



**EŞ MERKEZLİ İÇ İÇE BORULU VE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
GRAFEN NANO PLAKA (GNP) – CUO / SAF SU HİBRİT NANO
AKIŞKANIN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Yetkin ŞEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

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

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

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

Yetkin ŞEN

21/06/2021

EŞ MERKEZLİ İÇ İÇE BORULU VE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE GRAFEN
NANO PLAKA (GNP) – CUO / SAF SU HİBRİT NANO AKIŞKANIN
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Yetkin ŞEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Günümüzde birçok farklı uygulamada kullanılan ısı değiştiricilerdeki ısı transferi performansının iyileştirilmesi için iş akışkanı olarak nano akışkanların kullanımı tercih edilen yöntemlerden biridir. Hibrit grafen nano plaka bakır oksit (GNP-CuO) ve saf sudan oluşan hibrit nano akışkanın kullanıldığı bu çalışma eş merkezli iç içe borulu ve plakalı iki farklı ısı değiştiricide gerçekleştirilmiştir. Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyler paralel ve zıt akışta gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde hibrit nano akışkanın ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Hibrit nano akışkanın hazırlanması sırasında iki aşamalı yöntem uygulanmıştır. Hacimce %0,5 oranlarında GNP ve CuO nano partikülleri, %0,05 oranında ise yüzey aktifleştirici olarak sodyum dodesil benzen sülfonat kullanılmıştır. Yüzey aktifleştirici ile nano akışkanın kararlılığının artırılması ve nano partiküllerin çökmesinin önlenmesi amaçlanmıştır. Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricide farklı sıcak akışkan akış debilerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda toplam ısı transferi katsayısında paralel akışta ortalama %5,5, zıt akışta ortalama %13,7 artış sağlanmıştır. Plakalı ısı değiştiricide farklı soğuk akışkan çıkış sıcaklıklarında gerçekleştirilen deney sonucunda toplam ısı transfer katsayısında ortalama %16,7 artış sağlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlarla, GNP + CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkanın geleneksel çalışma akışkanlarına göre daha yüksek ısı taşınım katsayısına sahip olduğu ve ısı değiştiricilerin ısı performansının iyileştirilmesi için tercih edilebileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 92808

Anahtar Kelimeler : Hibrit nano akışkan, eş merkezli iç içe borulu ısı değiştirici, plakalı ısı değiştirici, ısı transferi iyileştirilmesi

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF GRAPHENE
NANOPLATELET (GNP) – CUO / DISTILLED WATER HYBRID NANO FLUID IN
CONCENTRIC TUBE AND PLATE HEAT EXCHANGERS

(M. Sc. Thesis)

Yetkin ŞEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

The use of nanofluids as a working fluid is one of the preferred methods to improve the performance of heat transfer in heat exchangers used in many different applications today. This study, in which a hybrid nanofluid consisting of hybrid graphene nanoplate copper oxide (GNP-CuO) and pure water was used, was carried out in concentric tube and plate heat exchangers. Experiments in the concentric tube heat exchanger were carried out in parallel and in counter flow. In these experiments, the thermal performance of the hybrid nano fluid has been experimentally investigated. During the preparation of the hybrid nanofluid, a two-stage method was applied. GNP and CuO nanoparticles were used at a rate of 0.5% by volume, and sodium dodecyl benzene sulfonate was used as a surfactant at a rate of 0.05%. It is aimed to increase the stability of the nanofluid and to prevent the precipitation of nanoparticles with surfactant. As a result of the experiments performed at different hot fluid flow rates in a concentric tube heat exchanger, an average of 5.5% increase in parallel flow and an average of 13.7% increase in counterflow was achieved for the total heat transfer coefficient. As a result of the experiment performed at different cold fluid outlet temperatures in the plate heat exchanger, an average increase of 16.7% was achieved for the total heat transfer coefficient. With these results, it was found that the hybrid nanofluid consisting of GNP + CuO / pure water has a higher heat transfer coefficient than conventional working fluids and can be preferred for improving the thermal performance of heat exchangers.

Science Code : 92808

Key Words : Hybrid nanofluid, concentric tube heat exchanger, plate heat exchanger, heat transfer enhancement

Page Number : 89

Supervisor : Assoc. Prof. Halil İbrahim VARIYENLİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yol gösteren, ilgi ve desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ olmak üzere tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma ve bu süreçte desteklerini her daim yanımda hissettiğim sevgili anneme, babama ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER.....	19
3.1. Isı Değiştiricilerde Isı Transferini Arttırma Yöntemleri.....	19
3.2. Isı Değiştirici Tipleri.....	20
3.2.1. Konstrüksiyon özelliklerine göre ısı değiştiriciler.....	21
3.2.2. Isı değişim şekline göre ısı değiştiriciler.....	29
3.2.3. Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre ısı değiştiriciler.....	31
3.2.4. Isı geçiş mekanizmasına göre ısı değiştiriciler.....	32
3.2.5. Kullanılan akışkanların akış yönüne göre ısı değiştiriciler.....	32
4. NANO AKIŞKANLAR.....	35
4.1. Nano Partikül.....	36
4.1.1. Malzeme çeşidi.....	36
4.1.2. Partikül boyutu ve şekli.....	37
4.1.3. Partikül üretim yöntemi.....	38

	Sayfa
4.2. Baz Sıvı.....	39
4.3. Nano Akışkan Hazırlama Yöntemi.....	40
4.4. Nano Akışkanların Kararlılığını Artırma Yöntemleri.....	40
4.4.1. Kimyasal yöntemler.....	41
4.4.2. Fiziksel yöntemler.....	42
4.5. Nano Akışkan Uygulamaları.....	42
4.5.1. Isı transferi performansının iyileştirilmesi.....	43
4.5.2. Enerji uygulamaları.....	45
4.5.3. Mekanik uygulamalar.....	45
4.5.4. Biyomedikal uygulamalar.....	45
5. TEORİK ANALİZ.....	47
6. MATERYAL METOD.....	51
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
7.1. Eş Merkezli İç İç Borulu Isı Değiştirici.....	57
7.1.1. Paralel akış.....	57
7.1.2. Zıt akış.....	61
7.2. Plakalı Isı Değiştirici.....	64
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çeşitli malzemelerin oda sıcaklığındaki (300K) ısı iletkenlik değeri...	3
Çizelge 3.1. Isı değıştiricilerin sınıflandırılması	20
Çizelge 4.1. Nano akışkanlarda sıkça kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları	36
Çizelge 6.2. Ultrasonik banyo cihazının özellikleri.....	51
Çizelge 6.6. Deneylerde kullanılan donanım, cihaz, ölçü ve kontrol aletlerinin teknik özellik ve kapasite değeri.....	54
Çizelge 6.8. Deneylerde kullanılan plaka ısı değıştiricinin teknik özellikleri	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2. Serpantin borulu ısı değiştirici.....	21
Şekil 3.3. Çift borulu ısı değiştirici ve iç içe borulu eş merkezli ısı değiştirici	22
Şekil 3.6. Panjur kanatlı ısı değiştiricinin yapısı.....	24
Şekil 3.10. Sabit yataklı rejeneratör ısı değiştiricilerin yapısı	26
Şekil 3.11. Döner rejeneratör ısı değiştiricilerin yapısı	27
Şekil 3.12. Döner rejeneratörde akışkanların hareketi.....	28
Şekil 3.13. Doğrudan temaslı ısı değiştirici deney seti.....	29
Şekil 3.14. Akışkan yatak tipi ısı değiştirici	30
Şekil 3.15. Kullanılan akışkanların akış yönüne göre ısı değiştiriciler.....	33
Şekil 4.2. Nano partikül üretim yöntemleri yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya....	39
Şekil 6.4. İç içe eş merkezli borulu ısı değiştirici deney düzeneği	52
Şekil 6.5. İç içe eş merkezli borulu ısı değiştirici zıt akışlı deney düzeneği	53
Şekil 6.7. Plakalı ısı değiştirici deney düzeneği	55
Şekil 7.1. Paralel yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi.....	58
Şekil 7.2. Paralel yönlü akışta sıcak akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi	59
Şekil 7.3. Paralel yönlü akışta soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi	59
Şekil 7.4. Paralel yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi.....	60
Şekil 7.5. Zıt yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi	62
Şekil 7.6. Zıt yönlü akışta sıcak akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi	62

Şekil	Sayfa
Şekil 7.7. Zıt yönlü akışta soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi sistemleri.....	63
Şekil 7.8. Zıt yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi.....	64
Şekil 7.9. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C).....	66
Şekil 7.10. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C).....	66
Şekil 7.11. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C).....	67
Şekil 7.12. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C).....	68
Şekil 7.13. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C).....	68
Şekil 7.14. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C).....	69
Şekil 7.15. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C).....	70
Şekil 7.16. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C).....	70
Şekil 7.17. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C).....	71
Şekil 7.18. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C).....	72
Şekil 7.19. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C).....	72
Şekil 7.20. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C).....	73
Şekil 7.21. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C).....	74
Şekil 7.22. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C).....	74

Şekil	Sayfa
Şekil 7.23. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C).....	75
Şekil 7.24. Plakalı ısı değiştiricide toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları	76
Şekil 7.25. Plakalı ısı değiştiricide birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları.....	77
Şekil 7.26. Plakalı ısı değiştiricide soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileşme oranları.....	77



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.4. Plakalı ısı değıştirici.....	23
Resim 3.5. Dalgalı kanatlı ısı değıştirici.....	24
Resim 3.7. Panjur kanatlı ısı değıştirici	24
Resim 3.8. Farklı ısı değıştirici konfigürasyonları.....	25
Resim 3.9. L ayaklı spiral ısı değıştiricinin yapısı ve hava ile gerçekleşen ısı transferinde hava akışı.....	25
Resim 4.1. Çeşitli partikül şekil ve geometrileri.....	37
Resim 6.1. Ultrasonik banyoda tutulan hibrit nano akışkan.....	51
Resim 6.3. Hibrit nano akışkan çözeltisi.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

φ	Nano partikül hacimce konsantrasyon fonksiyonu
ρ	Akışkan yoğunluğu (kg m^{-3})
c_p	Özgül ısı ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
k	Isıl iletkenlik katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
μ	Dinamik viskozite ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
Q	Isı (W)
h	Isı taşınım katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
A	Isı transfer yüzey alanı (m^2)
X	Ekserji (W)
U	Toplam ısı transfer katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
η	Isıl verimlilik
ID	Isıl değer (kcal m^{-3})
YM	Yakıt miktarı (m^3)

Kısaltmalar

Açıklamalar

C	Karbon
GC	Grafen sarılı karbon nano tüpler
GNP	Grafen nano plaka
MWNT	Çok duvarlı karbon nano tüp
PET	Polietilen tereftalatın

1. GİRİŞ

Teknolojinin son yıllarda çok hızlı gelişmesiyle birlikte yaşam konforumuzu arttıran akıllı sistemlere talep giderek artmaktadır. Bu talep doğrultusunda ihtiyaç duyulan enerji miktarı ve gelişen teknolojiye ek olarak sürekli artan insan nüfusu nedeniyle enerji tüketimi de gün geçtikçe artmaktadır. Her gün talepler doğrultusunda makine, elektronik eşya, ulaşım araçları ve benzeri bir sürü yeni ürün üretilmekte ve akıllı fabrikalar, evler gibi yeni teknolojiler yaygınlaşmaktadır. Özellikle endüstri 4.0 gibi yeni uygulamaların giderek yaygınlaşması zaten artmakta olan enerji ihtiyacının katlanarak artmasına yol açmaktadır. Buna karşın var olan enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük pay sahibi olan fosil kaynaklar da giderek azalmaktadır.

İleride oluşabilecek enerji ihtiyacının karşılanması için var olan sistemlerin verimliliklerinin artırılması gerekmektedir. Temel olarak ısıtma ve soğutma amaçlı endüstriyel ve bireysel uygulamalarda kullanılan ısı değiştiricilerin veriminin artırılması, artan enerji ihtiyacını karşılamak için önemli bir konudur. Bu amaçla enerji santralleri, nükleer reaktörler, petrokimya endüstrisi, soğutma, iklimlendirme, güneş enerjili su ısıtıcısı, gıda mühendisliği ve kimyasal reaktörler gibi birçok endüstriyel alanda çeşitli tipte ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Isı değiştirici, iki veya daha fazla akışkan arasında ısı enerjisinin maksimum oranda ve minimum maliyet ile efektif transferi için kullanılması amaçlanan bir cihazdır [1]. Bu bağlamda ısı akıları ve güç yüklerinin arttığı çağımızda, yenilenebilir enerji, ulaşım, medikal araçlar, ısıtma sistemleri gibi farklı uygulamalarda sistemin verimliliğinin önemli ölçüde artması için ısı transferinin artırılması gerekmektedir. Enerji verimliliğinin artırılmasıyla cihazların kullanım ömürleri uzatılabilir ve mevcut sistemlerin değiştirilmesinden kaynaklı üretim için gerekli hammadde, harcanacak enerji ve maliyet gibi birçok giderden kaçınılabilecektir.

Isıtma sistemlerinin verimliliğinin artmasıyla daha az yakıt ile istenilen ısının elde edilebilmesinin yanı sıra sıvı soğutma sistemlerinde de daha verimli olmasıyla cihazların ömrü, maliyetleri ve ısı dağılımları önemli ölçüde optimize edilebilecektir [2]. Isı transferinin artırılmasına yönelik artan ihtiyacın karşılanması için ısı değiştiricilerde geleneksel olarak kullanılan sıvıların ısı transfer verimlilikleri artırılmalıdır. Geleneksel olarak kullanılan ısı transferi sıvılarına (su, etilen glikol, yağ vb.) özel olarak üretilmiş,

boyutları 1-100 nm arasında değişen nano parçacıkların (nanotüpler, metaller, alaşımlar, kompozit malzemeler vb.) farklı hacim konsantrasyonlarında eklenmesiyle nano akışkan adı verilen içinde nano parçacıkların kararlı şekilde dağıldığı ısı transferi özellikleri yüksek sıvılar oluşturulmuştur. Son yirmi yıldır nano akışkanlar, mikron boyutundaki parçacıklar içeren sıvılara kıyasla eklendiği baz sıvıda daha iyi dağılma özelliğine sahip olduğu için en gelişmiş ısı transferi sıvıları olarak bilinmektedir. İçerdikleri parçacıkların boyutları çok küçük olduğu için kullanıldıkları ortamda birikme yapmazlar ve arttırılmış termal ve fiziksel özelliklere sahiptirler [3].

Literatürde, nano akışkanlar konusunda özellikle son yıllarda çok fazla çalışma yapılmıştır. Fakat bu çalışmalar genellikle alüminyum, titanyum gibi tek çeşit nano partikül içeren nano akışkanların kullanılmasıyla ısı transferinin iyileştirilmesine yoğunlaşmıştır. Bu tezin literatüre katkısı, paralel karşıt akışlı ısı değiştiricilerde ve eş merkezli iç içe borulu paralel ve karşıt akışlı ısı değiştiricilerde GNP – CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkan kullanılarak ısı performansının artırılmasıdır.

Bu tezin amacı eş merkezli iç içe borulu ve plaka tip ısı değiştiricilerin performansını GNP – CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkanı kullanarak ısı performansının artırılmasıdır. Tezin ilk bölümü giriş, ikinci bölümü literatür taraması, üçüncü bölümü ansiklopedik bilgi, dördüncü bölümü nano akışkanlar, beşinci bölümü teorik analiz, altıncı bölümü deneylerde kullanılan materyal ve metodoloji, yedinci bölüm bulgular ve tartışma, sekizinci sonuç ve dokuzuncu bölüm gelecekte bu konuda yapılabilecek araştırmalar ve iyileştirmeler hakkında tahmin ve görüşler sunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Isı transferiyle çalışan sistemlerde akışkanlar ısı taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Isı transferi akışkanları, taşıtlardaki ısıtma ve soğutma sistemleri, binalardaki ısıtma ve soğutma sistemleri ve petrokimya, tekstil, gıda gibi birçok farklı sektörde üretim süreçlerindeki ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bütün bu uygulamalarda kullanılan ısı transferi sistemlerinin maliyetini azaltmak, boyutlarını küçültmek ve daha az kaynak harcayarak ısı transferi sisteminden daha fazla faydalanmak için verimliliklerini artırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Verimliliği yüksek bir ısı transferi sistemi geliştirebilmek için sistemde kullanılan akışkanın ısı iletkenlik özelliğinin artırılması en önemli ihtiyaçtır.

Isı transferinde kullanılan akışkanların ısı iletkenliği arttırmak için yapılan ilk çalışmalar, su, sentetik yağ, etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi sıvıları üzerine yoğunlaşmış fakat bu sıvıların düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle yapılan çalışmalar başarıya ulaşamamıştır. Buna karşın Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi oda sıcaklığındaki metallerin geleneksel ısı transferi sıvılarına göre çok daha büyük ısı iletim katsayılarına sahip olmalarından dolayı çalışmalar metal partiküller içeren sıvılar üzerine yoğunlaşmıştır [4].

Çizelge 2.1. Çeşitli malzemelerin oda sıcaklığındaki (300K) ısı iletkenlik değerleri [4]

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)
Metalik Katılar	
Gümüş	429
Bakır	401
Alüminyum	237
Metalik Olmayan Katılar	
Silikon	148
Metalik Sıvılar	
Sodyum @ 644K	72,3
Metalik Olmayan Sıvılar	
Su	0,613
Motor yağı	0,145

Maxwell'in 140 yıl önce katı partiküller içeren akışkanlar hakkında yaptığı teorik çalışma, katı parçacıklar içeren dispersiyonların etkili termal iletkenliğine yönelik çok sayıda teorik ve deneysel çalışmaya kılavuz olmuştur. Fakat bütün bu çalışmalar milimetre ve mikrometre boyutlu parçacıklarla sınırlı kalmıştır. Maxwell'in çalışması, küre şeklinde katı parçacıklar içeren akışkanların termal iletkenliklerinin katı parçacıkların hacimsel oranıyla

doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir [5].

Choi ve Eastman (1995), nano teknolojinin de ilerlemesiyle nano boyutlarda ($<50\text{nm}$) katı partiküller üreterek bu partikülleri akışkanın ısı iletkenliğini arttırmak amacıyla kullanmıştır. Katı partikül içeren akışkanların ısı iletkenlerinin, partikülün yüzey alanının hacmine oranıyla doğru orantılı olarak arttığı da bilinmektedir. Bu doğrultuda, teorik olarak nano akışkanlar kavramının uygulanabilirliğini göstermek amacıyla yaptıkları çalışmada aynı ısı transferi sisteminde geleneksel bir sıvının ısı iletkenliğinin 3 katı ısı iletkenliğe sahip olan nano partikül bazlı bir sıvı kullanılırsa, nano partikül bazlı sıvı, sistemin gücünde bir artış olmaksızın ısı transfer hızını ikiye katlayabileceği sonucuna varılmıştır. Geniş yüzey alanına sahip nano partiküllerin, mikrometre boyutlu metalik parçacıklar içeren geleneksel ısı transfer akışkanları ile karşılaştırıldıklarında üstün ısı iletkenlik özelliği sergilemesi beklenmektedir [6].

Sadeghinezhad ve diğerleri (2015), GNP partikülleri içeren nano akışkan kullanarak ısı transferinin iyileştirilmesini deneysel ve nümerik olarak inceledikleri çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, baz sıvı olarak saf su ve nano partikül olarak 4 farklı kütleli oranda %0,025; %0,05; %0,075; %0,1 GNP kullanılarak iki aşamalı nano akışkan oluşturma yöntemi uygulanmıştır. Yüzey aktifleştirici kullanılmadan oluşturulan nano akışkanlar türbülanslı akışta deneysel ve nümerik olarak incelenmiş ve teorik sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. GNP ve saf sudan oluşan nano akışkanın %7,96 ve %25 arasında ısı performansı iyileştirdiği, katı partikül içeren nano akışkanın viskozitesinin sıcaklıkla doğrudan bağlantılı olduğu ve yüksek sıcaklıklarda düştüğü, GNP/saf sudan oluşan nano akışkanla konveksiyon ısı transferi katsayısının ve Nusselt sayısının önemli ölçüde arttığı ve GNP partikülleri kullanarak ısı transferinin iyileştirileceği sonucuna varılmıştır. GNP partiküllerinin ısı transferinin iyileştirilmesine olan etkilerini incelemek için farklı akış parametrelerinde ve farklı nano partikül konsantrasyonlardaki GNP ve saf su karışımlarının incelenmesi gerektiği belirtilmiştir [7].

Sati ve diğerleri (2018), tarafından yapılan çalışmada ZnO, CuO ve grafen sarılı karbon nano tüpler (GC) kullanılarak oluşturulan hibrit nano akışkanların (ZnO/GC, CuO/GC) termal iletkenliğin iyileştirilmesine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Partiküllerle birlikte baz sıvı olarak saf su ve etilen glikol ayrı ayrı kullanılarak kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle nano akışkanlar oluşturulmuştur. Hibrit olarak kullanılan

parçacıkların (ZnO/GC, CuO/GC) termal özelliklerinin aynı malzemelerin bireysel kullanımlarından daha iyi oldukları (ZnO, CuO) gözlemlenmiştir. Ayrıca CuO/GC den oluşan nano akışkanın ZnO/GC den oluşan nano akışkana göre termal iletkenliğinin çok daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [8].

Fard ve diğerleri (2011), eş merkezli boru ve plakalı ısı değiştiricilerde ZnO / saf sudan (hacimce %0,5 / n) oluşan nano akışkan kullanarak gerçekleşen ısı transferini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ile uyumlu olduğu belirtilen deneysel sonuçlar, plakalı ısı değiştirici için nano akışkanın ısı transfer katsayısının saf sudan %20 daha yüksek olduğu ve eş merkezli boru ısı değiştirici için ise nano akışkanın ısı transfer katsayısının baz akışkandan %14 daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışma sonucunda plakalı ısı değiştiricide hem saf su hem de nano akışkan için elde edilen ısı transfer katsayılarının çift borulu ısı değiştirici için elde edilen değerden daha yüksek olduğuna deneysel sonuçlarla ulaşılmıştır [9].

Tariq ve Sheikh (2017), yaptığı çalışmada CuO ve sudan oluşan nano akışkanın partikül hacim fraksiyonunu değiştirerek verimliliğinin ve ısı aktarım hızının üzerindeki etkilerini gözlemlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, CuO nano partikülün %0,8 olduğu hacim oranında ısı değiştiricinin verimliliği en fazla %6 oranında iyileştirilmiş ve ısı akış oranı en fazla %24 oranında arttırılmıştır. Isı değiştiricileri arasında yapılan karşılaştırma da ise serpantin borulu ısı değiştiricileri eş merkezli boru ısı değiştiricisine oranla %15 daha verimli oldukları sonucuna ulaşılmıştır [10].

Bahaya ve diğerleri (2018), GNP oluşan nano akışkanın ısı transfer performansının viskozite ile olan ilişkisini saf su ile karşılaştırarak açıklamıştır. Literatürde nano akışkanlar kullanılarak ısı transferinin arttırılmasını amaçlayan çalışmalarda ısı iletkenlik değeri tek başına dikkate alındığı için bu çalışmalarda viskozitenin de dikkate alınması gerektiği teorik olarak yapılan hesaplamalarla desteklenmiştir. Artan viskozitenin potansiyel faydasından çok termal iletkenliği azalttığı ve 0,014 partikül hacim fraksiyonunda GNP nano akışkan kullanıldığında saf suya göre 1,43 kat ısı transferi performansının iyileştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşın baz sıvıdaki GNP nano partiküllerinin hacimsel fraksiyonunun artmasıyla tüm sıcaklık değerlerinde ısı transfer performansının saf suya göre azaldığı belirtilmiştir [11].

Vallejo ve diğerleri (2019), GNP nano partikül ve temin ettikleri Havoline XLC Premixed 50/50 isimli madeni yağ ile oluşturdıkları nano akışkanı kullanarak rüzgâr tribünlerinde soğutma amacıyla kullanılan nano akışkanın ısıl performansını iyileştirmeye çalışmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, dört farklı kütleli oranda GNP içeren nano akışkan karışımı (%0,25; %0,50; %0,75; %1,0) kullanılmıştır. Sıcaklığın 293,15 K ve 323,15 K olduğu aralıkta yapılan ölçümler sonucunda kütleli oranda %1 GNP kullanıldığında en yüksek ısıl iletkenlik iyileştirmesi olan %7,3 değeri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucu lamine akışta %1 ve türbülanslı akışta %0,75 kütleli GNP oranlarının kullanılmasının ısıl performans olarak en iyi sonuçları verileceği bulunmuştur. Yaptıkları tahminde GNP nano akışkan kullanarak, zorlanmış konveksiyonla ısı transferinin gerçekleştiği rüzgâr tribünlerinde en iyi ihtimalle %45 oranında ısı transferi iyileştirilmesi yapılabileceği ve bu değerin rüzgâr tribünlerinde pompanın gücünü artırarak elde edilen %0,41 iyileştirmeye göre fazlasıyla avantajlı olduğunu ve ilerdeki deneysel çalışmaların konveksiyon ısı transferi katsayısının gözlemlenmesi üzerine yapılması gerektiği belirtilmiştir [12].

Alshikhi ve Kayfeci (2020), yaptıkları deneysel çalışmada GNP'den oluşan nano akışkan, Al_2O_3 ve GNP'den oluşan nano akışkan ve saf suyun ısı transfer performansları karşılaştırılmıştır. Tüm akışkanlar fotovoltaik güneş panelinde soğutma sıvısı olarak denenmiş ve güneş panelinin verimliliğine yaptıkları katkılarda ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda saf su, hibrit nano akışkan ve GNP'nin sırasıyla sistemin sıcaklığını 14,2°C, 14,4°C ve 14°C düşürdüğü, güneş panelinin verimliliğinin saf suya göre hibrit nano akışkan ile %5,4 ve GNP ile %7,7 arttırıldığı ölçülmüştür. Fotovoltaik panelde en yüksek elektrik enerjisi üretimi nano akışkan olarak GNP kullanıldığında elde edilmiştir. Sistemin ısı verimliliği ise hibrit nano akışkan ve GNP kullanıldığında sırasıyla %5,3 ve %7,3 olarak ölçülmüş ve nano akışkanların soğutma sıvısı olarak saf suya karşı daha efektif olduğu sonucuna varılmıştır [13].

Liu ve diğerleri (2011), yaptıkları çalışmada etilen glikol, su ve sentetik motor yağının bakır (Cu), bakır oksit (CuO) ve çok duvarlı karbon nano tüp (MWNT) kullanılarak ısıl iletkenliklerinin iyileştirilmesi, iki farklı nano akışkan hazırlama yöntemi kullanılarak araştırmıştır. Bunlar iki aşamalı yöntem ve kimyasal indirgeme yöntemidir (tek aşamalı yöntem). Oluşturulan nano akışkanların ısıl iletkenlikleri su soğutma sisteminde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, Cu, CuO veya MWNT partikülleri içeren nano akışkanların

baz sıvılara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan testlerde ısı iletkenliğinin en fazla %30 olarak MWNT - sentetik motor yağı içeriğine sahip nano akışkanla elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu karışım hacimce %2 MWNT partikülleri içermektedir. Deneyler sonucunda soğutma kapasitesinin artmasının sadece ısı iletkenlik ile ilgili olmadığı sonucuna varılmıştır. Nano akışkandaki nano partikül dağılımı gibi dinamik etkilerinde, sistem performansını artırabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca nano partikül dağılımının daha düşük akış hızı rejiminde, örneğin laminar akışta nispeten daha etkili olduğu ve daha yüksek akış hızı rejiminde dağılımın daha az etkili olduğu bulunmuştur [14].

Kumar ve diğerleri (2014), CuO / saf sudan oluşturdukları nano akışkanın ısı transferine olan etkisini incelemişlerdir. Saf su ve yüzey aktifleştirici olan sodyum dodesil sülfat karışımına iki aşamalı yöntem uygulanarak CuO / saf su nano akışkanı oluşturulmuştur. Deneyler hacimsel konsantrasyonları %0,1, %0,25, ve %0,5 olan üç farklı CuO / saf su nano akışkanlarıyla gerçekleştirilmiştir. Termal iletkenliğin, sıcaklığın artması ve nano partiküllerin nano akışkandaki konsantrasyonlarının artmasıyla iyileştirileceği sonucuna varılmıştır. Fakat viskozite ve öz kütlenin nano partikül konsantrasyonu ile arttığına dikkat çekilmiştir. Isı transferi katsayısının, akış hızı ve nano partikül konsantrasyonu ile arttığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Konsantrasyonun hacimce %0,1'den %0,5'e çıkarıldığında ısı transferi katsayısındaki iyileşmenin %14,33'ten %46,1'e çıktığı bulunmuştur. Ayrıca akış hızı 10 l/s'den 30 l/s'e çıkarıldığında sürtünme faktörünün %66,54 oranında azaldığı bulunmuştur [15].

Ramachandran ve diğerleri (2016), hibrit nano akışkanlar kullanılarak ısı değiştiricilerdeki ısı performansının artırılmasını incelemişlerdir. Örgülü fitil ısı borusunda, hacimce %0,1 orandaki Al_2O_3 / saf su ve iki farklı kombinasyonda yine hacimce %0,1 partiküller içeren hibrit nano akışkanların ısı performansının artırılmasına etkileri saf su ile karşılaştırılarak deneysel olarak incelenmiştir. Kullanılan hibrit nano akışkanlardan biri %50 Al_2O_3 - %50 CuO / saf su diğeri ise %25 Al_2O_3 - %75 CuO / saf sudan oluşmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda hibrit akışkanların, ısı borusunun ısı direncini azalttığı ve bunun sonucunda ısı borusunun ısı iletkenliğinin artırıldığı gözlemlenmiştir. Isı iletkenlik değerinin, Al_2O_3 / saf su kullanıldığında %38,84, %50 Al_2O_3 - %50 CuO / saf su kullanıldığında %41,47, %25 Al_2O_3 - %75 CuO / saf su kullanıldığında ise %79,35 arttığı bulunmuştur [16].

Martin ve diğerleri (2020), Fe - CuO / saf sudan oluşturdukları nano akışkan ile yaptıkları çalışmada hibrit bir nano akışkan kullanımının ısı borusundaki ısı performansına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Fe ve CuO nano partiküllerinin 50:50 oranda denendiği deneyde nano partiküller kütleli olarak nano akışkanda %2 oranında kullanılmıştır. Nano akışkan oluşturulurken yüzey aktifleştirici olarak Triton X-100 isimli hibrit karışım kullanılmıştır. Yapılan deneylerde hibrit nano akışkan ile ısı borusunun ısı verimliliği %72,63'e kadar artırılabilmiştir. Isı borusunun ısı direnç değerleri, saf su yerine hibrit nano sıvı kullanımı ile $0,0070 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ 'e kadar düşürülebilmüş ve bu da iyileştirme oranı olarak %16,91'e karşılık gelmiştir [17].

Kumar ve Kumar (2018), eş merkezli borulu ısı değiştiricide CuO / saf sudan oluşan nano akışkanın ısı transferine etkisini deneysel olarak incelemiştir. İki aşamalı yöntem uygulayarak hazırladıkları nano akışkan, hacimce %0,2 oranında CuO partikülleri içermektedir ve baz sıvı olarak saf suyu kullanılmıştır. Yaptıkları deney sonucunda nano akışkan kullanıldığında sadece saf su kullanıldığı duruma kıyasla ısı transferi oranında %20 iyileştirme, ısı değiştiricinin verimliliğinde ise %16 oranında iyileştirme sağlanmıştır [18].

Mare ve diğerleri (2011), iki farklı nano akışkanın ısı performanslarını karşılaştırmak için plakalı ısı değiştiricilerde deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneylerde, Al_2O_3 / saf su ve karbon nano tüpler / saf sudan oluşan iki farklı nano akışkan kullanılmıştır. Ölçümler laminar akışta gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu konvektif ısı transferi katsayısında Al_2O_3 / saf su ve karbon nano tüpler / saf su için sırasıyla %42 ve %50 iyileştirme yapılmıştır. Sırasıyla Al_2O_3 / saf su ve karbon nano tüpler / saf su için kazancın %22 ve %150'ye ulaşabileceği sonucu gözlemlenmiştir. Burada kazançtan kasıt sadece saf suyun olduğu bir akışkan kullanıldığı duruma göre ısı transferinin artırılması ve sistemdeki pompalama gücü kaybı açısından değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda nano akışkanların saf suya göre daha iyi bir ısı performans sergilediği sonucuna varılmıştır [19].

Cieslinski ve diğerleri (2016), plakalı ısı değiştiricilerde nano akışkan kullanarak ısı değiştiricinin performansını arttırmaya yönelik deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Kütleli olarak %0,1 ve %1 Al_2O_3 partikülleri içeren iki farklı Al_2O_3 / saf sudan oluşan nano akışkan testlerde denenmiştir. Nano akışkanların performansı saf su ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmayla Al_2O_3 nano

partikülleri eklendikçe ısı transfer katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır [20].

Mirzaei (2019), yaptığı çalışmada CuO / saf sudan oluşan nano akışkanın düzlemsel güneş kolektörünün ısı performansına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde kullanılan nano akışkan hacimsel olarak %0,1 oranında ve 40nm boyutunda CuO partiküllerini içermektedir. 1 l/dk 'dan 4 l/dk 'ya kadar farklı akış hızlarında nano akışkan gözlemlenmiştir. Nano akışkan kullanılarak elde edilen düzlemsel güneş kolektörüne ait enerji verimlilik değerlerinin saf su kullanıldığında elde edilen değerle karşılaştırıldığı deneyler sonucunda CuO / saf sudan oluşan nano akışkan kullanıldığında saf suya göre enerji verimliliğinin arttığı bulunmuştur. Enerji verimlilik değerindeki iyileşme 1 l/dk, 2 l/dk ve 4 l/dk olan üç farklı akış hızı için sırasıyla %15,2, %17,1 ve %55,1 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda güneş kolektörlerinde termal enerjinin etkili ve verimli şekilde kullanılması için nano akışkanların tercih edilmesi önerilmiştir [21].

