



**NANOPARTİKÜLLERİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI
ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa AKKAYA

**DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Mustafa AKKAYA tarafından hazırlanan “NANOPARTİKÜLLERİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Şerafettin EREL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 08/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Mustafa AKKAYA

08/07/2020

NANOPARTİKÜLLERİN SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Mustafa AKKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Bu tez çalışmasında, basit bir soğutma deney düzeneğindeki kompresörde kullanılan çalışma sıvısına; farklı nanopartiküllerin farklı derişimleri eklenerek soğutma sisteminin performansı geliştirilmek istenmiştir. Çalışmada, kompresör yağı olarak POE (Polyol Ester) ve soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Nanoyağlayıcı oluştururken baz sıvısı olarak POE yağı ve nanopartikül olarak farklı derişimlerde Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Titanyum Dioksit (TiO_2) ve Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) nanopartikülleri kullanılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı POE içerisinde, nanopartiküllerin homojen dağılımını sağlamak ve süspansiyonda flokülasyonları önlemek için yüzey aktifleştirici malzemeler kullanılmıştır. Farklı deney grupları için Sodyum Dodesil Benzen Sülfanat (SDBS) ve Triton X-100 (TX-100) yüzey aktif malzemeleri kullanılmıştır. Deneylerde soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcılar; çalışma sıvısı POE, %0,5; %1,0; %1,5; %2,0 kütle fraksiyonlarında nanopartikül ve %0,5 kütle fraksiyonunda yüzey aktif malzemeden hazırlanmıştır. Soğutma sistemi farklı deney grupları için 350 gr R134a soğutucu akışkanı ile şarj edilmiştir. Soğutma sisteminde en iyi performans gelişimi, kompresörde saf POE yerine; %1,0 kütle fraksiyonunda hBN nanopartikülü ve %0,5 TX-100 yüzey aktif malzemesi ile baz sıvısı POE karışımından oluşan nanoyağlayıcı kullanıldığında elde edilmiştir. Soğutma çevrimi için soğutma etkinlik katsayısındaki en iyi iyileşme %45,69 olarak belirlenmiştir. Ayrıca aynı konsantrasyondaki nanoyağlayıcı için kompresör güç tüketiminin de %28,69 kadar azaldığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 91408

Anahtar Kelimeler : Soğutma Çevrimi, Nanoyağlayıcı, Sürfaktan, Nanopartikül

Sayfa Adedi : 134

Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANOPARTICLES ON THE
PERFORMANCE OF COOLING SYSTEMS

(Ph. D. Thesis)

Mustafa AKKAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

In this thesis study, it was aimed to improve the performance of the cooling system by adding different concentrations of different nanoparticles into the working fluid used in the compressor in a simple refrigeration experiment setup. In the study, POE (Polyol Ester) was used as compressor oil and R134a was used as refrigerant. While forming nano-lubricant, POE oil as base liquid and Aluminum Oxide (Al_2O_3), Titanium Dioxide (TiO_2) and Hexagonal Boron Nitride (hBN) nanoparticles were used as nanoparticles. While preparing the nano-lubricant, surfactant materials were used in the base liquid POE to ensure homogeneous distribution of nanoparticles and prevent flocculation in suspension. Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate (SDBS) and Triton X-100 (TX-100) were used as surfactants for different experimental groups. It is formed from nanoparticles in 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0% mass fractions in nano-lubricants used as compressor oil in the cooling cycle in experiments. In addition, surfactant material in 0.5% mass fraction was used in nano-lubricant. The cooling system was charged with 350 g of R134a refrigerant for different experimental groups. The best performance development in the cooling system, rather than the pure POE in the compressor, was obtained using a nano-lubricant consisting of a mixture of 1.0% mass fraction hBN nanoparticle and 0.5% TX-100 surfactant and base liquid POE. Improvement in the cooling efficiency coefficient for cooling cycle was determined as 45.69%. Further, it has been observed that compressor power consumption has decreased by 28.69% for the same concentration of nano-lubricant.

Science Code : 91408

Key Words : Cooling Cycle, Nano-lubricant, Surfactant, Nanoparticle

Page Number : 134

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora tez çalışmalarımın bütün aşamalarında desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarım sırasında ortaya çıkan problemlerin çözümünde her zaman bana yol gösteren ve bana çalışma azmi aşılayan, çok değerli danışmanım, sayın Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e en içten şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerini bana aktaran Tez İzleme Komitesi Üyesi hocalarım, sayın Prof. Dr. Adnan SÖZEN ve Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK hocalarıma ve aynı şekilde tez çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, sayın hocam, Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım boyunca yapılan analizlerde yardımcı olan KMU-BİLTEM ve KMU ESM AR-GE Lab-3 çalışanlarına da teşekkür etmek isterim.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen abim Doç. Dr. Ahmet AKKAYA, Arş. Gör. Erdem ÇİFTÇİ ve aileme minnet ve şükran duygularım ile teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1. Nanoakışkanların Özellikleri.....	7
2.2. Isıtma Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları	8
2.3. Nanoyağlayıcıların ve Nanosoğutucuların Özellikleri.....	15
2.4. Soğutma Sistemlerinde Nanosoğutucu ve Nanoyağlayıcı Uygulamaları	17
2.5. Yüzey Aktif Malzemelerin Özellikleri	33
2.6. Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Yüzey Aktif Malzeme Uygulamaları.....	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Deney Düzeneği.....	43
3.2. Nanoyağlayıcı İçerisinde Kullanılan Nanopartiküllerin Özellikleri.....	46
3.3. Nanoyağlayıcı İçerisindeki Baz Sıvısı Yağın Seçimi ve Özellikleri	56
3.4. Nanoyağlayıcının Hazırlanması	57
3.5. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/TiO ₂ /SDBS)....	61
3.6. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/TiO ₂ /TX-100)	62

	Sayfa
3.7. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/Al ₂ O ₃ /TX-100).....	63
3.8. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/hBN/TX-100).....	63
3.9. Belirsizlik Analizi.....	64
4. SONUÇLAR.....	67
4.1. POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması	67
4.1.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi	73
4.1.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi	75
4.1.3. Soğutma etkinlik katasayılarının incelenmesi	76
4.2. POE/hBN/TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması	77
4.2.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi	83
4.2.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi	84
4.2.3. Soğutma etkinlik katasayılarının incelenmesi	86
4.3. POE/TiO ₂ /SDBS Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması	87
4.3.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi	92
4.3.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi	93
4.3.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi	95
4.4. POE/TiO ₂ /TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması	96
4.4.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi	102
4.4.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi	103
4.4.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi	104
4.5. Farklı Partiküller ile Hazırlanan Nanoyağlayıcıların Soğutma Sisteminde Kompresör Yağı Olarak Kullanılmasının Değerlendirilmesi	105
4.5.1. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması	106
4.5.2. Evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarının karşılaştırılması.....	107
4.5.3. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması.....	108

