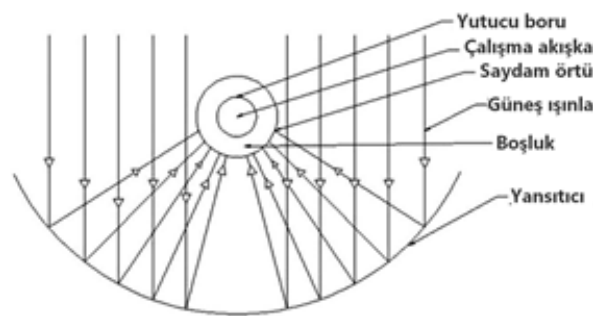
Şekil 2.6. a) Örnek bir parabolik çanak kolektöre ait görüntü (Anonymous 2) **b)** Parabolik çanak kolektörün temel unsurları (Hafez vd. 2016)

2.1.2.3. Parabolik oluk kolektörler

Güneş ışınlarının oluk şeklinde parabolik aynalar ile odak çizgisinden geçen boruya odaklanması sistemiyle çalışır. Odak çizgisinde ısının emilmesi için koyu renkli bir boru kullanılır. Isı kaybını önlemek için koyu renkli borunun dış kısmı cam ile kaplanabilir. Parabolik oluk kolektörleri genellikle kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilerek güneşi doğu-batı ekseninde ya da doğu-batı doğrultusunda yerleştirilerek güneşi kuzeyden güneye izler. İzleme mekanizması tek eksenli olabileceği gibi çok eksenli de olabilir. Parabolik oluk sisteminin odak çizgisine yerleştirilen fotovoltaik tüpler ile akım/gerilim karşılaştırması yapılan bir çalışmada; sabit, tek eksenli ve çok eksenli parabolik oluk kolektörlerinin verimi hakkında incelemeler de yapılmıştır. Beş adet parabolik oluk kolektörü arasında yapılan karşılaştırmada verim artışları sırasıyla; iki eksenli, doğu-batı yönünde tek eksenli, dikey tek eksenli ve kuzey-güney yönünde tek eksenli kolektör ile elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır (Abdallah 2004). Şekil 2.7’de parabolik oluk kolektörün temel birimlerini gösteren bir şema yer almaktadır.



(a)

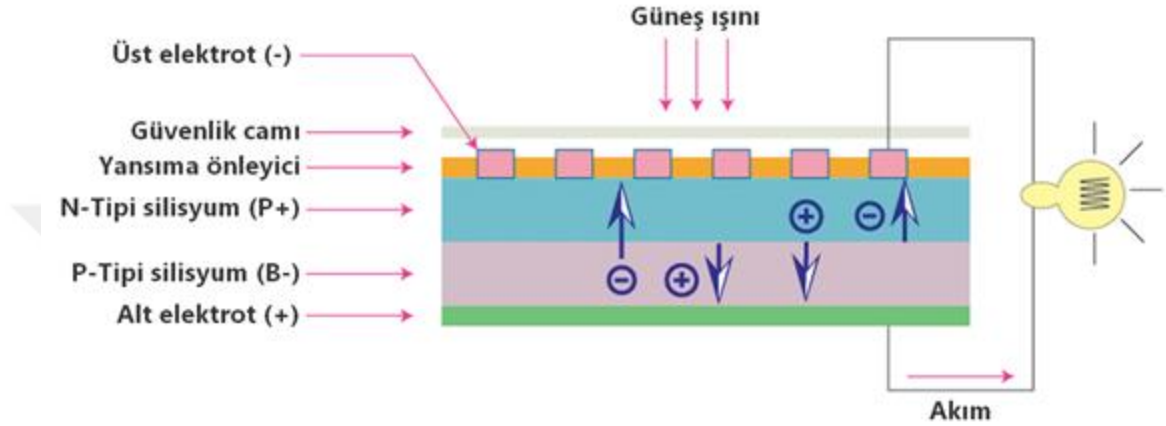


(b)

Şekil 2.7. a) Parabolik oluk kolektöre ait bir şema (Dabiri 2016) **b)** Parabolik oluk kolektörün parçalarının kesit gösterimi (Jebasingh ve Herbert 2016)

2.1.3. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik sistemler, güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Silisyum, galyum arsenit gibi yarı iletken materyaller kullanılarak üretilirler. PV (fotovoltaik) sistemler ile geleneksel ısı kollektörlerin birlikte kullanıldığı hibrit sistemler üzerinde çalışmalar da mevcuttur. Örnek bir fotovoltaik panelin iç elemanları Şekil 2.8’de görülebilir. PV modülün arkasına yerleştirilen yutucu plaka düz plakalı kollektördeki gibi evsel sıcak su üretiminde kullanılabilirken, aynı zamanda PV sisteminin çalışmak için ihtiyaç duyduğu sıcaklığa düşürülmesine yardımcı olur (Taylor vd. 2012).



Şekil 2.8. Bir güneş pilinde bulunan temel elemanlar (Pane vd. 2018)

PV sistemlerde verim artışına yönelik çalışmalar genellikle düz plakalı sistemlerle birlikte hibrit kullanılması yolu ile yine düz plakalı kollektörün verim artışı yöntemlerine benzer yollarla yapılmaktadır. Yutucu plaka boyutları, boru genişlikleri, metal kanatçık eklenmesi, akışkan hızları ve tipleri gibi konularda yapılan değişikliklerle verim artışları sağlanmıştır (Bergene vd. 1995; Kalogirou vd. 2001; Tonui vd. 2007).

2.2. Düzlemsel Kollektörün Isıl Analizi

Bir sistemin performansından söz edebilmek için, öncelikle o sistemden elde edilebilecek maksimum fayda göz önünde bulundurulur. Güneş enerji sistemi ile sıcak su hazırlanan sistemlerde de istenen, kullanım suyuna aktarılan enerjinin güneş ışıını ile kollektöre gelen toplam enerjiye mümkün olduğunca yaklaştırılmasıdır. Güneş enerji sistemlerinde, genel olarak sistem performansına pek çok farklı bağımsız parametre etki eder. Kollektör tasarımı, saydam örtü özellikleri, yutucu plaka malzemesi ve yüzey özellikleri, boruların yerleşimi, yalıtım malzemesi özellikleri ile yalıtım kalınlığı, akışkanın özellikleri gibi pek çok sistemsel parametre sistem performansını etkilediği gibi; ortam sıcaklığı, güneş ışıını, rüzgâr hızı, iklim gibi çevresel faktörler de sistem performansına etki etmektedir. Bu kısımda analiz için kullanılan tüm eşitlikler Yiğit ve Atmaca (2018)’den alınmıştır.

Kollektör üzerine gelen güneş ışıının enerjisi yutucu plaka vasıtasıyla borudaki akışkana aktarılır. Saydam örtü ve yutucu plaka üst yüzeyinden olan taşınım ve ısıtım kayıpları, yutucu plaka alt yüzeyinden olan iletim kayıpları dolayısıyla kollektörün alt kısmından olan taşınım kayıpları faydalı enerjiye etki eder. Kontrol hacmi olarak

kollektör sistemi ele alınarak enerjinin korunumu prensibi ile Eşitlik 2.2'ye ulaşılabilir.

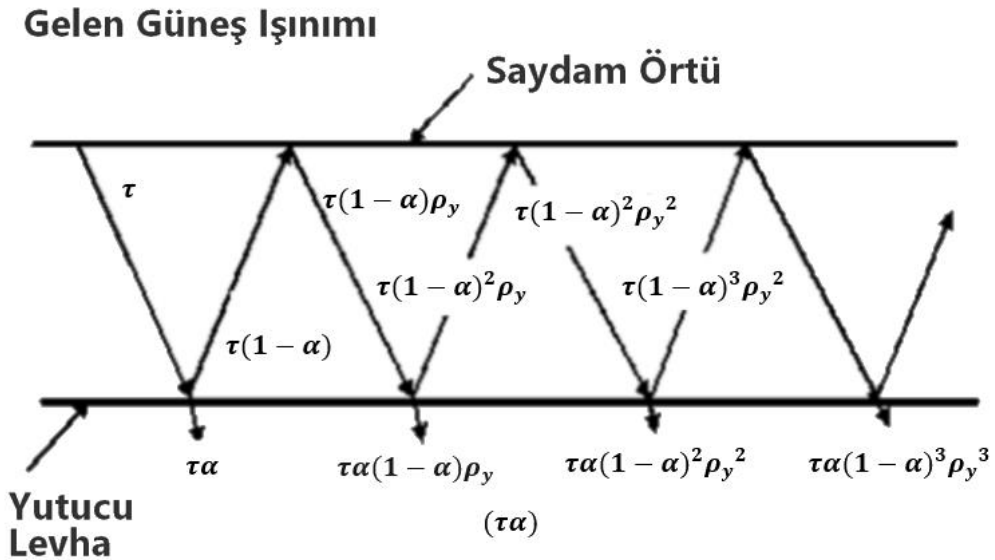
$$I \cdot (\tau\alpha) \cdot A_c = Q_d + Q_f + Q_k \quad (2.2)$$

Kollektör yüzey alanı A_c (m^2), kollektör üzerine gelen ışınlam I (W/m^2), kollektör yutma geçirme çarpımı $\tau\alpha$, depolanan ısı Q_d (W), faydalı ısı Q_f (W), kayıp ısı Q_k (W) ile gösterilmiştir.

Eşitlik 2.2'de $\tau\alpha$ sembolü ile ifade edilen kollektör yutma geçirme çarpımı verime doğrudan etki eder. Güneşten gelen ışınlamın büyük bir kısmı saydam örtüden geçerek yutucu plaka tarafından emilir. Plaka tarafından emilmeyen bölümü ise yüzey özelliklerine bağlı olarak geri yansıtılarak saydam örtüye ulaşır. Yansıyan ışınların saydam örtü tarafından geçirilen ve geri yansıtılan miktarları kollektörün toplam yutma geçirme çarpımını verir. Şekil 2.9'da güneş ışınlamının kollektör içinde teorik hareketi ve yutma geçirme çarpımına etkileri sunulmuştur.

Optik verim olarak da adlandırılan yutma geçirme çarpımında bulunan iki çarpanlardan birincisi α yutma oranı iken, τ geçirme oranıdır. Tüm bunlara bağlı olarak yutma geçirme katsayısı Eşitlik 2.3'te verildiği gibi bulunabilir. Bu eşitlikte ρ_y ise yutucu yüzeyden yansıtılan ışınlamın saydam yüzey tarafından yutucu plakaya yansıtılma oranını ifade eder.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [((1-\alpha)\rho_y)^n] = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \quad (2.3)$$



Şekil 2.9. Kollektöre gelen güneş ışınlamının teorik hareketi ile yutma geçirme katsayısına etkileri (Yiğit ve Atmaca 2018)

Eşitlik 2.3'de ρ_y ile ifade edilen saydam yüzeyin yeniden yansıtılma oranının yüzey özelliklerine göre değişimi, sık kullanılan yüzeyler için Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Saydam yüzeylerin yutucu plakadan yansıtılan ışını geri yansıtma oranları (Yiğit ve Atmaca 2018)

<i>Cam tipi ve sayısı</i>	<i>p_y</i>
Düşük Fe ₂ O ₃ içeren camlar (tek örtü)	0.154
Düşük Fe ₂ O ₃ içeren camlar (çift örtü)	0.233
Pencere camı (tek örtü)	0.143
Pencere camı (çift örtü)	0.202

Direkt, yansıyan ve yayılı olmak üzere farklı ışıınım türü için yutucu yüzeylerin yutma geçirme katsayıları farklılık gösterir. Buna bağlı olarak pratik çözümler için düşük hata oranlarında yaklaşık doğru sonuçlar veren bağıntılar geliştirilmiştir. Eşitlik 2.4 direkt ışıınım için hesaplamada kullanılabilir.

$$(\tau\alpha)_b = (\tau\alpha)_0 - b\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right) \quad (2.4)$$

Yayılı ışıınım durumunda eşdeğer geliş açısının 60° olduğu kabulüyle yutma geçirme oranı Eşitlik 2.5'teki gibi olur. Pratik olarak yayılı ışıınım, yansıyan yutma geçirme oranı ile eşit olduğu durumda toplam yutma geçirme çarpımını ifade eden bağıntı Eşitlik 2.6'da verilmiştir.

$$(\tau\alpha)_d = (\tau\alpha)_0 - b \quad (2.5)$$

$$(\tau\alpha) = (\tau\alpha)_0 - b\left[1 - \frac{I_b R_b}{IR} \left(2 - \frac{1}{\cos\theta}\right)\right] \quad (2.6)$$

Yukarıda verilen tüm bağıntılarda θ güneş ışıınlarının geliş açısıdır. Yutma geçirme çarpımının bir türü olan $(\tau\alpha)_0$ ise, camın normal doğrultusunda gelen direkt güneş ışıınımını etkisi için verilmiş bir ifadedir. Ayrıca bağıntı içerisinde bulunan b ise ampirik bir düzeltme çarpımıdır.

Eşitlik 2.6'da kullanılan I yatay yüzeye düşen anlık toplam ışıınım, R eğik düzleme düşen anlık toplam ışıınımın yatay yüzeye düşen anlık ışıınım oranıdır. R ve I çarpımı I_T olarak da ifade edilir. Bu bağıntıdaki I_b yatay düzleme düşen anlık direkt ışıınım iken R_b eğik yüzeye düşen anlık direkt ışıınımın yatay düzleme düşen anlık direkt ışıınımına oranıdır.

Tüm bu ifadelerde $(\tau\alpha)_0$ ve b değerleri saydam örtünün malzeme türüne ve kalınlığına bağlı değişkenlerdir. Bu sebeple bu değerlerin sık kullanılan saydam örtülere göre değişimi Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Sık kullanılan saydam örtüler özellikleri ve sayısına göre $(\tau\alpha)_0$ ve b değişimi (Yiğit ve Atmaca 2018)

<i>Saydam örtü</i>	<i>$(\tau\alpha)_0$</i>	<i>b</i>
Düşük Fe ₂ O ₃ içeren camlar (tek örtü)	0.87	0.07
Düşük Fe ₂ O ₃ içeren camlar (çift örtü)	0.79	0.09
Pencere camı (tek örtü)	0.80	0.08
Pencere camı (çift örtü)	0.69	0.10

Eşitlik 2.2’de yer alan Q_k ısı kayıpları ifade eder. İdeal bir kollektörde Q_k değerinin mümkün olduğunca küçük olması arzu edilir. Düz plakalı kollektörlerde çevreye olan ısı kaybı kollektörün üst, alt ve yan yüzeylerinin tamamından olur. Yutucu yüzey sıcaklığı T_p ile verilirken, çevre sıcaklığı T_a ile verilir. Isı kayıp katsayısı absorbe edici plaka sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile orantılıdır. Kollektör alanı A_c , toplam ısı transfer katsayısının U_L olduğu ısı kayıplar (Q_k) Eşitlik 2.7’de verilmiştir.

$$Q_k = \frac{T_p - T_a}{R_c} = U_L A_c (T_p - T_a) \quad (2.7)$$

Düz plakalı kollektörlerde kayıplar üst, alt ve yan yüzeyler olmak üzere üç parçada ele alınabilir. Bu üç kaybın toplamı kollektördeki toplam ısı kaybını verir. Kollektörün yan yüzeylerinden olan ısı kayıpları pek çok durumda pratikte ihmal edilebilecek kadar azdır. Alt kısımdan olan kayıplar öncelikle yutucu plakanın alt kısmından kollektörün dışına iletimle olan kayıplardır. İletimle olan bu kaybın önlenmesi için yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. İletim ile ısı transferi olan kollektör alt yüzeyinden daha sonra da çevreye ışıınım ve taşınım ile ısı transferi olur. Birleştirilmiş ışıınım ve taşınım olan alt yüzeylerde sıcaklık farkı düşük olduğundan ışıınım ve taşınım etkisi ihmal edilerek basitçe Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9 yazılabilir.

$$R_{alt} = \frac{l_{yal}}{k_{yal} A_c} = \frac{1}{U_{alt} A_c} \quad (2.8)$$

$$Q_{altkaybı} = \frac{T_p - T_a}{R_{alt}} = U_{alt} A_c (T_p - T_a) \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.8’de kollektörün alt kısmından olan kayıplara ait ısı dirençler verilmiştir. Eşitlik 2.9’da ise bu ısı dirençler kullanılarak kollektör alt kısmından olan kayıplar Watt cinsinden ifade edilmiştir. Bu eşitliklerde kullanılan l_{yal} yalıtım kalınlığını, k_{yal} kullanılan yalıtkanın ısı iletim katsayısını ve U_{alt} alt yüzeydeki toplam ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Kollektörün üst yüzey toplam ısı kaybının hesaplanması, pek çok bağımsız ve bağımlı değişken içerdiğinden karmaşık bir durumdur. Sıcaklığa bağlı değişen durumlar nedeniyle sonuca ancak defalarca tekrarlayan iteratif metotlarla ulaşılması mümkündür. Bunun yerine Eşitlik 2.10’da gerçek değerlere yakın kabul edilebilir sonuca ulaşılmasını

sağlayan bir bağıntı verilmiştir. Bu bağıntı içerisinde deneysel metotlar ile elde edilen katsayılar yerleştirilerek kolay bir çözüme gidilmesi amaçlanmıştır. Eşitlik 2.10'da kullanılan f , C ve h_w değerleri sırasıyla Eşitlik 2.11, Eşitlik 2.12 ve Eşitlik 2.13'te verilmiştir.

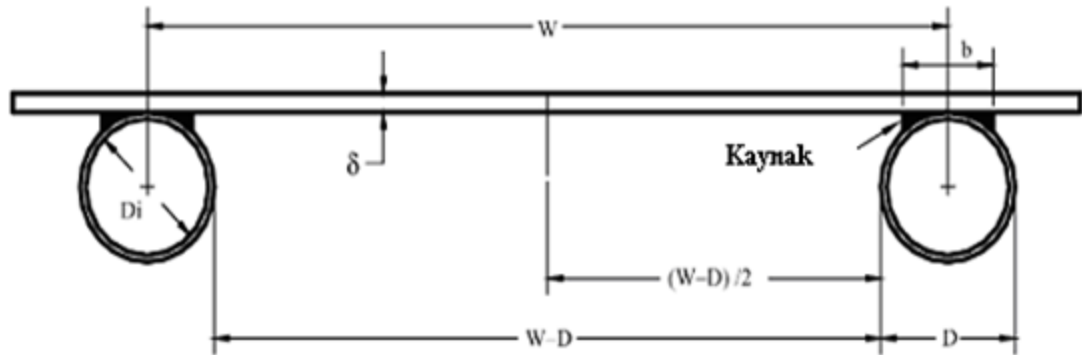
$$U_{üst} = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,33} + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N} \quad (2.10)$$

$$f = (1 - 0,04 h_w + 0,0005 h_w^2) (1 + 0,091 N) \quad (2.11)$$

$$C = 365,9(1 - 0,00883 \beta + 0,0001298 \beta^2) \quad (2.12)$$

$$h_w = 5,7 + 3,8 v \quad (2.13)$$

Eşitliklerde bulunan N saydam örtü sayısı, T_p yutucu yüzey sıcaklığı, T_a çevre sıcaklığı, ε_p yutucu yüzeyin yayma katsayısı, ε_g saydam örtünün yayma katsayısı, β kollektör eğim açısı, σ Stefan-Boltzmann sabiti ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$), h_w dış ortam ısı taşınım katsayısı ve v rüzgâr hızını ifade etmektedir. Şekil 2.10'de düz plakalı güneş kollektöründe yutucu yüzey ve boruları içeren temel boyutlar sunulmuştur.



Şekil 2.10. Düz plakalı kollektörde kullanılan borulu yutucu plakaya ait temel boyutlar (Yiğit ve Atmaca 2018)

Düz plakalı güneş kollektöründe panel üzerindeki borular içerisinde akışkana ısı transferi olurken, boruların olmadığı yüzeylerdeki yutucu plaka da kanatçık görevi görür. Şekil 2.10'da görülen boru ve plaka bir kontrol hacmi olarak ele alınıp giren ve çıkanlar bir enerji denklemine yazılarak Eşitlik 2.14 elde edilir.

$$S\Delta x - U_L\Delta x(T - T_a) + (-k\delta \frac{dT}{dx})|_x - (-k\delta \frac{dT}{dx})|_{x+\Delta x} = 0 \quad (2.14)$$

Eşitlik 2.14’de yer alan S ifadesi yutucu yüzey tarafından yutulan efektif güneş enerjisini ifade eder. Eşitliğin her iki tarafı Δx ile bölünüp limit alınarak Eşitlik 2.15 elde edilir. Eşitlik 2.16 ve Eşitlik 2.17’de bu denklemin çözümü için kullanılan sınır koşulları yer almaktadır.

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{k\delta} (T - T_a - \frac{S}{U_L}) \quad \text{ve} \quad S = (\tau\alpha) \times I_T \quad (2.15)$$

$$\frac{dT}{dx} = 0 \quad x = 0'da \text{ ve } T = T_b \quad x = L'de \quad (2.16)$$

$$m^2 = \frac{U_L}{k\delta} \quad \text{ve} \quad \psi = T - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (2.17)$$

Eşitlik 2.16 ve Eşitlik 2.17’de verilen sınır koşulları kullanılarak denklem ve sınır şartları yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 2.18 ve Eşitlik 2.19’a ulaşılabilir. Diferansiyel denklemin genel çözümünden Eşitlik 2.20 sonucuna ulaşılır. Eşitlik 2.21, Eşitlik 2.22 ve Eşitlik 2.23’te C_1 ve C_2 sabitleri verilmiştir.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} - m^2\psi = 0 \quad (2.18)$$

$$\frac{d\psi}{dx} = 0 \quad x = 0'da \quad \text{ve} \quad \psi = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} \quad x = L'de \quad (2.19)$$

$$\psi = C_1'e^{mx} + C_2'e^{-mx} = C_1\sinh mx + C_2\cosh mx \quad (2.20)$$

$$\frac{d\psi}{dx}|_{x=0} = C_1 m \cosh mx + C_2 m \sinh mx|_{x=0} = C_1 m = 0 = C_1 \quad (2.21)$$

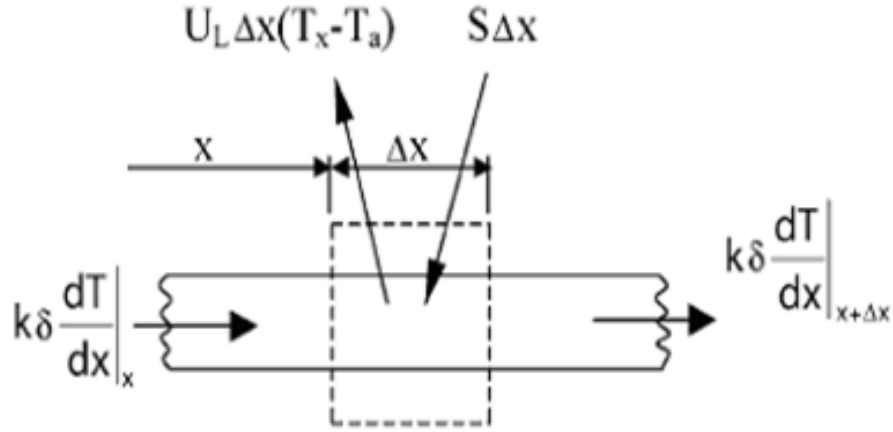
$$\psi = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} = C_2 \cosh mL \quad (2.22)$$

$$C_2 = \frac{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}}{\cosh mL} \quad (2.23)$$

Eşitlik 2.21 ve Eşitlik 2.23’te yer alan C_1 ve C_2 sabitleri yerine konularak Eşitlik 2.24 elde edilir.

$$\frac{T - T_a - \frac{S}{U_L}}{T_b - T_a - \frac{S}{U_L}} = \frac{\cosh mx}{\cosh mL} \quad (2.24)$$

Sıcaklık dağılımı eşitliği (Eşitlik 2.24) seçilen bir y noktasında x yönüne doğru olan sıcaklık dağılımını verir. Eşitlik 2.24’e göre termodinamiğin birinci kanunu yazılarak Eşitlik 2.25 elde edilir. Yutucu plaka ve borular için enerji dengesi Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Yutucu plaka ve borular için enerji dengesi (Yiğit ve Atmaca 2018)

$$Q_k = -k\delta \frac{dT}{dx} \Big|_x = L = \frac{k\delta m}{U_L} [S - U_L(T_b - T_a)] \tanh(mL) \quad (2.25)$$

$$Q_k = (W - D)[S - U_L(T_b - T_a)] \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \quad (2.26)$$

Eşitlik 2.25'te bulunan Q_k ifadesi yeniden düzenlenerek Eşitlik 2.26 elde edilmiştir. Daha sade bir biçimde yazılabilmesi için kanatçık verimi (F) Eşitlik 2.27'de tanımlanarak Q_k ifadesinin sade hali 2.28'da yazılmıştır. Boruya bitişik kanatçıklardan boruya geçen enerji Eşitlik 2.29'daki gibi ifade edilmiştir. Eşitlik 2.29 ve Eşitlik 2.28 kullanılarak birim uzunluk için faydalı enerji Eşitlik 2.30'daki gibi verilmiştir.

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \quad (2.27)$$

$$Q_k = (W - D)F[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (2.28)$$

$$Q_b = D[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (2.29)$$

$$Q_f = Q_k + Q_b = [(W - D)F + D][S - U_L(T_b - T_a)] \quad (2.30)$$

Elde edilen faydalı enerji, borudan geçen çalışma akışkanına transfer edilir. Faydalı enerjinin bir başka ifadesi Eşitlik 2.31'de yer almaktadır.

$$Q_f = \frac{T_b - T_f}{\left(\frac{1}{C_b}\right) + \left(\frac{1}{h_{c,i}\pi D_i}\right)} \quad (2.31)$$

Tüm bu eşitliklerde boru içerisindeki çalışma akışkanı sıcaklığı T_f , boru dış yüzey sıcaklığı T_b , boru içerisindeki taşınım katsayısı $h_{c,i}$, ısı iletim katsayısı k_b , boru iç çapı D_i , kaynak iletkenliği C_b , birleştirme kalınlığının ortalaması γ olarak alınmıştır. T_b

sıcaklığının bilinmediği durumda bu sıcaklığı çıkarmak için diğer eşitlikler yardımıyla Eşitlik 2.33 yazılmıştır. Bu eşitlik içindeki F' (kollektör verim faktörü) Eşitlik 2.32'da tanımlanmıştır. Bu faktör, mevcut faydalı enerji ile yüzeyin her noktasının akışkan sıcaklığına eşit olduğu durumdaki faydalı enerjinin oranına eşittir. Ayrıca kollektör verim faktörü yardımıyla çalışma akışkanının kollektörden çıkış sıcaklığı (T_c) da elde edilebilir. Buna ilişkin bağıntı Eşitlik 2.34'te yer almaktadır.

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L[D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{h_{c,i}\pi D_i} \right]} \quad (2.32)$$

$$Q_f = WF'[S - U_L(T_f - T_a)] \quad (2.33)$$

$$\frac{T_c - T_a - \frac{S}{U_L}}{T_g - T_a - \frac{S}{U_L}} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{\dot{m} c_p}\right) \quad (2.34)$$

Faydalı enerji, akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının bilindiği durumda değişik formlarda yazılabilir. Eşitlik 2.35'te giriş ve çıkış sıcaklıkları ile özgül ısı değeri (C_p) bilinen akışkan için faydalı enerji ifadesi verilmiştir.

$$Q_f = A_c [I_t(\tau\alpha) - U_L(T_p - T_a)] = \dot{m} c_p (T_c - T_g) \quad (2.35)$$

Akışkan sıcaklığı ile yutucuyu yüzeyin her noktasının sıcaklığının birbirine eşit olduğu durum ideal koşulları temsil eder. Bu koşullardaki ideal faydalı enerji Eşitlik 2.36'da verilmiştir. İdeal faydalı enerjiden faydalanılarak Eşitlik 2.37'de ise kollektör ısı kazanç faktörü ifadesi verilmiştir. Bu ifadeye bağlı olarak da faydalı enerjinin bir başka ifadesi Eşitlik 2.38'de yer almaktadır.

$$Q_{fi} = A_c [S - U_L(T_g - T_a)] \quad (2.36)$$

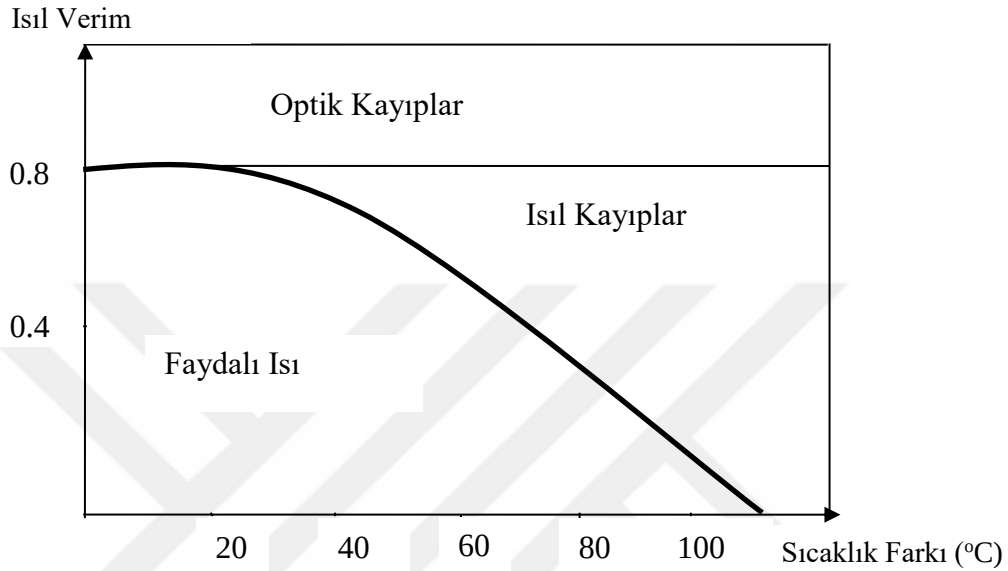
$$F_R = \frac{Q_f}{Q_{fi}} = \frac{\dot{m} c_p}{A_c U_L} \left(1 - \exp \left[-\frac{U_L F' A_c}{\dot{m} c_p} \right] \right) \quad (2.37)$$

$$Q_f = A_c F_R [S - U_L(T_g - T_a)] \quad (2.38)$$

Düz plakalı güneş kollektörlerinde anlık verim ifadesi, bir önceki bölümde Eşitlik 2.1'de de ifade edildiği gibi faydalı enerjinin kollektör üzerine gelen tüm enerjiye oranı şeklinde tanımlanır. Bu tanıma göre anlık verim ifadesi Eşitlik 2.39'da verilmiştir. Ayrıca bir diğer anlamlı veri olan ortalama verim ifadesi de Eşitlik 2.40'ta yer almaktadır. Ayrıca düz plakalı bir güneş kollektörüne ait temsili ısı verim eğrisi Şekil 2.12'de görülebilir.

$$\eta = \frac{Q_f}{A_c I_T} = F_R \left[(\tau\alpha) - \frac{U_L(T_g - T_a)}{I_T} \right] \quad (2.39)$$

$$\eta = \frac{\int_{w_1}^{w_2} Q_f}{\int_{w_1}^{w_2} A_c I_T} \quad (2.40)$$



Şekil 2.12. Düz plakalı güneş kolektörüne ait verim eğrisi (Yiğit ve Atmaca 2018)

2.3. Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar, ısı transferinde kullanılan akışkanların ısı iletkenliğinin artırılması amacıyla içerisine nanopartiküller eklenerek elde edilen seyreltik süspansiyonlardır. Nanoakışkanlarda kullanılan partiküllerin boyutları genellikle 1-100 nm aralığındadır (Choi 1995).

2.3.1. Nanoakışkan türleri

Nanoakışkanlarda bakır, altın, gümüş gibi metallerin yanı sıra alüminyum oksit, bizmut oksit, silisyum dioksit, zirkonyum dioksit gibi metal oksitleri de kullanılabilir. Ayrıca grafen, tek veya çok duvarlı karbon nanotüpler gibi karbon yapıları da nanoakışkanlarda kullanılır.

2.3.1.1. Seramik nanoakışkanlar

Tarihi en eski nanoakışkan türleri arasında seramik nanoakışkanlar yer alır. Xuan ve Li (2000) tarafından yapılan çalışmada CuO ve Al₂O₃ esaslı nanoakışkanlar kullanılarak baz akışkanın nanopartikül eklenmemiş haline oranla ısı iletkenliğinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır. Seramik nanoakışkanlar ayrıca, oksitli veya oksitsiz olmalarına göre kategorize edilebilir. Bunların başlıcaları; Al₂O₃, CuO, TiO₂, SiO₂, Fe₂O₃ olarak gösterilebilir (Das vd. 2006).

2.3.1.2. Metalik nanoakışkanlar

Nanopartikül olarak saf metallerin kullanıldığı nanoakışkanlar metalik nanoakışkanlar olarak anılır. Ag, Al, Fe, Cu esaslı nanopartikül içeren nanoakışkanlar metalik nanoakışkanlardır. Yapılan çalışmalarda aynı hacimsel orandaki metal oksit nanoakışkanlara kıyasla daha yüksek ısı iletkenlik sağladıkları saptanmıştır (Ali vd. 2011). Ayrıca bazı metal alaşımları da nanoakışkanlarda kullanılmaktadır (Nithyadevi vd. 2017).

2.3.1.3. Polimer ve karbon nanotüp nanoakışkanlar

Polimer ve karbon nanotüpleri ile yapılan çalışmalar ile, bu tür nanoakışkanların metal veya metal oksit esaslı nanoakışkanlara oranla aynı hacimsel oranda çok daha yüksek ısı iletkenlik sağladığı sonucuna varılmıştır. Karbon nanotüplerinin yaklaşık 3000 W/mK'den daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu göz önüne alındığında bu artışın nedeni anlaşılmaktadır. Nanoakışkanlar üzerinde yapılan çalışmalar en boy oranının ısı iletkenlik üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Nanotüpler, diğer nanoakışkanlar arasında en boy oranı konusunda ısı iletkenliğe en çok katkıda bulunacak yapıya sahiptir (Das vd. 2006).

2.3.2. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri

Isı iletkenliğinin yüksekliği, düşük pompa gücü gerektirmesi, soğuma hızının yüksekliği, sürtünme katsayısının az olması gibi olumlu özelliklerin bir arada amaçlanıyor olması üretim aşamasındaki zorluklardandır. Nanoakışkan üretiminde genel olarak iki metot kullanılır. Bir tanesi boyut küçültülerek yapılan yukarıdan aşağıya (iki adım yöntemi), diğeri ise partiküllerin eşzamanlı üretilerek dağılmasıyla yapılan tek adım (aşağıdan yukarıya) yöntemidir.

2.3.2.1. İki adım yöntemi

İki adım yöntemi için kuru nanopartiküllerin kutu tozlar halinde alınması veya sentezlenmesi gerekmektedir. Farklı yollarla sentezlenen nanopartiküller aynı kristal yapıda olsalar dahi farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olabileceğinden nihai nanoakışkanın kalitesine etki edebilecek özelliklere sahip olabilmektedir. Nanopartikül sentezi için pek çok yöntem bulunmaktadır. Mekanik yöntemler, sıvı ve buhar yöntemleri gibi pek çok ana yöntem mevcuttur. Ultrasonik banyo, ultrasonik homojenizasyon, manyetik karıştırıcı kullanımı, kesmeli karıştırıcı kullanımı, pH değiştirme bu yöntemde kullanılan temel işlemlerden bazılarıdır (Mondragon vd. 2012).