Fares ve diğerleri (2020), serpantin borulu ısı değiştiricilerde grafen nano akışkan kullanarak ısı transferi performansını incelemiştir. Grafen nano akışkanların serpantin borulu ısı değiştiricilerinde konvektif ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemek için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Hammadde olarak şekerden elde ettikleri grafeni tarayıcı elektron mikroskobu, X-ışını difraktometresi, atomik kuvvet mikroskobu ve Raman spektroskopisi tekniği kullanılarak nano akışkanda kullanmak için uygun grafen partikülleri elde edilmiş ve kontrol edilmiştir. İki aşamalı yöntem kullanılarak dört farklı kütle oranında grafen / saf su nano akışkanları oluşturulmuştur. Oluşturulan nano akışkanların kütle oranları, %0,01; %0,05; %0,1 ve %0,2'dir. Serpantin borulu ısı değiştiricilerde gerçekleştirilen deneylerde ısı transferi katsayısında en yüksek %29 iyileşmeye ulaşılmıştır. Bu değer kütlece %0,2 orandaki grafen / saf sudan oluşan nano akışkanın sistemde sıcak akışkan olarak kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Borulu ısı değiştiricide sıcak ve serpantin borulu ısı değiştiricide soğuk taraflarda ısı verimliliğinde sırasıyla %24,4 ve %7,3 iyileştirme gözlemlenmiştir. Sıvı akış hızının 0,2 l/dk ve 2,16 l/dk olduğu deneylerde, ısı verimliliğinin nano akışkan kullanılarak ortalama %13,7 arttığı hesaplanmıştır [22].

Variyenli (2019), gerçekleştirdiği çalışmada uçucu kül / saf sudan oluşan nano akışkan kullanarak plakalı ısı değiştiricilerde ısı transferinin iyileştirilmesini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Oluşturulan nano akışkan, kütlece %2 oranında ve ortalama 14nm

boyutunda uçucu kül partikülleri içermektedir. Farklı akış hızları ve sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda uçucu kül / saf su nano akışkan kullanarak ısı transferi katsayısında %6-20 arasında iyileştirme olduğu bulunmuştur. Ulaşılan teorik ve deneysel sonuçlarında birbiriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir [23].

Tiwari ve diğerleri (2013), farklı nano akışkanların plakalı ısı değiştiricilerdeki ısı transferine etkilerini karşılaştırmıştır. Yaptıkları çalışmada, hacimce %0,5, %0,75, %1, %1,25, %1,5, %2 ve %3 oranlarında 30nm CeO₂, 45nm Al₂O₃, 10nm TiO₂ ve 10nm SiO₂ partiküllerinden oluşan nano akışkanları kullanılmıştır. Baz sıvı olarak saf suyun kullanıldığı nano akışkanlarda hacimce %0,01 oranında setil trimetil amonyum bromür yüzey aktifleştirici kullanılmıştır. Farklı akış hızlarıyla plakalı ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyler sonucunda TiO₂ / saf su ve CeO₂ / saf su nano akışkanların düşük hacimsel konsantrasyonlarda daha verimli olduğu, Al₂O₃ / saf su ve SiO₂ / saf su nano akışkanların ise yüksek hacimsel konsantrasyonlarda daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Dört farklı nano akışkanın içerdikleri nano partiküllerin optimal hacimsel konsantrasyon değerlerinde karşılaştırıldıklarında ise en yüksek ısı transferi katsayısı iyileştirmesinin CeO₂ / saf su nano akışkan ile elde edildiği görülmüştür. CeO₂ / saf su, Al₂O₃ / saf su, TiO₂ / saf su ve SiO₂ / saf su nano akışkanlar için ısı transferi katsayısı iyileştirme değerleri sırasıyla %35,9, %26,3, %24,1 ve %13,9 olarak bulunmuştur. En yüksek ısı verimliliğinin alındığı çalışma göz önünde bulundurulduğunda diğer nano malzemelere kıyasla daha az miktarda CeO₂ nano partiküllerine ihtiyaç duyulduğu için CeO₂ / saf su nano akışkanı kullanıldığında maliyetin daha düşük olacağı ve aynı zamanda ısı değiştiricide çökelti oluşma riskini de azaltacağı görüşünde bulunulmuştur [24].

Akıl ve diğerleri (2018), güneş panellerinde hibrit nano akışkan kullanmanın ısı performansını iyileştirilmesine etkilerini incelemiştir. Nano akışkan oluşturmak için baz sıvı olarak kütlece 60:40 oranında gliserin ve etilen glikol içeren karışım kullanılmıştır. Nano partikül olarak ise kütlece 80:20 oranında SiO₂ / CuO ve karbon (C) içeren karışım kullanılmıştır. Nano partiküllerin hacimce konsantrasyonunun %0,5 ile %2 arasında olduğu nano akışkanlar, ultrasonik banyo yöntemiyle oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonucu baz sıvıya ait termo fiziksel değerlerin, SiO₂ / CuO - C hibrit nano akışkan kullanıldığında nano partikül olarak sadece SiO₂ kullanıldığı duruma göre daha yüksek değerlerde iyileştirme sağlandığı bulunmuştur. Hibrit nano akışkan ile baz sıvının termal

iletkenliğinin %26,9'a kadar iyileştirildiği ve viskozitesinin 1,15 kat azaldığı hesaplanmıştır. Fakat özgül ısının ise %21,1 oranında azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada elde edilen daha yüksek ısı iletkenlik ve daha düşük viskozite değerlerine istinaden güneş enerjisi sistemlerinde, tek bileşenli SiO_2 nano akışkan yerine hibrit SiO_2 / CuO - C nano akışkan kullanılması önerilmiştir. Hibrit nano akışkanda gözlemlenen yüksek özgül ısı düşüşlerinin ana nedeni çalışmada kullanılan yöntemlerle açıklanamamıştır [25].

Azeez ve diğerleri (2020), yaptıkları nümerik çalışmada, Al_2O_3 / saf sudan oluşan nano akışkanın saf suya kıyasla eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricinin ısı performansına etkisini bilgisayar ortamında gerçekleştirdikleri simülasyon ile incelemişlerdir. Yapılan simülasyonlarda %1 den %4'e kadar farklı oranlarda Al_2O_3 partikül konsantrasyonları içeren nano akışkanlar kullanılmıştır. Sonuç olarak, saf suya eklenen Al_2O_3 partiküllerinin saf suyun termofiziksel özelliklerini %20 oranında artırdığı ve nano akışkanın baz sıvıya göre %23 daha yüksek konvektif ısı transfer katsayısına sahip olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca ısı transfer oranının nano akışkan kullanıldığında saf suya göre arttığı fakat sürtünme faktörünün de nano akışkan kullanılırsa az miktarda arttığı belirtilmiştir [26].

Khanlari ve diğerleri (2019), gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada plakalı ısı değiştiricilerde ısı transferini iyileştirmek için kullanılan iki farklı nano akışkanın ısı transferi performanslarını saf su ile karşılaştırmışlardır. Kütleli olarak %2 oranında nano partikül içeren TiO_2 / saf su ve kaolin / saf su nano akışkanlar, Triton X-100 isimli yüzey aktifleştirici kullanılarak hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kaolin / saf sudan oluşan nano akışkanın TiO_2 / saf sudan oluşan nano akışkana göre daha yüksek ısı performansına sahip olduğu tespit edilmiştir. TiO_2 / saf su ve kaolin / saf sudan oluşan nano akışkanlar kullanılarak en fazla sırasıyla %12 ve %18 ısı transferi iyileştirme oranları elde edilmiştir [27].

Allahyar ve diğerleri (2016), deneysel olarak hibrit ve tek malzemeden oluşan nano akışkanların spiral levhalı ısı, değiştiricilerdeki performansını incelemişlerdir. Kullanılan hibrit akışkan %97,5 oranında Al_2O_3 ve %2,5 oranında Ag nano partiküllerinden oluşmaktadır. Her iki nano akışkanın ısı performansı hacimsel olarak %0,1 ve %0,4 arasındaki konsantrasyon oranlarında incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen en yüksek ısı transferi oranı hacimce %0,4 oranda nano partikül konsantrasyonu içeren hibrit

nano akışkanda ölçülmüştür. Bu değer saf su kullanıldığında gerçekleşen ısı transferi oranından %31,51 daha fazladır. Hibrit akışkan için hesaplanan ısı transfer faktörü bütün deneylerde Al_2O_3 / saf sudan oluşan nano akışkana göre daha büyük bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda kimya ve petrol endüstrilerinde ısı değiştiricilerin ısıl performansını artırmak için hibrit nano akışkanların kullanılması önerilmektedir [28].

Hosseinian ve Isfahani (2018), karşıt akışla çalışan ısı değiştiricinin titreşim koşulları altındaki ısı transferini iyileştirme performansını incelemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda ısı transferi katsayısının akışkanın akış hızının, sıcaklığın ve titreşim genliğinin artmasıyla arttığı sonucuna varılmıştır. Isı transferinin artırılmasında en önemli faktörün akış hızı olduğu fakat akış hızının artırılmasıyla titreşimin ısı transferinin artırılmasına olan etkisinin azaldığı ve sıcaklığın artırılmasının ısı transferini arttırmak için kullanılan titreşime kayda değer bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda titreşimin ısı transferinin iyileştirilmesine olan etkisini gözlemek için kullanılan ultra sonik titreşimlerin oluşturulması için yüksek miktarlarda elektrik harcanması gerektiği ve verimlilik açısından bu yöntemin ısı transferini iyileştirmede ancak titreşim üretiminin daha az enerji tüketen bir teknolojiyle mümkün olacağı belirtilmiştir [29].

Ghashim ve Flayh (2020), ise hava kabarcıkları enjeksiyonuyla karşıt akışlı dikey helisel bobinli tüplü ısı değiştiricide ısı transferi iyileştirilmesini deneysel olarak incelemiştir. Kabarcık enjeksiyonu artan ısı üzerinde olumlu bir etkisi olsa da kabarcıkların sürtünme faktörünü arttırdığı ve sistemdeki ekserji kaybının kabarcıklar kullanıldığında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [30].

Yaşar ve diğerleri (2020), dalgalı kanatçık kullanımının ısı değiştiricilerdeki ısıl performansa etkisini incelemiştir. Düz kanatçıkların ısıl performansını referans alarak dalgalı kanatçık kullanıldığında elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu, dalgalı kanatçık kullanıldığında su ısıtıcısından yanma sonucu çıkan gazın sıcaklığında 4 K düşüş olduğu ve ortalama ısı transferi artışının 0,68 W olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca sistemdeki ortalama basınç düşüşünün düz kanatçıklara göre %70 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [31].

Junqi ve diğerkleri (2013), hepsi farklı geometride olan 16 adet dalgalı kanatçığı ısı transferi ve basınç düşmesi açısından deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları deney sonucunda kanatçık uzunluğu kısa olan dalgalı kanatlı ısı değıştircilerin ısıl hidrolik performanslarının daha iyi olduğı gözlemlenmiştir [32].

Okbaz ve diğerkleri (2017), yaptıkları çalışmada panjur kanatlı ısı değıştircilerinin ısıl performansını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Farklı açılarda denedikleri panjur kanatlı ısı değıştircilerin ısı transferi ve basın düşüş karakteristiklerini gözlemlemiştir. Yapılan deneyler ve nümerik analiz sonucunda, en yüksek ısıl performansa 20 açıdaki panjur kanatlı ısı değıştiriciyle ulaşılmıştır [33].

Ameel ve diğerkleri (2012), değışken açılardaki panjur kanatlı ısı değıştircinin ısı transferi performansını hesaplamalı akışkanlar dinamiğı hesaplamalarını kullanarak incelemişlerdir. Literatürde yer alan sabit açılı panjur kanatlarının aksine, gerçekleştirdikleri çalışmada değışken açılı panjur kanatlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada değışken açılı panjur kanatları kullanıldığında ısı transferi performansında kayda değer bir iyileşme olmadığı sonucuna ulaşmışlardır [34].

Syuhada ve diğerkleri (2020), spiral kanatlı ısı değıştirici tasarımını borulu ısı değıştircide uygulamış ve spiral geometrinin konvektif ısı transferine etkilerini incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, adımları sırasıyla 1cm, 2cm, 3cm, 5cm ve 7cm olan farklı spiral kanatlı ısı değıştirciler denenmiştir. 0,3 mm kalınlıktaki alüminyum plakalardan oluşan kanatçıklar galvaniz borudan oluşan ısı değıştiriciye eklenmiş ve akışkan olarak su kullanılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek ısı transferi katsayı değeri ve ısı transferi oranı adımı 2cm olan tasarımda gözlenmiştir. Adım ölçüsünün 3cm, 5cm ve 7cm olduğı tasarımlarda kanatçıklar arası boşluk çok olduğı için yeterli türbülans akış oluşturulamamış, adım ölçüsünün 1cm olduğı durumda ise kanatçıklar arası boşluk çok az olduğı için istenilen performans elde edilememiştir [35].

Pongsoi ve diğerkleri (2013), spiral kanatların adım değeriinin hava ile gerçekleşen ısı transferine etkisini inceledikleri deneysel çalışmayı L-ayaklı spiral ısı değıştirici ve borulu ısı değıştiriciyle gerçekleştirmişlerdir. Ortam havası ve sıcak su sırasıyla hava ile gerçekleşen ısı transferi ve borulu ısı değıştircide iş akışkanı olarak kullanılmıştır. L ayaklı spiral ısı değıştircide 0,25 mm kalınlığında kanatçıklar kullanılmıştır. Spiral

kanatların dış çapı 34,8 mm, test edilen spiral ısı değıştircilerin adım değeri ise 2,4 mm, 3,2 mm ve 4,2 mm'dir. Yapılan çalışmada hava ile gerçekleşen ısı transferinde, ısı transferi katsayısı ve Colburn faktörü spiral kanatların adım değeriinden etkilenmediğı bulunmuştur. Fakat spiral kanatların adım değeriinin ortalama ısı transferi oranı, basınç düşüş değeri ve sürtünme faktörüne etkisi olduğu ve artan Reynolds sayısıyla birlikte arttıkları gözlemlenmiştir. 6000'den düşük Reynolds sayısı olduğu durumlarda spiral kanatların adım değeriilerinin sürtünme faktörüne kayda değeri bir etkisi olmadığı, yani Reynolds sayısının 6000'den büyük olduğu durumlarda sürtünme faktörünün daha büyük spiral kanat adım değeriileriyle arttığı belirtilmiştir [36].

Borhani ve diğeri (2019), gerçekleştirdikleri çalışmada spiral kanatların, ısı değıştircide gerçekleştirilen malzeme eritme işlemine etkisini incelemiştir. Isı transferi akışkanı olarak borulu ısı değıştircide 348 K deki su kullanılarak, erime noktası 318 K ile 324 K arasında olan RT50 isimli malzemenin eritilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmada kanatçıkların geometrik tasarım parametrelerinin eritme işlemi süresine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kanat şeklinde yapılan değışiklik bütün geometrik parametre değeriilerinde önem arz etmektedir. Kanatların et kalınlık değeri sabit tutulup adım değeriinin 10 mm ile 20 mm arasında değıştiğı ölçümlerde kanat yüksekliğindeki %58 artıştan dolayı eritme süreci %35 kısaltılmıştır. Kanatların adım değeriilerinin sabit tutulup et kalınlık değeriinin 1,5mm ile 2,5mm arasında değıştiğı ölçümlerde ise kanat yüksekliğinin %28 artmasından dolayı eritme sürecinin %59 kısaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 0'dan 90'a kadar kanat açi değeri arttırıldığında eritme sürecinin %56 kısaldığı ve bu nedenle dikey bir tasarımın yatay bir tasarıma göre daha avantajlı olduğu vurgulanmıştır [37].

Ganzwind ve diğeri (2019), hesaplamalı akışkanlar dinamiğı yazılımı kullanarak döner rejeneratörlerde alüminyum yerine polietilen tereftalatın (PET) depolama malzemesi olarak kullanılmasını simule etmişlerdir. Biri alüminyum diğeri PET' den oluşan iki farklı depolama malzemesine ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda alüminyumun tüm kesiti boyunca sabit bir sıcaklık gözlemlenirken PET kullanılan model boyunca yüksek sıcaklık farkları gözlemlenmiştir. PET' in döner rejeneratörler için daha uygun bir sıcaklık profiline sahip olduğu ve alüminyum yerine depolama malzemesi olarak kullanılması önerilmiştir [38].

Kanas ve diğerkleri (2019), yüksek devirde çalışan döner rejeneratörlere hava akışının etkisini analiz etmişlerdir. Farklı hava akış hızlarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Hava akımının ısı değıştirci yüzeyi ile temas süresinin ısı geri kazanım cihazının etkinliğinde önemli etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların ilerde yapılacak optimizasyon çalışmalarında kullanılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmayla, farklı iklim koşullarında döner rejeneratörlerin performansının değerlendirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir [39].

Ramin ve diğerkleri (2019), enerji geri kazanım vantilatörlerinin deneysel ve sayısal ön araştırmalarını sunmaktadır. Isı transfer alanının hacme oranı bakımından enerji geri kazanım vantilatörleri arasında sabit yataklı rejeneratörler yüksek değere sahiptir. Buna rağmen sabit yataklı rejeneratörlerin ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılması hakkında sınırlı araştırma olmasından dolayı bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonucu ve sayısal hesaplamaların uyumlu olduğu belirtilmiştir [40].

Tekelioğlu ve diğerkleri (2004), deniz suyunun arıtılması amacıyla kullanılan doğrudan temaslı ısı değıştircinin performansını yakıt olarak hidrojen ve propan kullanıldığı iki farklı durum için incelemişlerdir. Gaz fazındaki akışkan ve deniz suyu damlacıkları arasında gerçekleşen ısı transferinde bir deniz suyu damlacığının tamamen buharlaşmasına göre iki farklı yakıtın performansı karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre yakıt olarak hidrojen kullanıldığında propana göre daha fazla su buharı üretildiği, buharlaşma süresinin kısaldığı fakat buharlaşma için gerekli hacmin arttığı görülmüştür. Artan yanma sıcaklığı ve ısı transferi katsayısının ısı değıştircinin performansını arttırdığı belirtilmiştir [41].

Kypritzis ve Karabelas (2001), deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmada doğrudan temaslı dikey kademelerden oluşan ısı değıştircinin performansını incelemişlerdir. Akışkan olarak sıcak hava ve soğuk su karşıt akışta kullanılmıştır. Dikey kademelerden oluşan doğrudan temaslı ısı değıştirci için deneysel verilerin toplanılması amacıyla bu çalışma, 70cm uzunluğundaki paslanmaz çelik yapının içindeki kademelerde sıcaklık değerklerinin ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kütle transferi olduğu sürece dik yapının içindeki hava ve su arasında ısı değışimi gerçekleştiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, ısı transferinin hava akış hızından çok fazla etkilendiğini göstermiştir. Sıvı akışkanın hızı ise sadece dikey yapının en üst kademesinde etkili olmuştur. Dikey yapının en alt

kademesinin ise havayı soğutma görevi gördüğü ve sisteme giren sıcak havayı yoğunlaştırdığı görülmüştür. En alt kademenin haricinde sistemin sıradan bir doğrudan temaslı ısı değiştirici gibi davrandığı belirtilmiştir [42].

Kamal ve diğerleri (2017), doğrudan temaslı ısı değiştirici kullanılarak yüksek sıcaklıklı petrol rafineri ürünlerinden ısı geri kazanımının teorik olarak incelemesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Petrol rafinerisi gibi endüstriyel yapılarda, yapının enerji ihtiyacını azaltmak ve bu sayede işletme verimliliğinin artırılması için ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, petrol rafinerilerinde açığa çıkan sıcak petrol akışkandan elde edilecek ısıнын geri kazanımıyla sistemin verimliliğinin artırılması istenmektedir. Teorik olarak analiz edilen doğrudan temaslı ısı değiştiricide akışkan olarak gaz yağı ve su seçilmiştir. Sıcak akışkanın giriş sıcaklığı 65 C°'den 97,5 C°'ye kadar ve kütle akış hızı 25kg/s'den 45kg/s'ye kadar toplamda dokuz farklı durum için denenmiş ve bu denemelerdeki ısı transferi parametreleri teorik olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda gaz yağının akış hızının artırılması yüzey temas alanını artırdığı, plaka sayısı, akışkanın geçtiği kanal sayısı ve basınç düşürülmesiyle doğrudan ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu nedenle gaz yağının yüksek akış hızında kullanıldığı ve daha verimli çalışan doğrudan temaslı ısı değiştirici yapılmak istendiğinde daha büyük, daha fazla ısı değiştirici plakaya sahip ve daha fazla akışkan kanalı içeren bir tasarım gerektiği belirtilmiştir. Sonuç olarak gaz yağı ve suyun akışkan olarak kullanıldığı doğrudan temaslı ısı değiştiricide en fazla 6,8282 MW ısı geri kazanımı elde edileceği, gaz yağının giriş sıcaklık değerinin 91,82 C° ve kütle akış hızının 50,11 kg/s olduğu durum için bulunmuştur [43].

Zhan ve diğerleri (2011), M-döngülü evaporatif soğutma sisteminde karşıt ve çapraz akışların performanslarını inceledikleri deneysel çalışma ile iki farklı akış tipini karşılaştırmıştır. M-döngülü evaporatif soğutma sistemlerinin geleneksel klima ünitelerine kıyasla daha az enerji tükettiği ve daha yüksek soğutma performansına sahip olduğu bulunmuştur. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda karşıt akışlı ısı değiştiricilerde çapraz akışlı ısı değiştiricilere göre soğutma kapasitesini %20 oranında arttığı ve çiy noktasını %15 ila %23 oranında yükselttiği ölçülmüştür. Artan çiy noktası daha yüksek soğutma verimliliği sağlamaktadır. Fakat enerji verimliliği açısından çapraz akışlı ısı değiştiricinin karşıt akışlı ısı değiştiriciye göre %10 daha verimli olduğu bulunmuştur. Hem karşıt akışlı hem de çapraz akışlı evaporatif soğutma sisteminin geleneksel soğutma sistemlerine

kıyasla ciddi enerji tasarrufu sağladığı ve enerji verimliliği açısından karşıt akışlı evaporatif soğutma sisteminin çapraz akışlı evaporatif soğutma sistemine göre dezavantajı olsa da fiziksel olarak daha küçük boyutlarda tasarlanarak daha yüksek soğutma verimi elde edeceği belirtilmiştir [44].

Timofeeva ve diğerleri (2009), nano partiküllerin şekillerinin bemit alümina ($\text{AlO}(\text{OH})$) nano akışkanının termo fiziksel özelliklerine olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. $\text{AlO}(\text{OH})$ nano partikülleri hacimsel olarak eşit oranda etilen glikol ve saf su ile karıştırılarak nano akışkan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar teorik modellerle analiz edilmiş ve nano akışkanlarda ısı transferinin iyileştirilmesinde nano partiküllerin toplam yüzey alanlarının önemi vurgulanmaktadır. Fakat aynı zamanda yüzey alanını artırmak için hacimsel olarak yüksek oranda nano partikül içeren nano akışkanlar kullanıldığı takdirde viskozitenin arttığı ve ısı transferi verimliliğinin düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen deneyde yüksek viskoziteye sahip $\text{AlO}(\text{OH})$ nano akışkanın sadece PH değerinde değişiklikler yaparak viskozitesi azaltılmış ve nano akışkanın termal iletkenliği etkilenmeden ısı transferi verimliliği artırılmıştır. Nano plaka, disk, silindir ve küplerden oluşan 4 farklı şekildeki nano partiküllerin ısı transferine olan etkilerini karşılaştırdıkları çalışmada en yüksek ısı transferi katsayısı iyileştirme değerini silindir şeklindeki nano partiküllerle elde etmiştir. En düşük ısı transferi katsayısı değeri ise disk ve levha şeklindeki nano partiküllerle yapılan deneylerde elde edilmiştir. Yine aynı çalışmada farklı şekillerdeki nano partiküllerin akışkandaki konsantrasyonları artırıldığında ısı transferinin de artırıldığı fakat viskozitenin de bu sırada arttığı gözlemlenmiştir. Benzer hacimsel konsantrasyon değerlerinde en yüksek viskozite artışı silindir ve levha şeklindeki nano partiküllerde, en düşük viskozite artışı ise disk şeklindeki nano partiküllerde gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda nano partiküllerin şekillerinin küresellikten uzaklaştıkça termal iletkenlik değerine olumsuz etkileri olduğu bulunmuştur [45].

Bu çalışmada ısı performansının iyileştirilmesi için GNP – CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkanla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Literatürde ısı performansının arttırılması için GNP – CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkanın kullanıldığı bir çalışma mevcut değildir. Fakat CuO ve GNP partiküllerinin farklı çalışmalarda tek başlarına nano akışkan oluşturmak için kullanıldıkları çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı kütlece %0,5 GNP ve CuO nano partiküllerinden ve saf sudan oluşan hibrit nano akışkanın eş merkezli iç içe borulu ve plakalı ısı değiştiricide ısı performansının

iyileştirilmesi için kullanılmasıdır.



3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Bu bölümde ısı değıştircilerin ısı transferini arttırmaya yönelik yöntemler ve ısı değıştirici tipleri ile ilgili bilgi verilmektedir. Bugüne kadar ısı değıştircilerde ısı transferini arttırmaya yönelik yapılan çalışmaları, deney yapılan ısı değıştiricinin tipi, nano akışkanda kullanılan nano partiküller ve kullanılan baz sıvı, nano akışkan hazırlama yöntemlerine göre ele alınan uygulanan deney sonucunu göstermekte ve nano akışkanların ısı transferinin iyileştirilmesine etkisini anlamakta daha faydalı olacağı öngörölmüştür. Bu bağlamda ilk önce ısı değıştircilerde ısı transferini artırma yöntemleri daha sonrasında ise ısı değıştirici tiplerinden bahsedilecektir. Bir sonraki bölümde ise nano akışkanlar, nano akışkanlarda kullanılan nano partiküller, baz sıvılar, nano akışkan hazırlama yöntemleri ve nano akışkanların endüstriyel uygulamalardaki yerinden bahsedilecektir.

3.1. Isı Değıştircilerde Isı Transferini Arttırma Yöntemleri

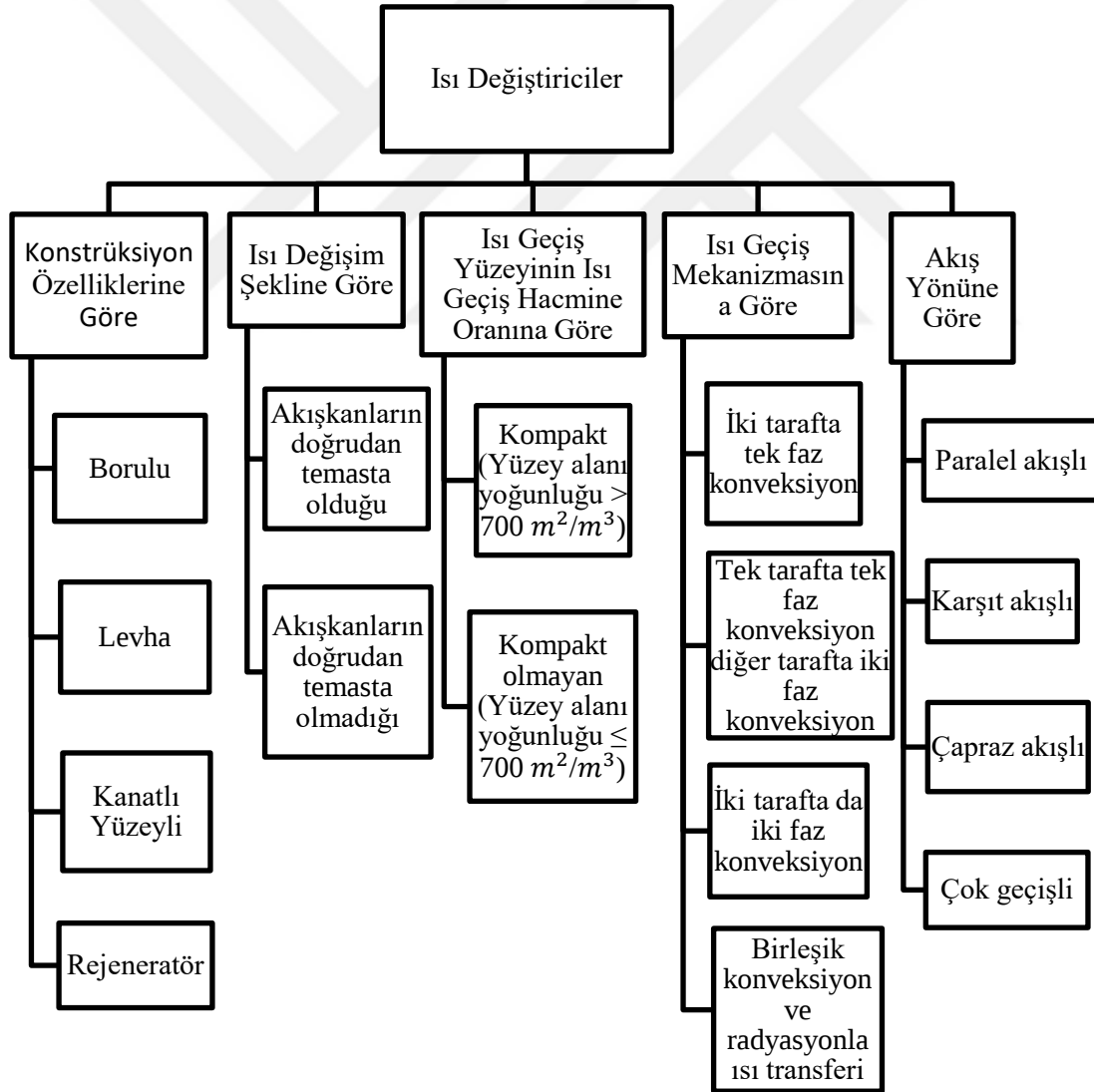
Isı değıştircilerde ısı transferini artırma yöntemleri pasif ve aktif olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif yöntemler, sistemin dışından bir etki gerektiren metotlardır. Örneğin, dışardan enjeksiyon ile bileşen eklenmesi veya sistemdeki bileşenlerin dışarı çekilmesi, sistem çalıştığı sırada dışardan uygulanan titreşimle sistemdeki nano akışkanın yüzey geriliminin değıştirilmesi gibi yöntemler aktif metotlara örnektir.

Pasif metotlar ise sistemdeki ısı transferi yüzeyinde yapılan değışikler olarak kabul edilmiştir. Pasif metotların en önemli özelliğı akışkanın aktığı yerde yüzeyle arasında oluşan laminar sınır tabakasını en aza indirmek ve bu sayede ısı transferinin artırılmasını sağlamaktır [46]. Bu tez çalışmasında ise pasif metotlara ısı transferi yüzeyinde yapılan değışikliklere ek olarak yine dışardan sisteme bir müdahale olmaksızın sistemde farklı özgül ısılara sahip nano partiküller ve baz sıvı içeren nano akışkanların kullanılması da eklenmiştir. İlk olarak ısı transferinin iyileştirilmesi için farklı ısı değıştirici tiplerinin kullanıldığı çalışmalar incelenecek sonrasında nano akışkanların ısı değıştircilerde ısı transferinin iyileştirilmesine olan etkileri incelenecektir.

3.2. Isı Değiştirici Tipleri

Isı değiştiricileri farklı sıcaklıklarda iki veya daha fazla sıvı akışı arasında ısıyı aktarmak için kullanılan cihazlardır. Güç üretimi, kimyasal işleme, elektronik soğutma, klima, ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri ve otomotiv uygulamalarında, ısı değiştiriciler yaygın olarak kullanılmaktadır [47,48]. Isı değiştiriciler birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Çizelge 3.1’de ısı değiştiriciler genel olarak konstrüksiyon, ısı değişim şekli, ısı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranı, ısı geçiş mekanizması ve kullanılan akış yönüne göre sınıflandırılmıştır.

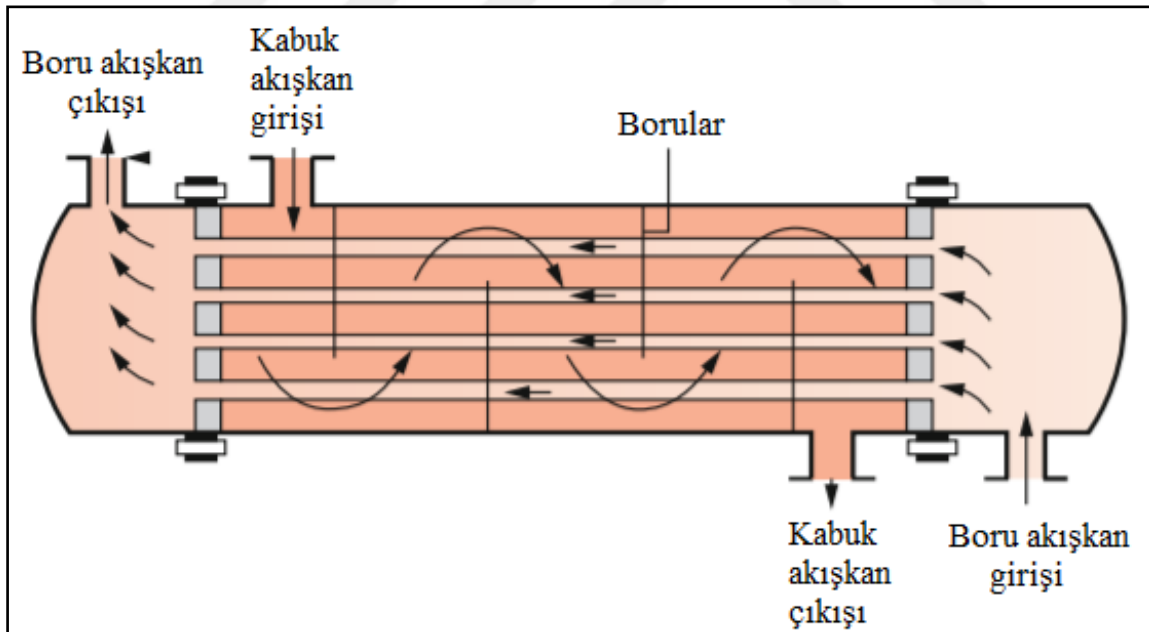
Çizelge 3.1. Isı değiştiricilerin sınıflandırılması



3.2.1. Konstrüksiyon özelliklerine göre ısı değiştiriciler

Isı değiştiriciler genel olarak konstrüksiyon özelliklerine göre borulu, plakalı, kanatlı yüzeyli ve rejeneratör olarak 4 başlıkta sınıflandırılabilir. Borulu ısı değiştiriciler yaygın olarak kullanılmakta ve farklı boyutlarda, akış tiplerinde üretilmektedir. Farklı çalışma basınçları ve sıcaklıklarında kullanılabilmektedirler. İmalat kolaylığı ve kısmen düşük maliyetleri, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmelerini sağlamaktadır. En yaygın borulu ısı değiştirici tasarımları çift borulu ısı değiştiricileri, serpantin borulu ısı değiştiricileri ve bobinli borulu ısı değiştiricileridir [49].