Sayfa

4.6. Farklı Yüzey Aktif Malzemelerle Hazırlanan Nanoyağlayıcıların Soğutma Sisteminde Kullanılmasının Değerlendirilmesi.....	110
4.6.1. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması	110
4.6.2. Evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısının karşılaştırılması.....	111
4.6.3. Soğutma etkinlik katsayısı miktarlarının karşılaştırılması	113
5. DENEYSEL VERİLERİN MAKİNE ÖĞRENİMİ İLE ANALİZİ	115
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	119
6.1. Sonuçlar.....	120
6.2. Öneriler	123
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ.....	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kullanılan nanopartiküle karşılık COP değerindeki artış (%)	30
Çizelge 2.2. Kullanılan nanopartiküle karşılık enerji tüketimi miktarındaki azalma (%) ..	32
Çizelge 3.1. TiO_2 nanopartikülleri için tepe noktaları.....	50
Çizelge 3.2. Al_2O_3 nanopartikülleri için tepe noktaları.....	53
Çizelge 3.3. hBN nanopartikülleri için tepe noktalar.....	55
Çizelge 3.4. Kompresör yağlarının özellikleri.....	57
Çizelge 4.1. (POE/ Al_2O_3 /TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları.....	69
Çizelge 4.2. (POE/ Al_2O_3 /TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar...	70
Çizelge 4.3. (POE/hBN/TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları.....	79
Çizelge 4.4. (POE/hBN/TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar....	80
Çizelge 4.5. (POE/ TiO_2 /SDBS) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları	88
Çizelge 4.6. (POE/ TiO_2 /SDBS) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları ve hesaplamalar	89
Çizelge 4.7. (POE/ TiO_2 /TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları.....	98
Çizelge 4.8. (POE/ TiO_2 /TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar	99
Çizelge 5.1. RMSE ve MAE değerleri.....	116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2018-2020 yıllarında dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı ..	2
Şekil 1.2. 2030-2040 yıllarında dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı ..	2
Şekil 2.1. Kullanılan nanopartiküle göre COP değerindeki değişim	31
Şekil 2.2. Kullanılan nanopartiküle göre enerji tüketimindeki değişim.....	33
Şekil 2.3. Tez çalışması için grafiksel özet	40
Şekil 3.1. Soğutma çevriminin şematik çizimi	45
Şekil 3.2. Soğutma çevriminin şematik diyagramı	46
Şekil 3.3. TiO ₂ nanopartikülleri için XRD analizi	50
Şekil 3.4. Al ₂ O ₃ nanopartikülleri için XRD analizi.....	52
Şekil 3.5. hBN nanopartikülleri için XRD analizi	55
Şekil 4.1. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	71
Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	72
Şekil 4.3. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş -çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	73
Şekil 4.4. POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör içindeki değişimler.....	74
Şekil 4.5. POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler	76
Şekil 4.6. POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler	77
Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	82
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	83
Şekil 4.10. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör içindeki değişimler.....	84
Şekil 4.11. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler	85
Şekil 4.12. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler	86
Şekil 4.13. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	90
Şekil 4.14. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	91
Şekil 4.15. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	92
Şekil 4.16. POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör içindeki değişimler.....	93
Şekil 4.17. POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler	94
Şekil 4.18. POE/TiO ₂ /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler	96
Şekil 4.19. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	100
Şekil 4.20. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	101

Şekil	Sayfa
Şekil 4.21. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri.....	102
Şekil 4.22. POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör işindeki değişimler.....	103
Şekil 4.23. POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler	104
Şekil 4.24. POE/TiO ₂ /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler	105
Şekil 4.25. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 4.26. Evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarlarının karşılaştırılması..	108
Şekil 4.27. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması	109
Şekil 4.28. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 4.29. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarlarının karşılaştırılması	112
Şekil 4.30. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması	114
Şekil 5.1. Veri analizi için blok diyagramı.....	115
Şekil 5.2. Nöron sayısına karşılık MAE ve RMSE değerleri	117

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney düzeneğine ait görünüm.....	44
Resim 3.2. TiO ₂ nanopartiküllerinin SEM görüntüsü	48
Resim 3.3. TiO ₂ nanopartiküllerinin EDAX analizi.....	49
Resim 3.4. Al ₂ O ₃ nanopartikülleri için SEM analizi.....	51
Resim 3.5. Al ₂ O ₃ nanopartikülleri için EDAX analizi	52
Resim 3.6. hBN nanopartikülleri için SEM analizi	54
Resim 3.7. hPN nanopartikülleri için EDAX analizi	54
Resim 3.8. Kompresör yağının boşaltılması.....	58
Resim 3.9. POE içerisine nanopartiküllerin eklenmesi.....	59
Resim 3.10. Yüzey aktif malzemenin eklenmesi.....	60
Resim 3.11. Hazırlanan nanoyağlayıcının karıştırılması.....	60
Resim 3.12. POE/Al ₂ O ₃ /TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcının karıştırılması.....	61
Resim 3.13. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/TiO ₂ /SDBS).....	62
Resim 3.14. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/TiO ₂ /TX-100)	62
Resim 3.15. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/Al ₂ O ₃ /TX-100).....	63
Resim 3.16. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/hBN/TX-100).....	64
Resim 3.17. Deney setindeki ölçüm cihazları	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
$\dot{Q}_L$	Evaporatör Tarafından Ortamdan Çekilen Isı (kj/h)
$\dot{W}_c$	Kompresör Kapasitesi (kj/h)
$\dot{m}$	Kütleli Debi (g/s)
ΔT	Sıcaklık Farkı
T	Sıcaklık
Kısaltmalar	Açıklamalar
Al_2O_3	Aluminyum Oksit
CO_2	Karbondioksit
COP	Soğutma Etkinlik Katsayısı
CTAB	Setil-trimetil-amonyum Bromit
EDAX	Elektron Dağıtıcı X-Ray
EG	Etilen Glikol
FESEM	Alan Emisyonlu Elektron Mikroskobu
FTIR	Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrometreleri
GtCO₂	Gigaton Karbondioksit
hBN	Hegzagonal Bor Nitrür
IEA	Uluslararası Çevre Ajansı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LUC	Arazi Kullanım Değişikliği
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MO	Mineral Yağ
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler
PAG	Polialkilen Glikol

Kısaltmalar**Açıklamalar**

PHE	Isı Eşanjörü
POE	Polyol Ester Yağ
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
RMSE	Ortalama Karekök Hatası
SDBS	Sodyum Dodesil Benzen Sülfenat
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SER	Yüzey Aktif Malzeme Geliştirme Oranı
SLES	Sodyum Daphne Eter Sülfat
SPAN-80	Sorbitan Monooleat
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu
TiO₂	Titanyum Oksit
TX-100	Triton X-100
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VCRS	Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi
XRD	X-ışını Difraksiyonu