2.3.2.2. Tek adım yöntemi

Nanoakışkanların aşağıdan yukarıya doğru kimyasal reaksiyonlar ile elde edilmesine tek adım yöntemi adı verilir. Böylece, tek adımlı yöntemde depolama, kurutma, taşıma ve dispersiyon gibi aşamalar atlanmış olur. Nanopartiküllerin baz sıvıda dispersiyonu iyileştirilirken, aglomerasyon minimuma indirilir. Tek aşamalı yöntemlerden bir tanesi malzemenin kapalı bir kapta ısıtılarak merkezkaç kuvveti etkisi altında baz sıvıyla karıştırılmasını temel alan buhar biriktirme (VDP) yöntemidir (Choi vd. 2001). Bir diğer tek adımlı yöntem ise lazer ablasyonu yöntemidir. Baz akışkan içinde bulunan malzemenin yüzeyinden odaklanmış lazer ışını ile partikülü dağıtmak için kullanılan yöntemdir. Huang vd. (2008) bir çalışmada TiO₂ esaslı nanoakışkan

hazırlamak için bu yöntemi kullanmıştır. Vakum haznesindeki baz akışkan içerisine saf titanyum çubuk daldırılarak yüksek sıcaklıkta ark ile nanoakışkan elde edilmesi yöntemine ise tozaltı ark yöntemi denir. Chang vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada bu yöntem ile TiO_2 esaslı nanoakışkan elde edilmiştir.

2.3.3. Nanoakışkanların kullanım alanları

2.3.3.1 Otomotiv sektörü

Otomobillerde kullanılan radyatörler, havalandırma ve ısıtma sistemleri, otomatik şanzıman yağları, soğutucular gibi bileşenlerin tamamında nanoakışkanların sunmuş olduğu yüksek ısıl iletkenlikten faydalanılabilir. Yakıt fiyatlarının günden güne artması günümüzde otomobillerde yakıt tasarrufunun önemini daha da arttırmıştır. Yakıt tasarrufu için yapılan çalışmaların önemli bir bölümü aerodinamik üzerine kurulmuştur. Otomobillerin genellikle ön kısmına yerleştirilen büyük radyatörler, otomobilleri aerodinamik açıdan oldukça kötü etkiler. Ayrıca ısı transfer performansı artan sistemler kütsel olarak da küçülecektir. Tüm bu sebeplerle yakıt tüketimi doğrudan ve dolaylı yollardan azalacaktır. Ağır vasıtalar üzerinde yapılan bir çalışmada radyatör boyutu küçültülerek %5 ile %6 arasında yakıt tasarrufu yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada nanopartiküllerin radyatörü aşındırma ihtimali de göz önünde bulundurulmuş, düşünüldüğü gibi Cu esaslı nanoakışkanın kısa sürede aşınmaya yol açtığı, Al_2O_3 esaslı nanoakışkanın ise nispeten düşük aşındırma yaptığı görülmüştür Singh vd. (2006).

Yapılan birtakım çalışmalar bazı nanopartiküllerin belli durumlarda katalizör davranışı sergilediklerini göstermiştir. Al_2O_3 kullanılarak yapılan çalışmada dizel yakıtlara nanoakışkan karıştırılmasıyla dizel yakıt veriminin artırılabilir ve aynı zamanda egzozdan çıkan zararlı dumanların oranını düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Kao vd. 2007).

Hareket eden her cisim gibi otomobiller de hareket halindeyken belli bir kinetik enerjiye sahiptir. Otomobillerde frenleme, frene basıldığı anda aracın kinetik enerjisinin çoğunun sürtünme etkisiyle ısıl enerjiye dönüşmesiyle olur. Frenleme sebebiyle hidrolik sıvısı aşırı ısındığında frenler görev yapamaz hale gelebilir. Al_2O_3 partikülleri kullanılan fren sıvısı ile yapılan çalışmada; geleneksel sıvıya göre daha yüksek viskozite, ısıl iletim ve yüksek kaynama noktası elde edilmiştir (Kao vd. 2007).

Nanoakışkan kullanılan bir diğer alan ise otomobil şanzımanıdır. Devir ve kullanıma bağlı olarak yüksek sıcaklıklara çıkabilen şanzımanda nanoakışkan kullanımına ilişkin literatürde çalışmalar mevcuttur. Al_2O_3 ve CuO esaslı nanoakışkanlar kullanılarak yapılan bir çalışmada otomobil şanzımanının performansı belli kriterlere göre test edilmiştir. Sonuç olarak CuO esaslı nanoakışkanın hem yüksek hem de düşük devirlerde geleneksel şanzıman yağına göre performans artışı sağladığı saptanmıştır (Tzeng vd. 2005).

2.3.3.2. Endüstriyel soğutma

Nanoakışkanların ısı transfer performansı ısıtma ve soğutma sistemlerinde de aktif şekilde kullanılabilir. Routbort vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nin soğutma ve ısıtma suları yerine nanoakışkan kullanımı durumunda

yaklaşık 300 milyon kWh enerji tasarrufu potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır. Yine elektrik üretimindeki kapalı çevrim akışkanları yerine nanoakışkan kullanımı durumunda yaklaşık 50 bin ile 150 bin arasındaki hanenin yıllık enerji tüketimine eşit bir enerji tasarrufu yapılabileceği gösterilmiştir.

2.3.3.3. Nükleer reaktörler

Nükleer reaktörler genel anlamda geleneksel güç santralleri ile aynı prensiple çalışırlar. Özellikle basınçlı su reaktörlerinde birincil soğutma suyu yerine nanoakışkanların kullanılabilir olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalarda nanoakışkanların nükleer reaktörlerde soğutucu olarak kullanımının performans artışına yol açtığı saptanmıştır. Basınçlı su reaktörlerinde oldukça etkili soğutma performansı sunmuş olan nanoakışkanlar, reaktörün diğer ısınan kısımlarının soğutulması için yapılacak çalışmaların da önünü açmıştır. Buhar içindeki nanoakışkan davranışının önceden öngörülemez oluşu, bu akışkanların kaynar su reaktörlerinde kullanımını kısıtlamaktadır. Türbin ve kondensere nanopartikül karışması durumunda uzun vadede sisteme yarardan çok zarar verme ihtimali bu alandaki çalışmaların dikkat çektiği bir diğer konudur (Kim vd. 2007).

2.3.3.4. Elektronik soğutma

Yarı iletkenlerin bulunması ile elektronik sektörü oldukça büyük aşama kat etmiştir. Günümüzde mikroçiplerin gelişimindeki en büyük engellerden birisi de ısınmadır. Boyutlarının küçük olmasının pek çok alanda avantaj yarattığı mikroçiplerin yüzey alanları ısınma konusuna gelince bir dezavantaja dönüşmektedir. Boyutları mümkün olduğunca küçük yapıldığı için ısı transferi için gerekli parametrelerden birisi olan yüzey alanı yetersiz kalmaktadır. Nguyen vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada mikroişlemciler üzerinde Al_2O_3 -su nanoakışkanının soğutma etkileri incelenmiştir. Partikül boyutlarının ısı taşınım katsayısına etkisinin de incelendiği bu çalışmada düşük boyuttaki partiküllerin daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

2.3.3.5. Biyomedikal uygulamaları

Nanoakışkanların sağlık sektöründe de uygulama alanları bulunmaktadır. Geleneksel ilaçlar bir canlıya verildiğinde belli bir süre sonra kana karışır ve kandaki ilaç miktarı eşit şekilde maksimum seviyeye çıkarak zamanla azalır. Sonuç olarak geleneksel ilaçların grafiği zamanla artan ve azalan şeklinde olmaktadır. Nanoakışkan teknolojisi sayesinde ilacın salınımının belli bir sürede eşit miktarda olmasıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca metal esaslı nanoakışkanlar ile metalin manyetik etkiler altındaki davranışlarından faydalanarak ilacın belli bir bölgede yoğunlaştırılması ve kemoterapi gibi tedavilerde doğrudan kanserli hücreyi etkileyecek sistemler geliştirilmektedir (Neuberger vd. 2005; Chiang vd. 2007; Dykman vd. 2012).

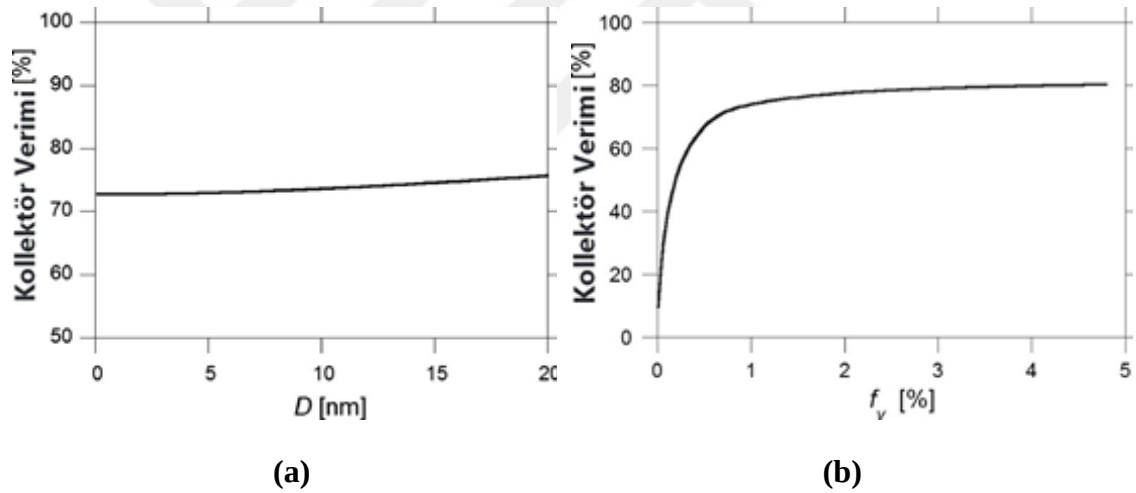
2.3.3.6. Diğer alanlar

Yapılan diğer çalışmalar göz önüne alındığında nanoakışkanların genel olarak akışkan ile ısı transferinin yapıldığı her sektörde potansiyel performans artışı sunduğu görülmüştür. Günümüzde ısıtma ya da soğutma ısı transferi ihtiyaç duyulan alanlarda nanoakışkan çalışmaları sürmektedir. Bu çalışmanın da konusunu içeren, nanoakışkanların bir diğer uygulama alanı da güneş enerji sistemleridir. Bir sonraki bölümde güneş enerjisinde nanoakışkan uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

2.4. Güneş Enerjisinde Nanoakışkan Uygulamaları

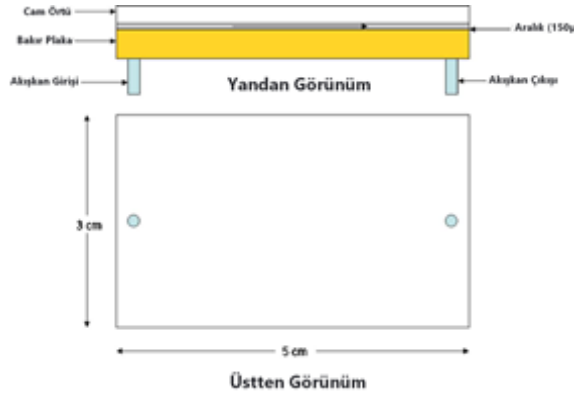
Güneş enerji sistemlerinde genellikle güneş ışınımını ısıya dönüştürmek için yutucu yüzeyler kullanılmaktadır. Bu yüzeyler ile ısı transfer sıvısı arasındaki ısı direnci mevcuttur. Bu da sistemin veriminin düşmesine sebep olan etkenlerden bir tanesidir. Bazı sıvı içerisinde küçük katı parçacıkların eklenerek ısı direnci düşürmeyi amaçlayan ilk çalışmalardan biri Abdelrahman vd. (1979) tarafından yapılmıştır.

Güneş enerjili sistemlerde çeşitli nanoakışkanlar kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Tyagi vd. (2009) tarafından doğrudan absorpsiyonlu güneş kolektörü üzerinde alüminyum oksit nanopartikülleri ve su karışımından oluşan nanoakışkan kullanarak teorik bir çalışma yapılmıştır. Şekil 2.13.a'da 1 ile 20 nm aralığında partikül büyüklüğünün değişimine bağlı olarak kolektör veriminin değişimi verilmiştir. Kolektör partikül veriminin, partikül boyutu ile doğru orantılı arttığı saptanmıştır. Kolektör verimindeki büyümenin hacim oranı ile ilişkisi Şekil 2.13.b'deki gibidir. Düşük hacimsel oranlarda, hacimsel orana bağlı verim artışı hızlı bir şekilde olurken yaklaşık %1'den sonra verim artışı düşüğe geçerek verim yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Aynı zamanda %0.8 sabit hacimsel oranda nanopartikül boyutlarını değiştirerek yapılan çalışmada partikül boyutunun artması ile ısı transfer kapasitesinin az da olsa arttığı tespit edilmiştir (Tyagi vd. 2009).

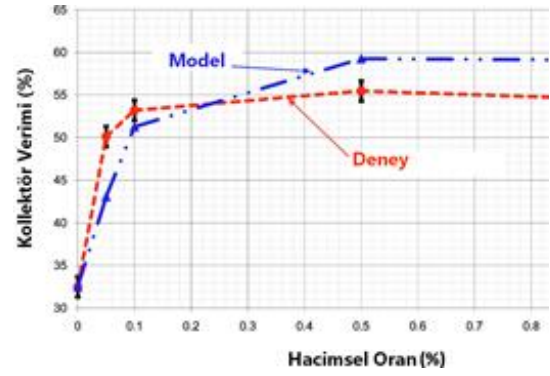


Şekil 2.13. a) Kolektör veriminin partikül boyutuna (D) göre değişimi ($f_v = 0.8\%$); **b)** Kolektör veriminin hacimsel orana (f_v) göre değişimi (D=5 nm) (Tyagi vd. 2009)

Bir başka çalışmada karbon nanotüp, grafit ve gümüş gibi partiküller içeren farklı nanoakışkanların performansı deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Deneysel inceleme için doğrudan absorpsiyonlu bir güneş enerji sistemi kullanılmıştır. Böylece nanoakışkanın doğrudan güneş ışığını absorbe etmesi amaçlanmıştır. Şekil 2.14.a'da şematik olarak gösterilen sistemde 5 cm x 3 cm boyutundaki dikdörtgen yüzey ile 150 μ m derinliğinde bir kanal kullanılmıştır. Ayrıca güneş spektrumunu simüle etme için özel parabolik enkandesan bir lamba kullanılmıştır. Tyagi vd. (2009) tarafından kullanılan eşitlik (Eşitlik 2.1) kullanılarak kolektör verimi değerlendirildiğinde yaklaşık %0.5 hacimsel orandan sonra verim artışının yavaşladığı (Şekil 2.14.b) tespit edilmiştir (Otanicar vd. 2010).



(a)



(b)

Şekil 2.14. a) Mikro güneş kolektörünün şematik gösterimi; **b)** 30 nm grafit küreleri kullanılarak yapılan deneysel ve teorik çalışmaların karşılaştırılması (Otanicar vd. 2010)

Otanicar vd. (2010) tarafından yapılan çalışma dışında doğrudan absorpsiyonlu sistemlerde kullanılmak üzere grafit, altın, gümüş, bakır ve alüminyum nanopartiküllerinin su ve yağ baz akışkanlarındaki özellik karakterizasyonları bir çalışma ile araştırılmıştır. Yapılan çalışmada grafit nanopartikülü içeren nanoakışkanların metalik esaslı nanoakışkanlara göre daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada varılan bir diğer sonuç ise baz akışkan olarak su kullanımının yağ kullanımına göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. (Taylor vd. 2011).

Tiwari vd. (2013) tarafından yapılan teorik bir çalışmada nanoakışkanların düz plakalı güneş kolektörü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada düz plakalı güneş kolektöründe Al_2O_3 esaslı nanoakışkanın kullanıldığı ve ısı transfer akışkanı olarak su kullanıldığı durumlardaki verimler karşılaştırılmıştır. Dakikada 0.5, 1, 1.5 ve 2 litre olacak şekilde üzere dört farklı hacimsel debide iki akışkanın karşılaştırılması sağlanmış ve verimin akışkan tipi ve debiye göre nasıl değiştiği gösterilmiştir. Yüksek debide performans artışları kaydedilmiştir. Bu çalışmada incelenen diğer bir parametre ise baz akışkandaki Al_2O_3 partiküllerinin hacimsel oranının verime etkisidir. %0.5, %1, %1.5 ve %2 hacimsel oranda yapılan karşılaştırmalarda en yüksek performans artışının %1.5 hacimsel orandaki Al_2O_3 nanoakışkanı ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada kWh başına salınan kilogram karbondioksit miktarında azalma tespit edilmiş ve nanoakışkan kullanılan sistemde geleneksel sisteme göre yaklaşık %31 verim artışı elde edilmiştir.

Odaklı bir güneş enerji sisteminde geleneksel model ile nanoakışkanın kullanıldığı sistemler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Al_2O_3 , CuO, Cu, TiO_2 (15 nm), Al gibi partiküller değerlendirilmiştir (Taylor vd. 2011). Mercatelli vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise etilen glikol süspansiyonunda tek duvarlı karbon nanohornlarının (SWCHs) kullanılabilirliği araştırılmış ve güneş kolektörlerinde kullanıldığında faydalı olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Bir diğer çalışmada su- TiO_2 ve su-CNT (karbon nanotüp) içeren nanoakışkan performansları vakum tüplü güneş enerji sistemi ile güneşli ve bulutlu hava şartlarında karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda CNT-su sisteminin ısıtım-ısı dönüşümü

karakteristikleri bakımından daha uygun olduğu saptanmıştır (He vd. 2011). ZnO-su, Al₂O₃-su, MgO-su gibi nanoakışkanlar ile çeşitli hacimsel oranlarda performans artışı çalışmaları da yapılmıştır. Sonuç olarak %0.2'lik ZnO-su nanoakışkanının en iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır (Li vd. 2011).

Nanoakışkan tabanlı odaklı parabolik güneş enerji sistemi ile geleneksel odaklı parabolik güneş enerji sisteminin aynı şartlar altında karşılaştırılmasını amaçlayan çalışmada %0.05 alüminyum esaslı, Therminol VP-1 baz akışkanı ile aynı hava şartlarında çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda geleneksel sistemlere göre %5 ile %10 arasında verim artışı elde edilmiştir (Khullar vd. 2013).

Yousefi vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada Al₂O₃-su nanoakışkanının düz plakalı güneş enerji sisteminin ısı performansını üzerine etkileri incelenmiştir. %0.2 ile %0.4 oranında, 15 nm boyutunda partiküller ile yapılan bu çalışmada Triton X-100 sürfaktanının da verim üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Yousefi vd. (2012) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise pH değişiminin ısı transfer performansı üzerine etkileri tespit edilmiştir. Bu çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp-su nanoakışkanı kullanılarak 3.5, 6.5 ve 9.5 pH değerinde Triton X-100 eklenerek verim artışı araştırılmıştır.

TiO₂ parçacıkları içeren nanoakışkan kullanılarak çift fazlı kapalı bir ısıtıcının ısı performans artışı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada 40 cm buharlaşma, 40 cm yoğunlaşma ve 20 cm adyabatik bölgeleri içeren 1 metre boyunda bir bakır boru ısı borusu olarak kullanılmıştır. Üç farklı güçte ve üç farklı debide yapılan çalışmalar ile nanoakışkan kullanımının ısı performansına etkileri araştırılmıştır. Çeşitli debi ve ısıtıcı güçlerinde yapılan çalışmalarda elde edilen en iyi sonuçta 200 W güç ve 5 g/s kütleli debideki soğutma suyunun kullanıldığı durumda %16.5 verim artışı elde edilmiştir (Çiftçi vd. 2016). Said vd. (2015) düz plakalı bir güneş enerji sisteminde %0.1 ile %0.3 arasında değişen hacimsel oranda ve 0.5 kg/dk ile 1.5 kg/dk arasında değişen debide TiO₂-su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer performansı üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda %0.1 hacimsel oran ve 0.5 kg/dk debide %76.6 verim artışı elde edilmiştir. Mahendran vd. (2011), vakum tüplü güneş enerji sisteminde TiO₂-su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer kapasitesi performansı üzerine çalışmışlardır. Zorlanmış taşınım ile yapılan çalışmada 30-50 nm boyutlarındaki TiO₂ nanopartikülü kullanılan sistemde %16.7 oranında performans artışı gözlemlenmiştir.

TiO₂-su nanoakışkanının ısı performansına etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada %2 TiO₂/saf su karışımı kullanılmıştır. Ardından karışıma %0.2 Triton X-100 sürfaktanı eklenerek çalışma tamamlanmıştır. Düz plakalı güneş kolektörü ile zorlanmış taşınım şartları altında yapılan çalışmada TiO₂-su nanoakışkanı için en yüksek verim yaklaşık %48 olurken, saf su kullanıldığı durumda en yüksek anlık verim yaklaşık %36 olarak elde edilmiştir (Kılıç vd. 2018).

Teoride oldukça faydalı olan nanoakışkanların uzun vadede metaller üzerindeki aşındırıcı etkileri hakkında da bir çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmada alüminyum oksit esaslı nanoakışkanın bakır, paslanmaz çelik, alüminyum gibi metaller üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 50 nm boyutundaki alüminyum oksit nanopartiküllerinin kullanıldığı bu çalışmada baz akışkan olarak su tercih edilmiştir. Çalışma ile Al₂O₃ esaslı nanoakışkanın paslanmaz çelik üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilir olsa da bakır ve alüminyum üzerindeki ciddi etkileri olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Fotowat vd. 2017).

Ag esaslı bir nanoakışkan kullanılarak düz plakalı güneş kollektörünün ısı performansının teorik olarak analiz edildiği bir çalışma da mevcuttur. Baz akışkan olarak su kullanılan bu çalışmada giriş ve çıkış sıcaklıklarının, kütleli debinin, güneş ışıması miktarının ve ısı transfer katsayısının ısı verime etkileri üzerinde çalışılmıştır. Re sayısının 5000 ile 25000 aralığında ve yapay sinir ağı metodu ile yapılan teorik çalışmalarda yaklaşık 10000 Reynolds'a kadar sistemin verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır. Yapılan teorik çalışma deneysel verilerle karşılaştırıldığında gerçek verilere yaklaşık yüzde 2 fark ile yaklaşıldığı görülmüştür (Tomy vd. 2016).

Verma vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada düz plakalı güneş enerji sisteminde nanoakışkan kullanımının etkileri araştırılmıştır. SiO_2 , CuO , TiO_2 , grafen, Al_2O_3 ve MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüp) esaslı nanoakışkanlar kullanılarak yapılan deneysel çalışmada çalışma akışkanı olarak saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan nanoakışkanların hacimsel oranlarının da verim üzerine etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Yaklaşık %0.75 hacimsel orana kadar nanoakışkan kullanılan tüm sistemlerde saf su kullanılan sisteme göre ciddi verim artışı sağlanırken, bu orandan sonra verimlerin yaklaşık sabit kaldığı görülmüştür. Başta SiO_2 , grafit ve Al_2O_3 olmak üzere pek çok nanoakışkanın %1.25 hacimsel orandan sonra verim düşüşüne sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile kullanılacak nanoakışkanın hacimsel oranının verim ile doğrudan bir ilişkisi olmadığına dikkat çekilmiştir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak çekirdek-kabuk (core-shell) yapıda partiküller içeren nanoakışkanlar ile bu yapının getirmiş olduğu yüksek ısı iletkenliğinin avantaja çevrilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan çekirdek-kabuk yapısının çekirdek ve kabuk kısımlarının birbirinden farklı ısı iletkenlik kapasitelerinin performans üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı yapıdaki nanoakışkanların kapalı devre güneş enerjili su hazırlama sistemlerinde doğal taşınım ile ısı transferi üzerinde etkileri incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Kapalı devre güneş enerjili sıcak su sistemleri, kollektör, depo, ısı değiştirici serpantin ve borulamadan oluşmaktadır. Kapalı devre sistemin bir özelliği, ısıнын aracı bir akışkan ile taşınmasıdır. Sistem içerisinde sürekli ısı transferini gerçekleştiren bu akışkan sayesinde depoda bulunan kullanım suyuna ısı aktarılır, ancak iki sıvı fiziksel bir temas içerisinde olmadığı için kesinlikle birbirine karışmaz. İki akışkanın birbirine karışmaması pek çok farklı açıdan avantaj sağlar. Güneşin olmadığı durumlarda özellikle gece sıcaklığın çok düştüğü bölgelerde donma tehlikesini önlemek için çalışma akışkanı olarak etilen glikol – su karışımı da sıklıkla kullanılır. Bu karışımın donma sıcaklığı sudan daha düşük olduğundan, daha düşük sıcaklıklarda da sıvı fazında kalarak karşılaşılabilecek olumsuzlukların önlenmesi amaçlanır. Aynı fikirle, kapalı devre içerisinde akışkan başka bir akışkanla karışmadığı için ısı transfer performansını arttırmaya yönelik farklı türlerde akışkanların kullanımı da mümkündür.

Bu tez çalışması kapsamında doğal sirkülasyonlu kapalı devre güneş enerjili su sistemlerinde kollektör hattında çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılarak ısı performansın nasıl değiştiği araştırılmıştır. Gerçek sisteme mümkün olduğunca yakın model kapalı çevrimli güneş enerjili sıcak su sistemi tasarlanmış ve bu sistemden iki adet kurulum yapılmıştır. Deney düzeneğinin kurulum süreci, kullanılan elemanlar ve diğer tüm bilgiler bu bölüm içerisinde verilmiştir.

3.1. Kullanılan Akışkanlar

Kapalı devre güneş enerjili sıcak su hazırlama sisteminde nanoakışkan kullanımının performans üzerine etkileri araştırılırken, nanoakışkan kullanımının yarattığı performans artışını görebilmek için bir referans değer gereklidir. Bu çalışmada referans değer belirlenebilmesi için çalışma akışkanı olarak geleneksel sistemlerde de sıklıkla kullanılan saf su kullanılmıştır. Tüm çevre ve fiziksel koşullar aynı olacak şekilde tasarlanan iki sistemden birincisinde saf su, diğerinde ise çalışma akışkanı olarak seçilen nanoakışkan kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda su kullanılan sistemden alınan deneysel veriler referans kabul edilerek su yerine nanoakışkan kullanılan sistemin performansı çeşitli metotlarla incelenmiştir.

Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde temel akışkan olarak seçilen H₂O içine çeşitli nanopartiküller eklenerek nanoakışkanlar elde edilmiştir. Bu çalışmada TiO₂ çekirdek SiO₂ kabuk, Fe₃O₄ çekirdek SiO₂ kabuk, ZnO çekirdek SiO₂ kabuk esaslı olmak üzere temel olarak üç farklı tipte nanoakışkan kullanılmıştır. Kullanılan bu nanoakışkanlar ifade kolaylığı açısından sırasıyla NA1, NA2 ve NA3 olarak adlandırılmıştır.

Kullanılan tüm akışkanlar kütlece %2 konsantrasyonda olacak şekilde hazırlanmıştır. Partikül yoğunluklarının farklı olması sebebiyle her bir akışkan farklı hacimsel konsantrasyonlara sahiptir. Kullanılan akışkanların hacimsel konsantrasyonları; TiO₂ - SiO₂ (NA1) için %1.033, Fe₃O₄ - SiO₂ (NA2) için %0.458 ve ZnO - SiO₂ (NA3) için ise %0.994 olarak verilmiştir. Kullanılan akışkanlara ait temel bilgiler Çizelge 3.1’de ve bu akışkanlara ait numune görüntüleri ise Şekil 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan akışkanlara ait temel bilgiler

No	Kısaltma	Temel akışkan	Çekirdek	Kabuk	ϕ_m	ϕ_v
1	TA	H ₂ O	-	-	-	-
2	NA1	H ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	%2	%1.033
3	NA2	H ₂ O	Fe ₃ O ₄	SiO ₂	%2	%0.458
4	NA3	H ₂ O	ZnO	SiO ₂	%2	%0.994

**Şekil 3.1.** Deney düzeneğinde çalışma akışkanı olarak yer alan akışkanlara ait numune görüntüleri

3.1.1. Partiküllerin sentezi ve karakterizasyonu

Çekirdek-kabuk (core-shell) yapılı nanopartiküllerin sentezinde sol-jel reaksiyonları temeline dayanan “reflux ve hidrotermal yöntem” kullanılmıştır. Sol-jel yöntemi, metal alkoksit ve/veya metal tuzlarının sulu veya susuz çözücüler varlığında hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonlarına dayanmaktadır. Bu reaksiyonlar, ısı kontrol altında olmak üzere, reflux yönteminde yağ banyosu içine yerleştirilmiş ve geri soğutucu takılmış bir balon içinde hidrotermal yöntemde ise otoklav tipi bir reaktör içinde gerçekleştirilir. İlave ısı işlem gerektirmeyen bu yöntemler ile istenilen kristal yapıya sahip partiküller elde edilebilmektedir. Sentez işleminde, hidroliz-kondenzasyon

reaksiyonlarının hızları kontrol edilerek nanometrik boyuta sahip partiküller sentezlenebilmektedir (Özmen vd. 2018). Sentez işlemlerinde kullanılmış olan kimyasallar Çizelge 3.2’de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Sentez işlemi için kullanılan kimyasal maddelere ait özellikler

<i>Kimyasalın Adı</i>	<i>Kimyasal Formül</i>	<i>Saflık [%]</i>	<i>Üretici Firma</i>
3-Aminopropiltrietoksisilan	$\text{Si}(\text{OEt})_3(\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2)$	98	Abcr
Titanyum(IV) n-bütoksit	$\text{Ti}(\text{OBu}^n)_4$	98	Abcr
Çinko(II) klorür	ZnCl_2	≥ 98	Sigma-Aldrich
Demir (II) klorür tetra hidrat	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	98	Alfa-Easer
Demir (III) klorür hegza hidrat	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	≥ 99	Sigma-Aldrich
Hidroklorik asit	HCl	36.5-38	Sigma aldrich
Sodyum hidroksit	NaOH	100	Sigma aldrich
n-Propanol	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	99	Tetkim
Amonyak	NH_3	25	Merck

3.1.1.1. TiO_2 - SiO_2 sentezi

20 g (0.057 mol) $\text{Ti}(\text{OBu}^n)_4$, 250 ml propil alkol içerisinde 15 dk karıştırılıp oda sıcaklığında çözülerek homojen alkoksit solü hazırlanmıştır. 1.125 g (0.0114 mol) HCl ve 22 ml propil alkolden oluşan çözelti [$\text{TBT}/\text{HCl}=0.2$] ve 50.6 g (2.81 mol) H_2O ve 154 ml propil alkolden oluşan çözeltiler karıştırma altında sole yavaş olarak eklenmiştir. Karışıma 4.6 g 3-aminopropiltrietoksisilan (APTES/TBT=1) ilave edildikten sonra reflux sistemine yerleştirilip 110°C ’de 6 saat boyunca geri soğutucu altında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Partiküller çözücü ortamında santrifüj ile alınıp alkol ile yıkandıktan sonra 50°C ’de vakum etüvünde kurutulmuştur.

3.1.1.2. Fe_3O_4 - SiO_2 sentezi

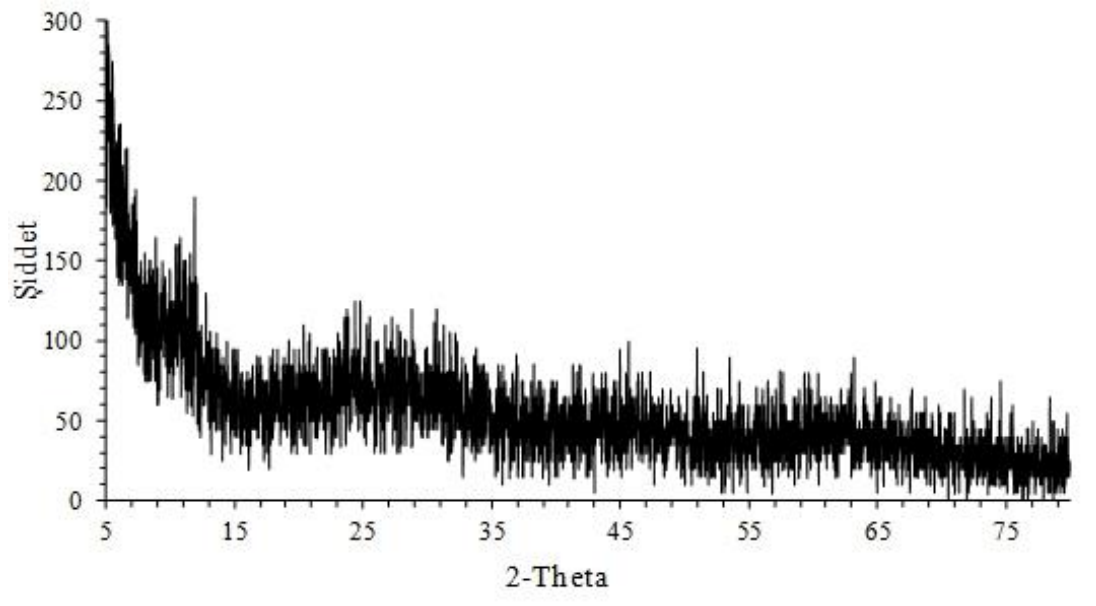
Geri soğutucu takılmış üç boyunlu bir balon içerisindeki 9,2 g (0.034 mol) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 3,31 g $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0.0163 mol) 184 g saf sudan oluşan çözelti 80°C sıcaklıkta ve $\text{N}_2(\text{g})$ varlığında 1.2 M NaOH çözeltisi ile hidroliz edilmiştir. Reaksiyonu takiben 3,73 g 3-aminopropiltrietoksisilan ilavesi yapılan karışım 120°C sıcaklıkta 1.5 saat ısıl işleme tabi tutulmuştur. Çöktürülen partiküller santrifüj ile çözelti ortamından ayrıldıktan sonra 50°C ’de vakum etüvünde kurutulmuştur.

3.1.1.3. ZnO-SiO₂ sentezi

10 g (0.0734 mol) ZnCl₂ 200 ml saf su içerisinde çözüldükten sonra üzerine 5 g NH₃-15 ml saf su çözeltisi ilave edilerek hidroliz edilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleşen reaksiyonu takiben 13.7 g 3-aminopropiltrietoksilan (APTES/ZnCl₂=1) ilavesi yapılmış ve hidrotermal reaktörünü yerleştirilen karışım 225°C’de 6 saat ısıtılma tabi tutulmuştur. Oda sıcaklığına soğuyan karışımdan partiküller santrifüj aracılığıyla alınıp saf su ile yıkandıktan sonra vakum etüvünde 50°C’de kurutulmuştur.