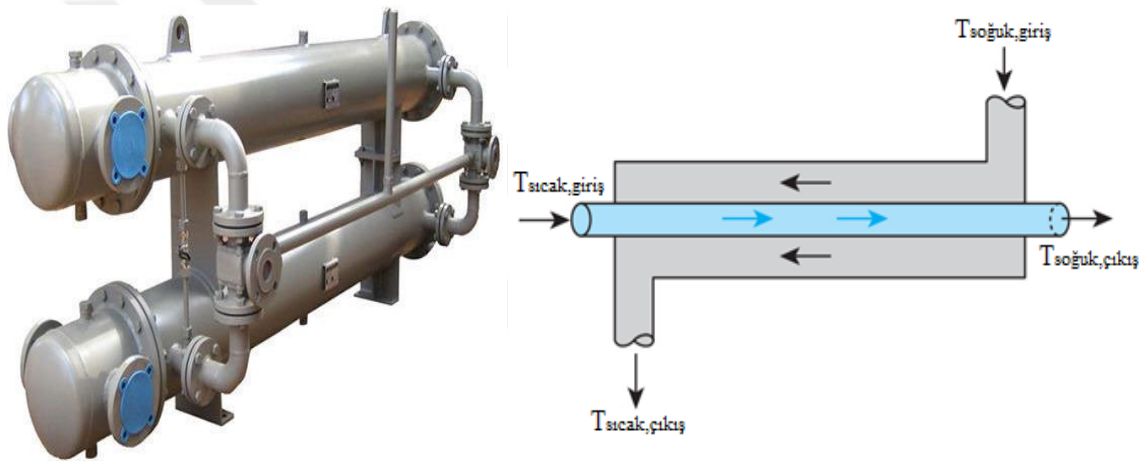
Serpantin borulu ısı değiştiriciler Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, eksenleri borununkine paralel olan silindirik bir kovan üzerine monte edilmiş yuvarlak borulardan oluşur. Bir sıvı tüplerin içinde akarken diğeri tüplerin dışında borunun içindeki sıvıyla zıt veya aynı yönde akar. Serpantin borulu ısı değiştiricilerin ana bileşenleri boru demeti, serpantin borular, ön ve arka uç başlıklarıdır [48].



Şekil 3.2. Serpantin borulu ısı değiştirici [48]

Çift borulu ısı değiştiriciler basit tasarımları ve düşük bakım maliyetleri bakımından sıkça tercih edilmektedir. Çift borulu ısı değiştiriciler iç içe konumlanmış iki borudan oluşur. İç borudaki akışkan akarken diğeri akışkan, halka boyunca iç boru etrafında akar ve akış sırasında ısı transferi gerçekleşir [50]. Çift borulu bir ısı değiştiricilerde akışkanlar,

birbirine paralel veya karşıt yönde akış oluşturacak şekilde kullanılabilir. Çift borulu ısı değiştiricilerde, akışkanların sisteme giriş sıcaklıkları, akışkanların akış hızları, akışkanların özellikleri, akışkanların bileşimi gibi koşullar değiştikçe aktarılan ısı miktarı da değişir. Çift borulu ısı değiştiricilerde, iç borudan akan sıcak akışkan ısısını dış boruda akan soğuk akışkana aktarır. Sistem, akışkanların akış hızı veya akışkanların sisteme giriş sıcaklıkları gibi koşullar değişene kadar kararlı durumdadır. Koşullardaki bu değişiklikler, yeni bir sabit duruma ulaşılan kadar sıcaklık dağılımının zamanla değişmesine neden olur. Yeni sabit durum, sıcak ve soğuk akışkanların sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları kararlı hale geldiğinde gözlemlenecektir [51]. Çift borulu ısı değiştirici ve çalışma prensibi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Çift borulu ısı değiştirici ve iç içe borulu eş merkezli ısı değiştirici [52]

Plakalı ısı değiştiriciler, kompakt yapıları sayesinde pazar payı açısından serpantin borulu ısı değiştiricilerin ardından ikinci sırada yer almaktadır. Plakalı ısı değiştiricilerin en yaygın tasarımı, iki flanş arasında sıkıştırılmış bir dizi oluklu metal plakalardan oluşur. Plakalı ısı değiştiricilerin yapısı Resim 3.4'te gösterilmektedir.

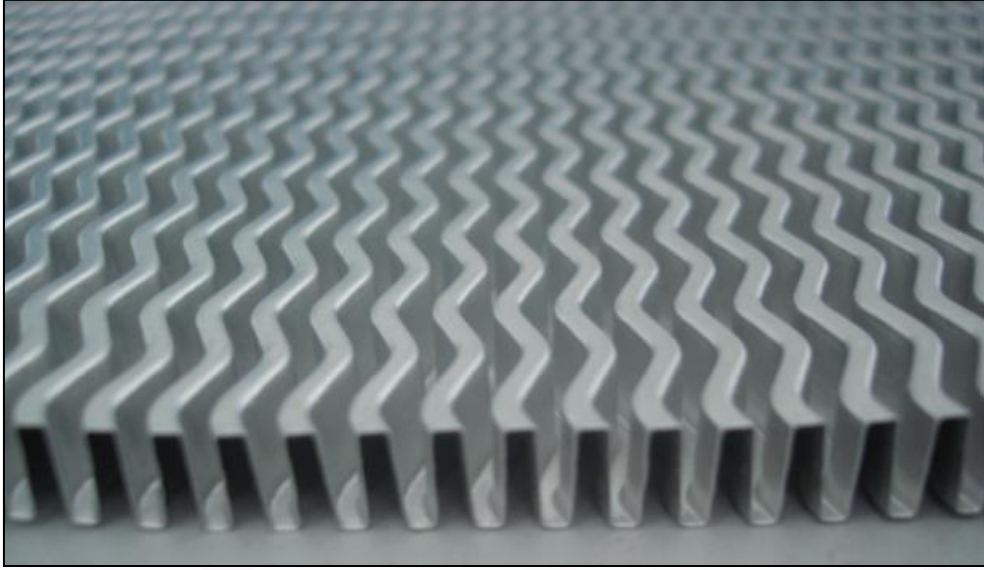
Bitişik olan plakalar arasındaki boşlukları kapatmak ve akışı kanallar arasında dağıtmak için uygulamanın amacına göre conta, lehim veya kaynak uygulanmaktadır. Paslanmaz çelik, yüksek sıcaklıklara dayanma kabiliyeti, mukavemeti ve korozyon direnci nedeniyle plakalar için yaygın olarak tercih edilen bir malzemedir. Plakalı ısı değiştiriciler, standart parçalardan yapılsa da her biri özel olarak tasarlanmaktadır [53]. Akışkanların aktığı çapın küçük olması ve kanalın içindeki oluklu yapının akışkanlar arasındaki etkileşimi güçlendirmesi nedeniyle plakalı ısı değiştiricilerde ısı transfer katsayılarının yüksek

olduğuna inanılmaktadır. Bir plakalı ısı değiştirici için gerekli yüzey alanı, serpantin borulu ısı değiştiricinin 30-50 %'si kadardır ve dolayısıyla maliyetleri daha düşük olur, daha az yer kaplarlar. Ana zayıflıkları ise plakalı ısı değiştiricilerinin conta kullanımı nedeniyle düşük veya orta sıcaklık ve basınç uygulamalarıyla sınırlı olmasıdır. Contalar genellikle kauçuk ve farklı polimer yapılar gibi elastik ve şekillendirilebilir malzemelerden yapılır. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık uygulamaları için daha kompakt plakalı ısı değiştiriciler gerekmektedir, son zamanlarda conta yerine genellikle lehim veya lazer kaynağı kullanılmaktadır. Plakanın ısı iletkenliği plakalı ısı değiştirici için çok önemli olduğu için paslanmaz çelik (tipler 304, 316, 317, 304L, 316L, 317Ti), Alaşım AL6XN, Alaşım 904L, Alaşım 27- 7MO, Alaşım 254 SMO; Nikel 200, Alaşım G-30, Alaşım B-2, Alaşım C-22, Alaşım C-276, Alaşım C-2000, Alaşım 33; Titanyum (Gr. 1), Titanyum paladyum gibi malzemeler tercih edilmektedir [53,54].



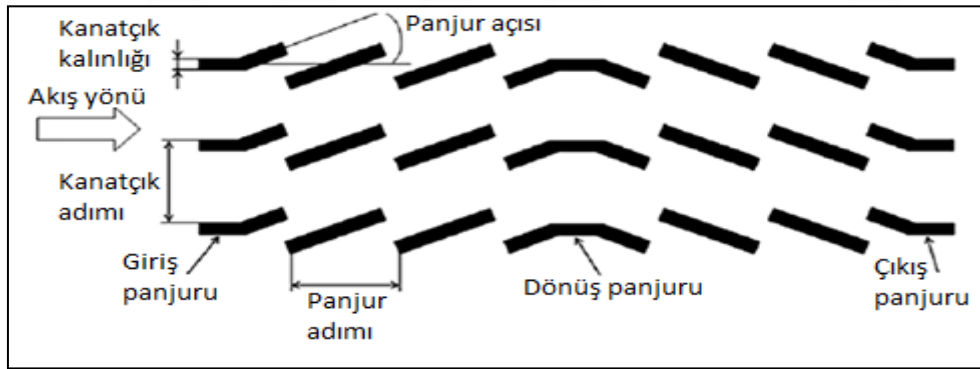
Resim 3.4. Plakalı ısı değiştirici [54]

Birçok endüstriyel uygulamada ısı transferini arttırmak için farklı ısı değiştirici tasarımları mevcuttur. Bu tasarımlardan biri de kanatlı yüzey ısı değiştiriciler olarak bilinen yüzey alanının artırılmasıyla ısı transferinde artışın sağlandığı sistemlerdir. Yüzey alanını arttıran bu yüzeyler kanatçık olarak da adlandırılmaktadır. Bu kanatçıklar sürekli veya süreksiz olabilmektedir. Fakat uygulanan sistemlerin çoğu dalgalı, panjur kanatlı ve spiral gibi sürekli kanatçıklardan oluşmaktadır [55]. Resim 3.5, Şekil 3.6, Resim 3.7, Resim 3.8 ve Resim 3.9'da farklı kanatlı yüzey ısı değiştirici yapıları gösterilmektedir.

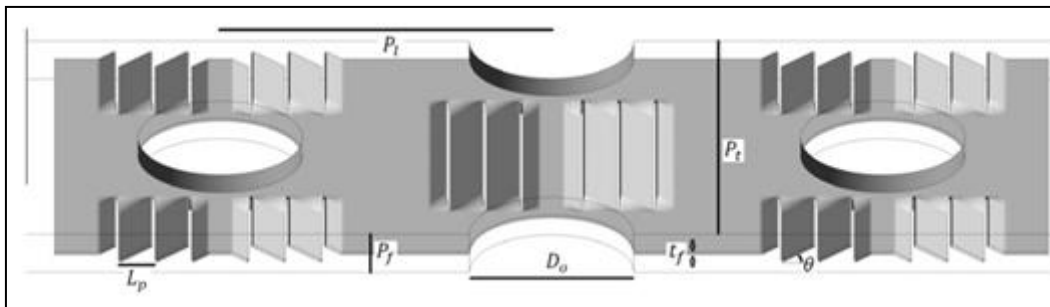


Resim 3.5. Dalgalı kanatlı ısı değıştirci [32]

Panjur kanatlı ısı değıştirciler ise, farklı açılarda konumlandırılmış, ısı değıştircilerde ısı transferini arttırmaya yönelik kullanılan düz levhalardan oluşmaktadır. Akışkanın açılı yerleştirilen düz levhalar ile ısı transferinin artırılması hedeflenmektedir.

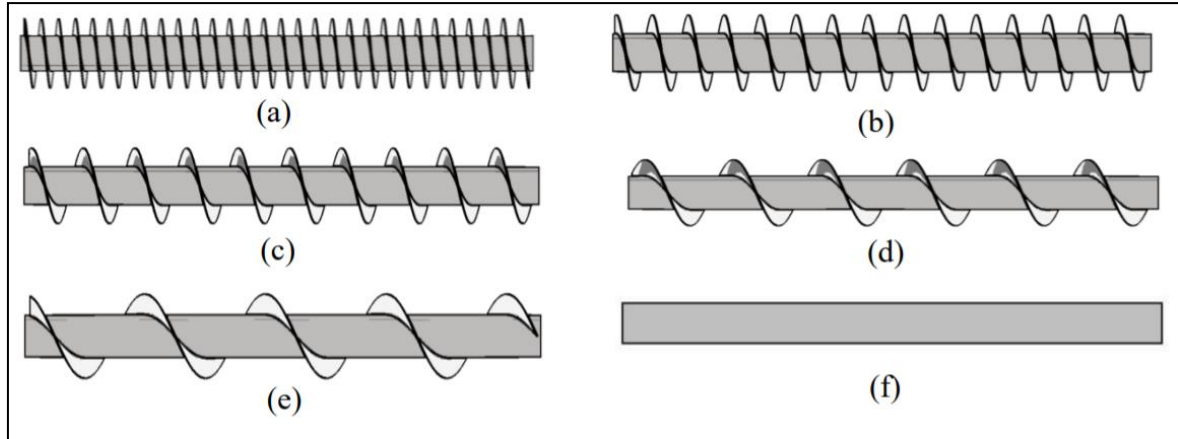


Şekil 3.6. Panjur kanatlı ısı değıştircinin yapısı [32]

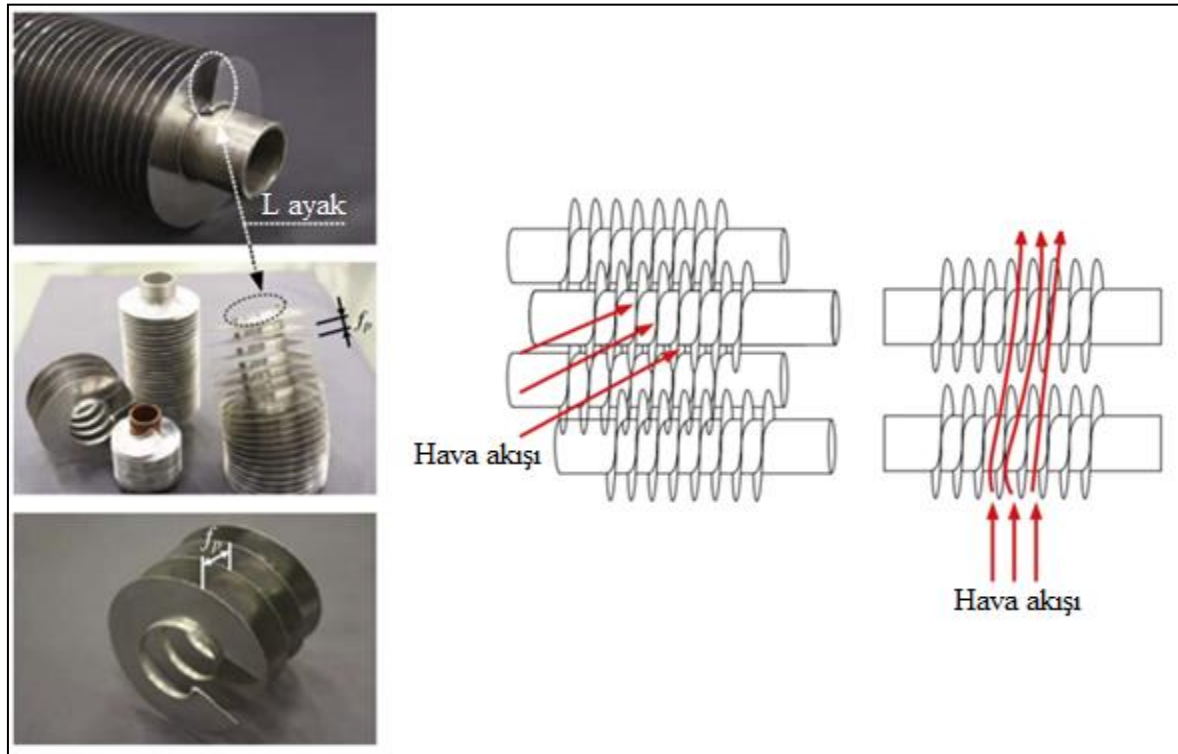


Resim 3.7. Panjur kanatlı ısı değıştirci [56]

Isı değiştircilerdeki ısıl performansın arttırılması için spiral geometride kanatlı tasarımlarda kullanılmaktadır. Konvektif ısı transferi katsayısı türbülans akıştan etkilendiği için spiral tasarımlar türbülans akış yaratmak amacıyla kullanılmaktadır. Geometrisindeki keskin dönüşler sayesinde bu etki oluşturulmakta ve ısı transferinin arttırılması amaçlanmaktadır.



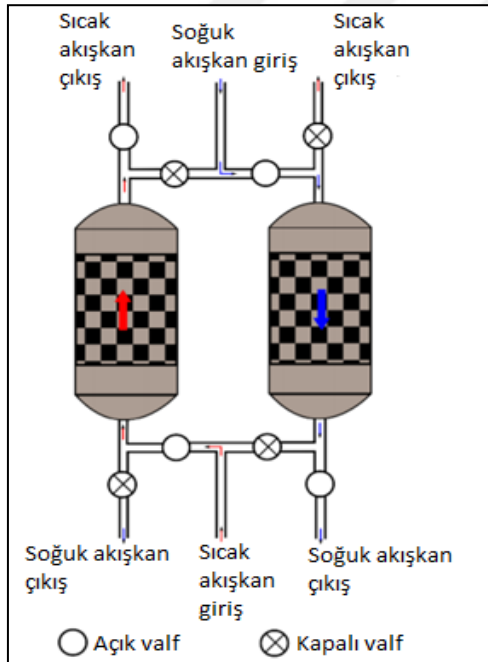
Resim 3.8. Farklı ısı değiştirci konfigürasyonları a) kanatçık adımı: 1cm, b) kanatçık adımı: 2cm, c) kanatçık adımı: 3cm, d) kanatçık adımı: 5cm, e) kanatçık adımı: 7cm, f) kanatçık olmayan ısı değiştirci [35]



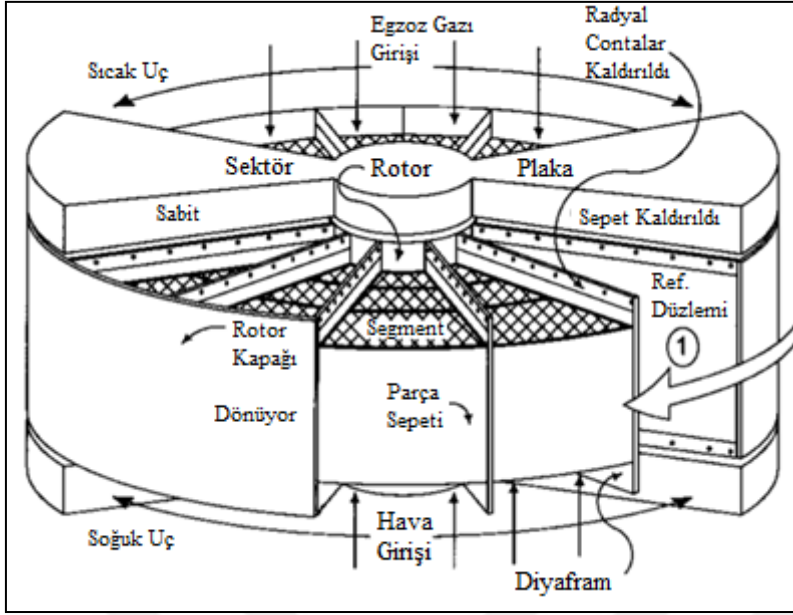
Resim 3.9. L ayaklı spiral ısı değiştircinin yapısı ve hava ile gerçekleşen ısı transferinde hava akışı [36]

Rejeneratör tip ısı değıştirciler, iki akışkanın da depolama malzemesi veya şeklinin üzerinden dönüşümlü olarak geçtiğı ısı değıştircileridir. Sıcak akışkan depolama malzemesinin etrafındaki kanallardan geçtiğı sırada depolama malzemesine ısınıı aktararak malzemeyi ısıtmaktadır. Aynı şekilde soğuk akışkan da bu kanallardan geçerek ısıyı depolama malzemesinden alır ve ısı yeniden üretilir. Birçok farklı malzeme ve geometri depolama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Rejeneratörler sabit yataklı ve döner rejeneratör olmak üzere iki tiptir. Sabit yataklı rejeneratörlerde tek bir sıvı akışı vardır. Bu akış döngüsel veya tersine olabilecek şekildedir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, genellikle valfler yardımıyla soğuk ve sıcak akışkanların akışı kontrol edilmektedir.

Döner rejeneratörlerde ise depolama malzemesi, zıt akıştaki iki akışın etrafında sürekli olarak dönmektedir. Aynı anda akışlardan sadece bir tanesi gerçekleşse de bir tur dönme hareketi tamamlandığında iki akışkan da depolama malzemesinden geçmiş olur. Döner rejeneratörlerin yapısı Şekil 3.11'de ve döner rejeneratörlerde akışkanların hareketi Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



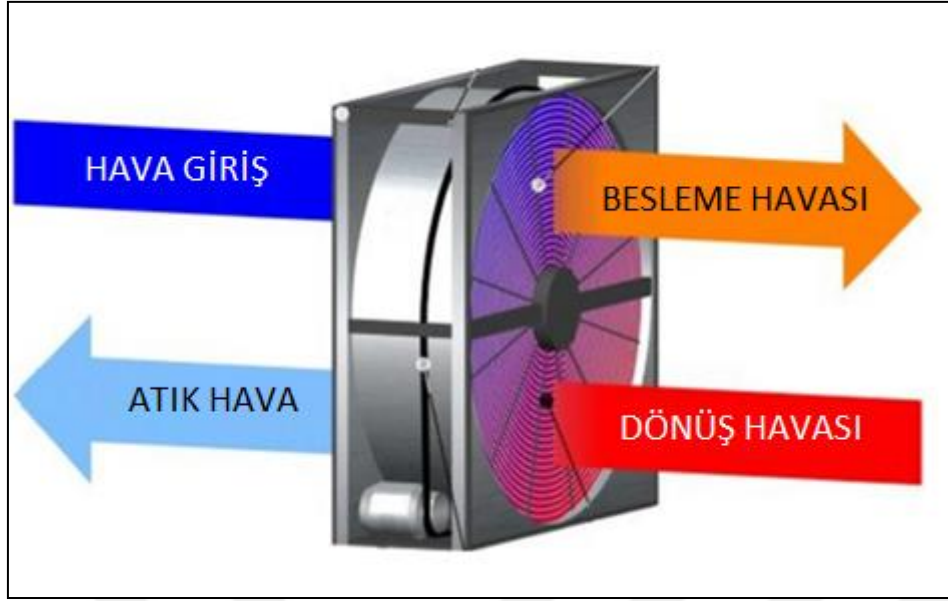
Şekil 3.10. Sabit yataklı rejeneratör ısı değıştircilerin yapısı [57]



Şekil 3.11. Döner rejeneratör ısı değiştiricilerin yapısı [57]

Rejeneratörlerde diğer ısı değiştiricilere göre ısı transferinin gerçekleştiği yüzey daha fazla olduğu için benzer kapasitedeki diğer ısı değiştiricilere göre daha küçük ve daha hafif olabilmektedir. Bu sayede malzeme ve üretim maliyetleri de daha düşük olmaktadır. Ayrıca rejeneratörlerde kullanılan depolama malzemesinin kendi kendini temizleme özelliği sayesinde akışkan tarafındaki kirlenmeyi ve korozyonu azaltmaktadır. Bu yüzden özellikle iki gaz akışkanın kullanılacağı ısı değiştiriciler için rejeneratör tipi ısı değiştiriciler idealdir.

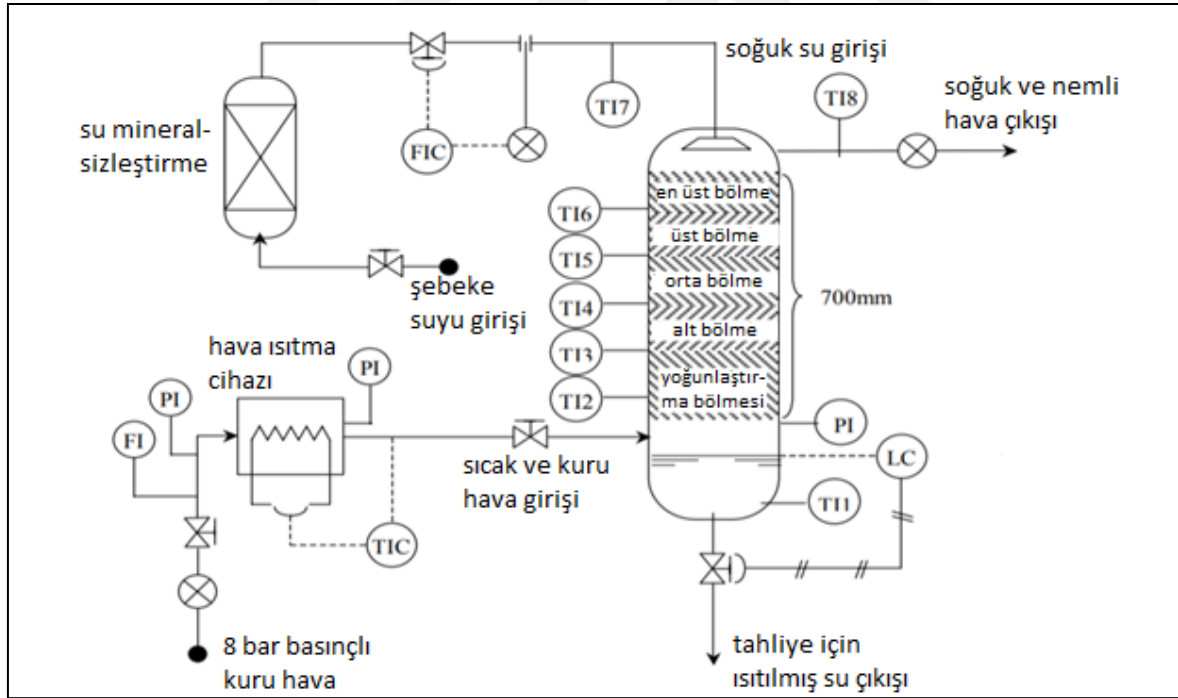
Döner rejeneratörler, kimya fabrikalarında, gemilerde ve elektrik üretim istasyonlarında atık ısının yanma işleminde tekrar değerlendirilmesinde kullanılır. Yanma işleminde kullanılacak olan hava ön ısıtma ile ısıtılmakta ve bu sayede atık ısı sistemin verimini artıracak şekilde değerlendirilmektedir. Sabit yataklı rejeneratörler ise 1400 C° 'ye kadar sıcaklıklara dayanabildiği için yüksek sıcaklık değerlerindeki işlemlerin gerçekleştirildiği cam ve çelik sektörleri, enerji santralleri ve atık ısı geri kazanım sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde genellikle ısıl iletkenliği düşük olan seramik bazlı depolama malzemeleri kullanılmaktadır [57].



Şekil 3.12. Döner rejeneratörde akışkanların hareketi [39]

3.2.2. Isı değişim şekline göre ısı değiştiriciler

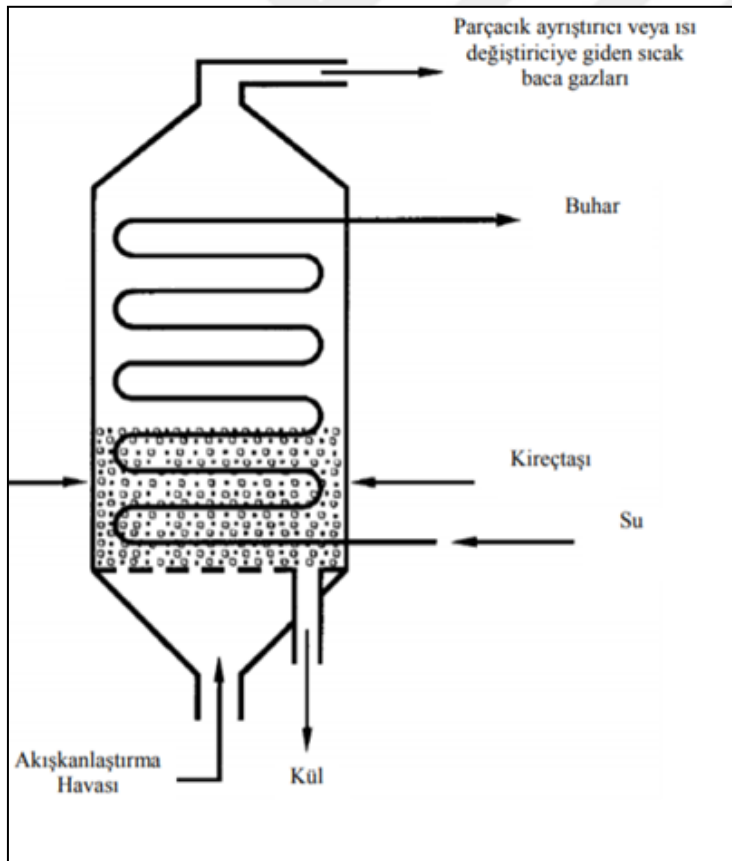
Isı değiştiriciler ısı değişim şekline göre akışkanların doğrudan temasta olduğu ve akışkanların doğrudan temasta olmadığı olarak ikiye ayrılmaktadır. Akışkanların doğrudan temasta olduğu ısı değiştiricilerde, birbirine doğrudan temas eden ve karışmayan iki akışkan arasında ısı transferi gerçekleşir. Yani ısı transferi, sistemde kullanılan akışkan ve akışkanla karışmayan dağılmış faz arasında gerçekleşmektedir. Deniz suyunu tuzdan arındırma, ısı geri kazanımı, okyanus termal enerji dönüşümü, termal enerji depolama sistemlerinde doğrudan temaslı ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Doğrudan temaslı bir ısı değiştirici uygun maliyetli ısı transferi imkânı sunar ve bu nedenle akışkanların düşük sıcaklıklarda termal enerji ile n ısıtılması ve buharlaştırılması işlemleri için uygundur. Bu tip ısı değiştiricilerdeki ana fikir, iki akışkan arasında katı bir ısı transfer yüzeyi olmaması nedeniyle basınç kayıplarını artırmadan ısı transferini iyileştirmektir [58,59]. Doğrudan temaslı ısı değiştiricinin yapısı şekil 3.13'te görülmektedir.



şekil 3.13. Doğrudan temaslı ısı değiştiricili deney seti [42]

Akışkanların doğrudan temasta olmadığı ısı değiştiricilerde ise akışkanlar tamamen ayrılmış kanallarda birbirleriyle temasta olmadan hareket eder. Akışkanları ayıran yüzey üzerinden içeriye veya dışarıya ısı transferi sürekli olarak gerçekleşir [48]. Akışkanların

doğrudan temasta olmadığı ısı değiştiriciler, doğrudan transfer, depolama ve akışkan yatak olarak kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Akışkanların ayırıcı bir yüzey yardımıyla birbirinden ayrıldığı ve farklı kanallarda aktığı ısı değiştiriciler doğrudan transfer tipindedir. Borulu, levhalı ve kanatlı ısı değiştiriciler doğrudan transfer tipine örnektir. Depolama tip ısı değiştiricilerde ise tek bir akış vardır. Yani soğuk ve sıcak olarak kullanılan iki akışkan sırayla aynı yerden geçmektedir. Sıcak akışkan depolama yüzeyini ısıttıktan sonra aynı yüzeyden soğuk akışkan geçerken ısı transferi gerçekleşmektedir. Rejeneratörler, depolama tip ısı değiştiricilere örnektir. Akışkan yatak tipi ısı değiştiricilerde ise iki ayrı akışkandan biri sıcak katı partiküllerle temas halindeyken diğeri kendi kanalında hareket etmektedir. Katı partiküllerle temas eden akışkan belirli bir hıza ulaştığında, katı partiküller akışkanla birlikte hareket ederek diğeri akışkanın kanalı etrafında dağılır ve sıcak katı partiküllerle soğuk akışkanın hareket ettiği kanal yüzeyi üzerinden ısı transferi gerçekleşir [60].



Şekil 3.14. Akışkan yatak tipi ısı değiştirici [60]

3.2.3. Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre ısı değiştiriciler

Isı değiştiriciler, ısı transfer yüzey alanının ısı geçiş hacmine oranına bağlı olarak, kompakt ve kompakt olmayan olarak sınıflandırılabilir. Isı transfer yüzey alanının ısı geçiş hacmine oranı aynı zamanda yüzey alanı yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Yüzey alanı yoğunluğu hava için $700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'ten daha büyük veya sıvı veya iki fazlı akışlar için $300 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'e eşit veya daha büyükse, ısı değiştirici kompakt olarak kabul edilir. Yüzey alanı yoğunluğu hava için $700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'ten daha küçük veya eşit ise, sıvı veya iki fazlı akışlar için $300 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ 'e daha küçükse, ısı değiştirici kompakt olmayan olarak kabul edilir [61].