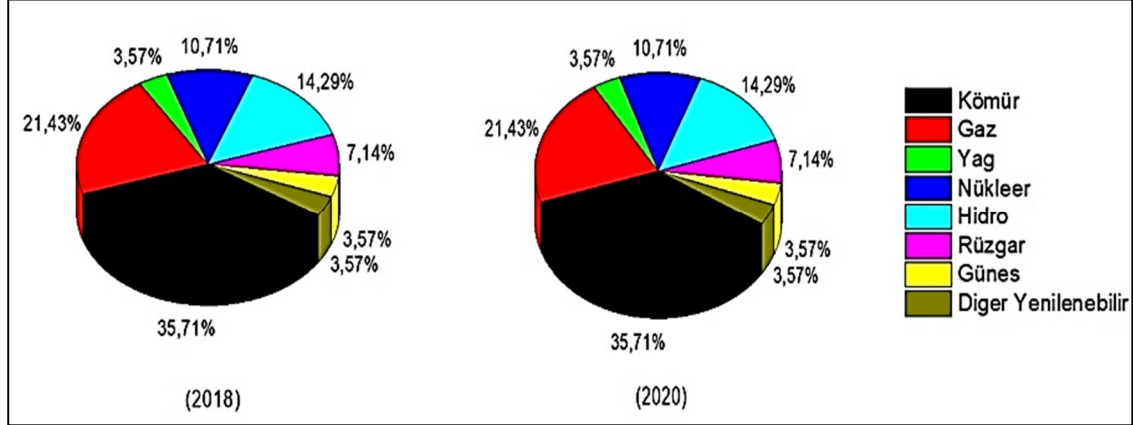
1. GİRİŞ

Günümüz gelişen teknolojileri beraberinde enerji kavramını daha da önemli bir hâle getirmiştir. Çünkü, gelişen teknolojilerle birçok alanda enerjiye duyulan ihtiyaç artmıştır: Sanayi, günlük yaşam vb. enerjiye duyulan ihtiyaçtaki artışla ters bir benzerlikle günümüz dünyasının enerji kaynağı olan ve çevreye verdiği zararı da bilinen fosil kaynaklarda rezerv azalması görülmektedir. Bu nedenle, enerji kaynağı arayışları ortaya çıkmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nükleer enerji, dünyada ve Türkiye’de önemini giderek artırmıştır. Bununla birlikte, fosil kaynakların azlığı ve enerjiye duyulan ihtiyacın artmasıyla enerji verimliliği gibi birçok durum, gelişmiş ülkelerin önemli politikaları haline gelmiştir. Devletlerin ekonomik, sosyal vb. alanlarda kalkınmasının en büyük etkenlerinden birisi, enerjiye sahip oluşları ya da enerjiyi yönetebilmeleridir. Bu nedenle enerjiye olan talep her yıl artmaktadır. Enerji kaynaklarındaki azalma gibi nedenlerden dolayı son yıllarda daha çevreci olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin yanında, enerji verimliliği çalışmaları da yaygın hale gelmiştir [1].

Dünya enerji tüketiminin ilerleyen yıllarda artacağını düşünülmesi, gerçekleşmesi olası önemli bir öngörüdür. Dünyadaki enerji tüketiminin 2035 yılında 216.500×10^{12} kW olacağı tahmin edilmektedir. Fosil kaynakların rezerv ömürlerinin azaldığı dikkate alındığında, sanayide ya da günlük yaşamda enerji devamlılığını sağlamak için enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasına dikkat edilmesi gerekir. Bu nedenle, kullanılan cihazların daha verimli hâle getirilmesi, enerji verimliliğini sağlamak için önemlidir [2-4].

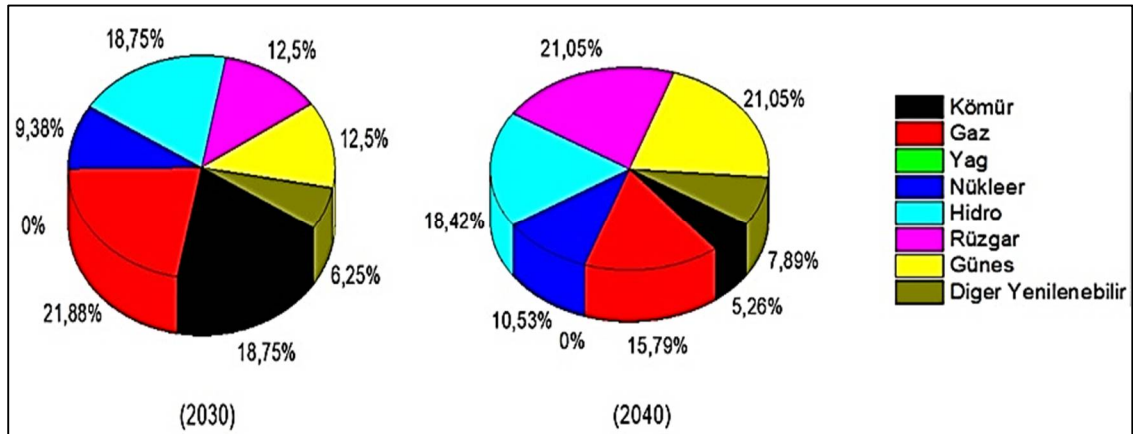
Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın 2019 Dünya Enerji Görünümü Raporu’nda; ülkeler tarafından belirtilen senaryolar dâhilinde dünyada enerji talebinin 2040 yılına kadar yılda %2,1 kadar artacağı tahmin edilmiştir. Bu rapora göre; elektriğin toplam nihai enerji tüketiminin, 2018 yılındaki %19’luk oranının, 2040 yılında %24’e yükselmesine neden olacağı öngörülmüştür. Dünya genelinde nihai enerji tüketimine bakıldığında, bugünkü verilere göre elektriğin payı, petrolün yarısından daha azdır. Rapordaki verilere göre; nihai enerji tüketimde 2040 yılına kadar elektriğin, petrolün yerini alacağı belirtilmektedir. Bu verilere göre; enerji verimliliği ve çevreci enerji üretimiyle Karbondioksit (CO_2) emisyonlarının da azaltacağı öngörülmektedir. Enerji talebinin, gelişmiş ekonomilerde artan dijitalleşme ve elektrifikasyonla bağlantılı olarak arttığı görülmektedir. IEA’nın

Dünya Enerji Görünümü Raporu'nda, dünya genelinde yapılan enerji verimliliği çalışmalarıyla artan enerji talebinin büyük ölçüde dengeleneceği raporlanmıştır [3]. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de dünyada 2018, 2020, 2030 ve 2040 yılları için enerji talebinin karşılanacağı kaynakların oranı verilmiştir [4].



Şekil 1.1. 2018-2020 yıllarında dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [4]

Şekil 1.1 incelendiğinde, 2018 ve 2020 yıllarında enerji üretiminin kaynaklarının dağılımının aynı olduğu görülmektedir. 2030 ve 2040 yıllarında dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı ise şöyledir:



Şekil 1.2. 2030-2040 yıllarında dünyada enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [4]

2030 ve 2040 yıllarında dünyada enerji üretiminin sürdürülebilir kaynaklara dağılımı incelendiğinde, en önemli farkın kömürden kaynaklandığı görülmektedir. 2018, 2020, 2030'dan, 2040'lara gelindikçe kömür kaynağından enerji üretiminde düşüş olmuştur. 2018 yılında kömürden elektrik üretimi, %35,71 seviyelerindeyken bu oranın 2040 yılında

%5,26 seviyesine kadar düşeceği öngörülmektedir. Kömürdeki azalmanın yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payında da artış olmuştur.

Enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasının önemli olması, beraberinde çevresel boyutunu da önemli kılmıştır. Enerji kullanımından dolayı CO₂ emisyonlarının 2014 yılından beri sabit kaldığı Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) raporunda bildirilmiştir. Bu raporda; CO₂ emisyonlarının sabit kalmasına rağmen, sera gazı emisyonlarının halen artmakta olduğu bildirilmiştir. UNEP 2015 raporu incelendiğinde, 2015 yılı emisyon endeksinin 52,7 Gigaton Karbondioksit (GtCO₂) olduğu belirtilmiştir. Belirtilen bu oran 2014 yılı raporları ile karşılaştırıldığında, 2015 yılında emisyon endeksinin 8,7 GtCO₂ kadar arttığı görülmektedir. Raporlara göre, oranlar bu şekilde artmaya devam ederse ilerleyen yıllarda hedeflenen değerlerin çok üzerinde rakamlar olacaktır [3].