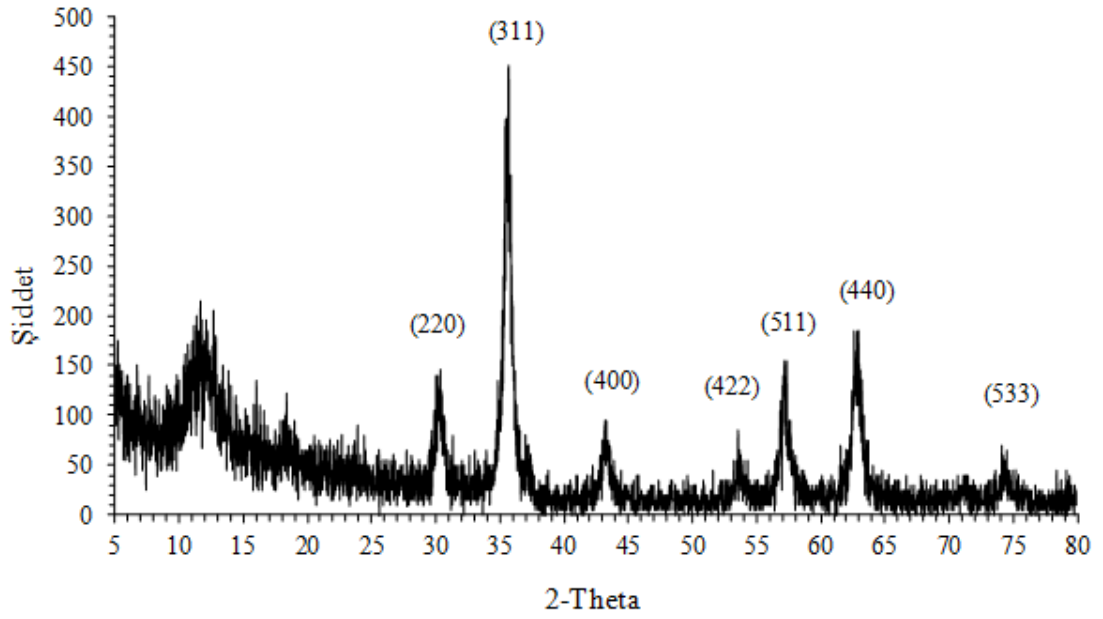
3.1.1.4. X ışınları kırınımı analizi

Partiküllerin kristal yapısı X-ışını kırınımı tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Analiz süresince CuK α ışını kullanılmış olup 2θ değerleri 0-80°, tarama hızı ise 0.04 cm/s seçilmiştir. XRD analizleri, İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan “Rigaku Geigerflex D Max/Bmodel X-Ray difraktometresinde” yaptırılmıştır. TiO₂ çekirdek SiO₂ kabuk (TiO₂-SiO₂) yapısına sahip partiküllerin XRD spektrumları Şekil 3.2’de verilmiştir. Kaplamadan dolayı çekirdek TiO₂ kristalinin düzlemlerine ait pik şiddetlerinin zayıfladığı görülmektedir. $2\theta < 15^\circ$ ’den sonra gözlenen pik amorf SiO₂ yapısına aittir. Anataz kristal yapısına sahip TiO₂’e ait olarak (101), (200) ve (204) düzlemlerine ait sinyaller görülmektedir.



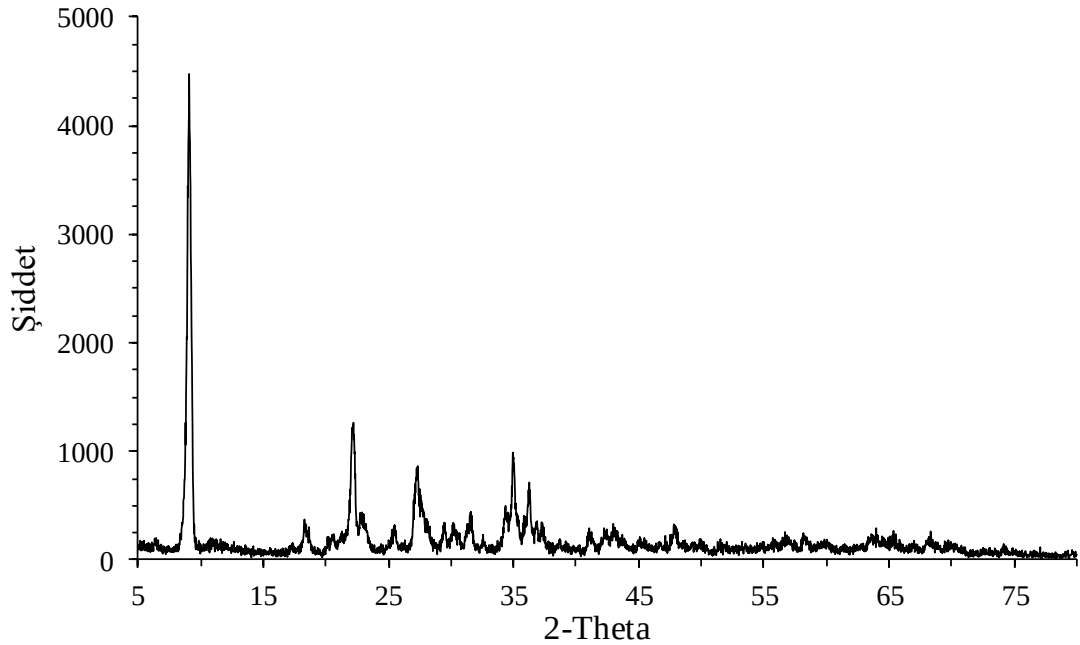
Şekil 3.2. TiO₂-SiO₂ nanopartiküllerinin XRD spektrumu

Şekil 3.3’te verilen, Fe₃O₄ çekirdek SiO₂ kabuk (SiO₂-Fe₃O₄) yapısına sahip manyetik özellikteki partiküllerin XRD spektrumu incelendiğinde, $2\theta = 30^\circ$ (220), 35° (311), 43° (400), 54° (422), 57° (511), 63° (440) ana piklerine sahip (JCPDS card no.19-0629) magnetit özel ismi ile de bilinen kübik spinel yapının oluştuğu anlaşılmaktadır. Spektrumda $2\theta = 12^\circ$ de gözlenen yayvan pik ise amorf SiO₂ yapısına (JCPDS No. 29-0085) aittir.



Şekil 3.3. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerinin XRD spektrumu

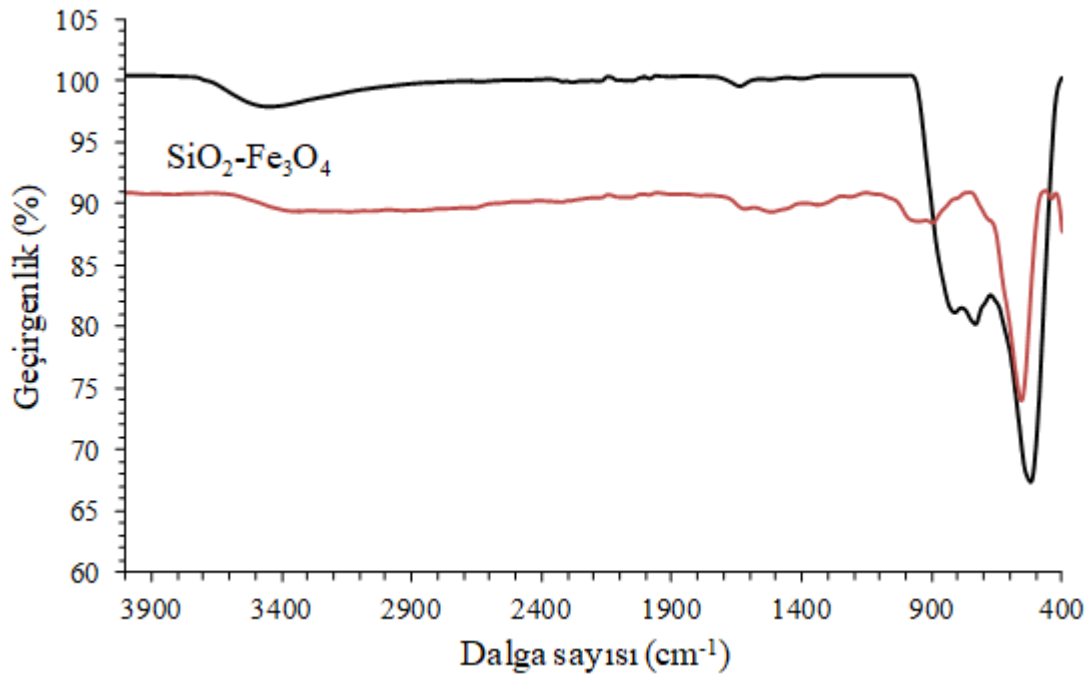
ZnO çekirdek SiO_2 kabuk (ZnO-SiO_2) partiküllerinin XRD spektrumu ise Şekil 3.4'te verilmiştir. $2\theta = 31.84^\circ, 34.52^\circ, 36.33^\circ, 47.63^\circ, 56.71^\circ, 62.96^\circ, 68.13^\circ$ ve 69.18° 'de görülen pikler heksagonal wurzit yapının oluştuğunu göstermektedir. $2\theta < 15^\circ$ 'den sonra gözlenen pik amorf SiO_2 yapısına aittir. Her üç nanopartikül içinde safsızlıktan kaynaklanan ayrı bir sinyal gözlenmemektedir.



Şekil 3.4. ZnO-SiO_2 nanopartiküllerinin XRD spektrumu

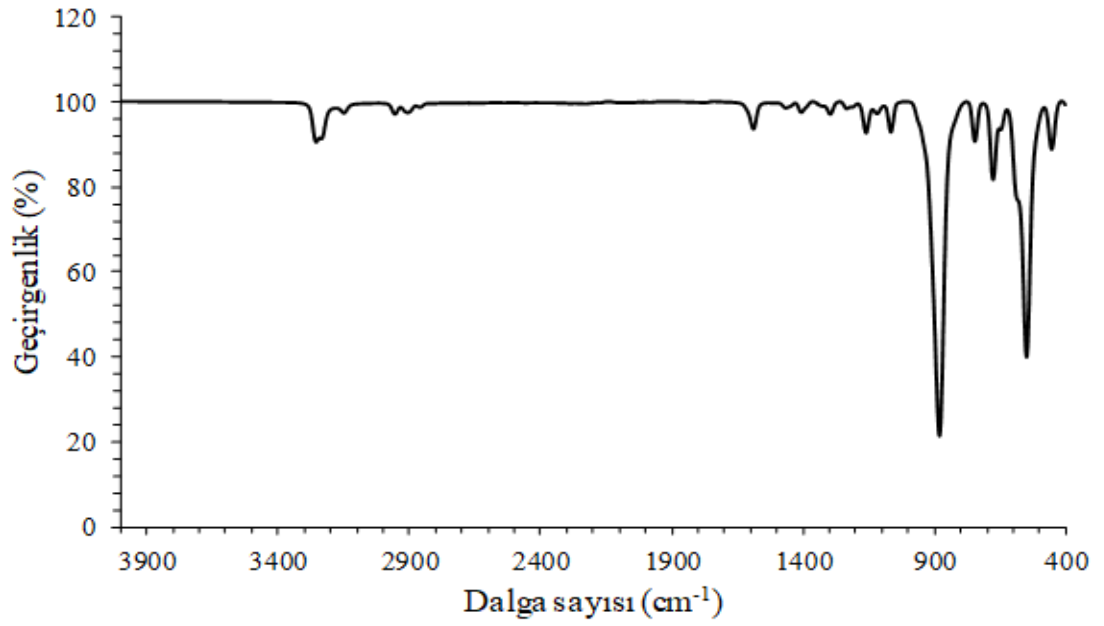
3.1.1.5. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi

Çekirdek-kabuk yapılı nanopartiküllerdeki inorganik polimer SiO_2 kabuk yapısının varlığının ispatı amacıyla FTIR analizi yapılmıştır. FTIR analizinde, 0.25-2.5 μm aralığındaki IR ışığı uyarımı altındaki nanopartiküllerdeki atomların titreşim hareketlerinden kaynaklanan sinyal değişimleri üzerinden kimyasal gruplarının varlığı tespit edilir. Şekil 3.5'teki $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerine ait spektrumdaki 530 cm^{-1} civarında görülen keskin pik Si-O-Si ve 800 ile 760 cm^{-1} 'deki görülen iki boyunlu pik Si-O gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. 3400 cm^{-1} 'deki yayvan pik ise SiO_2 polimerik yapısındaki fonksiyonel $-\text{NH}_2$ grubuna ait gerilmelere aittir. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerinde bu piklerin sağa doğru kaydığı gözlenmektedir. Çekirdek yapısının farklılığından kaynaklanan bu durum, FTIR spektrumlarındaki pik kaymaları gerekçeleri altında değerlendirilmektedir. Söz konusu bu piklerin varlığı kabuk yapısının başarılı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 3.5. $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerinin FTIR spektrumu

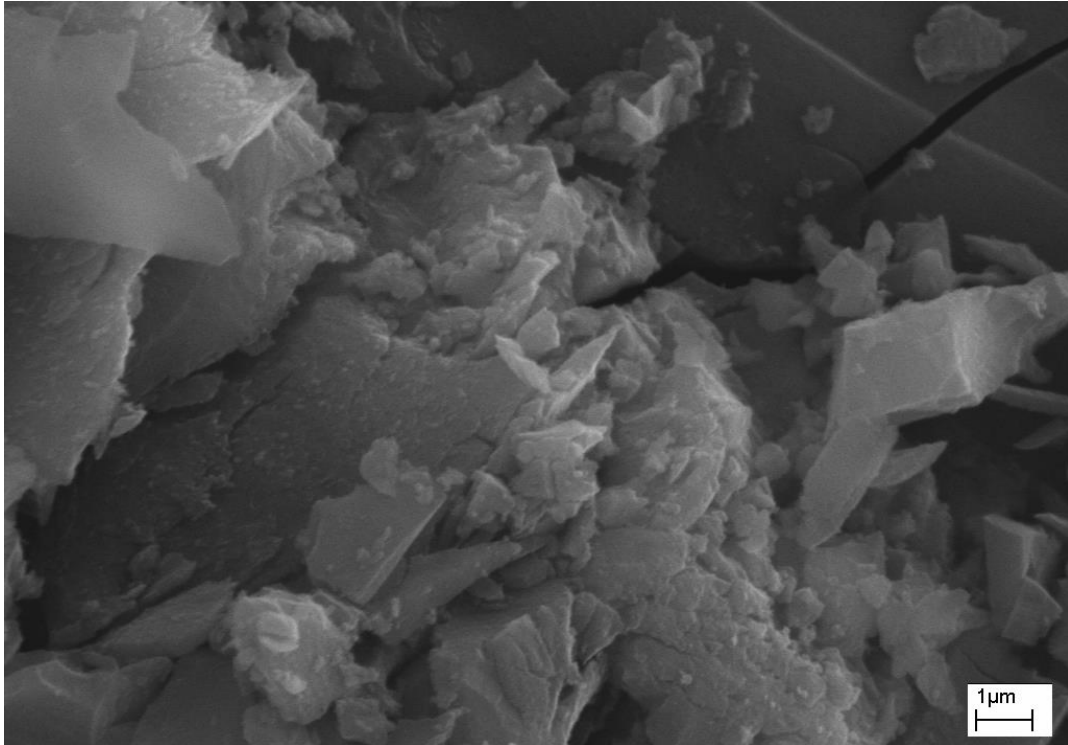
Şekil 3.6'da yer alan ZnO-SiO_2 yapısına ait FTIR spektrumunda ise; 2895 ve 2960 cm^{-1} 'de $-\text{CH}_2$ titreşim pikleri, 1600 cm^{-1} 'de $-\text{NH}_2$ deformasyon piki, 1160 , 1060 ve 550 cm^{-1} 'de Si-O-Si gerilme titreşim pikleri, 880 cm^{-1} 'de Si-O gerilme titreşim piki, 752 cm^{-1} 'de eğilme titreşim piki ve 456 cm^{-1} metal-oksijen bağına ait titreşim pikleri gözlenmektedir.



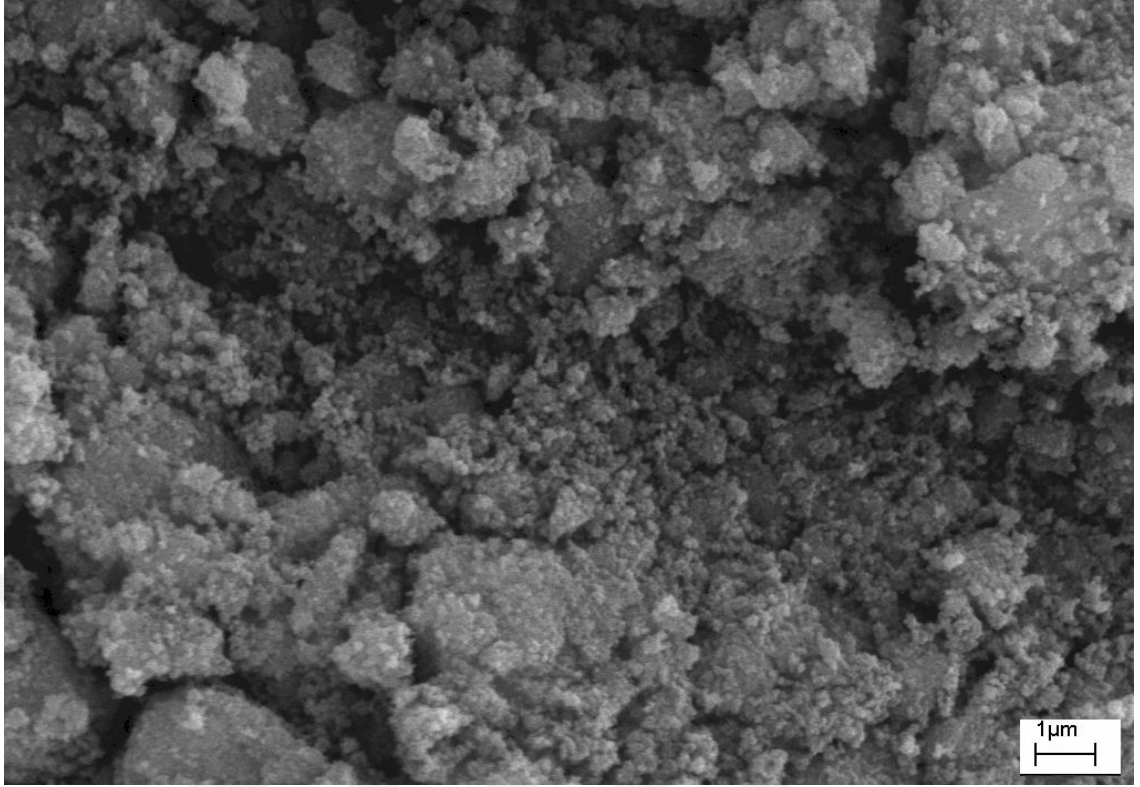
Şekil 3.6. ZnO-SiO₂ nanopartiküllerinin FTIR spektrumu

3.1.1.6. Taramalı elektron mikroskopi analizi (SEM analizi)

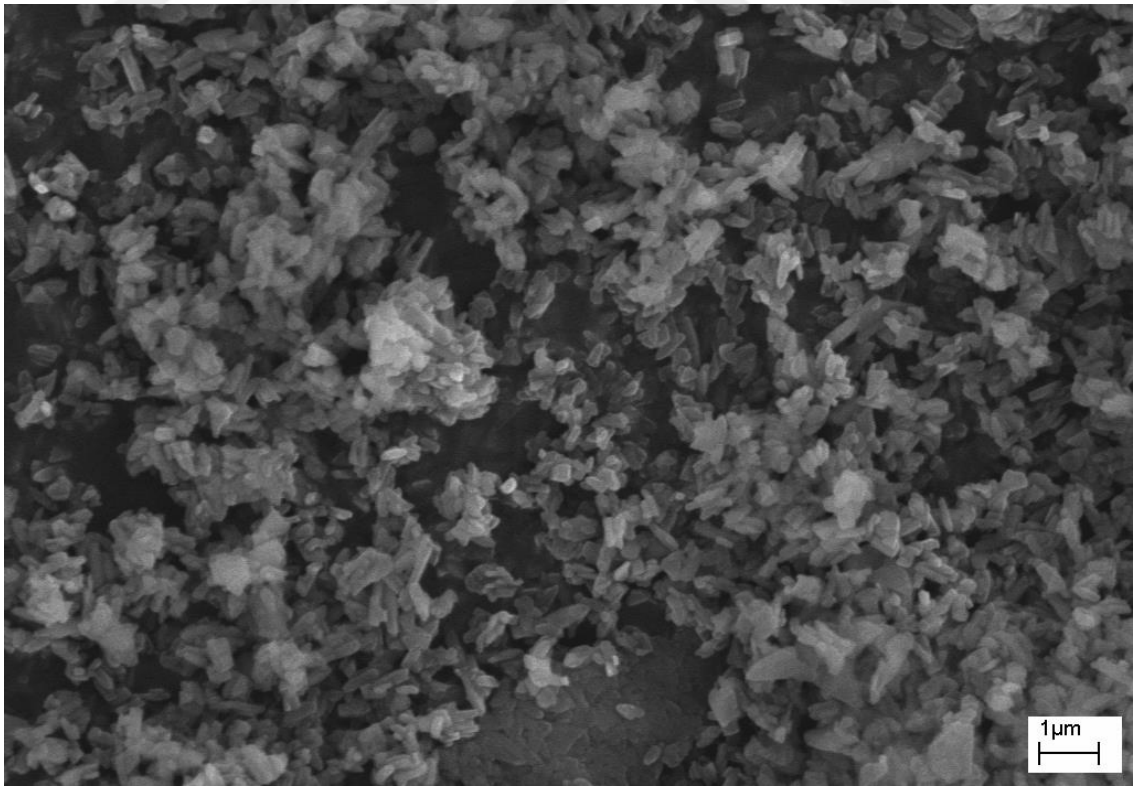
Partiküllerin boyutu ve geometrisi, İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan "LEO-EVO 40 model Taramalı Elektron Mikroskobu" dan alınan görüntüler üzerinden incelenmiştir. Partiküllere ait 20.000 büyütmedeki SEM görüntüleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.7. TiO₂-SiO₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli



Şekil 3.8. Fe₃O₄-SiO₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli



Şekil 3.9. ZnO-SiO₂ nanopartiküllerine ait SEM görseli

TiO₂-SiO₂ partikülleri -yoğun aglomerasyon nedeniyle- tabakalar halinde görülmektedir. Fe₃O₄-SiO₂ partiküllerinin ise küresel şekilli ve 100 nm'nin altında boyutlara sahip olduğu anlaşılmaktadır. SEM incelemesi partiküllerin katı formundan yapılması nedeniyle yığın halde gözlenen partiküllerdeki SiO₂ kabuk yapıları ayırt edilememektedir. Nanometrik boyuttaki partiküllerdeki detaylı incelemelerin yüksek büyütmelerde çok daha yüksek çözünürlüğe sahip "geçirimli elektron mikroskobu" ile yapılması gerekmektedir. ZnO-SiO₂ yapılarının rod şeklinde olduğu ve boyutlarının 100 nm'nin altında olduğu görülmektedir.

3.1.1.7. Partiküllerin termofiziksel özellik analizleri

i. Yoğunluk

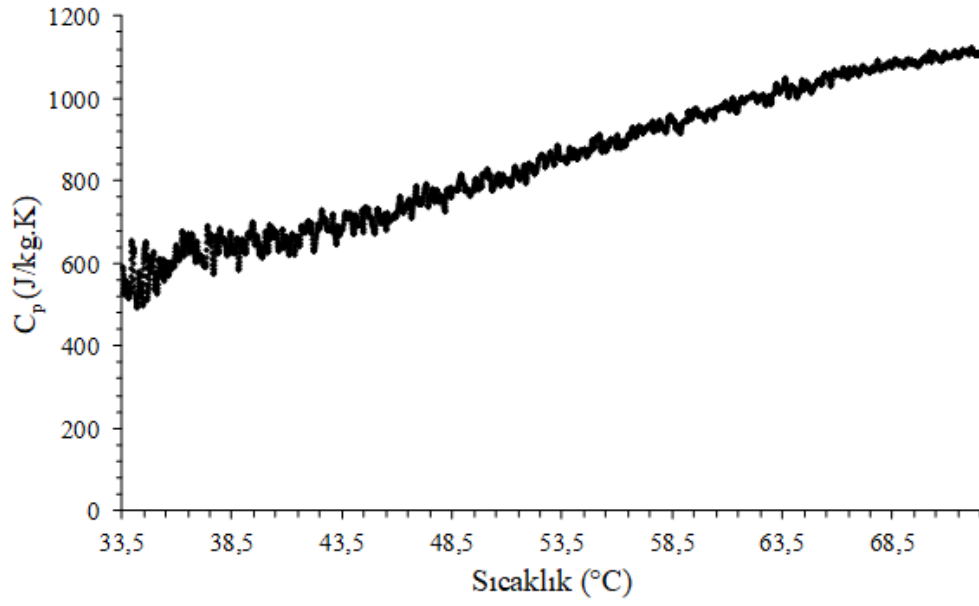
Partiküllerin hacim ve gerçek yoğunlukları, ODTÜ Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi'nde bulunan "Quanto Krom Ultra Piknometresinde" yaptırılmıştır. İlgili analizlerden partiküllerin ağırlık, hacim ve yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır. Analizden elde edilen değerler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çekirdek-kabuk yapıları nanopartiküllerin yoğunluk değerleri

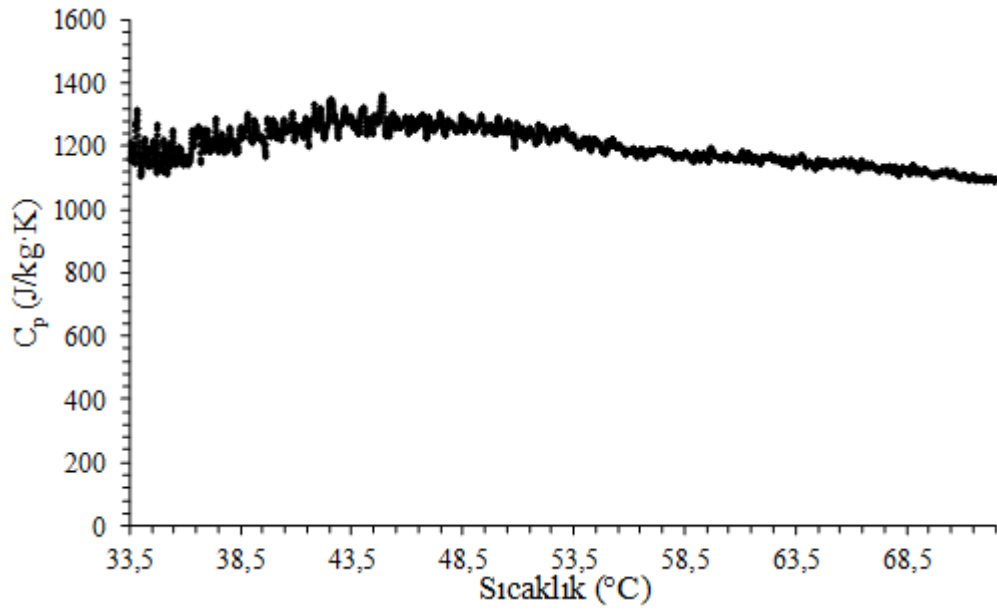
<i>Örnek</i>	<i>T</i> [°C]	<i>m_p</i> [g]	<i>V_p</i> [cm ³]	<i>ρ_p</i> [g/cm ³]
TiO ₂ -SiO ₂	23.5	5.8962	3.0464	1.9354
Fe ₃ O ₄ -SiO ₂	23.5	5.9545	1.3629	4.3689
ZnO-SiO ₂	23.5	3.5137	1.7458	2.0127

ii. Özgül Isı

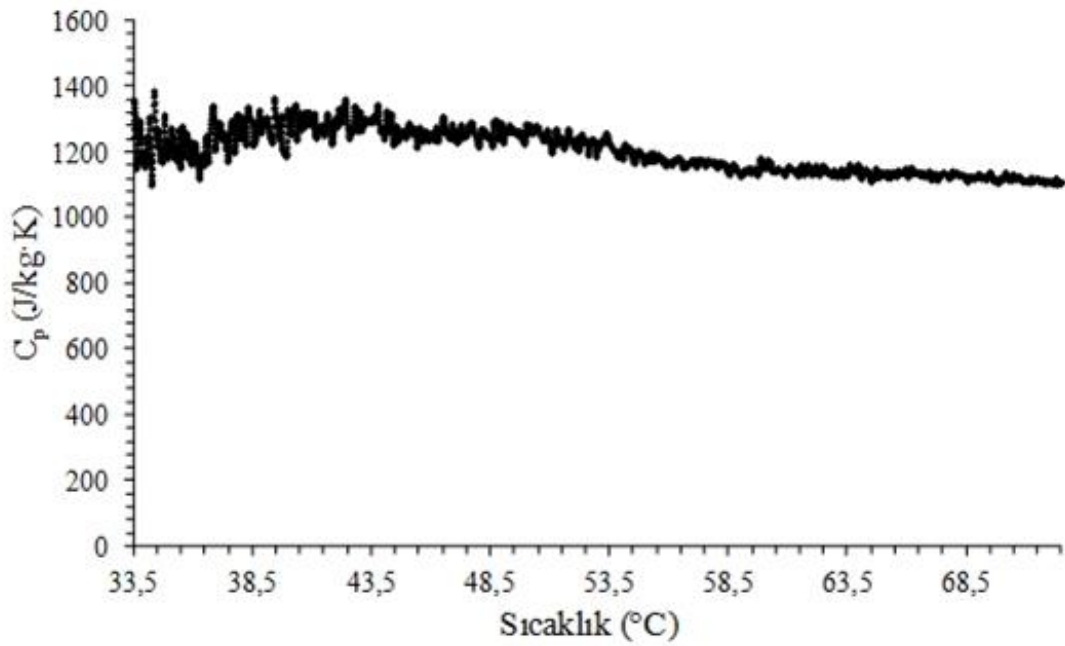
Tez çalışması kapsamında kullanılmak üzere sentezlenen çekirdek-kabuk yapıları nanopartiküllere ait özgül ısı değerleri, Dumlupınar Üniversitesi İLTEM'de bulunan "Setaram marka LABSYS Evo model TGA (C_p rodu aksesuarlı)" cihazında yapılan analizler ile belirlenmiştir. Nanoakışkanın çalışma sıcaklık aralığına uygun olarak yapılan analize ait sonuçlar Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.10. $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.11. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.12. ZnO-SiO₂ nanopartiküllerinin özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Grafiklerden de anlaşıldığı üzere, Fe₃O₄ ve ZnO çekirdeklerine sahip nanopartiküllerin aynı sıcaklıkta TiO₂'ye kıyasla daha yüksek ısı kapasitesine sahiptir. Katılardaki ısı kapasitesinin sadece atomların titreşim hareketlerinden kaynaklandığı göz önüne bulundurulduğunda, Fe₃O₄ ve ZnO esaslı çekirdek-kabuk yapılarında titreşim hareketi sayısının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklık arttıkça TiO₂-SiO₂ partiküllerinin ısı kapasitesi artarken diğerlerinde küçük azalmalar görülmüştür.

3.1.2. Nanoakışkanların hazırlanması ve karakterizasyonu

3.1.2.1. Nanoakışkanların hazırlanması

Çalışmada kullanılan nanoakışkanların hazırlanma prosedürü temel olarak nanometrik boyuta sahip TiO₂-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂ ve ZnO-SiO₂ partiküllerinin saf su içerisinde sollerinin hazırlanması işlemidir. Kütlece %2.0'lik nanopartikül içeren akışkan hazırlanırken, 130 gr nanopartikül üzerine gerekli miktarda saf su ilave edilerek ultrasonik banyoda işleme tabi tutulmuştur. Kararlı sollün oluşumdan sonra toplam hacim saf su ile tamamlanmıştır. Nanoakışkan hazırlanırken herhangi bir katkı maddesi veya yüzey etken madde kullanılmamış ve partiküllere yüzey modifikasyon işlemi uygulanmamıştır. Çalışmada sadece kütlece %2.0 oranında olmak üzere üç farklı çekirdeğe sahip nanopartikül kullanılmıştır. Çekirdekte yer alan nanopartiküllerin termofiziksel özelliklerinin birbiriyle nasıl değiştiği ve yapı ilişkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

3.1.2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellik analizleri

Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerin tespitinde dinamik viskozite ve ısı iletim katsayısı deneysel olarak ölçülürken, yoğunluk ve özgül ısı değerleri ise nanopartiküller üzerinden alınan ölçümler kullanılarak literatürde kabul görmüş eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

i. Yoğunluk

Temel akışkan olan suyun farklı sıcaklık değerlerindeki yoğunluk değerleri literatürden alınmıştır. Bu değerler Çizelge 3.4'ten görülebilir. Temel akışkan ve nanopartiküllerin deneysel ölçüm sonuçları, nanoakışkanların farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Hesaplamalarda nanopartiküllerin akışkan içerisinde iyi bir şekilde dağıldığı kabulü ile genellikle iki fazlı akışkanlar için kullanılan klasik formüllerden yararlanılmıştır. Bu amaçla oluşturulan bağıntı Eşitlik 3.1'de verilmiştir (Pak vd. 1998).

$$\rho_{na} = \rho_p \phi_v + (1 - \phi_v) \rho_{ta} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de nanoakışkanın yoğunluğunun hesaplanması için verilen ifade yer almaktadır. Bu ifade içerisindeki ϕ_v hacimsel oranı ifade etmektedir. Eşitlikte bulunan “ta” alt indisi temel akışkanı, “na” alt indisi nanoakışkanı ve “p” alt indisi partikülü ifade etmektedir.

ii. Özgül ısı

Akışkanların özgül ısı değerlerinin hesaplanmasında ise Xuan ve Roetzel (2000) tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır. Bu eşitlik, Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$c_{p,na} = \frac{\rho_p \phi_v c_{p,p} + (1 - \phi_v) \rho_{ta} c_{p,ta}}{\rho_{na}} \quad (3.2)$$

Eşitlikten görüldüğü üzere, nanopartiküllere ait farklı sıcaklıklardaki ısı kapasitesi ölçümleri Dumlupınar Üniversitesi, İleri Teknolojiler Merkezi bünyesinde bulunan ısı kapasitesi ölçüm aksesuarına sahip termal analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir. İlgili grafikler Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de sunulmuştur. Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 ile hesaplanan akışkanlara ait özgül ısı ve yoğunluk değerleri Çizelge 3.4'te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Kullanılan akışkanlara ait yoğunluk ve özgül ısı değerleri

T [°C]	ρ_{ta} [kg/m ³]	$c_{p,ta}$ [J/kgK]	ρ_{na1} [kg/m ³]	$c_{p,na1}$ [J/kgK]	ρ_{na2} [kg/m ³]	$c_{p,na2}$ [J/kgK]	ρ_{na3} [kg/m ³]	$c_{p,na3}$ [J/kgK]
30	995.65	4178.4	1029.06	4033.75	1014.76	4110.76	1051.31	4110.07
40	992.21	4178.5	1025.66	4033.37	1011.35	4110.63	1047.88	4109.80
50	983.03	4180.6	1016.58	4034.08	1002.21	4112.07	1038.70	4110.83
60	983.20	4184.3	1016.74	4037.65	1002.37	4115.69	1038.86	4114.42
70	977.77	4189.5	1011.36	4041.84	996.973	4120.39	1033.43	4118.85
80	971.80	4196.3	1005.45	4047.48	991.028	4126.62	1027.46	4124.75

iii. Viskozite

Akışkanların dinamik viskoziteleri AÜ Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde bulunan "Fungilab Alpha model Viskozimetre" ile tayin edilmiştir. Ölçümler deneysel çalışma aralığı olan 30 – 80°C sıcaklık aralığı için gerçekleştirilmiş, her bir ölçüm 3 kez tekrarlanarak ölçüm hassasiyeti belirlenmiştir. Çizelge 3.5'ten de görülebileceği üzere ölçümlerde en fazla 0.09'luk bir değişim oluşmuştur. 80°C'de tek bir ölçüm yapılabildiği için standart sapma hesaplaması yapılamamıştır.

iv. Isı iletim katsayısı

Hazırlanan temel akışkan ve nanoakışkanların ısı iletim katsayısı ölçümleri C-Therm, TCi Termal İletkenlik cihazında ölçülmüştür. Ölçümler 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kararlılık sürelerinin kısa olmasından kaynaklı olarak özellikle TiO₂-SiO₂ nanoakışkanının termal iletim katsayısı temel akışkandan daha küçük bir değer olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler Çizelge 3.6'da sunulmuştur.