Kompakt ısı değiştiricilerde ısı, soğutucudan havaya üç ana termal direnç üzerinden aktarılmaktadır. Bu dirençler soğutucudan borunun iç yüzeyine konveksiyon, akışkanları ayıran yüzeyden iletim ve kanatlar vasıtasıyla borunun dış yüzeyinden havaya konveksiyondur. Kompakt ısı değiştiricilerde ısı transferi katsayısının bulunması için termal dirençler kullanılmaktadır. Kompakt ısı değiştiriciler ile yapılan çalışmalarda, toplam ısı transfer katsayısı bu üç direnç ile tanımlanmakta ve ısı transfer hızı her bir rezistans için alt modellerle hesaplanmaktadır [62]. Kompakt ısı değiştiricileri geniş yüzey alanı yoğunluğuna sahip olduklarından dolayı akışkanların akışı için küçük hidrolik çap değerlerine sahiptirler. Bu sayede serpantin borulu ısı değiştiricilere göre çok daha fazla verimlidirler. İnsan akciğerleri, 0,19 mm çaplı tüplere eşdeğer olan yaklaşık $17.500 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ alan yoğunluğuna sahip en kompakt ısı değiştiricilerden biridir. Akışkan kanallarının küçük çap değerine sahip olması laminar akış eğilimine ve yüksek basınç düşüşüne de neden olmaktadır. Laminar akış, düşük ısı transfer katsayılarıyla ilişkilendirildiği için istenmemektedir. Laminar akış eğilimi ve yüksek basınç düşüşü değerlerinden dolayı kompakt ısı değiştiricilerin performansını iyileştirmek için farklı çalışmalar yapılmış ve farklı tipte kompakt ısı değiştiriciler geliştirilmiştir. Havacılık, otomotiv, gaz türbini santralleri, nükleer reaksiyonlar ve yüksek sıcaklıklı işlemlerde kompakt ısı değiştiriciler kullanılmaktadır [54].

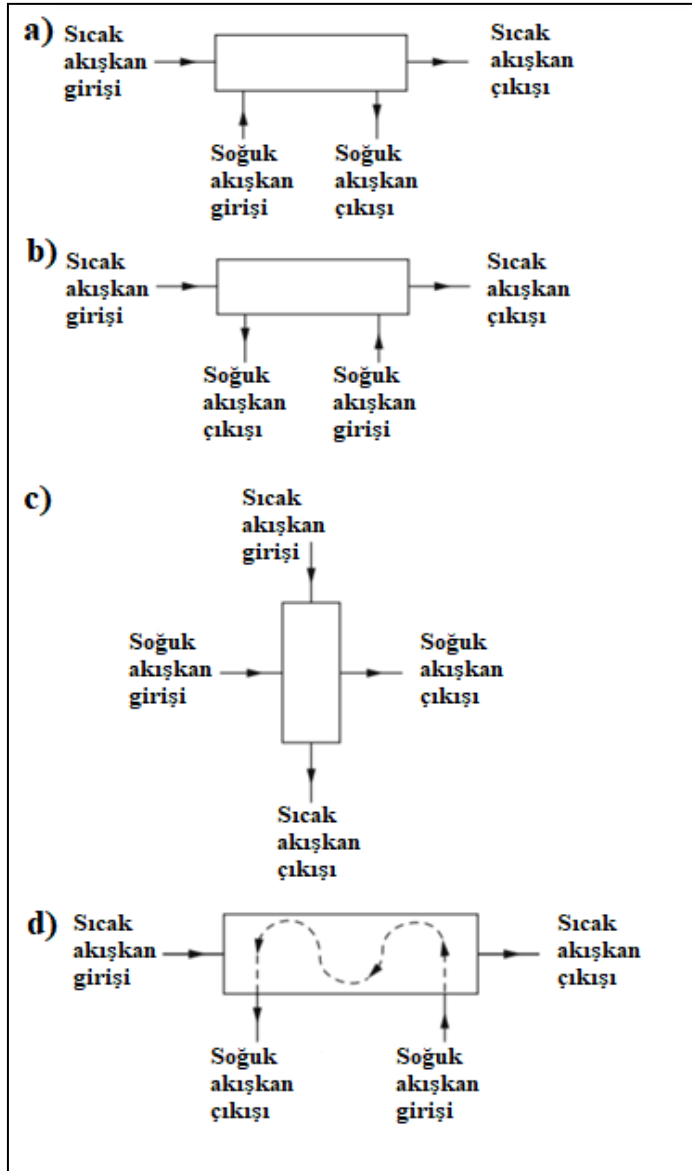
3.2.4. Isı geçiş mekanizmasına göre ısı değiştiriciler

Isı değiştiriciler ısı transfer mekanizmalarına göre, iki tarafta tek faz konveksiyon, tek tarafta tek faz konveksiyon, diğer tarafta iki faz konveksiyon, iki tarafta da iki faz konveksiyon ve birleşik konveksiyon ve radyasyonla ısı transferi olarak dörde ayrılmaktadır. Konveksiyon ısı transferi, hareketli sıvı veya gaz ortam ile onu çevreleyen katı yüzey arasında gerçekleşir. Motor ve hidrolik yağ soğutma, konutlardaki kazan sistemleri ve sıcak su sistemleri iki tarafta tek faz konveksiyon gerçekleşen ısı değiştiricilere örnektir. Tek tarafta tek faz konveksiyon, diğer tarafta iki faz konveksiyon olan ısı değiştiricilere termik santrallerin yoğuşturucuları ve klimaların buharlaştırıcıları örnek olarak gösterilebilir. İki tarafta da iki faz konveksiyona ise hidrokarbonların damıtılması sırasında yüksek basınçlı buhar kullanılarak alçak basınçlı buhar elde edilme işlemi örnek gösterilebilir. Fosil yakıt kullanan ısıtıcılar ve buhar kazanları ise birleşik konveksiyon ve radyasyonla gerçekleşen ısı transferine örnektir [60].

3.2.5. Kullanılan akışkanların akış yönüne göre ısı değiştiriciler

Isı değiştiriciler kullanılan akışkanların akış yönüne göre sınıflandırıldığında paralel, karşıt, çapraz akışlı ve çok geçişli olmak üzere şekil 3.15'te gösterildiği gibi dörde ayrılmaktadır.

Akışkanların birbirine paralel ve aynı yönde hareket ettiği ısı değiştiriciler paralel akışlı, akışkanların birbirine paralel ve zıt yönde hareket ettiği ısı değiştiriciler karşıt akışlı, akışkanların hareket yönlerinin birbirine dik olduğu ısı değiştiriciler çapraz akışlı, akışkanların seri halde farklı akış tiplerinde hareket ettiği ısı değiştiriciler ise çok geçişli olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan akışkanların akış yönüne göre sınıflandırılan ısı değiştiriciler arasında ısı transferi açısından en verimli tip karşıt akışlı ısı değiştiricilerdir. Sıcak akışkandan soğuk akışkana en fazla ısı transferi karşıt akışlı ısı değiştiricilerde gerçekleşmektedir [63].



Şekil 3.15. Kullanılan akışkanların akış yönüne göre ısı değiştiriciler a) Paralel akış, b) Karşıt (zıt) akış, c) Çapraz akış, d) Çok geçişli akış [48]



4. NANO AKIŞKANLAR

Nano metre boyutlu katı parçacıklar içeren sıvılar nano akışkanlar olarak adlandırılmaktadır. Nano akışkanlar, baz sıvı ve baz sıvıda çözülen nano boyuttaki partiküllerden oluşmaktadır. Genellikle saf su, yağ, etilen glikol gibi sıvılar baz sıvı olarak seçilmektedir. Nano boyuttaki partikül olarak ise birçok farklı malzeme kullanılmaktadır. Al_2O_3 , CuO gibi metal oksitler, AlN, SiN gibi oksitsiz seramikler, SiC, TiC gibi karbür seramikler, Cu, Ag, Au gibi metaller, TiO_2 gibi yarı iletkenler, karbon nano tüpler, $Al_{70}Cu_{30}$ gibi alaşımlar ve birçok farklı malzeme nano partikül olarak tercih edilmektedir. Nano partiküllerin baz sıvı içinde dağılmasıyla baz sıvının ısı transfer performansı önemli derecede iyileştirilebilmektedir. Isı transferini etkileyen en önemli parametrelerden olan yüzey alanı baz sıvıya eklenen nano partiküller sayesinde artırılmakta ve bu artış baz sıvının ısı transfer performansını ve ısı kapasitesini iyileştirmektedir. Aynı şekilde ısı iletkenliği yüksek olan nano partiküllerin baz sıvıya eklenmesiyle, baz sıvının da ısı iletkenliği artırılmaktadır. Ayrıca bir akışkan içine katı partiküllerin eklenmesiyle, akış sırasında partiküller arası çarpışmalar ve etkileşimler gerçekleşmektedir. Bu sayede akışkanın aktığı sırada temas ettiği yüzey ve akışkan arasındaki ısı transferi de artırılmaktadır [64]. Nano akışkanların ısı transferi performansını iyileştirme amacıyla ısı transferi uygulamalarında kullanılabilmeleri için uzun vadedeki kararlılıkları önemlidir. Nano akışkanların kararlılıklarını etkileyen en önemli faktör ise yüksek yüzey yoğunluğu nedeniyle çökme yapmaya yatkınlıklarıdır. Çökme özelliği, nano akışkanların hazırlanma yöntemleri, nano akışkanın içerdiği nano partikül özellikleri, baz sıvının türü, yüzey aktifleştirici maddeler, nano akışkanın PH değeri gibi farklı parametrelere göre değişkenlik göstermektedir [65].

Nano akışkan kullanmanın ısı transferi performansının artırılmasına olan etkileri dört ana başlıkta ele alınmıştır. Bunlar nano partikül, baz sıvı, nano akışkan hazırlama yöntemi ve nano akışkanların kararlılığını artırma yöntemleridir. Sonrasında ise nano akışkanların endüstriyel uygulamaları hakkında bilgi verilmektedir.

4.1. Nano Partikül

Nano akışkanlarda kullanılan nano partiküllerin ısı transferi performansının iyileştirilmesine olan etkileri malzeme çeşidi, partikül boyutu ve şekli ve partikül üretim yöntemi olarak üç ana başlıkta incelenmiştir.

4.1.1. Malzeme çeşidi

Teorik olarak, yüksek termal iletkenliğe sahip olan tüm katı nano partiküller nano akışkan oluşturmak için kullanılabilir. Literatürde yer alan bütün çalışmalarda genellikle dört farklı tipte nano partiküller kullanılmıştır. Bunlar metalik parçacıklar, metalik olmayan parçacıklar, karbon içerikli yapılar ve nano damlacıklardır. Literatürde bildirilen nano partiküllerden bazılarının ısı iletkenlik katsayısı değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Nano akışkanlarda sıkça kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları [66]

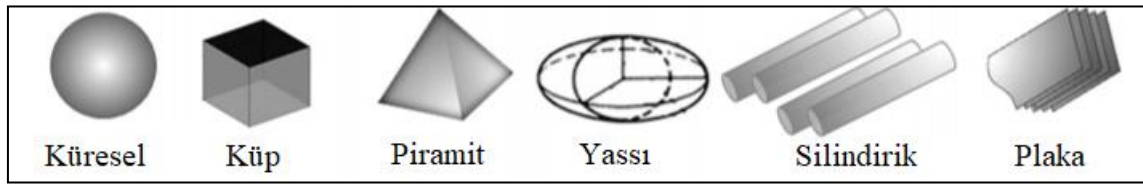
	Malzeme	Isıl iletim katsayısı (W/mK)
Metalik katılar	Alüminyum	237
	Bakır	398
	Altın	315
	Demir	80
	Nikel	91
	Gümüş	424
Karbon içerikli yapılar	Tek duvarlı karbon nano tüp	3000-6000
	Çok duvarlı karbon nano tüp	3000
	Karbon (elmas)	900-2320
	Karbon (grafit)	119-165
	Grafen	3000
	Grafit	130-2000
Metalik olmayan katılar	Al ₂ O ₃	31-41
	AlN	319-550
	Bor nitrür (h-BN)	300
	Bor nitrür nanotüp	600-960
	Bor nitrür nano levha	1700-2000
	CuO	76,5
	MoS ₂	34,5 +/- 4
	SiC	148
	SiO ₂	1,4
	TiO ₂	8,4
	WS ₂	32-53
	ZnO	29

Metalik, metalik olmayan ve karbon içerikli nano partiküllerden oluşan nano akışkanlar birçok araştırmacı tarafından denenmiş ve ısı transferinin artırılmasına yönelik başarıyla denenmişlerdir. Nano damlacıklardan oluşan nano akışkanlar ise kolay üretilebilirliği açısından cazip olsa da ısı transferi performansına olan iyileştirmeleri şüphelidir [67].

Nano damlacıklara ek olarak sıvı metalden oluşturulan nano akışkanlar da araştırmacılar tarafından denenmiştir [68,69]. Sıvı metal kullanarak oluşturulan nano akışkanlar katı partikül içermediği için nano akışkanların tanımı, nano boyutta katkı maddeleri ve baz sıvı içeren kompozit malzemeler olarak güncellenebilir. Metalik veya metalik olmayan nano partiküller, nano iplikler, nano levhalar, nano tüpler veya nano damlacıklar nano boyuttaki katkı maddeleri, kullanılan herhangi bir akışkan ise baz sıvı olarak adlandırılabilir [67]. Çizelge 4.1'de gösterilen malzemeler gibi yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip nano partiküller baz sıvıya eklenerek ısı transfer performansı baz sıvıdan daha iyi olan nano akışkanlar elde edilmektedir. Fakat sürekli nano partikül ekleyerek nano partikül konsantrasyonunu artırmak belli bir optimum değerden sonra viskoziteyi artıracak ve nano akışkanın ısıl performansı ve özellikleri olumsuz yönde etkilenecektir [66].

4.1.2. Partikül boyutu ve şekli

100 μm 'den küçük nano boyutlu partiküllerin baz sıvı ile karışımı nano akışkan olarak adlandırılmaktadır [70].

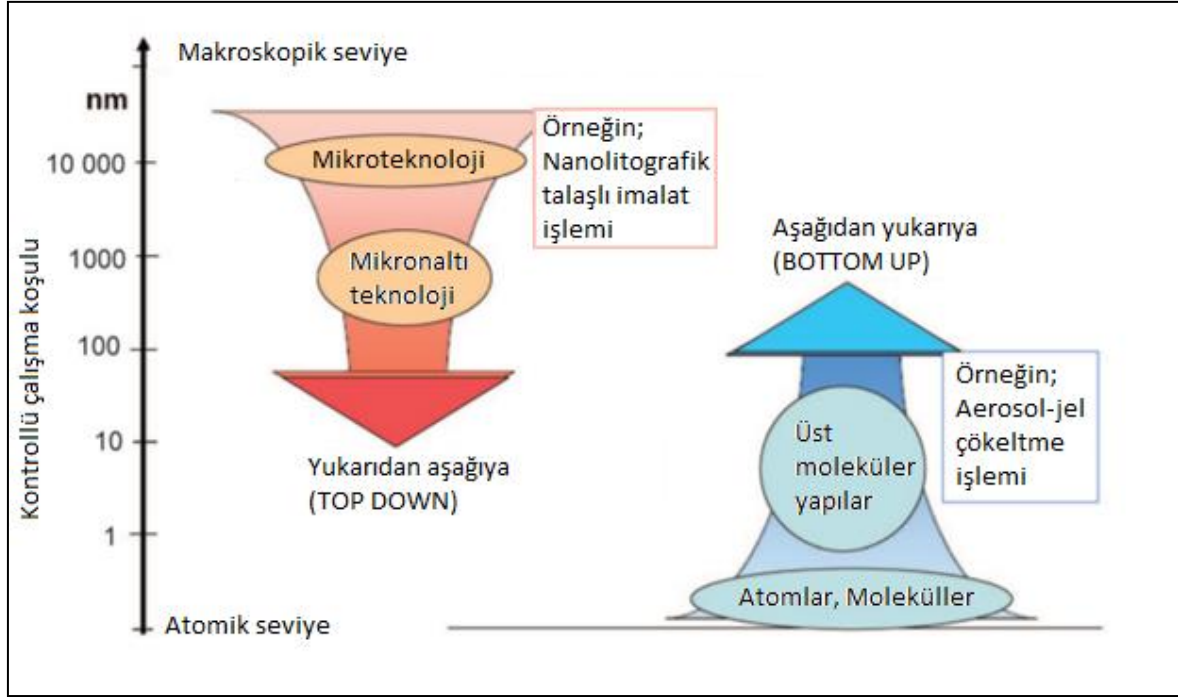


Resim 4.1. Çeşitli partikül şekil ve geometrileri [66]

Resim 4.1'de görüldüğü gibi farklı yüzey alanı değerlerine sahip çeşitli parçacık geometrileri kullanılmaktadır. Bu geometrilerin bazıları doğal olarak oluşurken bazıları belirli uygulamalar için özel yöntemlerle üretilmiştir [66].

4.1.3. Partikül üretim yöntemi

Nano partiküllerin oluşturulması iki farklı yöntemle olmaktadır. Bu yöntemler yukarıdan aşağıya (top-down) ve aşağıdan yukarıya (bottom-up) olarak adlandırılmaktadır. Yukarıdan aşağıya yöntemi, tornalama gibi bir işlemle büyük boyuttaki bir malzemenin parçalanarak bu malzemeden nano partikül oluşturulması yani malzeme boyutunun büyükten küçüğe indirilmesini nitelendirmektedir. Mekanik ve fiziksel üretim süreçleri yukarıdan aşağıya yöntemleridir. Mekanik üretim yaklaşımında malzemeler öğütülerek nano partiküller elde edilir. Genellikle metal ve seramik nano malzemeler bu şekilde üretilir. Uzun işleme süreçlerinde oluşan yüksek ısılardan dolayı oluşturulan nano parçacıkların kalitesi düşebilir. Bunun önüne geçmek için mekanik öğütme işlemine kimyasal reaksiyon eşlik eder. Mekanik işlemlerle üretilen nano partiküllerin boyutları geniş bir aralıkta değişmektedir. Çünkü fiziksel yöntemler oluşturulan partikülün şeklinin ve boyutunun tam kontrolüne izin vermemektedir. Aşağıdan yukarıya yöntemi ise nano boyuttan daha küçük yapıların kimyasal işlemlerle birleştirilerek nano boyutta partiküller oluşturulmasıdır. Benzer şekilde malzeme boyutunun küçükten büyüğe yükseltilmesini nitelendirmek için aşağıdan yukarıya olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal yöntemlerle atom ve moleküllerden daha karmaşık yapılar oluşturulmaktadır. Aşağıdan yukarıya üretim yöntemleriyle üretilen nano partiküllerin boyutu, şekli ve üretilen partiküllerin boyut aralığını daha fazla kontrol etme imkânı ortaya çıkmaktadır. Alev reaktörlerinde ayrışma, buharlaşma ve plazma reaktörlerinde ayrışma reaksiyonlarının başlatılması, lazer reaktörlerde ayrışma, sıcak duvar reaktörlerinde buharlaşma ve yoğunlaşma, çökeltme işlemleri gibi kimyasal yöntemlerle nano partiküller üretilebilmektedir [71].



Şekil 4.2. Nano partikül üretim yöntemleri yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya [71]

4.2. Baz Sıvı

Nano akışkanlar, nano partiküllerin baz sıvıdaki süspansiyonları olarak tanımlanmaktadır. Nano akışkanların oluşturulmasındaki temel amaç, baz sıvının ısı transferi performansının nano partiküller eklenerek iyileştirilmesidir. Nano partiküllerin etkisinin yanı sıra, baz sıvıların ısı iletkenliği, sıcaklığı ve viskozitesi de nano akışkanların ısı transferi performansının artmasını etkiler [67]. Yapılan araştırmalarda, baz sıvıların viskozitesinin nano sıvıların kararlılığı üzerinde önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir [72]. Saf su, frezelerdeki soğutma sıvısı gibi sentetik su bazlı sıvılar, hindistan cevizi, kolza tohumu veya kanola gibi bitkisel yağlar, etilen glikol veya bütanol gibi organik sıvılar ve polimerik çözeltiler baz sıvı olarak kullanılmaktadır [73].

4.3. Nano Akışkan Hazırlama Yöntemi

Nano akışkanların hazırlanmasında genellikle iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, tek aşamalı yöntem ve iki aşamalı yöntem olarak adlandırılmaktadır. İki aşamalı yöntemde nano akışkanda kullanılacak olan nano partiküller, kimyasal veya fiziksel bir üretim metodu sonrası kuru toz olarak üretilir. Daha sonra, toz haldeki nano partikülün manyetik kuvvet, ultrasonik banyo, homojenleştirme ve bilyeli öğütme gibi farklı etkilerle baz sıvısının içerisinde dağılması sağlanır. Yüksek miktarlarda nano akışkan üretiminde kullanılan en ekonomik yöntem iki aşamalı yöntemdir.

İki aşamalı yöntemde, yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi nedeniyle nano partiküller çökelme eğilimi göstermektedir. Nano partiküllerin kararlılığını iyileştirmek ve çökelmeyi en aza indirmek için yüzey aktifleştiriciler tercih edilmektedir. Fakat yüksek sıcaklık değerlerinde yüzey aktifleştiricilerin faydası hala tartışılmaktadır [74].

Tek aşamalı yöntemde ise nano partiküller tek bir işlem sırasında hem oluşur hem de baz sıvısının içinde dağılır. Tek aşamalı yöntemden farklı olarak, iki aşamalı yöntemde nano partiküller önceden kimyasal veya fiziksel bir yöntemle oluşturulur. İkinci aşamada nano partiküllerin baz sıvısının içinde dağılması için ayrı bir işlem uygulanmaktadır [75].

4.4. Nano Akışkanların Kararlılığını Artırma Yöntemleri

Isı transferinin iyileştirilmesi için nano akışkanların uzun zamanlı kararlılıkları büyük önem teşkil etmektedir. Nano akışkanların kararlılıkları, nano akışkanların hazırlanma yöntemine, nano partiküllerin karakteristiklerine, baz sıvıya, yüzey aktifleştiriciye, PH değeri, ultrasonik banyo gibi farklı etmenlere göre değişmektedir. Nano akışkanların kararlılığını etkileyen temel faktör yüksek yüzey gerilimi nedeniyle nano partiküllerin çökelmeye eğilimli olmalarıdır.

Nano akışkanların kararlılıklarını iyileştirmek için kullanılan yöntemler kimyasal ve fiziksel olarak ikiye ayrılmaktadır [76].

4.4.1. Kimyasal yöntemler

Yüzey aktifleştirici eklenmesi, nano partiküllere yüzey işlemi uygulanması ve PH değerinin değiştirilmesi kimyasal yöntemlerdir. Nano partiküller kimyasal özelliklerine göre hidrofobik veya hidrofilik olabilmektedir.

Baz akışkanlar da yine kimyasal özelliklerine göre polar veya polar olmayan olarak iki farklı tiptedir. ZnO ve Al₂O₃ gibi oksit nano partiküller hidrofiliktir ve saf su gibi polar bir baz sıvıda rahatça dağılacaktır. Bu sayede oluşacak nano akışkanın uzun vadede kararlılığı yüksek olacaktır. Yine benzer şekilde karbon nano tüp gibi hidrofobik olan nano partiküller, yağ gibi polar olmayan baz sıvılarda rahatça dağılacaktır. Yani kararlılığın artırılması için yüzey aktifleştirici kullanılması veya başka bir işlemin uygulanması zorunlu olmayacaktır. Fakat hidrofobik nano partiküllerin polar baz sıvıda ve hidrofilik nano partiküllerin polar olmayan baz sıvıda dağılması gerektiği durumlarda nano akışkanların kararlılığının sağlanması için yüzey aktifleştirici kullanılması gerekmektedir. Yüzey aktifleştiriciler adeta bir köprü görevi görerek nano partiküller ve baz sıvı arasında süreklilik yaratmaktadır.

Yüzey aktifleştiricilerin kimyasal denkleminde baş gruptaki bileşenin yüküne göre dört farklı yüzey aktifleştirici mevcuttur. Bunlar, alkil benzen sülfonat ($RC_6H_4SO_3^-Na^+$) gibi anyonik (negatif yüklü), dörtlü amonyum klorür ($RN(CH_3)_3^+Cl^-$) gibi katyonik (pozitif yüklü), polietilen alkoller ($R(OC_2H_4)_xOH$) gibi iyonik olmayan (nötr) ve sülfobetain ($RN^+(CH_3)_2CH_2CH_2SO_3^-$) gibi amfoteriktir (hem pozitif hem negatif yüklü).

Eş elektrik noktası, moleküllerin elektrik yükü taşımadığı veya hidrasyon kuvvetlerinin ihmal edilebilir kadar küçük olduğu PH değerini ifade eden değerdir. PH değeri eş elektrik noktasına yaklaştığında nano akışkanın kararsızlığı artmakta ve baz sıvı içinde asılı nano partiküller arasındaki itici kuvvetler (hidrasyon kuvvetleri) sıfıra yaklaşmaktadır. Sonuç olarak çökme gibi ısı transferini azaltacak durumlar ortaya çıkmaktadır. Çökelmenin engellenmesi ve nano akışkanın kararlılığının korunması için nano partiküller arasındaki hidrasyon kuvvetlerinin yüksek olması gerekmektedir. Fakat

çok yüksek olan bu kuvvetler de kararsızlık yaratacağı için nano akışkanların PH değerinin 7'ye yakın olması nano akışkanın kararlılığı için önemlidir.

Yüzey aktifleştirici eklenerek nano akışkanın kararlılığının artırılması verimli ve maliyeti az bir yöntem olsa da yüzey aktifleştiricinin ısı direnci artırması, ısıtma veya soğutma işlemleri sırasında köpük oluşması ve nano akışkanın viskozitesini artırması gibi olumsuz etkileri de mevcuttur. Bu sorunların üstesinden gelmek için yüzeylerinde iyileştirme yapılmış nano partiküller kullanılarak nano akışkan hazırlanmaktadır. Sonuç olarak düşük viskoziteye sahip ve akışkanlığı iyi olduğu için çökeltme riski olmayan, uzun dönemde yüksek kararlılığa sahip nano akışkanlar oluşturulabilmektedir [76].

4.4.2. Fiziksel yöntemler

Ultrasonik banyo ve homojenleştirme gibi yöntemler ise fiziksel yöntemlerdir. Fiziksel yöntemlerde kümelenmiş ve çökelti oluşturmuş nano partiküllerin dağıtılması amaçlanmaktadır.

Ultrasonik banyo, nano akışkanlardaki nano partiküllerin çökmesinin engellenmesi amacıyla kullanılan fiziksel bir tekniktir. Ultrasonik banyo süresince nano akışkanda köpük oluştuğu hatta banyo işlemi sırasında ısı üretildiği için nano akışkanın ısısının arttığı ve öz kütle, viskozite, ısı iletkenlik ve kararlılık gibi farklı parametrelerin de etkilendiği gözlemlenmiştir. Ultrasonik banyoya ek olarak bir prob yardımıyla da bu teknik uygulanabilmektedir. Bu yöntemde, çok yüksek frekanslarda ultrasonik dalgaların nano akışkana uygulanmasıyla kararlılık artırılmaktadır.

Nano akışkanlara oluşan yığılma ve topaklanmaları önlemek için ultrasonik banyoya ek olarak homojenleştirme yöntemi de uygulanmaktadır. Basınçla uygulanan parçalayıcılarla bu teknik gerçekleştirilmekte ve yüksek kararlılığa sahip nano akışkanlar elde edilmektedir [76].

4.5. Nano Akışkan Uygulamaları

Nano akışkanlar kullanım amaçlarına göre ısı transferi performansının iyileştirilmesi, enerji uygulamaları, mekanik uygulamalar ve biyomedikal uygulamalar olarak dört ana

başlık altında gruplandırılmıştır. Bu ana başlıklar doğrultusunda nano akışkanların uygulama alanları açıklanmıştır [77].

4.5.1. Isı transferi performansının iyileştirilmesi

Isı transferi performansının nano akışkanlar kullanılarak iyileştirilmesi prensibi elektronik, ulaşım ve taşımacılık, endüstriyel soğutma ve ısıtma sistemleri, nükleer soğutma sistemleri, uzay ve savunma sanayi gibi birçok farklı sektörde mevcut sistemlerin iyileştirilmesi ve bazı sorunlara çözüm bulunması amacıyla kullanılmaktadır.

Daha kompakt ve küçük boyutlarda üretilen mikro çip gibi elektronik bileşenlerin tasarımı, ısı dağılımını daha zor hale getirmektedir. Yüksek miktarda açığa çıkan yüksek ısıların çok küçük yüzey alanları ile atılması gibi farklı zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluğa karşı elektronik bileşenlerin yüzey geometrilerinin ısı transferi açısından en verimli şekilde tasarlanması veya elektronik bileşenlerin ısı transferi kapasitesinin artırılmasıdır. Elektronik bileşenlerde soğutma sıvısı olarak baz sıvı yerine nano akışkan kullanıldığında ısı iletkenlik katsayısının artmasıyla ısı transferi katsayısı artırılmaktadır. Bu sayede ısı transferi kapasitesi artırılarak daha yüksek soğutma verimliliğine sahip elektronik bileşenler elde edilmektedir. Elektronik bileşenlere ek olarak bilgisayarlarda da nano akışkanlı sıvı soğutma sistemlerinden faydalanılmaktadır.

Nano akışkanlar, otomotiv ve ağır taşıt sektöründe kullanılan araçlardaki soğutma sistemlerinin verimliliğini artırma konusunda büyük potansiyele sahiptir. Isı kontrol sistemlerinin ağırlığını ve karmaşıklığı azaltarak daha kompakt sistemlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Nano akışkanlar kullanılarak geliştirilen soğutma hızları sayesinde aynı boyutta soğutma sistemine sahip fakat daha yüksek beygir gücünde motorlar üretilebilir. Alternatif olarak daha küçük ve daha hafif radyatörlerle daha kompakt bir soğutma sistemi de tasarlanabilir [77].

Ayrıca nano akışkanlar yakıtlarda verimin artırılması içinde kullanılabilir. Alüminyum nano partiküllerden oluşan nano akışkan kullanılarak yanma işlemi sırasında hidrojenin sudan daha fazla ayrışması sağlanabilmektedir. Baz sıvı olarak suyun kullanıldığı alümina nano partiküllerinden oluşan nano akışkan ile karıştırılmış dizel yakıtın yanması sırasında açığa çıkan yanma ısı artırılabilmektedir. Yanma işlemi

sonrası açığa çıkan duman ve azot oksidi de azaltarak dizel motorlardaki emisyonu azaltmıştır.

Araçlardaki yakıt ve soğutma sistemlerinin yanı sıra geliştirmekte olan teknolojiyle birlikte daha hızlı araçların üretilmesiyle özellikle fren mekanizmalarında daha verimli ısı yayma mekanizmalarına ihtiyaç artmaktadır. Yüksek hızlardaki bir aracın fren yaptığı anda sahip olduğu kinetik enerji frenlemeyle birlikte ısı enerjisine dönüşmektedir. Isı iletkenliği düşük olan bir fren sıvısı kullanıldığında ise ısıyı iletmede zorlanan sıvı belli bir süre sonra kaynama noktasına ulaşabilir ve araçtaki diğer sistemlere zarar verebilir. Bu nedenle ısı transferini artıracak nano akışkanların araçlarda kullanımları üzerine çalışmalar yapılmaktadır [78].

Sanayide ve konutlardaki soğutma ve ısıtma uygulamalarında geleneksel olarak kullanılan suyun yerine ısı transferi kapasitesi daha yüksek olan nano akışkanların kullanılmasıyla yüksek miktarda enerji tasarrufu ve atmosfere salınan emisyon gazları önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu sayede sadece sistemdeki akışkanın nano akışkan ile değiştirilmesiyle önemli ölçüde verimlilik artışı sağlanabilmektedir [79].

Nükleer enerji santrallerinde bulunan basınçlı su reaktöründe kritik ısı akısı su buharı üretim işlemini sınırlandırmaktadır. Reaktörde kullanılan yakıt çubukları soğutma sıvısı olarak kullanılan suyun içinde tutulmaktadır. Fakat çok ısınan su kaynamaya başladığında su artık yakıt çubuklarına temas etmemektedir. Bu nedenle enerji üretiminde verim azalmaktadır. Su yerine nano akışkan kullanıldığında ise nano akışkanın içindeki nano partiküller adeta kaplama gibi davranarak yakıt çubuğunun dış yüzeyinde durmakta ve yakıt çubuğunun etrafında su buharından bir katman oluşmasını engelleyerek yakıt çubuğunun aniden aşırı ısınmasını engellemekte ve reaktörün verimini artırabilmektedir. Yine benzer şekilde nükleer reaktörlerdeki acil durum soğutma sistemlerinde de nano akışkanların yüksek ısı transferi performansından yararlanılarak acil durumda hızlı soğutma gerçekleştirilebilmektedir [78].

Uzay araçları, hava taşıtları, deniz altı, askeri araçlar gibi uzay ve savunma sanayindeki tasarımlarda alan, enerji ve ağırlık kısıtı olduğu için küçük boyutta yüksek verimliliğe sahip soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Nano akışkanlar geleneksel soğutma

sıvılarına kıyasla daha yüksek ısı performansına sahip olduğu için daha kompakt ve hafif tasarlanan soğutma sistemlerinde daha yüksek verim sağlayabilir [77].

4.5.2. Enerji uygulamaları

Enerji uygulamaları için nano akışkanların iki özelliğinden yararlanılmaktadır. Birincisi nano akışkanların geleneksel akışkanlara göre daha yüksek termal iletkenliğe sahip olması nedeniyle ısı transferinin artırılmasıdır. Güneş enerjisini kullanan sistemlerde ısı transferi veriminin artırılması sistemdeki enerji kazancını doğrudan artırmaktadır. Nano akışkanların enerji uygulamalarında kullanılmasını sağlayan ikinci özellikleri ise enerji depolayabilmeleridir. Güneş enerjisi sistemlerinde açığa çıkan ısı enerjisinin duyulur ve gizli ısı olarak nano akışkanlarda depolanmasıyla atık ısının azaltılması ve bu sayede ısı enerjisinin depolanmasının daha verimli hale getirilmesi hedeflenmektedir [77].

4.5.3. Mekanik uygulamalar

Torna tezgâhları gibi malzemenin işlenmesi sırasında çakının malzemeye sürtmesiyle talaşlı imalat gerçekleştiren sistemlerde nano akışkanlar soğutma sıvısı olarak kullanılabilir. Bu sayede tezgahlarda kullanılan çakının ömrü artırılabilir. Benzer şekilde taşlama tezgâhlarında da nano akışkanlar soğutma sıvısı olarak kullanılabilir. Taşlama tezgahındaki taşın işlenen malzemeye sürtmesiyle ısı ortaya çıkmakta ve yüksek ısılar malzemeyi yakarak zarar vermektedir. Bu ısıyı hızlı ve verimli şekilde düşürmek ve malzemenin yapısında yüksek ısı kaynaklı mikro çatlak oluşması, çekme geriliminin oluşması gibi olumsuzlukların ortaya çıkmasını engellemek için nano akışkanlar tercih edilmeye başlanmıştır [80].

