

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA
ETKİSİNİN SAYISAL VE DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Volkan TUĞAN

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK
TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA
ETKİSİNİN SAYISAL VE DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Volkan TUĞAN
(171107107)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK

TUNCELİ – 2019

**T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYATÖRLERDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA
ETKİSİNİN SAYISAL VE DENEYSEL ANALİZİ**

**Volkan TUĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 27/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza:

İmza:

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK
(Munzur Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CAN
(Dicle Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan
KAHRAMAN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB018-12

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, otomobil soğutma sistemlerinde geleneksel ısı transfer akışkanı yerine nanoakışkan kullanarak otomobil radyatörünün ısı performansı deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Analizlerde soğutucu akışkan olarak %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO , MgO içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanlar kullanılmıştır. Analizler üç farklı hacimsel debide (0.232, 0.260, 0.282 L/s) ve üç farklı hava hızında (1.6, 2.3, 2.9 m/s) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için bir otomobil soğutma sistemi deney düzeneği kurulmuş ve dört farklı soğutucu akışkan için analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz için ise Ansys 14.5 programı kullanılarak bir otomobil radyatörü tasarlanmış ve Fluent yazılımıyla otomobil radyatörünün akış analizi gerçekleştirilmiştir. Hem deneysel hem de sayısal çalışma için farklı debi ve farklı hava hızları ile gerçekleştirilen analizler sonucunda, soğutucu akışkanların sistemden çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir. Elde edilen sıcaklıklara göre her bir akışkan için ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayıları ve Nusselt sayıları karşılaştırıldığında, nanoakışkanların ısı performansının baz akışkana göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Deneysel ve sayısal analiz için Nusselt sayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için bulunmuş ve sırasıyla %69.33 ve %58.09 olarak hesaplanmıştır. Tüm soğutucu akışkanlar için hacimsel debinin ve hava hızının artmasıyla soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Sayısal ve deneysel analizlerin sonuçları kıyaslanmış ve sonuçların literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Otomobil Radyatörü, Isı Transferi

ABSTRACT

Numerical and Experimental Analysis of The Effect of Nanofluid Use in Radiators on Thermal Performance

In this Master's thesis, the thermal performance of automobile radiator was investigated experimentally and numerically, using nanofluid instead of the conventional heat transfer fluid in automobile cooling systems. Water and ethylene glycol based nanofluids that contained Al_2O_3 , CuO , MgO with %1volumetric concentration were used as the coolant in analyses. The analyses were carried out in three different volumetric flow rates (0.232, 0.260, 0.282 L/s) and three different air velocities (1.6, 2.3, 2.9 m/s). An automobile cooling system experimental setup was established for the experimental study and the analyses were conducted for four different coolants. For the numerical analysis, a radiator was designed using Ansys 14.5 program and its flow analysis was performed with Fluent software. The outlet temperatures of coolants were obtained as a result of the analyses carried out with different flow rates and air velocities for both experimental and numerical studies. Heat convection coefficient and Nusselt number were calculated based on these temperatures for each fluid. The thermal performance of nanofluids was observed to be better than that of base fluids based on the comparison between the heat convection coefficients and Nusselt numbers of coolants. The highest increase in Nusselt number was found for the nanofluid containing Al_2O_3 and calculated to be 69.33% and 58.09%, respectively, for the experimental and numerical analysis. It was concluded that heat convection coefficient and Nusselt number increased with the rise of volumetric flow rate and air velocity for all coolants. The results of numerical and experimental analyses were compared and they were observed to be in agreement with the literature.

Keywords: Nanofluid, Automobile Radiator, Heat Transfer

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesinde bilgi ve tecrübesiyle bana ışık tutan, teşvik eden ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen ve her zaman destekçim olan kıymetli arkadaşım Enerji Sistemleri Mühendisi Uğurcan YARDIMCI'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim. Deney setinin kurulumunda yapmış olduğu katkılardan dolayı Elektrik Teknisyeni Murat BABAR'a teşekkür ederim. Hayatımın her alanında yanımda olan ve bana her türlü konuda destek olan canım eşime ve maddi manevi her türlü yardımlarıyla beni bugüne getiren aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Volkan TUĞAN

Tunceli-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜRLER.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. TEORİK BİLGİLER	20
3.1. Isı Değiştiricileri	20
3.1.1. Isı Değiştirici Tipleri	20
3.1.1.1. Borulu Isı Değiştiricileri	20
3.1.1.2. Plakalı Tip Isı Değiştiriciler	22
3.1.1.3. Geniştirilmiş Yüzeyli Isı Değiştiricileri	23
3.1.1.4. Rejeneratif Tip Isı Değiştiricileri.....	23
3.1.2. Isı Değiştiricilerinin Akım Şekli.....	23
3.1.2.1. Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri.....	23
3.1.2.2. Ters Akımlı Isı Değiştiricileri.....	24
3.1.2.3. Çapraz Akımlı Isı Değiştiricileri	25
3.1.3. Isı Değiştiricilerinde Isı Transferi.....	25
3.1.3.1. Isı İletimi.....	25
3.1.3.2. Isı Taşınımı	26
3.2. Araçlarda Soğutma Sistemi	27
3.2.1. Soğutma Şekline Göre Motor Soğutma Sistemleri.....	27
3.2.1.1. Hava Soğutmalı Sistemler	27
3.2.1.2. Su Soğutmalı Sistemler	28
3.2.2. Otomobil Soğutma Sistemleri	28
3.2.2.1. Otomobil Soğutma Sistemlerinin Çalışma Şekli	29
3.2.2.2. Otomobil Radyatörleri.....	30
3.3. Nanoakışkanlar	34
3.3.1. Nanoakışkanlara Giriş	34
3.3.2. Nanoakışkan Türleri	34
3.3.3.1. Tek Adım Yöntemi.....	35
3.3.3.2. İki Adım Yöntemi.....	35
3.3.4. Nanoakışkanların Stabilitesi	35
3.3.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	36
3.3.5.1. Yoğunluk	36
3.3.5.2. Özgül Isı	37
3.3.5.3. Viskozite.....	37
3.3.5.4. Isıl İletkenlik.....	38
3.3.5. Nanoakışkanların Uygulama Alanları	42
3.3.5.1. Elektronik Uygulamalar	42
3.3.5.2. Ulaşım.....	42

3.3.5.3. Bina Isıtma Uygulamaları.....	42
3.3.5.4. Nükleer Sistemlerin Soğutulması	43
3.3.5.5. Enerji Uygulamaları	43
4. MATERYAL VE METOT	44
4.1. Deneysel Çalışma	44
4.2. Sayısal Analiz.....	54
4.3. Veri Değerlendirilmesi	60
5. BULGULAR	63
5.1. Deneysel Sonuçlar ve Grafikler.....	63
5.2. Sayısal Sonuçlar ve Grafikler	71
5.3. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Kıyaslanması	81
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Borulu tip ısı değıştiricisi	21
Şekil 3.2. Plakalı tip ısı değıştiricisi	22
Şekil 3.3. İç içe borulu ısı değıştiricisinde paralel akış halinde sıcaklık profiller	24
Şekil 3.4. Borulu ısı değıştiricisinde ters yönde akış halinde sıcaklık profilleri	25
Şekil 3.5. Otomobil radyatörü çalışma prensibi	29
Şekil 3.6. Yatay akışlı radyatör	30
Şekil 3.7. Dik akışlı radyatör	31
Şekil 3.8. İki geçişli radyatör	32
Şekil 4.1. Deney setinin önden görünüşü	45
Şekil 4.2. Deney setinin arkadan görünüşü	45
Şekil 4.3. 3ds Max programında çizilen deney setinin önden görünüşü	46
Şekil 4.4. 3ds Max programında çizilen deney setinin arkadan görünüşü	46
Şekil 4.5. Otomobil radyatörü	47
Şekil 4.6. Akışkan tankı.....	48
Şekil 4.7. Vantilatör.....	49
Şekil 4.8. Hava kanalı.....	50
Şekil 4.9. Sirkülasyon pompası	50
Şekil 4.10. Debimetre ve Göstergesi	51
Şekil 4.11. Boru bağlantı elemanları ve vanalar.....	52
Şekil 4.12. Termokupl	53
Şekil 4.13. Veri toplayıcı	53
Şekil 4.14. %1 Al ₂ O ₃ , CuO, MgO içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanlar.....	54
Şekil 4.15. Tasarlanan otomobil radyatörünün üç boyutlu görünüşü.....	55
Şekil 4.16. Tasarlanan otomobil radyatörünün önden görünüşü	56
Şekil 4.17. Tasarlanan otomobil radyatörünün yandan görünüşü	56
Şekil 4.18. Geometrinin mesh yapısı.....	57
Şekil 4.19. Geometrinin detaylı mesh yapısı	57
Şekil 4.20. Geometrinin isimlendirilmesi.....	58
Şekil 5.1. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi.....	63
Şekil 5.2. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi.....	64
Şekil 5.3. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi.....	65
Şekil 5.4. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi	65
Şekil 5.5. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi	66
Şekil 5.6. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değışimi	67
Şekil 5.7. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değışimi	67
Şekil 5.8. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değışimi	68

Şekil 5.9. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi	69
Şekil 5.10. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	69
Şekil 5.11. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	70
Şekil 5.12. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	71
Şekil 5.13. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	72
Şekil 5.14. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	73
Şekil 5.15. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	74
Şekil 5.16. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	74
Şekil 5.17. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	75
Şekil 5.18. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	76
Şekil 5.19. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	76
Şekil 5.20. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	77
Şekil 5.21. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	78
Şekil 5.22. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	79
Şekil 5.23. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	80
Şekil 5.24. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	80
Şekil 5.25. 0.232 L/s hacimsel debide, Havanın Reynolds Sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	81
Şekil 5.26. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	82
Şekil 5.27. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi.....	83
Şekil 5.28. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	84
Şekil 5.29. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	85
Şekil 5.30. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi	86
Şekil 5.31. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi	87
Şekil 5.32. 0.260 L/s hacimsel debide, Havanın Reynolds Sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi	88

Şekil 5.33. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	89
Şekil 5.34. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	90
Şekil 5.35. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	91
Şekil 5.36. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye (V) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi.....	92



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Sık kullanılan kanatçık malzemelerinin özellikleri	33
Tablo 4.1. Otomobil radyatörüne ait boyutlar	48
Tablo 4.2. Nanopartiküllerin ve baz akışkanın termofiziksel özellikleri	59



SEMBOLLER LİSTESİ

α	: Isıl yayılım katsayısı (m^2/s)
A	: Kesit alanı (m^2)
A_s	: Yüzey alanı (m^2)
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı (J/kg.K)
c	: Özgül ısı (J/kg.K)
D_h	: Hidrolik çap (m)
Eg	: Etilen Glikol
h	: Isı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2.\text{K}$)
k	: Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.K)
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
n	: Deneysel şekil faktörü
nf	: Nanoakışkan
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Akışın ıslattığı çevre (m)
p	: Nanopartikül
Re	: Reynolds sayısı
Q	: Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi (W)
T_b	: Yığın sıcaklık (K)
T_{in}	: Akışkanın giriş sıcaklığı (K)
T_{out}	: Akışkanın çıkış sıcaklığı (K)
T_s	: Yüzey sıcaklığı (K)
T_∞	: Akışkan sıcaklığı (K)
V	: Akışkanın hızı (m/s)
w	: Baz akışkan
$\dot{V}$	: Hacimsel debi (L/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
ρ_a	: Havanın yoğunluğunu (kg/m^3)

- $\ddot{q}$: Isı akısı (W/m^2)
 μ : Dinamik viskozite (Pa.s)
 μ_a : Havanın dinamik viskozitesini (Pa.s)
 Φ : Hacimsel konsantrasyon
 ψ : Partikül küreselliği



1. GİRİŞ

Son yıllarda savunma sanayi, uzay sistemleri, elektronik cihazlar ve otomotiv sektörü gibi endüstriyel alanlarda meydana gelen teknolojik gelişmeler, enerjinin daha verimli kullanılabilmesi açısından yeni soğutma sistemlerinin tasarlanması ihtiyacını doğurmuştur. Soğutma teknolojisinin önem taşıdığı alanlardan biri olan otomotiv sektöründe, enerjiyi verimli kullanmak, enerji sarfiyatının en aza indirilmesi ve imal edilen parçalardaki karmaşıklığın giderilmesi konusunda yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmalar ile enerji sarfiyatı önlenirken aynı zamanda ihtiyaç duyulan performansın da karşılanması gerekmektedir.

Motor su radyatörleri, otomobil soğutma sistemlerinin en temel elemanlarından bir tanesidir. Araçların motor soğutma sistemlerinde dolaşan soğutucu akışkan, motor çalıştıkça ısınmaktadır. Motorun güvenli bir sıcaklıkta çalışmasını sağlamak amacıyla radyatörlerin aşırı ısınan soğutucu akışkandaki ısıyı dış ortama atması gerekmektedir. Bu sistemde kullanılan ısı transfer akışkanının görevi, radyatör ve motor arasında dolaşarak motor parçaları üzerindeki ısıyı radyatöre aktararak motorun soğumasını sağlamaktır.

Radyatörlerde meydana gelen ısı transferini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de radyatör yüzeyine farklı geometriye sahip kanatçıklar eklemektir. Eklenen kanatçıklar ısı transfer alanını ve havanın radyatör üzerindeki taşınım ısı transfer katsayısını artırır. Ancak farklı geometrilere sahip kanatçıkların eklenmesiyle ısı transferini arttırmak gibi sıradan yaklaşımlar artık sınırlarına ulaşmışlardır. Etilen glikol, yağ ve su gibi geleneksel soğutucu akışkanlar düşük ısı transfer performansına sahip olduklarından arzu edilen ısı transferini gerçekleştirememektedir. Bu yüzden radyatörlerdeki ısı transferini artırmak amacıyla nanoakışkan denilen yeni bir malzemenin kullanılmasıyla ısı transferinin artırılması konusu üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Son yıllarda nanoteknoloji alanındaki gelişmeler nanoakışkan olarak adlandırılan yeni bir ısı transfer akışkanının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Nanoakışkanlar etilen glikol, yağ ve su gibi temel ısı transfer akışkanlarının içerisine farklı oranlarda nanotozların ilave edilmesiyle elde edilen yeni nesil ısı transfer akışkanlarıdır.

Nanoakışkanlar geleneksel ısı transfer akışkanları ile mukayese edildiğinde daha yüksek ısı iletim katsayısı değerine sahip oldukları için ısı verimi artırma konusunda heyecan verici yeni olanaklar sunmaktadır. Isıtma ve soğutma sistemlerinin olduğu her alanda kullanılabilmesi sayesinde uygulama alanı oldukça geniştir. Bu konuda gerçekleştirilecek başarılı ve uygulanabilir çalışmalar sayesinde, hem daha hafif ve küçük sistemler ile aynı soğutma sağlanabilecek hem de mevcut sistemlerin verim ve hız performansları arttırılabilecektir.

Literatürde nanoakışkanların mühendislik sistemlerinde kullanılmasını konu alan çalışmalar gerçekleştirilerek ısı karakteristiklerinin belirlenebilmesi adına yoğun çaba sarf edildiği aşikârdır. Ancak bu konuyu baz alan deneysel ve sayısal çalışmalar yetersiz olup, soğutma sistemlerinde farklı konsantrasyonlara sahip farklı nanoakışkanların kullanılmasıyla daha yüksek ısı performans elde edilebilmesi için çalışma çeşitliliğini arttırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada otomobil soğutma sistemlerinde baz akışkan yerine nanoakışkan kullanarak radyatörün ısı performansını iyileştirmek amaçlanmıştır. Deneysel analiz için bir otomobil soğutma sistemi deney düzeneği kurulmuş ve %1 hacimsel konsantrasyona sahip $Al_2O_3/Su+Eg$, $CuO/Su+Eg$, $MgO/Su+Eg$ ve $Su+Eg$ akışkanları soğutucu akışkan olarak sistemden geçirilmiştir. Sayısal analiz için ise bir otomobil motor su radyatörü tasarlanarak akışın termal analizi gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanların ısı transferine olan etkisini araştırmak hedeflenmiş olup ayrıca deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçları kıyaslamak amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Subhedar ve ark. (2018), Al_2O_3 /su-etilen glikol nanoakışkanının ısı transfer potansiyelini deneysel olarak araştırmışlardır. Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu, akış oranı ve giriş sıcaklığı sırasıyla %0.2-0.8, 4-9 L/dk ve 65-85 °C aralığında değiştirilerek, bu parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre en düşük konsantrasyona sahip nanoakışkanın geleneksel soğutucu akışkana göre ısı transferinde %30 artış sağladığı görülmüştür. Nanoakışkanın akış oranı ve hacimsel konsantrasyonunun ısı transferinin gelişiminde büyük rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bhimani ve ark. (2013), saf su ve nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini kıyaslamak amacıyla bir otomobil radyatör deney düzeneği kurmuşlardır. Suyun içerisine farklı konsantrasyonlarda (%0.1-1) TiO_2 nanopartikülü ekleyerek oluşturdukları beş farklı konsantrasyondaki nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini farklı debiler (90-120 L/dk) için incelemişlerdir. Sonuçlar, sıvı akış oranının artmasıyla ısı transfer performansının da arttığını göstermiştir. Elde edilen verilere göre saf suya kıyasla nanoakışkanların düşük konsantrasyonlarının bile ısı transfer verimliliğini en az %45 arttırabileceği gözlemlenmiştir.

Hussein ve ark. (2014a), SiO_2 nanotozu içeren su bazlı nanoakışkanın ısı taşınım katsayısını ve sürtünme faktörünü bir otomobil radyatöründe deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneyler %1-2.5 konsantrasyon, 500-1750 Reynolds sayısı ve 2-8 L/dk akış oranı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre hacimsel konsantrasyon ve akış oranı arttıkça sürtünme faktörü azalmaktadır. Ek olarak akışkanların radyatöre giriş sıcaklığının sürtünme faktörü üzerinde etkisinin önemsizmeyecek kadar az olduğu anlaşılmıştır. Nanoakışkanların hacimsel konsantrasyonu ve akış oranı arttıkça Nusselt sayısının da arttığı belirlenmiştir. SiO_2 -su nanoakışkanının saf su ile kıyaslandığında ısı transfer oranını yaklaşık %50 oranında arttırabileceği sonucuna varılmıştır.

Gaidhane ve Bhosale (2016), hibrit nanoakışkanlarla geleneksel soğutucu akışkanları ısı performans açısından kıyaslamak amacıyla bir otomobil radyatör sistemi tasarlamışlardır. Hibrit nanoakışkanların hazırlanması için Fe_2O_3 ve CuO olmak üzere iki farklı nanopartikül kullanılmıştır. %0.5, %1 ve %1.5 olmak üzere üç farklı konsantrasyona göre gerçekleştirilen analizlerde, hibrit nanoakışkanların kullanılmasının baz akışkana göre

taşıyım ısı transfer katsayısını %41 ve toplam ısı transfer katsayısını %21 arttırdığı hesaplanmıştır.

Peyghambarzadeh ve ark. (2011a), bir otomobil radyatöründe saf su ve etilen glikol karışımının ısı transfer performansını farklı miktarlarda Al_2O_3 içeren nanoakışkan ile kıyaslamak için deneysel olarak çalışmışlardır. Bütün deneyler için akışkanların giriş sıcaklıklarını ve debi değerlerini değiştirerek ısı performans etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar nanoakışkanların ısı transfer davranışının parçacık konsantrasyonu ve akış şartlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Akış oranı ve parçacık konsantrasyonu arttıkça ısı transferinin de arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ek olarak nanoakışkanların geleneksel ısı transfer akışkanlarına göre ısı transferini %40 iyileştirdiği belirlenmiştir.

Srinivasu ve ark. (2016), temel akışkanı su ve etilen glikol olan nanoakışkanları bir oto radyatörde kullanarak akış analizini gerçekleştirmişlerdir. %1, %3 ve %5 olmak üzere üç farklı hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen akış analizlerinde hava hızı 40 km/sa, akış oranı 0.05 L/dk ve soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı 377 K olarak ayarlanmıştır. Elde edilen verilere göre nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonunun artmasıyla ısı transfer performansının ve ısı transfer verimliliğinin iyileşeceği sonucuna ulaşılmıştır. %5 konsantrasyona sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanı için ısı transferinde yaklaşık %77 iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Leong ve ark. (2010), otomotiv soğutma sistemlerinde Cu-etilen glikol nanoakışkanının kullanılmasıyla ısı transferine olan etkisi üzerine çalışmışlardır. %2 konsantrasyona sahip Cu-etilen glikol nanoakışkanının kullanıldığı analizlerde Reynolds sayısı hava için 6000, soğutucu akışkan için 5000 olarak belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen verilere göre etilen glikol yerine Cu-etilen glikol nanoakışkanının kullanılması ısı transferini yaklaşık %3.8 arttırmıştır. Ek olarak Cu-etilen glikol nanoakışkanının hacimsel konsantrasyonunun artmasıyla basınç düşüşünün ve gerekli olan pompa gücünün de arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sokhal ve ark. (2018), CuO/su nanoakışkanının araç soğutma sistemlerinde kullanılmasıyla ısı transferi ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini deneysel yöntemle araştırmışlardır. %0.1-0.5 aralığında konsantrasyonlara sahip nanoakışkanlar için yapılan deneylerde akışkanın giriş hızı, giriş sıcaklığı ve konsantrasyon parametrelerinin ısı transferi

üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda nanoakışkanın konsantrasyonu, sıcaklığı ve Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca basınç düşüşünün konsantrasyon ve Reynolds sayısı ile doğru orantılı, nanoakışkanın sıcaklığıyla ters orantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Isı transferindeki en yüksek artış %0.5 konsantrasyona sahip nanoakışkan için %20 olarak elde edilmiştir.

Hussein ve ark. (2014b), TiO_2 ve SiO_2 nanotozu içeren su bazlı nanoakışkanları kullanarak ısı transfer gelişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Bir oto radyatör deney düzeneğinde akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı, nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu ve hacimsel akış oranı gibi parametrelerin ısı performansına olan etkisini araştırmışlardır. Akışkanın giriş sıcaklığı 60-80 °C, hacimsel konsantrasyonu %1-2, akış oranı ise 2-8 LPM (L/dk) aralığında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Hacimsel akış oranı, giriş sıcaklığı ve nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça Nusselt sayısının arttığı sonucu elde edilmiştir.

Peyghambarzadeh ve ark. (2011b), bir otomobil radyatöründe, zorlanmış taşınım şartları altında su tabanlı Al_2O_3 /su nanoakışkanının ısı performansını deneysel olarak çalışmışlardır. Deneylerde kullanmak için %0.1-1 aralığında beş farklı hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan hazırlanmış ve 2-5 L/dk debi aralığında deneyler gerçekleştirilmiştir. Ek olarak akışkanın giriş sıcaklığının ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, düşük konsantrasyonlara sahip nanoakışkanların bile saf su ile kıyaslandığında ısı transfer verimliliğini %45 ve üstü değerlere kadar çıkarılabileceği belirlenmiştir.

Östürk (2015), kütlece %0.005-0.02 fraksiyon aralığında karbon tabanlı nanoakışkanları çapraz akışlı ve hava soğutmalı bir mikrokanailli ısı değiştiricisinde kullanarak ısı aktarım performanslarını deneysel olarak araştırmıştır. Dört farklı kütleli akış hızı ve üç farklı ısı yükü için gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Ribon nanoparçacığı içeren deiyonize su tabanlı nanoakışkanların aynı şartlar altında diğer karbon tabanlı nanoakışkanlardan daha kararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Grafen oksit nanoparçacıkların yüksek ısı akısı üreten yüzey ile uzun süre temas etmesi sonucu nanoparçacıkların şişerek polimerleştiği ve hidroksil gruplarının koparak nanoakışkanın kararlılığını kaybettiği sonucuna ulaşılmıştır. Kütlece %0.01 ve %0.02 grafen oksit içeren nanoakışkanların 200 W ısı yükü altında elde edilen ısı aktarım katsayıları, baz akışkan olan deiyonize suya göre sırasıyla %16-21 ve %2-8 aralığında artış göstermiştir. Buna karşın

kütlece %0.03 konsantrasyona sahip grafen oksit/deiyonize su nanoakışkanının ısı aktarım katsayısının baz akışkana göre %2-10 aralığında azaldığı bulunmuştur. Ayrıca aynı kütleli bölüntü oranında toplam ısı aktarım katsayısındaki en yüksek artış grafen oksit/deiyonize su nanoakışkanı için elde edilmiştir.

Peyghambarzadeh ve ark. (2013), otomobillerde yakıt tüketiminin optimizasyonu için radyatörlerde kullanılan soğutucu akışkanın ısı transferine olan etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. CuO ve Fe₂O₃ nanotozu içeren su bazlı nanoakışkanları 0.15, 0.4 ve 0.65 olmak üzere üç farklı konsantrasyonda incelemişlerdir. Akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı 50, 65 ve 80 °C olmak üzere üç farklı şekilde değiştirilmiştir. Reynolds sayısı nanoakışkan için 50-1000, akışkanın soğumasını sağlayan hava için ise 500-700 aralığında değiştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre nanoakışkanın toplam ısı transfer katsayısı suya göre %9 daha fazla çıkmıştır. Ek olarak nanopartikül konsantrasyonu, hava hızı ve nanoakışkan giriş hızı arttıkça toplam ısı transfer katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Bunun aksine nanoakışkanın giriş sıcaklığı arttıkça toplam ısı transfer katsayısının düştüğü sonucuna varılmıştır.

Variyenli ve Sarı (2016), zıt yönlü ve paralel akışlı ısı değiştiricisinde saf suyun ve MgO nanopartikülü içeren nanoakışkanın performanslarını aynı şartlar altında deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler beş farklı debi ve beş farklı sıcaklık için gerçekleştirilmiştir. Sonuçta MgO içeren nanoakışkanın saf suya göre daha iyi performans sergilediği anlaşılmıştır. Elde edilen verilere göre saf su için ortalama etkinlik katsayısı 0.8069, MgO nanoakışkanı için ise 0.8864 bulunmuştur. Plaka tip ısı değiştiricisinde MgO nanoakışkanının kullanılmasıyla saf suya göre %9 iyileşme olduğu saptanmıştır.

Delavari ve Hashemabadi (2014), Al₂O₃ içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların ısı transferine olan etkilerini araştırmak amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanarak 3 boyutlu akış alanı tasarlamışlardır. Tek fazlı ve iki fazlı olarak tasarlanan analizlerden elde edilen sonuçlara göre nanoakışkanların içerisindeki nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı artmıştır. Deneysel sonuçlarla kıyaslandığında iki fazlı yaklaşımla tek fazlı yaklaşıma göre Nusselt sayısında daha doğru sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça sürtünme faktörünün de arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tijani ve Sudirman (2018), su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların araba radyatörlerindeki ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemek için %0.05, %0.15 ve %0.3 derişime sahip Al_2O_3 ve CuO içeren nanoakışkanları kullanmışlardır. Analizler sonucunda CuO içeren nanoakışkanın ısı transfer katsayısını $36384.41 \text{ W/m}^2\text{K}$, Nusselt sayısını 208.71 ve ısı transferini 28.45 W olarak bulmuşlardır. Kütle akış oranının sabit tutulması şartı ile Al_2O_3 içeren nanoakışkan için yapılan analizlere göre ısı transfer katsayısı $31005.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, Nusselt sayısı 173.19 ve ısı transferi 28.25 W olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte CuO içeren nanoakışkanın Al_2O_3 içeren nanoakışkana göre ısı transfer performansının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Oğuz (2012), hacim konsantrasyonu, ana akışkan malzemesi, katkı maddesi, parçacık malzemesi, parçacık boyutu, parçacık şekli ve sıcaklık gibi parametrelerin akışkanın ısı iletim katsayısına olan etkisini ve nanoakışkanın ısı iletim katsayısını artırmak için hangi modellerin kullanılması gerektiğini araştırmıştır. Nanoakışkanların doğal taşınım ile ısı geçişinin sayısal olarak incelendiği bu çalışmada, dikdörtgen şeklindeki iki boyutlu kapalı bir hacim matematiksel model olarak belirlenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Katı parçacık olarak Al_2O_3 , MWCNT, CuO ve baz akışkan olarak su, yağ ve etilen glikol kullanılmıştır. Nanopartikül hacimsel konsantrasyonu ve Grashof sayısı arttıkça ortalama ısı taşınım katsayısının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak MWCNT katı parçacığının kullanıldığı nanoakışkanın, Al_2O_3 ve CuO içeren nanoakışkanlara göre ısı taşınım katsayısının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Ebrahimi ve ark. (2014), bir motor su radyatörü deney düzeneğinde akışkan olarak SiO_2 nanoparçacığı içeren su kullanmışlardır. Tasarlanan deney sisteminde akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı, akış oranı ve nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu gibi parametrelerin ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, nanoparçacık oranının, giriş sıcaklığının ve Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısının da arttığını göstermiştir.

Sarkar ve Tarodiya (2013), baz akışkanı %80 su ve %20 etilen glikol, nanopartikülü ise Cu, SiC, Al_2O_3 ve TiO_2 olan nanoakışkanların motor su radyatörlerinde kullanılması konusu üzerine çalışma yapmışlardır. Elde edilen verilere göre havanın ve soğutucu akışkanın kütle akış oranının artmasıyla, radyatörün soğutma kapasitesi ve verimliliği artmıştır. Soğutma kapasitesindeki en yüksek artış SiC için %15.34, Al_2O_3 için %14.33, Cu için %10.2 ve TiO_2 için %14.03 bulunmuştur. Nanoakışkanların kullanılması ile baz akışkana göre radyatörün soğutma kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Topuz ve ark. (2018), sabit yüzey sıcaklığı altında dairesel bir mikrokanal içerisinde akan su bazlı nanoakışkanın termal performansını ve basınç düşüşünü deneysel yöntemle araştırmışlardır. Deneylerde 0.4, 0.75 ve 1 mm iç çapa sahip mikrokanallar kullanılmıştır. %0.5, 0.7 ve 1.0 hacimsel konsantrasyonlardaki Al_2O_3 , TiO_2 ve ZnO nanoparçacıklarından elde edilen nanoakışkanlar kullanılarak gerçekleştirilen deneyler 283, 298 ve 313 K olmak üzere üç farklı yüzey sıcaklığı altında gerçekleştirilmiştir. En iyi termal performansın %1.0 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 içeren su bazlı nanoakışkanda elde edildiği görülmüştür. Geleneksel ısı transfer akışkanı olan suya göre ısı transfer gelişiminin %15.3 daha iyi olduğu ve basınç düşüşünde önemli bir fark gözlemlenmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Çiftçi ve ark. (2016), çift fazlı bir termosifonun ısı performansını iyileştirmek amacıyla nano boyutlardaki TiO_2 parçacığını içeren nanoakışkan kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada iç çapı 13 mm, dış çapı 15 mm ve uzunluğu 1 m olan bakır boru kullanılmıştır. Deneyler, 5 g/s, 7.5 g/s ve 10 g/s olmak üzere üç farklı debi ve 200 W, 300 W ve 400 W olmak üzere üç farklı ısıtıcı gücü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Isıl performans açısından en iyi sonuç 5 g/s debi ve 200 W ısıtıcı gücü şartları altında %16.5 iyileşme sağlayan TiO_2 içeren nanoakışkan için elde edilmiştir.