2019 yılında yayımlanan UNEP raporu incelendiğinde, Birleşmiş Milletler tarafından, sera gazı salınımlarını azaltma hedeflerinin beş katına çıkarılması gerekliliği bildirilmiştir. Yayımlanan bu rapora göre; UNEP, sera gazı salınımlarının ciddi bir seviyeye ulaştığını belirtmiştir. Bu nedenle yapılan raporlamalar ve analizler doğrultusunda, 2019 yılından sonra her yıl, sera gazı salınımlarının %7,6 oranında azaltılması gerektiği savunulmuştur. Durumun ciddiyetine dikkat çekmek için yayımlanan raporda, 2100 yılında dünyada sıcaklık artışının neredeyse 3,2 dereceyi bulacağı belirtilmiştir. UNEP'in raporuna göre; Türkiye'nin sera gazı salınımlarını azaltmak için belirlenen %15 hedefini aşarak başarı elde ettiği vurgulanmıştır. Raporda, toplam sera gazı emisyonlarının son yıllarda her yıl %1,5 kadar arttığına dikkat çekilmiştir. Bu değerler 2009-2018 yılları arasında belirlenmiştir. Arazi kullanım değişikliği (LUC) olmadan 2018 yılında bu seviyenin 51,8 GtCO₂, LUC ile 2018'deki değerinin ise 55,3 GtCO₂ olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının büyüme değerinin 2018'de %2,0 olduğu ifade edilmiştir. Raporda, sera gazı emisyon değerlerinin 2009'daki mali krizden sonra sürekli arttığına da dikkat çekilmiştir. 2015 yılında ise emisyon değerlerinin, ABD ve Çin'deki kömür kullanımının azalmasından dolayı, bir miktar düştüğü belirtilmiştir. LUC emisyonlarının toplam sera gazı miktarının %7,0'si kadar olduğu belirlenmiştir. LUC değerlerinin son 10 yılda nispeten sabit kaldığı raporlanmıştır. Bununla birlikte, son on yılda diğer sera gazı bileşeni olan Metan Gazı (CH₄) emisyon oranının %1,3, nitroz oksit emisyon oranının %1,0 kadar (2018 yılında %0,8 kadar), florlu gazların da %4,6 kadar (2018 yılında %6,1 oranında) arttığı raporlanmıştır [5].

Sahip olduğumuz enerjiyi daha verimli ve çevreci şekilde kullanmak amacıyla, bu tez çalışmasında endüstride ve gündelik yaşamımızda sıklıkla kullandığımız soğutma sistemlerinde nanoyağlayıcı uygulamalarına yer verilmiştir.

Konvektif ısı transferi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin neredeyse tamamında kullanılır. Kullanılan bu ısı transfer şeklinde; akış geometresi, sınır koşulları veya akışkan termofiziksel özelliklerinin değiştirilmesi ile ısı transfer performansı geliştirilebilir. Çalışma akışkanının termal özelliklerinin geliştirilmesinde bir çok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler içerisinde, çalışma akışkanı içerisinde katı parçacıkların homojen olarak dağılımının sağlanması ile ısı transfer özellikleri geliştirilebilir. Sistem içerisinde çalışma akışkanında, katı parçacıkların dağıtılmasıyla elde edilen süspansiyonların kullanılmasına yönelik çalışmaların yeni olmadığı bilinmektedir. Daha önce 19. Yüzyıl sonlarına doğru Maxwell'in sıvı süspansiyon içerisinde katı parçacıklar kullanarak, ısı transferini geliştirmek istediği bilinmektedir. Ancak; bu çalışmalarda sınırlı koşullar nedeniyle, kullanılan nanoparçacıkların mikrometre boyutunda olduğu belirtilmektedir. Süspansiyon içerisinde nano boyutlarda partiküllerin ve karbon nanotüplerin kullanılması son yıllarda gerçekleşmiştir [6].

Nanoakışkan, baz olarak alınan bir sıvıdaki termal özellikleri geliştirmek amacıyla baz sıvısına nano boyutta parçacıkların katılarak, kolloidal süspansiyonların oluşturulmasıdır. Nanoakışkanlar; metalik, alaşımlı, seramik ve karbon esaslı nanoparçacıklar olmak üzere dört ana grupta incelenmektedir. Nanoakışkan uygulamalarında özellikle seramik nanoparçacıklar sıklıkla kullanılmaktadır. Seramik nanoparçacıklar, kolay temin edilebilir olması ve kararlı yapılarından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır [7].

Soğutma sistemleri, neredeyse endüstrinin her alanında ve gündelik yaşamımızda sıklıkla kullanılmaktadır. Endüstriyel sistemlerin harcamış oldukları enerji miktarı düşünüldüğü zaman, bu sistemlerde yapılabilecek verimlilik çalışmalarının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında da, seramik nanoparçacıklardan Aluminyum Oksit (Al_2O_3), Titanyum Dioksit (TiO_2) ve Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) kullanılmıştır.

Nanoakışkan oluşturularak ısı transfer yüzeyini arttırmaya yönelik çalışmalarda, kullanılan nanopartikülün büyüklüğü önemli bir etkidir. Daha önce yapılan çalışmalarda milimetre-mikrometre boyutunda parçacıklar kullanıldığında birçok sorunla karşılaşmıştır. Özellikle

büyük parçacıklar homojen olarak dağılmayarak topaklanmaya sebep olmuştur [7]. Homojen bir karışım oluşturmak amacıyla da tez çalışmasında, yaklaşık 18 nm boyutunda Al_2O_3 , 18 nm boyutunda TiO_2 ve 40-60 nm boyutunda hBN nanopartikülleri kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında soğutma sisteminin, termal performansını arttırmak için, kompresör yağlama yağı içerisine nanopartiküller eklenerek, kompresör yağının ısı transfer yüzeyi arttırılmıştır. Isı transfer yüzeyinin artmasıyla, soğutma sisteminin termal performansı da artmıştır. Deneylerde; baz sıvısı kompresör yağı içerisine, farklı kütle fraksiyonlarında nanopartiküller eklenmesiyle hazırlanan nanoyağlayıcılar, kompresör yağı olarak kullanılmıştır. Farklı derişimlerde hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda sistem de kompresör, evaporatör ve kondenserin giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler incelenmiştir. Sıcaklık değerlerindeki değişimlere bağlı olarak soğutma etkinlik katsayısı, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı ve kompresör kapasitesindeki değişimler incelenmiştir.

Ayrıca kompresör yağı içerisinde yüzey aktif malzemelerde kullanılmıştır. Kompresör yağı içerisinde nanopartikül, su veya sulu bir çözelti içerisinde çözündüğü zaman, yüzey gerilmesini azaltarak topaklanmayı engelleyen kimyasal bileşenlere yüzey aktif malzeme adı verilmektedir. Yüzey aktif malzemelere genel olarak *sümfaktans* adı verilmektedir. Yüzey aktif maddeler, sanayide ve gündelik yaşamımızda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle gıda, ilaç, kimya, tekstil, metal işleme, boya vb. uygulamalarda yaygın şekilde kullanıldıkları bilinmektedir [8]. Bu çalışmada katı haldeki Al_2O_3 , TiO_2 ve hBN nanopartikülleri ile çalışma sıvısı karıştırılarak koloidal bir süspansiyon oluşturulmuştur. Hazırlanan bu süspansiyon içerisinde, topaklanma ve flokülasyonları önlemek amacıyla Sodyum Dodesil Benzen Sülfanat (SDBS) ve Triton X100 (TX-100) yüzey aktif maddeleri kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Soğutma ve ısıtma sistemlerindeki ısı transferi uygulamalarına hayatın her alanında sıklıkla rastlanmaktadır. Bu nedenle, bu sistemler için enerji verimliliği çalışmaları yapmak kaçınılmaz hâl almıştır. Isı borusu uygulamalarında metal oksitler ile baz akışkanı karıştırılarak hazırlanan nanoakışkanların kullanılmasıyla verimliliği arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır [9-11]. Bu çalışmalarda, akışkan içerisinde termofiziksel özelliklerin değiştirilmesi ile ısı iletkenliğinin artırılması mümkün olmuştur. Termofiziksel özelliklerin değiştirilmesinin yanında, sistem içerisinde akış türü ve sınır şartları değiştirilerek de ısı transferini arttırmak mümkündür. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, katı haldeki parçacıkların (metal oksit), çalışma akışkanı içerisine katılarak, akışkanın ısı iletkenliğinin artırılmasının sağlandığı görülmektedir [12-13].