4.5.4. Biyomedikal uygulamalar

Bazı nano partiküller anti bakteriyel olma ve ilaç taşıyıcı özelliğe sahip olmaları nedeniyle biyomedikal uygulamalarda nano akışkan olarak tercih edilmektedir. Organik anti bakteriyel malzemeler yüksek basınç ve sıcaklıklarda düşük kararlılık özelliğine sahip olduğu için metal ve metal oksitler gibi zorlu koşullara dayanıklı inorganik malzemeler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. İnorganik malzemelerin nano partikül haline getirilmesiyle oluşturulan anti bakteriyel özelliğe sahip nano akışkanlar biyomedikal

uygulamalara ek olarak yiyecek sağlığının korunması gereken durumlarda da kullanılabilmektedir. Anti bakteriyel özelliklerinin yanı sıra çok küçük boyutlarda üretilen nano partiküller ile ilaç ve gen dağıtım uygulamaları denenmektedir. Nano partiküllerin küçük boyutlarda olmasıyla hücre içi ilaç salınımının etkili ve seçici bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca kanser tedavisinde de hücredeki reseptörleri uyarıcı nano partiküllerin eklenmesiyle kanser tedavisinde nano akışkan kullanarak iyileştirme yapılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. [64].



5. TEORİK ANALİZ

Tez çalışmasında ısı performansını incelenen hibrit nano akışkanın termo fiziksel özellikleri nano partiküllerin hacimce konsantrasyonunu simgeleyen (φ) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan hibrit nano akışkanın yoğunluğu Eşitlik 5.1, özgül ısısı Eşitlik 5.2, termal iletkenlik katsayısı Eşitlik 5.3 ve dinamik viskozitesi Eşitlik 5.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_{nanoakışkan} = \varphi \times (1 - \varphi) \times \rho_{temel sıvı} \quad (5.1)$$

$$c_{p,nanoakışkan} = \varphi c_p \times (1 - \varphi) \times c_{p,temel sıvı} \quad (5.2)$$

$$k_{nanoakışkan} = k_{temel sıvı} \times \left[\frac{k_{partikül} + 2k_{temel sıvı} + 2\varphi(k_{partikül} - k_{temel sıvı})}{k_{partikül} + 2k_{temel sıvı} - 2\varphi(k_{partikül} - k_{temel sıvı})} \right] \quad (5.3)$$

$$\mu_{nanoakışkan} = \mu_{temel sıvı} \times (1 + 2,5\varphi) \quad (5.4)$$

İç içe eş merkezli boru ısı değiştirici ve plakalı ısı değiştiricide ısı geçişi, sıcak akışkandan birim zamanda atılan ısı ($\dot{Q}_{sıcak}$) ve ısıtıcı akışkana birim zamanda yapılan ısı transferi ($\dot{Q}_{soğuk}$) olarak tanımlanabilir. $\dot{Q}_{sıcak}$ ve $\dot{Q}_{soğuk}$ sırasıyla Eşitlik 5.5 ve Eşitlik 5.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{sıcak} = \dot{m}_{sıcak} \times c_{p,sıcak} \times (T_{sıcak,giriş} - T_{sıcak,çıkış}) \quad (5.5)$$

$$\dot{Q}_{soğuk} = \dot{m}_{soğuk} \times c_{p,soğuk} \times (T_{soğuk,giriş} - T_{soğuk,çıkış}) \quad (5.6)$$

İç içe eş merkezli ısı değiştiricilerde gerçekleştirilen deneylerde içteki borunun et kalınlığından meydana gelecek direnç ihmal edildiğinde ve plakalı ve iç içe eş merkezli ısı değiştiricilerde yapılan deneylerde ölçüm cihazdan ve okuma hatalarından kaynaklı hatalar ihmal edildiğinde, sıcak akışkandan birim zamanda atılan ısı miktarının soğuk akışkana birim zamanda yapılan ısı transferi miktarına eşit olduğu durumda yani Eşitlik 5.7 sağlandığında maksimum verim sağlandığı kabul edilmektedir.

$$\dot{Q}_{sıcak} = \dot{Q}_{soğuk} \quad (5.7)$$

İç içe eş merkezli boru boyunca, hibrit nano akışkan ile boru yüzeyi arasındaki ısı transferi Eşitlik 5.8 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q} = h \times A \times \Delta T_{ln} \quad (5.8)$$

Eşitlik 5.8'deki h ($W/m^2 K$), akışkan ile boru iç yüzeyi arasındaki ısı taşınım katsayısını, A (m^2) borunun iç yüzeyindeki ısı transfer alanını, ΔT_{ln} ise hibrit nano akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki logaritmik ortalama sıcaklık farkını göstermektedir (Eşitlik 5.9).

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{giriş} - \Delta T_{çıkış}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{giriş}}{\Delta T_{çıkış}} \right)} \quad (5.9)$$

Toplam ısı transfer katsayısı U ($W/m^2 K$) Eşitlik 5.10 ile hesaplanmıştır.

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \times \Delta T_{ln}} \quad (5.10)$$

$\dot{Q}$ ısı transferi miktarı eş merkezli iç içe boru ısı değiştiricide $\dot{Q}_{sıcak}$, plakalı ısı değiştiricisinde $\dot{Q}_{ortalama}$ olarak alınmıştır. $\dot{Q}_{ortalama}$ ise Eşitlik 5.11 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{ortalama} = \frac{\dot{Q}_{sıcak} + \dot{Q}_{soğuk}}{2} \quad (5.11)$$

Sistemdeki ekserji kaybı ($\dot{X}$) Eşitlik 5.12 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{X} = (T_{çevre} \times \dot{m}_{sıcak} \times c_p \times \ln \left(\frac{T_{sıcak, çıkış}}{T_{sıcak, giriş}} \right)) + (T_{çevre} \times \dot{m}_{soğuk} \times c_p \times \ln \left(\frac{T_{soğuk, çıkış}}{T_{soğuk, giriş}} \right)) \quad (5.12)$$

Isı değiştiricilerdeki ısı performansın nano akışkan kullanılarak artırılmasının CO₂

salınımı ve CH₄ tüketimine olan etkisi Denklem 5.13 kullanılarak hesaplanmıştır. Isı değiştiricilerde soğuk akışkanın ısı değiştiriciye giriş sıcaklığı ve soğuk akışkanın sistemi terk ettiği sıcaklık dikkate alınarak Eşitlik 5.5 ile soğuk akışkanın istenilen sıcaklığa ulaşabilmesi için alması gereken enerji miktarı hesaplanmıştır. Doğal gaz kullanarak elektrik üreten gaz türbininde üretilmesi gereken ısı miktarı Eşitlik 5.14 ile hesaplanmıştır.



$$Q_{\text{gastürbini}} = \frac{Q_{su}}{\eta} \quad (5.14)$$

Eşitlik 5.14'teki η elektrik üretimi için kullanılan gaz türbinin verimliliğini göstermektedir.

Gaz türbininde üretilmesi gereken ısı miktarı için gereken doğal gaz ihtiyacı ise gaz yakıtın ısı değeri ve Eşitlik 5.15 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YM = \frac{Q_{\text{gastürbini}}}{ID_{\text{CH}_4}} \quad (5.15)$$

Eşitlik 5.15'teki YM gaz türbini için gereken yakıt miktarını, ID_{CH_4} doğal gazın ısı değerini (kcal/m³) göstermektedir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışma süresince test koşullarından, cihaz kaynaklı hatalardan, kalibrasyondan, sensör okuma hatalarından ve bağlantı noktaları kaynaklı belirsizliklerin belirlenmesi için belirsizlik analizi uygulanmıştır. Eşitlik 5.16'da belirtilen $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ büyüklüklerinin etkilediği R değeri ve R değerinin büyüklüğünün toplam belirsizliği W_R olarak ifade edilmektedir. Bağımsız değişkenlerin hata oranları ise $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ olarak kabul edilmiştir [81]. Ölçme belirsizliklerinin etkisini en aza indirmek için elde edilen veriler deneylerin üç defa tekrarlanmasıyla ortalama değerler olarak alınmış olup her bir sıcaklık değeri için standart sapma %2 – %2,4 arasındadır.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.16)$$



6. MATERYAL METOD

Deneylerde kütlece %0,5 CuO, %0,5 grafen nano plaka, %0,05 yüzey aktifleştirici madde içerecek şekilde toplam 5 litre nano akışkan hazırlanmıştır. Kullanılan hibrit nano akışkanın bileşimi %99,9 saflıkta, 38 nm boyutunda CuO ile %99,9 saflıkta 3nm boyutunda ve 1.5 µm çapında GNP nano partiküllerinden oluşmaktadır. Kimyasal formülü $C_{18}H_{29}NaO_3S$ olan sodyum dodesil benzen sülfonat, nano partiküllerin su içinde çökelme olmadan dağılmasını ve nano akışkanın daha kararlı olması amacıyla seçilmiştir. Nano akışkan hazırlanırken yaygın olarak kullanılan iki aşamalı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemle kuru toz formunda hazırlanan nano partiküller, nano akışkanın kararlılığının artırılması ve nano partiküllerin baz sıvıda yüksek dağılım göstermesi için ultrasonik banyo cihazında 3 saat bekletilmiştir. İki aşamalı yöntem uygulandıktan sonra yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi oluşabilmektedir. Bu, nano partiküllerin birikmesine neden olmaktadır. Yüzey aktifleştirici madde nano partiküllerin birikmesini önlemek ve kararlılığını artırmak için kullanılmıştır. Saf su (de iyonize su), CuO, grafen nano plaka ve yüzey aktifleştiriciden oluşan 5 litrelik nano akışkan Resim 6.1'de gösterildiği gibi 3 saat ultrasonik banyoda bekletilerek de saf suda nano tozların homojen dağılımı sağlanmıştır.



Resim 6.1. Ultrasonik banyoda tutulan hibrit nano akışkan

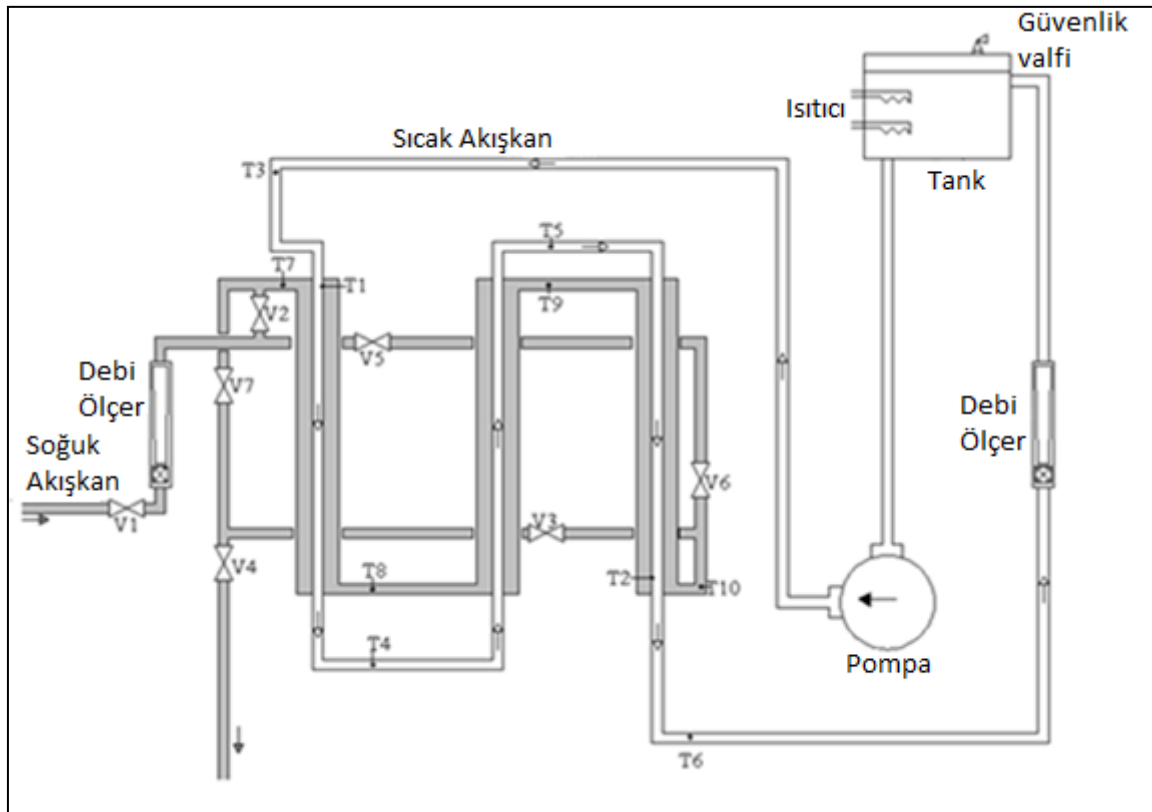
Çizelge 6.2. Ultrasonik banyo cihazının özellikleri

Özellik	Değer
Voltaj (V/Hz)	230/50
Ultrasonik Güç (Pik/W)	600/300
Ultrasonik Frekans (kHz)	28

Ultrasonik banyo sonrası nano akışkandan alınan numunelerin 24 saat sonraki görüntüsü Resim 6.3'te verilmiştir. Herhangi bir çökelme sorunu oluşmamış ve nano akışkanın kararlılık açısından tatmin edici görüntüdedir.

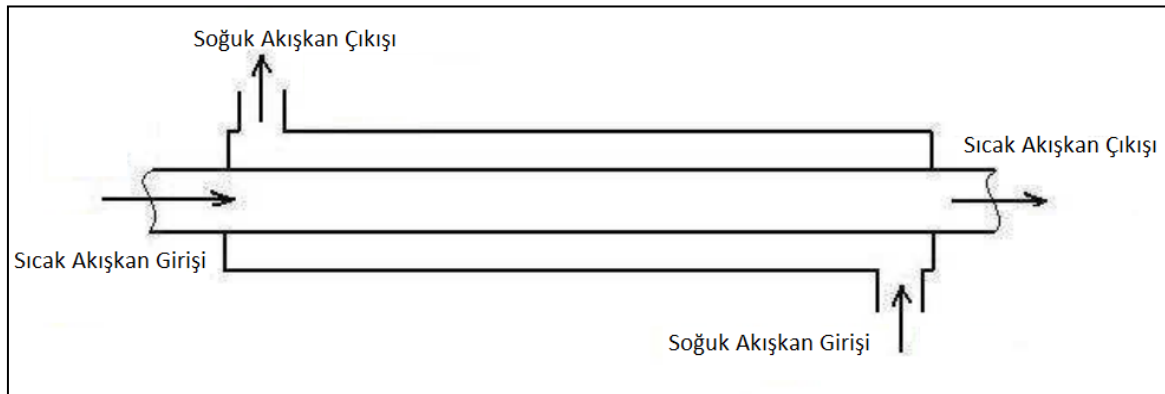


Resim 6.3. Hibrit nano akışkan çözeltisi



Şekil 6.4. İç içe eş merkezli borulu ısı değiştirici deney düzeneği [82]

Bu tez çalışmasında, biri eş merkezli iç içe borulu ısı değiştirici diğeri plakalı ısı değiştirici için olmak üzere iki farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Eş merkezli borulu ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyin kurulumu Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan sıcak ve soğuk akışkanlar, ısı transferi performansının ölçülmesi için farklı kütle akış hızlarında ve sıcaklıklarda gözlemlenmiştir. Şekil 6.4'te gösterilen kurulum, deneyi herhangi bir dış etkileşime karşı güvenilir kılmak için yüksek kaliteli cam takviyeli malzemeden yapılmış plastik bir panel üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 6.4'te gösterilen kurulum kullanılarak paralel ve zıt türbülanslı akışlar için toplam ısı transferi, toplam ısı transfer katsayısı ve yüzey ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Kurulumu, sıcak ve soğuk akışkanların aynı yönde aktığı paralel akış durumunda çalıştırmak için Şekil 6.4'te belirtilen V1, V2, V3 ve V4 valfleri açılmış ve V5, V6 ve V7 valfleri kapatılmıştır. Kurulum, zıt akışlı ısı değiştirici olarak çalıştırılmak istendiğinde V1, V4, V5, V6 ve V7 vanaları açılmış ve V2 ve V3 vanaları kapalı konumda tutulmuştur. Deneysel eş merkezli borulu ısı değiştirici kurulumunda başlıca iki döngü vardır. Birinci döngü, bir elektrik dirençli su ısıtıcısı tarafından sağlanan sıcak sıvının, ısı değiştiricinin borularında bir pompa tarafından sirküle edildiği sıcak döngüdür. Deney seti çalışırken, sıcak akışkan ısı değiştiriciden geçerek döngünün ucuna yerleştirilen akış ölçere ulaşır. Sıcak akışkan, ısı değiştiriciden geçerken sıcaklık düşüşü ile soğuduğu için yeniden ısıtma amacıyla ısıtma tankına gelir. İkinci döngü ise soğuk akışkan olarak kullanılan soğuk suyun akış ölçer aracılığıyla sisteme girdiği soğuk akışkan döngüsüdür. Daha sonra soğuk su ısı değiştiriciden geçerek sistemden çıkmaktadır.



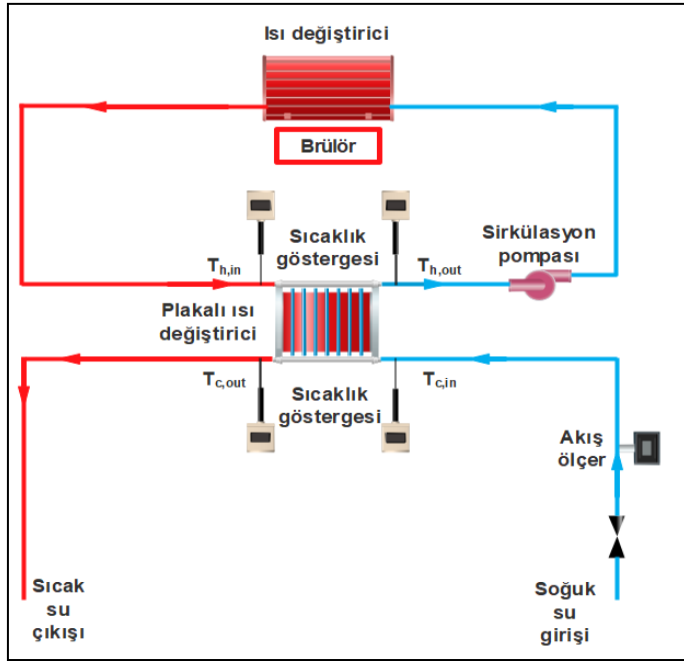
Şekil 6.5. İç içe eş merkezli borulu ısı değiştirici zıt akışlı deney düzeneği [83]

Şekil 6.5'te gösterildiği gibi, sıcak akışkan olarak kullanılan hibrit CuO - grafen nano plaka nano akışkan iç borudan, soğuk akışkan olarak kullanılan su ise dış borudan

geçmektedir. İç borudaki sıcak akışkan sirkülasyonu, pirinç ve paslanmaz çelikten yapılmış bir santrifüj pompa ile sağlanmaktadır. Sıcak akışkan, paslanmaz çelikten yapılmış bir kap içerisine yerleştirilen 2 adet elektrikli ısıtıcı ile hazırlanmaktadır. Sistemin güvenliği için yüksek sıcaklığa karşı tank içerisine devre kesiciler, kontrolsüz basınç yükselmesine karşı dışarıdan termostatlı otomatik basınç düşürme vanası ve sistemin su seviyesini kontrol etmek için su seviyesi gözetleme camı bulunmaktadır. Sistemde dolaşan akışkanların debisini ölçmek için soğuk akışkan ve sıcak akışkan devrelerine bir debimetre takılmıştır. Sistemin farklı noktalarındaki sıcaklıkları ölçmek için 10 adet termokupl kullanılmış ve bu sıcaklıkları okumak için dijital bir sıcaklık göstergesi kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan aletlerin teknik özellikleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Deneyde kullanılan donanım, cihaz, ölçü ve kontrol aletlerinin teknik özellik ve kapasite değerleri

Donanım, Cihaz, Ölçü ve Kontrol Aleti	Özelliği ve Kapasitesi
Pompa Basma Yüksekliği (<i>bar</i>)	5
Isıtıcı Gücü (kW / Adet)	1,5
Soğuk Akışkan Döngüsü Debimetresi ($g \cdot s^{-1}$)	4 - 50
Sıcak Akışkan Döngüsü Debimetresi ($g \cdot s^{-1}$)	3 - 10
Termokupl Tipi (Tip)	J
Sıcaklık Göstergesi Hassasiyeti ($^{\circ}C$)	0,1
Borulu Isı Değiştirici İç Boru İç Çapı (mm)	7,9
Borulu Isı Değiştirici İç Boru Dış Çapı (mm)	9,5
Borulu Isı Değiştirici Dış Boru İç Çapı (mm)	11,1
Borulu Isı Değiştirici Dış Boru Dış Çapı (mm)	12,7
Uzunluk (mm)	3x350 mm
Isıtma Yüzey Alanı (iç boru) İç Isı İletim Alanı (m^2)	0,026
Isıtma Yüzey Alanı (iç boru) Dış Isı İletim Alanı (m^2)	0,031
Ortalama Isı Transferi Alanı (m^2)	0,0288
Akış Alanı (m^2)	49×10^{-6}



Şekil 6.7. Plakalı ısı değiştirici deney düzeneği [23]

Plakalı ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyin kurulumu Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Deney düzeneğinde başlıca iki döngü vardır. Bunlar sıcak ve soğuk döngülerdir. Sıcak döngü, sıcak akışkanın ana ısı değiştirici ile plakalı ısı değiştirici arasında dolaştırıldığı kapalı bir döngüdür. Sıcak akışkan olarak kullanılan grafen nano plaka - CuO / de iyonize sudan oluşan nano akışkan, LPG tüketen atmosferik bir brülör ile ısıtılmıştır. Soğuk döngü, soğuk suyun sırasıyla kontrol vanası, akış ölçer ve plakalı ısı değiştiriciden geçtiği ve ardından sistemden tahliye edildiği açık bir döngüdür. Soğuk akışkan, plakalı ısı değiştiriciden geçerken sıcak akımdan ısıyı emer ve sistemi ısıtılmış olarak terk eder. Her bir kütle akış hızı için 4 farklı sıcaklık değeri ölçülmüştür. Soğuk ve sıcak akışların sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları dört K-tipi termokupl ile ölçülmüş ve veri kaydedici aracılığıyla okunmuştur. Bu deneyde kullanılan plakalı ısı değiştiricinin teknik özellikleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Deneylerde kullanılan plakalı ısı değıştiricinin teknik özellikleri

Parametreler	Özelliği ve Kapasitesi
Plaka Uzunluğu (mm)	208
Plaka Genişliği (mm)	76
Bağlantı Noktaları Arasındaki Dikey Mesafe (mm)	172
Bağlantı Noktaları Arasındaki Yatay Mesafe (mm)	42
Plaka Kalınlığı (mm)	0,14
Plaka Sayısı	16
Eğim Açısı (°)	60

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Grafen nano plaka ve bakır oksit nano partiküllerle (CuO + GNP) baz sıvı olarak saf su kullanılarak oluşturulan hibrit nano akışkanın ısı değiştiricilerdeki performansı, türbülanslı akışta incelenmiştir. Deneyler, eş merkezli iç içe borulu ve plakalı ısı değiştiricilerde gerçekleştirilmiştir.

7.1. Eş Merkezli İç İçe Borulu Isı Değiştirici

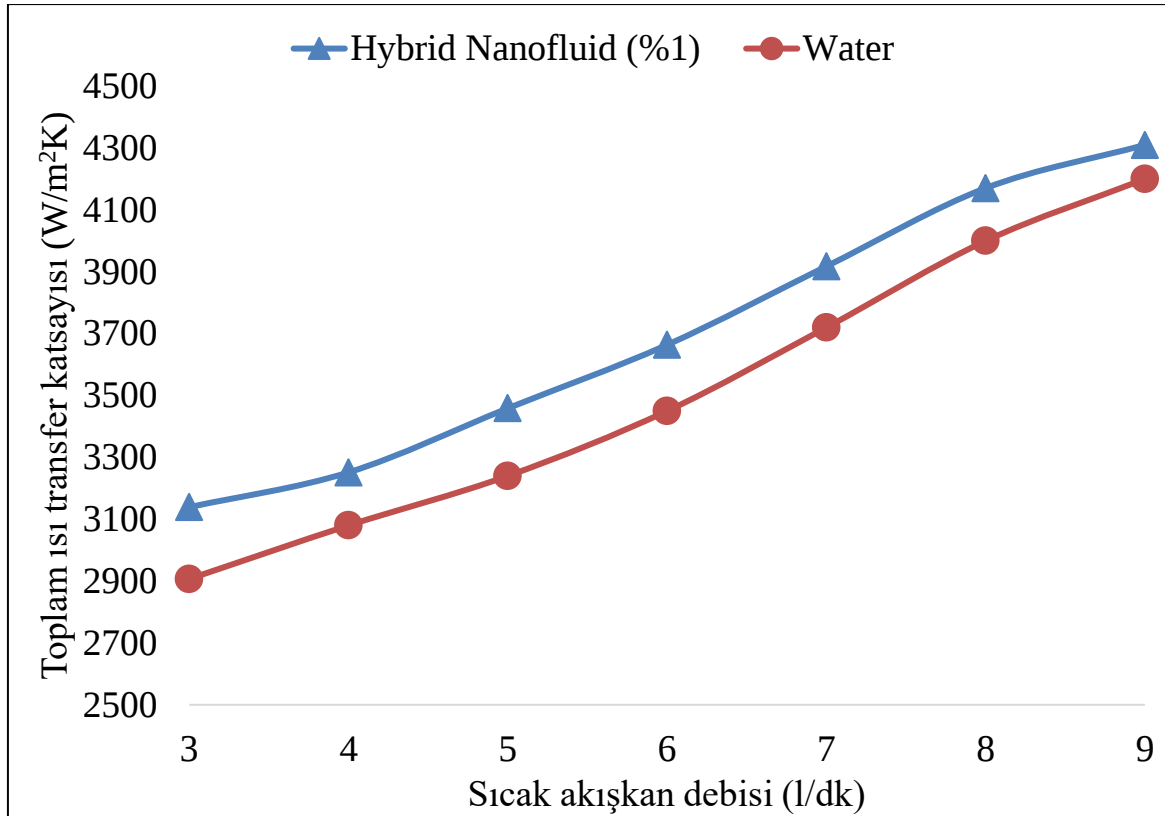
CuO + GNP hibrit nano akışkanın eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde davranışını incelemek için 5 l karışımda hacimce %0,5 partikül konsantrasyonunda CuO ve GNP nano partikülleri 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 l/dk sıcak akışkan akış debilerinde denenmiştir. Denemeler sırasında soğuk akışkan olarak kullanılan soğuk suyun debisi 10 g/s'dir. 72°C sıcak akışkanın giriş sıcaklığı şartı sağlanarak paralel ve zıt yönlü akışlarda deney gerçekleştirilmiştir.

7.1.1. Paralel akış

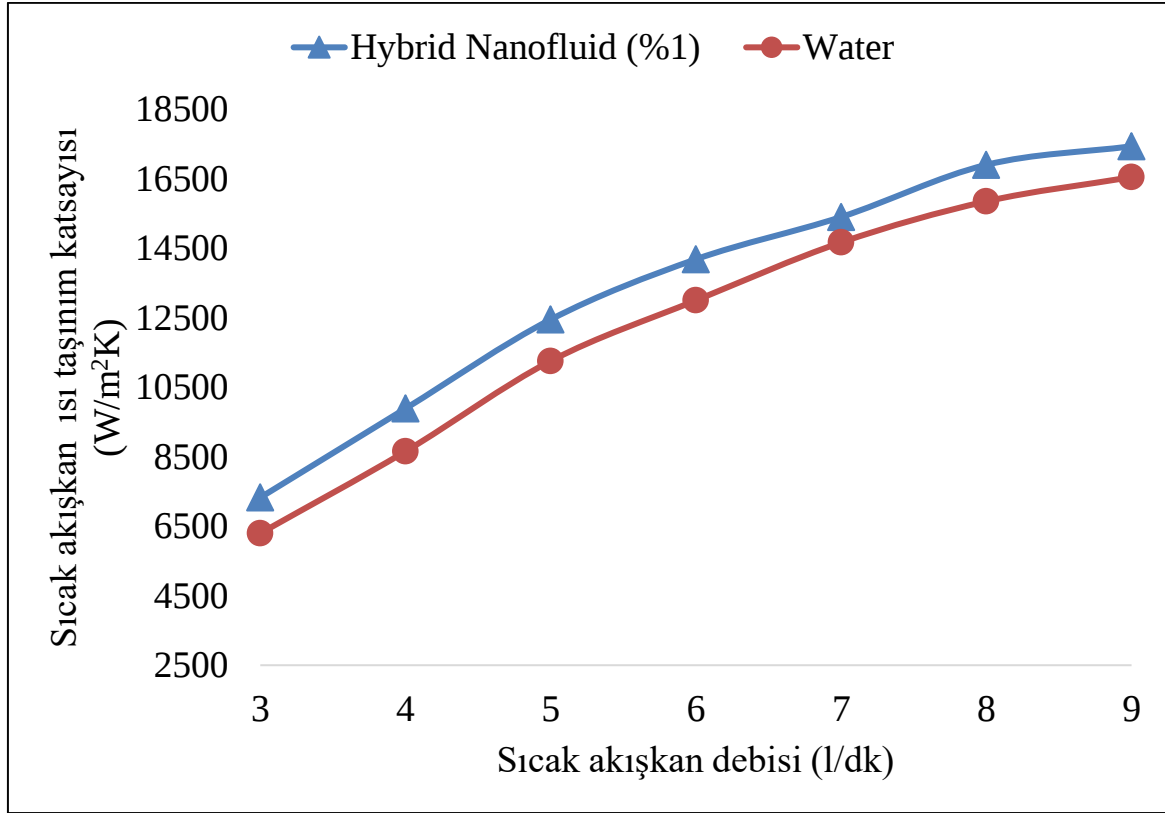
Paralel yönlü akışta su ve CuO + GNP/saf su hibrit nano akışkan için nano akışkanın akış hızına bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısının değişimi Şekil 7.1'de, sıcak akışkan olarak kullanılan hibrit akışkanın ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 7.2'de ve soğuk akışkan olarak kullanılan soğuk su için hesaplanan soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 7.3'te gösterilmiştir.

Şekil 7.1 incelendiğinde, hibrit nano akışkanın saf suya kıyasla toplam ısı transferi katsayısını ortalama %5,5 iyileştirdiği görülmektedir. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı artışı, sıcak akışkan akış hızının 3 l/dk olduğu durumda gözlemlenmiştir. Sıcak akışkan akış hızı 4 l/dk'dan 8 l/dk 'ya çıkarıldığında, toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşmenin benzer oranda arttığı görülürken, sıcak akışkan akış hızı 9 l/dk olduğunda, toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşmenin artış oranı azalmaktadır. Şekil 7.2'de ise içeriğindeki nano partiküllerin etkisiyle hibrit nano akışkanın, farklı sıcak akışkan akış hızlarında saf suya göre sıcak akışkan ısı taşınım katsayısını daha fazla iyileştirdiği görülmektedir. Fakat sıcak akışkan akış hızının artırılmasına rağmen, sıcak akışkanın ısı taşınım katsayısındaki artış çarpıcı bir şekilde değişmemektedir. Şekil 7.3'te ise sıcak

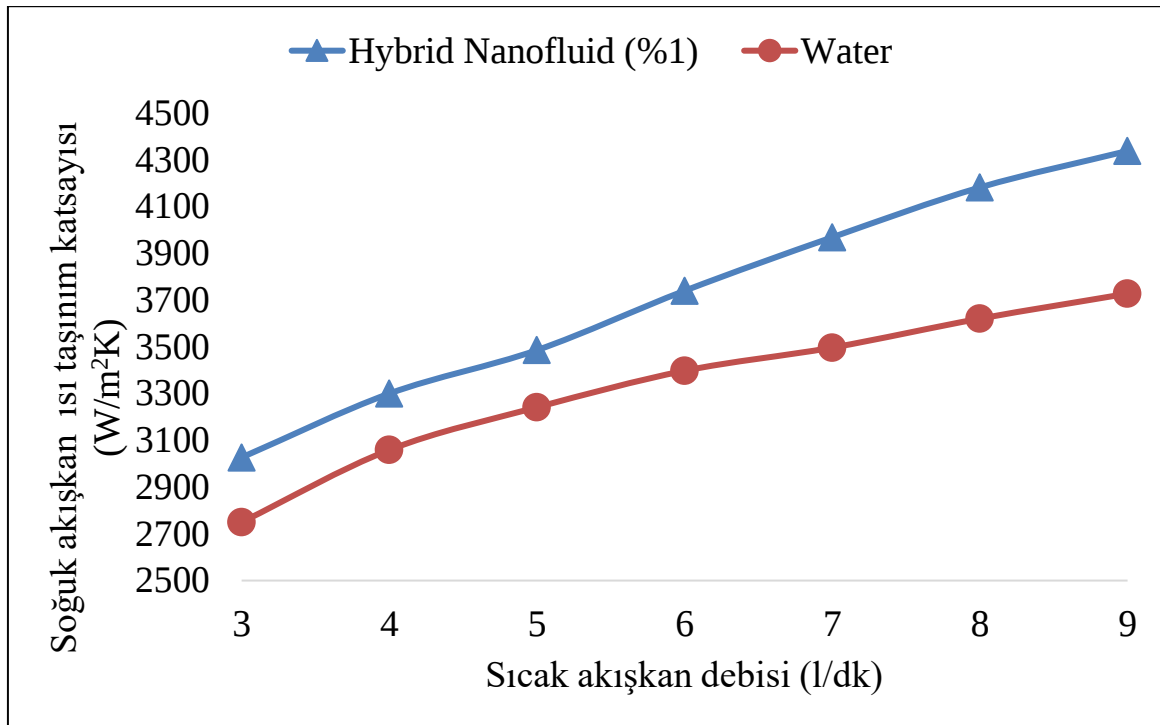
akışkan debisinin 3,4 ve 5 l/dk olduğu durumlarda, soğuk akışkan ısı taşınım katsayısında benzer oranda artış gözlemlenmektedir. Sıcak akışkan debisinin artırılmasıyla 6, 7, 8 ve 9 l/dk sıcak akışkan debi değerlerinde soğuk akışkan ısı taşınım katsayısında daha yüksek iyileşme değerleri görülmektedir. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış, sıcak akışkan debisinin 9 l/dk olduğu durumda elde edilmiştir.