Çalışma kapsamındaki tüm sentez, karakterizasyon ve nanoakışkan hazırlama işlemlerinde kullanılan cihaz bilgileri ve hizmet alınan üniversite laboratuvarlarının listesi Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Akışkanların farklı sıcaklıklar için ölçülen dinamik viskozite değerleri

<i>Akışkan</i>	<i>μ [cP]</i>					
	<i>30°C</i>	<i>40°C</i>	<i>50°C</i>	<i>60°C</i>	<i>70°C</i>	<i>80°C</i>
Saf su	0.797	0.654	0.547	0.466	0.402	0.354
TiO ₂ -SiO ₂	1.32±0.05	1.24±0.02	1.13±0.02	1.09±0.02	1.65±0.02	0.96
Fe ₃ O ₄ -SiO ₂	1.30±0.006	1.24±0.02	1.15±0.04	1.02±0.06	0.93±0.02	0.89
ZnO-SiO ₂	1.32±0.09	1.24±0.01	1.21±0.02	1.15±0.02	1.09±0.04	1.00

Çizelge 3.6. Nanoakışkanların 25°C sabit sıcaklıkta ısı iletim katsayısı değerleri

<i>Akışkan</i>	<i>Isı İletim Katsayısı (k) [W/mK]</i>	<i>Değişim</i>
Saf su	0.6165	—
TiO ₂ -SiO ₂	0.6055	-%1.78
Fe ₃ O ₄ -SiO ₂	0.6320	+%2.51
ZnO-SiO ₂	0.6185	+%0.32

Çizelge 3.7. Sentez ve karakterizasyon işlemlerinde yararlanılan üniversite laboratuvarları ve cihazların listesi

<i>Kullanılan Cihaz</i>	<i>Cihazın Marka / Model Bilgisi</i>	<i>Cihazın Kullanım Amacı</i>	<i>İlgili Laboratuvar</i>
Terazi	Precisa XB 1220 M	Tartım işlemleri	AÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü
Hassas terazi	Mettler Toledo TLE204	Tartım işlemleri	
Magnetik karıştırıcı	IKA RCT Basic (ısıtıcılı)	Karıştırma ve ısıtma işlemleri	
Geri soğutucu düzeneği	Markasız cam düzenek	Partiküllerin sentezi	
Hidrotermal sistem	Berghoff	Partiküllerin sentezi	
Santrifüj	Hermle Z 326K	Partiküllerin ayrılması	
Etüv	Heratherm	Ön kurutma işlemleri	
Vakum etüvü	Binder	Kurutma işlemleri	
Ultrasonik banyo	Elma S100H	Nanoakışkanların hazırlanması	
Saf su cihazı	Mp Minipure Marka Dest up	Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan saf suyun üretilmesi	
Yüzey alanı ölçüm cihazı	Micromeritics TriStar II Plus	Partiküllerin yüzey alanı ve gözenek dağılımlarının belirlenmesi	
Viskozimetre	Fungilab Alpha model	Nanoakışkanların viskozitelerinin belirlenmesi	

Çizelge 3.7'nin devamı

Geçirmeli elektron mikroskobu	ZEISS-LEO 1430	Partikül çaplarının belirlenmesi	AÜ Tıp Fakültesi
Partikül boyut ölçüm cihazı	Malvern Zeta Sizer Nano series Nano ZS	Partiküllerin boyut analizi	İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi
X-ışını kırınımı cihazı	Rigaku Geigerflex DMax B Model	Partiküllerin kristal yapısının tanımlanması	
Helyum piknometresi	Quantachrome Ultrapycnometer 1000	Partiküllerin gözenek hacimlerinin ve yoğunluklarının belirlenmesi	ODTÜ Merkezi Laboratuvar
Termal analiz cihazı / C_p analizi	Setaram LABSYS Evo Tga	Partiküllerin ısı kapasitesinin belirlenmesi	Dumlupınar Üniversitesi İLTEM
Termal iletkenlik cihazı	C-Therm TCi	Nanoakışkan ısı iletim katsayısı ölçümü	Terra Analiz ve Ölçüm Cihazları A.Ş.

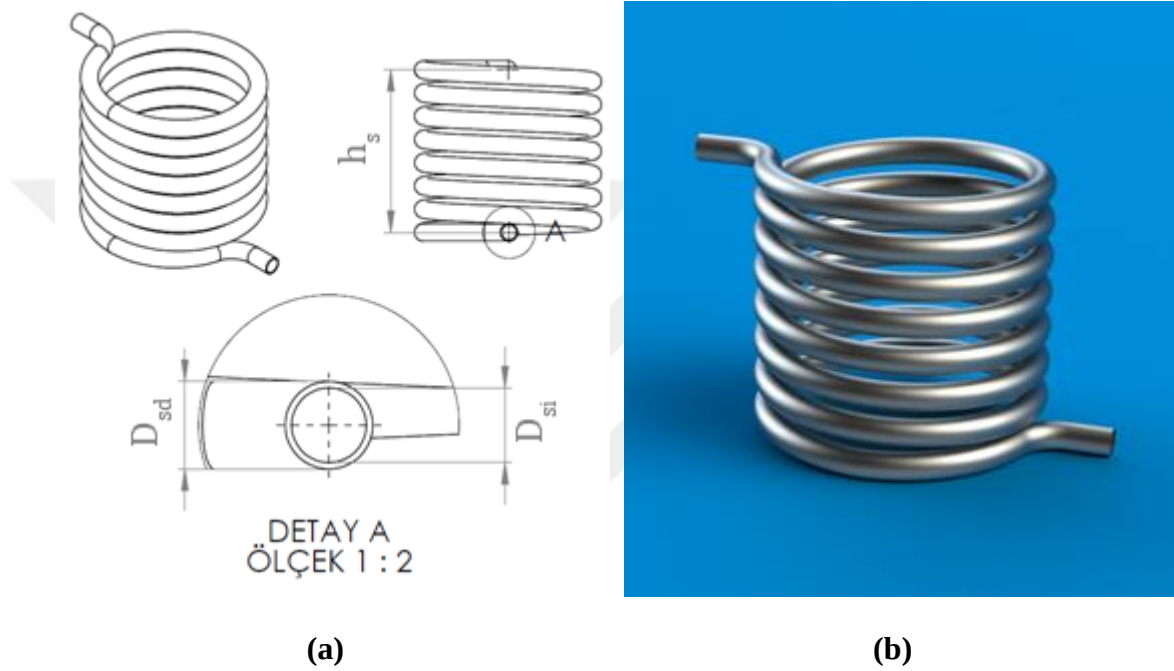
3.2. Deney Düzenegi ve Ekipmanları

Daha önceki bölümlerde güneş enerjili sistemlere genel olarak değinilmiş, güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ve temel çalışma metotları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada, kapalı devre güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin kapalı çevriminde nanoakışkan kullanımının sistem performansına nasıl etki ettiği incelenmiştir.

Tez çalışmasında kullanılacak deney düzenegi tasarlanırken, gerçekte sıklıkla kullanılan sistemlere yakın olması özellikle amaçlanmıştır. Böylece, çalışma sonucunda elde edilecek veriler anlam kazanmış olacaktır. Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzeme ve ürünlere karar verilerek sistemin bilgisayar ortamında tasarımı yapılmıştır. Tasarımın uygulamaya elverişli olduğu görüldükten sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Üretim aşamasında bir önceki aşamada tasarımı yapılan sistemden eşdeğer iki adet üretilmiştir. Sistemlerde kullanılan tüm parça ve ekipmanlar hakkında detaylı bilgiler verilerek teknik özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

3.2.1. Isı değiştiricisi

Isı değiştiricisi olarak geleneksel sistemlerde sıklıkla kullanılan serpantin tipi ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Kullanılan serpantinde kollektörden gelen sıcak çalışma akışkanı üç uçtan giriş yapar. Depo içerisindeki kullanım suyu içinde sabit şekilde bulunan serpantinin içinden geçen çalışma akışkanından depodaki kullanım suyuna ısı transferi gerçekleştikten sonra çalışma akışkanı soğuyarak alt ucundan yeniden kollektöre gider. Paslanmaz elik malzemesinden yapılmış olan serpantine ait fiziksel özellikler şekil 3.13’de verilmiştir. Fiziksel boyutları izelge 3.8’de sunulan serpantinin i hacmi 2.2 litredir.



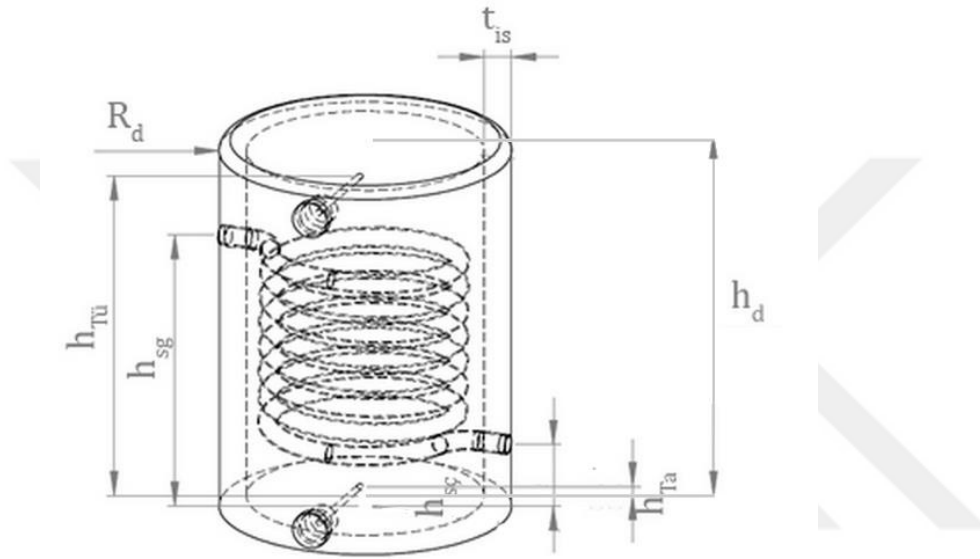
şekil 3.13. a) Serpantin tipi ısı değiştiricisinin detay görüntüleri; **b)** Bilgisayar destekli olarak görselleştirilmiş grntş

Çizelge 3.8. şekil 3.13’de çizimi görülen serpantine ait fiziksel boyutlar

<i>Simge</i>	<i>Uzunluk (mm)</i>	<i>Açıklama</i>
h_s	250	Serpantin giriş ve çıkış merkezleri arasındaki mesafe
D_{sd}	27	Serpantin borusu dış apı
D_{si}	23	Serpantin borusu i apı
L_s	5300	Kullanılan toplam boru uzunluğu

3.2.2. Depo

Depo, kullanım suyunun çalışma akışkanı ile ısıtılarak tutulduğu yerdir. Güneş ışınlarıyla yutucu plaka vasıtasıyla ısıtılan çalışma akışkanı, depoda bulunan ısı değiştiricisine gelir ve burada ısıyı depoda bulunan kullanım suyuna aktarır. Depoya ait diğer fiziksel boyutlar Şekil 3.14'te ve bu boyutlara ait sayısal değerler Çizelge 3.9'da sunulmuştur. İç hacminde serpantin ve sıcaklık ölçüm cihazı gibi elemanların bulunduğu deponun kullanılabilir net hacmi 38.42 litredir. Görselleştirilmiş katı modeli Şekil 3.15'te görülen depo ısı kaybını önlemek için dış cidarı camyünü yalıtıcı malzemesi ile kaplanmıştır.



Şekil 3.14. Deponun bilgisayar destekli olarak katı modeli ve boyutlar

Çizelge 3.9. Depoya ait fiziksel boyutlar

<i>Simge</i>	<i>Uzunluk (mm)</i>	<i>Açıklama</i>
h_d	530	Depo yüksekliği
R_d	180	Depo dış yarıçapı
h_{Ta}	40	Alt sıcaklık ölçüm cihazının depo tabanına uzaklığı
h_{Tu}	500	Üst sıcaklık ölçüm cihazının depo tabanına uzaklığı
$h_{sç}$	100	Serpantin akışkan çıkış ucunun merkezine depo tabanına uzaklığı
h_{sg}	350	Serpantin akışkan giriş ucunun merkezine depo tabanına uzaklığı
t_{is}	50	Depo dışına kaplanan yalıtıcı malzeme kalınlığı



(a)

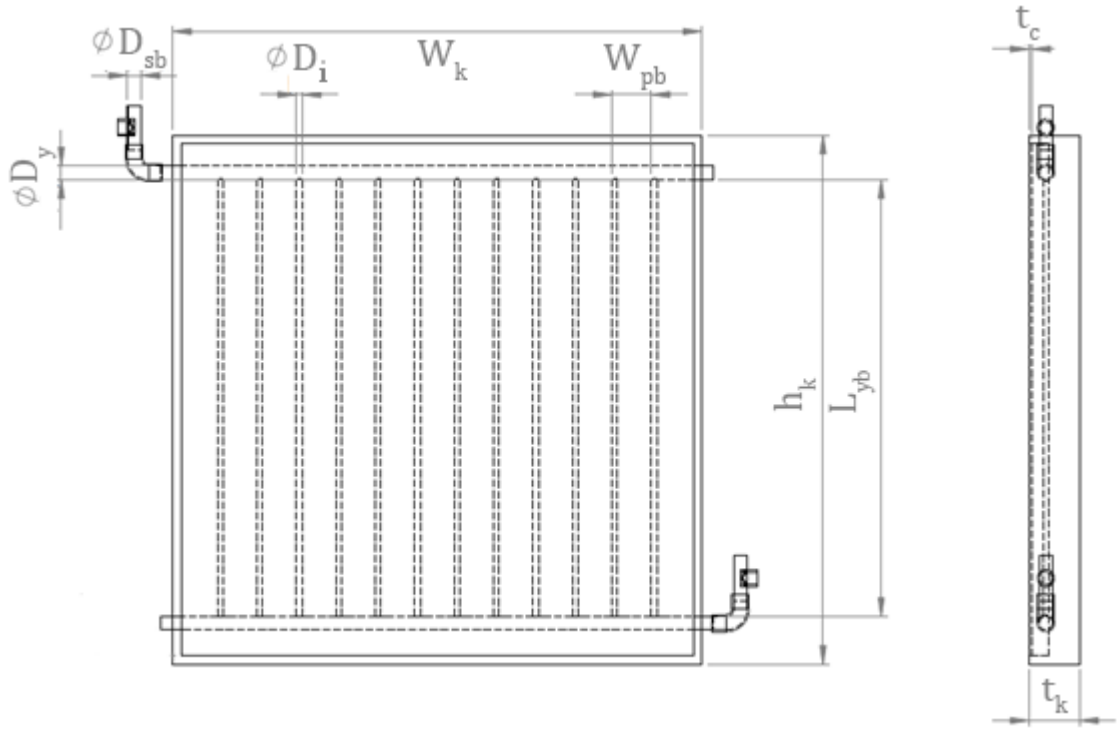
(b)

Şekil 3.15. a) Depo tasarımının görselleştirilmiş katı modeli; **b)** Depoya ait katı modelin iç görünümü

3.2.3. Kollektör

Güneş ışığından gelen enerjinin çalışma akışkanına aktarıldığı kollektör tasarlanırken birden fazla faktör göz önünde bulundurulmuştur. Bir yandan sistemin kolay taşınabilir olması için mümkün olduğunca küçük olması, diğer yandan da deneylerin yapılabilmesi için yeterli ısı kapasiteye sahip olması amaçlanmıştır. Paralel borulu bir yutucu yüzeyin kullanıldığı kollektörde, akışkanın geçeceği borular ve yutucu yüzeyin malzemesi paslanmaz çelik olarak seçilmiştir.

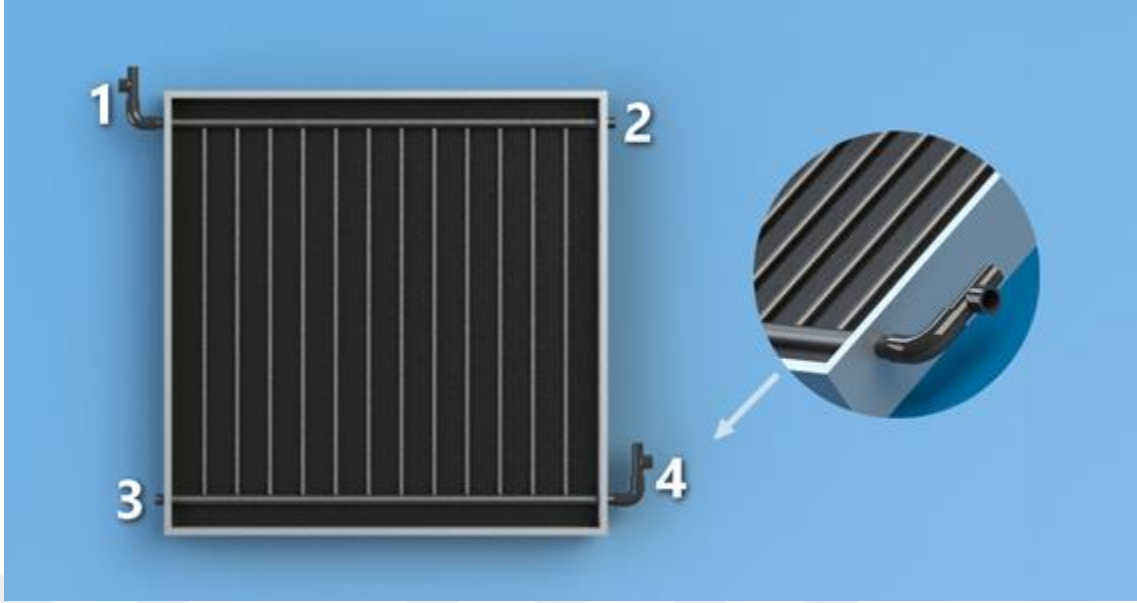
Kollektöre ait çizim Şekil 3.16’da verilmiştir. Bu şekil üzerinde harf sembolleri ile gösterilen büyüklüklerin sayısal değerleri Çizelge 3.10’da açıklamalarıyla birlikte verilmiştir. Şekil 3.17’de kollektörün bilgisayar destekli olarak görselleştirilmiş bir görünümü bulunan kollektörün yüzey alanı 0.9216 m^2 ’dir. Şekil 3.17’de görülen görselde kollektör üzerindeki boru uç noktaları “1”, “2”, “3” ve “4” rakamları ile gösterilmiştir. “1” numaralı noktadan ısı değiştiricisine giden sıcak akışkan geçerken “2” numaralı noktanın ucu kapalıdır. Deneyler sırasında akışkanın boşaltılabilmesi için “3” numaralı nokta boşaltma ağzı olarak değerlendirilmiştir. “4” numaralı nokta ise ısı değiştiricisinden gelen çalışma akışkanının kollektöre giriş yaptığı noktadır. Noktasal sıcaklık değerlerinin ölçülebilmesi için, akışkanın kollektöre girdiği ve çıktığı noktalara sıcaklık ölçüm cihazları bağlanmıştır.



Şekil 3.16. Kollektörün fiziksel büyüklüklerinin gösterildiği çizimin üstten ve yandan görünümü

Çizelge 3.10. Kollektöre ait fiziksel boyutlar

Simge	Uzunluk (mm)	Açıklama
W_k	960	Kollektör genişliği
h_k	960	Kollektör yüksekliği
t_k	90	Kollektör kalınlığı
t_c	4	Saydam örtü (cam) kalınlığı
$D_{yü}$	24	Üst yatay borulara ait çap değeri
D_{ya}	24	Alt yatay boruya ait çap değeri
D_i	12	Düşey paralel borulara ait çap değeri
W_{pb}	70	Paralel borular arasındaki mesafe
L_{yb}	700	Üst ve alt yatay boruları arasındaki mesafe
D_{sb}	25	Sirkülasyon borularının çap değeri



Şekil 3.17. Kollektöre ait çizimin bilgisayar destekli görselleştirilmiş hali

3.2.4. Boru hattı

Kollektöre gelen güneş ışınımı sayesinde ısınan çalışma sıvısının özgül hacmi sıcaklık ile doğru orantılı olduğundan, sıvı ısındıkça yükselir. Bu durum sistemde doğal bir sirkülasyona yol açar. Kollektöre belli giriş sıcaklığında giren akışkan güneş ışınımı ile ısınarak kollektörün üst ucundan daha sıcak bir değerde çıkar. Bu döngünün tamamlanması kollektörden çıkan akışkanın ısı değiştiricisinde karışmadan ısı kaybederek yeniden kollektöre dönmesiyle olur. Bu çalışmada, çalışma akışkanının kullanım suyu ile karışmadığı kapalı devre bir sistem kullanılmıştır.

Kapalı devre güneş enerji sisteminde, kollektör giriş ve çıkışlarının depo ile bağlanması için 25 mm çapında polietilen sirkülasyon boruları kullanılmıştır. Kullanılan boru malzemesi güneş ışınlarına dayanıklı ve UV katkılı tip seçilmiştir. Yine de uzun bir yüzey alanına sahip borudan çevreye veya çevreden boruya ısı transferi olmaması için boruların uzun yüzeyleri yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Yalıtım malzemesi ile kaplanan borunun en dış yüzeyi ise doğrudan gelecek güneş ışınımından yalıtım malzemesinin zarar görmemesi için özel alüminyum folyo ile kaplanmıştır.

3.2.5. Hava tahliyesi

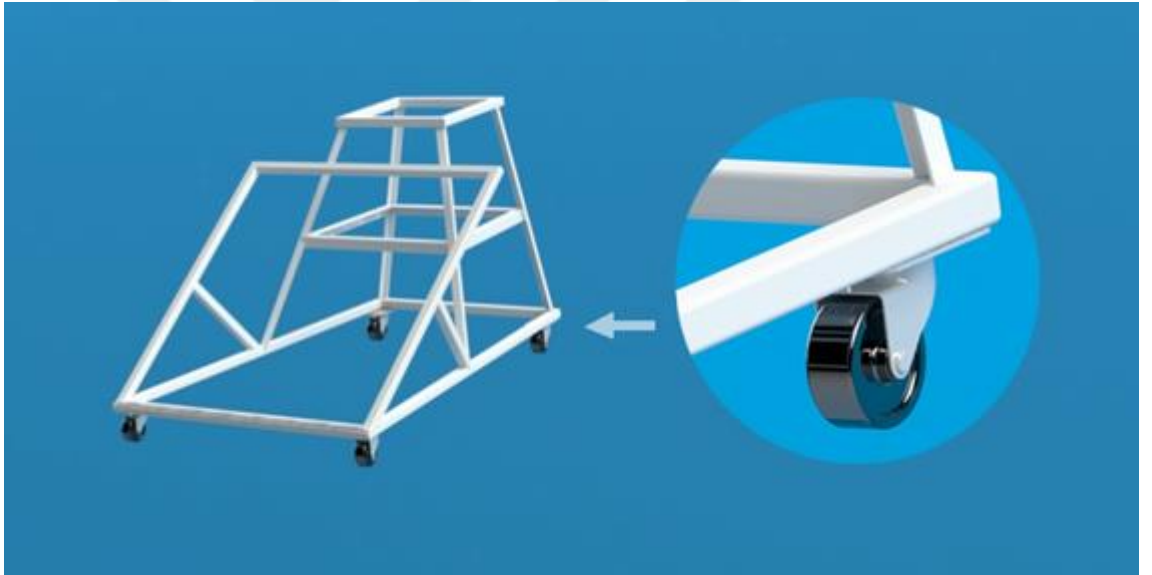
Akışkan olarak sıvı kullanılan tüm ısıtma sistemlerinde, sistem içinde sıvı dışında bir fazın bulunması istenmeyen bir durumdur. Geleneksel kapalı devre ısıtma sistemi tesisatlarının en üst bölgesine konumlandırılan purjörler sistemdeki havanın tahliye edilmesini sağlar. Deney sırasında sirkülasyonun sürekliliği ve doldurma sürecindeki kolaylık için sistemin üst noktasına hava tahliye mekanizması yerleştirilmiştir. Bu mekanizmanın üst kısmı şeffaf malzemedan seçilerek sistemdeki sıvı seviyesinin de gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

3.2.6. Yalıtım

Tüm ısı aktarma sistemlerinde olduğu gibi güneş enerji sistemlerinde de ısı kayıplarının sistem verimine ciddi etkileri vardır. Mevcut deney düzeneğinde ısı kayıplarını minimuma indirmek için çeşitli noktalarda yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi türü olarak ısı iletim katsayısı 0.036 W/mK olan camyünü kullanılmıştır. Camyünü malzemesine ait diğer özellikler Çizelge 2.1’de yer almaktadır. Yalıtım kalınlıkları; kollektör alt yüzeyinde 50 mm, depo dış cidarında 50 mm ve sirkülasyon borularının yüzeyinde 20 mm’dir.

3.2.7. Taşıyıcı konstrüksiyon

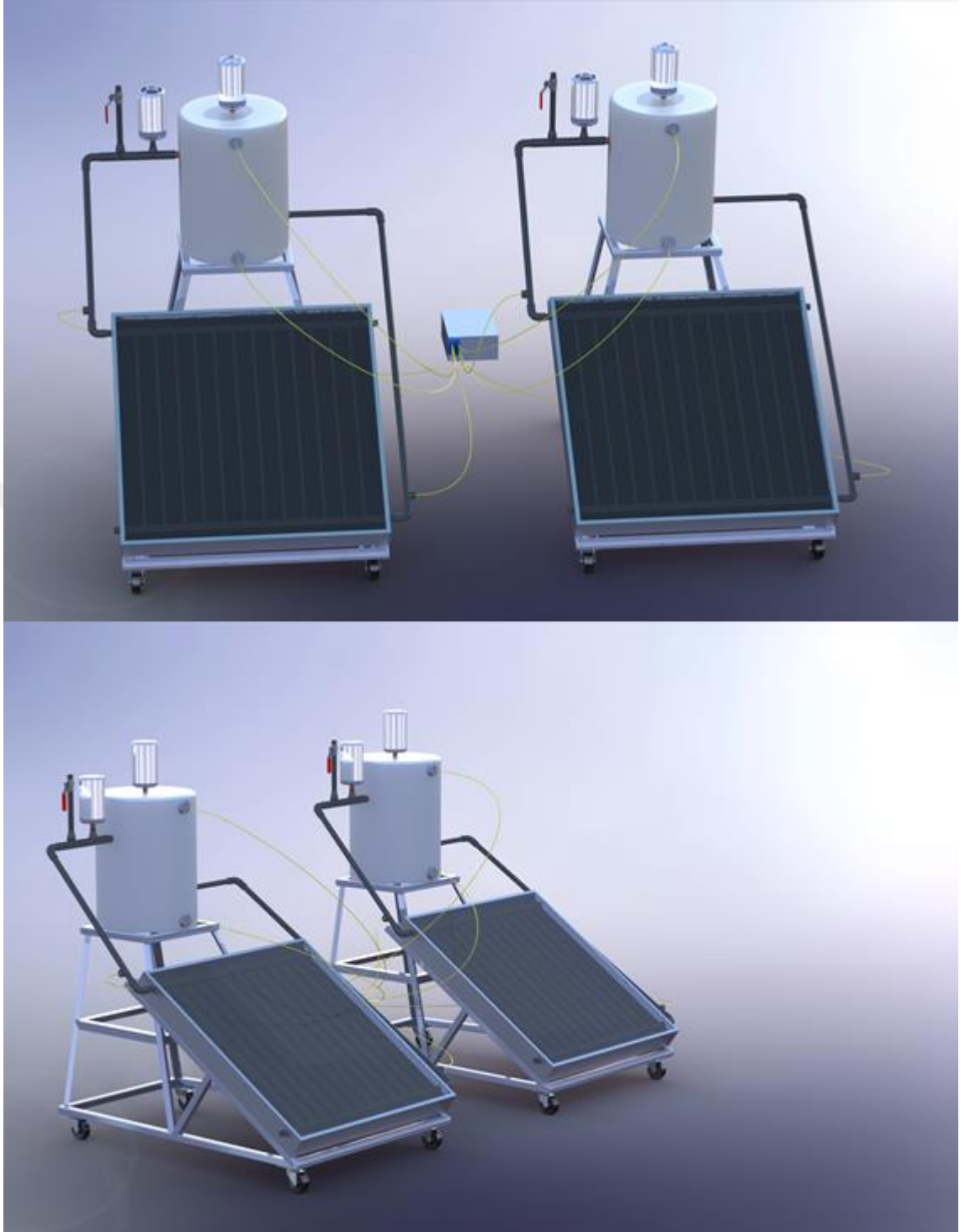
Kollektör, depo ve borulama sistemlerinin yerleştirildiği taşıyıcı konstrüksiyon demir profil kullanılarak imal edilmiştir. Ayrıca bu konstrüksiyonun kolaylıkla bir yerden başka bir yere aktarılabilmesi için altına 50 mm çapında tekerlekler monte edilmiştir. Kollektörün yerleştirileceği bölge yatay ile 35° açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. İki farklı sistemin tek şasi üzerine monte edilmesi mümkün olsa da taşıma kolaylığı açısından eşdeğer iki şasi kullanılması uygun görülmüştür. Sistemin taşıyıcı konstrüksiyonuna ait gerçek ölçekli çizimin görselleştirilmiş görüntüsü Şekil 3.18’de yer almaktadır.



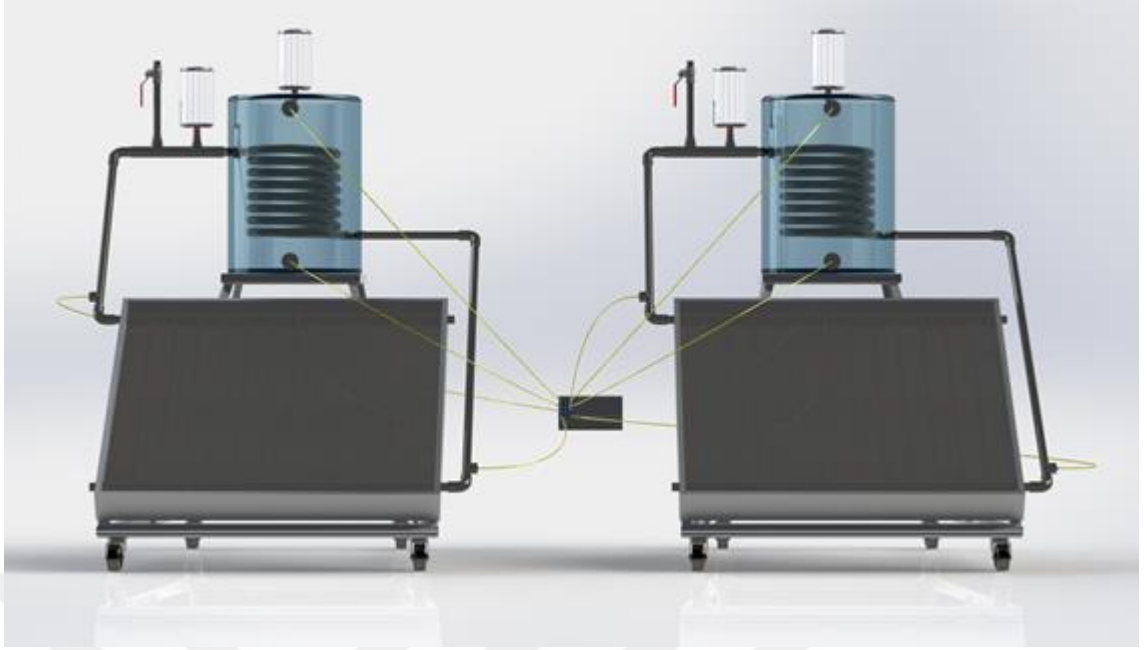
Şekil 3.18. Sistemin taşıyıcı konstrüksiyon modeline ait bir görüntü

3.2.8. Tüm sistem

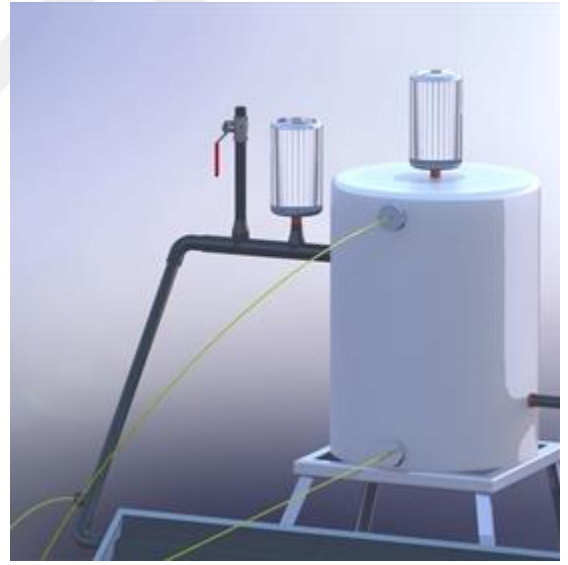
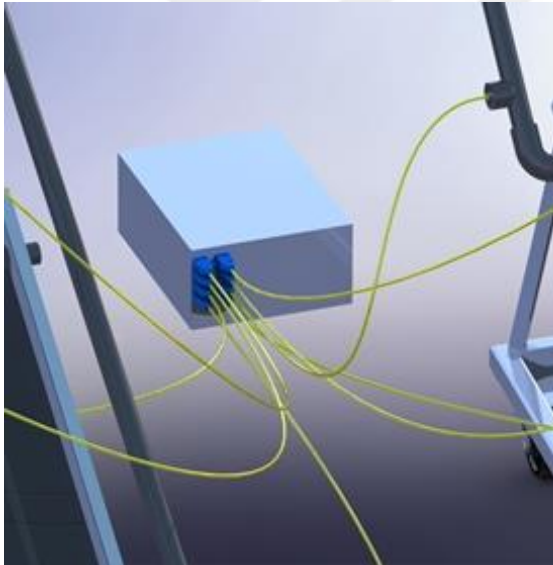
Bu bölümde her bir parçasından bahsedilen; temel olarak kollektör, boru hattı ve depo gibi temel unsurlardan oluşan sistem montajı Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi termodinamik laboratuvarı içerisinde yapılmıştır. Şekil 3.18’de de gösterildiği gibi tekerlekli bir şasi üzerine monte edilen kollektör sistemi, bu sayede deney için araziye çıkarılarak deney açık havada yapılmıştır. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de önceden tasarlanan parçaların bilgisayar destekli birleştirilmesiyle oluşturulmuş sistem montajının görselleştirilmiş çeşitli görüntüleri yer almaktadır. Şekil 3.21’de ise tasarımın bazı detay görüntüleri sunulmuştur. Şekil 3.22’de ise montajı tamamlanmış gerçek sistemin deney anındaki bir görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 3.19. Montaj tamamlandıktan sonra sistemin görüntüsünün bilgisayar destekli görselleştirilmiş halinin ait çeşitli açılardan görünümü



Şekil 3.20. Deponun yarı saydam şekilde görselleştirildiği tüm sistem görüntüsü



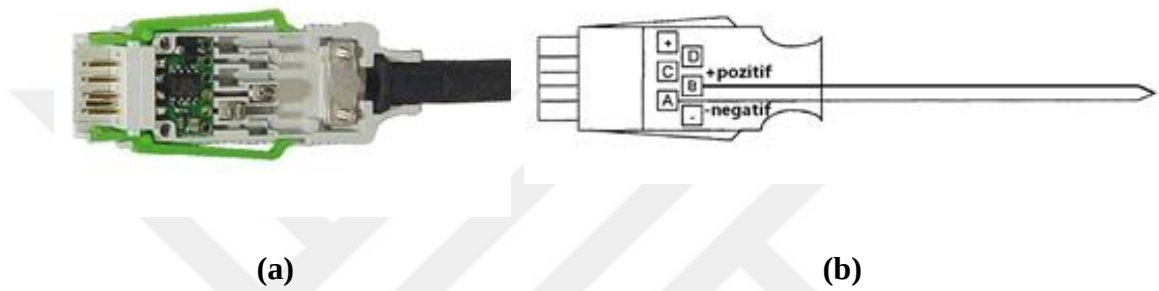
Şekil 3.21. Veri toplayıcı ve sistemin diğer unsurlarının bilgisayar destekli görselleştirilmiş detay görüntüleri



Şekil 3.22. Montajı tamamlanmış iki sistemin çeşitli açılardan deney anındaki görüntüsü

3.2.9. Sıcaklık sensörleri

Kapalı devre güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerine nanoakışkan kullanımının incelendiği bu sistemde sistemin çeşitli noktalarının sıcaklığı ölçülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık ölçümü için termokupllar kullanılmıştır. Termokupl, iki farklı iletkenin oluşan ısı çiftlerine denir. İletkenliği farklı olan iki iletken üzerinden akım geçtiğinde termoelektrik etki ile sıcaklığa bağlı olarak anlamlı bir gerilim oluşur. Farklı sıcaklıklarda skalası ve büyüklüğü önceden belirlenen gerilimler yorumlanarak sıcaklık ölçümü yapılır. Kullanılan veri toplama cihazına uygun termokupl konnektörüne ait görüntü Şekil 3.23'te yer almaktadır.