Samira ve ark. (2015), etilen glikol ve su bazlı CuO nanoakışkanını bir otomobil radyatöründe kullanarak basınç düşüşüne olan etkisini deneysel yöntemle araştırmışlardır. Akışkanın radyatöre giriş sıcaklığının, akış oranının ve nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun radyatördeki basınç düşüşüne olan etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre giriş sıcaklığının $19^{\circ}C$ artmasıyla basınç düşüşünün %13.17 düştüğü görülmüştür. Akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı arttıkça hem radyatörün sıcaklığının hem de akışkanın radyatörden çıkış sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Nanoakışkanların baz akışkana göre basınç düşüşünü arttırdığı ve nanopartikül oranı arttıkça basınç düşüşünün arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sarıca ve ark. (2016), boyu 250 mm, çapı 2 mm ve 3 mm olan mini kanallarda $Cu-Su$ nanoakışkanının sıcaklık performansını ölçmek amacıyla deneysel olarak çalışmışlardır. Analizler iki farklı debi (0.2 L/dk, 0.7 L/dk) ve iki farklı giriş sıcaklığı ($35^{\circ}C$, $40^{\circ}C$) için gerçekleştirilmiştir. En iyi ısı performansın $40^{\circ}C$ giriş sıcaklığında ve 3 mm çapa sahip mini kanalda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. $Cu-Su$ nanoakışkanının suya göre soğutma performansının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Sert (2012), nanoakışkanların taşınımıyla ısı transferi özelliklerini silindirik kanal içerisinde, zamana bağlı ve laminar akış şartları altında sayısal olarak incelemiştir. Sayısal analizlerde farklı hacimsel konsantrasyon ve boyutlardaki Al_2O_3/su nanoakışkanı kullanılarak ısı iletim katsayısı ve viskozite modellerinin ısı transferindeki artışa olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar nanoakışkandaki nanopartikül oranının artmasıyla ortalama ısı transfer katsayısının ve buna bağlı olarak Nusselt sayısının da arttığını göstermiştir. Öte yandan nanopartikül boyutunun artmasının ısı transferindeki artışı kötü yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Tek fazlı akış ve çift fazlı akış için ısı transferindeki artış kıyaslanmış ve sonuçların birbiriyle yakınlık gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yurddaş (2013), düzlemsel bir güneş kolektöründe su bazlı nanoakışkanların ısı transferine olan etkisini sayısal olarak incelemiştir. Basitleştirilmiş bir düzlemsel güneş kolektörü modellenerek %1 ve %5 hacimsel oranlara sahip Al_2O_3 ve Cu nanopartiküllerini içeren nanoakışkanların ısı performansları araştırılmıştır. Analizler üç farklı ısı akısı ($600W/m^2$, $700 W/m^2$, $800 W/m^2$), üç farklı Reynolds sayısı (200, 400, 600) ve dört farklı kolektör açısı (0° , 30° , 45° , 60°) için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre nanoakışkanlar ile elde edilen ısı transferinde suya göre %1 ile %8 aralığında iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca doğal taşınım sonuçları ile zorlanmış taşınım sonuçları kıyaslandığında doğal taşınım etkilerinin ihmal edilemeyecek kadar büyük olduğu gözlemlenmiştir. Isı akısı ve Reynolds sayısı arttıkça meydana gelen ısı transferinin de arttığı ve en iyi taşınımın 30° açısı için gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. $700 W/m^2$ ısı akısı ve 400 Reynolds sayısı durumunda farklı hacimsel oranlardaki nanoakışkanlar kıyaslandığında ısı taşınımının ve basınç farkının en yüksek olduğu nanoakışkanın %5 konsantrasyona sahip Al_2O_3/su nanoakışkanı olduğu saptanmıştır.

Habibian ve ark. (2018), içten yanmalı bir motor radyatöründe havanın basınç düşüşünü ve ısı transferini nümerik olarak araştırmışlardır. Analizler için üç farklı tip kanat modellenmiş ve düz bir kanat ile kıyaslanmıştır. Ayrıca alüminyum oksit ve bakır oksit nanoparçacıklarının ısı transfer gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda en yüksek ısı transfer oranına sahip kanatların gözenekli kanatlar olduğu ve ısı transfer oranını düz bir kanada göre %24.6 arttırdığı anlaşılmıştır. Ek olarak alüminyum oksit ve bakır oksit nanoparçacıklarını içeren nanoakışkanların antifrizin kötü özelliklerini iyileştirdiği ve ısı transfer oranını saf suya göre geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Karabulut (2015), uniform sabit ısı akısı sınır şartı altında dört farklı çapa sahip bakır boru kullanarak grafen oksit(GO)-su ve çok tabakalı karbon nanotüp(MWCNT)-su nanoakışkanlarının ısı transferine ve yük kaybına olan etkisini sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır. Analizlerde debinin, hacimsel konsantrasyonun, ısı akısının ve boru iç çap büyüklüğünün ısı taşınım katsayısı ve yük kaybı üzerindeki etkisi incelenmiştir. %0.01’lik MWCNT-su nanoakışkanı için 0.9 L/dk debide, ortalama ısı taşınım katsayısındaki artış %20 olarak bulunmuştur. 16 mm iç çaplı boruda GO-su nanoakışkanı için taban akışkana göre ortalama ısı taşınım katsayısındaki artış %18.3 olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanın konsantrasyonunun ve debinin artmasıyla boru boyunca yük kaybının arttığı bulunmuştur. Sürtünme faktörünün hacimsel konsantrasyonun artmasıyla arttığı, debinin artmasıyla ise azaldığı sonucuna varılmıştır.

Kılınç (2015), nanoakışkanların ısı aktarım performansını araştırmak için bir otomobil radyatörü deney düzeneği tasarlamıştır. Deneyler için baz akışkan olarak saf su, nanotoz olarak ise grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) kullanmıştır. %0.01 ve %0.02 olmak üzere iki farklı konsantrasyona sahip nanoakışkan için analizler gerçekleştirilmiştir. Akışkanların radyatöre giriş sıcaklıkları 36 °C, 40 °C ve 44 °C olmak üzere üç farklı şekilde ve debileri 0.6 m³/sa, 0.7 m³/sa, 0.8 m³/sa ve 0.9 m³/sa olmak üzere dört farklı şekilde değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre etkenlik (ϵ), Nusselt sayısı (Nu) ve toplam ısı transferi katsayısı (U) değerleri belirlenmiştir. Akışkan konsantrasyonu arttıkça otomobil radyatörünün etkenliğinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.01 ve %0.02 konsantrasyona sahip GO nanoakışkanları için ısı transfer katsayısındaki en yüksek artış sırasıyla %6.9 ve %32 olarak bulunmuştur. GNR nanoakışkanının %0.01 ve %0.02 konsantrasyonları için ise ısı transfer katsayısındaki artış sırasıyla %18.9 ve %24.8 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte nanoakışkanların Nusselt sayısını ve toplam ısı transfer katsayısını arttırdığı ve bu artış sayesinde otomobil radyatörlerinin ısı aktarım performansını iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Mounika ve ark. (2016), otomobil soğutma sisteminin en önemli elemanlarından biri olan radyatörün ısıl performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre havanın Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısı %69’dan %125’e artmıştır. Ek olarak Reynolds sayısının 14000’ten 71000’e artmasıyla kanatların verimliliğinin %6.1’e kadar düştüğü ve toplam ısı transfer katsayısının %91 arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Maheswari ve ark. (2016), bir otomobil radyatör modeli tasarlayarak farklı hız ve malzeme cinsine göre ısı transfer analizini sayısal olarak araştırmışlardır. Soğutucu akışkanın radyatöre giriş debisinin artmasıyla radyatörden çıkış sıcaklığının da arttığı sonucunu elde etmişlerdir. Radyatör malzemesi olarak bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeleri için ayrı ayrı gerçekleştirilen analizlerde gerek ısı transferi gerekse korozyon direnci açısından en iyi olan malzeme sırasıyla bakır olarak belirlenmiştir.

Rohit ve Gosai (2013), bir otomobil radyatöründeki ısı transferini nümerik olarak çalışmışlardır. Soğutucu akışkan olarak etilen glikol-su karışımının kullanıldığı radyatörde etilen glikol oranı %70, %50 ve %30 olarak üç farklı şekilde ayarlanıp analizler gerçekleştirilmiştir. Soğutucu akışkanın radyatörden çıkış sıcaklığı sırasıyla 356 K, 351 K ve 349 K olarak bulunmuştur. Ek olarak radyatör üzerinde akan hava hızının azalmasıyla ısı transfer katsayısının da azaldığı görülmüştür.

Angadi ve ark. (2014), baz akışkan içerisine farklı miktarlarda Al_2O_3 nanoparçacığı ekleyerek oluşturdukları karışımın radyatörün ısı performansına olan etkisini incelemek amacıyla çeşitli sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca hem akışkanın giriş sıcaklığının hem de sıvı akış oranının ısı transferi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre nanoakışkanların baz akışkana göre ısı transferini iyileştirdiği ve hacimsel akış oranı arttıkça ısı transfer katsayısının da arttığı saptanmıştır. Nanoakışkanların giriş sıcaklığının artmasıyla toplam ısı transfer katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir.

Patel ve Mavani (2014), bir otomobil radyatör sistemindeki soğutucu akışkan ve havayı modelleyerek nanoakışkanların ısı performanslarını araştırmak amacıyla nümerik olarak çalışmışlardır. Analizlerde soğutucu akışkan olarak su/ethanol, CuO/su ve TiO_2 /su akışkanları kullanılmış ve sisteme giriş sıcaklıkları 380 K olarak belirlenmiştir. Havanın kütle akış oranının 1.2 kg/s olduğu durumda, akışkanların sistemden çıkış sıcaklıkları su/ethanol için 375 K, CuO/su için 357 K ve TiO_2 /su için ise 359 K olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanların ısı transfer performansının temel soğutucu akışkanlara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Canbolat (2014), bir otomobil radyatörünün ısı performansının iyileştirilebilmesi amacıyla nümerik olarak çalışmıştır. Yaptığı çalışmada radyatörün boru çapı, boru sayısı, hava hızı ve kanatçık sayısı gibi parametreleri değiştirerek radyatörün akış analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda boru sayısı ve boru çapı arttıkça radyatörün ısı

veriminin arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca hava hızı ve kanatçık sayısı arttıkça radyatörün etkenliğinin de arttığı belirlenmiştir. Ek olarak kanatçık malzemesi olarak bakırın kullanılmasının alüminyuma göre ısıl performansı arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Deepu ve ark. (2014), otomobil radyatörlerinde Al_2O_3 /su nanoakışkanının kullanılmasının ısı transferine olan etkisini hesaplamalı akışkanlar dinamiği aracılığıyla sayısal olarak çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre nanoakışkanlar geleneksel soğutucu akışkanlara göre ısı transferini önemli ölçüde arttırmıştır. Ek olarak nanoakışkanlara nanoparçacık ilave edilmesiyle de radyatörün ısıl performansının iyileştiği gözlemlenmiştir.

Kumar ve Amirthagadeswaran (2016), bakır bir radyatörün farklı hava hızlarındaki ısıl performansını deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. Analizlerde suyun kütle akış oranı 0.05 kg/s, radyatöre giriş sıcaklığı 353 K ve havanın radyatöre giriş sıcaklığı 300 K olarak alınmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlara bakıldığında bakır boru üzerinden akan havanın hızı arttıkça ısı transfer oranı, ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü artmıştır. Deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar arasında %8'lik bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Pandey ve ark. (2018), farklı tip soğutucu akışkanlar kullanarak helisel tip radyatörlerin termal performans analizini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde Ethanol, Methanol, %2 Al_2O_3 /su, %3 Al_2O_3 /su ve CuO/su akışkanlarını kullanmışlardır. Elde edilen verilere göre çıkış sıcaklığının en yüksek olduğu akışkanın 357.55 K değerine sahip CuO/su, en düşük olduğu akışkanın ise 353.57 K değerine sahip ethanol olduğu belirlenmiştir.

Elsebay ve ark. (2016), bir radyatörde su yerine nanoakışkan kullanarak radyatörün yeniden boyutlandırılabilmesi konusu üzerinde nümerik olarak çalışmışlardır. Al_2O_3 /su ve CuO/su olmak üzere iki farklı nanoakışkanın termal ve akış performansı nümerik olarak değerlendirilmiştir. Dört farklı hacimsel konsantrasyona (%1, %3, %5, %7) sahip nanoakışkanlar için Reynolds sayısı 250-1750 aralığında değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Isı transfer katsayısındaki artış suya göre Al_2O_3 /su nanoakışkanı için %45, CuO/su nanoakışkanı için %38 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Al_2O_3 /su ve CuO/su nanoakışkanlarının otomobil radyatörlerinde kullanılmasının ısı transfer oranını geliştireceği saptanmıştır. Sürtünme katsayısı ve basınç düşüşünün nanoakışkanların kullanılmasıyla arttığı bulunmuştur. Elde edilen ısı transfer performanslarındaki iyileşme sayesinde radyatör hacimlerinin düşürülebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Sumit ve Ravi (2017), yaptıkları deneysel çalışmada MgO/su nanoakışkanının kullanılmasıyla motor su radyatörünün termal performansını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Deneylerden elde edilen verilere göre %0.25, %0.50, %0.75 ve %0.90 konsantrasyona sahip MgO/su nanoakışkanları için ısı transferinde baz akışkana göre sırasıyla %39.48, %54.12, %65.83 ve %70.45 artış olduğu bulunmuştur. Parçacık konsantrasyonu arttıkça taşınım ısı transfer katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Ek olarak %0.25, %0.50, %0.75 ve %0.90 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar için Nusselt sayısının baz akışkana göre sırasıyla %11.75, %26.17, %49.89 ve %63.54 arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sarı (2017), zıt yönlü paralel akışlı bir ısı değiştiricisinde saf su ve magnezyum oksit (MgO) içeren nanoakışkanın ısı özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Deneyler 40, 45, 50, 55 ve 60 °C olmak üzere beş farklı debi için gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda etkinlik katsayısı saf su için 0.8069 bulunurken, magnezyumoksit içeren nanoakışkan için 0,8864 olarak hesaplanmıştır. Etkinlik katsayısına göre nanoakışkanın saf suya göre %9.85 iyileşme sağladığı ve ısı değiştiricilerde kullanılmasının ısı performansını arttıracığı sonucuna varılmıştır.

Erkut (2012), nanoakışkanların ısı verimini elektrikli bir radyatörde deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Nanoakışkanın sentezlenmesinde baz akışkan olarak damıtılmış su, nanopartikül olarak ise Al₂O₃, CuO ve TiO₂ kullanmıştır. Sonuç olarak Al₂O₃, CuO ve TiO₂ nanopartikülü içeren nanoakışkanların % 1 hacim konsantrasyonu için sıcaklık artışının zamanla en fazla Al₂O₃ nanopartikülü içeren nanoakışkanda görüldüğü, TiO₂ ve CuO nanoakışkanlarında ise %2 ve %3 hacim konsantrasyonlarında sıcaklık artışının zamanla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃, CuO ve TiO₂ içeren nanoakışkanların kullanımı ile elektrikli radyatörlerin ısı verimlerinin %10 ile %38 değerleri arasında iyileştirilebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca nanopartikül boyutu azaldıkça nanoakışkanın ısı iletkenlik değerinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Shi ve ark. (2017), alüminyum kanatlara sahip bir ısı borusunda %0.6 hacimsel konsantrasyondaki SiO₂/su nanoakışkanının termal performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen verilere göre SiO₂/su nanoakışkanının ısı performansı deiyonize su ile kıyaslanmıştır. SiO₂/su nanoakışkanının kullanılmasıyla ısı borusunun termal direncinin suya göre %40'dan %23'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Gulhane ve Chincolkar (2016), 50 nm boyutundaki Al_2O_3 nanopartikülü ve su ile elde edilen nanoakışkanın düşük konsantrasyonlarda (%0.1-0.4) ısı transferine olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Akış oranını 2, 3, 4 ve 5 L/dk, soğutucu akışkanın giriş sıcaklığını 50, 60 ve 70 °C olacak şekilde değiştirerek analizleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre partikül oranının, akış oranının ve soğutucu akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığı anlaşılmıştır. Isı transferindeki en yüksek artışın suya göre %45.87 olduğu bulunmuştur.

Mert (2017), bir otomobil radyatörü deney düzeneğinde geleneksel ısı transfer akışkanı yerine nanoakışkan kullanarak, radyatörün soğutma kapasitesini ve basınç kaybını deneysel olarak araştırmıştır. Soğutucu akışkan olarak etilen glikol-su bazlı %0.5 Al_2O_3 nanopartikülü içeren nanoakışkan kullanmıştır. Deneyler 10-25 L/dk soğutucu akışkan debisi, 1.7-4.3 m/s hava hızı, 23.4-28.6 °C hava sıcaklığı ve 95 °C soğutucu akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda nanoakışkan kullanılarak otomobil radyatörünün soğutma kapasitesinde yaklaşık %15 artış olduğu tespit edilmiştir. Havanın radyatördeki basınç kaybının soğutucu akışkan debisinden bağımsız olduğu anlaşılmıştır. Soğutucu akışkanın basınç kaybında ise 25 L/dk debiye kadar belirgin bir artış görülmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Selvam ve ark. (2017), su ve etilen glikol bazlı grafen nanopartikülü içeren nanoakışkanları kullanarak otomobil radyatörlerindeki toplam ısı transfer katsayısının gelişimini deneysel yöntemle araştırmışlardır. Kütle akış oranı 12.5-62.5 g/s, hava hızı 1-5 m/s ve soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı 35-45 °C aralığında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Toplam ısı transfer katsayısındaki en yüksek artış baz akışkana göre %104 olarak hesaplanmış ve 62.5 g/s akış oranı, 5 m/s hava hızı ve %0.5 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan için elde edilmiştir. Basınç düşüşündeki en yüksek artış ise 62.5 g/s debide %39 olarak bulunmuştur.

Contreras ve ark. (2019), gümüş ve grafen nanopartikülü içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların termohidrolik performansının araştırılması için deneysel olarak çalışmışlardır. Kütle akış oranı 0.08 kg/s ve 0.11 kg/s, soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı ise 55 °C ve 85 °C olarak değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre nanoakışkanların kullanılmasıyla yüksek sıcaklık ve akış oranlarında pompalama gücü yaklaşık %4 artmıştır. Gümüş nanopartikülü içeren nanoakışkanlar için ısı transfer oranında %4.4 artış olduğu gözlemlenirken, grafen nanopartikülü içeren

nanoakışkanların termohidrolik performanslarının baz akışkana göre düşük olduğu saptanmıştır.

Karimi ve Afrand (2018), hava soğutmalı bir ısı değiştiricisinde MgO-MWCNTs/EG nanoakışkanının kullanılması termal performansa olan etkisini nümerik olarak incelemişlerdir. Analizlerden elde edilen verilere göre dikey tüplere sahip radyatörlerin yatay tüplere sahip radyatörlerden %10 daha verimli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ek olarak dairesel borulara sahip ısı değiştiricilerinin basınç düşüşünün %25 daha az olduğu ve eliptik tüplere sahip ısı değiştiricilerinde Nusselt sayısının %10 daha fazla olduğu saptanmıştır. Ek olarak nanoakışkanların konsantrasyonunun artmasıyla Nusselt sayısının ve basınç düşüşünün arttığı gözlemlenmiştir.

Sandhya ve ark. (2016), %60 su ve %40 etilen glikol bazlı %0.1, %0.3 ve %0.5 hacimsel konsantrasyonlara sahip TiO_2 nanoakışkanlarının otomobil radyatörlerindeki soğutma performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerde Reynolds sayısı 4000-15000 aralığında değiştirilmiştir. Soğutucu akışkan debisinin artmasıyla ısı transfer performansının arttığı ve soğutucu akışkanın giriş sıcaklığının ısı transfer performansını önemli oranda etkilemediği sonucuna ulaşmışlardır. Düşük konsantrasyona sahip nanoakışkanın baz akışkan ile kıyaslandığında ısı transfer oranını %37 iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Hatami ve ark. (2017), Fe_3O_4 , TiO_2 , Al_2O_3 ve CuO nanopartiküllerini içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların motor radyatörlerinin soğutma performansı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla nümerik olarak çalışmışlardır. Dört farklı Reynolds sayısı (500, 1000, 1500, 2000) için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre diğer nanoakışkan modelleri ile kıyaslandığında en iyi soğutma performansını EG- TiO_2 nanoakışkanı göstermiştir. Reynolds sayısı arttıkça ısı transfer oranının ve Nusselt sayısının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Naraki ve ark. (2013), bir otomobil radyatöründe CuO/su nanoakışkanının toplam ısı transfer katsayısını deneysel olarak hesaplamışlardır. Ayrıca akışkanın radyatöre giriş sıcaklığının ve akışkana nanopartikül ilave edilmesinin toplam ısı transfer katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda nanoakışkanın radyatöre giriş sıcaklığının artmasıyla toplam ısı transfer katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Ek olarak

hacimsel konsantrasyonun 0'dan %0.4'e artmasıyla toplam ısı transfer katsayısının baz akışkana göre %8 arttığı sonucuna varılmıştır.

Goudarzi ve Jamali (2017), Al_2O_3/EG nanoakışkanını kullanarak bir motor su radyatörünün ısı transfer gelişimini deneysel olarak araştırmışlardır. Farklı geometriye sahip iki spiral telin ve farklı konsantrasyona (%0.08, %0.5, %1) sahip nanoakışkanların ısı transferi üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada, spiral tellerin kullanımının ısı transfer oranını %9 geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak nanoakışkanların radyatörün termal performansını yaklaşık %5 oranında iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Jadar ve ark. (2017), deneysel çalışmalarında, geleneksel ısı transfer akışkanı olan su ile f-MWCNT nanoakışkanının taşınımıyla ısı transfer katsayısını kıyaslamışlardır. Deneylerde otomobil radyatörünün üzerinden geçen havanın hızı sabit tutulmuş ancak akışkanın debisi 0.5 L/dk ve 2.5 L/dk olmak üzere iki farklı şekilde değiştirilmiştir. Elde edilen verilere göre debinin artmasıyla akışkanın çıkış sıcaklığının ve Nusselt sayısının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak f-MWCNT nanoakışkanının ısı transfer performansının suya göre %45 daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Ahmed ve ark. (2018), soğutucu akışkan olarak TiO_2 -su nanoakışkanı kullanarak bir otomobil motor radyatörünün ısı transfer performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerde debi 0.097-0.68 m³/sa ve Reynolds sayısı 560-1650 aralığında değiştirilmiştir. %0.1, %0.2 ve %0.3 olmak üzere üç farklı konsantrasyon için ısı performans kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen verilere göre Reynolds sayısı ve hacimsel konsantrasyon arttıkça sürtünme faktörünü azalmıştır. Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun ve Reynolds sayısının artmasının ortalama ısı transfer katsayısını doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Ek olarak %0.2 konsantrasyona sahip TiO_2 -su nanoakışkanın otomobil radyatörünün verimliliğini %47'e kadar arttırabileceği sonucuna varılmıştır.

Sumanth ve ark. (2018), %0.02, %0.03 ve %0.04 konsantrasyona sahip karboksil grafen içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanın bir radyatörün ısı performansına olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler 1200-2500 Reynolds sayısı, 3-6 L/dk sıvı akış oranı ve 40 °C ve 50 °C akışkanın radyatöre giriş sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karboksil grafen nanopartiküllerinin eklenmesi Nusselt sayısını ve radyatörün verimliliğini arttırmıştır. 40 °C ve 50 °C giriş

sıcaklıklarında %0.002 konsantrasyona sahip nanoakışkanın baz akışkana göre radyatörün verimliliğini sırasıyla %27.38 ve %23.41 arttırdığı bulunmuştur.

Çakır (2015), %2 Al_2O_3 nanotozu içeren nanoakışkanın ısı geçiş performansını termosifon tipi bir ısı borusunda deneysel olarak araştırmıştır. Kurulan deney düzeneğinde 13 mm çap ve 1 m boya sahip bakır boru kullanmış ve ısı kaynağı olarak elektrikli spiral bir ısıtıcı ile etrafı sarılmıştır. Evaporatör ve kondenser bölgesinde dört farklı noktadan sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiş ve 5g/s, 7.5 g/s ve 10g/s olmak üzere üç farklı kütleli debide analizler yapılmıştır. 500 W'lık giriş gücü, 0.0075 kg/s'lik kütleli debi ve 75°'lik boru eğim açısı şartlarında baz akışkana kıyasla ısı veriminde %35.7 iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Mohammadpoor ve ark. (2019), bakır ve etilen glikol içeren nanoakışkanın ısı özelliklerini araştırmışlardır. Analizlerde nanoakışkan konsantrasyonunun (0.01, 0.03 ve 0.05) ve Reynolds sayısının (68, 94.8 ve 125.5) ısı performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %0.05 konsantrasyona sahip nanoakışkan için 68, 94.8 ve 125.5 Reynolds sayılarında ısı transfer katsayısının sırasıyla %73.34, %47.5 ve %24.2 arttığı gözlemlenmiştir. Isı transfer katsayısındaki en yüksek gelişimin %0.05 konsantrasyonlu nanoakışkan için ve Reynolds sayısının 68 olduğu durumda gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. %0.01 konsantrasyondaki tek fazlı nanoakışkanın ısı iletkenliği baz akışkana göre yaklaşık %21 artış gösterirken, iki fazlı nanoakışkanın ısı iletkenliğinin %39.4 arttığı belirlenmiştir.

Gabriela ve Angel (2018), MWCNT+ Fe_3O_4 /su ve ND+ Fe_3O_4 /su hibrit nanoakışkanlarının termodinamik tersinmezliklerini ve ısı transfer performanslarını nümerik olarak incelemişlerdir. Analizlerde Reynolds sayısı 250-2000, hibrit nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonu %0-0.3, giriş sıcaklığı 313-333 K aralığında değiştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre bütün Reynolds sayıları için, yatay tüplerde hibrit nanoakışkanların kullanılması ısı transferini geliştirmiştir. MWCNT+ Fe_3O_4 /su nanoakışkanının ısı transfer gelişiminin ND+ Fe_3O_4 /su nanoakışkanına göre daha iyi olduğu saptanmıştır. Hibrit nanoakışkanların hacimsel konsantrasyonunun artmasıyla toplam entropi üretiminin azaldığı gözlemlenmiştir. %0.3 konsantrasyona sahip MWCNT+ Fe_3O_4 /su nanoakışkanında entropi üretiminin baz akışkana göre %26.48 düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

Ali ve ark. (2015), %0.01, %0.08, %0.2 ve %0.3 olmak üzere dört farklı oranda ZnO nanopartikülü içeren nanoakışkan hazırlamışlardır. Bu nanoakışkanların ısı aktarım performansını bir otomobil radyatörü deney düzeneğinde belirlemişlerdir. Isı transferinin akış oranına göre nasıl değiştiğini incelemek amacıyla 7-11 LPM (liter per minute) debi aralığında analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda en iyi ısı transfer gelişiminin %0.2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan için gerçekleştiği ve taban akışkana kıyasla ısı transferinde %46 iyileşme olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca akışkan giriş sıcaklığı 45 °C'den 55 °C'ye arttırıldığında, ısı transfer oranının %4 arttığı gözlemlenmiştir.

Ravisankar ve ark. (2018), Cu/su nanoakışkanının traktör radyatörlerinde kullanılmasının ısı performansına olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. %0.025, %0.05 ve %0.075 hacimsel konsantrasyonlardaki nanoakışkanların kullanıldığı analizlerde giriş sıcaklığı 50-60 °C, Reynolds sayısı ise 8000-25000 aralığında değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nanoakışkanın giriş sıcaklığı arttıkça toplam ısı transfer katsayısı düşmüştür. Nanopartikül oranının %0.025'den %0.05'e artmasıyla ısı transfer katsayısının %16 ve nanopartikül oranının %0.05'den %0.075'e artmasıyla ısı transfer katsayısının %19 arttığı hesaplanmıştır. Ek olarak havanın ve nanoakışkanın debisinin artmasıyla toplam ısı transfer katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir.

Erdoğan (2016), Al₂O₃, TiO₂ ve ZnO nanotozlarını içeren nanoakışkanların ısı performansını ve basınç düşüşünü daire kesitli mikrokanallar aracılığıyla deneysel olarak araştırmışlardır. Ek olarak debinin (20, 35, 50 ml/dk), yüzey sıcaklığının (15, 25, 40 °C) ve hacimsel konsantrasyonun (%0.5, %0.7 ve %1) ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre Al₂O₃/su ve ZnO/su nanoakışkanları baz akışkana göre ısı transferini sırasıyla %15 ve %2.57 arttırmıştır. Öte yandan TiO₂/su nanoakışkanı için ise ısı transferinin baz akışkana göre %2.2 azaldığı görülmüştür.

Sharma (2018), Al/su nanoakışkanının bir otomobil radyatörünün reolojik özelliklerine olan etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Ayrıca akış oranı, giriş sıcaklığı, konsantrasyon ve hava hızı parametrelerinin ısı transferine olan etkisini incelemiştir. 318.15 K giriş sıcaklığında gerçekleştirilen deneyler sonucunda %0.2 ve %0.3 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar için Nusselt sayısının baz akışkana göre sırasıyla %3.37 ve %5.088 arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak %0.2 ve % 0.3 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar için

sürtünme katsayısının baz akışkana göre sırasıyla %14.04 ve %20.92 arttığı gözlemlenmiştir.



3. TEORİK BİLGİLER

3.1. Isı Değiştiricileri

Birbirinden katı bir cidar ile ayrılan ve farklı sıcaklıktaki iki akışkan arasındaki ısı geçişini gerçekleştiren cihazlara ısı değiştiricisi denir. Genellikle iklimlendirme sistemleri, sanayi uygulamaları, atık ısının geri kazanıldığı sistemler, kimyasal ve ilaç üretim tesisleri, nükleer santraller gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

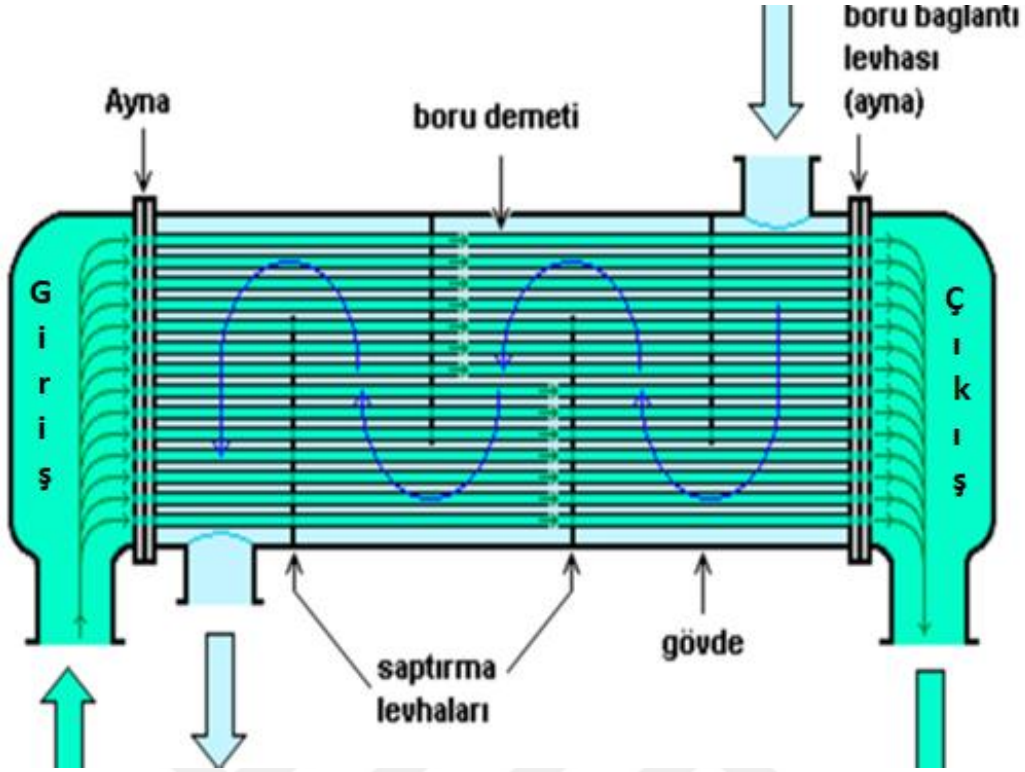
3.1.1. Isı Değiştirici Tipleri

Isı değiştiricileri konstrüksiyon geometrisine, ısı transfer mekanizmalarına, ısı transfer prosesine, akış düzenlenmesine, yüzey kompaktlığına, uygulama alanlarına ve akış düzenlemesine göre sınıflandırılırlar. Isı değiştiricileri konstrüksiyon geometrisine göre dört şekilde sınıflandırılır.

1. Borulu ısı değiştiricileri
2. Plakalı ısı değiştiricileri
3. Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri
4. Rejenaratif tip ısı değiştiricileri

3.1.1.1. Borulu Isı Değiştiricileri

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere borulu tip ısı değiştiricilerinde bir akışkan borunun iç tarafından akarken, diğer akışkan borunun dış tarafından akar. Borulu ısı değiştiricileri çift borulu, gövde borulu ve spiral borulu olmak üzere üç farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır (Incorepera ve Dewitt, 2001; Çorak, 2010).



Şekil 3.1. Borulu tip ısı değıştircisi (URL-1, 2019).