Şekil 7.1. Paralel yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi



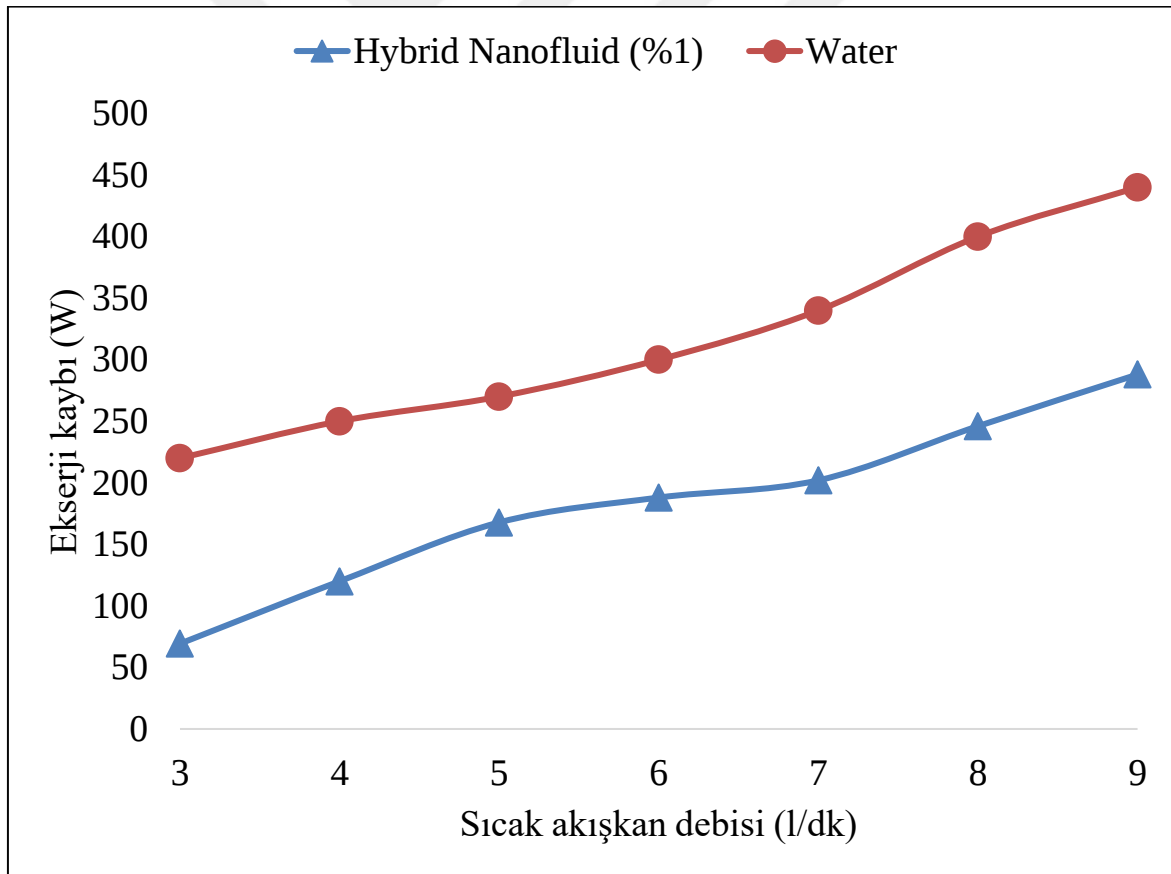
Şekil 7.2. Paralel yönlü akışta sıcak akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi



Şekil 7.3. Paralel yönlü akışta soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi

%0,5 CuO ve %0,5 GNP nano partikül konsantrasyonu için paralel akışta toplam ısı transferi katsayısında maksimum %8 ve ortalama %5,5 artış sağlanmıştır. Sıcak akışkan ısı taşınım katsayısında maksimum %16,3 ve ortalama %9,6 artış sağlanmıştır. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısı ise maksimum %16,3 ve ortalama %11,5 artış sağlanmıştır.

Şekil 7.4'te paralel yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi yer almaktadır. Tüm sıcak akışkan debi değerleri için saf su yerine hibrit nano akışkan tercih edildiğinde toplam ekserji kaybının azaldığı görülmektedir. Grafik boyunca sıcak akışkan debisi artırıldıkça toplam ekserji kaybının daha da azaldığı görülmektedir. Toplam ekserji kaybındaki en yüksek azalma, sıcak akışkan debisinin 8 ve 9 l/dk olduğu durumlarda gözlemlenmiştir. Hibrit nano akışkan kullanılarak toplam ekserji kaybı ortalama %55 oranında azaltılmıştır.

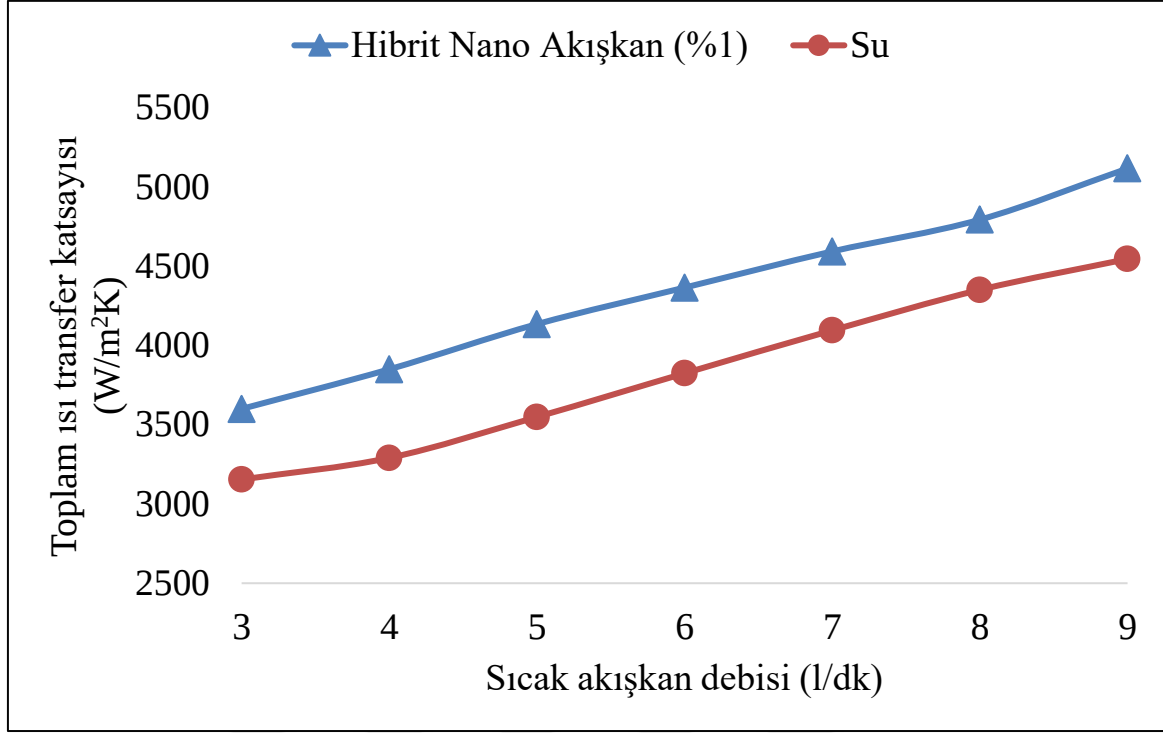


Şekil 7.4. Paralel yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi

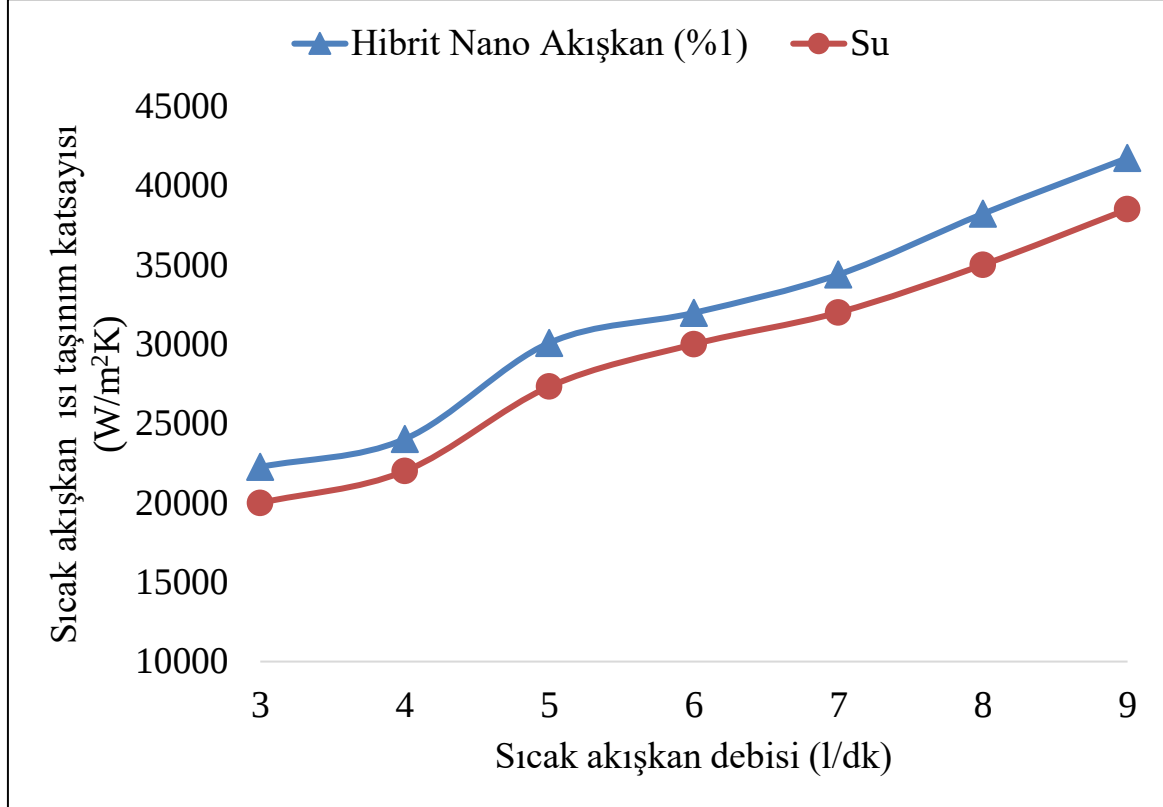
7.1.2. Zıt akış

Zıt yönlü akışta su ve $\text{CuO} + \text{GNP/saf su}$ hibrit nano akışkan için nano akışkanın akış hızına bağlı olarak toplam ısı transfer katsayısının değişimi Şekil 7.5'te, sıcak akışkan olarak kullanılan hibrit akışkanın ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 7.6'da ve soğuk akışkan olarak kullanılan soğuk su için hesaplanan soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Zıt yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi ise Şekil 7.8'de yer almaktadır.

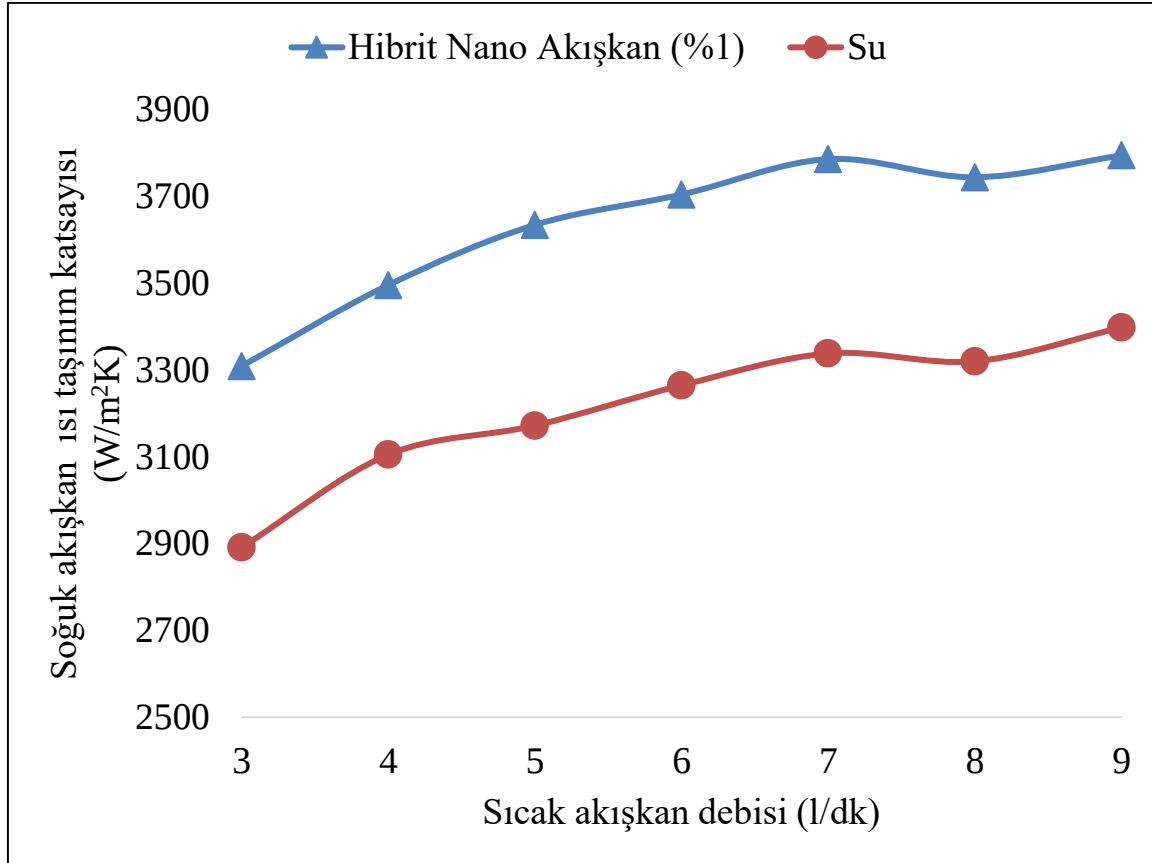
Şekil 7.5 incelendiğinde, hibrit nano akışkanın saf suya kıyasla toplam ısı transferi katsayısını daha fazla iyileştirdiği görülmektedir. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı artışı, sıcak akışkan akış hızının 3 l/dk olduğu durumda gözlemlenmiştir. Sıcak akışkan akış hızı 4 l/dk'dan 8 l/dk 'ya çıkarıldığında, toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşmenin saf suya kıyasla benzer oranda arttığı görülmektedir. Fakat sıcak akışkan debisinin 4 l/dk'dan 8 l/dk 'ya çıkarıldığı durumlarda toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranı azalmaktadır. Sıcak akışkan akış hızının 9 l/dk olduğu durumda ise toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranı tekrar artmaktadır. Şekil 7.6'da ise içeriğindeki nano partiküllerin etkisiyle hibrit nano akışkanın, farklı sıcak akışkan debi değerlerinde saf suya göre sıcak akışkan ısı taşınım katsayısını daha fazla iyileştirdiği görülmektedir.



Şekil 7.5. Zıt yönlü akışta toplam ısı transfer katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi



Şekil 7.6. Zıt yönlü akışta sıcak akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi



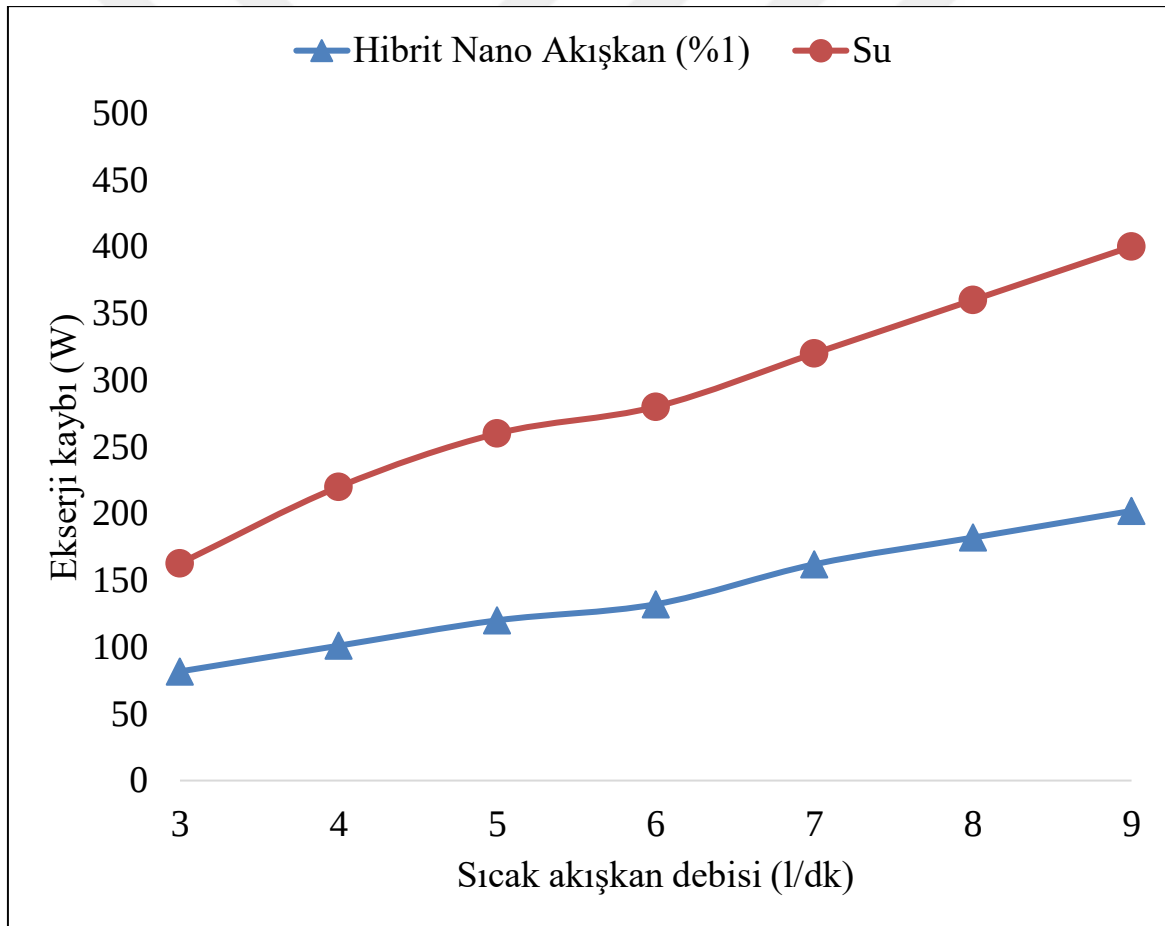
Şekil 7.7. Zıt yönlü akışta soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının sıcak akışkan debisine göre değişimi

Sıcak akışkan debi değerinin artmasıyla, sıcak akışkanın ısı taşınım katsayısındaki iyileşme oranı benzer oranda artmıştır. En yüksek sıcak akışkan ısı taşınım katsayısı iyileşme oranı, sıcak akışkan debisinin 9 l/dk olduğu durumda gözlemlenmiştir. Zıt akışta, soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileşme ise sıcak akışkan debisinin 3 l/dk'dan 7 l/dk'ya çıkarıldığı süreç boyunca Şekil 7.7'de gözlemlenmektedir. Sıcak akışkan debisinin 8 l/dk ve 9 l/dk olduğu durumlarda soğuk akışkan ısı taşınım katsayısında sıcak akışkan debisine bağlı olarak kayda değer bir iyileşme gözlemlenmemiştir. Fakat hibrit nano akışkan kullanılmasıyla saf suyun kullanıldığı deneylere kıyasla soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileşme tüm sıcak akışkan debi değerlerinde gözlemlenmiştir. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki en yüksek iyileşme oranı sıcak akışkan debisinin 3 l/dk olduğu durumda görülmüştür.

%0,5 CuO ve %0,5 GNP nano partikül konsantrasyonu için zıt akışta toplam ısı transferi katsayısında maksimum %16,9 ve ortalama %13,8 artış sağlanmıştır. Sıcak akışkan ısı

taşıyım katsayısında maksimum %16,5 ve ortalama %9,6 artış sağlanmıştır. Soğuk akışkan ısı taşıyım katsayısı ise maksimum %14,5 ve ortalama %13,2 artış sağlanmıştır.

Şekil 7.8 incelendiğinde zıt akışta, tüm sıcak akışkan debi değerleri için saf su yerine hibrit nano akışkan tercih edildiğinde toplam ekserji kaybının azaldığı görülmektedir. Sıcak akışkan debisinin artmasıyla ekserji kaybının azalma oranının da arttığı görülmektedir. Hibrit nano akışkan kullanıldığında saf suya göre toplam ekserji kaybının en yüksek oranda azalması sıcak akışkan debisinin 9 l/dk olduğu durum için gözlemlenmektedir. Hibrit nano akışkan kullanılarak saf suya göre toplam ekserji kaybı ortalama %48 oranında azaltılmıştır.



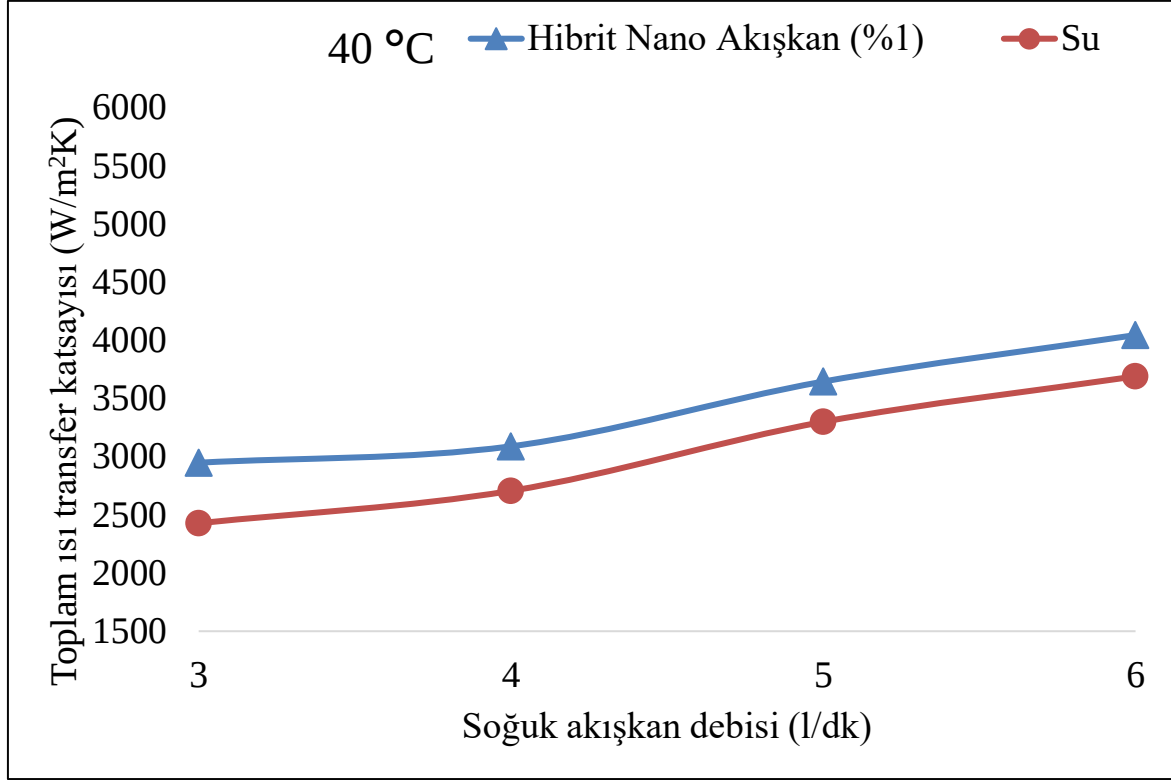
Şekil 7.8. Zıt yönlü akışta toplam ekserji kaybının sıcak akışkan debisine göre değişimi

7.2. Plakalı Isı Değiştirici

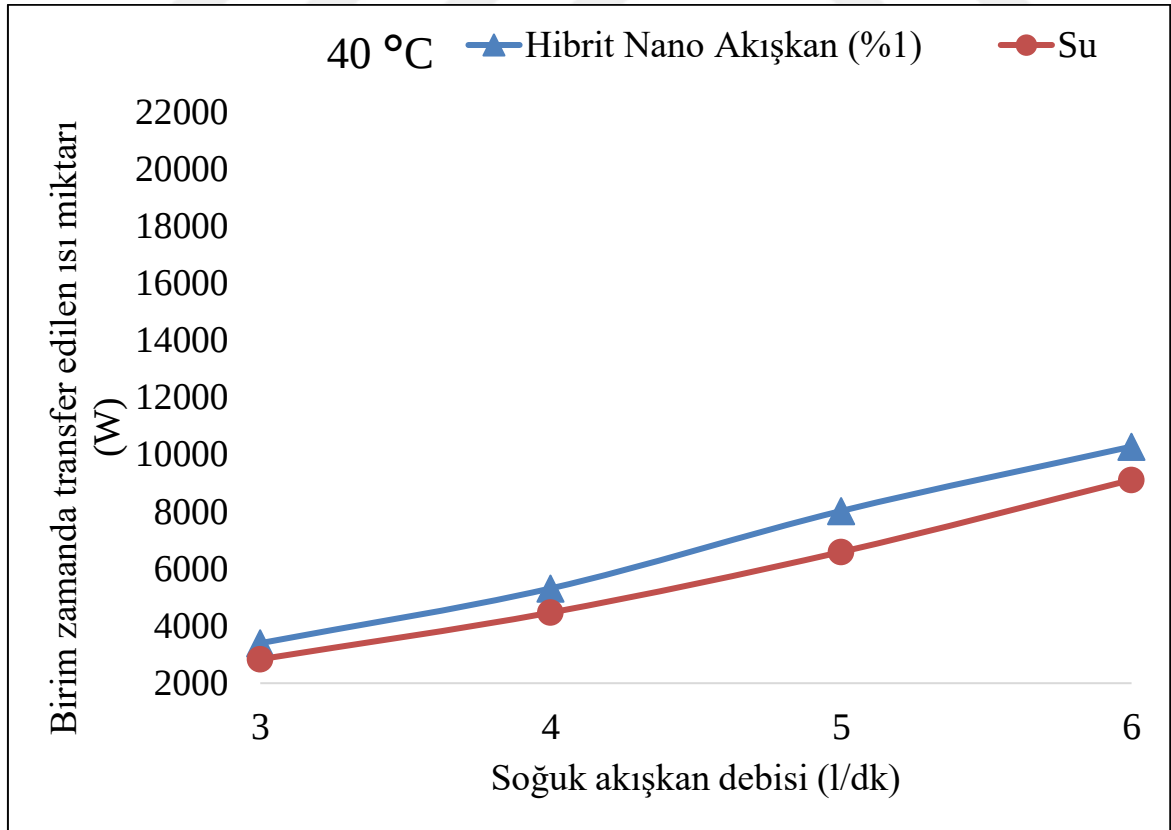
CuO + GNP hibrit nano akışkanın plakalı ısı değiştiricisinde davranışını incelemek için 8 l karışımda hacimce %0,5 partikül konsantrasyonunda CuO ve GNP nano partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk soğuk akışkan akış debilerinde denenmiştir. Soğuk akışkanın sisteme giriş sıcaklığının ortalama 15°C olduğunda soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklıklarının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu durumlar için deney gerçekleştirilmiştir. Sıcak akışkan, pompa yardımıyla plakalı ısı değiştiricide 19 l/dk debiyle dolaşmaktadır. Plakalı ısı değiştiricisi 16 plakadan oluşmaktadır.

Plakalı ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneylerin hepsinde sıcak akışkan olarak saf su yerine hibrit nano akışkan kullanıldığında toplam ısı transferi katsayısının iyileştirildiği gözlemlenmiştir. En yüksek toplam ısı transferi katsayısı iyileştirme oranı soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 60°C olduğu durumda gözlemlenmiştir. Ayrıca soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 40°C olduğu deneyler haricindeki diğer tüm deneylerde soğuk akışkan debisinin artırılmasıyla toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranının da arttığı görülmüştür. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının ise hibrit nano akışkan kullanılarak saf suya kıyasla iyileştirildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen deneyler sonucu oluşturulan tablolarda soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının ve soğuk akışkan debisinin artırılmasıyla birim zamanda transfer edilen ısı miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Soğuk akışkana olan ısı transferinin hibrit nano akışkan kullanılarak saf suya göre iyileştirildiği bulunmuştur. Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının artırılmasıyla soğuk akışkana olan ısı transferi miktarı artmaktadır. Fakat soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığı değiştirilse bile soğuk akışkana olan ısı transferi miktarındaki iyileşme oranları benzerlik göstermektedir.

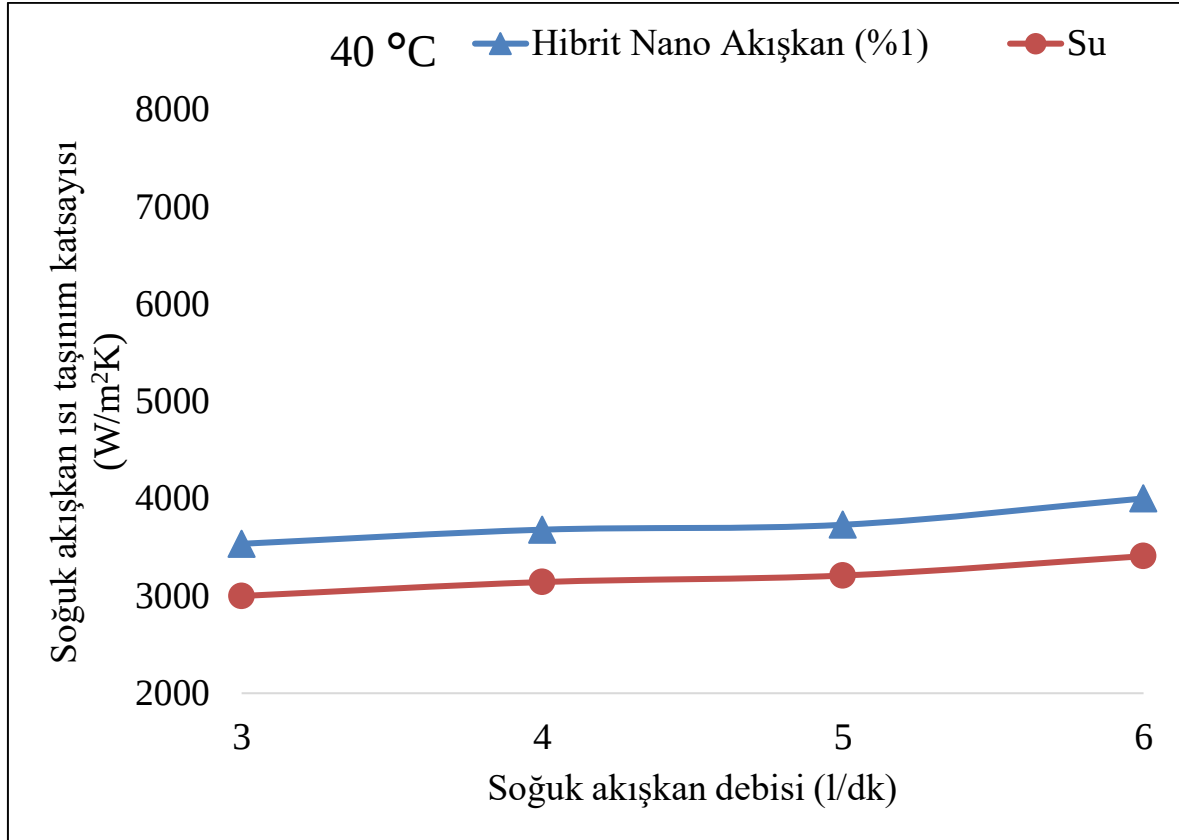
Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 40°C olduğu ve soğuk akışkan debisinin partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %21,4 ve ortalama %14 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.9). Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %21,7 ortalama %18,3 (Şekil 7.10) ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki artış maksimum %17,9 ortalama %17,1 (Şekil 7.11) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.9. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C)

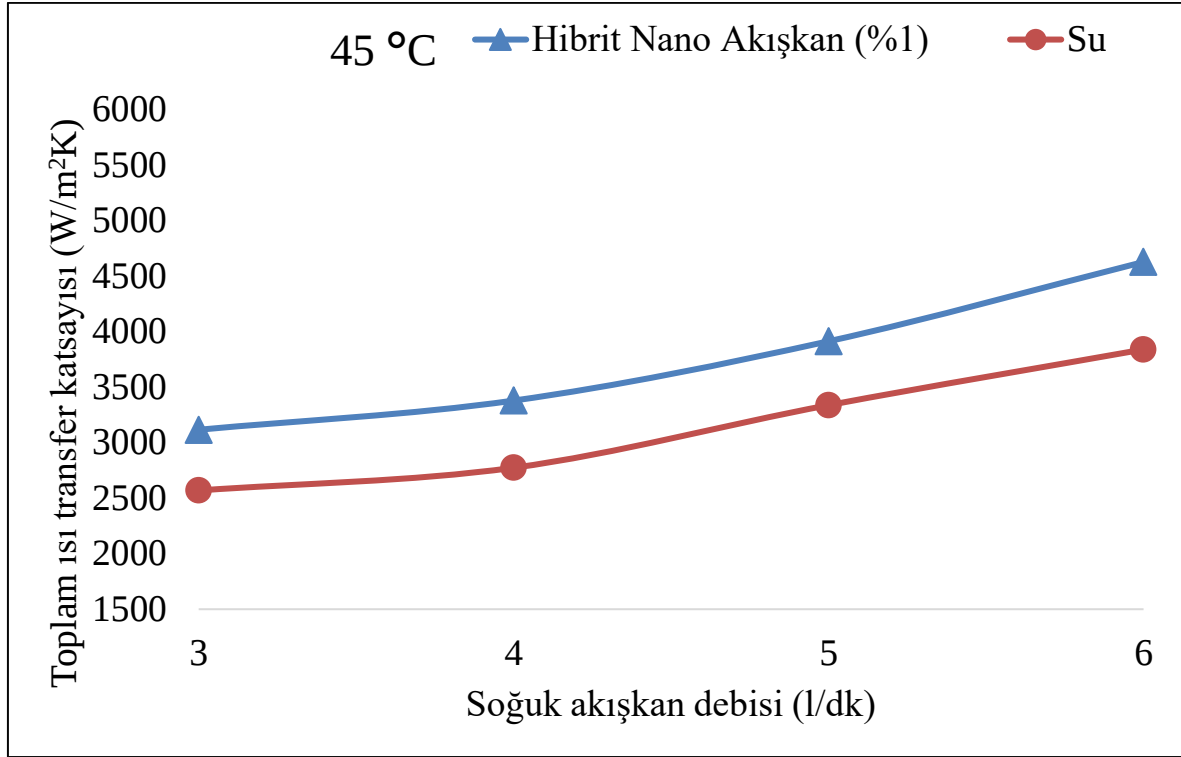


Şekil 7.10. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C)