Şekil 3.23. a) Veri toplama cihazı üzerine sıcaklık ölçüm sensörlerinin kablo uçlarının bağlanması için kullanılan konnektörlere ait bir görüntü; **b)** Konnektöre ait bağlantı şeması (Instruments Direct Limited 2016)

Kollektörlere çalışma akışkanının girdiği ve çıktığı noktada birer, depoların alt ve üst noktasında da birer tane olmak üzere akışkanların sıcaklıklarının ölçülmesi için sistem başına 4 sıcaklık ölçüm noktası belirlenmiştir. Ayrıca yutucu yüzey ve saydam yüzey sıcaklıkları için de birer ölçüm noktası bulunmaktadır. Toplamda sistem başına 6 adet noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. İkiz kollektör sistemi ile sistem performanslarının karşılaştırıldığı bu çalışmada toplam 12 adet termokupl kullanılmıştır.

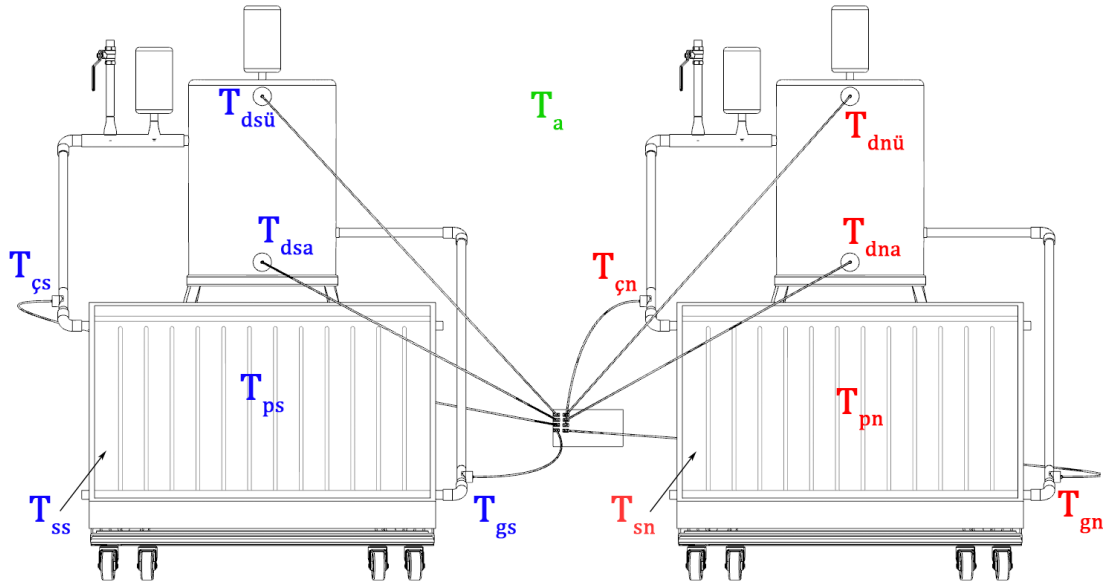
E, J, K, M, N, T gibi pek çok tipi bulunan ısı çiftleri arasında bu çalışmada K tipi termokupl kullanılmıştır. Termokupllar kullanılan iletkenin tipine göre belli standartlarda belli renkler almaktadır. K tipi termokupl artı (+) kablosunda NiCr iletkeni bulunurken, eksi (-) kablosunda Ni iletkeni bulunur. IEC 60584 standardına göre NiCr yeşil ile sembolize edilirken, Ni iletkeni beyaz kablo ile kullanılır. Kullanılan termokupla ait temel özellikler Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Deney sistemleri üzerindeki noktaların yanı sıra dış ortam sıcaklığını ölçmek için ± 0.25 °C hassasiyetinde B sınıfı bir adet PT100 sıcaklık ölçüm sensörü ve bu sensöre ait konnektör kullanılmıştır. Işınım ve rüzgârdan etkilenmemesi için bu sensör ölçümler sırasında özel olarak muhafaza altında tutulmuştur.

Çizelge 3.11. Sıcaklık ölçüm sensörü olarak kullanılan termokupla ait özellikler

<i>Tanım</i>	<i>Özellik</i>
Kablo boyu	3000 mm
Kablo kesiti	2 x 0.50 mm ²
Kablo izolasyonu	Cam elyaf
Sıcaklık ölçüm aralığı	-50 °C – 350 °C
Koruyucu kılıf çapı	4 mm
Isıl çift	NiCr – Ni

Şekil 3.24'te deney düzeneğine ait şematik gösterim ve bu sıcaklık ölçümü yapılan noktalar gösterilmiştir. Bu şekilde mavi renk çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan noktalara ait sıcaklıkları, kırmızı renk ise çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan noktaların sıcaklıklarını ve yeşil renk ise çevre sıcaklığını temsil etmektedir. Ayrıca bu noktaların açıklamaları Çizelge 3.12'de sunulmuştur.

**Şekil 3.24.** Sıcaklık ölçüm cihazlarının yerleştirildiği noktalar

Çizelge 3.12. Ölçüm cihazlarının bağlantı noktaları

<i>Nokta</i>	<i>Açıklama</i>
$T_{dsü}$	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde kullanım suyu bulunan depo üst sıcaklığı
T_{dsa}	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde kullanım suyu bulunan depo alt sıcaklığı
$T_{çs}$	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde suyun kollektörden çıkış noktası
T_{gs}	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde suyun kollektöre giriş sıcaklığı
T_{ps}	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde yutucu yüzey sıcaklığı
T_{ss}	Çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan sistemde saydam yüzey sıcaklığı
$T_{dnü}$	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde kullanım suyu bulunan depo üst sıcaklığı
T_{dna}	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde kullanım suyu bulunan depo alt sıcaklığı
$T_{çn}$	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde nanoakışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı
T_{gn}	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde nanoakışkanın kollektöre giriş sıcaklığı
T_{pn}	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde yutucu yüzey sıcaklığı
T_{sn}	Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan sistemde saydam yüzey sıcaklığı
T_a	Çevre sıcaklığı

3.2.10. Piranometre

Piranometre düzlemsel bir yüzeyde güneş ışınlamalarını ölçmeye yarayan bir araçtır. Bu çalışmada güneş ışınlamalarının elde edilmesi için Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında bulunan Theodor Friedrichs & Co. marka 6004-1000 model iki adet piranometre kullanılmıştır. Bunlardan birincisi yatay düzleme paralel yerleştirilmiş, diğeri ise kollektör açısına eşdeğer olarak yatay ile 35° açığa ayarlanmıştır. Kullanılan piranometrelere ait teknik özellikler Çizelge 3.13'te yer almaktadır. Ayrıca eğik ve yatay düzleme ayarlanmış piranometrelere ait görseller Şekil 3.25'te sunulmuştur.

Çizelge 3.13. Kullanılan piranometrelere ait özellikler

<i>Özellik</i>	<i>Değer</i>
Hassasiyet	100 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Tepki süresi	< 1 s
Ölçüm aralığı	0...2000 W/m^2
Çalışma sıcaklığı	-30...+70 °C
Spektral aralık	0,4...1,1 μm
Boyutlar	$\varnothing$ 54 x 34 mm
Kütle	400 gram

**(a)****(b)****Şekil 3.25.** a) Yatay düzleme gelen ışınmı ölçmek için kullanılan piranometre b) Eğik düzleme gelen ışınmı ölçmek için kullanılan piranometre

3.2.11. Anemometre

Deneyler atmosfere açık dış ortamda yapıldığı için, rüzgârın sistem üzerine etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebeple rüzgâr hızının ölçülmesi için Exatech marka AN200 model bir anemometre kullanılmıştır. Katalog verilerine göre kullanılan cihaz rüzgâr hızını 0.01 m/s hassasiyetle ve %3 doğrulukta ölçebilmektedir. Kullanılan cihaza ait bir görsel Şekil 3.26'da yer almaktadır.

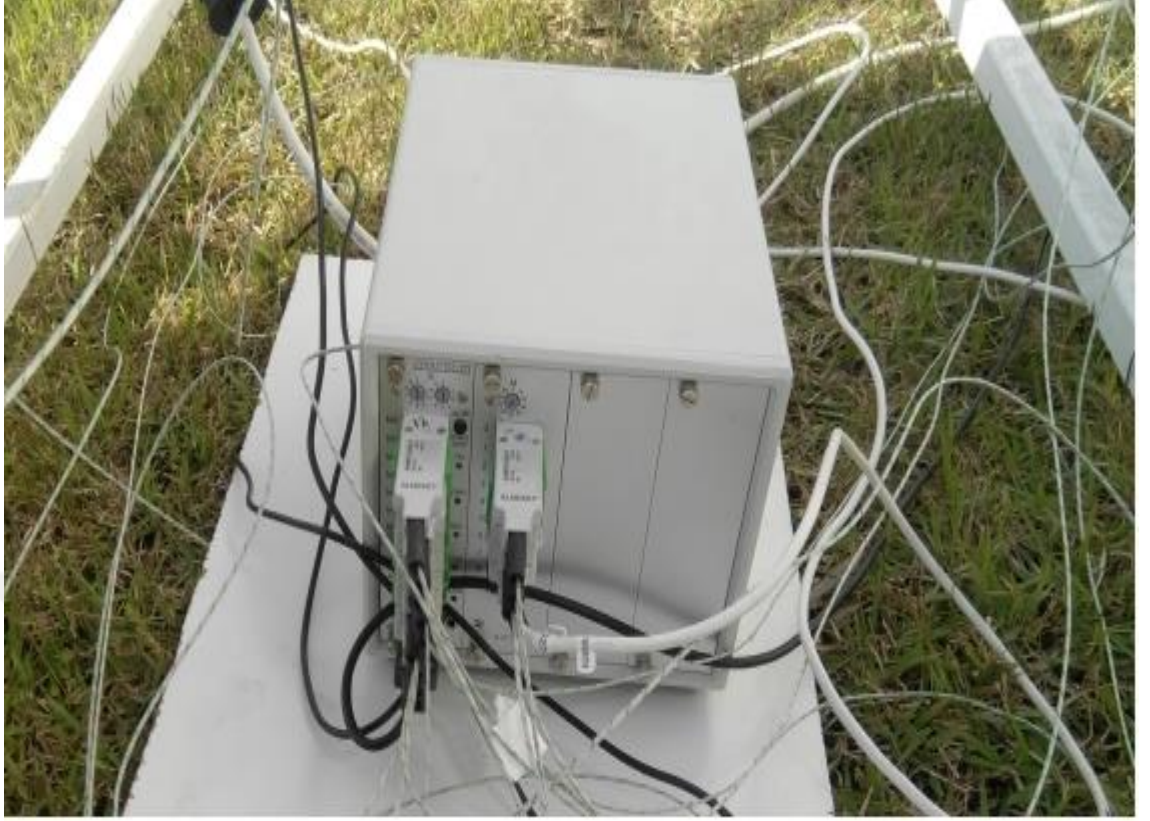


Şekil 3.26. Rüzgâr hızının ölçülmesi için kullanılan cihaz

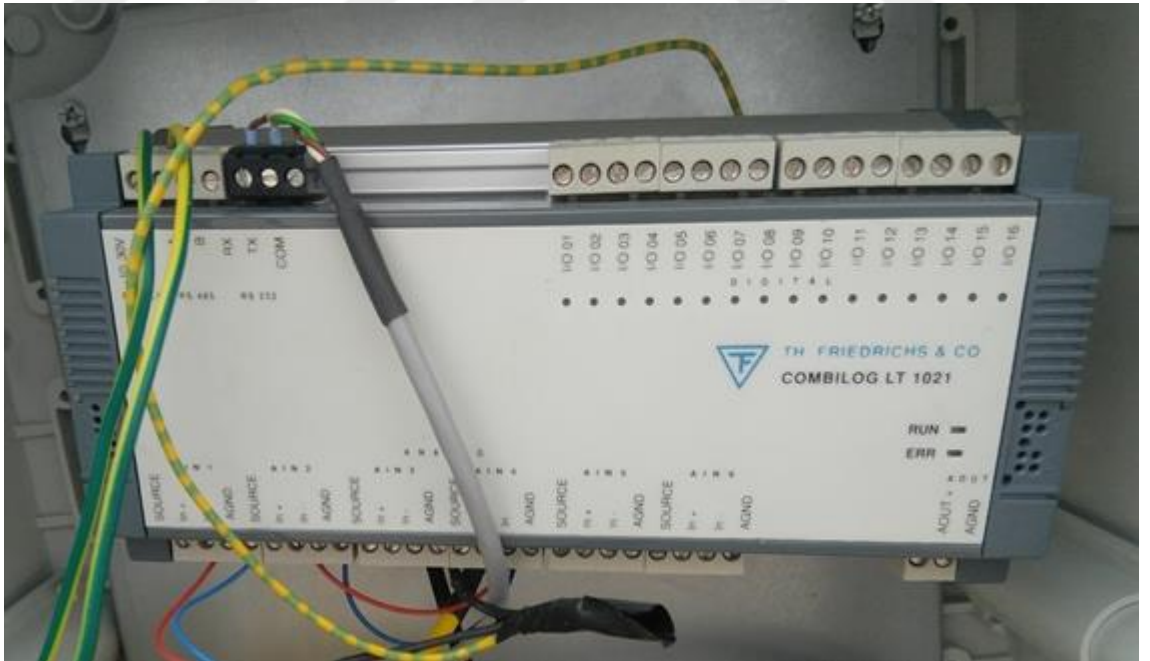
3.4.12. Veri toplama

Deney süresince verinin toplanarak kayıt altında tutulması için Ahlborn marka Almemo 5690-1 model veri toplayıcı cihaz kullanılmıştır. Bu cihaza özel konnektörler vasıtasıyla ölçüm sensörlerinin kablo girişleri cihaz üzerine bağlanmıştır. Veri toplamak için kullanılan bu cihaz üzerinde dahili hafıza bulunmadığı için cihaz bilgisayara bağlanarak veriler eşzamanlı olarak gözlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Ölçümler saat 13:00 ile 17:00 arasında 4 saatlik periyotla alınmıştır. Başlangıçta gölgeli tutulan sistemlerin, ölçüm başlangıcında her ikisinin de eşit şartlarda olması sağlanmıştır. Deney başlangıcında her iki sistemin de aynı anda ışıınım alması sağlanarak sistem üzerindeki noktaların sıcaklıkları kayıt altında tutulmuştur. Şekil 3.27’de sıcaklık ölçümü için kullanılan veri toplama cihazının bir görüntüsü yer almaktadır.

Ayrıca eğik yüzey ve yataya gelen ışıınım şiddetlerinin kaydedilmesi için de Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında halihazırda bulunan iki adet piranometrenin bağlı bulunduğu veri toplayıcı kullanılmıştır. Theodor Friedrichs & Co. markalı Combilog 1020 model veri toplayıcı ile daha önceden yatay ile 0 ve 35 derece güney açısına ayarlanan iki adet piranometreden veri sağlanmıştır. Dahili hafızası bulunan bu veri toplayıcı sayesinde her 10 dakikada bir anlık ışıınım verileri kayıt edilmiştir. Bu veri toplayıcıya ait görüntü Şekil 3.28’de yer almaktadır.



Şekil 3.27. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan veri toplama cihazına ait görüntü



Şekil 3.28. Piranometreden elde edilen verilerin kayıtlarının tutulduğu veri toplayıcıya ait görüntü

3.3. Analiz Metodu

Bu çalışmada öncelikle deneysel metotlar ile veri toplanmıştır. Elde edilen bu veriler bütününe anlamlı hale getirilmesi, bir takım sayısal çözümlerle mümkün olmuştur. Çalışma akışkanının kollektöre giriş yaptığı noktanın sıcaklığı (T_g), akışkanın kollektör çıkış yaptığı noktanın sıcaklığı (T_c), saydam örtü sıcaklığı (T_s), kollektör yüzey sıcaklığı (T_p), depodaki kullanım suyu sıcaklığı (T_d), çevre sıcaklığı (T_a), ışıınım şiddeti (I), rüzgâr hızı (v) başta olmak üzere pek çok sayısal veri periyodik olarak deneysel yöntemlerle toplanarak kayıt altına alınmıştır.

3.3.1. Kollektör yutma-geçirme çarpımının tespiti

Kollektör özelliklerinden bir tanesi olan optik verim doğrudan kollektör üzerindeki saydam örtünün cinsi ve kalınlığı ile ilişkilidir. Bunun için öncelikle Çizelge 2.3'ten kullanılan saydam örtünün özelliklerine ve kalınlığına göre $(\tau\alpha)_0$ ve b değerleri sırasıyla 0.80 ve 0.08 olarak seçilmiştir. Bu değerler ve deneysel olarak elde edilen diğer değerler eşliğinde Eşitlik 3.3 elde edilmiştir. Bu eşitlik kullanılarak kollektörün toplam yutma geçirme çarpımı ($\tau\alpha$) hesaplanmıştır.

$$(\tau\alpha) = (\tau\alpha)_0 - b \left[1 - \frac{I_b R_b}{IR} \left(2 - \frac{1}{\cos\theta} \right) \right] \quad (3.3)$$

3.3.2. Kollektör toplam ısı transfer katsayısının tespiti

Kollektörün ısı performansının incelenmesindeki bir diğer önemli parametre kayıplardır. Kollektörün üst ve alt yüzeylerinden olan toplam ısı kayıp katsayısı hesaplanmıştır. Üç boyutlu geometriye sahip olan kollektörün yan yüzeylerinden olan kayıplar, yutucu yüzey kalınlığı ve kollektörün yan yüzeylerindeki yalıtıcı malzeme kalınlığı dikkate alınarak bu hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ilgili malzemenin özelliklerine bağlı olarak bilindiğinden Eşitlik 3.4 ile kollektör altından çevreye olan toplam ısı transfer katsayısı U_{alt} hesaplanmıştır. Yüzeyin dışında bulunan havaya ait ısı taşınım katsayısı (h_w) Eşitlik 3.5 yardımıyla bulunmuştur. Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.8 kullanılarak bulunan f ve C değerlerinin ardından Eşitlik 3.8'de verilen ve deneysel metotlara dayanan yarı ampirik ifade kullanılarak kollektörün üst kısmından olan ısı transfer katsayısı $U_{üst}$ hesaplanmıştır. $U_{üst}$ hesaplanırken kullanılan sabit değerler Çizelge 3.14'te sunulmuştur. Bulunan bu değerler toplanarak (Eşitlik 3.9) çalışmada kullanılan kollektörün toplam ısı transfer katsayısı tespit edilmiştir.

$$U_{alt} = \frac{k_{yal}}{l_{yal} A_c} \quad (3.4)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8 v \quad (3.5)$$

$$f = (1 - 0.04 h_w + 0.0005 h_w^2) (1 + 0.091 N) \quad (3.6)$$

$$C = 365.9(1 - 0.00883 \beta + 0.0001298 \beta^2) \quad (3.7)$$

$$U_{üst} = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0.33}} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0.05N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N} \quad (3.8)$$

Çizelge 3.14. Kollektörün üst kısmındaki ısı transfer katsayısının hesabında kullanılan sabit değerler

<i>Sembol</i>	<i>Açıklama</i>	<i>Değer</i>
N	Saydam örtü sayısı	1
ε_p	Yutucu yüzeyin yayma katsayısı	0.95
ε_g	Saydam yüzeyin yayma katsayısı	0.87
β	Kollektör eğim açısı	35°
σ	Stefan – Boltzman sabiti	5.67 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴

$$U_L = U_{alt} + U_{üst} \quad (3.9)$$

3.5.3. Kollektörde toplam faydalı enerji ve kollektör debisinin tespiti

Deney süresince depo sıcaklığı, kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları sürekli olarak kayıt altında tutulduğundan deponun ilk andaki ve son andaki sıcaklığı kullanılarak Eşitlik 3.10 ile Q_f (faydalı enerji) bulunmuştur. Eşitlik 3.9’da m depodaki suyun kütlesi (38.42 litre), $C_{p,depo}$ depodaki suyun ortalama sıcaklıktaki özgül ısı değeri, T_{ds} deponun deney sonundaki sıcaklık değeri, t_d ise saniye cinsinden deneyin süresi (240 dakika) ve T_{db} deponun deney başlangıcındaki sıcaklık değeridir. Bu eşitlik ile depodaki suya aktarılan enerjinin birim zamandaki değişimi Watt cinsinden bulunmuştur.

$$Q_f = \frac{mC_{p,depo}(T_{ds} - T_{db})}{t_d} \quad (3.10)$$

Tüm deney boyunca, çalışma akışkanının kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları kayıt altında tutulmuştur. Her bir akışkan için partikül yoğunluğu, baz akışkan yoğunluğu, partikül özgül ısı ve baz akışkan özgül ısı kullanılarak Eşitlik 3.2 ile bulunmuş c_p (özgül ısı) değerleri kullanılarak Eşitlik 3.11 ile her bir deney için akışkanların ortalama kütleli debisi ($\dot{m}$) bulunmuştur. Bu eşitlikte yer alan Q_f değeri faydalı ısı, T_ϕ değeri akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı ve T_g akışkanın kollektöre giriş sıcaklığıdır.

$$Q_f = \dot{m}c_p(T_\phi - T_g) \quad (3.11)$$

3.3.4. Kollektör ısı kazanç faktörünün tespiti

Piranometreden alınan I_T değeri ile Eşitlik 3.3 ile hesaplanmış olan yutma geçirme çarpımı kullanılarak Eşitlik 3.12 ile efektif ışıyım şiddeti (S) değeri bulunmuştur. Kollektör yüzey alanı 0.96 m^2 olan düzenekte önceden hesaplanmış olan S ve U_L değerleri ile deneysel metotlarla elde edilen akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı T_g ile çevre sıcaklığı T_a kullanılarak yutucu yüzeyin tamamının akışkan giriş sıcaklığı olması durumundaki ideal faydalı enerji (Q_{fi}) Eşitlik 3.13 ile hesaplanmıştır. Q_f ve Q_{fi} değerleri hesaplandıktan sonra bu iki değere bağlı olarak kollektör ısı kazanç faktörü Eşitlik 3.14 ile bulunmuştur.

$$S = (\tau\alpha) \times I_T \quad (3.12)$$

$$Q_{fi} = A_c [S - U_L(T_g - T_a)] \quad (3.13)$$

$$F_R = \frac{Q_f}{Q_{fi}} \quad (3.14)$$

3.3.5. Kollektör boru içi akışı için ısı taşınım katsayısı değeri

Üzerine gelen güneş ışıyımları ile yutucu plakanın ısınması, ısınan yutucu plakalardan daha düşük sıcaklıktaki akışkana ısı transferi olması ile akışkanın sıcaklığının artması prensibiyle çalışan kollektör sisteminde; yutucu plaka borular üzerinde kanatçık gibi davrandığı kabulü ile kanatçık verimi Eşitlik 3.15 ile hesaplanmıştır. Bulunan kanatçık veriminin büyüklüğü, yüzey alanı ve yutucu plakada kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı ile ilişkilidir.

$$F = \frac{\tanh[m(W_{pb} - D_i)/2]}{m(W_{pb} - D_i)/2} \quad \text{ve} \quad m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad (3.15)$$

Kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları bilindiğinden, kollektör içerisindeki sıcaklık değişiminin üniform olduğu kabulüyle bu iki sıcaklığın ortalaması alınarak T_f değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 3.16). Eşitlik 3.15 ile hesaplanan kanatçık veriminin oldukça yüksek olması sebebiyle yutucu yüzey sıcaklığının ortalaması ile boru yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak yakın alınarak Eşitlik 3.17 ile boru içerisindeki akışkanın ortalama taşınım katsayısı ($h_{c,i}$) hesaplanmıştır. Bu eşitlikte kollektör borularının iç yüzey toplam alanı olarak ifade edilen A_b değeri 0.317 m^2 'dir.

$$T_f = \frac{(T_g + T_g)}{2} \quad (3.16)$$

$$Q_f = h_{c,i} A_b (T_p - T_f) \quad (3.17)$$

3.3.6. Kollektör veriminin tespiti

Tez çalışmasında, sistemlerin performanslarını karşılaştırırken kullanılan temel kriterlerden bir tanesi de kollektör verimidir. Güneş kollektörünün anlık verimi, her bir deney için anlık olarak Eşitlik 3.18 ile bulunmuştur. Deneyin başlangıcından bitişine kadar verimin ortalaması ise Eşitlik 3.19 ile hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{Q_f}{A_c I_T} \quad (3.18)$$

$$\eta = \frac{\int_{w_1}^{w_2} Q_f}{\int_{w_1}^{w_2} A_c I_T} \quad (3.19)$$

3.4. Belirsizlik Analizi

Deneyssel metotlarla elde edilmiş verilerin analitik çözümlerde kullanıldığı durumlarda, deneyssel verilerin ne kadar doğru olduğu çözüme ulaşırken bilinmesi gereken faktörlerden bir tanesidir. Deneyssel veri elde etme sürecinde karşılaşılan belli durum ve ölçüm yöntemlerinin hassasiyetinden kaynaklanan hata oranları göz önünde bulundurularak belirsizlik analizi yapılır.

Deneyssel çalışmalarda sonuca az veya çok etki eden hatalar pek çok farklı grupta toplanabilir. Ölçüm cihazlarının sistem tasarım sürecinde doğru seçilmemesi hatalar doğurabilirken, yeterli hassasiyet ve doğrulukta olmayan ölçüm cihazları kullanımı sonuca çeşitli durumlarda etki edebilir. Çevresel faktörler, cihazların yerleşimi, veri aktarım yöntemleri, ölçüm periyotları gibi etmenler de hata analizi yaparken göz önünde bulundurulur. Belirsizlik analizi yapılırken sisteme ait elemanlardan doğan bağımsız belirsizlikler tüm sistemin belirsizliğine etki eder. Başka bir deyişle, ölçme grubunun belirsizliğini bulabilmek için o gruba ait alt unsurların belirsizliğini ayrı ayrı saptamak gerekir. Bağımsız değerlerden kaynaklanan hataların toplamının bulunması için ayrı ayrı bağımsız değişkenlere sahip bir R fonksiyonu Eşitlik 3.20'deki gibi tanımlanabilir (Genceli 1998).

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.20)$$

Bağımsız değişkenlerin belirsizliğine bağlı olarak R fonksiyonuna ait nihai belirsizlik (w_R) Eşitlik 3.21 ile hesaplanır.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.21)$$

Yapılan hata analizinde sistematik hatalar ve rastgele hatalar kesin çizgilerle ayrılmadığı için her iki türdeki hatalara ait bağımsız değişkenlere de yer verilmiştir. Ayrıca ölçüm cihazlarının imalatına ilişkin bir hatanın olmadığı kabulü yapılmıştır. Bu

doğrultuda cihaz üreticilerinin katalogları ve diğer yöntemler kullanılarak bağımsız değişkenlere ait hata oranları her bir değişken için belirlenmiştir. Belirlenen hata oranları Çizelge 3.15'te sunulmuştur.

Çizelge 3.15. Ölçümlerde elde edilen tahmini belirsizlik değerleri

<i>Sınıf</i>	<i>Belirsizlik tanımı</i>	<i>Hassasiyet</i>
(a1)	Sıcaklık sensörü olarak kullanılan ısı çiftlerinden kaynaklanan hata	± 0.1 °C
(b1)	Konnektörler ve diğer bağlantı elemanlarından kaynaklanan hata	± 0.1 °C
(c1)	Depo içerisindeki akışkan sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.2 °C
(d1)	Kollektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.1 °C
(e1)	Kollektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.1 °C
(f1)	Yutucu yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.4 °C
(g1)	Saydam yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.4 °C
(h1)	Dış ortam sıcaklığı ölçümü için kullanılan PT100 sensörden kaynaklanan hata	± 0.25 °C
(i1)	Dış ortam sıcaklığı ölçümünde çevresel etkilere kaynaklanabilecek hata	± 0.1 °C
(a2)	Piranometre hassasiyetinden kaynaklanan hata	± 1 W
(b2)	Piranometrenin bulunduğu çevre şartları yüzünden oluşabilecek hata	± 1 W
(a3)	Anemometre hassasiyetinden kaynaklanan hata	± 0.01 m/s
(b3)	Anemometre ile hava hızının ölçülmesinde yapılabilecek hata	± 0.2 m/s

Çizelge 3.15'de belirlenen bağımsız değişkenler eşliğinde Eşitlik 3.21 kullanılarak her bir noktanın ölçümüne ait toplam hatalar bulunmuştur. Hata türü, hatanın hesaplandığı eşitlik ve hesaplama sonucu ulaşılan değerler Çizelge 3.16'da sunulmuştur

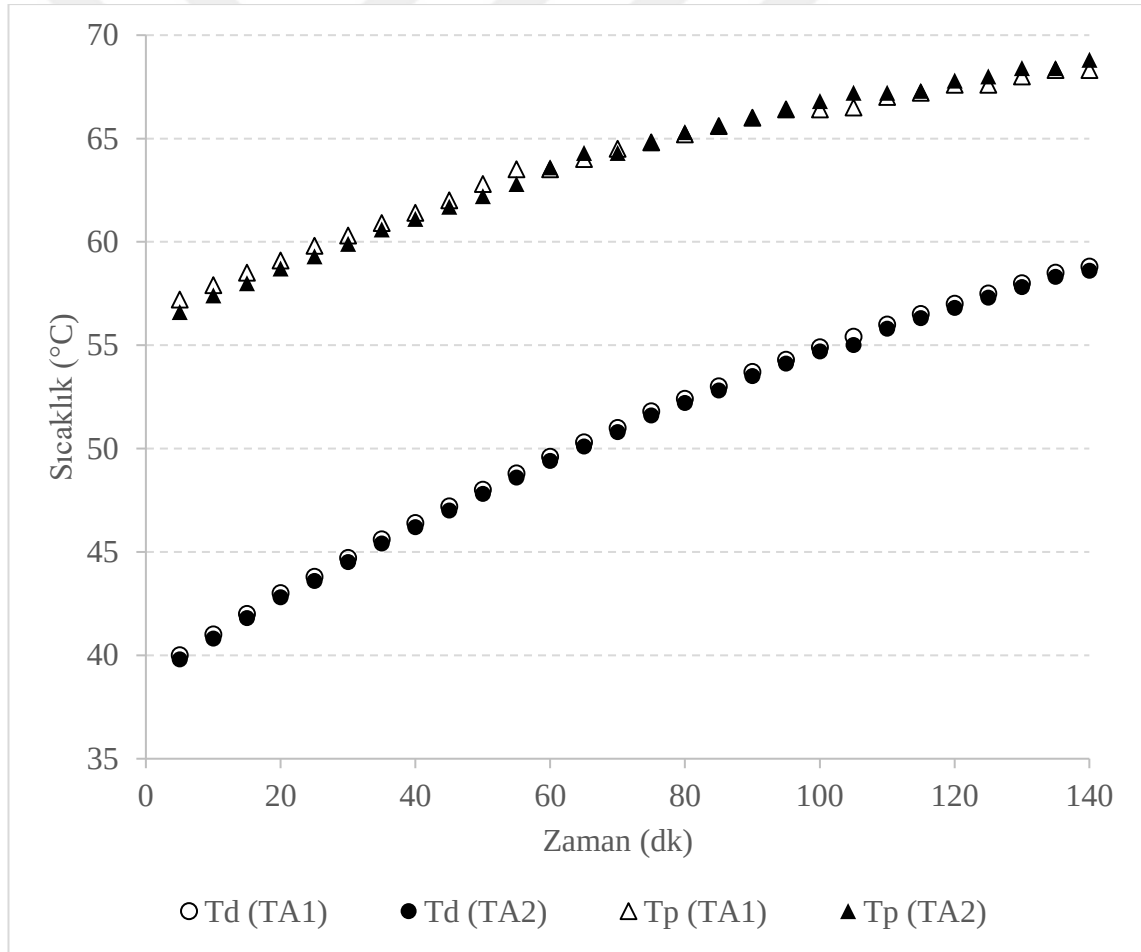
Çizelge 3.16. Ölçümlerden kaynaklanabilecek belirsizlik değerlerinin hesaplandığı eşitlikler ve hesaplanan değerler

<i>Sembol</i>	<i>Hata türü</i>	<i>Eşitlik</i>	<i>Belirsizlik Değeri</i>
W_{Td}	Depoda bulunan akışkanın sıcaklığı	$[(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.245 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$W_{T\phi}$	Kollektör çıkışındaki akışkan sıcaklığı	$[(a1)^2 + (b1)^2 + (d1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.173 \text{ }^{\circ}\text{C}$
W_{Tg}	Kollektör girişindeki akışkan sıcaklığı	$[(a1)^2 + (b1)^2 + (e1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.173 \text{ }^{\circ}\text{C}$
W_{Ta}	Yutucu yüzey sıcaklığı	$[(a1)^2 + (b1)^2 + (f1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.424 \text{ }^{\circ}\text{C}$
W_{Ts}	Saydam yüzey sıcaklığı	$[(a1)^2 + (b1)^2 + (g1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.424 \text{ }^{\circ}\text{C}$
W_{To}	Dış ortam sıcaklığı	$[(b1)^2 + (h1)^2]^{1/2}$	$\pm 0.269 \text{ }^{\circ}\text{C}$
W_I	Işınım şiddeti	$[(a2)^2 + (b2)^2]^{1/2}$	$\pm 1.414 \text{ W}$
W_{Va}	Hava hızı	$[(a3)^2 + (b3)^2]^{1/2}$	$\pm 0.101 \text{ m/s}$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sistemlerin Eş Çalışma Tespiti

Bu çalışmada nanoakışkan kullanımının sistem üzerine etkileri incelenirken özellikleri bir önceki bölümde anıldığı üzere birbirine eşdeğer iki farklı sistem kullanılmıştır. Fiziksel boyutları ve kullanılan malzemeleri bire bir eşdeğer olan sistemlerin performanslarının da denk olması tüm çalışmanın tutarlılığı için büyük öneme sahiptir. Bu sebeple tüm bu çalışmalardan önce, her iki sistemin kollektör hattında da çalışma akışkanı olarak saf su kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yatay yüzeye düşen toplam anlık ışıınım (I) değeri 710.04 W/m^2 , eğik yüzeye düşen toplam anlık ışıınım (I_T) 679.41 W/m^2 , dış ortam sıcaklığı (T_c) $27.13 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ortalama rüzgar hızı (v) 6.1 m/s olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmada aynı çalışma akışkanları ile yutucu yüzeyden birim zamanda çekilen ısı ile depoya aktarılan ısıının yaklaşık eşit olduğu ve sistem performanslarının yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. Şekil 4.1’de depo sıcaklıkları (T_d) ve yutucu yüzey sıcaklıklarının (T_p) zamana bağlı değişimini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.1. Her ikisinde de çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan iki sistemin depo ve yutucu yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi

4.2. Sıcaklık Değişimleri

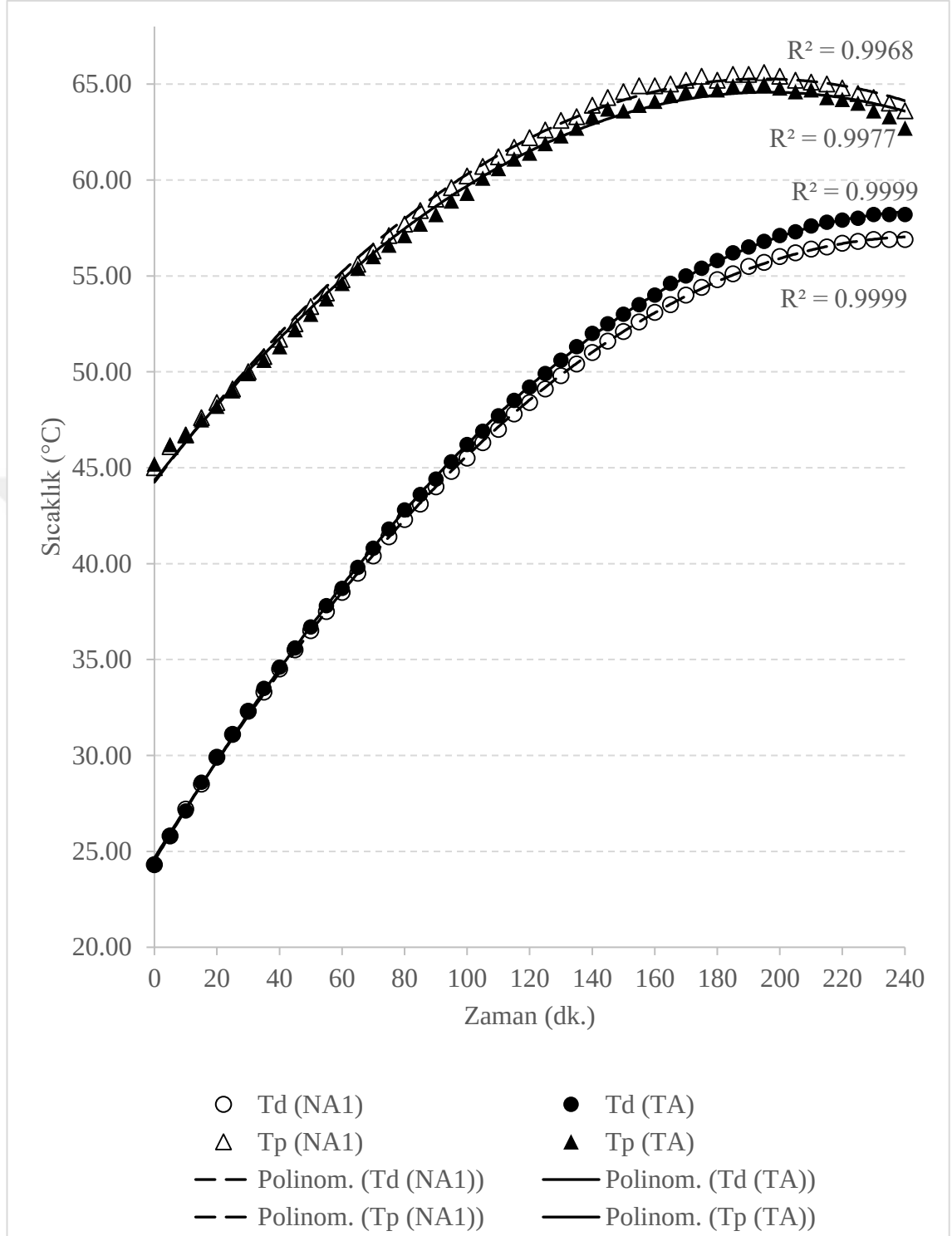
Eşdeğer iki sistemin kullanıldığı deneylerde sıcaklık değerleri, güneş ışıını değeri, rüzgâr hızı değeri eşzamanlı olarak kayıt altında tutulmuştur. Deneyin yapıldığı güne ait yatay düzleme gelen ortalama güneş ışıını (I), eğik düzleme gelen ortalama güneş ışıını (I_T), ortalama dış hava sıcaklığı (T_a) ve ortalama rüzgâr hızı değeri Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deneylerin yapıldığı tarihlerdeki ortalama çevre şartları

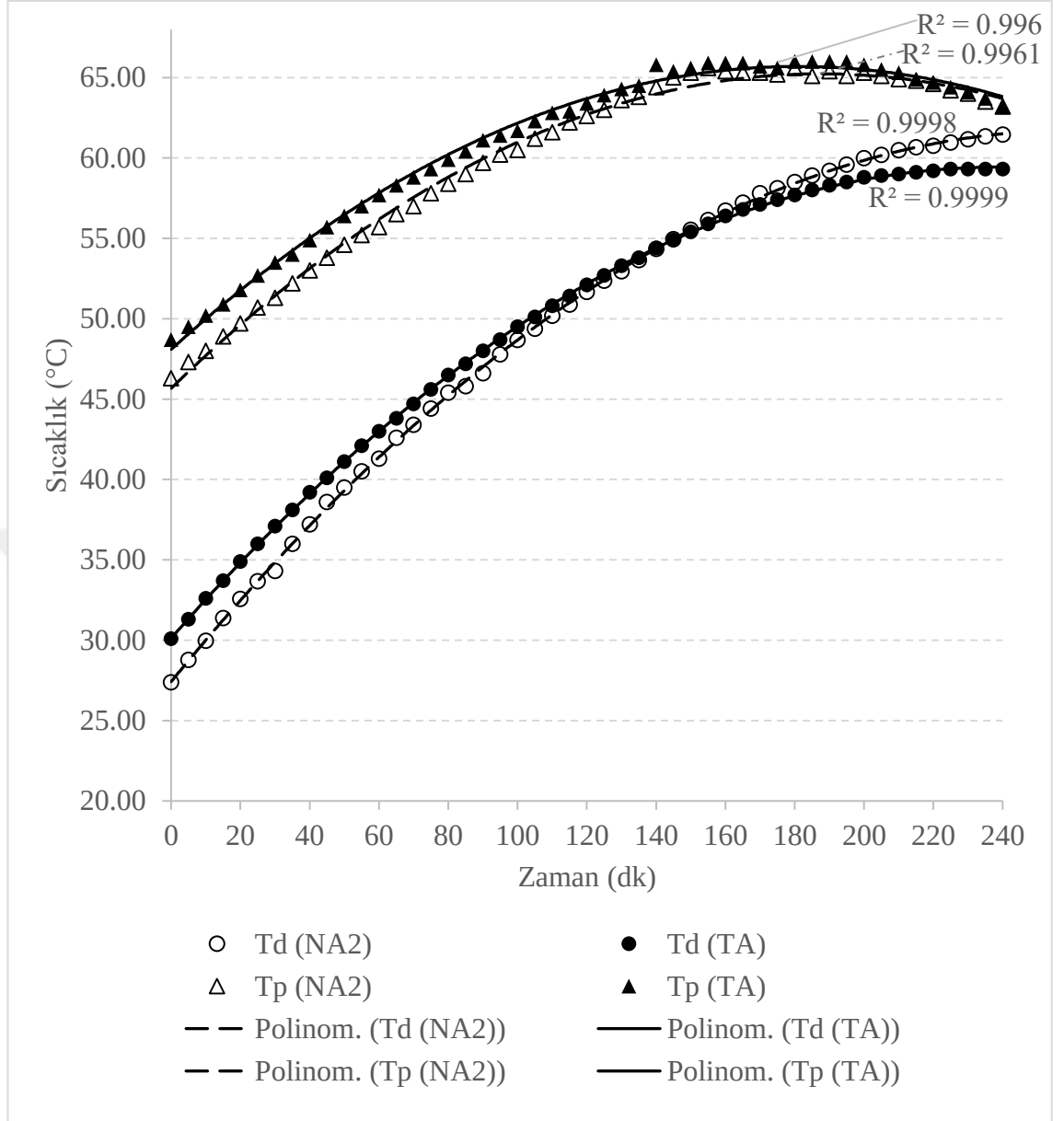
<i>Sembol</i>	<i>Deney 1</i>		<i>Deney 2</i>		<i>Deney 3</i>	
	<i>NA1</i>	<i>TA</i>	<i>NA2</i>	<i>TA</i>	<i>NA3</i>	<i>TA</i>
<i>I</i>	716.07 W		748.85 W		773.20 W	
<i>I_T</i>	685.71 W		717.97 W		741.16 W	
<i>T_a</i>	27.75 °C		29.19 °C		30.03 °C	
<i>v</i>	7.12 m/s		6.14 m/s		6.26 m/s	

Deney süresince kollektör sistemi üzerinde belirli noktalara ait sıcaklıklar ölçülmüş olup, noktalara ait sıcaklıkların değişimi her bir deney için ayrı ayrı grafiklerde verilmiştir. Referans çalışma akışkanı olarak saf su, nanoakışkan olarak SiO₂ kabuk ve TiO₂ partikül kullanılan sistem ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.2’de verilmiştir. Aynı şekilde nanoakışkan olarak SiO₂ kaplı Fe₃O₄ kullanılan sisteme ait veriler Şekil 4.3’te verilmiştir. Son olarak SiO₂ kaplı ZnO nanoakışkanı kullanılan sisteme ait sıcaklık grafikleri ise Şekil 4.4’te verilmiştir. Şekillerde kullanılan akışkan sembolleri Çizelge 3.1’de daha önce sunulduğu gibi kullanılmıştır.

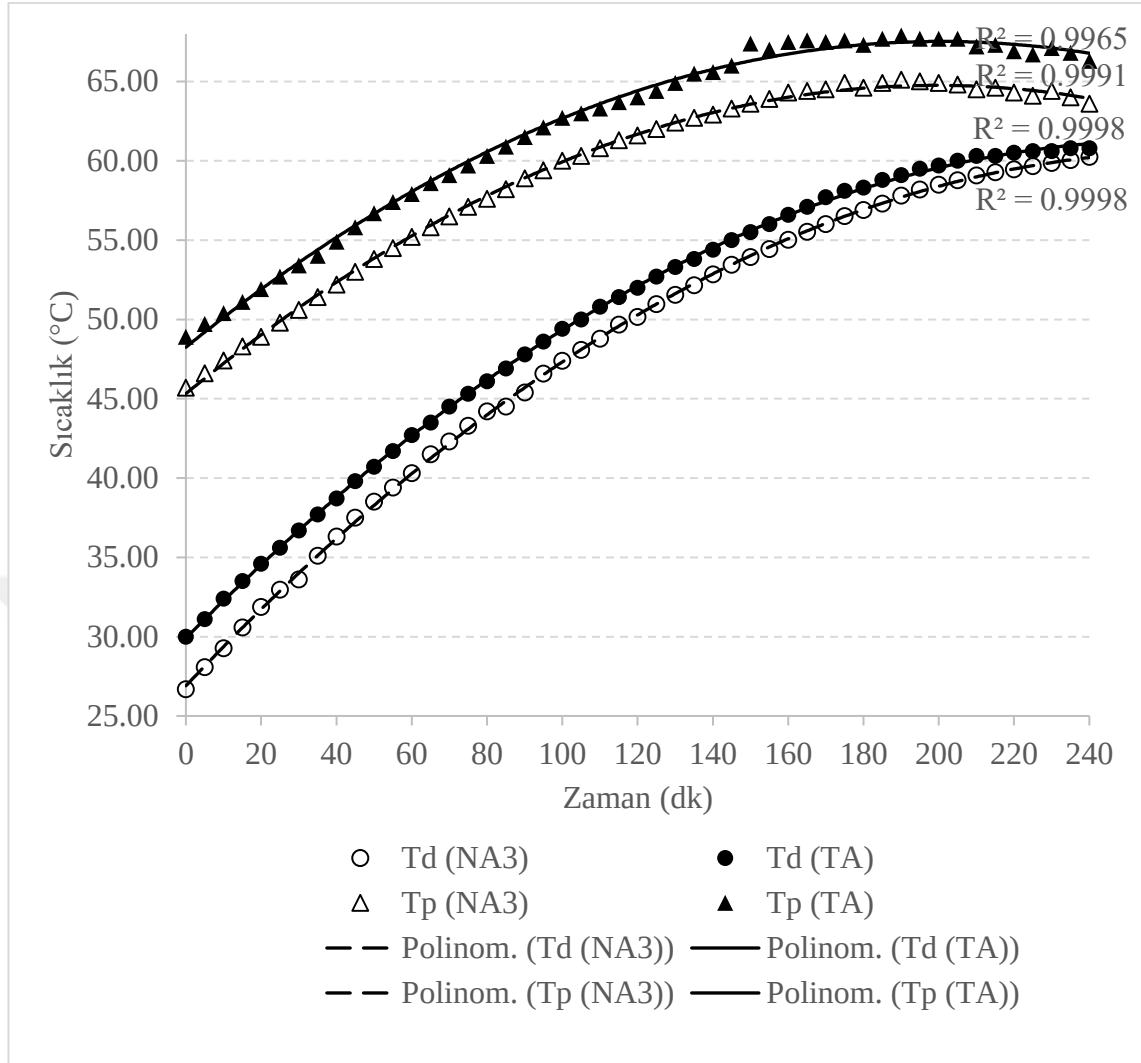
Çalışma atmosfere açık dış ortamda yapıldığından çevre koşullarının etkisiyle her iki sistemdeki akışkanlar deney başlangıcında aynı sıcaklıkta olmasalar da sıcaklık değişimleri üzerinden sonuç elde etmek mümkündür. Şekil 4.3’te Fe₃O₄ esaslı nanoakışkan ve Şekil 4.4’te ZnO esaslı nanoakışkana ait depo ve yutucu yüzey sıcaklıkları değişim grafikleri eşliğinde nanoakışkan kullanılan sistemlerde birim zamandaki depo sıcaklığı artışının daha fazla olduğu görülmüştür. Şekil 4.2’de TiO₂ esaslı nanoakışkan ve su akışkanının karşılaştırıldığı grafikte ise bu değişim gözlemlenememiştir. NA2 kullanılan sistemin depo sıcaklığı TA kullanılan sisteme göre 4.86 °C artarken, NA3 kullanılan sistemin depo sıcaklığı TA kullanılan referans sisteme göre 2.76 °C daha fazla artmıştır. NA1 kullanılan sistemin depo sıcaklığı ise TA kullanılan sisteme göre 1.30 °C daha az artış göstermiştir. TiO₂-su ZnO-su ve Fe₃O₄-su nanoakışkanları kullanılan sistemlerde yüzey sıcaklıklarındaki artış eğilimi referans akışkan kullanılan sistemlere yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. Tüm bunlarla birlikte fayda veya zarar oranlarını Q_f ve η hesaplanmadan tam olarak görmek mümkün değildir.



Şekil 4.2. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan (NA1) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

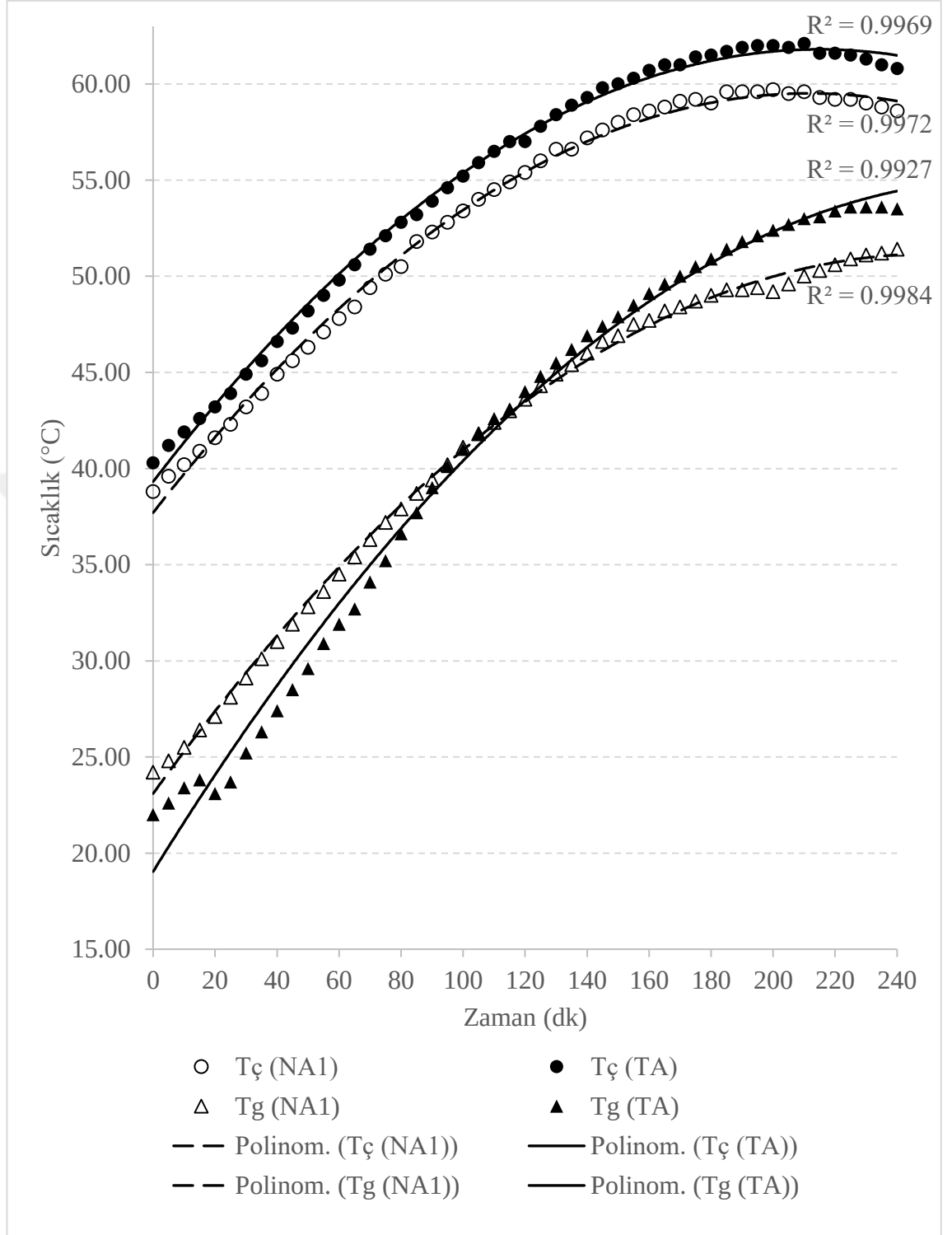


Şekil 4.3. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan (NA2) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

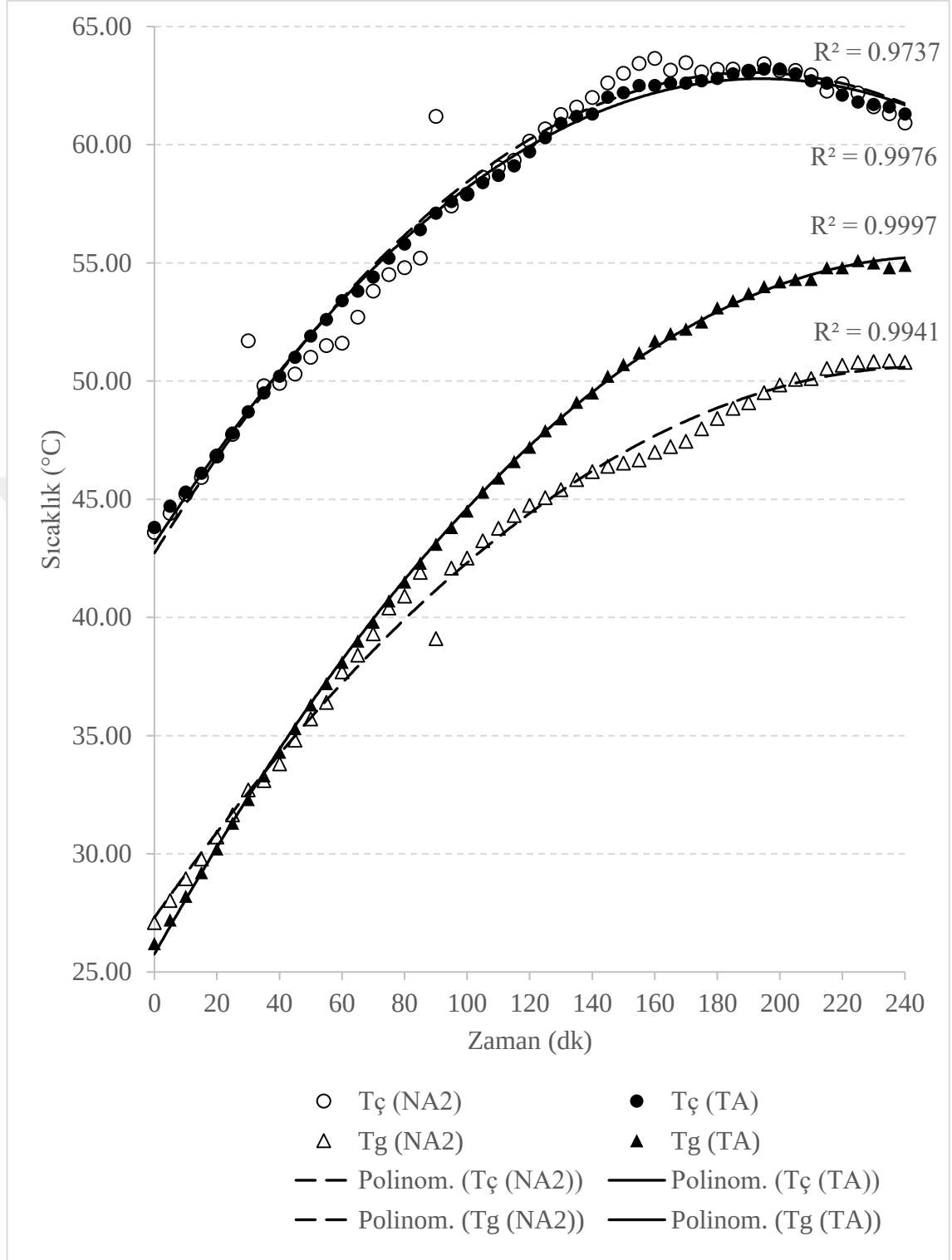


Şekil 4.4. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO₂ kabuk esaslı nanoakışkan (NA3) kullanılan sistem ile saf su kullanılan sisteme ait depo sıcaklığının ve yutucu yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

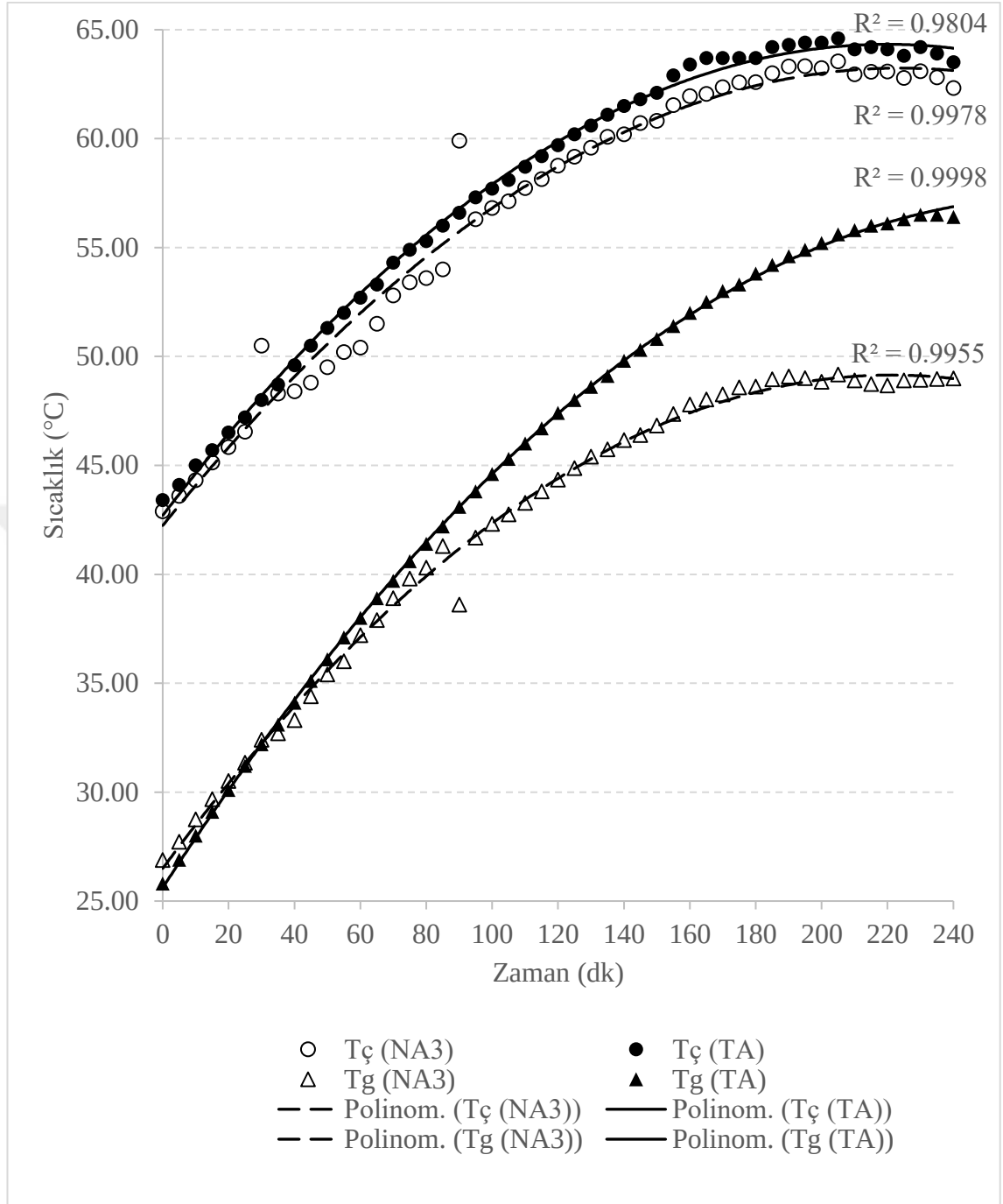
Şekil 4.5'te TiO₂ – SiO₂ çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA1) ve saf su, Şekil 4.6'da Fe₃O₄ – SiO₂ çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA2) ve saf su, Şekil 4.7'te ZnO – SiO₂ çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA3) ve saf su kullanılan sistemde akışkanların kollektöre giriş ve çıkış noktalarının sıcaklık değişim grafikleri yer almaktadır. Bu grafikler içerisinde Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de birbirine benzer şekilde nanoakışkan kullanılan sistemlerde akışkanın kollektöre girdiği nokta ile çıktığı nokta arasındaki sıcaklık farkı, temel akışkan kullanılan sisteme göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.5'te ise nanoakışkan (NA1) ile saf su kullanılan sistemlerin kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki değişim farkı net olarak tespit edilememiştir. Kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın artması, akışkana birim kütlede daha fazla ısı transferi olduğu anlamına gelir. Bu sonuç ile kollektör içindeki akışkan debisinin düşmüş olabileceği yorumu da yapılabilir.



Şekil 4.5. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör giriş (T_{g}) ve kolektör çıkış ($T_{\text{ç}}$) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



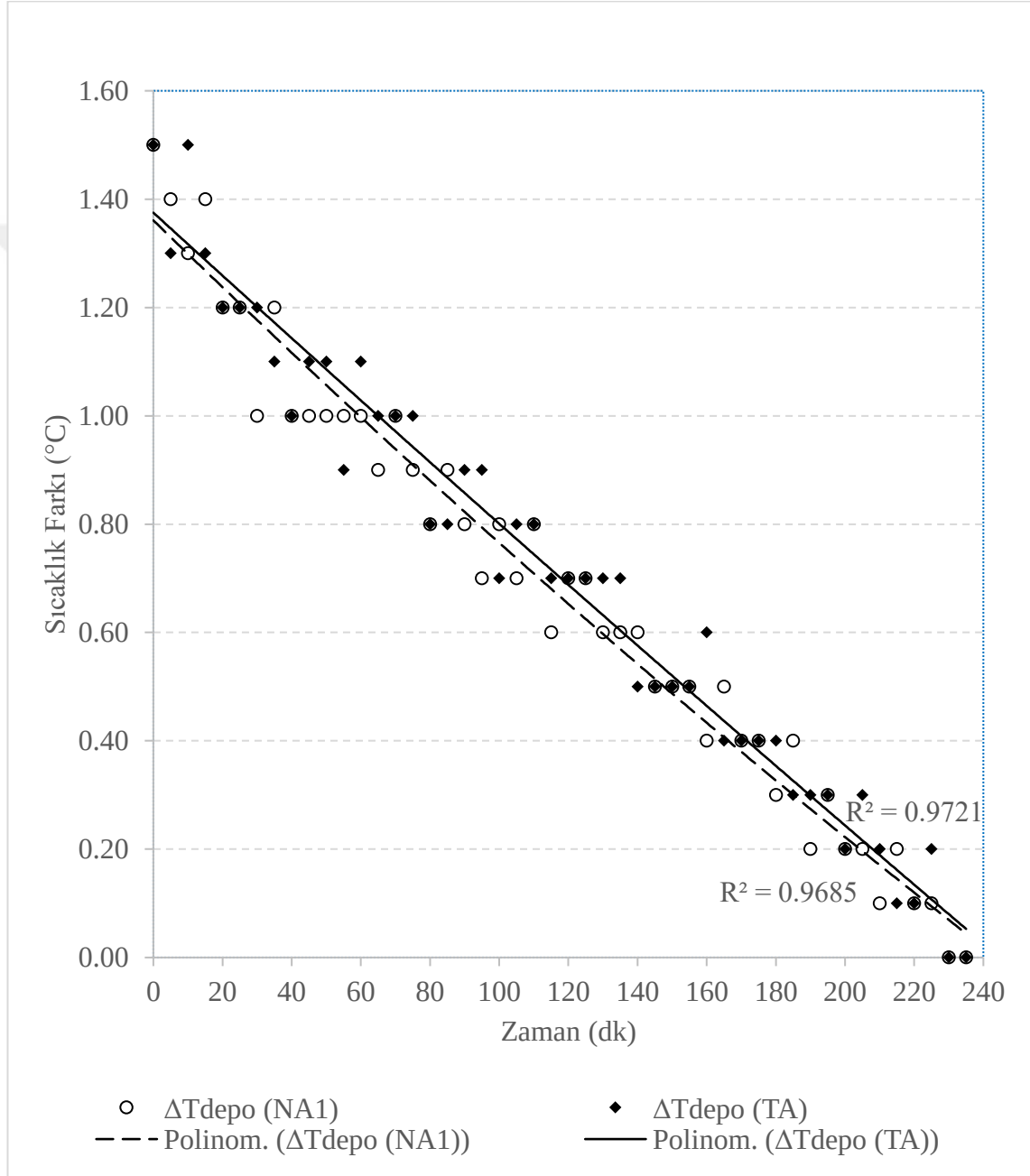
Şekil 4.6. Nanoakışkan olarak Fe₃O₄ çekirdek SiO₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör giriş (T_g) ve kolektör çıkış (T_ç) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



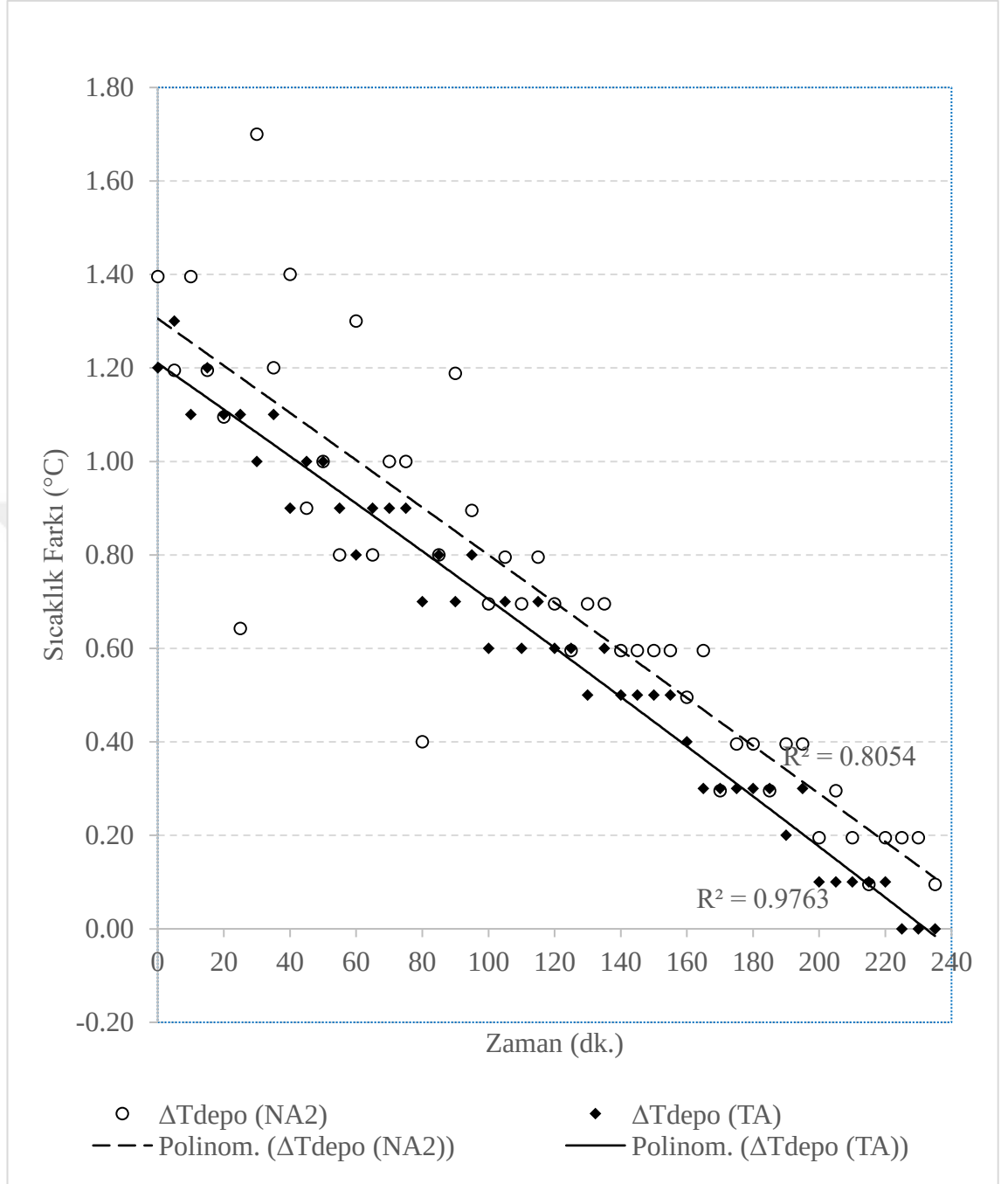
Şekil 4.7. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör giriş (T_g) ve kolektör çıkış (T_ç) sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

Güneş enerjisinden faydalanarak sıcak su hazırlamak için kullanılan bu sistemde, amaçlardan bir tanesi depo sıcaklığını mümkün olduğunca efektif bir şekilde arttırmaktır. Yapılan çalışmada, depo sıcaklığının değişimi 5 dakikada bir kayıt altında tutularak bu süre zarfındaki sıcaklık değişimi grafik haline getirilmiştir. Şekil 4.8’de TiO₂ – SiO₂ çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA1) ve saf su, Şekil 4.9’da Fe₃O₄ – SiO₂ çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA2) ve saf su, Şekil 4.10’da ZnO – SiO₂ çekirdek-kabuk

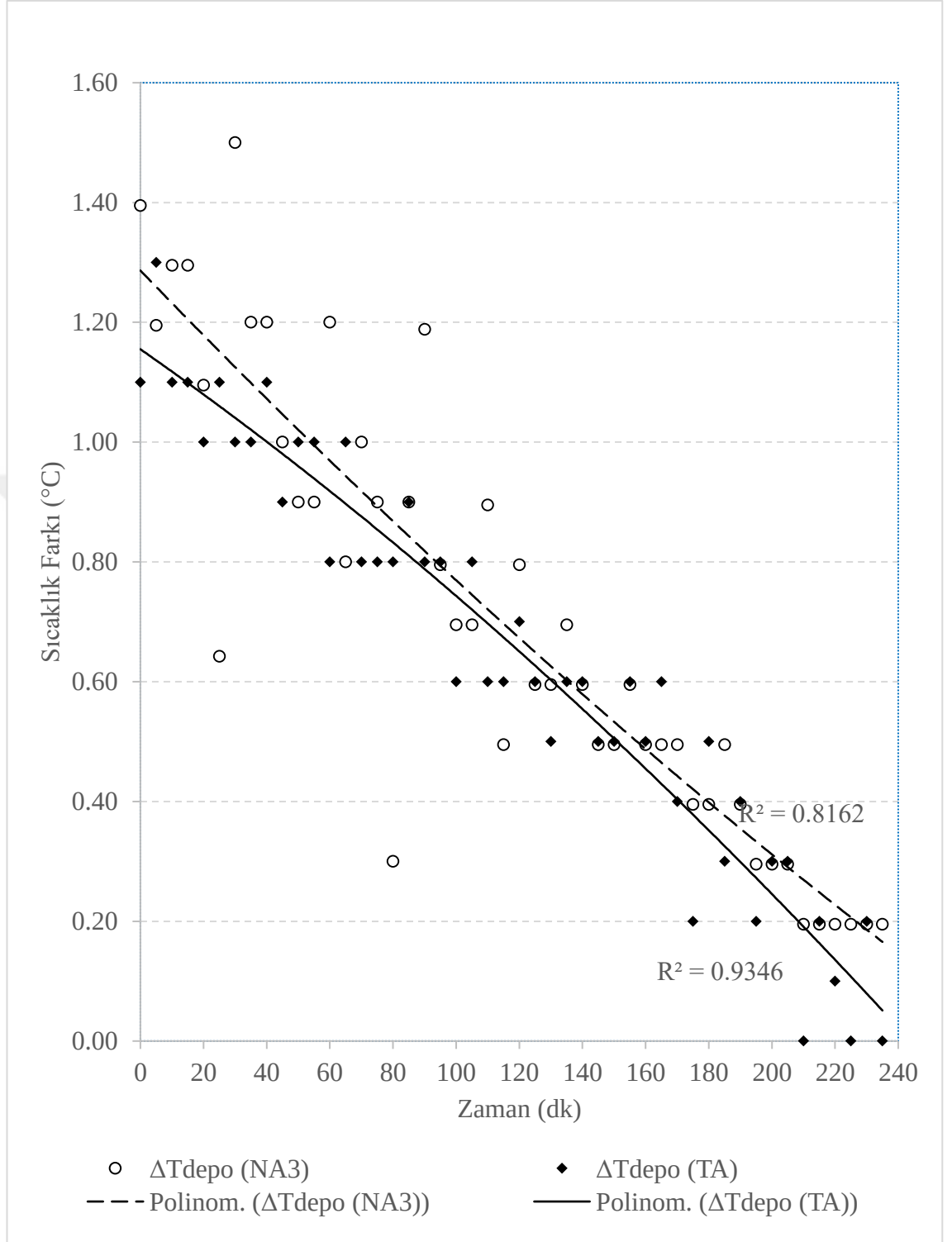
esaslı nanoakışkan (NA3) ve saf su kullanılan sistemlerde depo sıcaklığının zamana bağlı değişim grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.8’de NA1 kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistem karşılaştırıldığında saf su kullanılan sisteme ait sıcak su deposunda 5 dakikalık periyotlarda sıcaklık artışının daha çok olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da ise sırasıyla NA2 ve NA3 kullanılan sistemlere ait depo sıcaklıkları temel akışkan kullanılan sistemin depo sıcaklıkları ile karşılaştırıldığında nanoakışkan kullanılan sistemlerin depo kullanım suyu sıcaklığı değişiminin daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.8. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.9. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.10. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde depodaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi

4.3. Isıl Analizden Elde Edilen Bulgular

Isıl performansın deneysel olarak incelendiği bu çalışma kapsamında, analiz metodu başlığı altında verilen eşitliklerden faydalanarak yapılan hesaplamalardan elde edilen bulgular bu bölümde sunulmuştur.