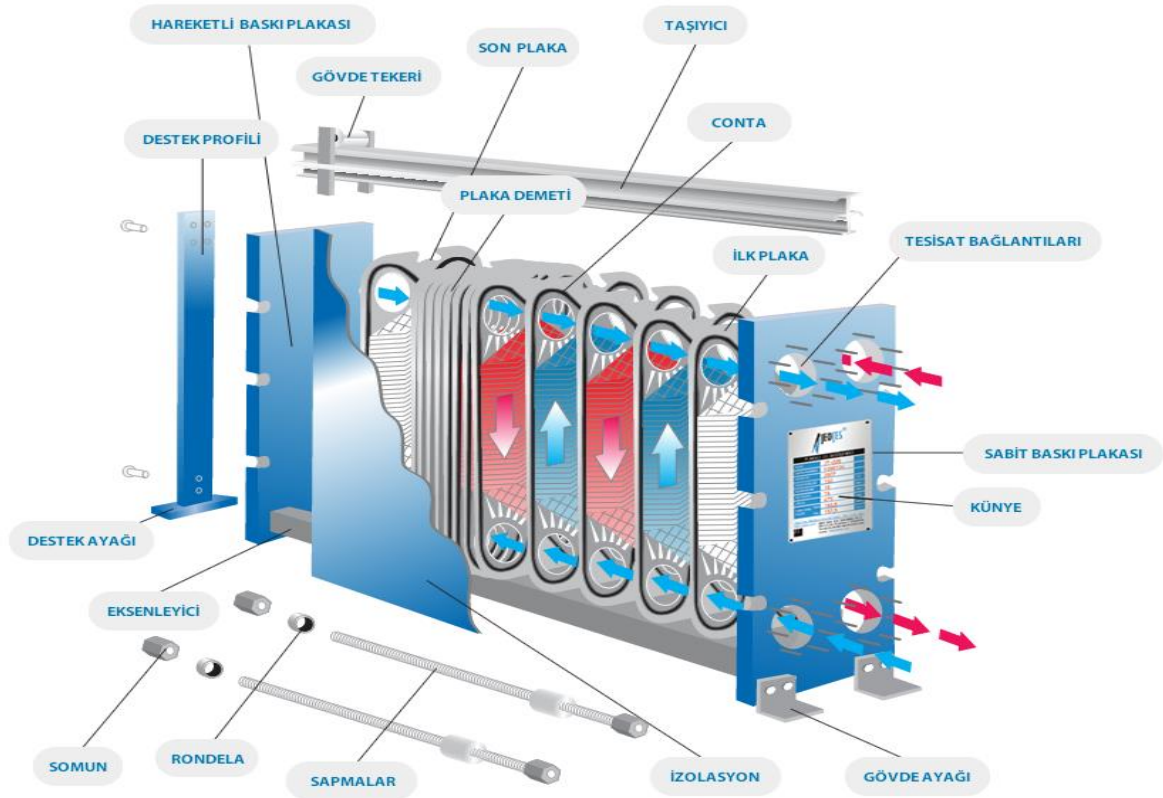
Gövde borulu ısı değıştircileri boru ekseni gövdenin eksenine paralel olacak şekilde üretilir ve büyük silindirik gövde içine yerleştirilen birbirine paralel yuvarlak borulardan oluşur. Bu ısı değıştircilerinde gövde, boru demeti, saptırma levhaları, manifold ve destek çubukları gibi temel elemanlar bulunmaktadır. Akışkanlardan biri boruların içersinden akarken, diğeri borulara paralel veya çapraz olarak akar.

Çift borulu ısı değıştircilerinde bir boru daha büyük çapa sahip boru içersine eşmerkezli olarak yerleştirilmiştir. Akışkanlardan biri iç taraftaki borudan akarken, diğeri dış taraftaki borudan akar. Arzu edilen sıcaklık farkı ve basınç düşüşünü karşılamak amacıyla seri ve paralel olmak üzere iki farklı şekilde düzenlenerek üretilbilirler. İç taraftaki boru tek veya çok borudan oluşabilir.

Spiral borulu ısı değıştircileri bir depo içersinde yerleştirilmiş spiral şeklindeki bir veya daha fazla sayıdaki borudan meydana gelir. Spiral borunun ısı transfer katsayısı düz bir boruya göre daha yüksektir. Genellikle depo ve havuzlardaki akışkanların sıcaklık kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılırlar.

3.1.1.2. Plakalı Tip Isı Değiştiriciler

Plakalı tip ısı değiştiricileri akış kanallarını oluşturan ince plakalardan meydana gelir. Akışkanların gaz, sıvı ve iki fazlı olması durumlarında ısı transferini gerçekleştirmek amacıyla kullanılırlar. Plakalı tip ısı değiştiricisi şekil 3.2’de gösterilmiştir. Contalı plakalı, spiral plakalı ve lamelli tip olmak üzere üç farklı şekilde üretilirler (Incorepera ve Dewitt, 2001; orak, 2010).



şekil 3.2. Plakalı tip ısı değiştiricisi (URL-2, 2019).

Contalı plakalı ısı değiştiricileri bir ereve içerisindeki ince metal plakaların paket haline getirilmesiyle üretilirler. Her metal plakanın dört yanında da akışkanların geçebilmesi için delikler bulunur. Plakaların birleştirilmesi sırasında uygun contaların kullanılmasıyla akışkanların sızıntı yapması ve birbirine karışması önlenir. Plakaların arasında bulunan boşluklardan sıcak ve soğut akışkanlar birbirine temas etmeden akarlar.

Spiral plakalı ısı değiştiricileri ısı transferini sağlayan yüzeyin silindirik boru değilde spiral plaka olduğu ısı değiştiricileridir. Spiral plakalı ısı değiştiricileri 150-1800 mm

genişliğine sahip uzun ince iki metal plakanın paralel kanal oluşturacak şekilde spiral şeklinde sarılmasıyla meydana gelir. Plakaların iki tarafı contaya sahip kapaklar ile kapatılır ve iki plaka arasına yerleştirilen saplamalar ile düzgün aralıklar oluşturulur.

3.1.1.3. Genişletilmiş Yüzeyli Isı Değiştiricileri

Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri, ısı transfer alanını artırmak için boru veya plaka yüzeyler üzerinde kanatçıklar veya ilaveler ihtiva eden ısı değiştiricileridir. Gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısı, sıvı tarafındaki ısı taşınım katsayısından çok düşük olduğundan kanatçıklar gaz tarafında kullanılır. En yaygın genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri plakalı kanatlı ve borulu kanatlı ısı değiştiricileridir.

3.1.1.4. Rejeneratif Tip Isı Değiştiricileri

Rejeneratif tip ısı değiştiricileri diğer adıyla Rejeneratörler, periyodik akışa sahip ısı değiştiricileridir. Rejeneratörlerde, sıcak akışkan tarafından depo edilen ısı soğuk akışkana verilerek dolaylı bir şekilde ısı geçişi sağlanır. İçerisinde sacdan yapılmış bir rotor bulunmaktadır. Rotorun içerisinde ondüle veya bal peteği şeklindeki ince çelik saclar ısı transfer alanını artırmaktadır. Yanma gazları rotorun yarı hacminden geçerek ondüle plakaları ısıtır ve rotor döndükçe soğuk hava ısıtılmış olur. İki akışkanın birbirine karışmasını önlemek amacıyla rotorun orta kısmına sızdırmazlık elemanları yerleştirilir.

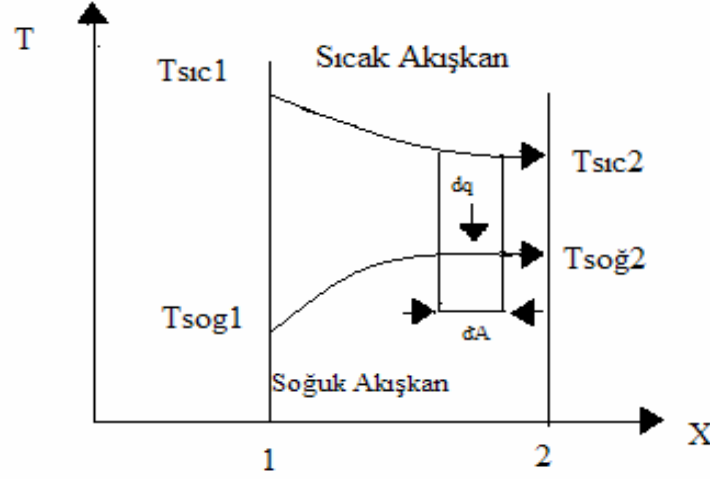
3.1.2. Isı Değiştiricilerinin Akım Şekli

Isı değiştiricileri farklı tiplerde olup, farklı sıcaklıklara sahip iki akışkan arasındaki ısı geçişini gerçekleştirirler. Birbirine bitişik kanallardan sürekli olarak baca gazı ile ısıtılan akışkan geçirilerek ısı transferi sağlanır. Baca gazı ile ısıtılacak akışkan aynı, zıt ve paralel yönlü akabilir.

3.1.2.1. Paralel Akımlı Isı Değiştiricileri

Paralel akımlı ısı değiştiricilerinde, akışkanlar ısı değiştiricisinin bir tarafından girip aynı doğrultuda akarak diğer taraftan çıkarlar. Şekil 3.3'te paralel akımlı ısı değiştiricisinin

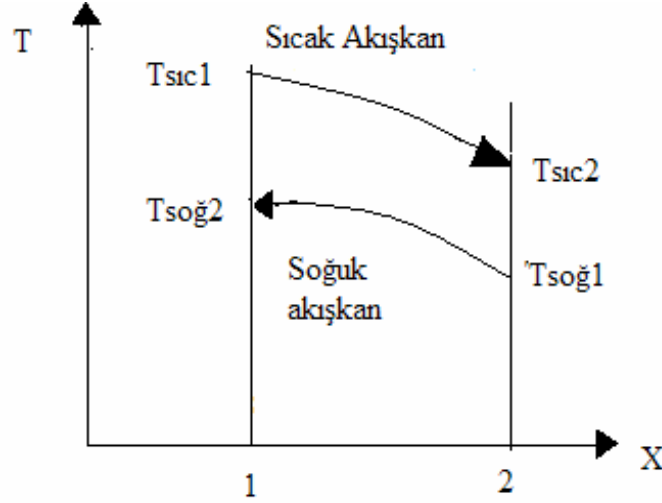
sıcaklık profilleri görülmektedir. Bu düzenlemede ısı değiştiricisinin ısı geçişi olan cidarının sıcaklığı çok fazla değişmez. Bu sebepten ısıl gerilmelerin arzu edilmediği bir durumda paralel akımlı ısı değiştiricisi tercih edilir.



Şekil 3.3. İç içe borulu ısı değiştiricisinde paralel akış halinde sıcaklık profilleri (Incorepera ve Dewitt, 2001; Çorak, 2010).

3.1.2.2. Ters Akımlı Isı Değiştiricileri

Ters akımlı ısı değiştiricilerinde akışkanlar birbirine göre ters yönde akar. Şekil 3.4 'te akışkanların ısıl kapasite debilerine göre sıcaklık dağılımları verilmiştir. Bu ısı değiştiricilerindeki ortalama logaritmik sıcaklık farkı diğer tiplere göre daha büyüktür. Ters akım düzeni diğer düzenlere göre imalat güçlüğü, ısıl gerilmeler ve korozyon tehlikesi dezavantajlarından dolayı birçok uygulamada tercih edilmemektedir.



Şekil 3.4. Borulu ısı değiştiricisinde ters yönde akış halinde sıcaklık profilleri (Incorepera ve Dewitt, 2001; Çorak, 2010).

3.1.2.3. Çapraz Akımlı Isı Değiştiricileri

Çapraz akımlı ısı değiştiricilerinde akışkanlar birbirlerine dik bir şekilde akarlar. Akışkanlar bitişik kanal içindeki akışkan ile karışmadan akıyorsa bu akış şekline karışmayan akım şekli verilir. Hem ısıtma hem de karıştırmanın arzu edildiği işlemlerde karışan akım şekli tercih edilir. Bu ısı değiştiricilerinin diğerlerine göre imalatı daha kolay olduğu için kompakt ısı değiştiricilerinin çoğu çapraz akımlı olarak imal edilir.

3.1.3. Isı Değiştiricilerinde Isı Transferi

Hem ısı iletiminin hem de ısı taşınımının birlikte görüldüğü ısı transferi şekline bileşik ısı transferi denir. Başta ısı değiştiricileri olmak üzere pek çok mühendislik uygulamalarında bileşik ısı transferi kullanılmaktadır.

3.1.3.1. Isı İletimi

Isı iletimi, molekkülerin birbiriyle doğrudan temas etmesi halinde oluşan ısı transfer çeşididir. Katılarda ısı iletimi, moleküllerin ve maddenin yapısını meydana getiren kafeslerin titreşmesi veya yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa elektronların hareket etmesi ile

gerçekleşmektedir. Sıvılarda ise moleküllerin ardı ardına meydana gelen çarpışması sonucu gerçekleşir.

Herhangi bir noktadaki ısı akısı Fourier yasasından hesaplanabilir ve genel ısı iletim denklemi eşitlik 3.1'deki gibi yazılabilir.

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = k \cdot \nabla^2 T \cdot \ddot{q} \quad (3.1)$$

Isıl yayılım katsayısı (α), eşitlik 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \quad (3.2)$$

Genel ısı iletim denklemi eşitlik 3.3'deki gibi ifade edilebilir.

$$\nabla^2 T + \frac{\ddot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.3)$$

Burada ∇^2 laplasyen operatörü olup kartezyen ve silindirik koordinatlarda eşitlik 3.4 ve eşitlik 3.5'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3.4)$$

$$\nabla^2 = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial}{\partial r} \right) + \left(\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3.5)$$

3.1.3.2. Isı Taşınımı

Bir yüzeyin üzerinden veya içerisinden akan akışkanın sıcaklığı yüzeydeki sıcaklıktan farklı ise akışkanın hareket etmesiyle akışkan ile yüzey arasında meydana gelen ısı transferine ısı taşınım adı verilir. Akışkanın hareketi dışarıdan bir enerji sarfedilmesi ile gerçekleşiyorsa bu taşınım zorlanmış taşınım adı verilir. Eğer akışkanın hareketi yoğunluk

farkı ile gerçekleşiyorsa buna doğal taşınım adı verilir. Taşınım ile gerçekleşen ısı geçişinde yüzeyden hareket halindeki akışkana olan ısı akısını hesaplamak amaçlanmaktadır.

Yüzey sıcaklığı T_s , yüzey ile temas eden akışkanın sıcaklığı T_∞ ise yüzey ile akışkan arasındaki ısı akısı eşitlik 3.6 ile ifade edilmektedir. Bu ifade Newton soğutma yasası olarak adlandırılır ve ısı taşınımının özel kanunudur (Incorepera ve Dewitt, 2001; Çorak, 2010).

$$\dot{q} = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (3.6)$$

3.2. Araçlarda Soğutma Sistemi

3.2.1. Soğutma Şekline Göre Motor Soğutma Sistemleri

Araçlarda hava soğutmalı ve su soğutmalı olmak üzere iki farklı soğutma sistemi bulunmaktadır. Günümüzde araçlarda su soğutmalı sistemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava soğutmalı sistemler ise genellikle uçaklarda ve motosikletlerde kullanılmaktadır.

3.2.1.1. Hava Soğutmalı Sistemler

İkinci Dünya Savaşı sırasında Rusya’da havanın aşırı soğuk olması sebebiyle su soğutmalı sistemlerde radyatörün içerisindeki su donmaktaydı. Bunun üzerine yapılan çalışmalar sonucunda hava soğutmalı motor sistemleri üretilmiştir. Hava soğutmalı motor sistemlerinde silindir kafası ve bloğu üzerinde ısı transferini artıran kanatlar bulunmaktadır. Kanatların amacı yüzey alanını arttırarak motorun sıcaklığını arzu edilen seviyeye getirmektir.

Havanın özgül ısı değeri $0.24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$, suyun özgül ısı değeri $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ ’dir. Yani hava ile aynı miktarda olan suyun 1°C ısındığında aldığı ısı miktarı, havanın yaklaşık dört katıdır. Ayrıca suyun ısı iletim katsayısı havanın ısı iletim katsayısından büyük olduğu için hava soğutmalı sistem kullanıldığında suya göre daha fazla debi ihtiyacı duyulmaktadır.

Soğutma sistemlerinde hava akışını sağlamak için genellikle vantilatörler kullanılır. Ek olarak radyatör ve su pompası gibi elemanların hava soğutmalı sistemlerde

bulunmamasından dolayı maliyet azdır ve motor bakımına su soğutmalı sistemlere göre daha seyrek ihtiyaç duyulur.

3.2.1.2. Su Soğutmalı Sistemler

Günümüzde otomobillerin çoğunda su motor soğutmalı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde soğutucu akışkan silindir çevresini saran kanallar içinde dolaşarak motorun soğutulmasını sağlar. Motorun ısınıp absorbe ederek sıcaklığı artan soğutucu akışkan radyatöre gelir ve sahip olduğu ısıyı havaya transfer eder. Sıcaklığı azalan soğutucu akışkan tekrar motora giderek ısınır ve bu şekilde döngü devam eder.

Su soğutmalı sistemler ile hava soğutmalı sistemler kıyaslandığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

- Hava soğutmalı sistemlerde radyatör bulunmaz.
- Su soğutmalı sistemlerde donma tehlikesi varken, hava soğutmalı sistemlerde su bulunmadığından donma tehlikesi yoktur.
- Hava soğutmalı sistemler daha hafiftir.
- Hava soğutmalı sistemlerde kireçlenme problemi yoktur.
- Su soğutmalı sistemler optimum çalışma sıcaklığına daha geç ulaşır.
- Hava soğutmalı sistemlerde vantilatör gereklidir ve vantilatör bir gürültü kaynağıdır.
- Hava soğutmalı sistemler ortalama olarak daha yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı için ısıl gerilmeler su soğutmalı sistemlere göre daha fazladır (Canbolat, 2014).

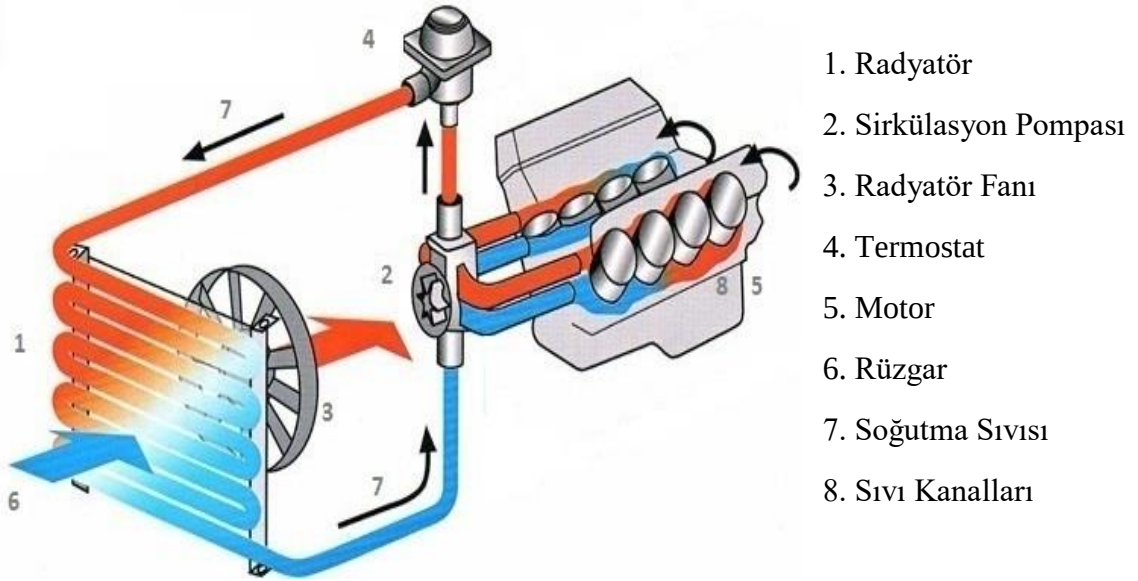
3.2.2. Otomobil Soğutma Sistemleri

Otomobil soğutma sistemlerinin görevi içten yanmalı motorların yanma odasında meydana gelen yüksek ısının yaklaşık %30'unu dışarı atarak motoru arzu edilen sıcaklıkta tutmaktır. Hava-yakıt karışımının yanması ile silindirlerin içerisindeki sıcaklık 2500 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Bu yüksek sıcaklığın bir kısmı pistonlar ve silindir duvarı sayesinde emilir. Ancak silindir duvarlarının dayanabileceği en yüksek sıcaklık yaklaşık 300 °C'dir. Eğer bu sıcaklığı geçerse silindir duvarlarında ısıl gerilmeler meydana gelir ve çatlaklara yol açabilir. Ek olarak motor yağı yağlayıcı özelliği yitirmeye başlar. Dolayısıyla

içten yanmalı motorların bu kadar yüksek sıcaklıklara maruz kalması motorun zarar görmesine yol açabilir. Bununla birlikte sıcaklığın aşırı düşmesi de aracın verimini düşürecektir. Böyle olumsuz durumların meydana gelmemesi için motor optimum sıcaklıkta tutulmalıdır.

3.2.2.1. Otomobil Soğutma Sistemlerinin Çalışma Şekli

Otomobil soğutma sistemi radyatör, pompa, borular, termostat, motor içi akışkan kanalları, soğutucu akışkan, genişleme tankı ve bağlantı parçalarından meydana gelir. Soğutucu akışkan pompa aracılığıyla motorun soğumasını sağlayan kanallara iletilir ve motorda oluşan fazla ısıyı absorbe edip ısınarak radyatöre geri döner. Radyatörde hava sayesinde soğutulur tekrar ısınan motora gönderilir ve böylelikle devir daim yapar. Havanın radyatör kanalları üzerinden geçişi iki şekilde gerçekleşir. Birincisi araç düşük hızlarda ilerliyorsa radyatör fanı devreye girerek havanın kanallar üzerinden akmasını sağlar. İkincisi ise araç yüksek hızlarda ilerliyorsa hava araç hızı ile aynı hızda radyatör üzerinden akarak radyatörü soğutur. Otomobil soğutma sisteminin elemanları ve çalışma şekli Şekil 3.5’de verilmiştir (Canbolat, 2014).



Şekil 3.5. Otomobil radyatörü çalışma prensibi (URL-3, 2019).

3.2.2.2. Otomobil Radyatörleri

Su soğutmalı motor sistemlerinin en önemli elemanlarından biri olan radyatörler bir çeşit kompakt ısı değıştircileridir. Motorların soğutma sisteminde dolaşan soğutucu akışkan motor çalıştıkça ısınır ve radyatörlerin görevi de bu ısınan akışkanı soğutmaktır. Böylece motorun güvenli bir sıcaklıkta çalışmasını sağlar.

Radyatörleri dik ve yatay olmak üzere akış yönüne göre sınıflandırabiliriz. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görüldüğü üzere yatay akışlı radyatörlerde soğutucu akışkanın dolaştığı borular yatay olarak yerleştirilmişken, dik akışlı radyatörlerde bu borular dikey olarak yerleştirilmiştir. Bu iki tip radyatörün hangisinin daha verimli olduğu konusunda kesin bir yargıya varmak mümkün değildir. Çünkü kanatçık tasarımı, radyatör malzemesi ve ısı transfer yüzey alanı aynı olan iki tip radyatörün verimi aynı olacaktır. Dik akışlı radyatörler yatay akışlı radyatörlere göre daha uzun ve ince olurlar. Dolayısıyla bu tip radyatörler alt kısım ile kaput arasındaki mesafesi uzun olan araçlar için daha uygundur. Yatay akışlı radyatörler ise alt tarafıyla kaput arası mesafesi kısa olan araçlar için daha uygundur (Canbolat, 2014).



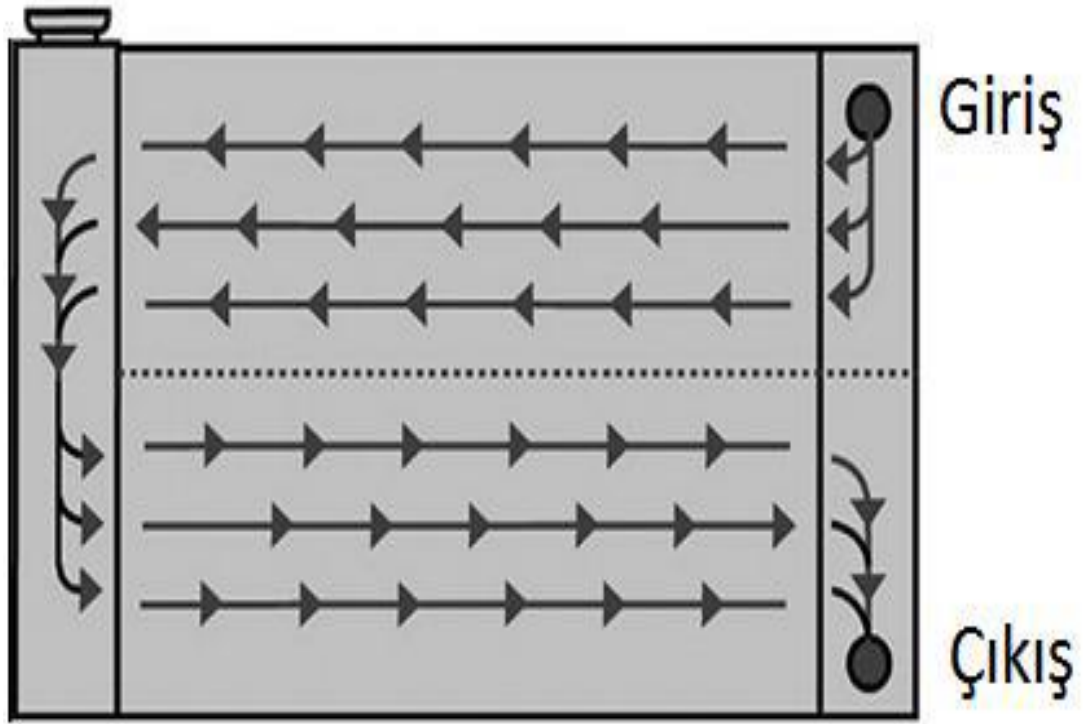
Şekil 3.6. Yatay akışlı radyatör (URL-4, 2019).



Şekil 3.7. Dik akışlı radyatör (URL-5, 2019).

Bu tip radyatörlerde motor içerisinde ısınan soğutucu akışkan radyatörün üst kısmından girerek absorbe ettiği ısıyı havaya aktardıktan sonra giriş borusunun karşı hizasından radyatörden çıkar. Bu radyatörlere tek geçişli radyatörler denir. Bunlara ek olarak son zamanlarda iki geçişli radyatörler de kullanılmaya başlanmıştır.

Soğutucu akışkan iki geçişli yatay akışlı radyatörlere üst kısımdan girer ve ilk geçişte radyatörün yarısını kullanır. İkinci geçişte ise alt yarısını kullanarak sistemi terk eder. Böyle bir dizayn ile soğutucu akışkan normalde tek seferde dolaştığı boru sayısının yarısı kadar borudan geçmeye zorlanır. Böylece soğutucu akışkanın hızı tek geçişli radyatördekine göre iki katına çıkar. Bu durum akışın türbülansını dolayısıyla ısı transferini de artırır. İki geçişli yatay akışlı bir radyatörde akışkanın akış yönü Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. İki geçişli radyatör (Canbolat, 2014).

Günümüzde kullanılan radyatörler genelde bakır-pirinç veya alüminyum malzemeden üretilirler. Eskiden bakır-pirinç malzemeden üretilen radyatörler alüminyum malzemeden üretilen radyatörlere göre korozyona karşı dirençli olması açısından daha sık kullanılırdı. Ancak günümüz şartlarında otomobil sektöründe hafif metallerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyum da hafif metallerin başında gelmektedir. Bu nedenle alüminyum radyatörler her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Ayrıca alüminyum malzemenin maliyetinin de daha düşük olması avantajlarından bir tanesidir.

Bakır-pirinç malzemeden üretilen radyatörlerde genellikle borular ve tanklar pirinçten, kanatçıklar ise bakırdan yapılır. Tablo 3.1'den de görüldüğü üzere bakır kanatçıkların ısıl iletkenliğı alüminyumun ısıl iletkenliğinden yüksektir. Pirinç boru ise alüminyum kadar ısıyı iyi iletememektedir. Ancak pirinç boruların mukavemeti yüksek olduğı için daha ince et kalınlığına sahip borular üretilebilir. Alüminyumun yoğunluğu hem bakır hem de pirinç malzemeden daha düşük olduğı için alüminyum malzemenin kullanılmasıyla daha hafif radyatörler üretilebilir.

Tablo 3.1. Sık kullanılan kanatçık malzemelerinin özellikleri (Canbolat, 2014).

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl İletkenlik (W/m°C)	Çekme Dayanımı (MPa)
Cu _{kanatçık}	8.95	377	330
Br _{boru}	8.53	120	435
Al _{kanatçık}	2.75	222	40
Al _{boru}	2.75	222	145

Malzeme seçimindeki diğer bir kriter ise radyatör malzemesinin geri dönüşüme uygunluğudur. Alüminyum geri dönüştürüldükten sonra tekrar radyatör malzemesi olarak kullanılamazken bakır kullanılabilir.

Otomobil radyatörlerinde soğutma sıvısı olarak genellikle %50 etilen glikol ihtiva eden su kullanılır. Günümüzde antifriz olarak da bilinen etilen glikol korozyon direnci ve yağlama gibi amaçlarla kullanılan çeşitli renklerde bulunabilen alkol bazlı bir sıvıdır. Soğuk mevsimlerde suyun donma noktasını düşürmek amacıyla suyun içerisine belirli miktarda etilen glikol ilave edilir. Etilen glikol suya göre daha düşük donma noktasına sahip olduğu için suya eklendiği zaman donma noktasını düşürürken aynı zamanda suyun kaynama noktasını da yükseltir. Böylelikle soğuk havalarda otomobil radyatör sıvısının donmasını engelleyen etilen glikol, sıcak havalarda da aracın aşırı ısınmasını önler. Ancak etilen glikolün ısı iletim özelliği suya göre düşüktür. Bu sebeple suya katılacak etilen glikol korozyonu önleyecek kadar çok, suyun ısı iletimini aşırı düşürmeyecek şekilde az kullanılmalıdır.

Su ve etilen glikol karşımı düşük ısı iletim performansına sahip olduğu için soğutucu akışkanın ısı iletkenliğini artırmaya yönelik birtakım çalışmalar yapılmıştır. Nanoteknolojideki gelişmelere paralel olarak çeşitli nanotozlar üretilmeye başlanmıştır. Baz akışkana belirli oranlarda nanotozların eklenmesiyle daha üstün ısı performans gösteren akışkanların yani nanoakışkanların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Otomobil motor su radyatörünün malzemesi, soğutma şekli ve soğutucu akışkanın cinsi parametrelerinin dışında otomobil radyatörünün ısı performansına etkisi olan birçok parametre vardır. Havanın akış oranı, soğutucu akışkanın otomobil radyatörüne giriş sıcaklığı, soğutucu akışkanın akış oranı, farklı geometrilere sahip kanatçık tipleri,

kanatçıklar üzerinde bulunan delikler, borular arasındaki mesafe, boru çapı, boru sayısı gibi parametreler de otomobil motor su radyatörünün ısı performansına etki eden diğer parametrelerdendir (Canbolat, 2014).

3.3. Nanoakışkanlar

3.3.1. Nanoakışkanlara Giriş

Nanoakışkanlar, su, etilen glikol, yağ gibi baz akışkanların içerisine ısı iletimini artırmak amacıyla nanotozların katıldığı yeni nesil soğutucu akışkanlardır. Nanoakışkanların başlıca özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Nanoakışkanların ısı iletkenliği geleneksel ısı transfer akışkanlarına göre yüksektir ve nanotozların geniş yüzey alanına sahip olmaları ısı transferini artırır.
- Nanoakışkanların viskoziteleri baz akışkana göre yüksektir.
- Nanotozlar çok küçük olduklarından hafiftirler ve stabiliteleri yüksektir.
- Nanoakışkanlar sadece ısının transfer edildiği sistemler değil aynı zamanda yüksek ısı yüklemesine ihtiyaç duyulan mikrokanal uygulamaları için de kullanılabilir.
- Nanometre boyutlarında parçacık içerdikleri için katı cıdarlara uyguladıkları ivme azdır. Böylece kanallarda aşınma olayı az görülür. Nanoakışkanların kullanılmasıyla daha az pompalama gücüne ihtiyaç duyulur.

3.3.2. Nanoakışkan Türleri

Nanopartikül türlerine göre nanoakışkanlar dört gruba ayrılır.

- **Seramik nanotozu içeren nanoakışkanlar:** SiC, Al₂O₃, CeO₂, CuO, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂, ZnO₂, WO₃
- **Saf metal nanotozu içeren nanoakışkanlar:** Ag, Au, Cu, Fe, Ni
- **Alaşım nanotozu içeren nanoakışkanlar:** Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu
- **Karbon esaslı nanotoz içeren nanoakışkanlar:** Karbon Nano Tüp, Elmas, Grafit

3.3.3. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanların hazırlanması tek adım ve iki adım olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilir.