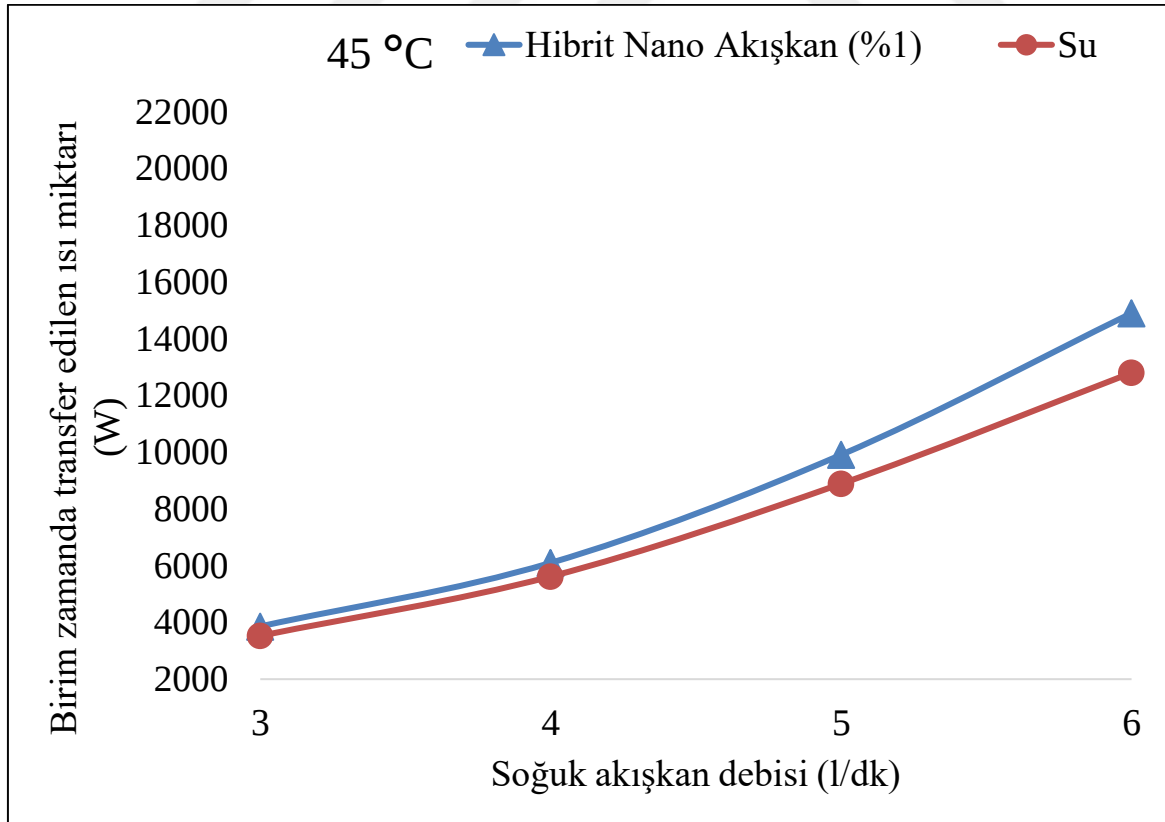


Şekil 7.11. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (40°C)

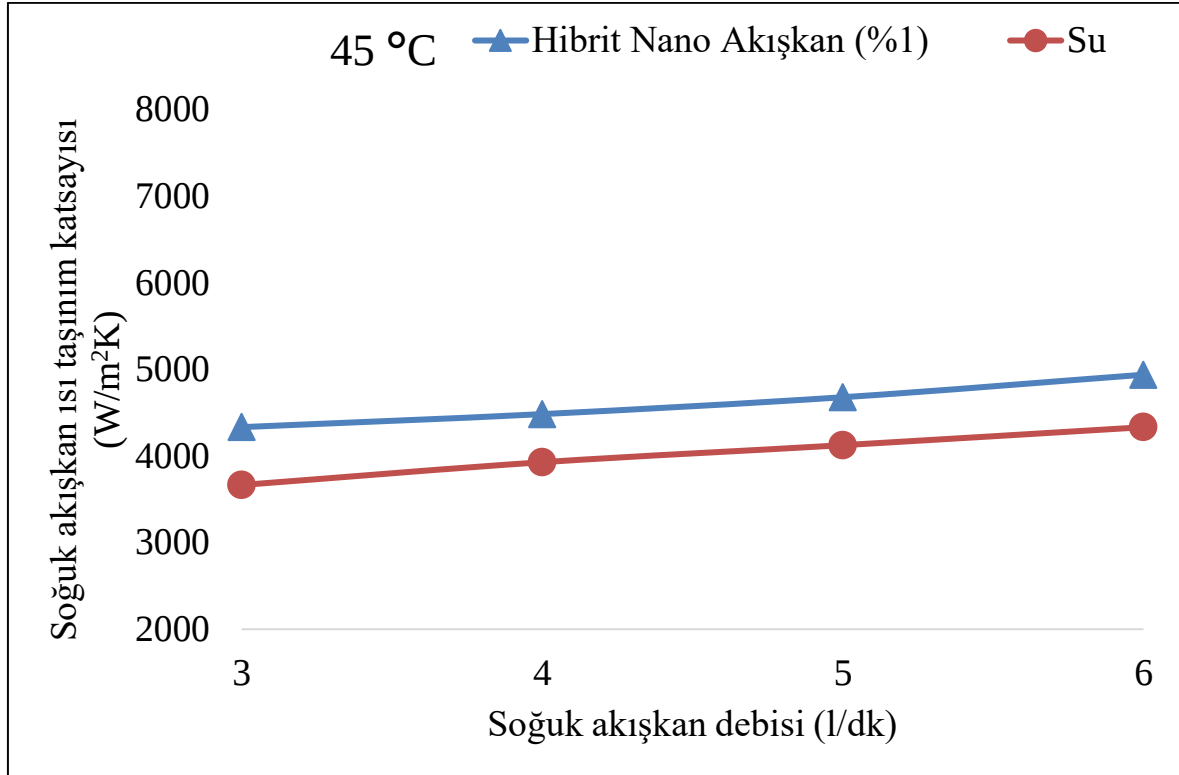
Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 45°C olduğu ve soğuk akışkan debisinin partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %21,8 ve ortalama %21,2 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.12). Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %16,4 ortalama %11,4 (Şekil 7.13) ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki artış maksimum %18,2 ortalama %14,9 (Şekil 7.14) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.12. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C)

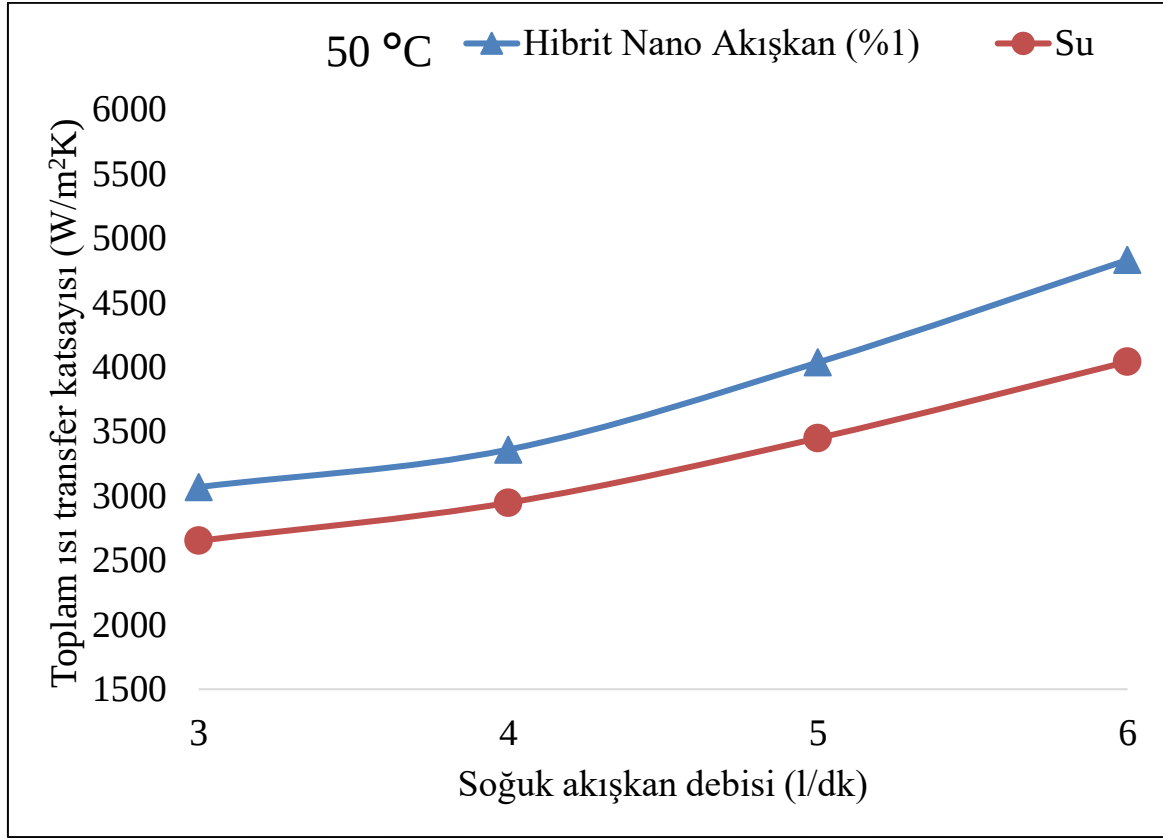


Şekil 7.13. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C)

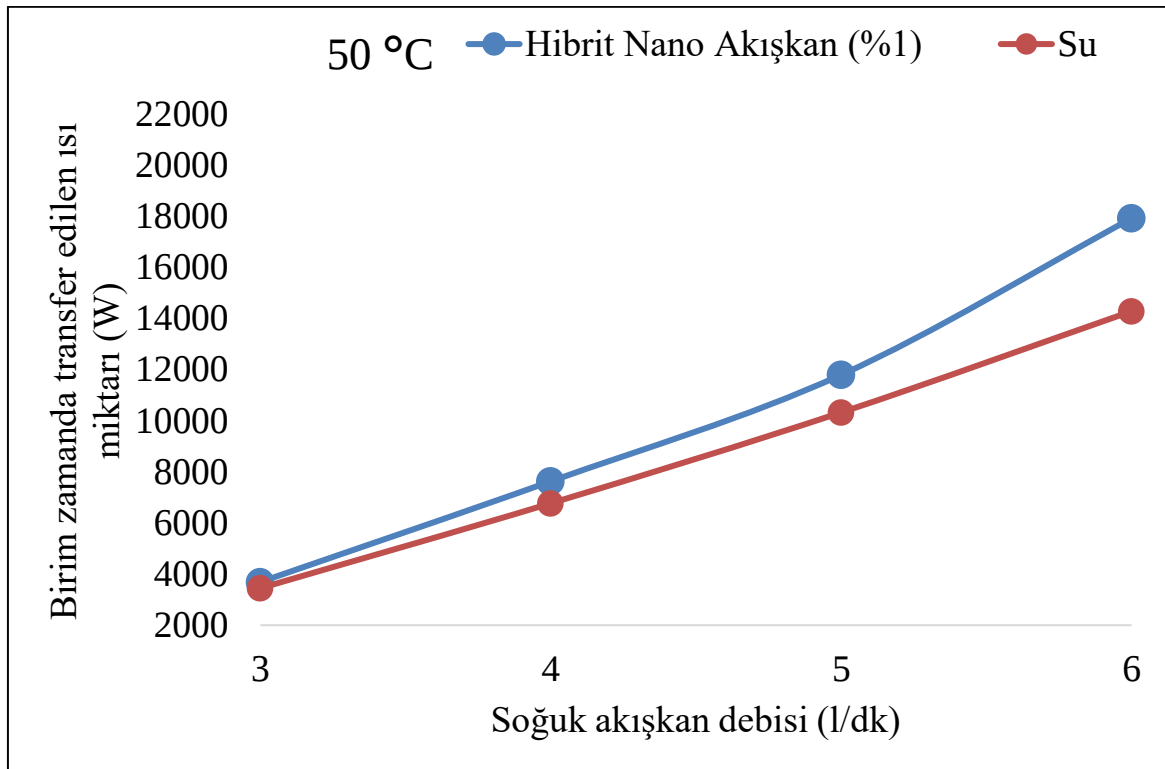


Şekil 7.14. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (45°C)

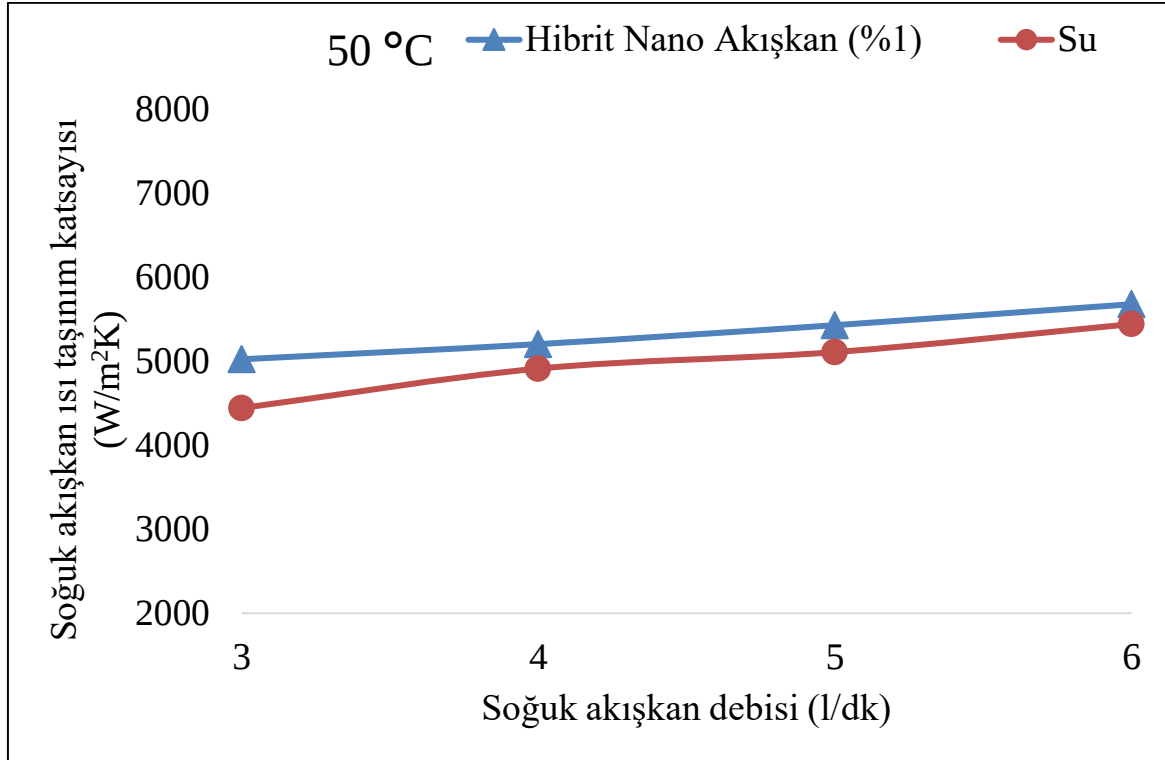
Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 50°C olduğu ve soğuk akışkan debisinin partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %19,5 ve ortalama %16,5 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.15). Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %25,4 ortalama %14,8 (Şekil 7.16) ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki artış maksimum %13 ortalama %7,4 (Şekil 7.17) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.15. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C)

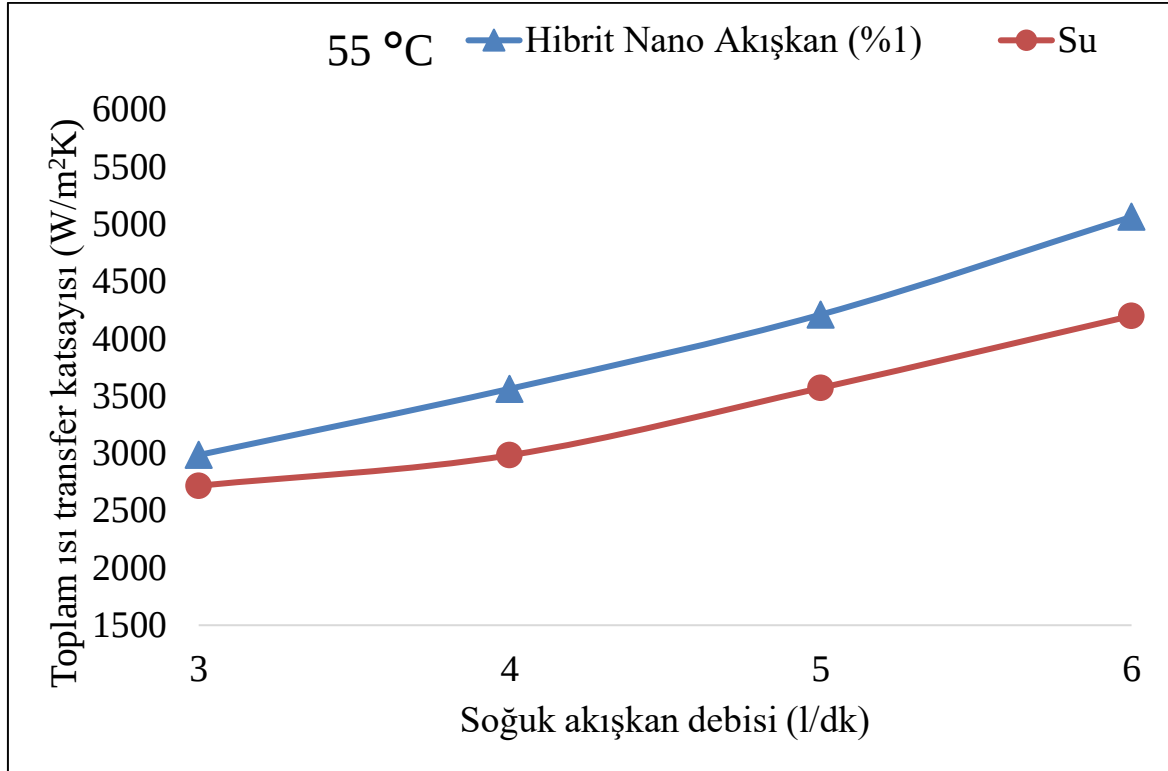


Şekil 7.16. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C)

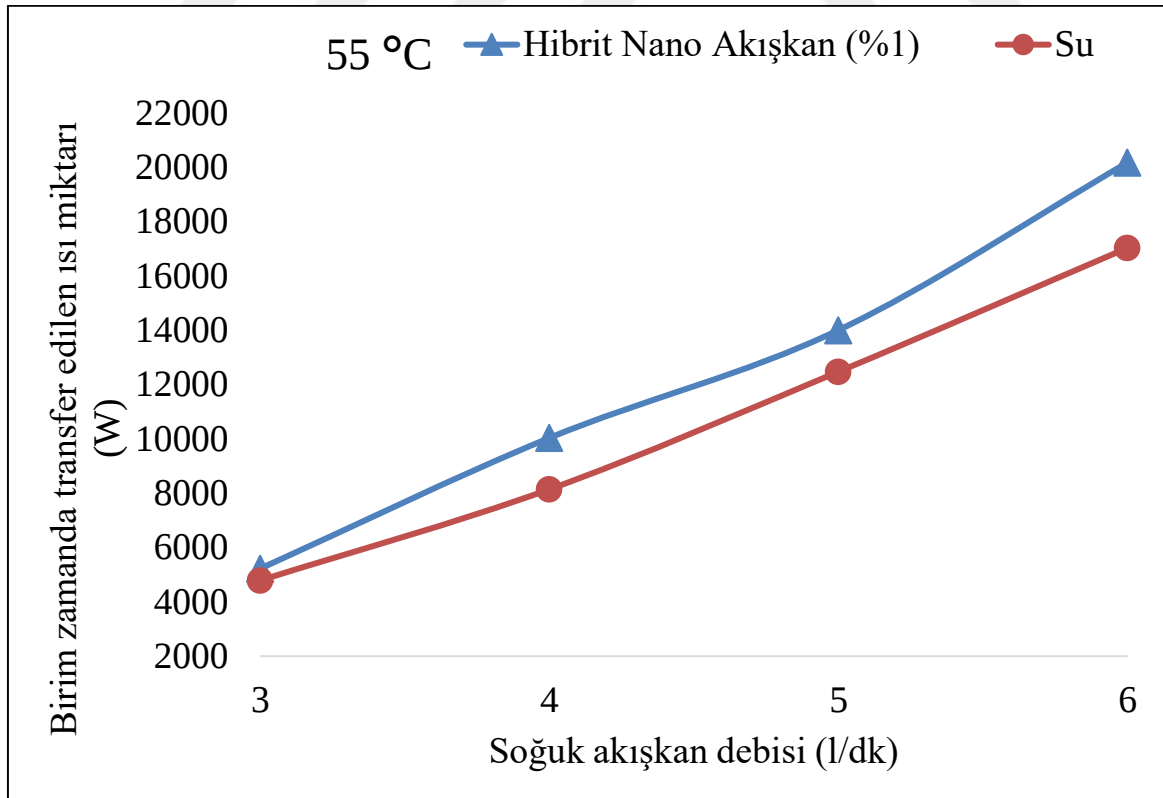


Şekil 7.17. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (50°C)

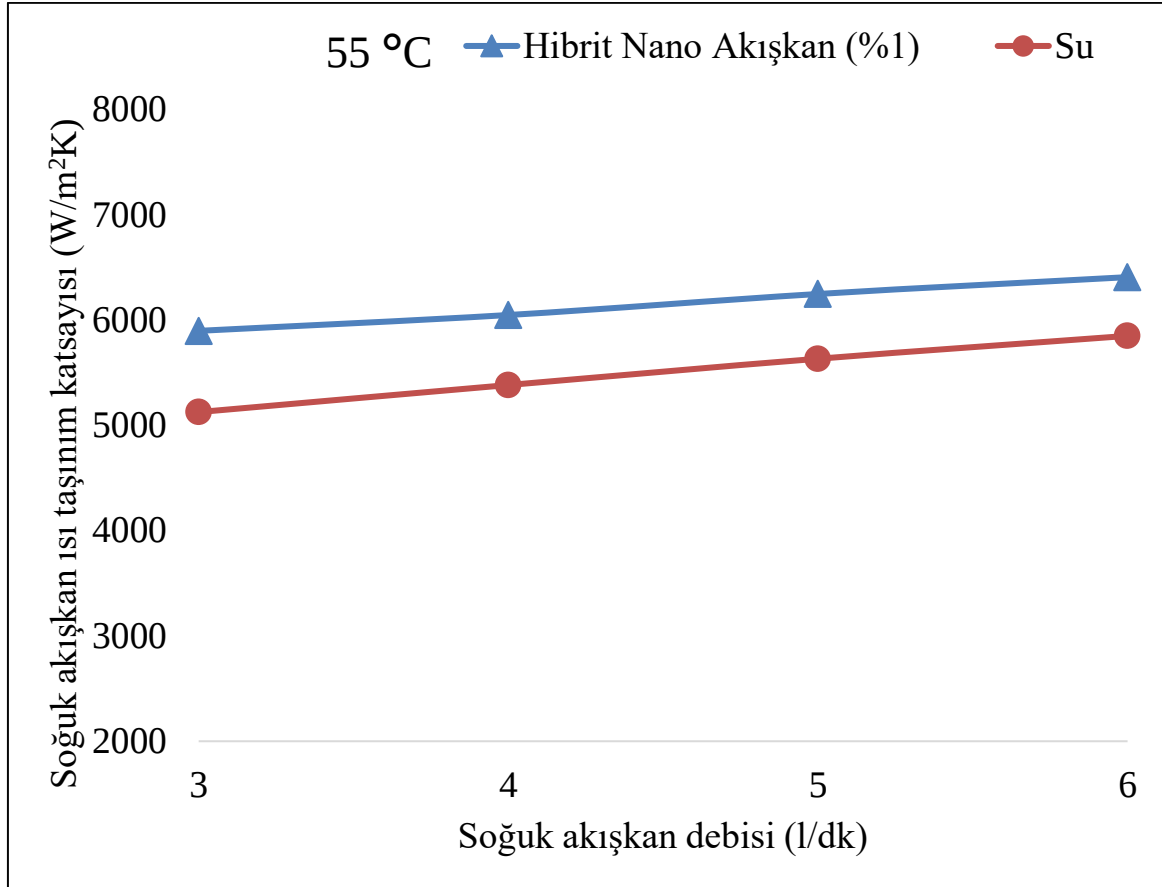
Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 55°C olduğu ve soğuk akışkan debisinin partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %20,5 ve ortalama %16,9 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.18). Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %23,2 ortalama %15,7 (Şekil 7.19) ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki artış maksimum %15 ortalama %11,9 (Şekil 7.20) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.18. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C)

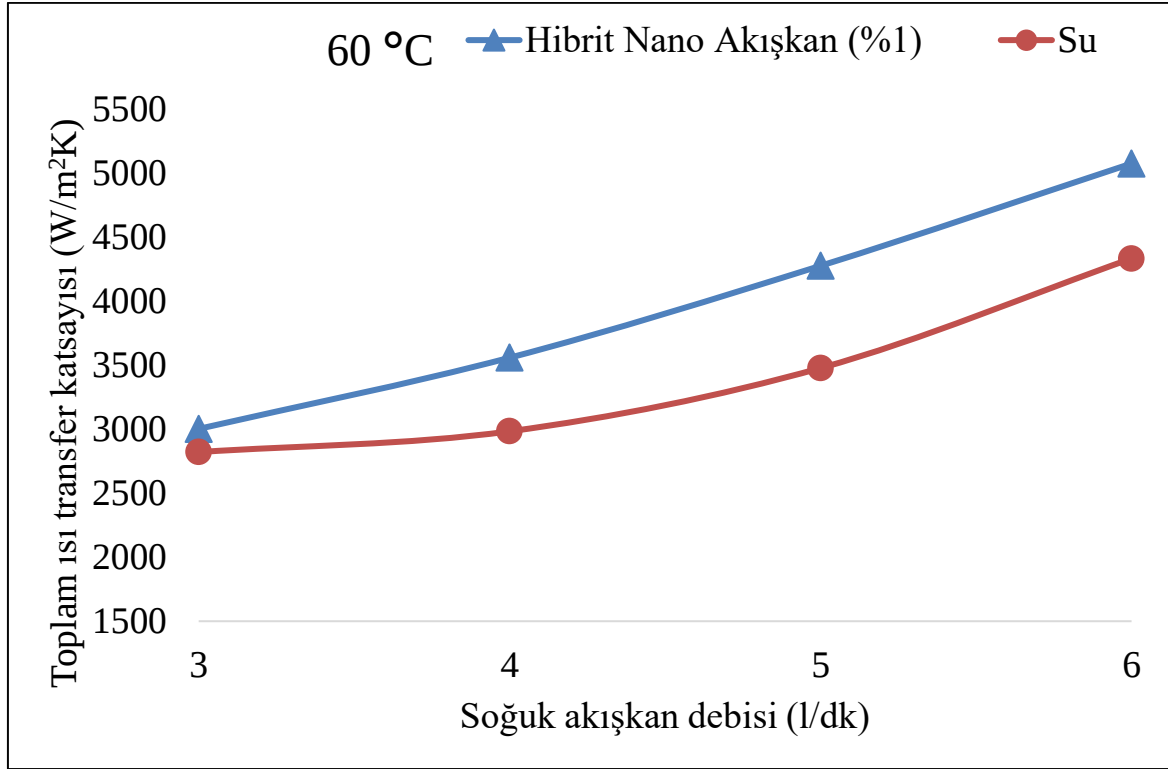


Şekil 7.19. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C)

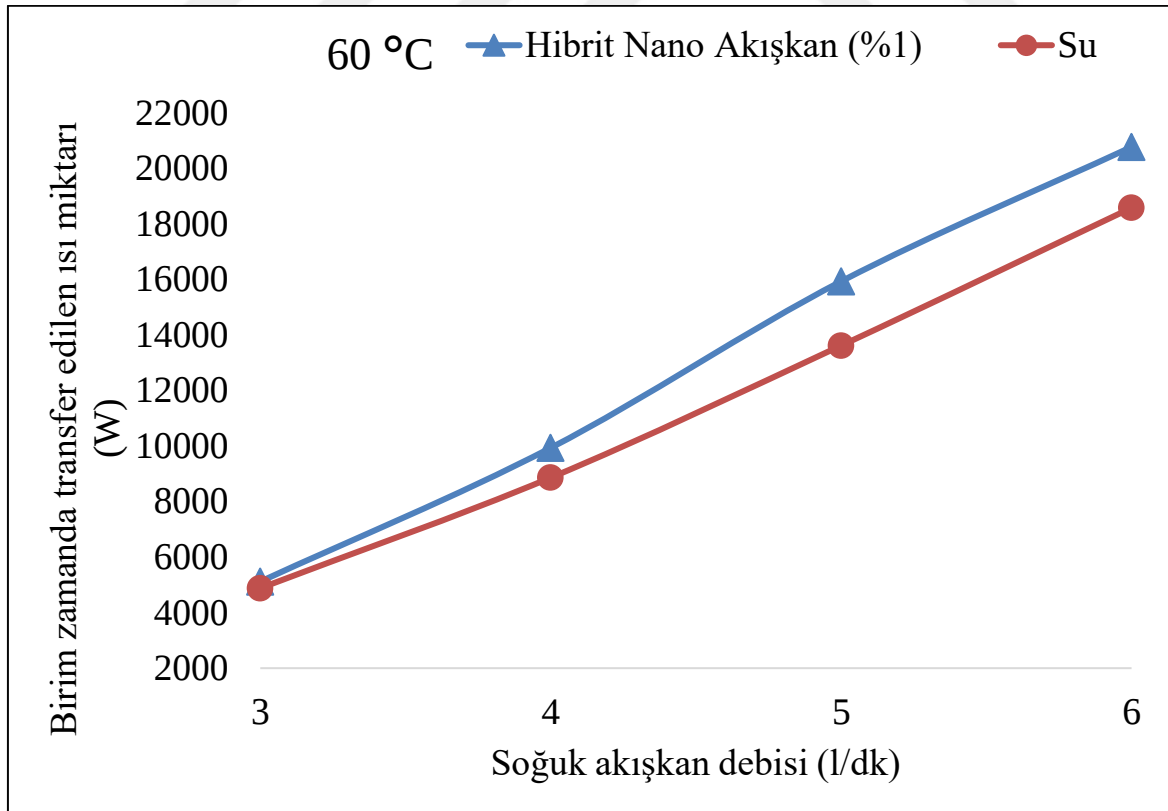


Şekil 7.20. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (55°C)

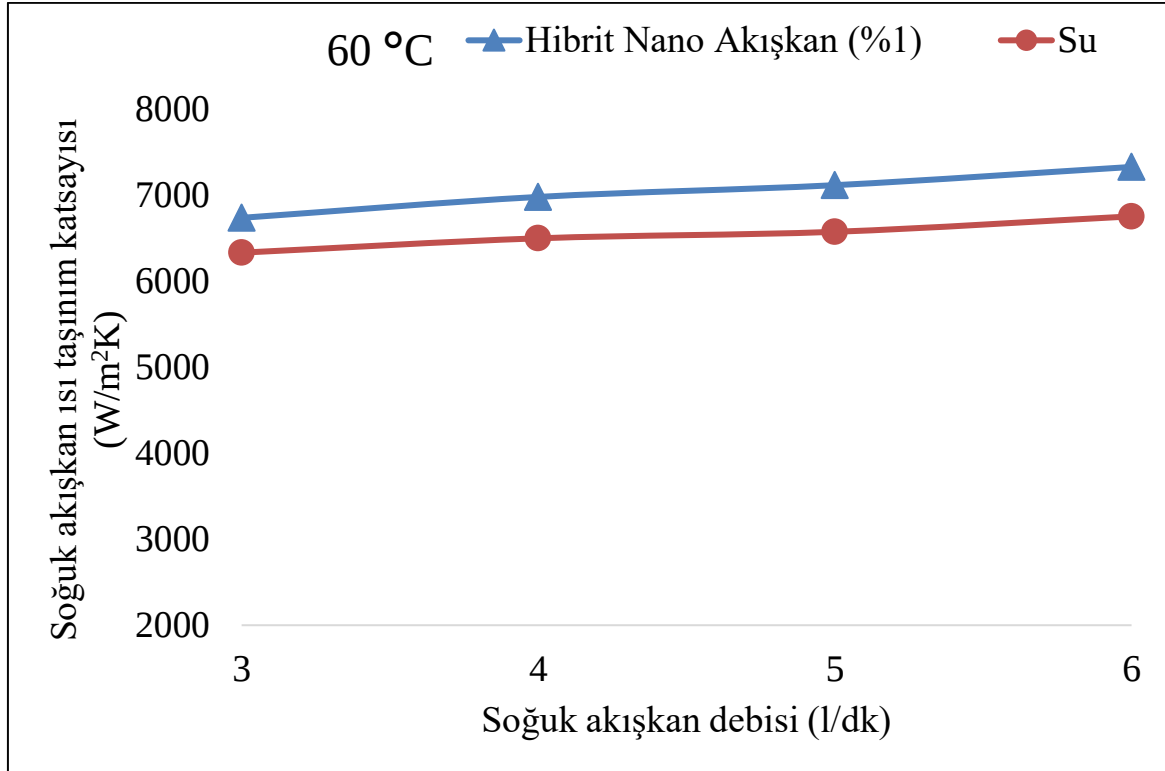
Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 60°C olduğu ve soğuk akışkan debisinin partikülleri 3, 4, 5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için toplam ısı transfer katsayısındaki artış maksimum %22,9 ve ortalama %16,4 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.21). Birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki artış maksimum %16,9 ortalama %11,4 (Şekil 7.22) ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki artış maksimum %8,5 ortalama %7,6 (Şekil 7.23) olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.21. Toplam ısı transfer katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C)