4.3.1. Kollektör yutma geçirme çarpımı

Kollektörün yutma geçirme çarpımı, daha önce de anıldığı gibi kollektöre gelen ışıının tekrarlayan yansıtılma ve yutulma oranına bağlı olarak elde edilen bir çarpımdır. Bu özellik saydam yüzeyin fiziksel özelliklerine, coğrafi konuma, ışıının şiddetine, güneş açılarına ve deneyin yapıldığı tarihe göre değişkenlik gösterir. Tek tabakalı pencere camı kullanılan kollektörlerde, deneyin yapıldığı tarihe ait veriler kayıt altında tutularak sistemlere ait yutma geçirme çarpımları hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu bulunan yutma geçirme çarpımı değerleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Bu değerlerden direkt bir sonuç çıkarılmasa da özellikle kollektör ısı kazan faktörlerinin hesabında kullanıldıklarından önemlidir.

Çizelge 4.2. Yapılan deneylere ait kollektör yutma geçirme çarpımları

<i>Deney numarası</i>	<i>Akışkan</i>	<i>(τ_a)</i>
Deney 1	TA	0.787
	NA1	
Deney 2	TA	0.786
	NA2	
Deney 3	TA	0.784
	NA3	

4.3.2. Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı

Kollektörün toplam ısı kayıp katsayısını hesaplamak için Eşitlik 3.4 yardımıyla U_{alt} ve Eşitlik 3.8 ile $U_{üst}$ hesaplanmıştır. U_{alt} ve $U_{üst}$ katsayıları toplanarak U_L katsayısı elde edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan diğer veriler ve sonucunda ulaşılan U_L değeri her bir akışkan için Çizelge 4.3’te verilmiştir. Her deney kendi içinde değerlendirildiğinde Çizelge 4.3’te de görüleceği üzere U_L değerindeki farka neden olan tek parametrenin yutucu yüzey sıcaklığı (T_p) olduğu görülmüştür.

Her bir deneyde çevre sıcaklığı sabit olduğundan, yutucu yüzey sıcaklığı daha yüksek olan sistemin ısı kayıp katsayısı daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Yutucu yüzeyden boru içindeki akışkana ısı transferinin daha az olduğu sistemde yüzey sıcaklığının diğer sisteme göre daha çok arttığı, buna bağlı olarak da toplam ısı kayıp katsayısı (U_L) değerinin daha yüksek olduğu yorumuna ulaşılabilir. Eğer nanoakışkan kullanımı ile yutucu yüzey sıcaklığı düşürülürse kollektör toplam ısı transfer katsayısının da düşeceği açıktır. Bu durum NA2 ve NA3 ile sağlanabilmektedir. Isı iletim katsayısının saf suya göre yüksek olduğu NA2 ve NA3 nanoakışkanlarının kullanımında kollektörde toplanan faydalı ışıının ve kollektör ısı kazanç faktörünün daha büyük olduğu Çizelge 4.4’te de açıkça görünmektedir.

Çizelge 4.3. Her bir deney için temel akışkan ve nanoakışkan kullanılan sisteme ait toplam ısı kayıp katsayıları (U_L) ve bu katsayıları hesaplamak için kullanılan veriler

<i>Değişken</i>	<i>Deney 1</i>		<i>Deney 2</i>		<i>Deney 3</i>	
	<i>TA</i>	<i>NA1</i>	<i>TA</i>	<i>NA2</i>	<i>TA</i>	<i>NA3</i>
f	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290
C	311	311	311	311	311	311
N	1	1	1	1	1	1
T_p	330.55 K	331.40 K	334.01 K	332.92 K	334.71 K	333.24 K
T_a	300.75 K	300.75 K	302.19 K	302.19 K	303.03 K	303.03 K
$\dot{m}$	$6.55 \cdot 10^{-3}$ kg/s	$7.69 \cdot 10^{-3}$ kg/s	$6.30 \cdot 10^{-3}$ kg/s	$6.35 \cdot 10^{-3}$ kg/s	$6.58 \cdot 10^{-3}$ kg/s	$6.40 \cdot 10^{-3}$ kg/s
ε_p	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
ε_g	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
β	35°	35°	35°	35°	35°	35°
σ	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴	$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴
h_w	29.26 W/m ² K	29.26 W/m ² K	28.5 W/m ² K	28.5 W/m ² K	32.3 W/m ² K	32.3 W/m ² K
U_L	7.532 W/m ² K	7.567 W/m ² K	7.651 W/m ² K	7.606 W/m ² K	7.864 W/m ² K	7.824 W/m ² K

4.3.3. İdeal faydalı enerji ve ısı kazanç faktörü

Akışkanın kolektöre girdiği sıcaklık ile tüm yutucu yüzeyin aynı sıcaklıkta olması durumunda ideal faydalı enerji elde edilir. Eşitlik 3.13 yardımıyla ortalama ideal faydalı enerji bulunmuştur. Sistemde elde edilen faydalı enerjinin ideal faydalı enerjiye oranı olarak ifade edilen ısı kazanç faktörü Eşitlik 3.14 kullanılarak hesaplanmıştır.

Borulu tip güneş kolektörlerinde, borunun iki tarafında bulunan yutucu yüzeyler kanatçık görevi görür ve boruya ısı iletilmesini sağlar. Yutucu yüzey ve kolektör borusu malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanılan kolektörde, kanatçık performansının bir ölçütü olan ve her bir deney için hesaplanan kanatçık verimi (F) değerleri Eşitlik 3.15 kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir sistem için ortalama faydalı enerji, ortalama ideal faydalı enerji, ısı kazanç faktörleri ve kanatçık verimleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Yutucu yüzey malzemesinin kalınlığı, ısı iletim katsayısı ve fiziksel boyutları birbirine

eşit olduğundan kanatçık verimleri yaklaşık eşit çıkmıştır. Değerler arasında oluşan 10^{-6} mertebesindeki fark Çizelge 4.3'te de verilen ısı kayıp katsayısı (U_L) değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kanatçık verimi (F) değeri 1'e çok yakın olduğundan taşınım katsayısı hesaplanırken yutucu yüzey sıcaklığı ile boru yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak eşit ($T_b \approx T_p$) alınmıştır.

Çizelge 4.4. Üç farklı çalışma için ortalama faydalı enerjiler, ortalama ideal faydalı enerjiler, ortalama ısı kazanç faktörleri ve kanatçık verimleri

<i>Değişken</i>	<i>Deney 1</i>		<i>Deney 2</i>		<i>Deney 3</i>	
	<i>TA</i>	<i>NA1</i>	<i>TA</i>	<i>NA2</i>	<i>TA</i>	<i>NA3</i>
Q_f	378.41 W	363.90 W	325.95 W	380.23 W	326.81 W	343.65 W
Q_{fi}	477.27 W	472.40 W	430.52 W	452.76 W	442.98 W	468.63 W
F_R	0.792	0.770	0.757	0.840	0.776	0.799
F	0.9749	0.9748	0.9745	0.9745	0.9738	0.9740

Çizelge 4.3'te verilen kütleli debi değerleri ve Çizelge 4.4'te verilen faydalı enerji değerleri birlikte incelendiğinde sirkülasyon boruları içerisindeki debinin büyüklüğü faydalı enerji ile ilişkilendirilebilir. Çizelgelerde de görüldüğü gibi birinci deneyde nanoakışkan kullanılan (NA1) sistemdeki kütleli debi, saf su kullanılan sisteme göre daha yüksektir. Buna karşın NA1 kullanılan sistemde elde edilen faydalı enerji, saf su kullanılan sisteme göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde NA3 kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistem arasında da debi ve faydalı enerji arasında ters orantı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ile akışkana birim kütlede daha fazla ısı transferi olduğu yorumu yapılabilir. NA2 kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemin debi farkının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin boru içindeki akış süresince hareketlerinin tahmin edilemez oluşu sebebiyle debi ile faydalı enerji arasında doğrusal bir bağ olmadığı sonucuna varılabilir.

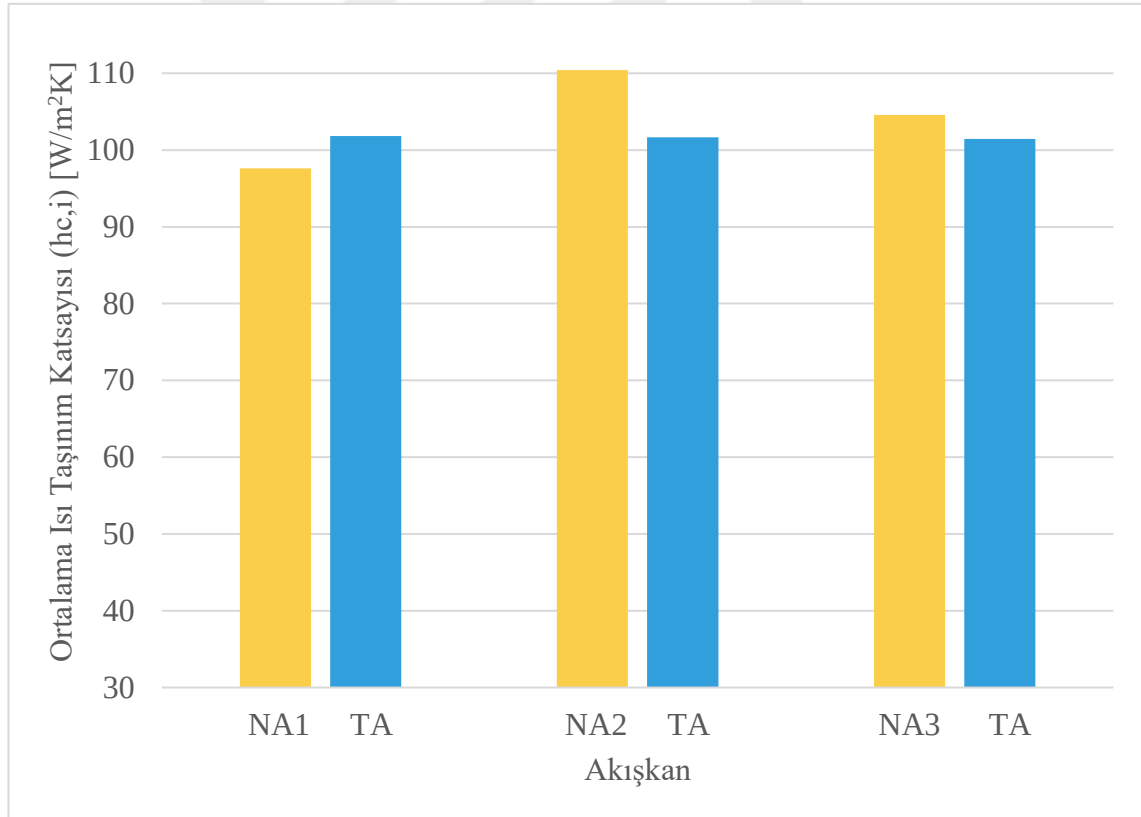
4.3.4. Kollektör boru içi taşınım katsayısı

Kollektörde yer alan akışkanın doğal sirkülasyon yaptığı boru içindeki taşınım katsayısı Eşitlik 3.17 kullanılarak hesaplanmıştır. Akışkanın dış etki altında kalmadan sıcaklık farkından doğan yoğunluk farkı ile hareket ettiği doğal taşınım altında yapılan bu çalışmada, ortalama değerler için hesaplanan taşınım katsayısı değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu değerler ile hazırlanan, çalışmada kullanılan her bir akışkan için boru içindeki ısı taşınım katsayısının ortalama değerlerini gösteren grafik Şekil 4.11'de sunulmuştur. NA1 için ısı iletim katsayısının saf suya göre %1.78 daha düşük olduğu ölçülmüştür. Hesaplanan ısı taşınım katsayısının da saf suya nazaran %4.13 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Isı iletim katsayısı saf suya göre %2.51 yüksek olan NA2'de ısı taşınım katsayısının da %8.60 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Aynı şekilde ısı iletim katsayısı saf suya göre %0.32 daha yüksek olan NA3'te de ısı taşınım katsayısının %3.07 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlarla birlikte nanopartiküllerin çökme eğiliminin, boru yüzeyine yakın kısımlarda yayılım etkisinin ve tüm akış boyunca

nanopartiküllerin sergilediği Brownian hareketinin taşınım katsayısına etki edebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.5. Saf su ve nanoakışkan kullanılan sistemlerde boru içerisindeki taşınım katsayıları

<i>Deney No</i>	<i>Akışkan</i>	<i>Isı taşınım katsayısı ($h_{c,i}$)</i>
Deney 1	TA	101.821 W/m ² K
	NA1	97.620 W/m ² K
Deney 2	TA	101.675 W/m ² K
	NA2	110.414 W/m ² K
Deney 3	TA	101.455 W/m ² K
	NA3	104.566 W/m ² K



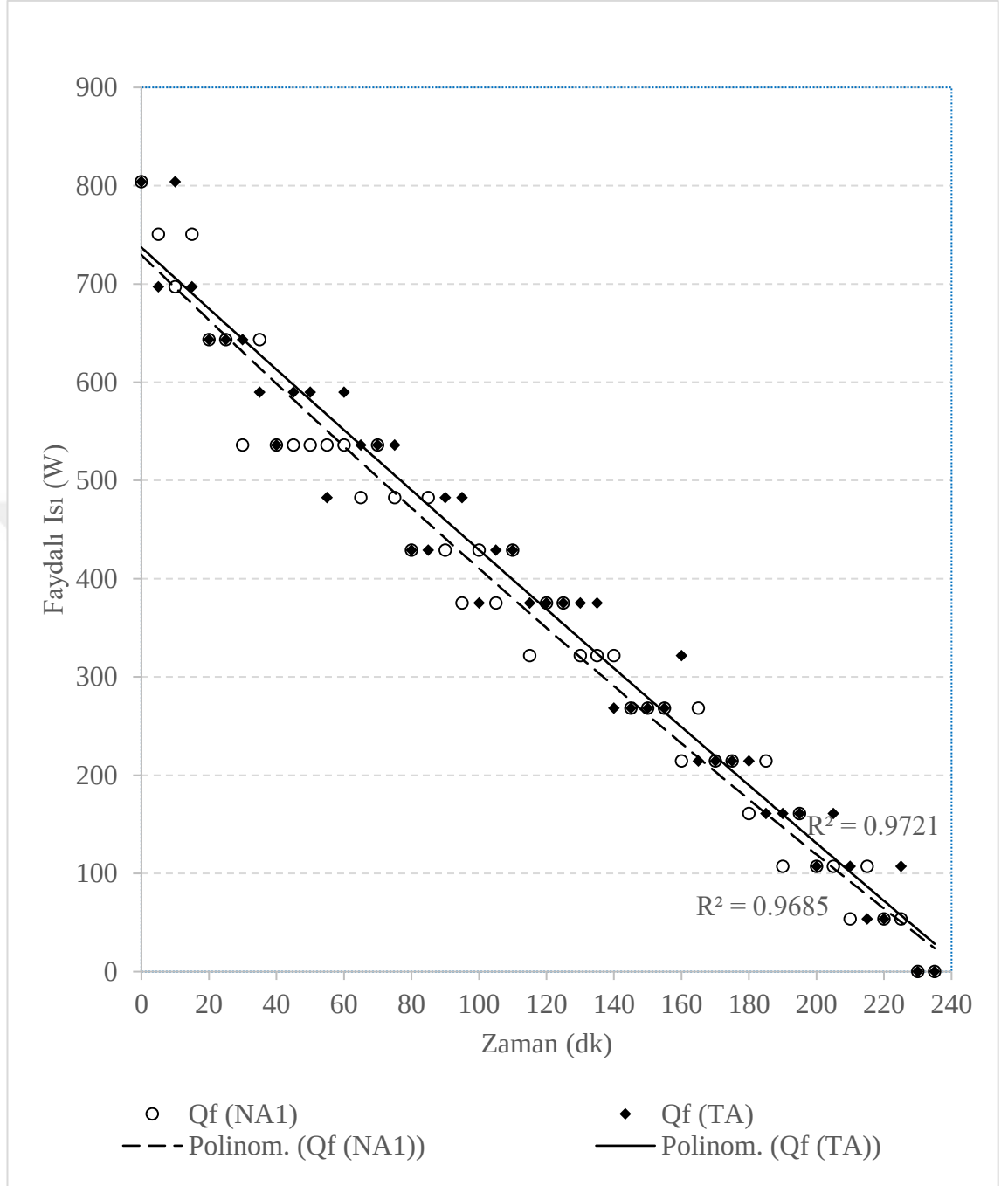
Şekil 4.11. Çalışmada kullanılan akışkanların boru içindeki ortalama ısı taşınım katsayıları

4.4. Faydalı Isı ve Verim

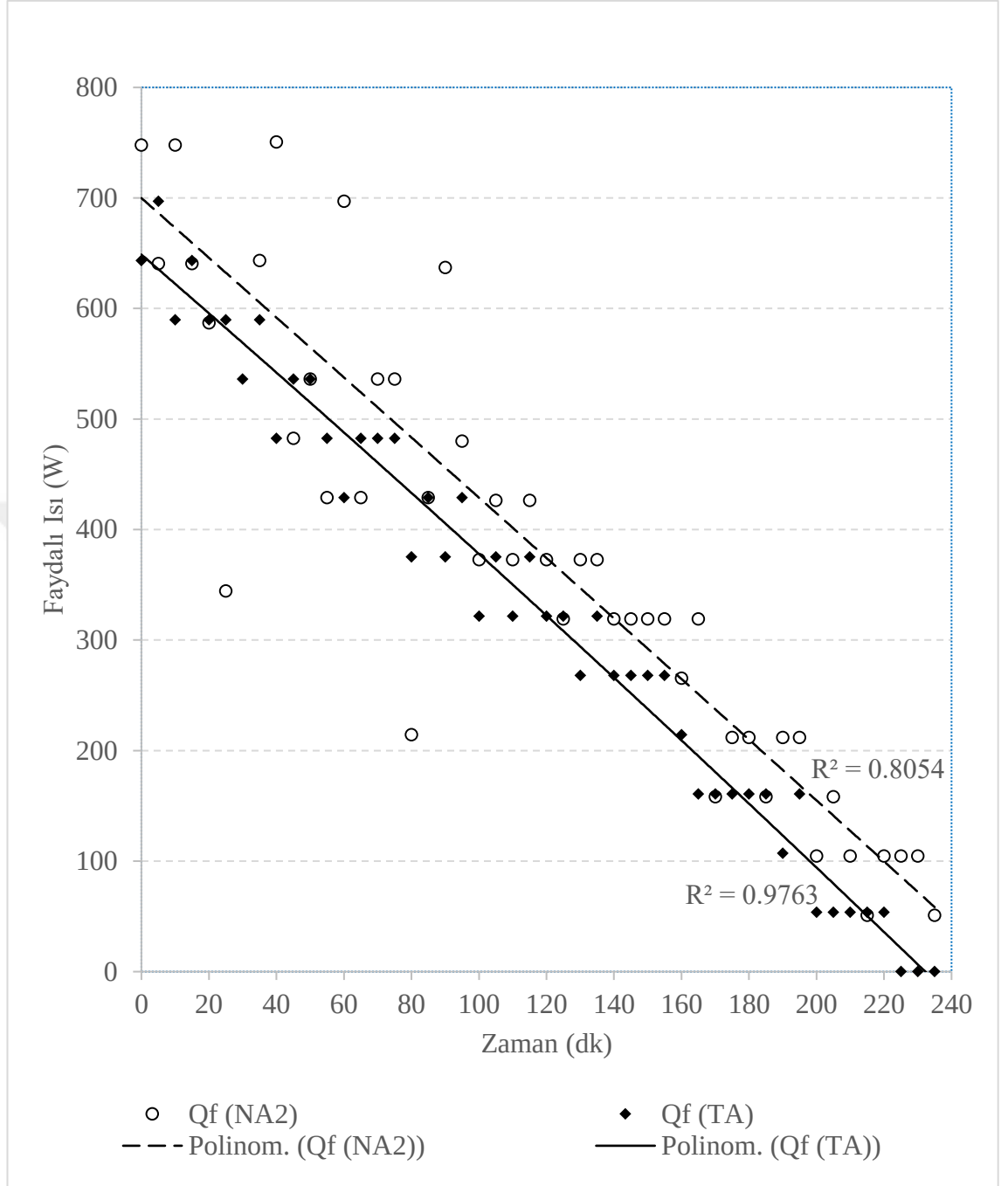
Sistem performansını gösteren başlıca parametrelerden olan verim, Eşitlik 2.1’de verildiği gibi faydalı enerjinin toplam enerjiye oranına eşittir. Başka bir deyişle bir sistemde elde edilen enerjinin, edilebilecek maksimum enerji potansiyeline oranına denir. Bu çalışmada sistem veriminin büyüklüğünden çok, nanoakışkan kullanımının verim üzerine etkisi esas alınmıştır. Anlaşılabilirliği arttırmak için deney verileri 5 dakikalık periyotlara bölünerek her periyot için birim zamandaki faydalı ısı (Q_f) ve verim (η) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen anlık faydalı ısı – zaman grafikleri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te, anlık verim grafikleri ise Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir.

Şekil 4.18’de her bir akışkan için ortalama faydalı ısı değerlerini içeren grafik, Şekil 4.19’da ise her bir akışkan için ortalama anlık verim değerlerini içeren grafik verilmiştir. NA1 kullanılan sistemde faydalı ısı (Q_f) temel akışkan kullanılan sisteme göre %1.97 oranında azalmıştır. NA2 ve NA3 kullanılan sistemlerde faydalı ısı referans sistemlere göre sırasıyla %16.65 ve %5.4 oranında artmıştır. Akışkanlara ait ısı iletim katsayıları (k) ve ortalama verimler karşılaştırıldığında ısı iletim katsayısındaki artışın verim artışına olumlu etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Çizelge 4.5’te yer aldığı gibi akışkanların durağan haldeki ısı transfer kapasitesinin bir göstergesi olan ısı iletim katsayılarının yanında ortalama verim değişimlerinin yüzdesel olarak daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuçla nanoakışkanların içerdiği partiküllerin etkisiyle ısı transfer kapasitelerinin dinamik haldeyken durağan haldeki akışkana göre artış gösterebildiği yorumu yapılabilir.

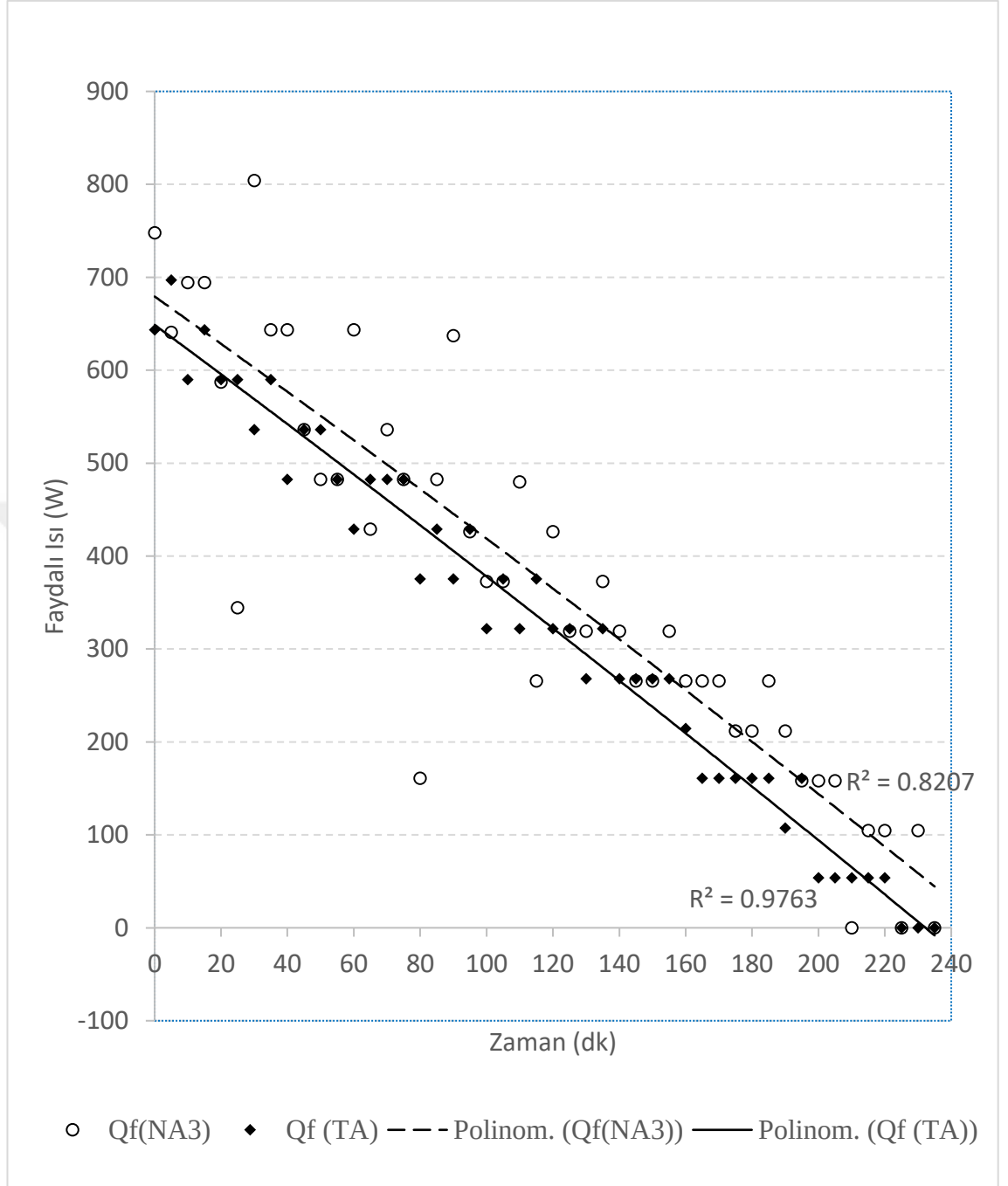
Gerek faydalı ısı gerekse anlık verim grafikleri incelendiğinde, saf suya göre ısı iletim katsayısı yüksek olan NA2 ve NA3’te hem toplam faydalı ısının hem de kollektör anlık verimlerin yükseldiği görülmüştür. Isı iletim katsayısı saf suya nazaran düşük olan NA1’de ise bu değerlerde düşüş tespit edilmiştir. Ortalama değerler baz alındığında, TiO_2 – SiO_2 çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA1) kullanılan sistemde saf su kullanılan sisteme nazaran verim %4.43 oranında azalmıştır. Fe_3O_4 – SiO_2 çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA2) kullanılan sistemde referans akışkana göre %16.25 ortalama verim artışı görülürken ZnO – SiO_2 çekirdek-kabuk esaslı nanoakışkan (NA3) kullanılan sistemde ise %7.39’luk bir ortalama verim artışı görülmüştür.