3.3.3.1. Tek Adım Yöntemi

Nanotozların üretilmesi ile nanoakışkanın üretilmesini birleştiren yöntemdir. Nanotozlar doğrudan fiziksel buhar biriktirme tekniğiyle veya sıvı kimyasal yöntemi ile üretilirler. Tek adım yönteminde nanotozların kurutulması, depolanması, taşınması ve dağılması engellendiği için nanotozların topraklanması önlenmiş olur. Böylelikle daha stabil bir akışkan elde edilmiş olur. Ancak bu yöntem sadece düşük basınçlı akışkanlar için uygundur.

3.3.3.2. İki Adım Yöntemi

Bu yöntemde nanotozlar önce kuru toz halinde imal edilirler. Daha sonra imal edilen toz partiküller baz akışkan içerisine katılır. Bu yüzden bu yöntemde nanotozlar, toz haline getirme safhasında ve nanoakışkanların hazırlanması aşamasında topraklanabilir. Topraklanma ise kanallarda tıkanmaya ve akışkanın ısı iletkenliğinin düşmesine sebep olur. Bu sebeple iki adım yöntemiyle nanoakışkan üretilirken süspansiyonun stabilite özelliğine dikkat etmek gerekir. Süspansiyona yüzey aktif madde eklenmesi, ultrasonik karıştırıcıların kullanılması, topraklanmayı engellemek ve pH değerini değiştirmek nanoakışkanın stabilitesi açısından büyük önem taşımaktadır.

3.3.4. Nanoakışkanların Stabilitesi

Nanoakışkanların üretilmesi sırasında çok güçlü bağlardan dolayı topraklanma meydana gelebilir. Akışkanın kimyasal yapısını değiştirmeden topraklanmasını engelleyerek oldukça kararlı nanoakışkanlar hazırlanabilir. Nanoakışkanların stabilitesi nanotozların ve baz akışkanın özellikleriyle ilgilidir. Stabil bir akışkan hazırlayabilmek için öncelikle partikül ve akışkan arasındaki yoğunluk farkını düşürmek gerekir. Akışkanın viskozitesini

artırmak ve topraklanmayı önlemek için partiküllerin boyutlarının mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir.

Stabil nanoakışkan hazırlayabilmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi pH değeri ile yüzey yükünü kontrol etmektir. Yüzey yükü yoğunluğunun yüksek olması stabil nanoakışkan elde edilmesini sağlar. İzoelektrik noktada yüzey yükü sıfır olduğu için süspansiyonun pH değerinin bu noktadan uzak olması arzu edilir. Stabil süspansiyon elde etme yöntemlerinden bir tanesi de akışkana yüzey aktif madde ilave edilmesidir. Yüzey aktif maddeler nanopartikül yüzeylerindeki molekülün yüzey enerjisini düşürerek topraklanmayı engeller. Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), Setil Trimetil Amonyum Bromit (CTAB) ve Sodyum Dodesil Benzen Sülfanat (SDBS) yüzey aktif maddelerin en yaygın kullanılanlarıdır. Yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise akışkanların hazırlanmasında ultrasonik titreşim kullanmaktır. Nanopartiküllerin topraklanmasını önlemek ve dağılım davranışlarını iyileştirmek amacıyla homojenizatörler ve ultrasonik banyolar kullanılmaktadır (Goharshadi ve ark., 2013; Akyürek, 2014).

3.3.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

3.3.5.1. Yoğunluk

Nanopartiküllerin nanoakışkan içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği ve iki fazlı bir akışkan gibi davrandığı varsayımı ile nanoakışkanların termofiziksel özellikleri klasik modeller kullanılarak belirlenmiştir. Nanoakışkanların yoğunluğu, nanopartikülün ve baz akışkanın yoğunluklarının ağırlıklı ortalaması alınarak eşitlik 3.7'deki Pak ve Cho modelinden hesaplanmaktadır.

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) * \rho_w + \phi * \rho_p \quad (3.7)$$

Burada ρ_{nf} nanoakışkanın yoğunluğu, ρ_p nanopartikül yoğunluğu ve ρ_w ise baz akışkanın yoğunluğudur.

3.3.5.2. Özgöl Isı

Pak ve Cho modelinde nanoakışkanların özgül ısısının hesaplanabilmesi için eşitlik 3.8 önerilmiştir.

$$c_{pnf} = (1 - \phi) * c_{pw} + \phi * c_{pp} \quad (3.8)$$

Burada c_{pnf} nanoakışkanın özgül ısısı, c_{pw} baz akışkanın özgül ısısı ve c_{pp} nanopartikülün özgül ısısıdır.

Xuan ve Roetzel modelinde ise nanoakışkanların özgül ısısının, nanopartikülün ve baz akışkanın ağırlıklı ortalamasına göre eşitlik 3.9'daki gibi hesaplanması gerektiği öne sürülmüştür.

$$(\rho * c_p)_{nf} = (1 - \phi) * \rho_w * c_{pw} + \phi * \rho_p * c_{pp} \quad (3.9)$$

3.3.5.3. Viskozite

Nanopartiküllerin viskoziteyi artırmalarından dolayı nanoakışkanların viskozitesinin baz akışkanlardan daha yüksek olduğu bilinmektedir. Einstein nanoakışkanın viskozitesinin sadece partikül konsantrasyonu ve baz akışkanın viskozitesine bağlı olduğunu kabul ederek, viskozite modelini eşitlik 3.10 ile tanımlamıştır.

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi)\mu_w \quad (3.10)$$

Maiga ise viskozite modelini eşitlik 3.11'deki gibi tanımlamıştır.

$$\mu_{nf} = (1 + 7.3\phi + 123\phi^2)\mu_w \quad (3.11)$$

Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Sıcaklık, hacimsel konsantrasyon, yüzey aktif madde, yüzey gerilimi, partiküllerin boyutu, şekli ve dağılımı nanoakışkanların viskozitesini etkileyen en önemli parametrelerdendir (Sert, 2012). Bu parametrelerin viskozite üzerindeki etkileri şöyledir:

- **Sıcaklık Faktörü:** Sıcaklığın artmasıyla nanopartiküller ve akışkan arasındaki etkileşim zayıflar ve akışkanın viskozitesi düşer.
- **Hacimsel konsantrasyon:** Yapılan çalışmaların neredeyse tamamında nanoakışkanların viskozitesinin baz akışkanların viskozitesinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Hacimsel konsantrasyonun artmasıyla nanoakışkanın viskozitesinin arttığı saptanmıştır.
- **Yüzey Aktif Madde:** Yüzey aktif maddenin konsantrasyonunun artmasıyla nanoakışkanın viskozitesi de artar.
- **Kayma Hızı:** Nanoakışkanlar kayma hızındaki değişimlere bağlı olarak Newtonien ve non-Newtonien olmak üzere iki'ye ayrılırlar. Newtonien akışkanlarda viskozite sadece sıcaklık ile değişir ve yüzey gerilimi ve zamanın viskozite üzerinde etkisi yoktur. Ayrıca kayma hızı kayma gerilmesiyle orantılıdır ve oranları sabittir. Non-Newtonien akışkanlar ise genellikle Newtonien akışkanlarının sağladığı özelliklere uymazlar. Non-Newtonien akışkanlar genellikle kayma hızı arttığında partiküllerin birbirleriyle olan etkileşimleri zayıflar ve Newtonien davranış gösterirler.
- **Partikül Boyutu ve Dağılımı:** Nanoakışkanlarda partikül kütlesi sabit tutulurken partiküllerin boyutunun azaltılması sistemdeki partiküllerin sayısını ve daha fazla partikülün etkileşimine sebep olarak viskoziteyi artırır. Hacimsel oranın sabit tutulması ile geniş nanopartikül dağılımına sahip süspansiyonların dar nanopartikül dağılımına sahip süspansiyonlara göre viskoziteleri daha düşüktür.

3.3.5.4. Isıl İletkenlik

Bir akışkanın ısı iletkenliğinin ısı transfer performansını doğrudan etkilemektedir. Isı iletimi düşük olan sıvı malzemelerin içerisine ısı iletimi yüksek katı malzemelerin eklenmesiyle ısı transfer performansının artacağı düşünülmektedir. Nanopartiküller yüzey alanını, akışkanın ısı kapasitesini ve türbülansı arttırmaktadır. Homojen dağılmış nanopartiküller akışkanın enine sıcaklık gradyanını düzleştirmektedir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen parametreler şunlardır:

- **Nanopartiküllerin Şekli:** Çalışmalarda genellikle dairesel ve silindirik olmak üzere iki farklı partikül şekli kullanılır. Uzunluk-çap oranının fazla olması sebebiyle

silindirik şekle sahip partiküller akışkanın ısı iletkenliğini dairesel partiküllere göre daha fazla arttırmaktadır.

- **Nanopartiküllerin Boyutu:** Küçük partiküller daha kolay hareketlendirilebildiği için nanopartikül boyutu azaldıkça nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır.
- **Hacimsel Oran:** Nanopartiküllerin hacimsel oranı, nanoakışkanın ısı iletkenliğini doğrudan etkiler. Hacimsel oran arttıkça nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır.
- **Kümelenme Etkisi:** Titreşim uygulanmasıyla nanoakışkanın ısı iletkenliği zaman geçtikçe düşmektedir. Ortalama kümelenme boyutunun değişimi zamanın bir fonksiyonu olarak incelendiğinde kümelenme boyutu zamanla artmaktadır. Partiküllerin hacimsel oranıyla nanoakışkanların ısı iletkenlik oranının değişimi, yüksek hacimsel oranlarda daha yüksek orana sahip kümelenmelerin oluşmasından dolayı lineer değildir.
- **Baz Akışkanın Isıl İletkenliği:** İyileştirilmiş ısı iletkenlik oranı baz akışkanın ısı iletkenliğinin artmasıyla düşmektedir.
- **Nanopartiküllerin Isıl İletkenliği:** Nanopartiküllerin ısı iletkenliğinin artmasıyla nanoakışkanın da ısı iletkenliği artmaktadır. Aynı şartlarda metal nanopartiküllerden elde edilen nanoakışkanların ısı iletkenliği metal oksit nanopartiküllerden elde edilenlere göre daha yüksektir.
- **Sıcaklık:** Sıcaklık bir nanoakışkanın ısı iletkenliğini büyük ölçüde etkiler. Sıcaklığın artmasıyla ısı iletkenlik artar.
- **pH Değeri:** Bir nanoakışkanın pH değeri izoelektrik noktaya ulaşıncaya kadar artar. İzelektrik noktada ise ısı iletkenlik en yüksek değerine ulaşır. Bu noktadan sonra pH değeri artarsa ısı iletkenlik düşer (Oğuz, 2012).

Nanoakışkanların ısı iletkenliği ölçülürken genellikle geçici sıcak tel metodu, geçici düzlem kaynağı metodu, sıcak salınım tekniği, kararlı durum paralel plaka tekniği ve optik yöntemler izlenir.

- **Geçici Sıcak Tel Metodu:** İlk olarak 1974'te tanıtılan bu yöntemde, silindirik şekle sahip akışkan, hacim eksenine boyunca sarılan ve akım taşıyan metal tel ile ısıtılır. Teldeki sıcaklık artışıyla farklı zamanlardaki elektrik direncindeki değişimlere göre hesaplama yapılır. Daha sonra zamanın grafiği çizdirilerek bu grafiğin eğiminden

nanoakışkanın ısı iletkenlik değeri hesaplanır. Bu yöntemde hızı ve güvenilir sonuçlar elde edilir.

- **Geçici Düzlem Kaynağı Metodu:** Geçici sıcak tel metodu yeniden düzenlenerek elde edilmiş bir ısı iletkenlik ölçüm yöntemidir. Nikel sensör direncinin sıcaklık katsayısını kullanmasıyla hesaplama yapılır. Bu yöntemde belirli bir sıcaklık değerinde yakındaki herhangi bir yerin sıcaklığıyla karşılaştırma yaparak ısı iletkenlik değeri ölçülür. Belirli bir sıcaklıktaki ısı iletkenliğinin tam ölçümündeki belirsizliği en aza indirir. Geçici düzlem kaynağı elemanları hem sıcaklık kaynağı hem de sıcaklık sensörü gibi davranır ve prob direnci ölçülerek sonuç alınır. Bu yöntem geniş ölçüm aralığına ve esnek numune boyutuna sahiptir.
- **Sıcak Salınım Tekniği:** Silindirik bir hacme akışkanın doldurulmasıyla her iki tarafına da salınımlı sıcaklık sınır şartı uygulanarak nanoakışkanın ısı iletkenliğinin ölçüldüğü yöntemdir. Genlik ve sıcaklık salınımının fazı ölçülerek akışkanın ısı iletkenliği hesaplanır.
- **Kararlı Hal Paralel Plaka Tekniği:** Bu yöntemde sıvının sabit sıcaklık gradyanına tabi tutulması ile ısı iletkenlik değeri ölçülür. Isı akışı bu gradyanın bir fonksiyonu olarak hesaplanır.
- **Optik Metodlar:** Bu yöntemde geçici sıcak tel yöntemindeki süreden daha kısa süre içerisinde ölçümler alınır. Böylece doğal konveksiyonun olumsuz etkileri önlenir. Dedektör ve ısıtıcı her zaman birbirinden ayrılır ve verilerin daha doğru olmasını sağlar.

Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin hesaplanmasında birçok model kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanları Maxwell, Jeffrey ve Hamilton ve Crosser modelleridir.

Maxwell Modeli, katı partiküllerin akışkana katılmasıyla elde edilen süspansiyonlar için önerilen bir modeldir. Eşitlik 3.12’de görüldüğü üzere, bu modelde nanoakışkanın ısı iletkenliği, baz akışkan ve nanopartikülün ısı iletkenliğine ve nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonuna bağlıdır.

$$\frac{k_{nf}}{k_w} = \frac{k_p + 2k_w + 2(k_p - k_w)\phi}{k_p + 2k_w - (k_p - k_w)\phi} \quad (3.12)$$

Denklemden k_{nf} , k_p , k_w sırasıyla nanoakışkanın ısı iletkenliğini, nanopartikülün ısı iletkenliğini, baz akışkanın ısı iletkenliğini, ϕ ise nanopartikülün hacimsel oranını temsil etmektedir. Maxwell modeline göre dairesel nanopartikül içeren nanoakışkanlarda, partikül oranının artmasıyla nanoakışkanların ısı iletkenliği artar.

Maxwell modelinde nanoakışkanın ısı iletkenlik değeri hesaplanırken nanopartikülün ve baz akışkanın ısı iletkenlik değeri ve hacimsel oran dikkate alınmıştır. Jeffrey modelinde ise eşitlik 3.13'te görüldüğü gibi bunlara ek olarak partikül etkileşimi de dikkate alınmıştır.

$$\frac{k_{nf}}{k_w} = 1 + 3\beta\phi + \left(3\beta^2 + \frac{3\beta^3}{4} + \frac{9\beta^3}{16} \frac{\alpha+2}{2\alpha+3} + \frac{3\beta^4}{2^6} + \dots\right) \phi^2 \quad (3.13)$$

Burada α ısı iletkenlik oranıdır ve nanopartikülün ısı iletkenlik katsayısının baz akışkanın ısı iletkenlik katsayısına bölümü olarak tanımlanmaktadır. β ise $(\alpha-1)$ 'in $(\alpha+2)$ 'ye oranıdır.

Hamilton ve Crosser Modelinde, partikül şeklinin ısı iletkenlik üzerinde etkisi dikkate alınmıştır. Dairesel şekle sahip olmayan nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerini hesaplamak için uygun bir modeldir. Bu modelde ısı iletkenlik katsayısı, eşitlik 3.14'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{k_{nf}}{k_w} = \frac{k_p + (n-1)k_w - (n-1)(k_w - k_p)\phi}{k_p + (n-1)k_w + (k_w - k_p)\phi} \quad (3.14)$$

Burada n deneysel şekil faktörüdür ve $n = \frac{3}{\psi}$ olarak hesaplanmaktadır. ψ partikül küreselliğini ifade etmektedir. Maxwell modeli için küresellik 1'dir ve bu model Hamilton-Crosser modelinin özel bir durumudur (Goharshadi ve ark., 2013; Akyürek, 2014).

3.3.5. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

3.3.5.1. Elektronik Uygulamalar

Günümüzde yüksek ısı üretimine sahip elektronik aletlerin arzu edilen seviyede soğutulması ve böylece düzgün bir biçimde çalıştırılabilmesi için iyi bir ısı yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, elektronik cihazlarda üretilen ısıнын dışarıya atılmasını kolaylaştırmak amacıyla daha yüksek ısı iletkenliğe sahip nanoakışkanlar kullanılmaktadır.

Yaygın bir şekilde kullanılan elektronik cihazların başında bilgisayarlar gelmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayarlardaki işlemcilerin ısı üretimi de artmaktadır. Artan ısı üretiminin cihaza zarar vermemesi açısından yeterli soğutmanın yapılması gerekmektedir. Bu yüzden bilgisayarların istenilen seviyede soğutulması için su yerine nanoakışkanların kullanılmasıyla ısı transferini artırmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

3.3.5.2. Ulaşım

Ulaşım araçlarının performanslarının iyileştirilmesinde ağırlığın azaltılması, istenilen soğutmanın sağlanması ve ısı sistemlerin karmaşıklığının giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Ulaşım araçlarının soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak genellikle su ve etilen glikol karışımı kullanılmaktadır. Bu karışımın ısı transfer performansının düşük olmasından dolayı son yıllarda ilgi çeken konulardan bir tanesi olan nanoakışkanların ulaşım araçlarında kullanılarak ısı transfer performansını artırması amaçlanmaktadır.

3.3.5.3. Bina Isıtma Uygulamaları

Soğuk bölgede bulunan bir binanın ısıtılması için nanoakışkanların kullanılması konusu üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ısı değiştiricilerinde nanoakışkanların kullanılmasıyla pompalama gücünden tasarruf sağlanmış ve daha küçük ısı değiştirici kullanılarak yeterli ısıtma enerjisinin sağlanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

3.3.5.4. Nükleer Sistemlerin Soğutulması

Son yıllarda yapılan araştırmalara göre nanoakışkanların nükleer sistemlerde kullanılmasıyla ilgili üç konu dikkat çekmiştir. İlk olarak, nanoakışkanlar basınçlı su reaktörleri için temel reaktör soğutucusu olarak görev yapabilmektedir. Nanoakışkanların kullanılması mevcut reaktörlerde %32 daha fazla kritik ısı akısına ve %20 daha fazla güç artışına imkân verebilecektir. Diğer bir konu ise hem basınç reaktörleri için hem de kaynama suyu reaktörleri için acil çekirdek soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak kullanılabilir. Son olarak ise yüksek güç yoğunluklu hafif su reaktörlerinde erimiş kazanın çekirdeği için soğutucu akışkan olarak kullanılabilir ve kazanın sınır değerlerini %40'a kadar artırabilmektedir. Ancak nanoakışkanların nükleer güç santralleri gibi önem arz eden uygulamalarda kullanılabilmesi için daha fazla araştırma gerekmektedir.

3.3.5.5. Enerji Uygulamaları

Nanoakışkanların emicilik ve yüksek ısıl iletkenlik özelliklerine sahip olmasından dolayı enerji uygulamalarında kullanılması amaçlanmaktadır. Binalarda güneş enerjisinin kullanımı, atık ısının korunumu ve gizli ısı enerjisinin depolanması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, ısı enerjisinin depolanması için nanoakışkanların kullanılabileceğini göstermektedir.

Yenilenebilir enerjinin en iyi kaynaklarından biri güneş enerjisidir. Bu enerji güneş kollektörlerinde kullanılarak suyun ısıtılması sağlanmaktadır. Güneş kollektörlerinin verimi zayıf emicilik özelliğine sahip akışkanlar kullanıldığında sınırlanmaktadır. Bu yüzden güneş kollektörlerinin verimini artırmak için nanoakışkanların kullanılması konusu üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Karabulut, 2015).

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, nanoakışkanların ısıl performanslarını belirlemek adına hem deneysel hem de sayısal çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışma için bir otomobil radyatör düzeneği kurulmuştur. Deneylerde soğutucu akışkan olarak, %1 hacimsel konsantrasyona sahip %99.9 saflık ve 18 nm boyutundaki Al_2O_3 , CuO ve MgO nanotozlarını içeren %50 su ve %50 etilen glikol bazlı nanoakışkanlar kullanılmıştır. Ek olarak hava hızının ve soğutucu akışkan debisinin ısı transferine olan etkileri araştırılmıştır. Sayısal analizde ise Ansys paket programı kullanılarak deneysel analizde kullanılan otomobil radyatörü tasarlanmış ve sonlu hacimlere bölünmüştür. Daha sonra Fluent aracılığıyla sınır şartları verilerek otomobil radyatörünün akış analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen verilere göre hava hızının ve soğutucu akışkan debisinin ısı transferine olan etkisi incelenmiş ve nanoakışkanların baz akışkana göre ısıl performansı değerlendirilmiştir.

4.1. Deneysel Çalışma

Bu tez çalışmasında, bir otomobil radyatör deney düzeneği kurularak nanoakışkanların ısıl performansları araştırılmıştır. Deney düzeneği Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından YLMUB018-12 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

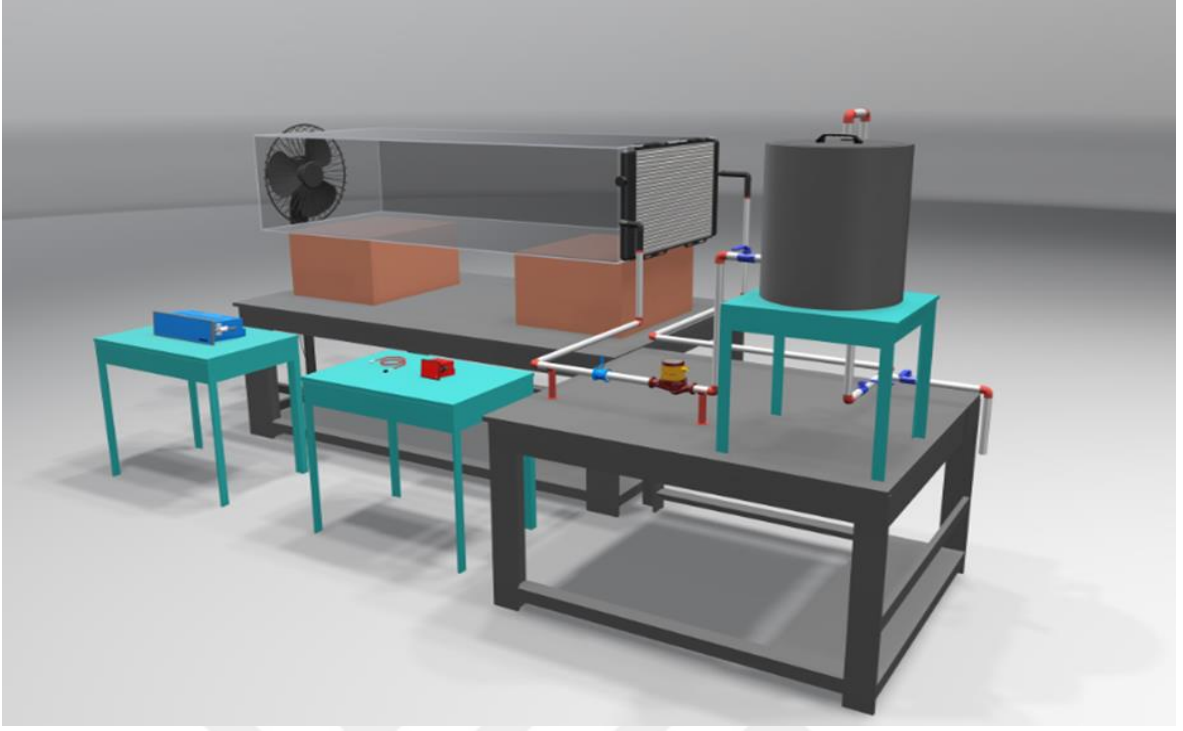
Deney düzeneğinin iskeletini otomobil radyatörü, akışkan tankı, vantilatör, sirkülasyon pompası, debimetre, veri toplayıcı ve hava kanalı oluşturmaktadır. Deneysel çalışmaya ait resimler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Deney sisteminin daha iyi anlaşılabilmesi için 3ds Max programı kullanılarak kurulan deney düzeneği ana hatlarıyla çizilmiştir. Deney setinin laboratuvardaki görüntüsü ve 3ds max çizimleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, ve Şekil 4.4' te verilmiştir.



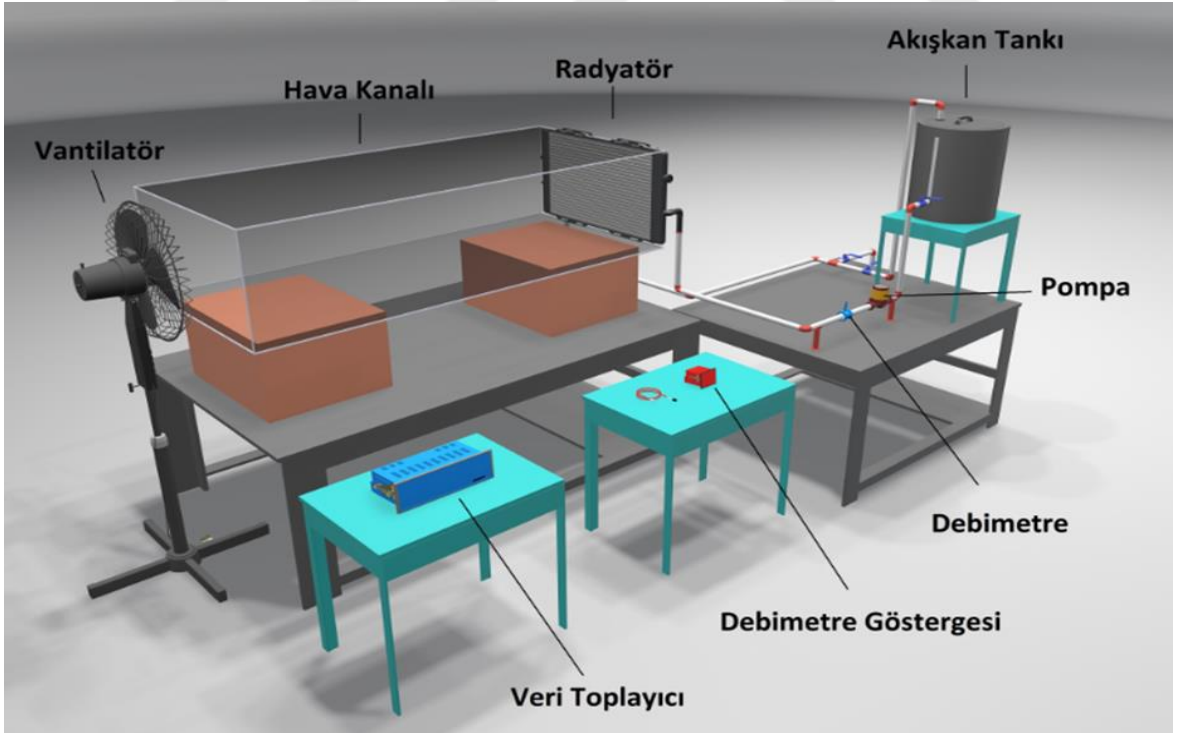
Şekil 4.1. Deney setinin önden görünüşü



Şekil 4.2. Deney setinin arkadan görünüşü



Şekil 4.3. 3ds Max programında çizilen deney setinin önden görünüşü



Şekil 4.4. 3ds Max programında çizilen deney setinin arkadan görünüşü

Deney düzeneğinin kurulumunda otomobil radyatörü ve giriş çıkış hortumları, akışkan tankı, vantilatör, hava kanalı, sirkülasyon pompası, debimetre ve göstergesi, PPRC boru ve elemanları, bilgisayar, termokupl, veri toplayıcı gibi birçok cihaz ve malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan otomobil radyatörü Şekil 4.5'te görüldüğü gibi çift sıralı ve dairesel borulu ısı değıştiricisidir. Ayrıca tablo 4.1'de radyatörün boyutlarına ait bilgiler de verilmiştir.



Şekil 4.5. Otomobil radyatörü

Tablo 4.1. Otomobil radyatörüne ait boyutlar

Radyatöre Ait Boyutlar	Değer
Radyatör uzunluğu	0.464 m
Radyatör yüksekliği	0.4 m
Radyatör genişliği	0.036 m
Radyatör giriş ve çıkış boru iç çapı	0.028 m
Kanat uzunluğu	0.001 m
Kanat yüksekliği	0.019 m
Kanat genişliği	0.036 m
Her sıradaki kanat sayısı	280
Dairesel tüp iç çapı	0.008 m
Dairesel tüp uzunluğu	0.4 m
Dairesel tüp sayısı	42

Deney düzeneğinde kullanılan akışkan tankı Şekil 4.6’ da verilmiştir. 1750 W ısıtıcı gücüne ve 16 L hacme sahip olup paslanmaz çelikten yapılmıştır. Sistemde dolaşacak soğutucu akışkanın ısıtılmasını ve depo edilmesini sağlar.



Şekil 4.6. Akışkan tankı

Akışkanların otomobil radyatörlerinden geçerken hava tarafından soğutulmasını sağlayan ve hava taşınım katsayısını artıran sanayi tip vantilatör Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu vantilatör 100 W güce ve 3 kademeli hız ayar düğmesine sahiptir.



Şekil 4.7. Vantilatör

Şekil 4.8’de görülen galvaniz sacdan üretilmiş hava kanalı 0.4x0.4x1.2 boyutlarına sahiptir. Hava akışını vantilatörden radyatöre taşıyan elemandır. Sirkülasyon pompası ise Şekil 4.9’da verilmiştir ve akışkan tankında bulunan akışkanları sisteme basmak için kullanılır. 38 W, 53 W ve 72 W olmak üzere üç kademeye sahiptir. Uzunluğu 130 mm ve bağlantı çapı 1 inç’tir.