Bu çalışmalarda, nano boyuta indirgenebilen metal oksitlerin saf su ve etil alkol gibi iş akışkanları ile homojen olarak karıştırılmasıyla nanoakışkan adı verilen süspansiyonlar elde edilerek ısı borusu sistemlerinde uygulanmıştır [13-14].

Nanoakışkanlar, nano boyutlu katı parçacıkların kolloidal süspansiyonlarıdır ve geleneksel katı-sıvı süspansiyonlar ile karşılaştırıldığında nanoakışkanların pek çok avantajının olduğu bilinmektedir. Nanoakışkan uygulamalarında, baz sıvısı içerisine nano boyutlu parçacıklar katıldığı için, spesifik yüzey alanı oluşturularak ısı transfer yüzeyi genişletilmiştir [9].

2.1. Nanoakışkanların Özellikleri

Nanoakışkanlar, genel olarak kullanılan diğer süspansiyonlara göre birçok avantaj sunmaktadır. Bu doğrultuda nanoakışkanların özellikleri şöyledir:

- Yapılan çalışmalara göre, nanoakışkanların yüksek termal iletkenliğine sahip olduğu fikri ön plana çıkmaktadır [6, 10-11].
- Nanoakışkanlar, diğer kolloidal süspansiyonlara göre daha spesifik yüzey alanı, daha yüksek stabilite, daha düşük pompalama gücü ve daha yüksek kontrol seviyesi içermektedir [7-12].

- Nanoakışkan hazırlarken bu avantajların yanında en büyük dezavantaj ise sistem içerisinde tıkanmalara yol açan partiküllerdir. Bu şekilde dezavantajlarla karşılaşmamak için nanoakışkan hazırlarken partikül büyüklüğünü en küçük seviyede tutmamız gerekmektedir [6-12].
- Nanoakışkan kullanımıyla ilgili birçok çalışmada, baz akışkanlar üzerinde termal iletkenlikte artış tespit edildiği vurgulanmıştır. Özellikle, metal oksitlerin baz sıvısı içerisinde, termal iletkenlikte artış meydana getirdiği ve sistem içerisinde, termal verimliliği arttırdığı çalışmalarda belirtilmiştir [13-14].
- Hazırlanan nanoakışkanların termal özelliklerinin belirlenmesi ve sistem içinde uygulanabilmesi için yapılan çalışmalarda birçok deneysel teknik kullanılmıştır. Farklı deneysel tekniklerin ve setlerin kullanılmasıyla birçok farklı sonuç elde edilmiştir. Farklılıkların birçoğunun nanopartiküllerin zayıf karakterizasyonundan kaynaklandığı belirtilmektedir [13].
- Nanoakışkanlar ile oluşturulan süspansiyonlar için araştırılması gereken temel özelliklerden birisi de viskozitedir. Çalışmaların birçoğunda nanoakışkanların viskozite deneylerinde, anormal eğilimlerin görüldüğü belirtilmiştir [6].
- Baz sıvısı içerisinde, yüzey gerilmesini yenemeyen milimetre-mikrometre boyutundaki partiküllerle hazırlanan bu akışkanların, sıvı içerisinde yüzeyde tutunması zor olduğu için çökmelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Meydana gelen bu çökmelerden dolayı, moleküller kullanılan sistem içerisinde tıkanmalara neden olduğu belirlenmiştir. Bu sebeplerden dolayı akışkan içerisinde yer alan nanopartiküllerin 100 nm'den daha düşük ve partiküllerin süspansiyon içindeki derişim oranınının da en fazla %10 olması gerektiği savunulmaktadır. Nanoakışkan içerisinde bu boyutlarda ve derişimde nanopartikül kullanıldığı zaman, küçük boyutlarda olan nanoparçacıkların birbiri ile olan etkileşimleri nedeniyle temas yüzeyinin artacağı ve bu durumun, ısı iletkenliğinin artmasına sebep olacağı belirtilmektedir [7].

2.2. Isıtma Sistemlerinde Nanoakışkan Uygulamaları

Nanoakışkan uygulamalarıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [9-13]. Yapılan bu çalışmalarda baz sıvısı içerisinde genelde metal oksit kullanılarak baz sıvısının ısı transfer özellikleri arttırılmaya çalışılmıştır. Sözen ve diğerleri çalışmalarında, nanoakışkanı test etmek amacıyla 13 mm ve 15 mm çaplı ısı borusu kullanmışlardır. Çalışmada, nanometre boyutundaki partiküller ile hazırlanmış oldukları nanoakışkanları farklı çalışma koşulları ve

derişimlerde ısı borusunda denemişlerdir. Nanoakışkan hazırlanırken baz sıvısı olarak sulu klinoptilolit kullandıklarını bildirmişlerdir. Ayrıca; sulu klinoptilolit içerisindeki nanopartiküllerin topaklanmasını engellemek ve daha homojen bir dağılım sağlamak amacıyla yüzey aktif malzemesi kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, ısı transferinde artış olduğunu ve ısı borusu verimliliğinin %9,63'e kadar arttığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, en iyi sonuçların 400 W ısıtma yükü altında ve 7,5 g/s soğutma suyu akış hızı ile elde edildiği belirtilmiştir. Bununla birlikte Sözen A. ve diğerleri, deneylerde termal direncin %26,31 kadar arttığını ve bu artışı 400 W ısıtma yükü altında ve 5 g/s soğutma suyu akış hızında elde ettiklerini bildirmişlerdir [13].

Krishnakumar ve diğerleri nanoakışkan hazırlamak için baz sıvısı olarak %60 oranında etilen glikol ve %40 oranında su kullanmışlardır. Nanopartikül olarak TiO_2 metal oksitini kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada, ısı transfer özelliklerini; nanopartikül hacim fraksiyonu ve Reynold sayısının etkisini dikkate alarak incelediklerini belirtmişlerdir. Deneylerde; hazırlanan nanoakışkanın termal iletkenlik, viskozite ve ısı transfer performansını incelediklerini ifade etmişlerdir. Zorlanmış konveksiyon çalışmalarını yürütmek ve nanoakışkan kullanımının etkisini görmek amacıyla bir deney düzeneği tasarlamışlardır. Hacim fraksiyonunun %0,2 ile %0,8 aralığında ve sıcaklığında 20 °C ile 50 °C arasında değiştirilerek deneylerin gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Tüm hacim fraksiyonları için normal çalışma sıvısına göre nanoakışkan kullanıldığında, termal iletkenliğin arttığını raporlamışlardır. Baz sıvısında olduğu gibi, nanoakışkan içinde sıcaklık arttıkça termal iletkenliğin arttığını bildirmişlerdir. Deneylerde sıcaklık 20 °C olarak ayarlandığında, termal iletkenlikteki artışın %11 olduğu raporlanmıştır. Ayrıca %0,8'lik nanopartikül hacim fraksiyonunda ve 50 °C sıcaklık değerinde termal iletkenliğin %24 kadar arttığı belirtilmiştir. Sıcaklık arttıkça nanoparçacıkların Brownian hareketlerinin arttığını ve bu nedenle de termal iletkenlikte artış olduğunu savunmuşlardır. Aynı deney koşulları için %0,8'lik hacim fraksiyonunda ve 50 °C sıcaklık değerinde viskozitedeki artışın %16 kadar olduğunu belirtmişlerdir. Viskozite artışına baz sıvısında asılı duran nanopartiküllerin sürekli hareketlerinin neden olduğunu bildirmişlerdir. Isı transfer katsayısındaki artışın da %116 kadar olduğunu belirlemişlerdir. Isı transferindeki bu anormal artışa sebep olarak da Reynold sayısındaki artışın dikkate alınması gerektiğini raporlamışlardır [14].