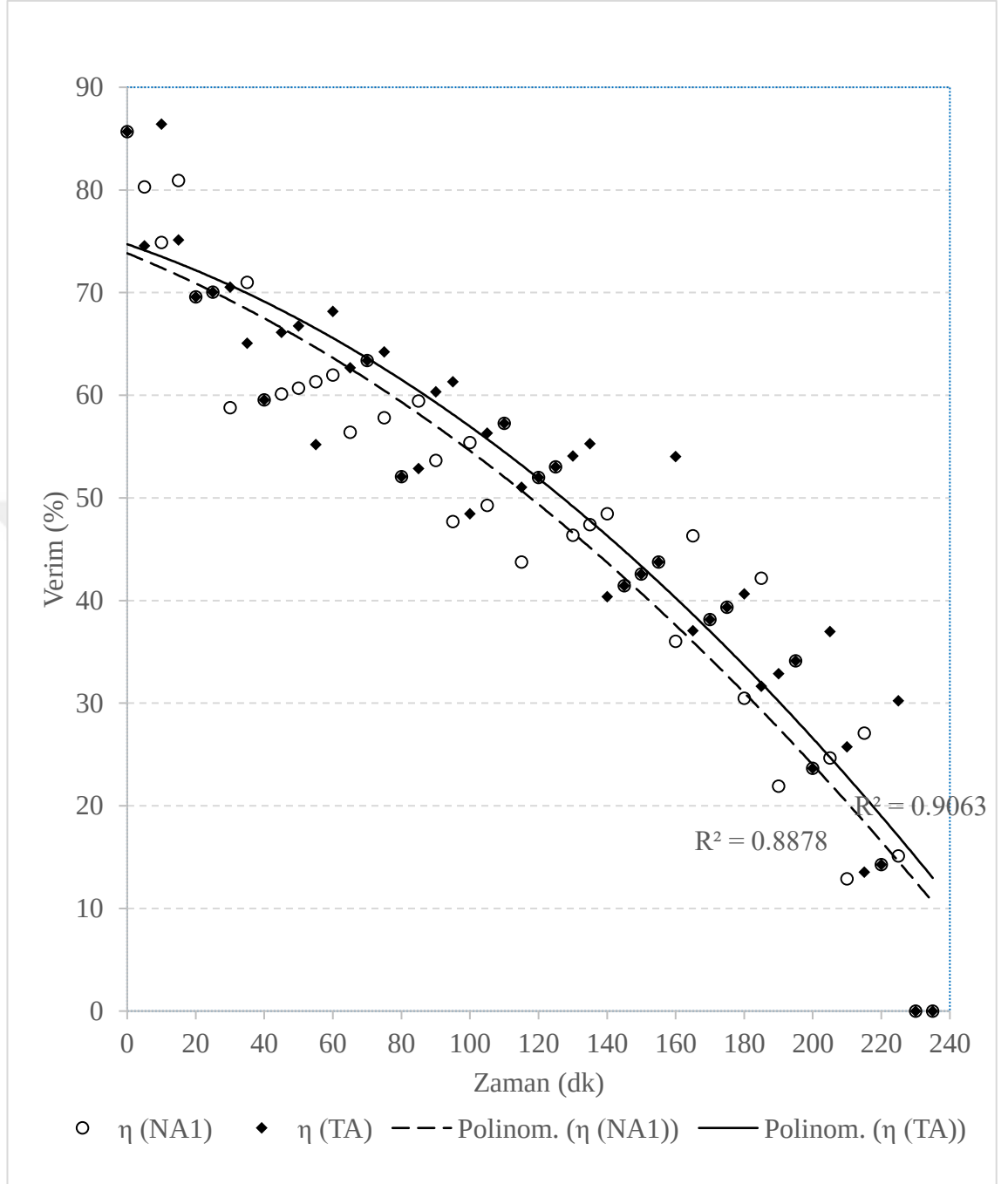
Şekil 4.12. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısıнын (Q_f) zamana bağlı değişimi



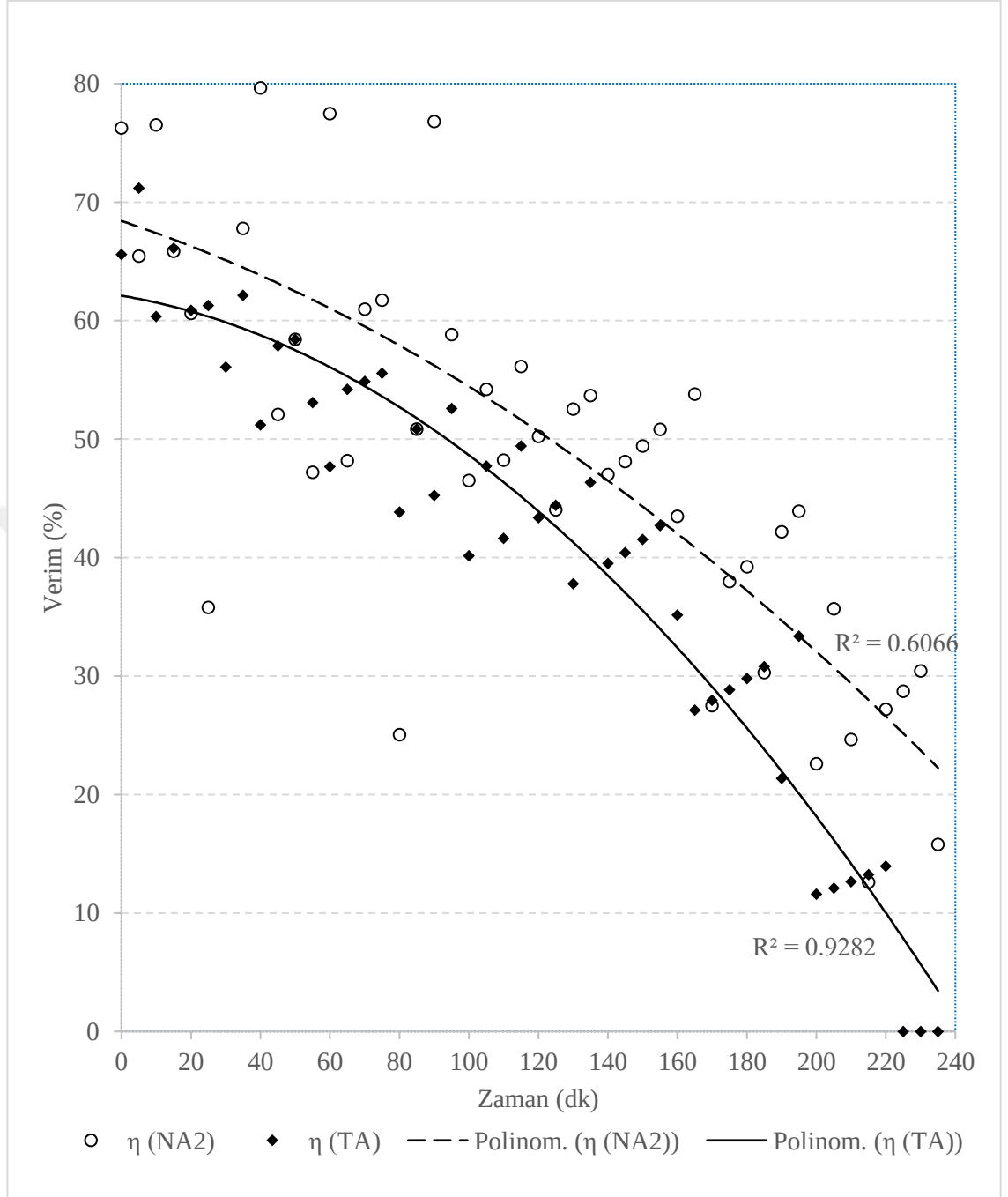
Şekil 4.13. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısıнын (Q_f) zamana bağlı değişimi



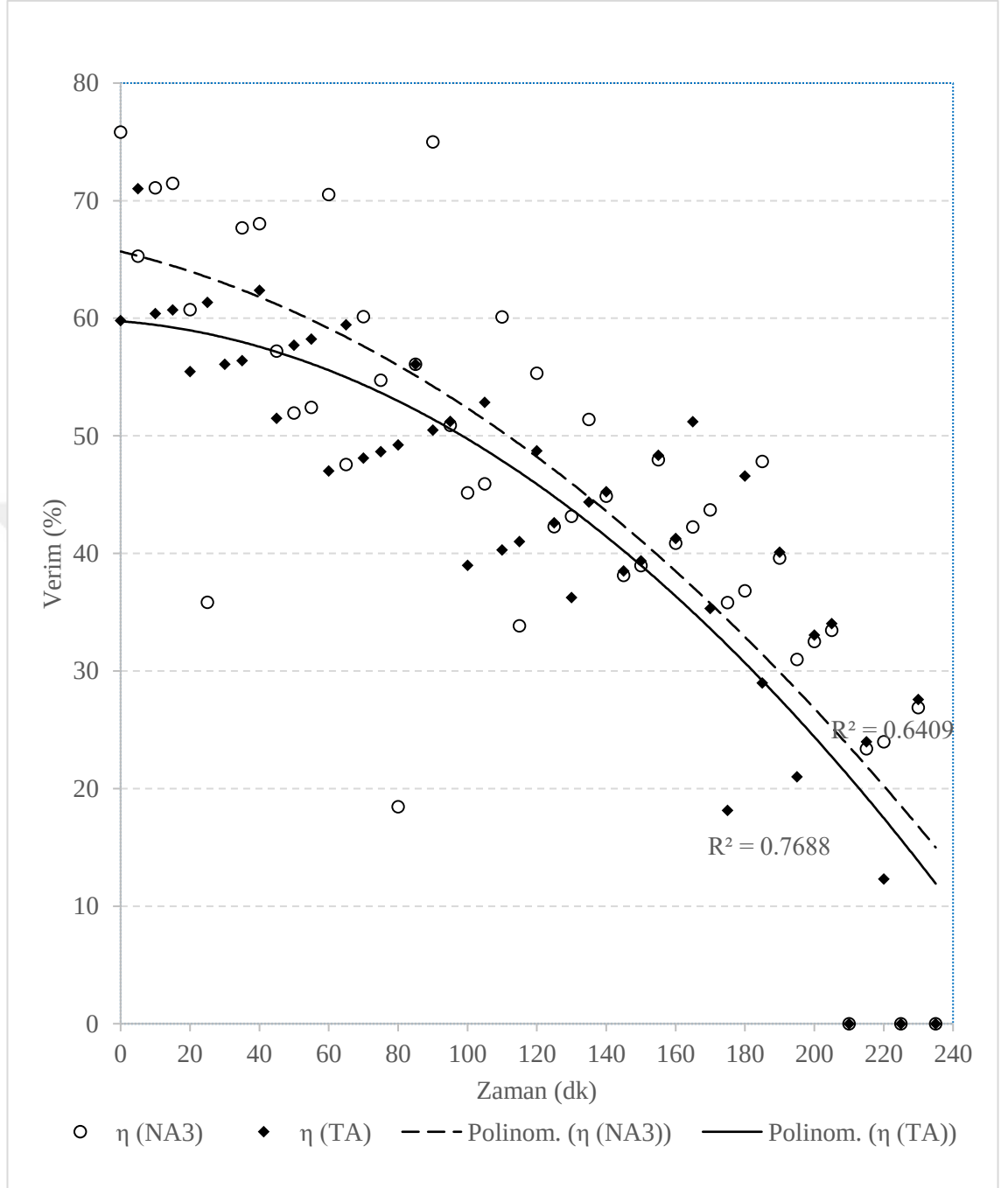
Şekil 4.14. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde elde edilen faydalı ısının (Q_f) zamana bağlı değişimi



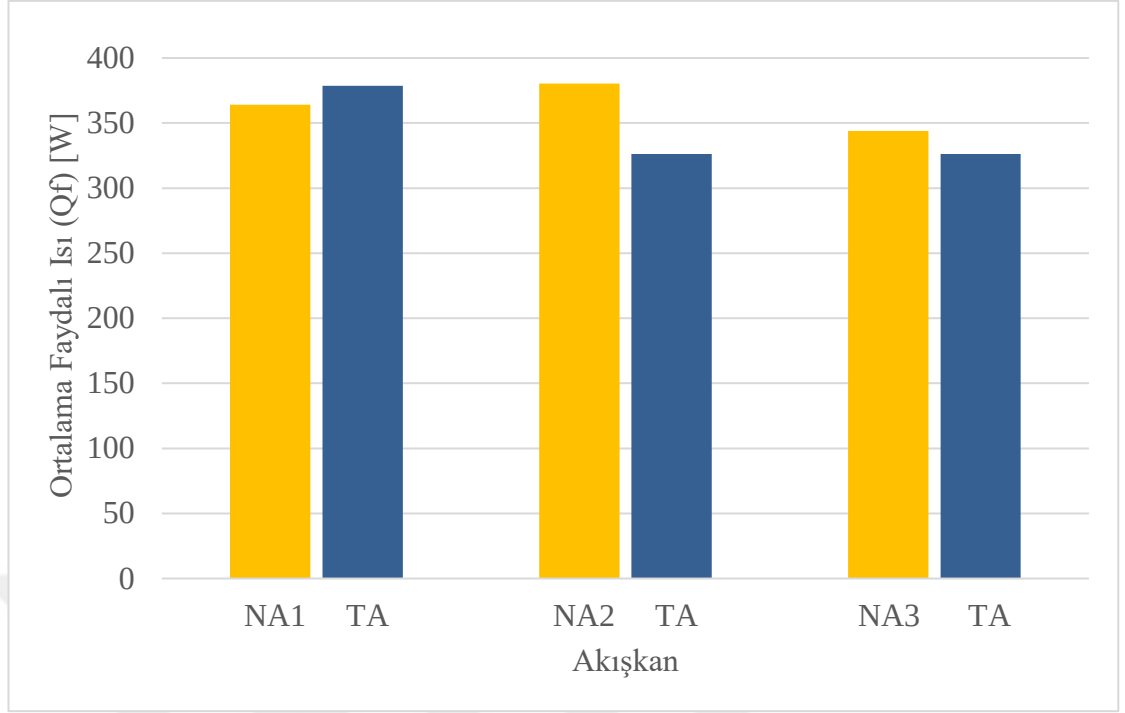
Şekil 4.15. Nanoakışkan olarak TiO_2 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör veriminin değişimi



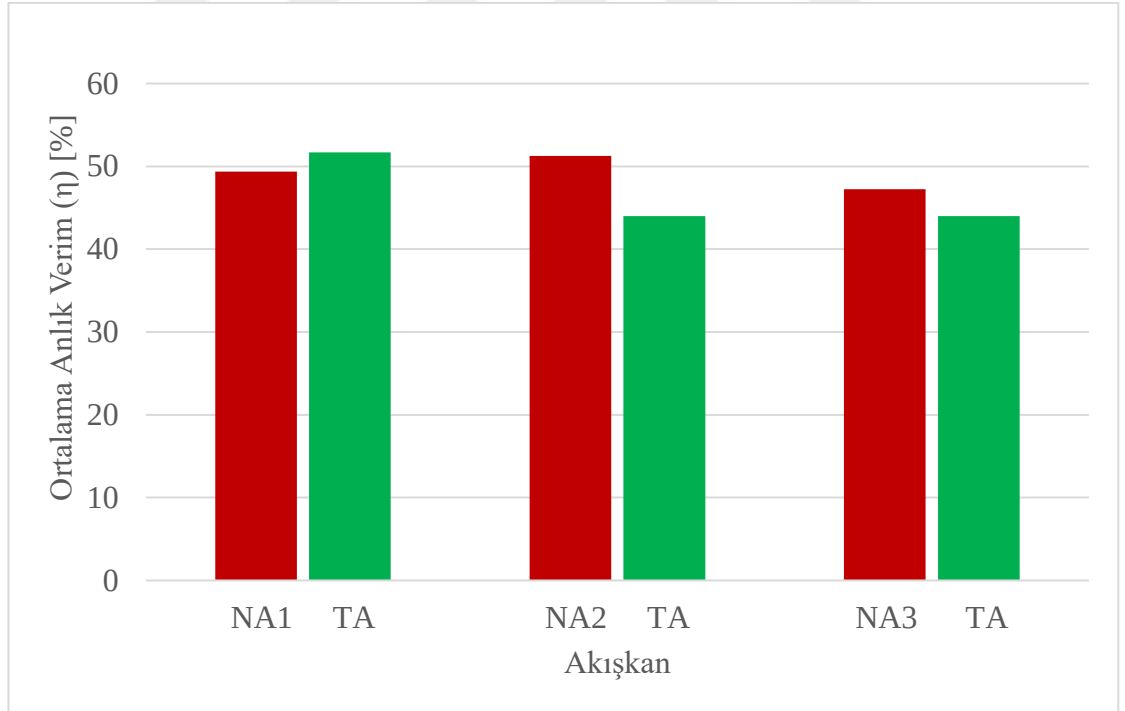
Şekil 4.16. Nanoakışkan olarak Fe_3O_4 çekirdek SiO_2 kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kollektör veriminin değişimi



Şekil 4.17. Nanoakışkan olarak ZnO çekirdek SiO₂ kabuk esaslı nanoakışkan kullanılan sistem ile saf su kullanılan sistemde kolektör veriminin değişimi



Şekil 4.18. Nanoakışkan kullanılan sistemlerle temel akışkan kullanılan sistemlerin her bir deney için ortalama faydalı ısı değerleri



Şekil 4.19. Nanoakışkan kullanılan sistemlerle temel akışkan kullanılan sistemlerin her bir deney için ortalama verim değerleri

5. SONUÇLAR

Çalışmada, kapalı devre doğal sirkülasyonlu düz plakalı kollektöre sahip güneş enerjili sıcak su sisteminde; NA1 ($\text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$), NA2 ($\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{SiO}_2$) ve NA3 ($\text{ZnO} - \text{SiO}_2$) olmak üzere 3 farklı çekirdek-kabuk yapıdaki nanoakışkanın saf suya nazaran göstereceği ısı transfer performansı deneysel olarak incelenmiştir. Her bir nanoakışkan %2 kütleli oranda hazırlanarak test edilmiştir. Deneysel verilerin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki özetlenmiştir:

- Nanoakışkanların tespit edilen termofiziksel özelliklerinden ısı iletim katsayıları incelendiğinde SiO_2 kabuk TiO_2 çekirdek yapıda bulunan nanoakışkanda saf suya göre %1.784 azalma görülürken, SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıdaki nanoakışkanda %2.514 SiO_2 kabuk ZnO çekirdek yapıdaki nanoakışkanda ise %0.324 yükselme tespit edilmiştir.
- Isı iletim katsayısının saf suya göre yükseldiği akışkanlarda kollektör yutucu yüzey sıcaklıklarının da azaldığı gözlenmiştir. Yutucu yüzey sıcaklığındaki bu düşüş bu akışkanların kullanıldığı kollektörlerde, kollektörden olan ısı kayıplarını belirlemede kullanılan toplam ısı transfer katsayısını da düşürmüştür. Toplam ısı kayıp katsayısı da diyeceğimiz bu katsayının düşmesi de kollektör verimlerini olumlu etkilemiştir.
- Bir kollektörde gerçekleşen ısı transferinin ideal şartlardaki ısı transferine oranı olarak tanımlanan kollektör ısı kazanç faktörleri incelendiğinde de saf suya nazaran yüksek ısı iletim katsayısına sahip nanoakışkanların kullanımı durumunda kollektör ısı kazanç faktörlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Şüphesiz bu da kollektör verimini olumlu etkileyecek bir diğer parametredir.
- Kollektör boruları içerisinde kapalı döngüde sirküle olan akışkanların doğal taşınım hareketindeki ısı taşınım katsayıları da tespit edilmiştir. Isı taşınım katsayısında, SiO_2 kabuk TiO_2 çekirdek yapıda bulunan nanoakışkan akışında saf su akışına göre %4.13 azalma görülürken, SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıdaki nanoakışkan akışında %8.60, SiO_2 kabuk ZnO çekirdek yapıdaki nanoakışkan akışında ise %3.07 artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda akışkanların ısı iletim katsayıları değişimi ile uyumludur.
- Kollektör tarafından yutulan faydalı enerji miktarları incelendiğinde ise SiO_2 kabuk TiO_2 çekirdek yapıda bulunan nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde toplanan faydalı enerjide saf suya göre %1.97 azalma tespit edilmiştir. Ancak gerek toplam ısı kayıp katsayılarının saf suya göre düşük gerekse kollektör ısı kazanç faktörlerinin saf suya göre yüksek olduğu, SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıdaki nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde saf suya nazaran %16.65, SiO_2 kabuk ZnO çekirdek yapıdaki nanoakışkanın kullanıldığı kollektörde ise saf suya göre %5.4 artış olduğu görülmüştür.

- Böyle bir sistemde nanoakışkan kullanımının ana hedefi sistem performansını arttırmaktır. Bu da sistemin en önemli komponenti olan kollektörün verimini arttırmak ile olacaktır. Nanoakışkan kullanımı ile kollektör verimindeki değişimler incelendiğinde, SiO_2 kabuk TiO_2 çekirdek yapıda bulunan nanoakışkanın kullanıldığı kollektör ortalama veriminde %4.43 azalma, SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıdaki nanoakışkanın kullanıldığı kollektör ortalama veriminde %16.25 artma ve son olarak da SiO_2 kabuk ZnO çekirdek yapıdaki nanoakışkanın kullanıldığı kollektör ortalama veriminde ise %7.39 artma olduğu tespit edilmiştir.
- Yine akışkan termofiziksel özelliklerinden dinamik viskozite değerleri ele alındığında nanoakışkan viskozitelerinin saf suya nazaran yaklaşık 2 kat artış gösterdiği görülmüştür. Ancak sistem kollektör ve serpantin döngüsünde akışkan hareketinin doğal taşınım ile olması nanoakışkan kullanımı için oluşan bu dezavantajı kolaylıkla göz ardı etmemizi sağlamaktadır.

Elde edilen bu sonuçlar neticesinde kapalı devre doğal sirkülasyonlu düz plakalı kollektöre sahip güneş enerjili sıcak su sistemlerinde SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek ve SiO_2 kabuk ZnO çekirdek yapıdaki nanoakışkan kullanımı durumunda ısı transferi performansında artış sağlanacağı ve bunun da sistem verimlerini olumlu yönde etkileyeceği açıktır. Çalışma yapılan akışkanlar içerisinde en yüksek ısı transfer performansı artışı gösteren SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıları nanoakışkanın diğer iki akışkana göre yüksek sıcaklıklarda daha düşük viskozite değerine sahip olması da önemli bir avantajdır. Zira özellikle bu nanoakışkan ile zorlanmış taşınımlı bir sistemde daha yüksek verim artışı sağlanabilme potansiyeli de mevcuttur. Ancak böyle bir uygulamada nanoakışkanın pompa yüklerine olabilecek etkisi de muhakkak değerlendirilmelidir. Bütün bunların yanı sıra özellikle yüksek ısı transfer performansı artışı gözlenen SiO_2 kabuk Fe_3O_4 çekirdek yapıdaki nanoakışkan olmak üzere diğer nanoakışkanlar için de farklı kütleli konsantrasyonlarda deneylerin yapılması ile en uygun konsantrasyon değerinin bulunması da ileriye dönük bir çalışma olarak önerilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abdallah, S. 2004. The Effect of Using Sun Tracking Systems on the Voltage-Current Characteristics and Power Generation of Flat Plate Photovoltaics. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.10.006>.
- Abdelrahman, M., P. Fumeaux and P. Suter. 1979. Study of Solid-Gas-Suspensions Used for Direct Absorption of Concentrated Solar Radiation. *Solar Energy* 22 (1): 45–48. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90058-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90058-6).
- Ackermann, J.A., Ong, L.E. and Lau, S.C. 1995. Conjugate Heat Transfer in Solar Collector Panels with Internal Longitudinal Corrugated Fins-Part II: Local Results. *Forschung Im Ingenieurwesen: Engineering Research*. <https://doi.org/10.1007/BF02628794>.
- Al-Homoud, M.S. 2005. Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.013>.
- Ali, F.M. and W. Mahmood Mat Yunus. 2011. Study of the Effect of Volume Fraction Concentration and Particle Materials on Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Nanofluids. *Japanese Journal of Applied Physics*. <https://doi.org/10.1143/JJAP.50.085201>.
- Anonymous 1: <https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors/> [Son erişim tarihi: 16.01.2019].
- Anonymous 2: <https://ths.rwth-aachen.de/teaching/ss19/lab-drone/> [Son erişim tarihi: 01.02.2019].
- Anonymous 3: https://www.volker-quaschning.de/fotos/psa/index_e.php [Son erişim tarihi: 16.08.2018].
- Aung, N.Z. and Songjing Li. 2013. Numerical Investigation on Effect of Riser Diameter and Inclination on System Parameters in a Two-Phase Closed Loop Thermosyphon Solar Water Heater. *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.001>.
- Bergene, T. and Løvvik, O.M.. 1995. Model Calculations on a Flat-Plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells. *Solar Energy*. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00072-Y](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00072-Y).
- Chang, H. and Shih-Chieh Lin. 2007. Fabrication Method for a TiO₂ Nanofluid with High Roundness and Superior Dispersion Properties. *Materials Transactions*. <https://doi.org/10.2320/matertrans.48.836>.
- Chiang, P.C., Dung Shing Hung, Jeng Wen Wang, Chih Sung Ho and Yeong Der Yao. 2007. Engineering Water-Dispersible FePt Nanoparticles for Biomedical Applications. *IEEE Transactions on Magnetics*. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2007.894341>.

- Choi S. U. S. and Eastman J. A. 1995. Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles.in Proceedings ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition San Francisco, CA, USA.
- Çiftçi, E., Sözen, A., Karaman E. 2016 TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik* 13 367-376.
- Dabiri, S. 2016. Introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant. *3th International Conference on Solar Energy (ICESE-2016)*, 5-6 September, University of Tehran, Tehran, Iran.
- Das, S.K., Stephen U.S. Choi and Hrishikesh E. Patel. 2006. Heat Transfer in Nanofluids - A Review. *Heat Transfer Engineering*.
<https://doi.org/10.1080/01457630600904593>.
- Dykman, L. and Nikolai Khlebtsov. 2012. Gold Nanoparticles in Biomedical Applications: Recent Advances and Perspectives. *Chemical Society Reviews*.
<https://doi.org/10.1039/c1cs15166e>.
- Francia, G. 1961. A New Collector of Solar Radiant Energy—Theory and Experimental Verification. United Nations Conference on New Sources of Energy, p. F6, May, Rome, Italy.
- Fotowat, S., Askar, S., Ismail, M. and Amir Fartaj. 2017. A Study on Corrosion Effects of a Water Based Nanofluid for Enhanced Thermal Energy Applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.001>.
- Genceli, O.F. 1998. Ölçme Tekniği: (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri). Birsen Yayınevi.
- Gupte, S.K., Suresh G. Advani and Pablo Huq. 1995. Role of Micro-Convection Due to Non-Affine Motion of Particles in a Mono-Disperse Suspension. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(95\)00060-M](https://doi.org/10.1016/0017-9310(95)00060-M).
- Hafez, A. Z., Ahmed Soliman, K. A. El-Metwally and I. M. Ismail. 2016. Solar Parabolic Dish Stirling Engine System Design, Simulation and Thermal Analysis. *Energy Conversion and Management* 126 (August): 60–75.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.067>.
- He, Y., Cong Qi, Yanwei Hu, Bin Qin, Fengchen Li and Yulong Ding. 2011. Lattice Boltzmann Simulation of Alumina-Water Nanofluid in a Square Cavity. *Nanoscale Research Letters*. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-184>.
- Ho, C. D., H. M. Yeh and R. C. Wang. 2005. Heat-Transfer Enhancement in Double-Pass Flat-Plate Solar Air Heaters with Recycle. *Energy*.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.006>.

- Huang, X. and Wen gong Zhang. 2008. Study on Successively Preparation of Nano-TiO₂ Ethanol Colloids by Pulsed Laser Ablation and Fluorescence Property. *Applied Surface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.11.027>.
- Incropera, F. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S. and DeWitt, D. P. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>.
- International Energy Agency, 2014. <https://www.iea.org/tcp/fossilfuels/> [Son erişim tarihi: 09.09.2018]
- Instruments Direct Limited, 2016. <https://www.indirect.co.uk/product-category/industry/ahlbom/almemo-sensors/input-connectors/temperature-connectors/> [Son erişim tarihi: 11.12.2018].
- Jang, S.P. and Stephen U S Choi. 2006. Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink with Nanofluids. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.02.036>.
- Jebasingh, V. K. and G. M. Joselin Herbert. 2016. A Review of Solar Parabolic Trough Collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.043>.
- Kalogirou, S. A. 2001. Use a TRNSYS for Modelling and Simulation of a Hybrid Pv-Thermal Solar System for Cyprus. *Renewable Energy*. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00176-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00176-2).
- Kalogirou, S.A. 2008. Recent Patents in Solar Energy Collectors and Applications. *Recent Patents on Engineering* 1 (1): 23–33. <https://doi.org/10.2174/187221207779814644>.
- Kao, M.J., Ho Chang, Y.Y. Wu, T.T. Tsung and H.M. Lin. 2007. Producing Aluminum-Oxide Brake Nanofluids Using Plasma Charging System. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*. http://www.cmee.ntut.edu.tw/ezfiles/0/academic/3/academic_49861_3812772_33617.pdf.
- Khoukhi, M. and Shigenao Maruyama. 2005. Theoretical Approach of a Flat Plate Solar Collector with Clear and Low-Iron Glass Covers Taking into Account the Spectral Absorption and Emission within Glass Covers Layer. *Renewable Energy* 30 (8): 1177–94. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.014>.
- Khullar, V., Himanshu Tyagi, Patrick E. Phelan, Todd P. Otanicar, Harjit Singh and Robert A. Taylor. 2012. Solar Energy Harvesting Using Nanofluids-Based Concentrating Solar Collector. In ASME 2012 Third International Conference on Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer. <https://doi.org/10.1115/MNHMT2012-75329>.
- Kılıç, F., Menlik T. and Sözen A. 2018. Effect of Titanium Dioxide/Water Nanofluid Use on Thermal Performance of the Flat Plate Solar Collector. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.002>.

- Kim, S. J., In Cheol Bang, Jacopo Buongiorno and L. W. Hu. 2007. Study of Pool Boiling and Critical Heat Flux Enhancement in Nanofluids. *Bulletin of the Polish Academy of Science*. <https://doi.org/10.1115/IMECE2007-41697>.
- Kodsan, 2019. <http://kodsan.com.tr/kbs-tek-serpantinli-boyler/> [Son erişim tarihi: 12.01.2019].
- Kontinen, P., P. D. Lund and R. J. Kilpi. 2003. Mechanically Manufactured Selective Solar Absorber Surfaces. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 79 (3): 273–83. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(02\)00411-7](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00411-7).
- Li, Y., Hua Qing Xie, Wei Yu and Jing Li. 2011. Investigation on Heat Transfer Performances of Nanofluids in Solar Collector. *Materials Science Forum*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.694.33>.
- Mahendran, M., Lee. G.C, K.V Sharma and A. Shahrani. 2011. Performance Evaluation of Evacuated Tube Solar Collector Using Water-Based Titanium Oxide (TiO₂) Nanofluid. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*.
- Malhotra, A., H. P. Garg and Usha Rani. 1980. Minimizing Convective Heat Losses in Flat Plate Solar Collectors. *Solar Energy*. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(80\)90084-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(80)90084-5).
- Martin, O L E. 1995. Pergamon 0038-092X(95)00072-O. *Solar Energy*. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00072-Y](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00072-Y).
- Martinopoulos, G., D. Missirlis, G. Tsilingiridis, K. Yakinthos and N. Kyriakis. 2010. CFD Modeling of a Polymer Solar Collector. *Renewable Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.004>.
- Martinopoulos, G., G. Tsilingiridis and N. Kyriakis. 2013. Identification of the Environmental Impact from the Use of Different Materials in Domestic Solar Hot Water Systems. *Applied Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.035>.
- Maxwell, J. C. 1881. A treatise on electricity and magnetism: Oxford Univ.
- Mondragon, R., Enrique, J., Julia, Antonio Barba and Juan Carlos Jarque. 2012. Characterization of Silica-Water Nanofluids Dispersed with an Ultrasound Probe: A Study of Their Physical Properties and Stability. *Powder Technology*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.02.043>.
- Neuberger, T., Schöpf B., Hofmann, H., Hofmann, M. and Von Rechenberg, B.. 2005. Superparamagnetic Nanoparticles for Biomedical Applications: Possibilities and Limitations of a New Drug Delivery System. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2005.01.064>.
- Nguyen, C.T., Gilles Roy, Christian Gauthier and Nicolas Galanis. 2007. Heat Transfer Enhancement Using Al₂O₃-Water Nanofluid for an Electronic Liquid Cooling

System. *Applied Thermal Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.09.028>.

Nithyadevi, N., P. Gayathri and N. Sandeep. 2017. Boundary Stratum Exploration of Unsteady 3D MHD Stagnation Point Flow of Al–Cu Water Nanofluid. *International Journal of Mechanical Sciences*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.08.003>.

Otanicar, T.P., Patrick E. Phelan, Ravi S. Prasher, Gary Rosengarten and Robert A. Taylor. 2010. Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2 (3). <https://doi.org/10.1063/1.3429737>.

Özmen, N., Erdemoglu, S., Güngördü, A., Asiltürk, M., Turhan, D.O., Akgeyik, E., Harper, S. L. and Özmen. M., 2018. Photocatalytic Degradation of Azo Dye Using Core@shell Nano-TiO₂ Particles to Reduce Toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2942-x>.

Pak, B.C., & Young and I Cho. 1998. Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage and Conversion Hydrodynamic and Heat Transfer Study Of Dispersed Fluids With Submicron Metallic Oxide Particles. *Experimental Heat Transfer*, no. January 2013: 37–41. <https://doi.org/10.1080/08916159808946559>.

Pane, M.A.S., Phak Len Eh Kan, Khairul Saleh, A. P. U. Siahaan, Eko Hariyanto, M. D. L. Siahaan, Ali Ikhwan and Auliana Nasution. 2018. Photovoltaic Design on Robotic Mobile Surveillance System in Improving Security. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9 (11): 2045–2053.

Peyghambarzadeh, S. M., S. H. Hashemabadi, S. M. Hoseini and M. Seifi Jamnani. 2011. Experimental Study of Heat Transfer Enhancement Using Water/Ethylene Glycol Based Nanofluids as a New Coolant for Car Radiators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.001>.

Routbort, J. 2009. Argonne National Lab, Michellin North America, St. Gobain Corp.

Said, Z., Sabiha, M. A., R. Saidur, A. Hepbasli, N. A. Rahim, S. Mekhilef and T. A. Ward. 2015. Performance Enhancement of a Flat Plate Solar Collector Using Titanium Dioxide Nanofluid and Polyethylene Glycol Dispersant. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.007>.

Shariah, A. M. And Löf, G.O.G. 1996. The Optimization of Tank-Volume-to-Collector-Area Ratio for a Thermosyphon Solar Water Heater. *Renewable Energy*. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00132-8](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00132-8).

Singh, D., J. Toutbort and G. Chen. 2006. Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation. Annual Report, Argonne National Laboratory 23: 405-411

- Slaman, M. and R. Griessen. 2009. Solar Collector Overheating Protection. *Solar Energy* 83 (7): 982–87. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.01.001>.
- Sopian, K., M. A. Alghoul, Ebrahim M. Alfegi, M. Y. Sulaiman and E. A. Musa. 2009. Evaluation of Thermal Efficiency of Double-Pass Solar Collector with Porous-Nonporous Media. *Renewable Energy*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.027>.
- Taylor, R.A., Todd Otanicar and Gary Rosengarten. 2012. Nanofluid-Based Optical Filter Optimization for PV/T Systems. *Light: Science and Applications* 1 (OCTOBER): 1–7. <https://doi.org/10.1038/lssa.2012.34>.
- Tavakolpour, A.R., Ali Zomorodian and Ali Akbar Golneshan. 2008. Simulation, Construction and Testing of a Two-Cylinder Solar Stirling Engine Powered by a Flat-Plate Solar Collector without Regenerator. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.004>.
- Tian, Y. and C. Y. Zhao. 2011. A Numerical Investigation of Heat Transfer in Phase Change Materials (PCMs) Embedded in Porous Metals. *Energy* 36 (9): 5539–46. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.019>.
- Tiwari, A.K., Pradyumna Ghosh and Jahar Sarkar. 2013. Solar Water Heating Using Nanofluids - a Comprehensive Overview and Environmental Impact Analysis. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering An ISO Certified Int. Journal*. www.ijetae.com.
- Tomy, A.M., Nizar Ahammed, M. S.P. Subathra and Lazarus Godson Asirvatham. 2016. Analysing the Performance of a Flat Plate Solar Collector with Silver/Water Nanofluid Using Artificial Neural Network. *Procedia Computer Science* 93 (September): 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.178>.
- Tonui, J. K. and Y. Tripanagnostopoulos. 2006. Improved PV/T Solar Collectors with Heat Extraction by Forced or Natural Air Circulation. *International Journal of Hydrogen Energy* 31 (15): 2137–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.02.009>.
- Tyagi, H., Phelan P. and Ravi Prasher. 2009. Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. *Journal of Solar Energy Engineering* 131 (4): 041004. <https://doi.org/10.1115/1.3197562>.
- Tzeng, S. C., C. W. Lin and K. D. Huang. 2005. Heat Transfer Enhancement of Nanofluids in Rotary Blade Coupling of Four-Wheel-Drive Vehicles. *Acta Mechanica* 179 (1–2): 11–23. <https://doi.org/10.1007/s00707-005-0248-9>.
- Verma, S.K., Arun Kumar Tiwari and Durg Singh Chauhan. 2017. Experimental Evaluation of Flat Plate Solar Collector Using Nanofluids. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.037>.
- Wang, R. Z. and X. Q. Zhai. 2010. Development of Solar Thermal Technologies in China. *Energy* 35 (11): 4407–16. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.005>.

- Wei, X., Zhenwu Lu, Zhifeng Wang, Weixing Yu, Hongxing Zhang and Zhihao Yao. 2010. A New Method for the Design of the Heliostat Field Layout for Solar Tower Power Plant. *Renewable Energy* 35 (9): 1970–75. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.026>.
- Xuan, Y. and Qiang Li. 2000 Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of heat and fluid flow* 21.1, 58-64. [https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(99\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(99)00067-3).
- Xuan, Y. and Roetzel, W. 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(19), 3701–3707. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00369-5](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00369-5).
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ. 2018. Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları. Dora Yayınevi, Bursa, 263 s.
- Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh E. and Sirius Zinadini. 2012. An Experimental Investigation on the Effect of Al₂O₃–H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.056>.
- Yousefi, T., Veisy, F., Shojaeizadeh E. and Sirius Zinadini. 2012. An Experimental Investigation on the Effect of MWCNT-H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors. *Experimental Thermal and Fluid Science*. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.01.025>.
- Zhang, Y., Bihong Lin and Jincan Chen. 2007. Optimum Performance Characteristics of an Irreversible Solar-Driven Brayton Heat Engine at the Maximum Overall Efficiency. *Renewable Energy* 32 (5): 856–67. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.02.008>.

ÖZGEÇMİŞ

OSMAN SAMET ÖZDEMİR

samet@samet.gen.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2016-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2010-2014	Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Zonguldak