Şekil 4.8. Hava kanalı



Şekil 4.9. Sirkülasyon pompası

Deney setinde akış oranını ölçmek amacıyla debi ölçüm aralığı 0.2-1.2 m³/sa aralığında olan paslanmaz çelik türbin debimetre kullanılmıştır. Şekil 4.10’da verilen türbin debimetrenin en yüksek çalışma basıncı 1.6 MPa’dır. Şekil 4.11’de görüldüğü üzere deney seti PPRC boru kullanılarak kurulmuştur ve akışın kontrolünü sağlamak ve bağlantılarını yapabilmek için birçok boru bağlantı elemanı kullanılmıştır. Bağlantı elemanı olarak iç ve dış dişli rekor, dış dişli redüksiyon, küresel vana, dirsek, manşon ve hortum kelepçesi kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Debimetre ve Göstergesi



Şekil 4.11. Boru bağlantı elemanları ve vanalar

Şekil 4.12’de deneylerde radyatörün giriş, çıkış ve yüzey sıcaklıklarını ölçmek amacıyla kullanılan termokupllar gösterilmiştir. Şekil 4.13’te verilen veri toplayıcı ise sıcaklık sensörlerinden alınan değerleri bilgisayara kaydetmek için kullanılmıştır. %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO ve MgO nanotozlarını içeren nanoakışkanlar Şekil 4.14’te verilmiştir. Nanopartiküller %99.9 saflıkta ve 18 nm boyutundadır. Bu nanoakışkanlarda baz akışkan olarak %50 saf su ve %50 etilen glikol bazlı karışım kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Termokupl



Şekil 4.13. Veri toplayıcı



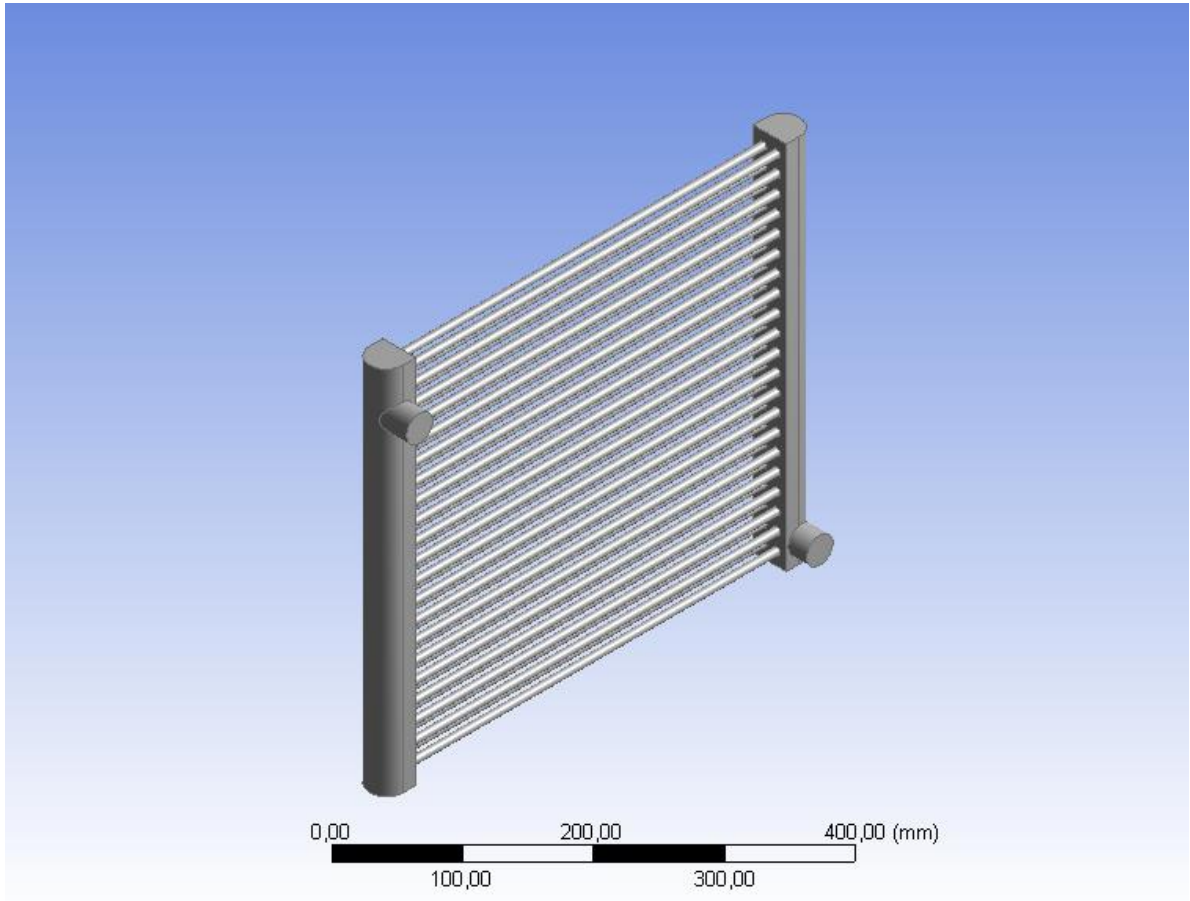
Şekil 4.14. %1 Al_2O_3 , CuO , MgO içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanlar

4.2. Sayısal Analiz

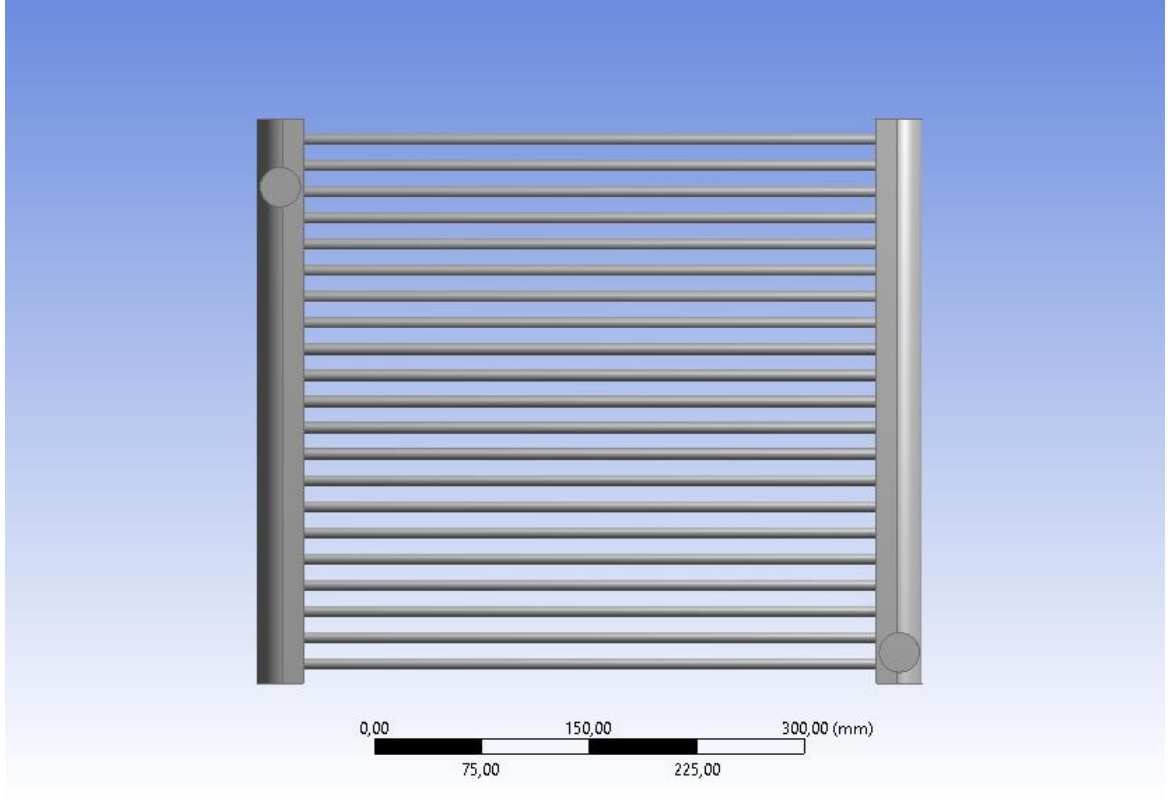
Bilgisayar destekli modelleme ve analizler, el ile yapılan hesaplamalara göre çok daha hassas ve kolay sonuçlara ulaşmayı sağlamaktadır. Doğru modelleme yapıldığında deneysel analizlerin çalışma maliyetini düşürme açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak bilgisayar destekli çalışmaların avantajlarının fazla olması, deneysel çalışmaların gereksiz olduğu düşüncesini akıllara getirmemelidir. Çünkü gerçeğe en yakın sonuçlar hiç şüphesiz deneysel çalışmalar ile elde edilmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğine (CFD) dayanarak yazılan programlar akış ile ilgili analizleri yaparak sayısal ve görsel sonuçlar vermektedir. Farklı tipteki akışkanların farklı sınır şartlarındaki analizlerini gerçekleştirmeye olanak sağlar. Analizleri gerçekleştirmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini kullanmaktadır. Bu denklemlerin çözülmesini sağlayarak hız, sıcaklık, basınç gibi parametrelerin sayısal değerlerini ve görsel dağılımlarını sunmaktadır.

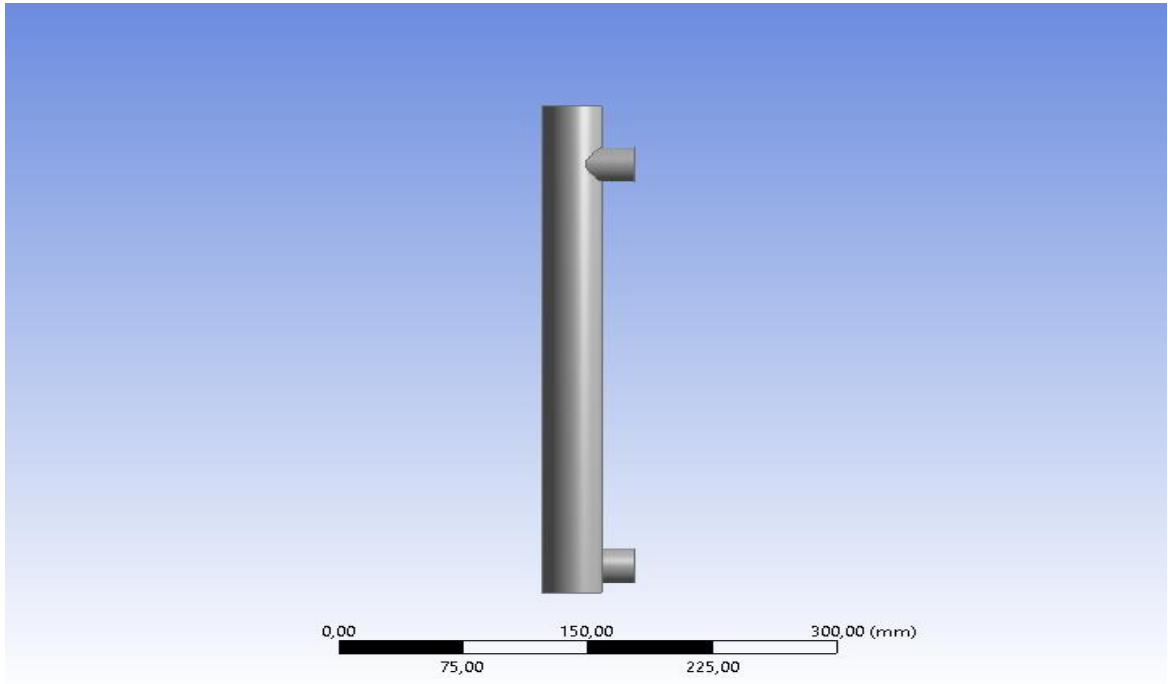
Bu tez çalışmasında deneysel analizde kullanılan otomobil radyatörünün akış modeli Ansys-Workbench programında üç boyutlu olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.15). Geometrinin önden ve yandan görünüşleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir. Mesh modülü kullanılarak tasarlanan bu model Şekil 4.18’de görüldüğü gibi sonlu hacimlere ayrılmıştır. Sonuçların daha hassas olması amacıyla ısı geçişinin yoğun olduğu bölgelere daha sık mesh atılmıştır (Şekil 4.19).



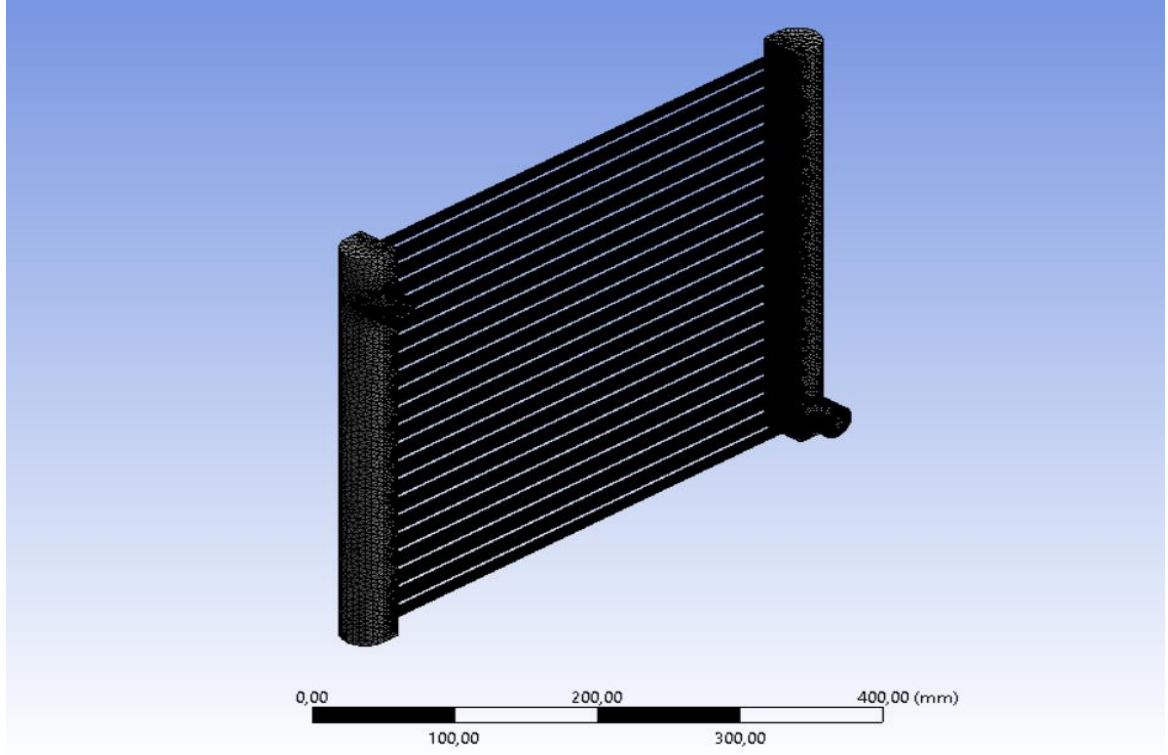
Şekil 4.15. Tasarlanan otomobil radyatörünün üç boyutlu görünüşü



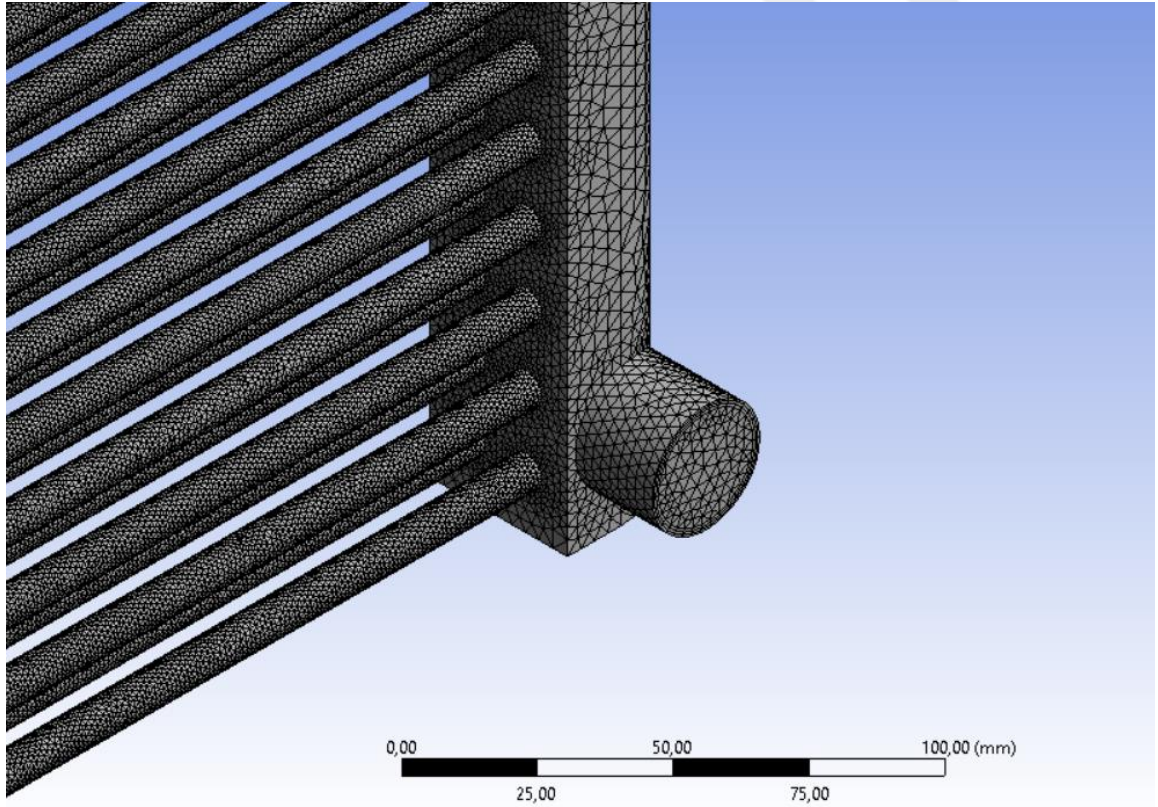
Şekil 4.16. Tasarlanan otomobil radyatörünün önden görünüşü



Şekil 4.17. Tasarlanan otomobil radyatörünün yandan görünüşü

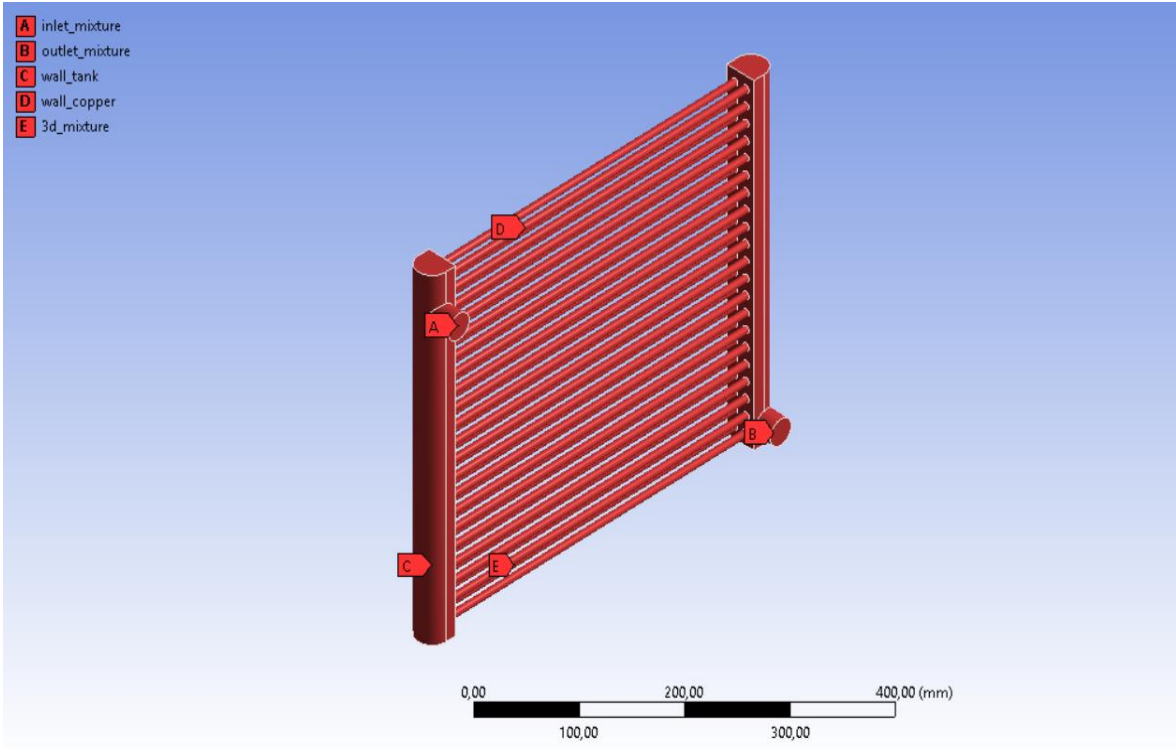


Şekil 4.18. Geometrinin mesh yapısı



Şekil 4.19. Geometrinin detaylı mesh yapısı

Mesh işleminden sonra sınır şartlarının verilebilmesi amacıyla akış alanları tek tek isimlendirilmiştir (Şekil 4.20). Daha sonra Fluent içerisinde akışın tipi, soğutucu akışkanın cinsi, sınır şartları, çözüm metodu ve yakınsama kriterleri belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{Su}+\text{Eg}$ olmak üzere dört farklı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Fluent içerisinde nanoakışkanların termofiziksel özellikleri tanımlanmadığı için gerekli formüller kullanılarak bu özellikler hesaplanmış ve daha sonra elle sisteme tanımlanmıştır. Nanoakışkanlar için baz akışkan olarak %50 su ve %50 etilen glikol kullanılmıştır. Nanoakışkanlar içerisinde kullanılan nanopartiküllerin ve baz akışkanın termofiziksel özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Geometrinin isimlendirilmesi

Tablo 4.2. Nanopartiküllerin ve baz akışkanın termofiziksel özellikleri

	Su+Eg (50:50)	Al ₂ O ₃	CuO	MgO
ρ (kg/m ³)	1027.01	3970	6500	3560
c_p (J/kg.K)	3570	765	535.6	955
μ (Pa.s)	0.00076	-	-	-
k (W/m.K)	0.415	46	20	45

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır (Peyghambarzadeh ve ark., 2011b). Nanoakışkanların yoğunluklarının hesaplanmasında eşitlik 4.1 kullanılmıştır.

$$\rho_{nf} = \phi * \rho_p + (1 - \phi) * \rho_w \quad (4.1)$$

Burada ρ_{nf} nanoakışkanın yoğunluğu, ρ_p nanopartikülün yoğunluğu, ρ_w baz akışkanın yoğunluğu ve ϕ ise nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonudur. Nanoakışkanların özgül ısılarının hesaplanmasında eşitlik 4.2 kullanılmıştır.

$$(\rho * c_p)_{nf} = \phi * (\rho * c_p)_p + (1 - \phi) * (\rho * c_p)_w \quad (4.2)$$

Burada c_{pnf} nanoakışkanın özgül ısısı, c_{pw} baz akışkanın özgül ısısı ve c_{pp} nanopartikülün özgül ısısıdır. Nanoakışkanların dinamik viskoziteleri ise eşitlik 4.3'teki gibi hesaplanmıştır.

$$\mu_{nf} = \mu_w (123\phi^2 + 7.3\phi + 1) \quad (4.3)$$

Burada μ_{nf} ve μ_w sırasıyla nanoakışkanın ve baz akışkanın dinamik viskozitesidir. Nanoakışkanların ısıl iletkenlik katsayıları Maxwell modeli kullanılarak eşitlik 4.4'deki gibi hesaplanmıştır.

$$k_{nf} = \frac{k_p + (n-1)k_w - \psi(n-1)(k_w - k_p)}{k_p + (n-1)k_w + \psi(k_w - k_p)} * k_w \quad (4.4)$$

Burada n deneysel şekil faktörüdür ve $n = \frac{3}{\psi}$ şeklinde hesaplanmaktadır. ψ ise nanopartikül küreselliğini ifade etmektedir. Maxwell modelinde küresellik 1 olarak varsayılmıştır. k_{nf} , k_p ve k_w sırasıyla nanoakışkanın, nanopartikül ve baz akışkanın ısı iletkenlik katsayılarını ifade etmektedir (Peyghambarzadeh ve ark., 2011b).

Soğutucu akışkanların termofiziksel özellikleri sisteme tanımlandıktan sonra gerekli sınır şartları girilmiştir. Akışkanların tamamı için otomobil motor su radyatörüne giriş sıcaklığı 350 K olarak belirlenmiştir. Soğutucu akışkanların radyatöre giriş hızları 0.376, 0.422 ve 0.457 m/s olmak üzere üç farklı şekilde değiştirilmiştir. Radyatör yüzeyine temas eden hava için 1.6, 2.3, 2.9 m/s hava hızlarına göre deneysel taşınım katsayısı değerleri her durum için ayrı ayrı girilmiş ve dış havanın sıcaklığı 290 K olarak kabul edilmiştir. Daha sonra dört farklı akışkan için farklı hava hızı ve farklı soğutucu akışkan debilerine göre analizler gerçekleştirilmiş ve sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır.

4.3. Veri Değerlendirilmesi

Bu bölümde deneysel ve sayısal analizlerde elde edilen sonuçlar için kullanılan formüller verilmiştir. Newton'un soğutma kanununa göre taşınım ile gerçekleşen ısı transferi eşitlik 4.5 ile hesaplanmaktadır.

$$Q = h \cdot A_s \cdot (T_b - T_s) \quad (4.5)$$

Burada Q taşınım ile gerçekleşen ısı transferini, h taşınım ısı transfer katsayısını, A_s taşınımın gerçekleştiği yüzey alanını ve T_s ise yüzey sıcaklığını temsil etmektedir. Yığın sıcaklığı temsil eden T_b ise eşitlik 4.6 ile hesaplanmaktadır.

$$T_b = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (4.6)$$

Akışkanın giriş ve çıkış sıcaklık farkından dolayı meydana gelen ısı transferi eşitlik 4.7 kullanılarak bulunmaktadır.

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_g - T_c) \quad (4.7)$$

Burada Q ısı transferini, $\dot{m}$ kütleli debiyi, c_p sabit basınçta özgül ısıyı, T_{in} ve T_{out} sırasıyla akışkanın giriş sıcaklığını ve akışkanın çıkış sıcaklığını temsil etmektedir. Kütleli debi eşitlik 4.8 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad (4.8)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, V akışkanın hızı, A ise kesit alanıdır.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayılarının hesaplanmasında eşitlik 4.9 kullanılmıştır.

$$h = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_g - T_c)}{A_s \cdot (T_b - T_s)} \quad (4.9)$$

Deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarına göre bulunan Nusselt sayıları için eşitlik 4.10 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (4.10)$$

Burada k akışkanın ısı iletkenlik katsayısıdır. D_h ise hidrolik çaptır ve eşitlik 4.11 ile hesaplanmaktadır.

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad (4.11)$$

Burada A kesit alanını, P ise akışın ısılattığı çevreyi temsil etmektedir.

Analizlerde hava için bulunan Reynolds sayıları eşitlik 4.12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{\rho_a \cdot V_a \cdot D_h}{\mu_a} \quad (4.12)$$

Burada ρ_a havanın yoğunluğunu, V_a havanın giriş hızını, D_h hidrolik çapı ve μ_a havanın dinamik viskozitesini temsil etmektedir (Hussein ve ark., 2014).

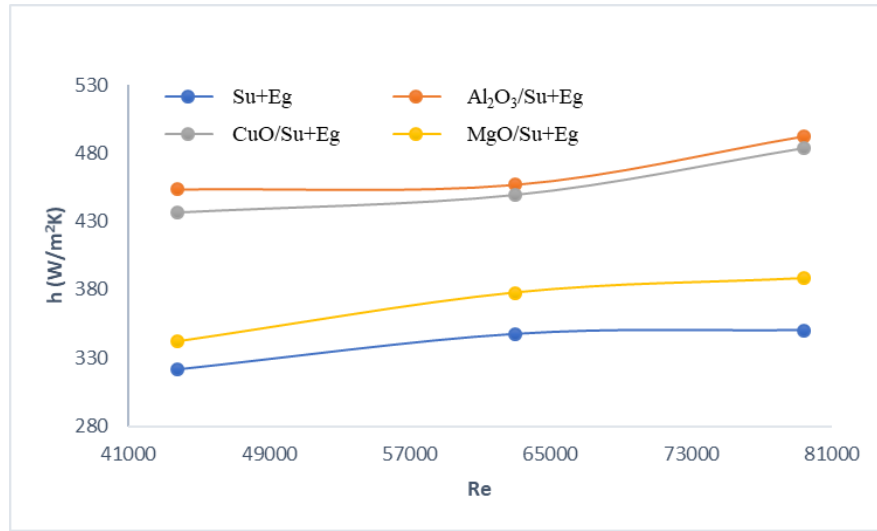


5. BULGULAR

5.1. Deneysel Sonuçlar ve Grafikler

Bu bölümde dört farklı akışkan için sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler şeklinde gösterilmiştir.

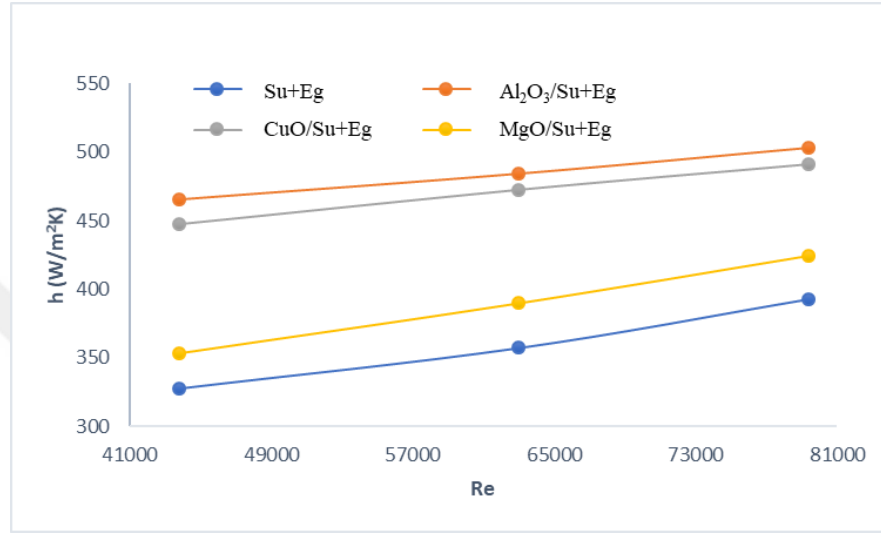
Deneylemlerden elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.1’de 0.232 L/s hacimsel debi için 1.6 m/s, 2.3 m/s, 2.9 m/s olmak üzere üç farklı hava hızına bağlı olarak hesaplanan havanın Reynolds sayısına göre, akışkanların deneysel ısı taşınım katsayılarının değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, üç farklı hava hızı için %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO, MgO içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların ısı taşınım katsayılarının baz akışkan ile mukayese edildiğinde daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %40.95, CuO içeren nanoakışkan için %38.05 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %10.85 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.1. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

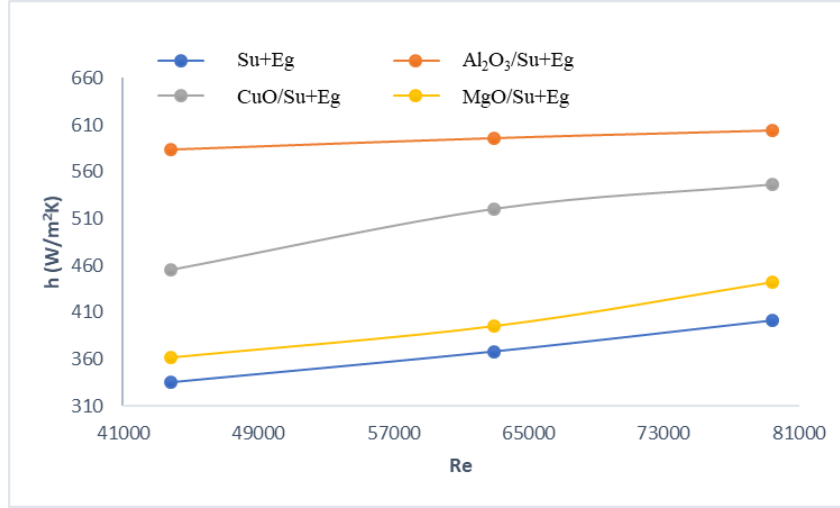
Şekil 5.2’de hacimsel debinin 0.260 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile akışkanların deneysel ısı taşınım katsayılarının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre tüm akışkanlar için havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu

akışkanların ısı taşınım katsayısının da arttığı görülmüştür. Aynı şartlar altında bütün akışkanlar kıyaslandığında, en yüksek ısı taşınım katsayısı $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanı için elde edilmiştir. Taban akışkana göre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayılarındaki en yüksek artış sırasıyla %42.29, %36.76 ve %8.07 bulunmuştur.



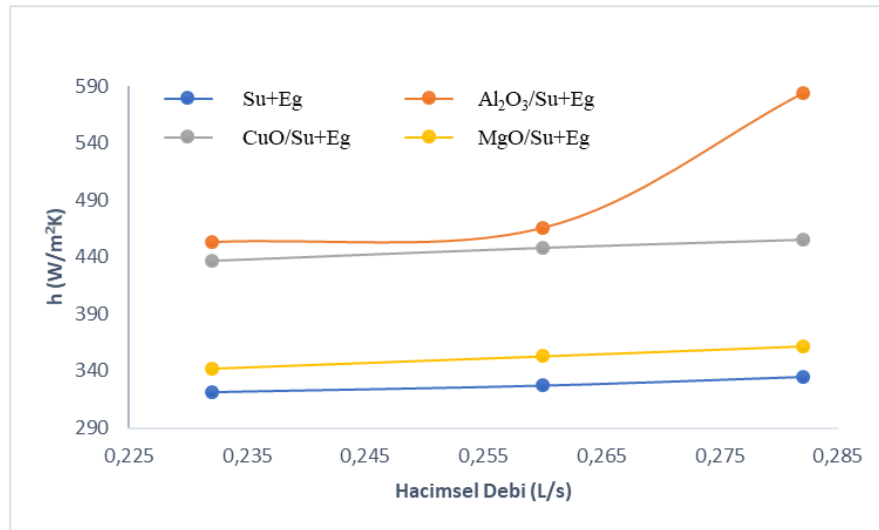
Şekil 5.2. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Dört farklı soğutucu akışkan için 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına göre deneysel ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı üzere havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısı artmıştır. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanının baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış %74.31 olarak bulunmuş ve diğer nanoakışkanlara göre daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir. $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki artış ise sırasıyla en yüksek %41.38 ve %10.16 olarak bulunmuştur.