Arshad ve Muhammed yaptıkları çalışmalarında, baz sıvısı olarak su kullanarak TiO_2 nanopartikülleri ile nanoakışkan hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları nanoakışkanı deneysel düzeneğe pasif bir ısı değiştirici için çalışma sıvısı olarak kullandıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan deney düzeneği içerisinde kullanılan pasif ısı değiştiricisi, ısı emicisi olarak adlandırılmaktadır. Deneylerin 100 W, 125 W ve 150 W ısıtıcı gücü için ayrı ayrı yapıldığını belirtmişlerdir. Isı transfer özelliğinin aynı nanoakışkan çalışma sıvısı ile ısıtıcı gücüne bağlı olarak değiştiğini raporlamışlardır. Deneyler sonucunda en iyi ısı transfer özelliğinin 100 W ısıtıcı gücü altında elde edildiğini bildirmişlerdir. 100 W ısıtıcı gücü altında ısı transferinin %12,75 kadar arttığını belirtmişlerdir. Çalışmada nanoakışkan kullanımının etkileri; ısı değiştirici için taban sıcaklığı, ısı transferini geliştirme oranı parametreleri ve farklı ısıtıcı güçleri için irdelenmiştir [15].

Özdemir ve Ergün çalışmalarında, hazırlamış oldukları nanoakışkanı, kombi içerisinde, çalışma sıvısı olarak kullanmışlardır. Nanoakışkan hazırlarken, baz sıvısı olarak su, nanopartikül olarak da metal oksit grubundan Al_2O_3 kullandıklarını söylemişlerdir. Çalışmada, kombi içerisinde çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığında termal verimliliğin artması sağlanmak istenmiştir. Yazarlar deneyler sonucunda da sistemin termal verimliliğinin %16 kadar arttığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak; plakalı ısı eşanjörü için termal performansın artışı noktasında, nanoakışkan kullanımının olumlu katkısı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca; kombi içerisinde soğuk suyun akış hızının 3,4,5 ve 6 lpm olarak sıcak sıvısında 40, 45, 50, 55, 60 °C olacak şekilde ayarlandığını ve deneylerin bu şekilde yapıldığını belirtmişlerdir [16].

Sheikholeslami ve Rokni çalışmalarında, sayısal olarak manyetik alan varlığında nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Nanoakışkan malzeme için, ferro hidrodinamik ve manyeto hidrodinamik özellikler üzerinde durduklarını belirtmişlerdir. Nanoakışkan için sayısal olarak elde edilen özellikler üzerinden model oluşturulurken, hem iki fazlı hem de tek fazlı modeller dikkate alınmıştır. Serbest konveksiyon altında manyetik alanın varlığının ısı transferinin azalmasına neden olacağını da belirtmişlerdir. Yazarlar, nanoakışkan malzemeler üzerinden, değişken ve sabit manyetik alan içerisinde ısı transferini arttırmayı planlamışlardır. Çalışmaları sonunda da, katı parçacık kullanımının sıcaklık gradyanını arttırdığını raporlamışlardır. Lorentz ve kelvin kuvvetlerinin hidrotermal davranışının, homojen veya homojen olmama durumuna göre etkileyeceğini de belirtmişlerdir. Sayısal olarak sabit manyetik alan altında birçok nanoakışkan malzemeyi

irdelemişlerdir. Özellikle nanopartikül olarak Al_2O_3 , CuO ve Fe_3O_4 metal oksitlerini kullanmışlardır. Nanoakışkanda, baz sıvısı olarak da su kullanmışlardır. Sabit manyetik alan altında deneyleri gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca; iki fazlı modelde, nanoakışkan içerisindeki parçacıkların etkileşimleri daha yoğun olduğu için, iki fazlı modelin daha uygun olduğu raporlanmıştır [17].

Sözen ve diğerleri yapmış oldukları deneysel çalışmalarında, nanoakışkan hazırlanırken nanopartikül olarak alumina ve uçucu kül kullanmışlardır. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak da diyonize su kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoakışkanı %2,0 derişiminde nanopartikül ve %0,2 derişiminde yüzey aktif malzeme ile oluşturduklarını bildirmişlerdir. Yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanmışlardır ve bu şekilde karışım içerisinde homojenlik sağladıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoakışkan, deneylerde palakalı ısı eşanjöründe kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ısı transfer katsayısında ciddi bir iyileşme sağladıklarını bildirmişlerdir [18].

Sözen ve diğerleri yapmış oldukları bir diğer çalışmada, nanoakışkan içerisinde nanopartikül olarak diatomite malzemesini kullanmışlardır. Diatomite nanopartikülünü, baz sıvısı olarak kullandıkları diyonize su içerisine katkılayarak, nanoakışkan oluşturduklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoakışkanı ısı borusunun performansını artırmak için kullanmışlardır. Diatomit malzemesinin su içerisinde eridiği için, diyonize su tarafından önemli ölçüde emildiğini ve böylece homojen bir dağılım sağlandığını bildirmişlerdir. Homojen bir dağılım sağlanmasına rağmen, akışkan içerisinde topaklanmanın önüne geçmek amacıyla yüzey aktif malzeme kullandıklarını bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda ısı borusunun verimliliğinin ve termal özelliklerinin arttığını raporlamışlardır [19].

Arya ve diğerleri nanoakışkan hazırlamak için, baz sıvısı olarak etilen glikol ve nanopartikül olarak MgO metal oksit malzemesini kullanmışlardır. Deneyler için hazırlanan nanoakışkanların %0,1; %0,2 ve %0,3 konsantrasyonlarında hazırlandığını bildirmişlerdir. Hazırladıkları nanoakışkanları termal performansı arttırmak amacıyla, çift borulu ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak kullanmışlardır. Çalışmada hazırlanan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Isı eşanjöründe, etilen glikol baz sıvısı içerisinde nanopartikül kullanıldığında, nanoakışkanın termal özelliğinin ve viskozitesinin artarken, ısı kapasitesinin azaldığını raporlamışlardır [20].

Aydın ve diğerleri ısı borusunda çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanmanın etkilerini araştırmışlardır. Isı transfer uygulamalarında sıklıkla kullanılan ısı borularında çalışma sıvısının, ısı borusunun termal özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini raporlamışlardır. Bu çalışmada da yazarlar ısı borusunda ısı transfer özelliklerini arttırmak amacıyla, çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanmışlardır. Baz sıvısı olarak etilen glikol ve nanopartikül olarak da dolomit nanopartikülünü kullanarak, dolomit/etilen glikol nanoakışkanını hazırladıklarını raporlamışlardır. Nanoakışkanını oluştururken, %2,0 oranında dolomit ve %0,5 oranında da yüzey aktif malzeme kullandıklarını bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda en iyi sonuçları, 200 W ısıtma gücü altında, 10 g/s soğutma suyu kütle akış hızında elde ettiklerini raporlamışlardır. Sonuçlara göre, çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanılmasıyla, ısı borusundaki termal verimliliğin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca; termal iletkenliğin artmasıyla birlikte, termal direncin azaldığı raporlanmıştır [21].