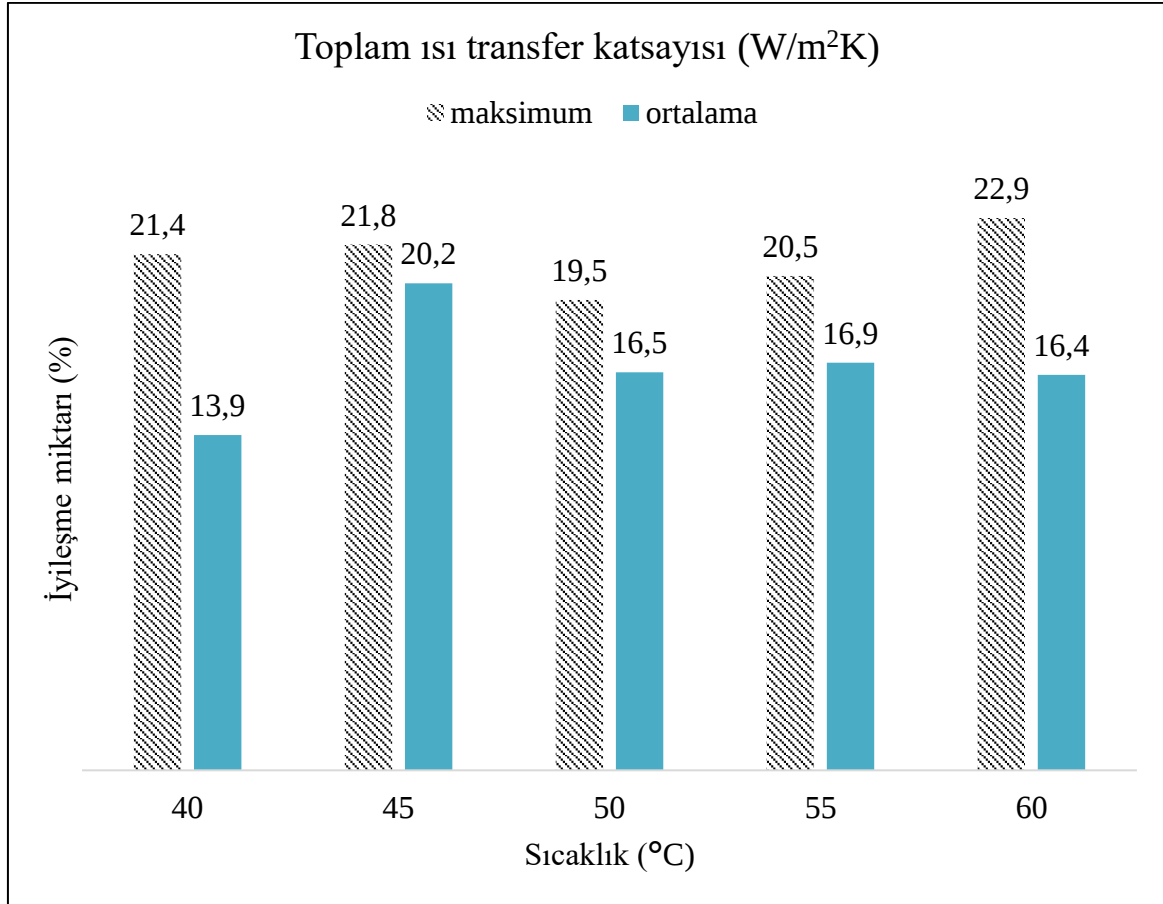


Şekil 7.22. Birim zamanda transfer edilen ısı miktarının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C)



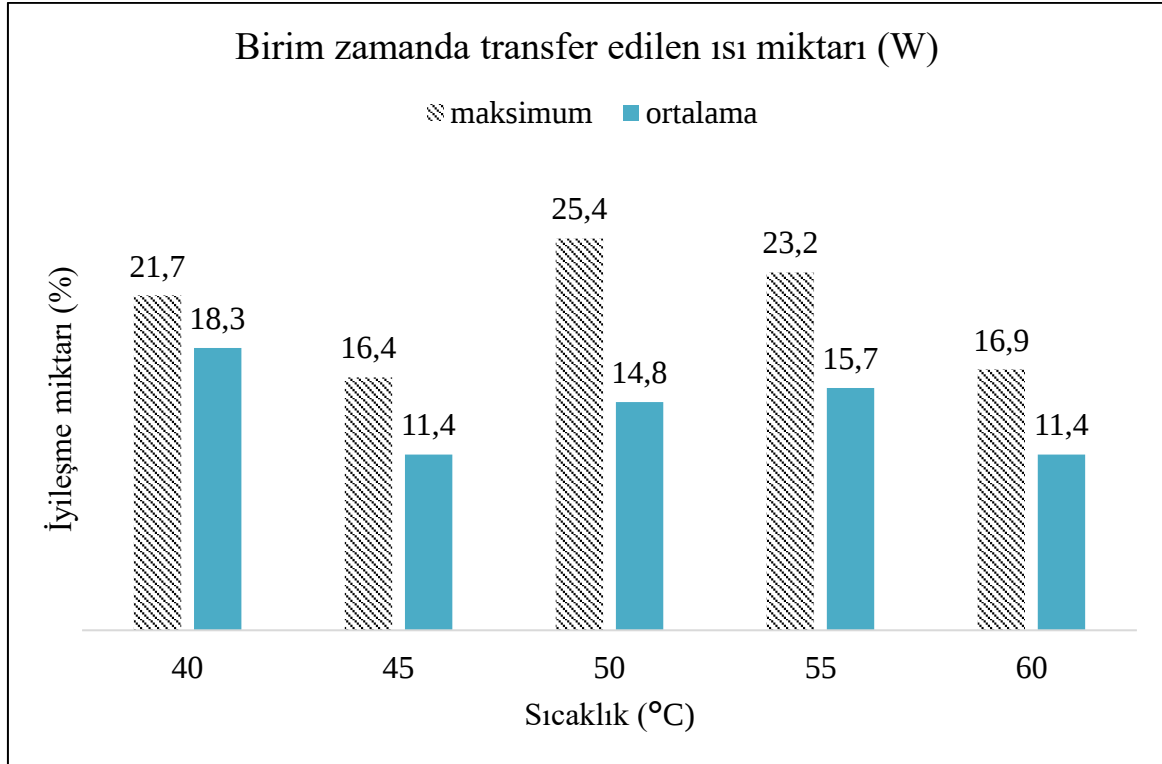
Şekil 7.23. Soğuk akışkan ısı taşınım katsayısının soğuk akışkan debisine göre değişimi (60°C)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 16 plakadan oluşan plakalı ısı değiştiricide soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklık değerlerine göre ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları Şekil 7.24'te, birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları Şekil 7.25'te ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileşme oranları Şekil 7.26'da gösterilmiştir.

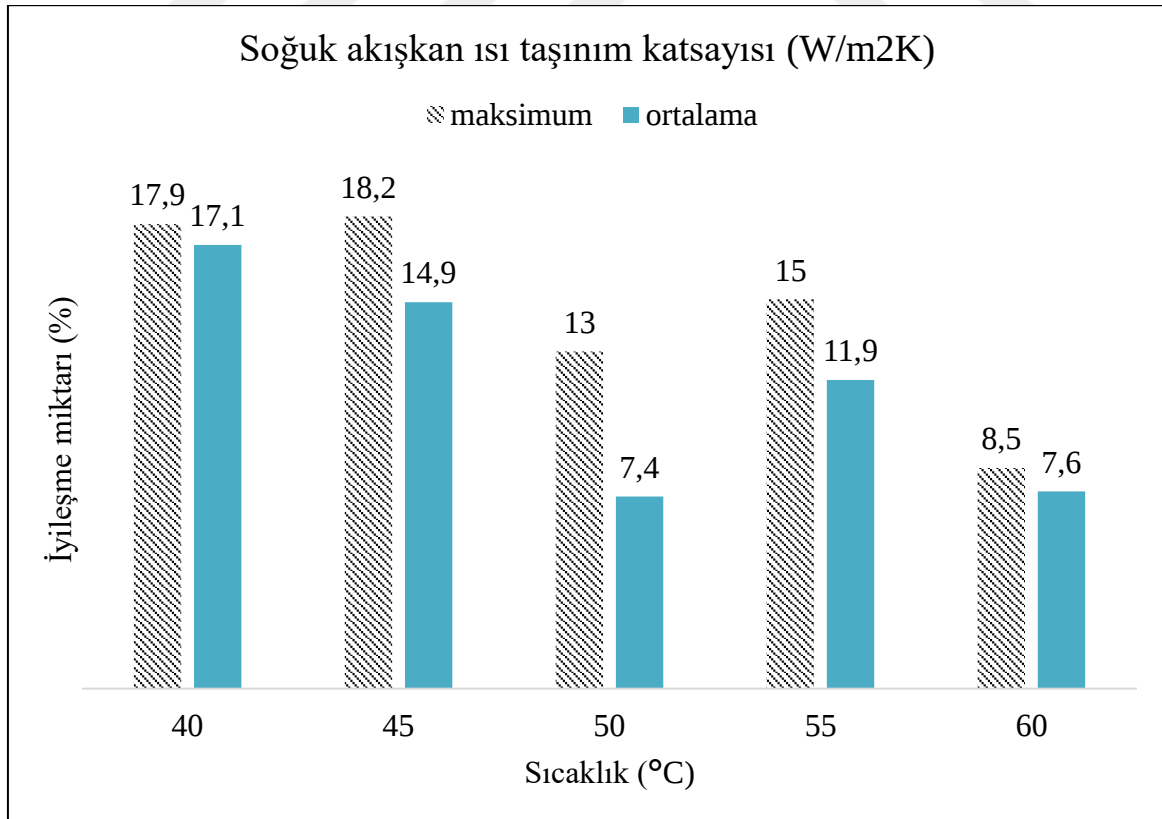


Şekil 7.24. Plakalı ısı değıştircide toplam ısı transfer katsayısındaki iyileşme oranları

Plakalı ısı değıştircide gerçekleştirilen deneyler sonucunda, toplam ısı transferi katsayısındaki iyileştirme ortalama %16,7; birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileştirme ortalama %14,3 ve soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileştirme ortalama %11,7 olarak tespit edilmiştir. Plakalı ısı değıştircide gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda toplam ısı transferi katsayısındaki en yüksek iyileşme değeri soğuk akışkanın sistemden giriş sıcaklığının 15°C sistemden çıkış sıcaklığının 60°C, soğuk akışkan debisinin 6 lt/dk olduğu ve sıcak akışkanın plakalı ısı değıştircide 19 l/dk debiyle dolaştığı durumda elde edilmiştir.



Şekil 7.25. Plakalı ısı değiştiricide birim zamanda transfer edilen ısı miktarındaki iyileşme oranları



Şekil 7.26 – Plakalı ısı değiştiricide soğuk akışkan ısı taşınım katsayısındaki iyileşme oranları

Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricide sıcak akışkanın ısıtılmasını sağlayan ısıtıcının 1,5 kW/birim elektrik tüketimi olduğu düşünüldüğünde, 2 ısıtıcı ünitesinden oluşan bir sistem 12 saatlik kullanımda 36 kWh enerjiye ihtiyaç duyacaktır. Paralel akışta uygulanan CuO - GNP/saf su hibrit nano akışkan ile bu ihtiyaç 34 kWh'e, zıt akışta uygulanan CuO - GNP/saf su hibrit nano akışkan ile bu ihtiyaç 31 kWh'e düşürülebilecektir. Bu sayede paralel ve zıt akışta sırasıyla 0,99 kg ve 2,49 CO₂ kg/kWh daha az CO₂ emisyonu oluşacaktır. Paralel plakalı ısı değiştiricinin 1 saatlik kullanımında ise soğuk akışkanın sisteme giriş sıcaklığı 15°C ve sistemden çıkış sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu durumlarda elektrik ihtiyacı %85 verimle çalışan bir gaz türbininden karşılandığında, ortalama doğal gaz tüketimi sırasıyla 0,7m³, 0,84m³, 0,98m³, 1,12m³ ve 1,26m³ daha az olacaktır. Atmosfere bırakılan CO₂ emisyonu da doğal gaz tüketimindeki azalmaya paralel olarak soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu durumlar için sırasıyla 0,34 , 0,41, 0,48, 0,54 ve 0,61 CO₂ kg/kWh daha az olacaktır. Bu sayede hem eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricide hem de plakalı ısı değiştiricide CuO - GNP/saf su hibrit nano akışkan kullanılmasıyla doğalgaz tüketimi ve CO₂ emisyonu azaltılabilir. Isı değiştiricinin ısı performansını artırılarak çevre kirliliğinin ve ekonomik açıdan da maliyetlerin azaltılabildiği sonucuna varılmıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kütlece %0,5 CuO, %0,5 grafen nano plaka ve %0,05 sodyum dodesil benzen sülfonattan oluşan ve baz sıvı olarak saf suyun kullanıldığı hibrit nano akışkanın iç içe borulu ısı değiştirici ve plakalı ısı değiştiricideki ısı transferi performansına katkısı incelenmiştir. İç içe borulu ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyler paralel ve zıt olmak üzere iki farklı akış tipi için uygulanmıştır. İç içe borulu ısı değiştiriciyle gerçekleştirilen deneylerde soğuk akışkan olarak kullanılan suyun debisi tüm ölçümler için 10g/s'dir. Paralel ve zıt akış için ölçümler, sıcak akışkan olarak kullanılan hibrit nano akışkanın debisinin 3,4,5,6,7,8 ve 9 l/dk olduğu durumlar için gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde sıcak akışkanın sisteme giriş sıcaklığı 72°C'dir. Plakalı ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneyler ise soğuk akışkan olarak kullanılan suyun debisinin 3,4,5 ve 6 l/dk olduğu durumlar için gerçekleştirilmiştir. Soğuk akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu durumlar için yukarıda belirtilen soğuk akışkan debi değerlerinde deney gerçekleştirilmiş ve hibrit nano akışkanın ısı değiştiricilerdeki ısı verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen değerler hibrit akışkan yerine aynı koşullarda su kullanıldığı zaman elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneylerde, hacimce %0,5 konsantrasyonunda GNP ve hacimce %0,5 konsantrasyonunda CuO nano partiküllerinden oluşan hibrit nano akışkan kullanılarak toplam ısı transfer katsayısında paralel akışta ortalama %5,5, zıt akışta ortalama %13,7 artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Paralel akış yerine zıt akış tercih edildiğinde ısı transferi katsayısının daha fazla artırıldığı ve bu sayede sistemin veriminin artırılacağı sonucuna varılmıştır.

Plakalı ısı değiştiricide gerçekleştirilen deneylerde, hacimce %0,5 konsantrasyonunda GNP ve hacimce %0,5 konsantrasyonunda CuO nano partiküllerinden oluşan hibrit nano akışkan kullanılarak toplam ısı transfer katsayısında ortalama %16,7 oranında artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Isı transfer katsayısındaki bu artış, su yerine hibrit (GNP + CuO/saf su) nano akışkan kullanıldığı takdirde sistemin veriminin artırılacağı ve bu sayede daha az yakıt tüketimiyle hem ekonomik anlamda hem de çevreye salınan CO₂ emisyonunun azaltılmasıyla çevresel anlamda fayda sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Özellikle Türkiye gibi fosil enerji kaynakları açısından dışa bağımlı bir ülke için fosil yakıt

tüketimini azaltacak nano akışkan kullanılması gibi ısıl performansı artırıcı yöntemlerin tercih edilmesi ekonomik açıdan büyük önem teşkil etmektedir.

Ayrıca yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler, GNP + CuO / saf sudan oluşan hibrit nano akışkanın geleneksel çalışma akışkanlarına göre daha yüksek ısı taşınım katsayısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç hibrit nano akışkanın ısı değiştiricilerdeki kullanımı gibi farklı ısı transferi uygulamalarında verimliliğin ve ısıl performansın artırılması amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalarda GNP + CuO / saf sudan oluşan nano akışkan hacimsel olarak farklı konsantrasyonlarda denenerek optimal hacimsel konsantrasyon bulunabilir. Ayrıca farklı sıcak ve soğuk akışkan debileriyle bu çalışmada elde edilen veriler geliştirilerek kullanılabilir. Isı değiştiricilerin yanı sıra güneş paneli veya soğutma sistemleri gibi farklı uygulamalarda hibrit nano akışkanların performansı incelenebilir. Nano akışkanın kararlılığını uzun vadede artırarak ısıl performansın iyileştirilmesine katkı sağlayacak manyetik nano partiküller ile benzer bir deney tekrarlanabilir. Nano akışkanların kullanımıyla sistemlerde oluşabilecek basınç düşüşünden kaynaklı pompa gücündeki artış ihtiyacı, en yüksek verimin elde edildiği hacimsel nano partikül konsantrasyonu ile çözüldüğü takdirde nano akışkanların daha sık ve yaygın olarak tüm sistemlerde kullanılacağı ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Shriwas, D., Saini, J. (2018). Heat transfer enhancement technique in heat exchanger: an overview. ***International Journal for Research Trends and Innovation***, 3(9), 12-15.
2. Hou, Y., Yang, J., and Zhang, W. (2020, November). *Numerical study of enhanced heat transfer of microchannel heat sink with nanofluids*. Paper presented at the International Conference on Boilers and Heat Exchangers, Hangzhou.
3. Ahsan, A. (2011). *Two phase flow, phase change and numerical modeling*. Rijeka: InTech, 435-450.
4. Wang, X. (2008). A review on nanofluids – part I: theoretical and numerical investigations. ***Brazilian Journal of Chemical Engineering***, 25(4), 613-630.
5. Maxwell, J. C. (1873). *A treatise on electricity and magnetism*. Oxford: Clarendon Press, 360-373.
6. Choi, S.U.S. and Eastman, J.A. (1995, November). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. Paper presented at the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, San Francisco.
7. Sadeghinezhad, E., Togun, H., Mehrali, M., Nejad, P.S., Latibari, S.T., Abdulrazzaq, T., Kazi, S.N., and Metselaar, H.S.C. (2015). An experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement for graphene nanoplatelets nanofluids in turbulent flow conditions. ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 81, 41–51.
8. Sati, P., Shende, R. C., and Ramaprabhu, S. (2018). An experimental study on thermal conductivity enhancement of di water-eg based ZnO (CuO)/graphene wrapped carbon nanotubes nanofluids. ***Thermochimica Acta***, 666, 75–81.
9. Fard, M.H., Talaie, M.R., and Nasr, S. (2011). Numerical and experimental investigation of heat transfer of ZnO/water nanofluid in the concentric tube and plate heat exchangers. ***Thermal Science***, 15(1), 183-194.
10. Tariq, R., and Sheikh, K.A. (2017). Heat transfer enhancement study in common heat exchangers by using CuO-water nanofluid in the tube side. ***The Journal of MacroTrends in Technology and Innovation***, 5(1), 35-49.
11. Bahaya, B., Johnson, D.W., and Yavuzturk, C.C. (2018). On the effect of graphene nanoplatelets on water-graphene nanofluid thermal conductivity, viscosity, and heat transfer under laminar external flow conditions. ***Journal of Heat Transfer***, 140(6), 064501.

12. Vallejo, J.P., Alvarez-Regueiro, E., Cabaleiro, D., Fernandez-Seara, J., Fernandez, J., and Lugo, L. (2019). Functionalized graphene nanoplatelet nanofluids based on a commercial industrial antifreeze for the thermal performance enhancement of wind turbines. ***Applied Thermal Engineering***, 152, 113-125.
13. Alshikhi, O., and Kayfeci, M. (2020). Experimental investigation of using graphene nanoplatelets and hybrid nanofluid as coolant in photovoltaic PV/T systems. ***Thermal Science***, (00), 348-348.
14. Liu, M., Lin, M. C., and Wang, C. (2011). Enhancements of thermal conductivities with Cu, CuO, and carbon nanotube nanofluids and application of MWNT/water nanofluid on a water chiller system. ***Nanoscale Research Letters***, 6(1), 297.
15. Kumar, S., Sokhal, G.S., Singh, J. (2014). Effect of CuO-distilled water based nanofluids on heat transfer characteristics and pressure drop characteristics. ***International Journal of Engineering Research and Applications***, 4(9), 28-37.
16. Ramachandran, R.N., Ganesan, K., and Asirvatham, L.G. (2016). The role of hybrid nanofluids in improving the thermal characteristics of screen mesh cylindrical heat pipes. ***Thermal Science***, 20(6), 2027-2035.
17. Martin, K., Sozen, A., Ciftci, E., and Ali, H.M. (2020). An experimental investigation on aqueous Fe-CuO hybrid nanofluid usage in a plain heat pipe. ***International Journal of Thermophysics***, 41(9), 135.
18. Kumar, R., and Kumar, A. (2018). Experimental study of concentric tube heat exchanger using CuO-Water Based Nanofluid. ***Journal of Mechanical Engineering Research and Developments***, 41(1), 190-198.
19. Mare, T., Halelfadl, S., Sow, O., Estelle, P., Duret, S., and Bazantay, F. (2011). Comparison of the thermal performances of two nanofluids at low temperature in a plate heat exchanger. ***Experimental Thermal and Fluid Science***, 35(8), 1535-1543.
20. Cieslinski, J.T., Fiuk, A., Miciak, W., and Siemieniczuk, B. (2016). Performance of a plate heat exchanger operated with water – Al₂O₃ nanofluid. ***Applied Mechanics and Materials***, 831, 188-197.
21. Mirzaei, M. (2019). Experimental investigation of CuO nanofluid in the thermal characteristics of a flat plate solar collector. ***Environmental Progress & Sustainable Energy***, 38(1), 260-267.
22. İnternet: Fares, M., AL-Mayyahi, M., and AL-Saad, M. (April, 2020). Heat transfer analysis of a shell and tube heat exchanger operated with graphene nanofluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 18. Web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X19304289> adresinden 15 Ocak 2021’de alınmıştır.
23. Variyenli, H.I. (2019). Experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement in a plate heat exchanger using a fly ash nanofluid. ***Heat Transfer Research***, 50(15), 1477–1494.

24. Tiwari, A.K., Ghosh, P., and Sarkar, J. (2013). Performance comparison of the plate heat exchanger using different nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49, 141-151.
25. Akilu, S., Baheta, A.T., Said, M.A.M., Minea, A.A., and Sharma, K.V. (2018). Properties of glycerol and ethylene glycol mixture based SiO₂-CuO/C hybrid nanofluid for enhanced solar energy transport. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 179, 118-128.
26. Azeez, K., Hameed, A.F., and Hussein, A.M. (2020, March). *Nanofluid heat transfer augmentation in a double pipe heat exchanger*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, Baghdad.
27. Khanlari, A., Sozen, A., Variyenli, H. I., and Guru, M. (2019). Comparison between heat transfer characteristics of TiO₂/deionized water and kaolin/deionized water nanofluids in the plate heat exchanger. *Heat Transfer Research*, 50(5), 435-450.
28. Allahyar, H.R., Hormozi, F., and Zarenezhad, B. (2016). Experimental investigation on the thermal performance of a coiled heat exchanger using a new hybrid nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 76, 324-329.
29. Hosseinian, A., and Isfahani A.H.M. (2018). Experimental study of heat transfer enhancement due to the surface vibrations in a flexible double pipe heat exchanger. *Heat Mass Transfer*, 54, 1113–1120.
30. İnternet: Ghashim, S.L, and Flayh, A.M. (June, 2020). Experimental investigation of heat transfer enhancement in heat exchanger due to air bubbles injection. *Journal of King Saud University*. Web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363920302634> adresinden 10 Ocak 2021’de alınmıştır.
31. Yasar, H., Durmaz, U., Engin, T., Erol, G.Ö., and Aydin, A. (2020). Effect of wavy fin usage on thermal performance of heat exchanger used in combi boilers. *Thermal Science*, 24(2), 693-700.
32. Junqi, D., Yi, Z., Gengtian, L., and Weivu, X. (2013). Experimental study of wavy fin aluminum plate fin heat exchanger. *Experimental Heat Transfer*, 26(4), 384-396.
33. Okbaz, A., Onbaşıoğlu, H., Olcay, A.B., ve Pınarbaşı, A. (2017). Panjur kanatlı ısı değıştiricilerin performansının deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımı ile incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 58(687), 41-55.
34. Ameer, B., Degroote, J., Huisseune, H., Jaeger, P.D., Vierendeels, J., and Paepe, M.D. (2012, September). *Numerical optimization of louvered fin heat exchanger with variable louver angles*. Paper presented at the 6th European Thermal Sciences Conference, Poitiers.

35. Syuhada, A., Afandi, D., and Sofyan, S.E. (2019, December). *Convective heat transfer study on the spiral finned tube heat exchanger under various fin pitch arrangements*. Paper presented at the International Conference on Sustainable Energy and Green Technology, Bangkok.
36. Pongsoi, P., Promoppatum, P., Pikulkajorn, S. and Wongwises, S. (2013). Effect of fin pitches on the air-side performance of L-footed spiral fin-and-tube heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 59(1), 75-82.
37. Borhani, S., Hosseini, M., Ranjbar, A. and Bahrapoury, R. (2019). Investigation of phase change in a spiral-fin heat exchanger. *Applied Mathematical Modelling*, 67, 297-314.
38. Ganzwind, J., Hammermeister, M., Dolata, S., Nebel, F., and Schröder, T. (2019, March). *Air flow and heat exchange simulation of a rotary heat exchanger of polyethylene terephthalate (PET) as a sustainable alternative for aluminum*. Paper presented at the 5th Collaborative European Research Conference, Darmstadt.
39. Kanaś, P., Jedlikowski, A., Anisimov, S. and Vager, B. (2019, June). *The influence of airflow on the effectiveness of rotary heat exchangers operating under high-speed rotor conditions*. Paper presented at the International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE19), Wrocław.
40. Ramin, H., Krishnan, E. and Simonson, C. (2019, May). *Fixed bed regenerators for HVAC applications*. Paper presented at the 27th Canadian Congress of Applied Mechanics (CANCAM), Québec.
41. Tekelioglu, M., Engin, T. and Soyhan, H. (2004, July). *Analysis of direct contact heat exchangers used in desalination processes: a case study*. Paper presented at the Cappadocia International Mechanical Engineering Symposium, Cappadocia.
42. Kypritzis, S. and Karabelas, A. (2001, September). *Direct contact air-water heat transfer in a column with structured packing*. Paper presented at the Proceedings of The Fifth World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Thessaloniki.
43. Kamal, I., Abdulhammed, A., Ibrahim, T., Muslih, S., and Umer, B. (2017). Direct contact heat exchange for energy recovery from hot temperature petroleum refinery streams. *International Journal of Advanced and Multidisciplinary Engineering Science*, 1(1), 1-10.
44. Zhan, C., Duan, Z., Zhao, X., Smith, S., Jin, H. and Riffat, S. (2011). Comparative study of the performance of the M-cycle counter-flow and cross-flow heat exchangers for indirect evaporative cooling – paving the path toward sustainable cooling of buildings. *Energy*, 36(12), 6790-6805.
45. İnternet: Timofeeva, E., Routbort, J. and Singh, D. (July, 2009). Particle shape effects on thermophysical properties of alumina nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 106(1). Web: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3155999> adresinden 8 Ocak 2021'de alınmıştır.

46. Gomez, L.C., and Flores, V.M.V. (2019). *Advances in heat exchangers*. London: IntechOpen, 23-40.
47. Khayal, O.M.E.S. (2018). Fundamentals of heat exchangers. ***International Journal of Research in Computer Applications and Robotics***, 6(12), 1-11.
48. Zohuri, B. (2017). *Heat exchanger types and classifications*. Cham: Springer International Publishing, 19-56.
49. Wijeyesekera, B. (2019). *Efficiency improvement of a shell and tube heat exchanger*. Unpublished Bachelor's Thesis, University of Wolverhampton, England.
50. Rajashekaraiah, T. (2019). A comprehensive review on design and analysis of passive enhancement techniques in double pipe heat exchanger. ***International Journal of Scientific & Technology Research***, 8(8), 815.
51. Sampson, I.E. (2017). Design and operation of double pipe heat exchanger. ***International Journal of Chemical Engineering Research***, 3, 1-26.
52. Çengel, Y. A. (2011). *Isı ve kütle transferi*, Üçüncü Basım, İzmir: Güven Bilimsel.
53. Yan, J. (2015). *Handbook of clean energy systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd., 2317-2337.
54. Li, Q., Flamant, G., Yuan, X., Neveu, P., and Luo, L. (2011). Compact heat exchangers: a review and future applications for a new generation of high temperature solar receivers. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 15(9), 4855-4875.
55. Adam, A.Y., Oumer, A.N., Najafi, G., Ishak, M., Firdaus, M., and Aklilu, T.B. (2020). State of the art on flow and heat transfer performance of compact fin and tube heat exchangers. ***Journal of Thermal Analysis and Calorimetry***, 139, 2739-2768.
56. Ameel, B., Huisseune, H., Degroote, J., Tjoen, C., Jaeger P.D., Vierendeels, J., and Paepe, M.D. (2013). On fin efficiency in interrupted fin and tube heat exchangers. ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 60, 557-566
57. Kilkovsky, B., and Jegla, Z. (2016). Preliminary design and analysis of regenerative heat exchanger. ***Chemical Engineering Transactions***, 52, 655-660.
58. Murshed, S., and Lopes, M. (2017). *Heat exchangers design, experiment and simulation*. London: IntechOpen, 145-174.
59. Lemenand, T., Durandal, C., Della Valle, D. and Peerhossaini, H. (2010). Turbulent direct-contact heat transfer between two immiscible fluids. ***International Journal of Thermal Sciences***, 49(10), 1886-1898.
60. Kaçar, E.N., ve Erbay, L.B. (2013). Isı değıştircilerin tasarımına bir bakış. ***Mühendis ve Makine***, 54(644), 14-43.

61. Adam, A., Oumer, A., Najafi, G., Ishak, M., Firdaus, M. and Aklilu, T. (2019). State of the art on flow and heat transfer performance of compact fin-and-tube heat exchangers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(4), 2739-2768.
62. İnternet: Jung, D., and Assanis, D. (April, 2006). Numerical modeling of cross flow compact heat exchanger with louvered fins using thermal resistance concept. *SAE Technical Paper Series*. Web: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2006-01-0726/> adresinden 18 Ocak 2021'de alınmıştır.
63. Raju, K.A.K., Reddy, M.V.K., and Nagaraja, A. (2014). Design optimization of cross flow heat exchanger. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(2).
64. Prasad, A.R., Singh, S., and Nagar, H. (2017). A review on nanofluids: properties and applications. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas In Education*, 3(3), 3185-3219.
65. Sharma, B., Sharma, S.K., and Gupta, S.M. (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: a review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 202-212.
66. Nayak, P.K. (2016). *Two-dimensional Materials - Synthesis, Characterization and Potential Applications*. London: InTech, 153-198.
67. Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E. and Xi, S. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder Technology*, 196(2), 89-101.
68. Zhang, Q. and Liu, J. (2013). Nano liquid metal as an emerging functional material in energy management, conversion and storage. *Nano Energy*, 2(5), 863-872.
69. Qi, C., Liang, L. and Rao, Z. (2016). Study on the flow and heat transfer of liquid metal based nanofluid with different nanoparticle radiuses using two-phase lattice boltzmann method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 94, 316-326.
70. Tengku Mohd, T., Baco, J., Bakar, N. and Jaafar, M. (2016, August). *Effects of particle shape and size on nanofluid properties for potential enhanced oil recovery*. Paper presented at the 5th International Conference on Chemical and Process Engineering, Jeju Island.
71. İnternet: Raab, C., Simkó, M., Fiedeler, U., Nentwich, M. and Gázsó, A. (February, 2011). Production of nanoparticles and nanomaterials. *NanoTrust-Dossiers*. Web: <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier006en.pdf> adresinden 18 Ocak 2021'de alınmıştır.
72. X. Peng, X. F., Yu, X. L., Xia, L. F., and Zhong. (2007) Influence factors on suspension stability of nanofluids, *Journal of Zhejiang University*, 41(4), 577-580.
73. Krajnik, P., Pusavec, F. and Rashid, A. (2011). Nanofluids: properties, applications and sustainability aspects in materials processing technologies. *Advances in Sustainable Manufacturing*, 107-113.

74. Yu, W., and Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 1-17.
75. Barragh Jam, F., Bangi Hourri, H., and Ferdosi, M. (2020). Characterization of TiB₂ reinforced aluminum matrix composite synthesized by in situ stir casting method. *Journal of Composites And Compounds*, 2(5), 163-170.
76. Sharma, B., Sharma, S., and Gupta, S. (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: a review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 202-212.
77. Yu, W., and Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 1-17.
78. İnternet: Wong, K., and De Leon, O. (January, 2010). Applications of nanofluids: current and future. *Advances in Mechanical Engineering*. Web: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2010/519659> adresinden 18 Ocak 2021'de alınmıştır.
79. Uddin, M., Al Kalbani, K., Rahman, M., Alam, M., Al-Salti, N., and Eltayeb, I. (2016). Fundamentals of nanofluids: evolution, applications and new theory. *International Journal of Biomathematics And Systems Biology*, 2(1), 1-32.
80. Gakare, A. (2019). A review on nanofluids: preparation and applications. *Nano Trends: A Journal of Nanotechnology And Its Applications*, 21(1), 21-35.
81. Holman, J. P. (2001). *Experimental methods for engineers*. New York: McGraw-Hill, 63-72.
82. Sözen, A., Variyenli, H., Özdemir, M., Gürü, M. and Aytaç, İ. (2016). Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers. *Journal of the Energy Institute*, 89(3), 414-424.
83. Simhadri, K., Mohan, G.V.D., and Chaitanya, P.S. (2015). Comparison of the overall heat transfer coefficient value of double pipe heat exchanger without and with various twisted inserts of different twist ratios, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(2), 115-124.





GAZİ GELECEKTİR..