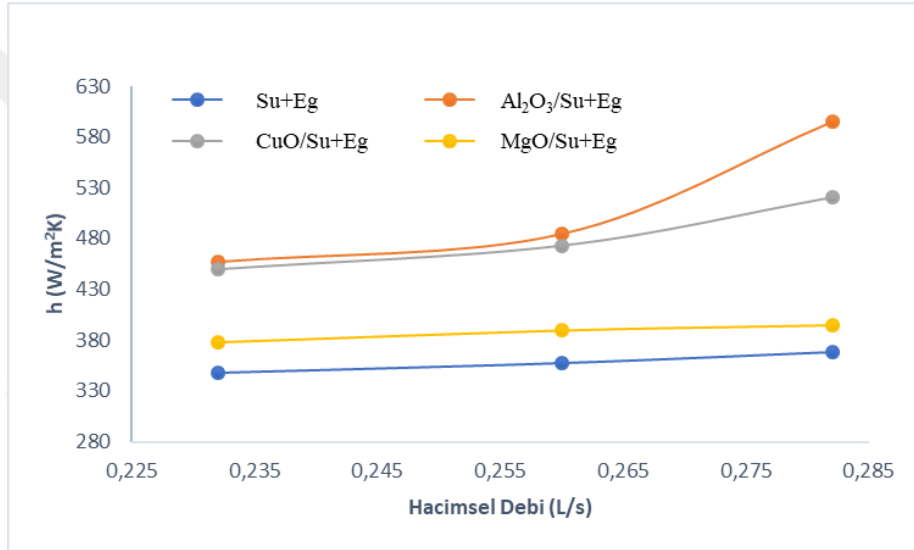
Şekil 5.3. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

1.6 m/s hava hızı için soğutucu akışkanın hacimsel debisine göre deneysel ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.4'te verilmiştir. Grafiğe göre hacimsel debi arttıkça deneysel ısı taşınım katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Üç farklı hacimsel debi için soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayıları kıyaslandığında en yüksek ısı taşınım katsayısı Al₂O₃ içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkan için, en düşük ısı taşınım katsayısı ise %50 su ve %50 etilen glikol içeren karışım için bulunmuştur. Su ve etilen glikol karışımına göre Al₂O₃, CuO ve MgO içeren nanoakışkanların deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış sırasıyla %42.29, %36.76 ve %7.95 olarak elde edilmiştir.



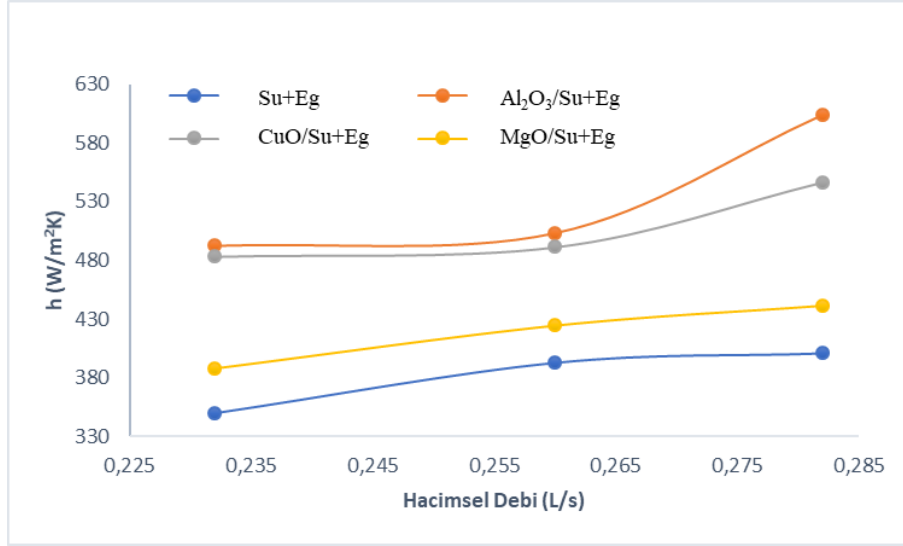
Şekil 5.4. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Hava hızının 2.3 m/s olması durumunda, hacimsel debi ile deneysel ısı taşınım katsayısının değişimini ve soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayılarının karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere temel akışkanın ısı taşınım katsayısı değerleri $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayısı değerlerinin altında kalmaktadır. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış taban akışkana göre sırasıyla % 61.88, %41.88 ve %9.13 olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanlar birbirleriyle karşılaştırıldığında, ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artışı %1 Al_2O_3 içeren nanoakışkanın sergilediği gözlemlenmiştir.



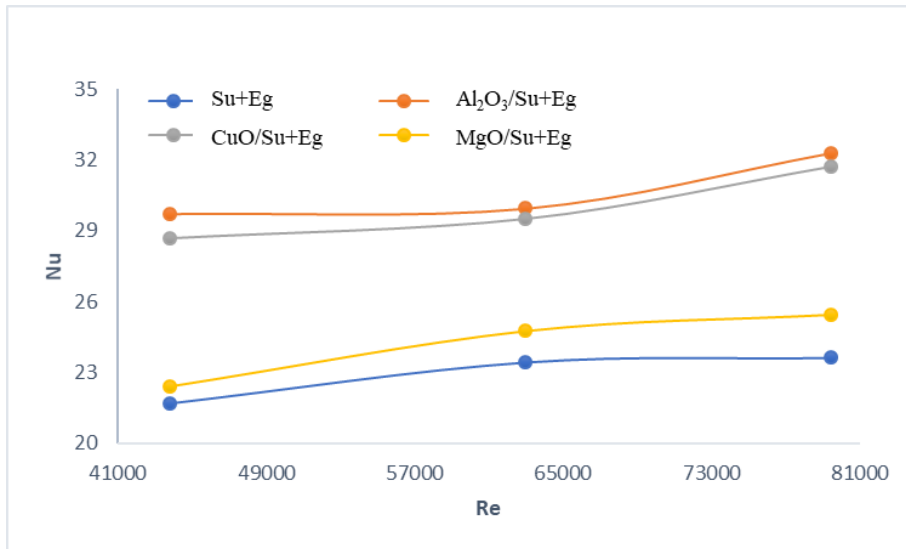
Şekil 5.5. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Deneysel verilere göre Şekil 5.6'da 2.9 m/s hava hızı için hacimsel debiye göre soğutucu akışkanların deneysel ısı taşınım katsayısındaki değişim gösterilmiştir. 0.232 L/s, 0.260 L/s ve 0.282 L/s olmak üzere üç farklı hacimsel debi için gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacimsel debinin artması soğutucu akışkanların tamamı için ısı taşınım katsayısını arttırmıştır. Baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 , CuO ve MgO nanotozu içeren nanoakışkanlar için sırasıyla %50.52, %38.05 ve %10.85 olarak elde edilmiştir.



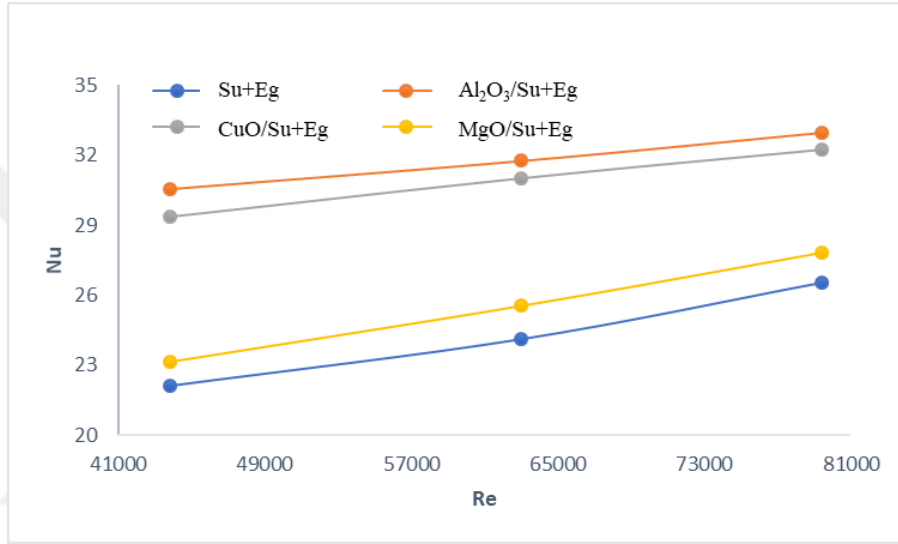
Şekil 5.6. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

0.232 L/s hacimsel debi için, havanın Reynolds sayısına göre akışkanların deneysel Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hava hızının ve buna bağlı olarak havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların Nusselt sayısı da artmıştır. Baz akışkana göre Nusselt sayılarındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %36.92, CuO içeren nanoakışkan için %34.23 ve MgO içeren nanoakışkan için %7.68 olarak hesaplanmıştır.



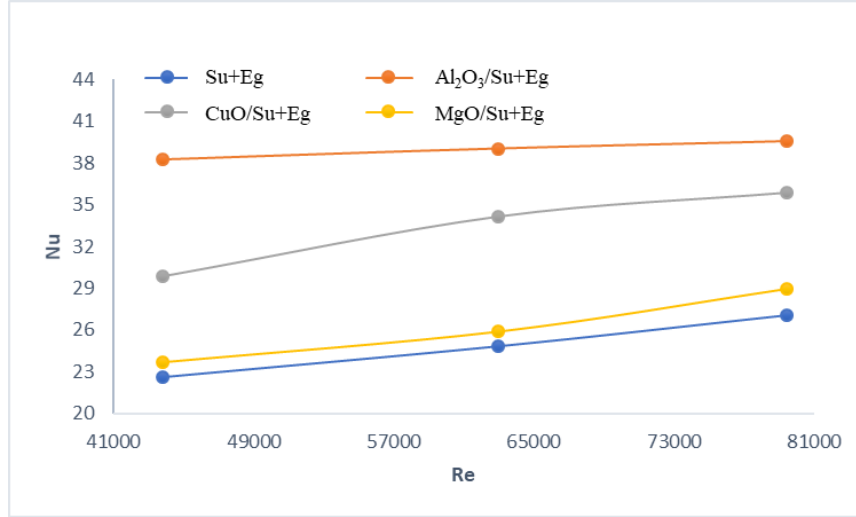
Şekil 5.7. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Deneyisel sonuçlara göre hacimsel debinin 0.260 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların deneyisel Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.9’de verilmiştir. Nusselt sayısı en yüksek hava hızının 2.9 m/s olduğu durumda, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanı için bulunmuştur. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanları, %50 su ve %50 etilen glikol içeren temel ısı transfer akışkanı ile karşılaştırıldığında, Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %38.23, %32.98 ve %6.01 bulunmuştur.



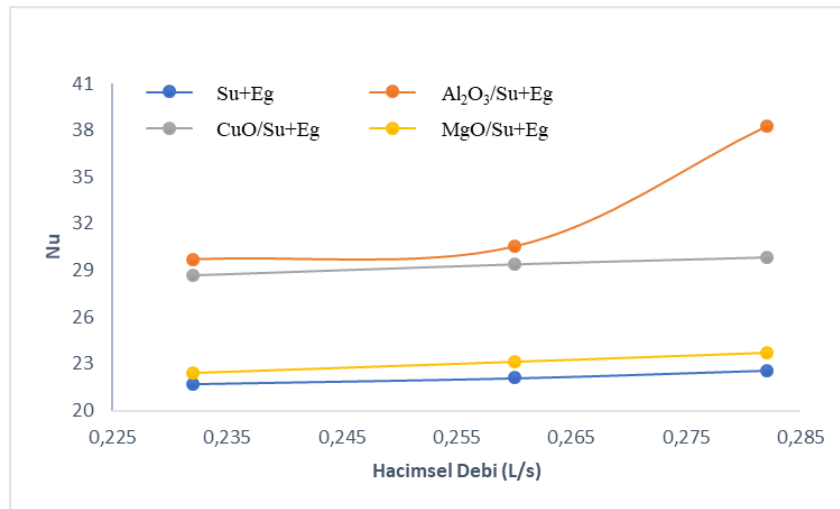
Şekil 5.8. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneyisel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Hacimsel debinin 0.282 L/s olması durumu için havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların deneyisel Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere havanın Reynolds sayısı ile ısı transfer akışkanlarının Nusselt sayısı doğru orantılı olarak değişmektedir. Baz akışkana göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanlar için elde edilen Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %69.33, %37.48 ve %7.01 olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, Al_2O_3 nanopartikülünün diğer nanopartiküllere nispeten ısı transferinde daha büyük artışlara sebep olduğu gözlemlenmiştir.



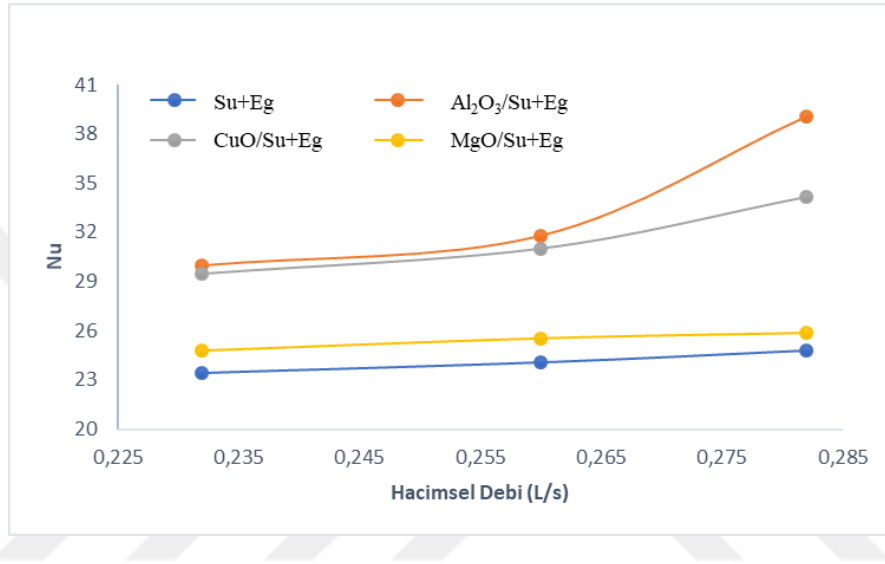
Şekil 5.9. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Şekil 5.10’da hava hızının 1.6 m/s olması durumunda, soğutucu akışkanların hacimsel debisi ile Nusselt sayısının değişimi gösterilmiştir. Hacimsel debinin artması sonucunda Al₂O₃ içeren nanoakışkan için grafikte ani artışlar gözlemlenmektedir. Bu ani artışın sebebini Al₂O₃ nanopartiküllerinin çarpışmadan veya etkileşimden kaynaklı ısı transferini artırması olarak yorumlayabiliriz. Al₂O₃ içeren nanoakışkan için baz akışkana göre elde edilen en yüksek Nusselt sayısı 0.282 L/s hacimsel debi ve 1.6 m/s hava hızı şartlarında gerçekleşmiş ve %69.33 olarak hesaplanmıştır. Bu artış CuO içeren nanoakışkan için %32.98, MgO içeren nanoakışkan için ise %4.86 bulunmuştur.



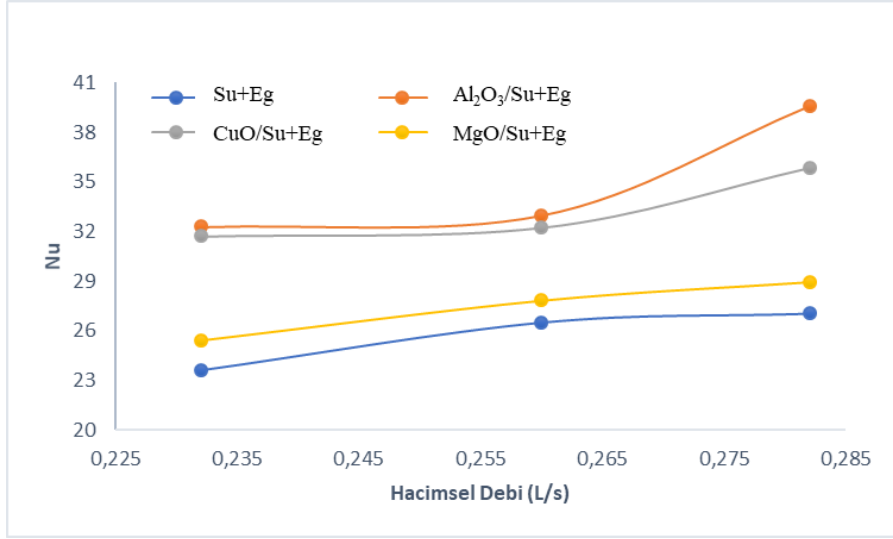
Şekil 5.10. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

2.3 m/s hava hızı için, soğutucu akışkanların hacimsel debisiyle Nusselt sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.11’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere hacimsel debinin artması ısı transferini ve Nusselt sayısını önemli ölçüde arttırmaktadır. %1 hacimsel konsantrasyondaki $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanları su ve etilen glikol karışımı ile mukayese edildiğinde Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %57.25, %37.48 ve %6.01 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.11. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Hava hızının 2.9 m/s olması durumunda, dört farklı soğutucu akışkan için hacimsel debiye göre deneysel Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Grafikte nanoakışkanların Nusselt sayısının her hacimsel debi durumu için baz akışkandan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak hacimsel debi ile Nusselt sayısının doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Nanoakışkanların Nusselt sayılarındaki en yüksek artış baz akışkana göre Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %46.22, CuO içeren nanoakışkan için %34.23 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %7.68 bulunmuştur.

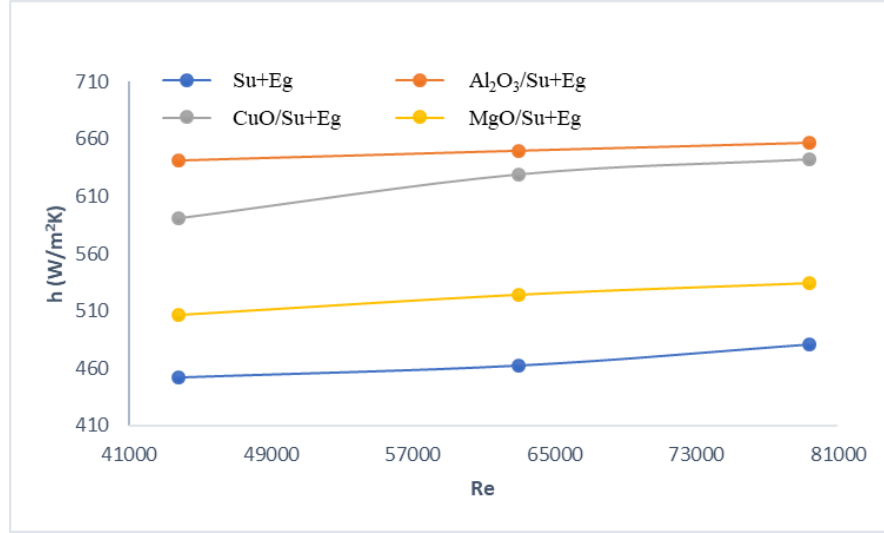


Şekil 5.12. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel Nusselt sayısının (Nu) değişimi

5.2. Sayısal Sonuçlar ve Grafikler

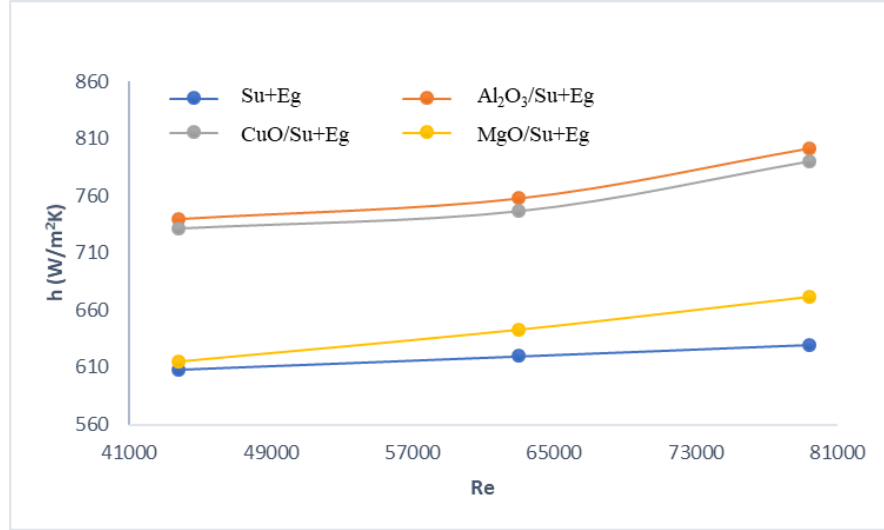
Bu bölümde dört farklı akışkan için sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler şeklinde gösterilmiştir.

Dört farklı soğutucu akışkan için 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına göre sayısal ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı üzere havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısı artmıştır. Al₂O₃/Su+Eg nanoakışkanının baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış %41.89 olarak bulunmuş ve diğer nanoakışkanlara göre daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir. CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanlarının baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki artış ise sırasıyla en yüksek %35.98 ve %13.32 olarak bulunmuştur.



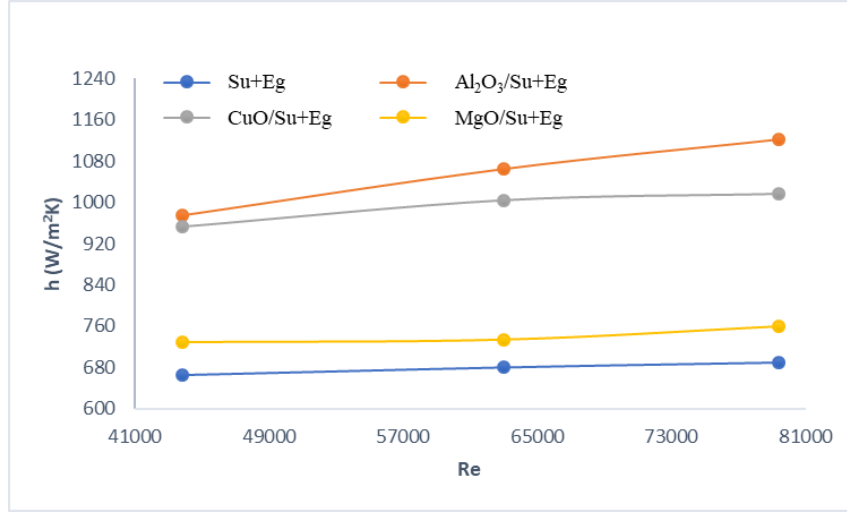
Şekil 5.13. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.14'te 0.260 L/s hacimsel debi için 1.6 m/s, 2.3 m/s, 2.9 m/s olmak üzere üç farklı hava hızına bağlı olarak hesaplanan havanın Reynolds sayısına göre, akışkanların sayısal ısı taşınım katsayılarının değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, üç farklı hava hızı için %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al₂O₃, CuO, MgO nanotozu içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların ısı taşınım katsayılarının baz akışkan ile mukayese edildiğinde daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al₂O₃ içeren nanoakışkan için %27.29, CuO içeren nanoakışkan için %25.35 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %6.71 olarak elde edilmiştir.



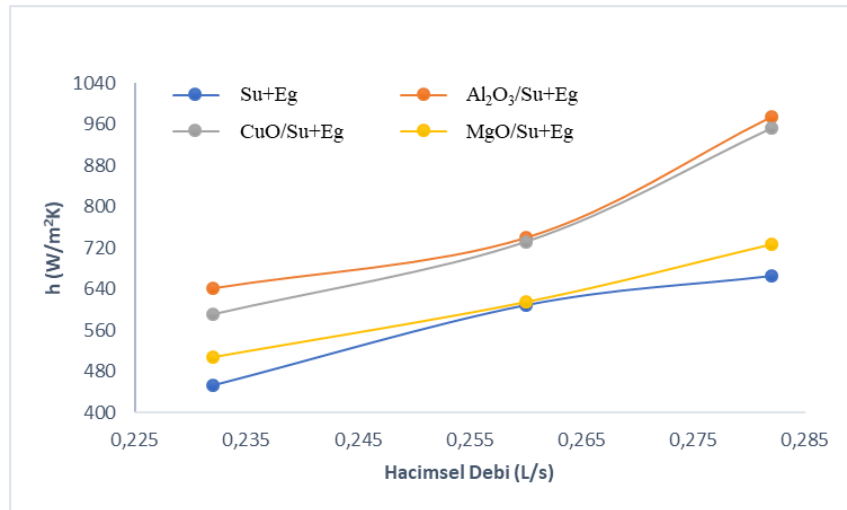
Şekil 5.14. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Şekil 5.15’de hacimsel debinin 0.282 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile akışkanların sayısal ısı taşınım katsayılarının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre tüm akışkanlar için havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısının da arttığı görülmüştür. Aynı şartlar altında bütün akışkanlar kıyaslandığında, en yüksek ısı taşınım katsayısı Al₂O₃/Su+Eg nanoakışkanı için elde edilmiştir. Taban akışkana göre Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg, MgO/Su+Eg nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayılarındaki en yüksek artış sırasıyla %62.73, %47.61 ve %10.26 bulunmuştur.



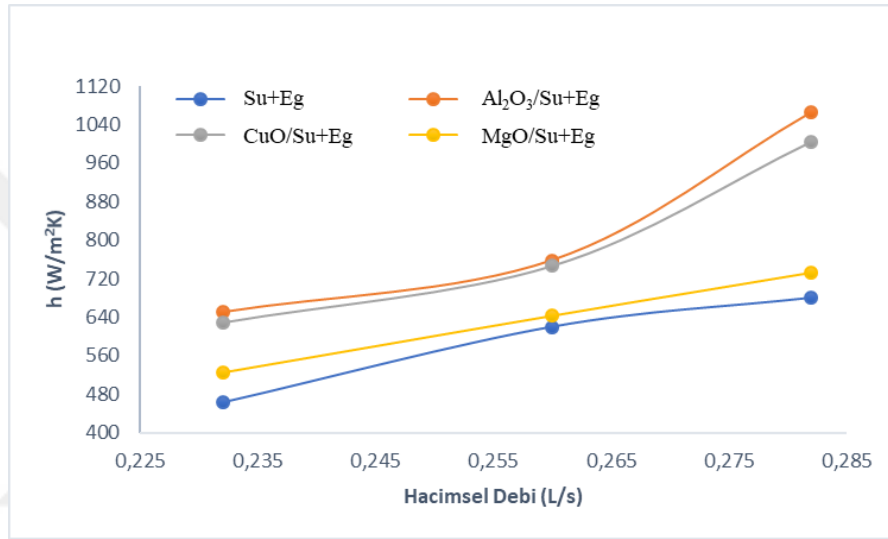
Şekil 5.15. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Hava hızının 1.6 m/s olması durumunda, hacimsel debi ile sayısal ısı taşınım katsayısının değişimini ve soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayılarının karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 5.16’da verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere temel akışkanın ısı taşınım katsayısı değerleri $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayısı değerlerinin altında kalmaktadır. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış taban akışkana göre sırasıyla %46.62, %43.27 ve %12.12 olarak hesaplanmıştır. Nusselt sayısındaki en yüksek artışı %1 Al_2O_3 içeren nanoakışkanın sergilediği gözlemlenmiştir.



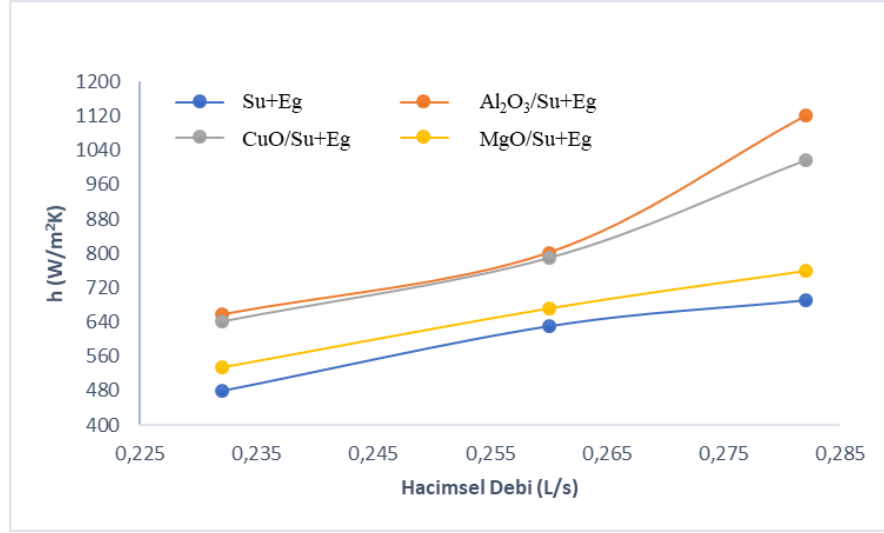
Şekil 5.16. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Sayısal verilere göre Şekil 5.17’de 2.3 m/s hava hızı için hacimsel debiye göre soğutucu akışkanların sayısal ısı taşınım katsayısındaki değişim gösterilmiştir. 0.232 L/s, 0.260 L/s ve 0.282 L/s olmak üzere üç farklı hacimsel debi için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlara göre hacimsel debinin artması soğutucu akışkanların tamamı için ısı taşınım katsayısını arttırmıştır. Baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanlar için sırasıyla %56.60, %47.61 ve %13.32 olarak elde edilmiştir.



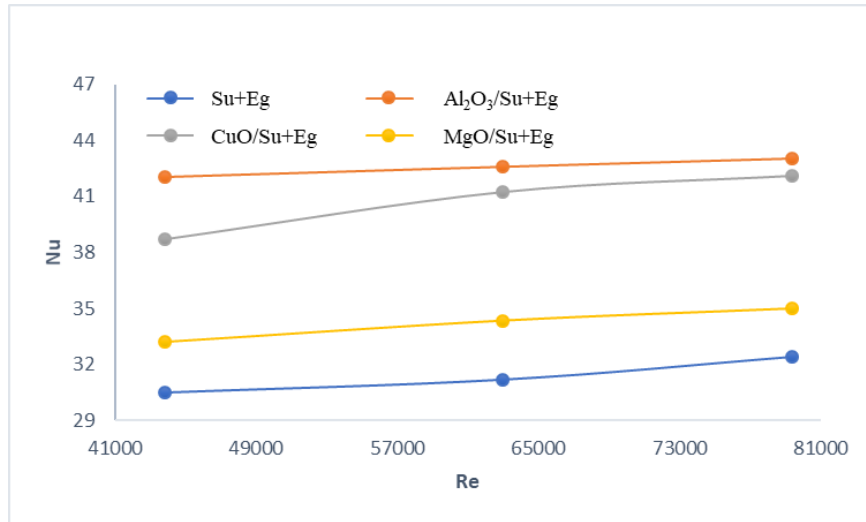
Şekil 5.17. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

2.9 m/s hava hızı için soğutucu akışkanın hacimsel debisine göre sayısal ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.18’de verilmiştir. Grafiğe göre hacimsel debi arttıkça sayısal ısı taşınım katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Üç farklı hacimsel debi için soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayıları kıyaslandığında en yüksek ısı taşınım katsayısı Al_2O_3 içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkan için, en düşük ısı taşınım katsayısı ise %50 su ve %50 etilen glikol içeren karışım için bulunmuştur. Su ve etilen glikol karışımına göre Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanların sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış sırasıyla %62.73, %47.34 ve %11.07 olarak elde edilmiştir.



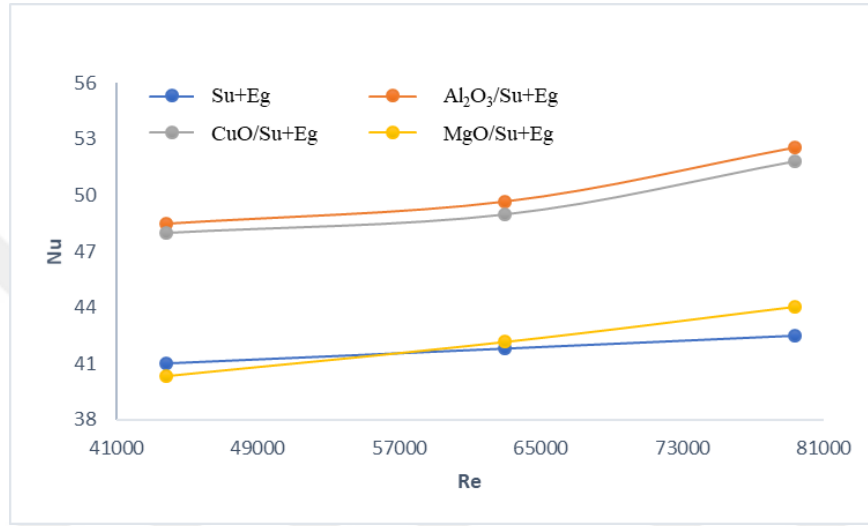
Şekil 5.18. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Hacimsel debinin 0.232 L/s olması durumu için havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların sayısal Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere havanın Reynolds sayısı ile ısı transfer akışkanlarının Nusselt sayısı doğru orantılı olarak değişmektedir. Baz akışkana göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanlar için elde edilen Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %37.84, %32.22 ve %10.09 olarak elde edilmiştir.