Said ve diğerleri, ısı eşanjörlerinde çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanarak, termal performansı arttırmak istemişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak su ve nanopartikül olarak da CuO metal oksitini kullanmışlardır. Nanoakışkan içerisinde CuO nanoparçacıklarını %0,05; %0,1 ve %0,3 hacim konsantrasyonlarında kullandıklarını bildirmişlerdir. Ayrıca deneylerin doğruluğunu kanıtlamak için teorik bir model ile test yaptıklarını belirtmişlerdir. Deneyisel olarak elde edilen verileri, oluşturdukları model ile desteklemişlerdir. Nanoakışkan kullandıktan sonra, ısı eşanjöründe enerji tüketiminin ve toplam maliyetin azaldığını raporlamışlardır. Hacim konsantrasyonu arttıkça, nanoakışkanın stabilitesinin ve yüzey aktif malzeme eklenmesiyle nanoakışkanın performansının arttığını raporlamışlardır. Deneyler sonucunda toplam ısı aktarım katsayısının %7 kadar ve konvektif ısı aktarımında %11,39 kadar arttığını raporlamışlardır. Kurmuş oldukları bu yeni sistemin verimliliğin yanında, çevreci olduğunu da bildirmişlerdir [22].

Kumar ve Sonawane deneyisel çalışmalarında nanoakışkan hazırlarken nanopartikül olarak Fe_2O_3 ve baz sıvısı olarak da su ve etilen glikol kullanmışlardır. Hazırlanan nanoakışkanları farklı tip ısı eşanjörlerinde çalışma sıvısı olarak kullandıklarını ve ısı transfer özelliklerini incelediklerini bildirmişlerdir. Isı eşanjörlerinde, çalışma sıvısı olarak kullanılacak nanoakışkanları, %0,02; %0,04; %0,06 ve %0,08 hacim fraksiyonlarında hazırladıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada Fe_2O_3 nanopartikülleri için detaylı analizlere yer verilmiştir. Nanopartiküller için, X-ışını Difraksiyonu (XRD) analizleriyle Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Alan Emisyonlu Elektron Mikroskobu (FESEM)

görüntülerine yer vermişlerdir. Deneylerde farklı sıcaklık ve derişimlerde termal iletkenlik ölçümü yaptıklarını belirtmişlerdir. Isı eşanjöründe, aynı reynold sayısında nanoakışkan kullanıldığında, normal çalışma sıvısına göre ısı transfer katsayısının arttığını raporlamışlardır. Baz sıvı içerisinde nanopartikül hacim fraksiyonu arttıkça, ısı transferinin arttığını belirtmişlerdir. Nanoakışkan içerisinde, nanoparçacık konsantrasyonunun artmasıyla birlikte, baz sıvısı içerisinde askıda kalan nanoparçacıkların sıvı içerisinde türbülansı arttırdığını bildirmişlerdir. Sıvı içerisindeki türbülansın artmasıyla birlikte enerji değişim sürecinin hızlanacağını ve ısı transferinin artacağını raporlamışlardır. Ayrıca, nanoakışkan etkisiyle, türbülanslı ve laminer akış içinde ölçümler yaptıklarını bildirmişlerdir. Laminer akış için basınç düşümünde önemli bir artış olmadığını ve bu nedenle türbülanslı akışta, ısı transfer artışının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [23].

Baskar ve diğerleri çalışmalarında soğutucu akışkanların konvektif ısı transferini arttırmayı amaçladıklarını belirtmişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak etilen glikol ve su, nanopartikül olarak da karbon nanotüp kullanmışlardır. Nanoakışkanın homojen karışımını sağlamak amacıyla ultrasonikatör kullanmışlardır. Deneylerde uygulamayı farklı hacim fraksiyonlarında ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Karbon nanotüp nanoakışkanların, termofiziksel özelliklerini karşılaştırmak ve taşınım ısı transfer fonksiyonlarını araştırmak için bir deney düzeneği kurduklarını belirtmişlerdir. Hazırlamış oldukları deney düzeneğinin bakır borulardan, veri toplama sistemi ve termostatik banyodan oluştuğunu belirtmişlerdir. Deneyleri karşıt akış sıvısı (su) kullanarak, değişen ısı akış koşulları altında gerçekleştirdiklerini raporlamışlardır. Ayrıca deney düzeneğinden dış ortama olan ısı kayıplarını önlemek amacıyla, yalıtım yaptıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, nanoakışkan kullanımı ile sistemin termal performansının arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca konvektif ısı transferindeki artış ile yüksek verimlilik sağladıklarını raporlamışlardır [24].

Khanlari ve diğerleri ters akışlı eşmerkezli boru ısı eşanjörü ve paralel akışlı eşmerkezli boru ısı eşanjöründe, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanarak, termal özelliklerin değişimlerini incelemişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak diyonize su kullandıklarını belirtmişlerdir. Diyonize su içerisinde, partikül olarak da kaolin kullanmışlardır. Nanoakışkan içerisinde %2,0 derişiminde kaolin ve %0,5 oranında yüzey aktif malzeme kullandıklarını bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığı zaman termal performansın arttığını raporlamışlardır.

Ters akışlı eşmerkezli boru ısı eşanjörü ve paralel akışlı eşmerkezli boru ısı eşanjöründe sırasıyla termal performansın %37 ve %12 kadar arttığını belirtmişlerdir [25].

Kumar ve diğerleri deneysel çalışmalarında farklı tip ısı eşanjörlerinde çalışma sıvısı olarak su, etilen glikol ve parafin, nanopartikül olarak da Al_2O_3 metal oksitini kullanarak hazırladıkları nanoakışkanları kullanmışlardır. Isı eşanjörlerinde çalışma sıvısı olarak bu nanoakışkanları kullanarak, termal performansı arttırmak istediklerini belirtmişlerdir. Deneylerde 0,01 ile 0,08 arasında hacim raksiyonlarında Al_2O_3 -su, Al_2O_3 -EG ve Al_2O_3 -parafin nanoakışkanları kullandıklarını belirtmişlerdir. Isı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığı zaman ısı transfer katsayısında ve termal performansda önemli artışlar olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca, deneyler sonucunda yüksek türbülanslı akışta, düşük türbülanslı akışa göre ısı transfer katsayısındaki artışın daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Baz sıvısı içerisine nanopartikül eklendiği zaman, ısı transfer yüzeyinin arttığını belirtmişlerdir. Isı transfer yüzeyinin artmasına sebep olarak ısı değiştiricisinin iç yüzey duvarına yakın bulunan nanoparçacıkların, ısı transfer hızını arttırmasını göstermişlerdir [26].