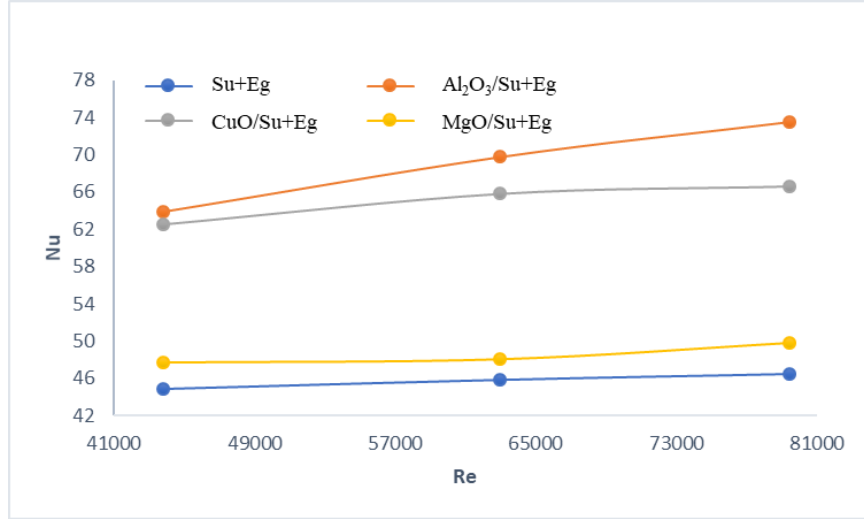
Şekil 5.19. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

0.260 L/s hacimsel debi için, havanın Reynolds sayısına göre akışkanların sayısal Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.20’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hava hızının ve buna bağlı olarak havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların Nusselt sayısı da artmıştır. Baz akışkana göre Nusselt sayılarındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %23.65, CuO içeren nanoakışkan için %21.89 ve MgO içeren nanoakışkan için %3.66 olarak hesaplanmıştır.



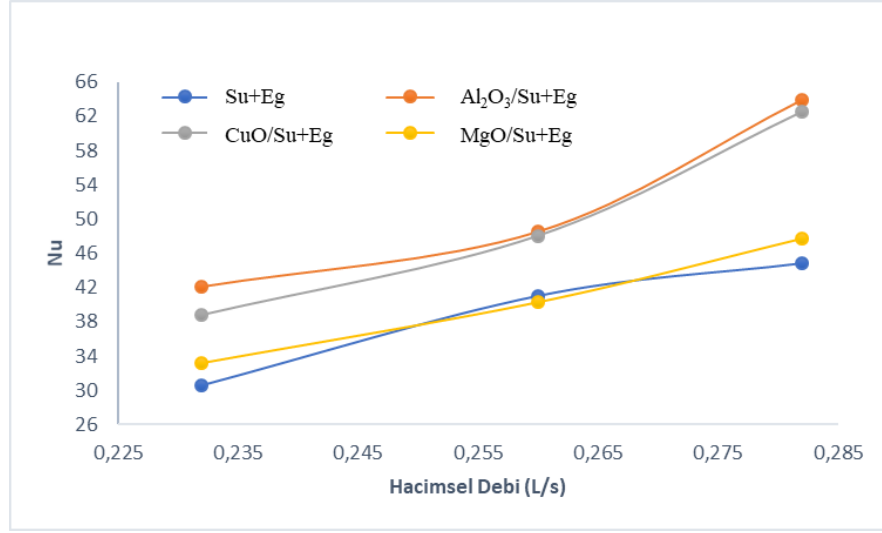
Şekil 5.20. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Sayısal sonuçlara göre hacimsel debinin 0.282 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların sayısal Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.21’de verilmiştir. Nusselt sayısı en yüksek hava hızının 2.9 m/s olduğu durumda, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su+Eg}$ nanoakışkanı için bulunmuştur. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su+Eg}$, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları, %50 su ve %50 etilen glikol içeren temel ısı transfer akışkanı ile karşılaştırıldığında, Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %58.09, %43.53 ve %7.11 bulunmuştur.



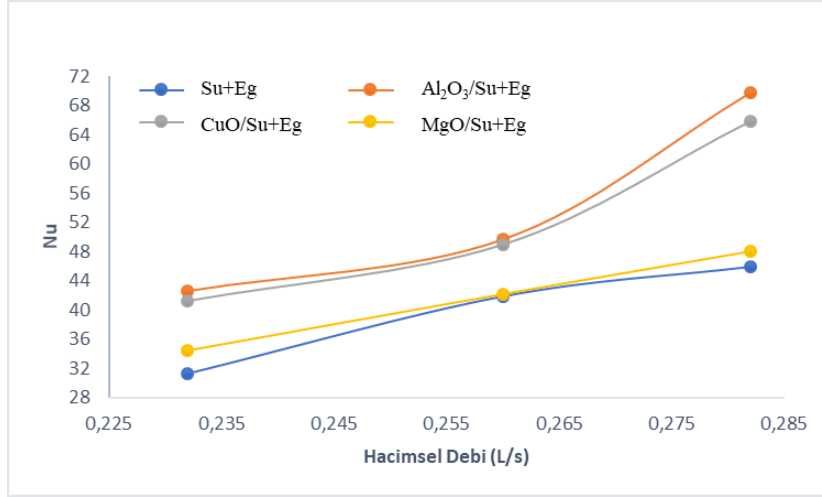
Şekil 5.21. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

1.6 m/s hava hızı için, soğutucu akışkanların hacimsel debisiyle Nusselt sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.22’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere hacimsel debinin artması ısı transferini ve Nusselt sayısını önemli ölçüde arttırmaktadır. %1 hacimsel konsantrasyondaki Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları su ve etilen glikol karışımı ile mukayese edildiğinde Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %42.43, %39.31 ve %8.92 olarak elde edilmiştir.



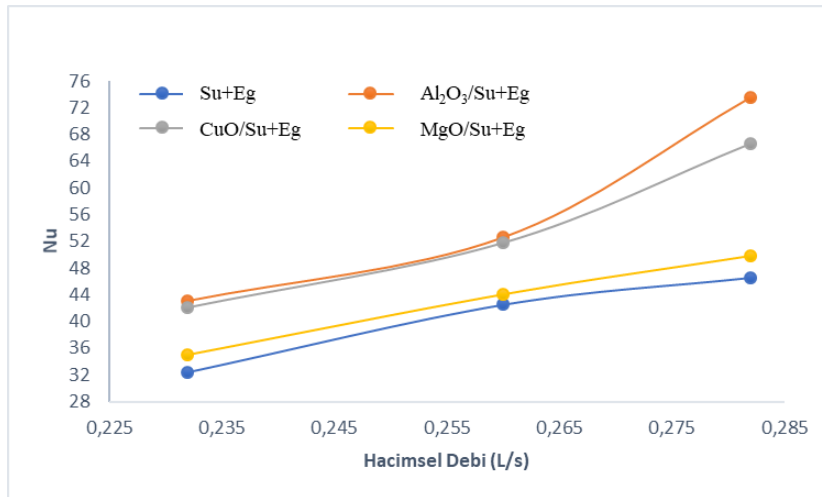
Şekil 5.22. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Hava hızının 2.3 m/s olması durumunda, dört farklı soğutucu akışkan için hacimsel debiye göre sayısal Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Grafikte nanoakışkanların Nusselt sayısının her hacimsel debi durumu için baz akışkandan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak hacimsel debi ile Nusselt sayısının doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Nanoakışkanların Nusselt sayılarındaki en yüksek artış baz akışkana göre Al₂O₃ içeren nanoakışkan için %52.13, CuO içeren nanoakışkan için %43.53 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %10.09 bulunmuştur.



Şekil 5.23. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Şekil 5.24'te hava hızının 2.9 m/s olması durumunda, soğutucu akışkanların hacimsel debisi ile Nusselt sayısının değişimi gösterilmiştir. Hacimsel debinin artmasıyla Al₂O₃ içeren nanoakışkan için grafikte ani artışlar gözlemlenmektedir. Bu ani artışın sebebini Al₂O₃ nanopartiküllerinin çarpışmadan veya etkileşimden kaynaklı ısı transferini artırması olarak yorumlayabiliriz. Al₂O₃ içeren nanoakışkan için baz akışkana göre elde edilen en yüksek Nusselt sayısı 0.282 L/s hacimsel debi ve 2.9 m/s hava hızı şartlarında gerçekleşmiş ve %58.09 olarak hesaplanmıştır. Bu artış CuO içeren nanoakışkan için %43.26, MgO içeren nanoakışkan için ise %7.89 olarak elde edilmiştir. Al₂O₃'ün diğer nanopartiküllere göre nispeten ısı transferinde daha büyük artışlara sebep olduğu gözlemlenmiştir.

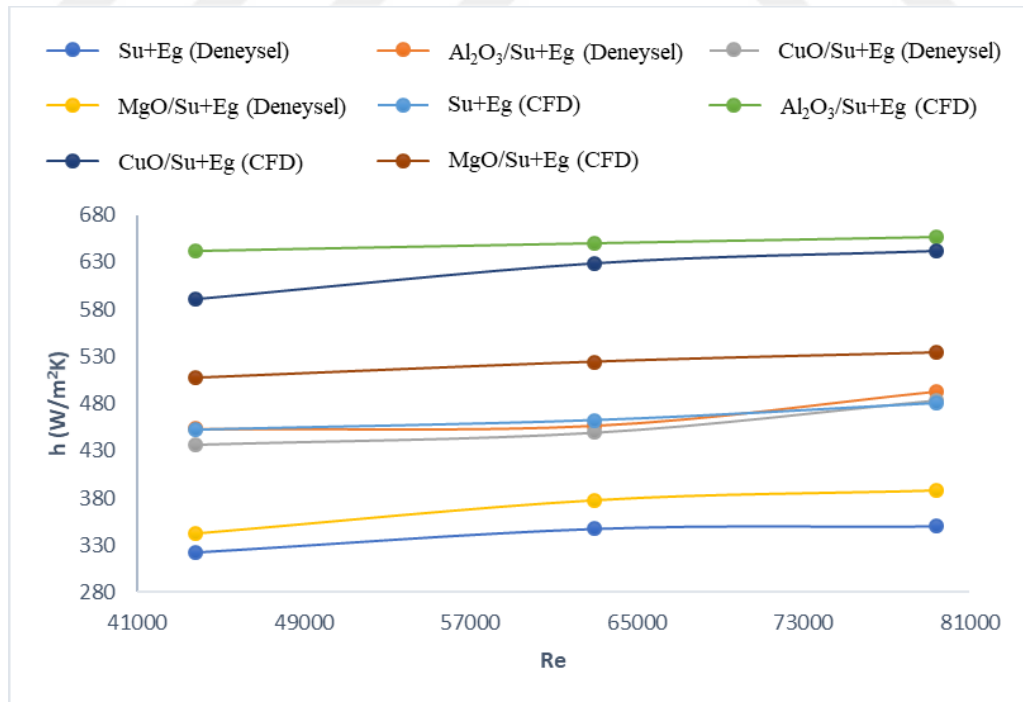


Şekil 5.24. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

5.3. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Kıyaslanması

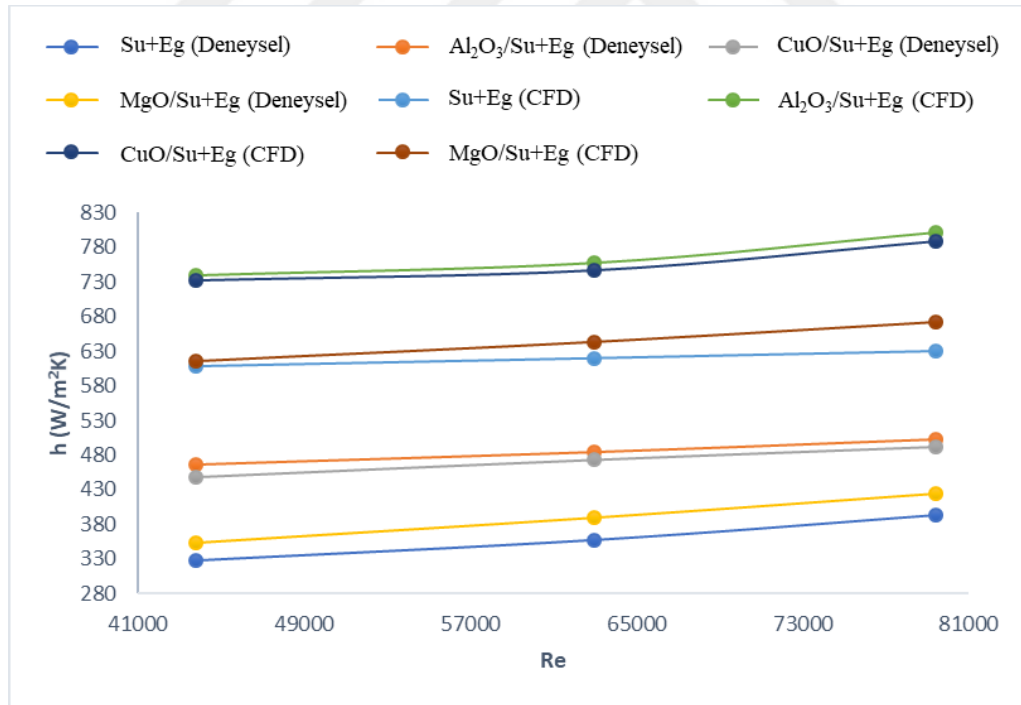
Bu bölümde dört farklı soğutucu akışkan için deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar aynı grafikte gösterilmiştir. Nanoakışkanların baz akışkana göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısındaki artışlar verilerek akışkanların ısı performansları kıyaslanmıştır.

Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.25'te 0.232 L/s hacimsel debi için 1.6 m/s, 2.3 m/s, 2.9 m/s olmak üzere üç farklı hava hızına bağlı olarak hesaplanan havanın Reynolds sayısına göre, akışkanların deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının değişimi gösterilmiştir. Baz akışkana göre deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %40.95, CuO içeren nanoakışkan için %38.05 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %10.85 olarak elde edilmiştir. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış %41.89 olarak bulunmuştur. CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanlarının baz akışkana göre sayısal ısı taşınım katsayısındaki artış ise sırasıyla en yüksek %35.98 ve %13.32 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.25. 0.232 L/s hacimsel debide, Havanın Reynolds Sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

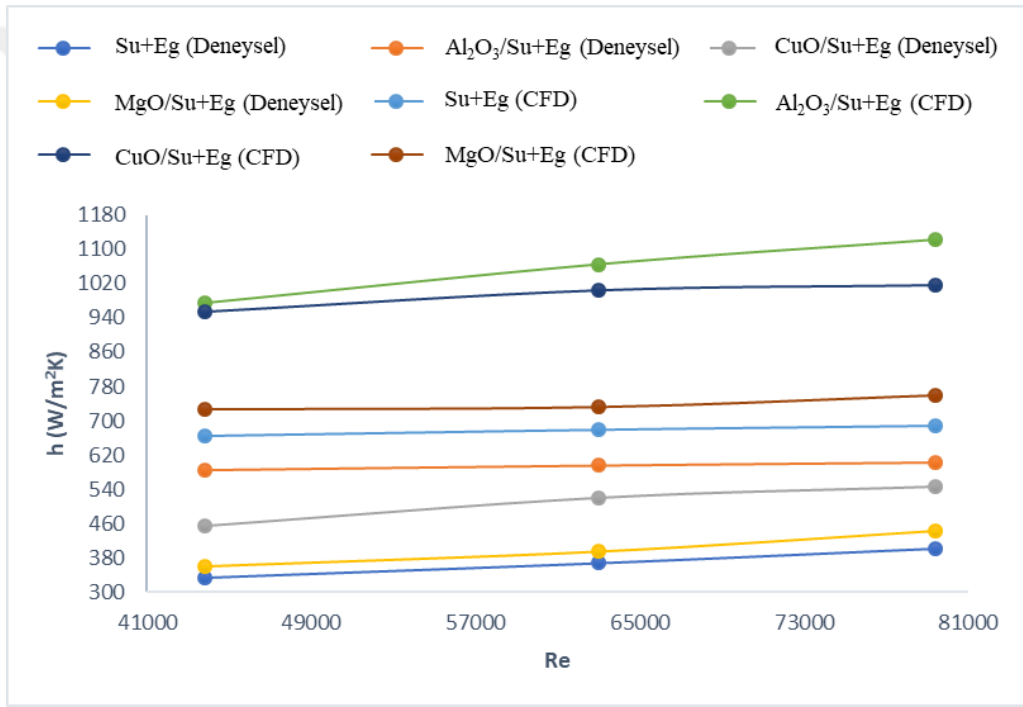
Şekil 5.26’da hacimsel debinin 0.260 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile akışkanların deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre tüm akışkanlar için havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısının da arttığı görülmüştür. Aynı şartlar altında bütün akışkanlar kıyaslandığında, en yüksek ısı taşınım katsayısı sayısal analizde $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanı için elde edilmiştir. Taban akışkana göre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının deneysel ısı taşınım katsayılarındaki en yüksek artış sırasıyla %42.29, %36.76 ve %8.07 bulunmuştur. Baz akışkana göre sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %27.29, CuO içeren nanoakışkan için %25.35 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %6.71 olarak elde edilmiştir. Hava hızına bağlı olarak Reynolds sayısının artmasıyla bütün soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayılarının artması ve nanoakışkanların baz akışkana göre daha iyi ısıl performansa sahip olması açısından sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar ile deneysel analizlerden elde edilen sonuçlar arasında uyum olduğu görülmektedir.



Şekil 5.26. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Dört farklı soğutucu akışkan için 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.27’de

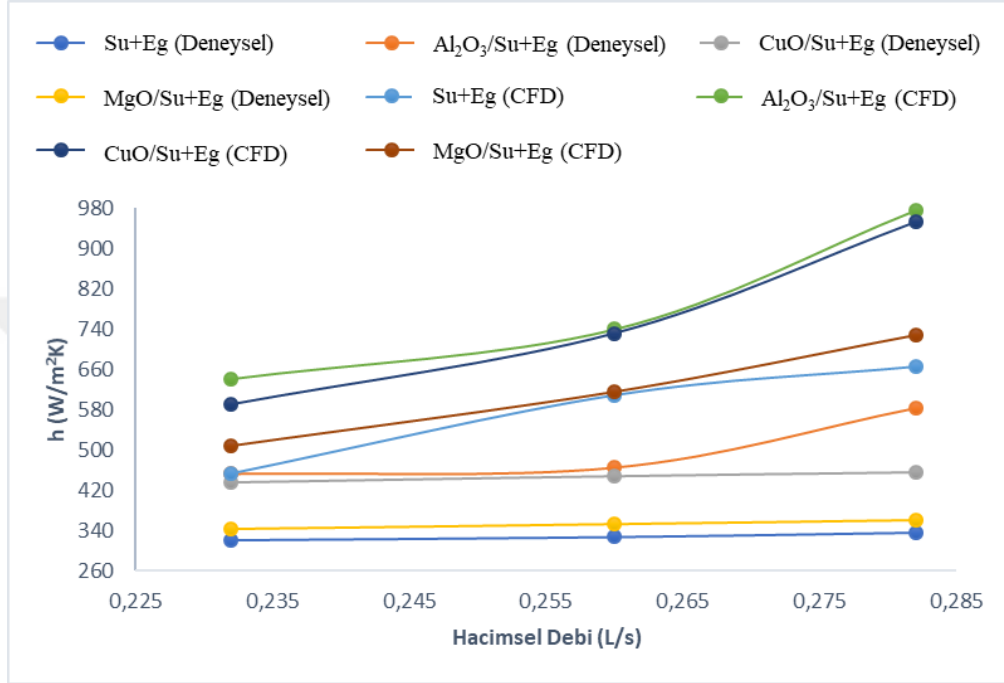
gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere aynı şartlar altında elde edilen sonuçlar için, havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısının da arttığı görülmektedir. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanının baz akışkana göre deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış %74.31 olarak bulunmuş ve diğer nanoakışkanlara göre daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir. $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre deneysel ısı taşınım katsayısındaki artış ise sırasıyla en yüksek %41.38 ve %10.16 olarak bulunmuştur. Taban akışkana göre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının sayısal ısı taşınım katsayılarındaki en yüksek artış sırasıyla %62.73, %47.61 ve %10.26 bulunmuştur.



Şekil 5.27. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

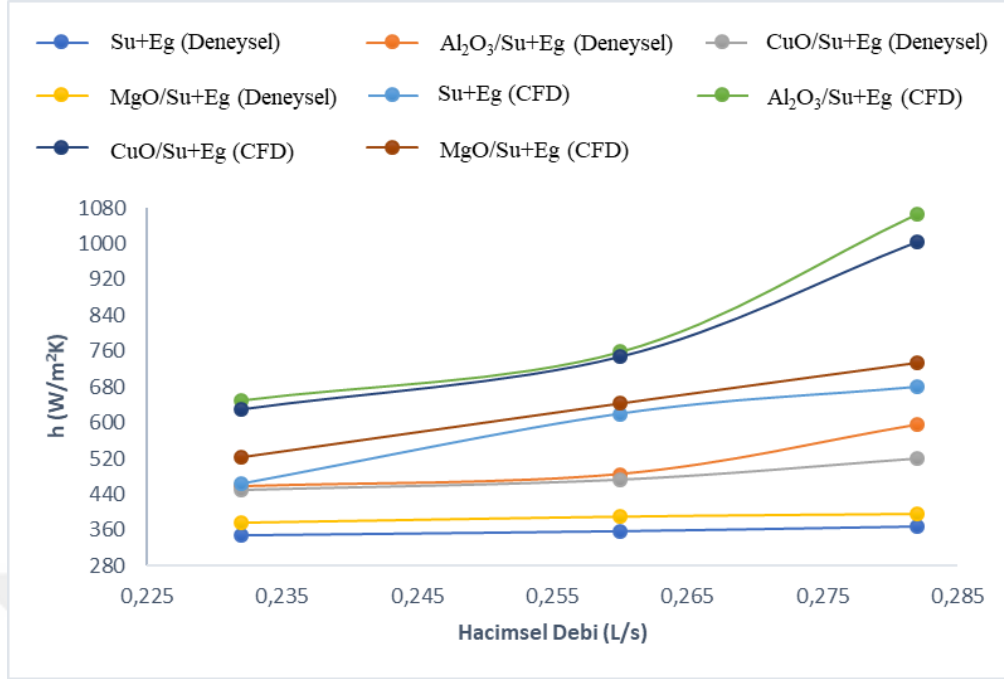
1.6 m/s hava hızı için soğutucu akışkanın hacimsel debisine göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 5.28’de verilmiştir. Grafiğe göre hacimsel debi arttıkça deneysel ısı taşınım katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Üç farklı hacimsel debi için soğutucu akışkanların deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayıları kıyaslandığında en yüksek ısı taşınım katsayısı Al_2O_3 nanotozu içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkan için, en düşük ısı taşınım katsayısı ise %50 su ve %50 etilen glikol içeren karışım için bulunmuştur. Su ve etilen glikol karışımına göre Al_2O_3 , CuO ve MgO nanotozu içeren

nanoakışkanların deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış sırasıyla %42.29, %36.76 ve %7.95 olarak elde edilmiştir. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış taban akışkana göre sırasıyla %46.62, %43.27 ve %12.12 olarak hesaplanmıştır.



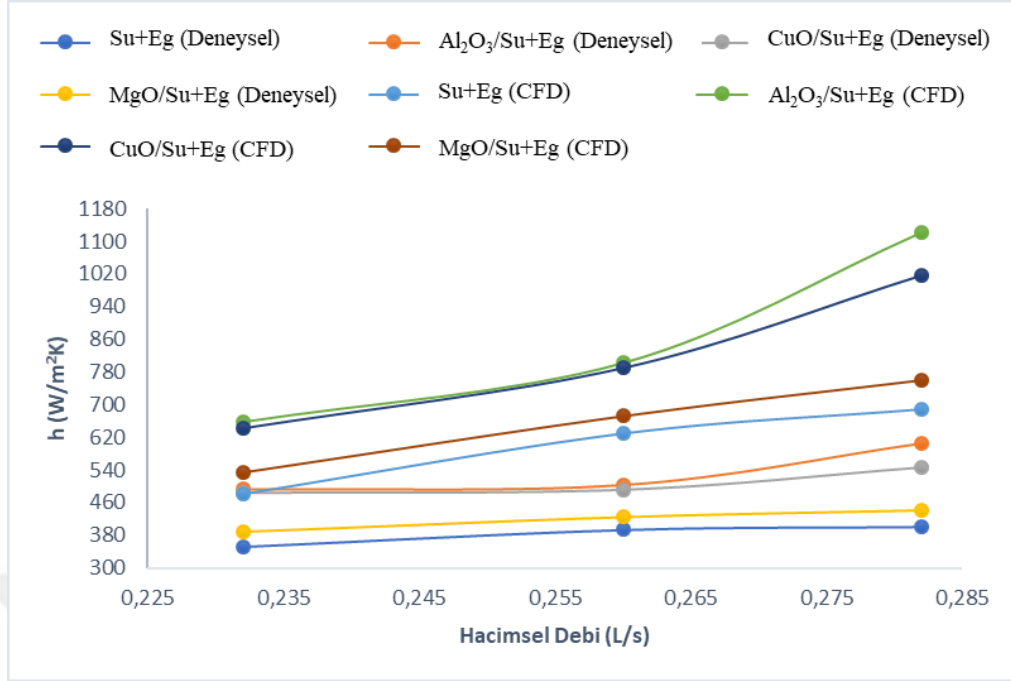
Şekil 5.28. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Hava hızının 2.3 m/s olması durumunda, hacimsel debi ile deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısının değişimini ve soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayılarının karşılaştırılmasını gösteren grafik Şekil 5.29’da verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere hem sayısal hem de deneysel analiz için temel akışkanın ısı taşınım katsayısı değerleri $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının ısı taşınım katsayısı değerlerinin altında kalmaktadır. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ nanoakışkanlarının deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış taban akışkana göre sırasıyla % 61.88, %41.88 ve %9.13 olarak hesaplanmıştır. Baz akışkana göre sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanlar için sırasıyla %56.60, %47.61 ve %13.32 olarak elde edilmiştir.



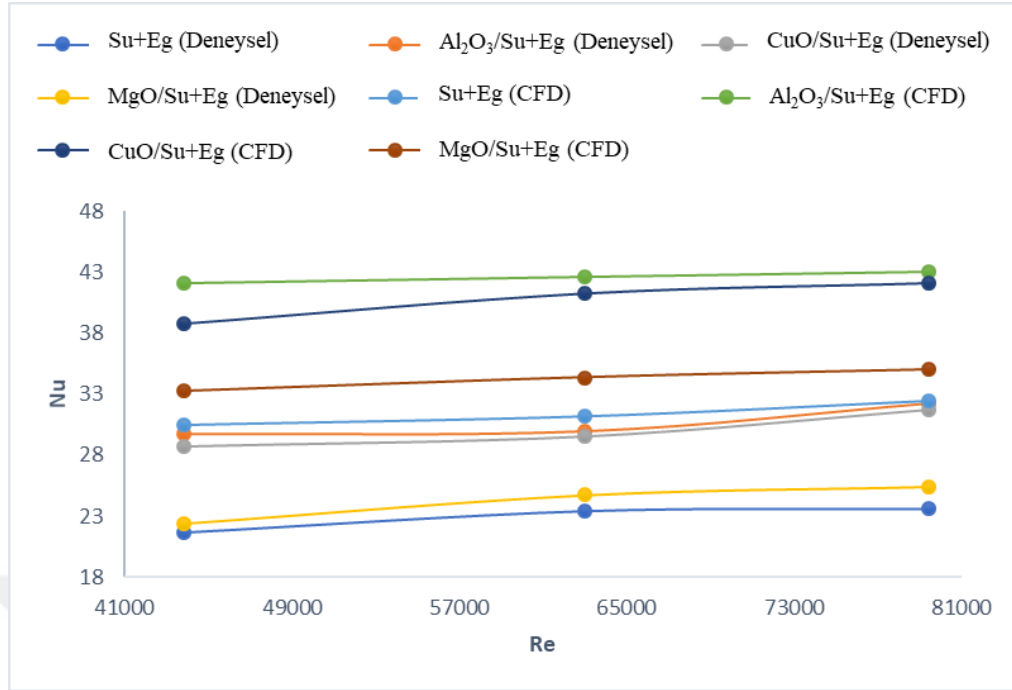
Şekil 5.29. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

Deneysel ve sayısal verilere göre Şekil 5.30’da 2.9 m/s hava hızı için hacimsel debiye göre soğutucu akışkanların deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayısındaki değişim gösterilmiştir. 0.232 L/s, 0.260 L/s ve 0.282 L/s olmak üzere üç farklı hacimsel debi için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlara göre hacimsel debinin artması, soğutucu akışkanların tamamı için ısı taşınım katsayısını arttırmıştır. Baz akışkana göre deneysel ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış Al_2O_3 , CuO ve MgO nanopartikülü içeren nanoakışkanlar için sırasıyla %50.52, %38.05 ve %10.85 olarak elde edilmiştir. Su ve etilen glikol karışımına göre Al_2O_3 , CuO ve MgO içeren nanoakışkanların sayısal ısı taşınım katsayısındaki en yüksek artış sırasıyla %62.73, %47.34 ve %11.07 olarak elde edilmiştir.



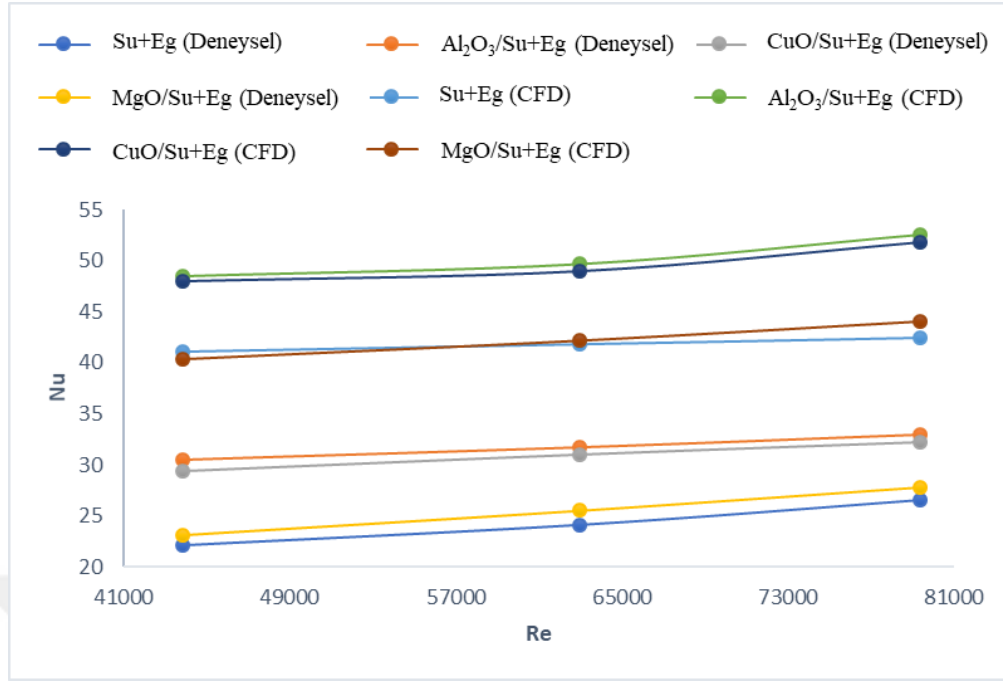
Şekil 5.30. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal ısı taşınım katsayılarının (h) değişimi

0.232 L/s hacimsel debi için, havanın Reynolds sayısına göre akışkanların deneysel Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.31’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hava hızının ve buna bağlı olarak havanın Reynolds sayısının artmasıyla soğutucu akışkanların Nusselt sayısı da artmıştır. Üç farklı hava hızı için elde edilen sonuçlara göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 , CuO, MgO içeren su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanların hem deneysel hem de sayısal Nusselt sayılarının baz akışkan ile mukayese edildiğinde daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Baz akışkana göre deneysel Nusselt sayılarındaki en yüksek artış Al_2O_3 nanotozu içeren nanoakışkan için %36.92, CuO nanotozu içeren nanoakışkan için %34.23 ve MgO nanotozu içeren nanoakışkan için %7.68 olarak hesaplanmıştır. Baz akışkana göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip %99.9 saflıktaki Al_2O_3 , CuO ve MgO nanopartikülü içeren nanoakışkanlar için elde edilen sayısal Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %37.84, %32.22 ve %10.09 olarak elde edilmiştir.



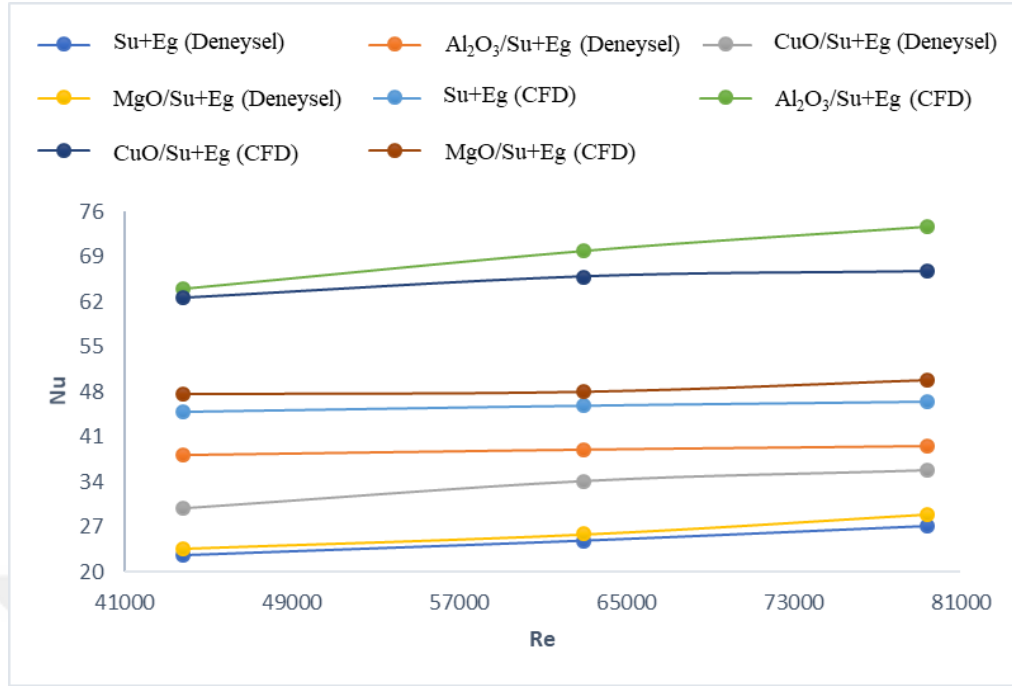
Şekil 5.31. 0.232 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Deneysel ve sayısal sonuçlara göre hacimsel debinin 0.260 L/s olması durumunda, havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların deneysel ve sayısal Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.32’de verilmiştir. %1 hacimsel konsantrasyona sahip %99.9 saflıktaki Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları, %50 su ve %50 etilen glikol içeren temel ısı transfer akışkanı ile karşılaştırıldığında, deneysel Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %38.23, %32.98 ve %6.01 bulunmuştur. Baz akışkana göre sayısal Nusselt sayılarındaki en yüksek artış Al₂O₃ içeren nanoakışkan için %23.65, CuO içeren nanoakışkan için %21.89 ve MgO içeren nanoakışkan için %3.66 olarak hesaplanmıştır.



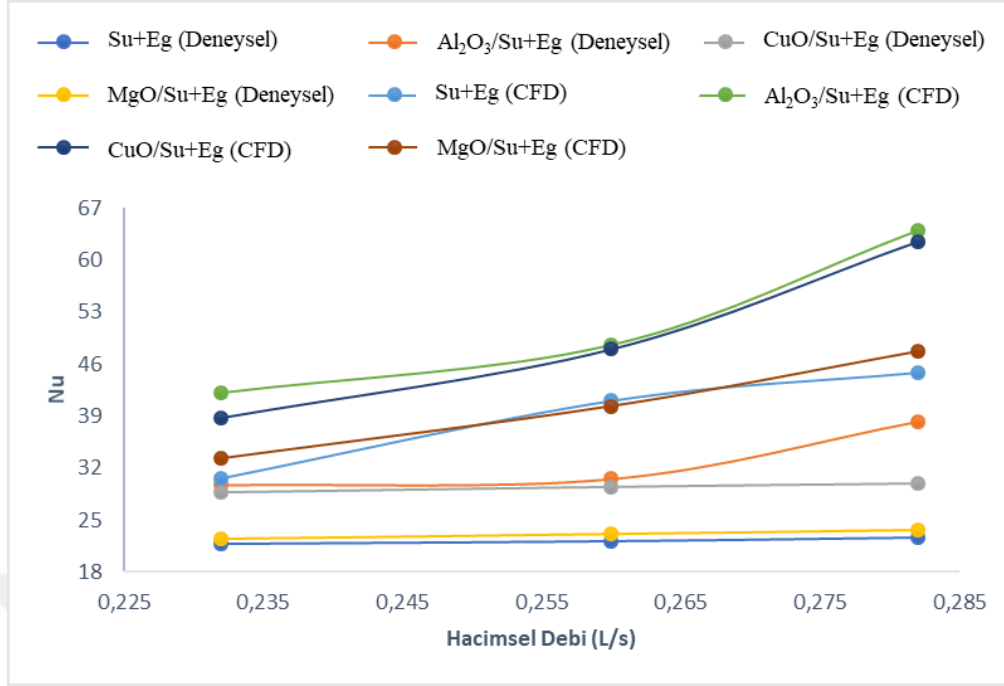
Şekil 5.32. 0.260 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Hacimsel debinin 0.282 L/s olması durumu için havanın Reynolds sayısı ile soğutucu akışkanların deneysel ve sayısal Nusselt sayısının değişimini gösteren grafik Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere havanın Reynolds sayısı ile ısı transfer akışkanlarının Nusselt sayısı doğru orantılı olarak değişmektedir. Baz akışkana göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al₂O₃, CuO ve MgO içeren nanoakışkanlar için elde edilen deneysel Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %69.33, %37.48 ve %7.01 olarak elde edilmiştir. Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları, %50 su ve %50 etilen glikol içeren temel ısı transfer akışkanı ile karşılaştırıldığında, sayısal Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %58.09, %43.53 ve %7.11 bulunmuştur.



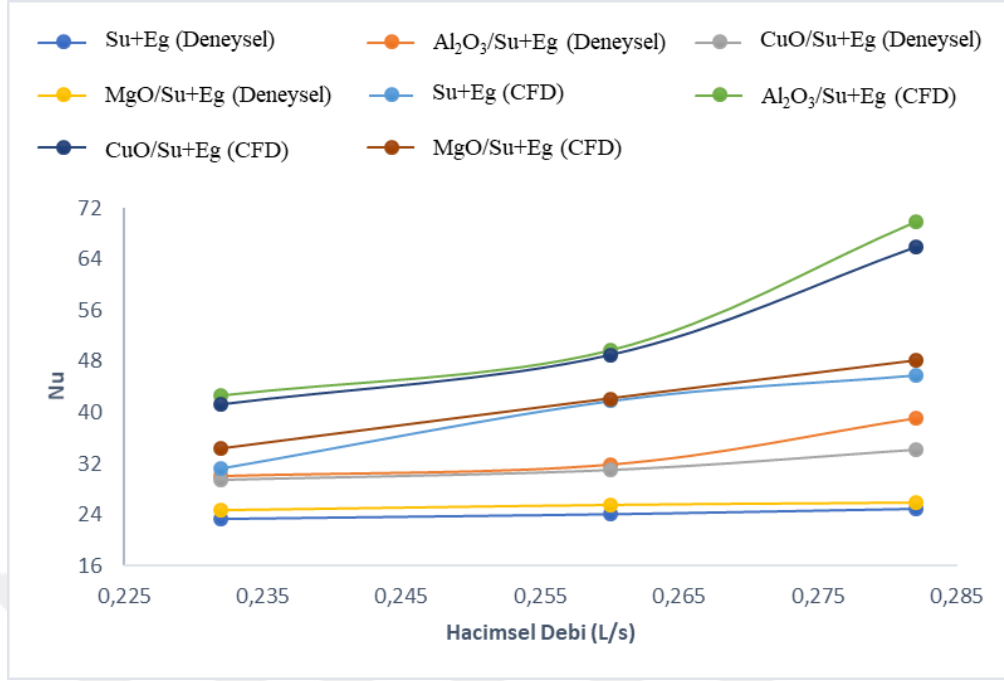
Şekil 5.33. 0.282 L/s hacimsel debide, havanın Reynolds sayısına (Re) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Şekil 5.34'te hava hızının 1.6 m/s olması durumunda, soğutucu akışkanların hacimsel debisi ile sayısal ve deneysel Nusselt sayısının değişimi gösterilmiştir. Hacimsel debinin artması sonucunda Al₂O₃ içeren nanoakışkan için grafikte ani artışlar gözlemlenmektedir. Bu ani artışın sebebini Al₂O₃ nanopartiküllerinin çarpışmadan veya etkileşimden kaynaklı ısı transferini artırması olarak yorumlayabiliriz. Al₂O₃ nanopartikülü içeren nanoakışkan için baz akışkana göre elde edilen en yüksek deneysel Nusselt sayısı %69.33 olarak hesaplanmıştır. Bu artış CuO nanopartikülü içeren nanoakışkan için %32.98, MgO nanopartikülü içeren nanoakışkan için ise %4.86 bulunmuştur. %1 hacimsel konsantrasyondaki Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları su ve etilen glikol karışımı ile mukayese edildiğinde sayısal Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %42.43, %39.31 ve %8.92 olarak elde edilmiştir.



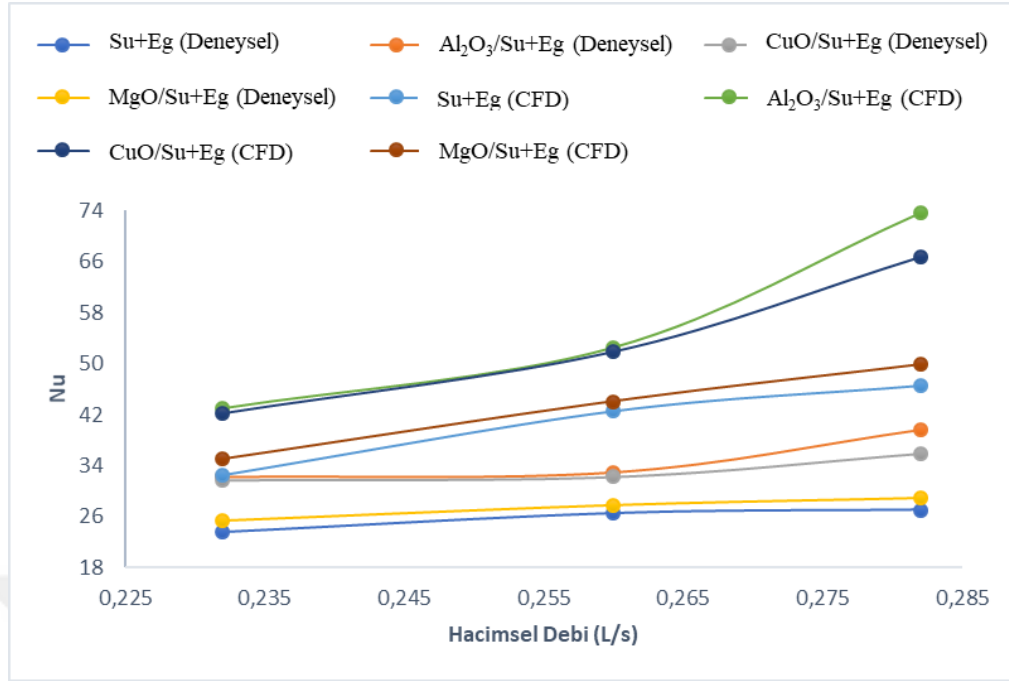
Şekil 5.34. 1.6 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

2.3 m/s hava hızı için, soğutucu akışkanların hacimsel debisiyle Nusselt sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.35'te verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere hacimsel debinin artması ısı transferini ve Nusselt sayısını önemli ölçüde arttırmaktadır. %1 hacimsel konsantrasyondaki Al₂O₃/Su+Eg, CuO/Su+Eg ve MgO/Su+Eg nanoakışkanları su ve etilen glikol karışımı ile mukayese edildiğinde deneysel Nusselt sayısındaki en yüksek artış sırasıyla %57.25, %37.48 ve %6.01 olarak elde edilmiştir. Nanoakışkanların sayısal Nusselt sayılarındaki en yüksek artış baz akışkana göre Al₂O₃ içeren nanoakışkan için %52.13, CuO içeren nanoakışkan için %43.53 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %10.09 bulunmuştur.



Şekil 5.35. 2.3 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Hava hızının 2.9 m/s olması durumunda, dört farklı soğutucu akışkan için hacimsel debiye göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının değişimi Şekil 5.36’da gösterilmiştir. Grafikte nanoakışkanların Nusselt sayısının her hacimsel debi durumu için baz akışkandan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak hacimsel debi ile Nusselt sayısının doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Nanoakışkanların deneysel Nusselt sayılarındaki en yüksek artış baz akışkana göre Al₂O₃ içeren nanoakışkan için %46.22, CuO içeren nanoakışkan için %34.23 ve MgO içeren nanoakışkan için ise %7.68 bulunmuştur. Al₂O₃ içeren nanoakışkan için baz akışkana göre elde edilen en yüksek sayısal Nusselt sayısı %58.09 olarak hesaplanmıştır. Bu artış CuO içeren nanoakışkan için %43.26, MgO içeren nanoakışkan için ise %7.89 olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, Al₂O₃ nanopartikülünün diğer nanopartiküllere nispeten ısı transferinde daha büyük artışlara sebep olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.36. 2.9 m/s hava hızında, hacimsel debiye ($\dot{V}$) göre deneysel ve sayısal Nusselt sayısının (Nu) değişimi

Sayısal çalışmadan elde edilen ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı değerleri, deneysel çalışmadan elde edilen değerlere göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini sayısal hesaplamalar yapılırken dış ortama olan kayıpların yok sayılmasına bağlayabiliriz. Hem sayısal hem de deneysel sonuçlar için gerek akışkanların ısıl performanslarının kıyası açısından gerekse hava hızına göre ısı taşınım katsayısının değişimi açısından deneysel ve sayısal değerlerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, otomobil soğutma sistemlerinde baz akışkan yerine nanoakışkan kullanarak otomobil radyatörünün ısıl performansını iyileştirmek amacıyla deneysel ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için bir otomobil soğutma sistemi deney düzeneği kurulmuş ve %1 hacimsel konsantrasyondaki %99.9 saflık ve 18 nm boyuta sahip $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{CuO}/\text{Su}+\text{Eg}$, $\text{MgO}/\text{Su}+\text{Eg}$ ve $\text{Su}+\text{Eg}$ akışkanları soğutucu akışkan olarak sistemden geçirilmiştir. Sayısal analiz için ise Ansys 14.5 programı kullanılarak bir otomobil motor su radyatörü tasarlanmış ve Fluent yazılımıyla radyatörün akış analizi gerçekleştirilmiştir. Hem deneysel hem de sayısal çalışma için farklı debi ve farklı hava hızları ile gerçekleştirilen analizler sonucunda soğutucu akışkanların çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir. Çıkış sıcaklıkları kullanılarak her durum için ayrı ayrı soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayıları ve Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Deneysel ve sayısal analizlerden elde edilen veriler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 nanopartikülü içeren nanoakışkanın baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en düşük artış %28.06, en yüksek artış ise %74.31 olarak hesaplanmıştır. CuO içeren nanoakışkan için, baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en düşük artış %25.04, en yüksek artış ise %41.38 bulunmuştur. MgO içeren nanoakışkan baz akışkan ile kıyaslandığında ısı taşınım katsayısındaki en düşük artış %6.36, en yüksek artış ise %10.85 olarak hesaplanmıştır.
- Deneysel sonuçlara göre Al_2O_3 içeren nanoakışkanın baz akışkan ile mukayese edildiğinde Nusselt sayısındaki en düşük artış %24.4, en yüksek artış ise %69.33 olarak hesaplanmıştır. CuO içeren nanoakışkanın, baz akışkana göre Nusselt sayısındaki en düşük artış %21.58, en yüksek artış ise %37.48 bulunmuştur. MgO içeren nanoakışkan baz akışkan ile kıyaslandığında Nusselt sayısındaki en düşük artış %3.32, en yüksek artış ise %7.68 olarak hesaplanmıştır.
- Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlara göre %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 nanopartikülü içeren nanoakışkanın baz akışkana göre ısı taşınım katsayısındaki en düşük artış %21.65, en yüksek artış ise %62.73 olarak hesaplanmıştır. CuO içeren nanoakışkan için, baz akışkana göre ısı taşınım

katsayısındaki en düşük artış %20.31, en yüksek artış ise %47.61 bulunmuştur. MgO içeren nanoakışkan baz akışkan ile kıyaslandığında ısı taşınım katsayısındaki en düşük artış %1.14, en yüksek artış ise %13.32 olarak hesaplanmıştır.

- Sayısal verilere göre Al_2O_3 içeren nanoakışkanın baz akışkan ile mukayese edildiğinde Nusselt sayısındaki en düşük artış %18.18, en yüksek artış ise %58.09 olarak hesaplanmıştır. CuO içeren nanoakışkanın, baz akışkana göre Nusselt sayısındaki en düşük artış %17.13, en yüksek artış ise %43.53 bulunmuştur. MgO içeren nanoakışkan baz akışkan ile kıyaslandığında Nusselt sayısındaki en düşük artış %0.65, en yüksek artış ise %10.09 olarak hesaplanmıştır.
- Elde edilen sonuçlara göre deneysel analizde, nanoakışkanların kullanılması ile baz akışkana göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış %1 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 nanopartikülü içeren nanoakışkan için %69.33 olarak bulunmuş ve 0.282 L/s hacimsel debi ve 1.6 m/s hava hızı şartlarında gerçekleşmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlara göre ise %1 hacimsel konsantrasyondaki Al_2O_3 içeren nanoakışkan için %58.09 olarak bulunmuş ve 0.282 L/s hacimsel debi ve 2.9 m/s hava hızı şartlarında gerçekleşmiştir.
- Deneysel ve sayısal sonuçlar kıyaslandığında, sayısal çalışmadan elde edilen ısı taşınım katsayısı ve Nusselt değerleri, deneysel çalışmadan elde edilen değerlere göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini sayısal hesaplamalar yapılırken dış ortama olan kayıpların yok sayılmasına bağlayabiliriz. Ek olarak deney ortam şartlarının değişkenliği, termokupl ve veri toplama cihazlarından tamamen hatasız değerler almanın mümkün olmaması gibi faktörlerde sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak akışkanların ısıl performanslarının kıyaslanması, hava hızına ve hacimsel debiye göre ısı taşınım katsayısının değişimi ve yüzde iyileşmeleri açısından deneysel ve sayısal değerlerin uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve literatür ile kıyaslandığında genel anlamda tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.
- Hem deneysel hem de sayısal analizler için elde edilen sonuçlara göre soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayıları ve Nusselt sayıları karşılaştırıldığında, nanoakışkanların ısıl performansının baz akışkana göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Bu durumu nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin baz akışkana göre daha iyi olması şeklinde yorumlayabiliriz. Fakat ısıl performanstaki bu artışı sadece termofiziksel özelliklere bağlamak doğru değildir. Nanopartiküllerin baz akışkan

içerisindeki karmaşık hareketleri ve etkileşimleri de ısı transferinin artmasına sebep olmaktadır.

- Tüm soğutucu akışkanlar için elde edilen verilere göre radyatörün dış yüzeyinde akan hava hızının ve soğutucu akışkanın hacimsel debisinin artmasıyla, soğutucu akışkanların ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak nanoakışkanların otomobil radyatörlerinde kullanılmasıyla, soğutucu akışkanların otomobil radyatörlerinden çıkış sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir.

Nanoakışkanların ısı performans açısından baz akışkanlara göre daha cazip özelliklere sahip olduğu bilinse de uzun süre kullanılması durumunda karşılaşılabilecek problemler henüz bilinmemektedir. Nanoakışkanların günlük uygulamalarda kullanılabilmesi adına daha tutarlı sonuçlar elde etmek için daha fazla deneysel ve sayısal çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda, kazanılan tecrübeler ile deneysel hataların giderilmesi, nanoakışkanların uzun süre kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek olumsuz faktörlerin araştırılması, nanopartikül cinsinin doğru seçilmesi, ideal hacimsel konsantrasyonun, stabilitenin ve partikül boyutunun belirlenmesi gibi çalışmalara yönelmek, literatüre önemli oranda katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmed, S. A., Ozkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., Fahed, A., 2018. Improving car radiator performance by using TiO₂-water nanofluid. *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 21: 996-1005.

Akyürek, E.F., 2014. Nanoakışkanların ve türbülatorlerin iç içe borulu ısı değiştirici ısıl performansına etkilerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 137s.

Ali, H. M., Ali, H., Liaquat, H., Maqsood, H. T. B., Nadir, M. A., 2015. Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO–water nanofluids. *Energy*, 84: 317-324.

Angadi, V. M., Nagaraj, R., Hebbal, O. D., 2014. Cfd analysis of heat transfer enhancement of a car radiator using nanofluid as a coolant. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3: 1058-1063.

Bhimani, V. L., Rathod, P. P., Sorathiya, A. S., 2013. Experimental study of heat transfer enhancement using water based nanofluids as a new coolant for car radiators. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3: 295-302.

Canbolat, A.S., 2014. Otomobil radyatörlerinin performans optimizasyonunun nümerik incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 97s.

Contreras, E. M. C., Oliveira, G. A., Bandarra Filho, E. P., 2019. Experimental analysis of the thermohydraulic performance of graphene and silver nanofluids in automotive cooling systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 132: 375-387.

Çakır, M.T., 2015. Alimüna içeren nanoakışkan kullanılarak ısı borularının performanslarının iyileştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30: 547-556.

Çiftçi, E., Sözen, A., Karaman, E., 2016. TiO₂ içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19: 367-376.

Çorak, A., 2010. Kanatçıklı ısı değiştiricilerinin ısıl performanslarının sayısal olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 82s.

Deepu, D., Krishna, A.R., Jilani, S.A.K., 2014. Cfd simulation of radiator for heat transfer enhancement using nanofluids based coolant in automobiles. *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, 2: 146-154.

- Delavari, V., Hashemabadi, S. H.,** 2014. CFD simulation of heat transfer enhancement of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ethylene glycol}$ nanofluids in a car radiator. *Applied thermal engineering*, 73: 380-390.
- Ebrahimi, M., Farhadi, M., Sedighi, K., Akbarzade, S.,** 2014. Experimental investigation of force convection heat transfer in a car radiator filled with SiO_2 -water nanofluid. *International Journal of Engineering*, 27: 333-340.
- Elsebay, M., Elbadawy, I., Shedid, M. H., Fatouh, M.,** 2016. Numerical resizing study of Al_2O_3 and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *Applied Mathematical Modelling*, 40: 6437-6450.
- Erdoğan, B.,** 2016. Mini/mikro kanallarda nanoakışkan ile ısı transferinin deneysel incelenmesi. *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 143s.
- Erkut, T.Z.,** 2012. Nanoakışkan kullanarak elektrikli radyatörlerin ısı veriminin iyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 84s.
- Gaidhane, T., Bhosale, S.,** 2016. Cfd analysis and experimental investigation of percentage heat transfer enhancement of cfhx with hybrid nanofluid as a coolant. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 4: 1-5.
- Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee, S., Hadadian, M.,** 2013. Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review. *Phys. Chem. Res.*, 1: 1-33.
- Goudarzi, K., Jamali, H.,** 2017. Heat transfer enhancement of Al_2O_3 -EG nanofluid in a car radiator with wire coil inserts. *Applied Thermal Engineering*, 118: 510-517.
- Gulhane, A., Chincholkar, S. P.,** 2016. Experimental investigation of convective heat transfer coefficient of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ nanofluid at lower concentrations in a car radiator. *Heat Transfer—Asian Research*, 46: 1119-1129.
- Habibian, S. H., Abolmaali, A. M., Afshin, H.,** 2018. Numerical investigation of the effects of fin shape, antifreeze and nanoparticles on the performance of compact finned-tube heat exchangers for automobile radiator. *Applied Thermal Engineering*, 133: 248-260.
- Hatami, M., Jafaryar, M., Zhou, J., Jing, D.,** 2017. Investigation of engines radiator heat recovery using different shapes of nanoparticles in $\text{H}_2\text{O}/(\text{CH}_2\text{OH})_2$ based nanofluids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 10891-10900.
- Huminic, G., Huminic, A.,** 2018. The heat transfer performances and entropy generation analysis of hybrid nanofluids in a flattened tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 119: 813-827.
- Hussein, A. M., Bakar, R. A., Kadirgama, K.,** 2014a. Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2: 50-61.

Hussein, A. M., Bakar, R. A., Kadirgama, K., & Sharma, K. V., 2014b. Heat transfer enhancement using nanofluids in an automotive cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 53: 195-202.

Incöper, F. P., Dewitt, D.P., 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 960s.

Jadar, R., Shashishekar, K. S., Manohara, S. R., 2017. f-MWCNT nanomaterial integrated automobile radiator. *Material Today: Proceedings*, 4: 11028-11033

Karabulut, K., 2015. Isı değiştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkanlar kullanılarak artırılması. *Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas*, 126s.

Karimi, A., Afrand, M., 2018. Numerical study on thermal performance of an air-cooled heat exchanger: Effects of hybrid nanofluid, pipe arrangement and cross section. *Energy Conversion and Management*, 164: 615-628.

Kılınç, F., 2015. Oto radyatörlerde nanoakışkan kullanılarak ısı aktarım performansının artırılması. *Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas*, 130s.

Kumar, R. K., Amirthagadeswaran, K. S., 2016. Experimental Study and CFD Analysis of Copper Radiator for Passenger Cars. *International Journal of Engineering Research*, 5: 778-782.

Leong, K. Y., Saidur, R., Kazi, S. N., Mamun, A. H., 2010. Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). *Applied Thermal Engineering*, 30: 2685-2692.

Maheswari, C. U., Reddy, C. S., Reddy, C. R., Naidu, A. T. K. S., Saradhi, C., Kesavulu, A. C., 2016. Cfd analysis of radiator. *Invention Journal of Research Technology in Engineering Management*, 1: 6-10.

Mert, S., 2017. Otomobil radyatörlerinde nanoakışkan kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 95s.

Mounika, P., Sharma, R. K., Kishore, P. S., 2016. Performance analysis of automobile radiator. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*, 3:35-38.

Mohammadpoor, M., Sabbaghi, S., Zerafat, M. M., Manafi, Z., 2019. Investigating heat transfer properties of copper nanofluid in ethylene glycol synthesized through single and two-step routes. *International Journal of Refrigeration*, 99: 243-250.

Naraki, M., Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Vermahmoudi, Y., 2013. Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator. *International Journal of Thermal Sciences*, 66: 82-90.

Oğuz, İ., 2012. Nanoakışkanların ısı geçişi başarımının sayısal olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul*, 61s.

Östürk, Ö., 2015. Karbon tabanlı nanoakışkanların hava soğutmalı çapraz akışlı mikrokanallı ısı değiştiricisindeki ısı aktarım performanslarının deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 95s.

Pandey, P., Sikarwar, D.S., Patidar, A., 2018. Cfd analysis of helical tube automobile radiator considering different coolants. *Industrial Engineering Letters*, 8: 14-20.

Patel, J.R., Mavani, A.M., 2014. Effect of nanofluids and mass flow rate of air on heat transfer rate in automobile radiator by cfd analysis. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3: 25-30.

Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Hoseini, S. M., Jamnani, M. S., 2011a. Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38: 1283-1290.

Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Jamnani, M. S., Hoseini, S. M., 2011b. Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 31: 1833-1838.

Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Naraki, M., & Vermahmoudi, Y., 2013. Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator. *Applied Thermal Engineering*, 52: 8-16.

Ravisankar, R., Venkatachalapathy, V.S.K., Alagumurthi, N., 2018. Application of nanotechnology to improve the performance of tractor radiator using cu-water nanofluid. *Journal of Thermal Engineering*, 4: 2188-2200.

Rohit, G. R., Gosai, D. C., 2013. Effect of percentage of coolant and water mixture for cooling in automobile radiator using Cfd analysis. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2: 813-817.

Samira, P., Saeed, Z. H., Motahare, S., Mostafa, K., 2015. Pressure drop and thermal performance of CuO/ethylene glycol (60%)-water (40%) nanofluid in car radiator. *Korean journal of chemical engineering*, 32: 609-616.

Sandhya, D., Mekala, C. S. R., Veeredhi, V. R., 2016. Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO₂ nanofluids. *International communications in heat and mass transfer*, 78: 121-126.

Sarı, Y., 2017. Magnezyumoksit içeren nanoakışkan ile saf suyun plaka tip ısı değiştiricideki ısı performanslarının deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 67s.

Sarıca, O., Dinçer, K., Ata, S., Önal, G., 2016. Mini kanallarda Cu-Su nano akışkanın sıcaklık performansının deneysel olarak incelenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15: 209-220.

Sarkar, J., Tarodiya, R., 2013. Performance analysis of louvered fin tube automotive radiator using nanofluids as coolants. *International Journal of Nanomanufacturing*, 9: 51-65.

Selvam, C., Raja, R. S., Lal, D. M., Harish, S., 2017. Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115: 580-588.

Sert, İ. O., 2012. Silindirik kanallarda nanoakışkanlarla laminar zorlanmış taşınım ısı transferinin sayısal analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 89s.

Sharma, S., 2018. Fabricating an experimental setup to investigate the performance of an automobile car radiator by using aluminum/water nanofluid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133: 1387-1406.

Shi, J., Zhao, W., Li, J., Liu, Z., 2017. Heat Transfer Performance of Heat Pipe Radiator with SiO₂/Water Nanofluids. *Heat Transfer—Asian Research*, 46: 1053-1064.

Sokhal, G. S., Gangacharyulu, D., Bulasara, V. K., 2018. Influence of copper oxide nanoparticles on the thermophysical properties and performance of flat tube of vehicle cooling system. *Vacuum*, 157: 268-276.

Srinivasu, D., Santharao, D., Ramakrishna, A., 2016. CFD Analysis to Predict Heat Transfer Performance of Louver Fin Radiator with Water/EG and Al₂O₃ Nanofluid. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*, 4: 159-164.

Subhedar, D. G., Ramani, B. M., Gupta, A., 2018. Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant. *Case Studies in Thermal Engineering*, 11: 26-34.

Sumanth, S., Babu Rao, P., Krishna, V., Seetharam, T. R., Seetharamu, K. N., 2018. Effect of carboxyl graphene nanofluid on automobile radiator performance. *Heat Transfer—Asian Research*, 47: 669-683.

Sumit, G.W., Ravi, H.C., 2017. Experimental study and Cfd analysis of thermal performance improvement of car radiator by MgO/water nanofluid. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4: 1904-1911.

Tijani, A. S., & bin Sudirman, A. S., 2018. Thermos-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118: 48-57.

Topuz, A., Engin, T., Özalp, A.A., Erdoğan, B., Mert, S., Yeter, A., 2018. Experimental investigation of optimum thermal performance and pressure drop of water-based Al₂O₃, TiO₂ and ZnO nanofluids flowing inside a circular microchannel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131: 2843-2863.

URL-1, 2019. <https://www.sabah.com.tr/egitim/2017/01/26/isi-degistirici-nedir-cesitleri-neler>. 25 Mart 2019.

URL-2, 2019. [https://www.jeotes.com/upload/editor/images/jeotes-plakalar\(1\).png](https://www.jeotes.com/upload/editor/images/jeotes-plakalar(1).png). 25 Mart 2019.

URL-3, <https://www.sekizsilindir.com/2016/06/motor-sogutma-sistemi-nedir-nasl-calsr.html>. 25 Mart 2019.

URL-4, <https://teknolojiprojeleri.com/teknik/radyator-nedir-ne-ise-yarar>. 25 Mart 2019.

URL-5, <http://arabatamiri.blogspot.com/2014/05/radyator-icini-temizleme-islemi.html>. 25 Mart 2019.

Variyenli, H.İ., Sarı, Y., 2016. Magnezyumoksit ile saf suyun plaka tip ısı değıştiricideki ısı performanslarının deneysel incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2: 147-170.

Yurddaş, A., 2013. Nanoakışkanlı düzlemsel güneş kolektörlerinde ısı transferinin sayısal analizi. *Doktora Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 121s.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Elazığ'da doğdu. 2011 yılında Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2016 yılında mezun olarak Makine Mühendisi ünvanını aldı. 2017 yılında Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaya başladı. Temel araştırma alanları, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve termodinamiktir.