Kim ve diğerleri deneysel çalışmalarında hazırlamış oldukları nanoakışkanı, elektronik cihazlardaki ısı transferi uygulamasında kullanmışlardır. Isı borusu ve benzeri uygulamaların dışında, mühendislik uygulamaları için mikro ve nano ölçekli sistemlerde ısı transferinin önemini vurgulamışlardır. Bu tür küçük ölçekli sistemlerde kullanılan elektronik cihazlarda, önemli miktarda ısı üretimi olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, bu tarz elektronik sistemlerin soğumaya ihtiyaç duyduğunu raporlamışlardır. Yeni bir soğutma sistemi olarak da nanoakışkan uygulamasından bahsetmişlerdir ve deneyleri gerçekleştirmek için bir deney düzeneği geliştirdiklerini raporlamışlardır. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak su ve nanopartikül olarak da Al_2O_3 metal oksitini kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoakışkan içerisinde nanopartiküllerin ağırlıkça %0,5; %1,0; %2,0 derişimlerinde kullandıklarını belirtmişlerdir. Kurmuş oldukları deney düzeneğinde sıvının 0,06 ile 3400 ml/dk akış hızında ve pozitif yer değiştirme pompasına sahip, paristaltik bir pompa ile transfer edildiğini bildirmişlerdir. Nanoakışkanın deney düzeneği içerisinde dairesel pompa gövdesinin içerisine yerleştirilmiş esnek bir tüp içerisinde bulunduğunu belirtmişlerdir. Pompa dış ünitesine sarılmış bir rotor aparatı olduğunu ve bu aparat sayesinde sıkıştırma işleminin yapıldığını, rotor kısmı döndükçe sıvının sıkıştırıldığını belirtmişlerdir. Nanoakışkanların ısı transferler katsayılarını

karşılaştırmak amacıyla da üç farklı çapa sahip (0,8 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm) bakır borular kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoakışkan içerisinde nanoparçacıkların derişimi arttıkça ve tüp çapı küçüldükçe ısı transfer katsayısının arttığını raporlamışlardır. Deney aralıkları dikkate alındığı zaman 0,8 mm bakır boru da, 2,0 mm çapa sahip bakır boruya göre ısı transfer katsayısının %160 kadar daha fazla olduğunu raporlamışlardır [27].

Sarafraz ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında bir ısı eşanjörü içerisinde, çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanarak, kaynama ısı transferi özelliklerini araştırdıklarını belirtmişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken baz sıvısı olarak su ve nanopartikül olarak zirkonyum partikülünü kullandıklarını bildirmişlerdir. Hazırlamış oldukları sistem içerisinde deneyleri, 10 kW/m^2 ile 150 kW/m^2 güç ile, 323 K ile 353 K arasında sıcaklıkla ve 0,1 ile 0,3 arasında kütle konsantrasyonlarında gerçekleştirdiklerini raporlamışlardır. Sistem içerisinde baz sıvısına, nanoparçacık eklendiğinde basınç düşümünün arttığını ve en yüksek konsantrasyonunda maksimum düzeydeki nanopartikül kütle fraksiyonu ile sağlandığını bildirmişlerdir. Nanoakışkan kullanımı ile ısı transferi katsayısındaki artışa rağmen, ısı eşanjörünün ısı performansının azaldığını belirtmişlerdir [28].

Khanlari ve diğerleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz yöntemi ile küçük boyutlu ancak yüksek verimde çalışan ısı eşanjörlerini (PHE) sayısal olarak analiz etmişlerdir. Ayrıca; PHE için sayısal analiz ile karşılaştırmak için deneysel olarak da inceleme yaptıklarını belirtmişlerdir. Deneylerde, nanoakışkan oluştururken %2,0 oranında TiO_2 nanopartikülü ve baz sıvısı olarak da su kullandıklarını belirtmişlerdir. Topaklanmanın önüne geçmek amacıyla nanoakışkan içerisinde %0,5 derişiminde TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanmışlardır. PHE tipi ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığı zaman termal performansın arttığını raporlamışlardır. Ayrıca, endüstriyel olarak birçok alanda kullanılan Chevron PHE tipi ısı eşanjörünün bazı özelliklerinin optimizasyonunu yaptıklarını bildirmişlerdir [29].

2.3. Nanoyağlayıcıların ve Nanosoğutucuların Özellikleri

Nanoyağlayıcı ve nanosoğutucular soğutma sistemlerinde kullanılarak, bu sistemlerde enerji verimliliği sağlanabilir. Özellikle nanoyağlayıcı kullanımında kompresör yağı ve soğutucu akışkanın uyumu önemlidir [30]. Endüstride ve gündelik yaşamımızda sıklıkla kullanmış olduğumuz soğutma sistemlerinde çalışma sıvısı olarak nanoyağlayıcı ve

nanosoğutucuların kullanıldığı bir çok çalışma vardır [31-36]. Soğutma sistemlerinde nanoyağlayıcı kullanımıyla birlikte, sistemsel olarak bir çok avantajın elde edildiği görülmektedir.

- Taşınım ile ısı transferinin endüstriyel ısıtma ve soğutma sistemleri için önemli olduğu bilinmektedir [6]. Isıtma sistemlerinde olduğu gibi soğutma sistemlerine de hayatımızın her alanında rastlanmaktadır.
- Taşınım ile ısı transferinden yararlanılarak, ısıtma makinelerinin verimini arttırdığımız gibi, soğutma makinelerinin de verimini arttırmak mümkündür.
- Soğutma sistemi içerisinde çalışma akışkanı olarak soğutucu akışkan ve kompresör içerisinde çalışma sıvısı olarak yağ kullanılmaktadır. Isı borusu uygulamalarında verimliliği arttırmaya yönelik, nanoakışkan hazırlama yöntemlerine benzer şekilde soğutma sistemleri için de nanosoğutucuların ve nanoyağlayıcıların sistemde kullanılması ile termal özellikleri geliştirmek mümkündür [31-36].
- Soğutma sistemi içerisindeki kompresör elemanının, çalışma sıvısına müdahale edilerek sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir. Oluşturulan yeni süspansiyon kompresör içerisinde kullanmış olduğumuz yağın termal özelliklerinin artmasına neden olacaktır. Yapılan çalışmalarda, kompresör içerisindeki çalışma yağı yerine nanoyağlayıcı kullanılmasının, kompresörün daha az enerji tüketmesine neden olacağı rapor edilmiştir [31-34].
- Nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamalarında, nanaopartiküller arasında meydana gelecek olan çarpışmalar nanoakışkan uygulamalarında olduğu gibi, akış temas yüzeyinin artmasına neden olacaktır. Akış temas yüzeyi arttığında, çalışma sıvısı içerisinde yüksek ısı iletkenliği ve ısı transferi sağlayacağı belirtilmektedir. [31-36].
- Nanopartikül ve baz sıvısı ile nanoyağlayıcı veya nanosoğutucu oluşturulduğunda, önemli noktalardan biri, homojen dağılımı sağlamak ve sistem içerisinde tıkanmalara yol açmamak için partikül büyüklüğünde düşük seviyede tutulmasıdır. Nanoakışkan uygulamalarında, süspansiyon içerisinde topaklanmayı önlemek ve homojen bir karışım oluşturmak amacıyla, yüzey aktif malzeme kullanımının olduğu çalışmalar vardır [30].
- Fakat; soğutma sistemlerinde nanoyağlayıcı uygulamalarında, süspansiyon hazırlarken yüzey aktif malzemelerin kullanıldığı çalışmalara rastlanmamıştır.

2.4. Soğutma Sistemlerinde Nanosoğutucu ve Nanoyağlayıcı Uygulamaları

Literatür incelendiği zaman; sıklıkla kullandığımız soğutma sistemlerinde, çalışma sıvısı içerisinde nanopartiküllerin kullanılmasıyla hazırlanan süspansiyonların kullanıldığı bir çok çalışma vardır [31-36]. Bandgar ve diğerleri kompresörlü soğutma sistemi üzerinde verimlilik çalışmaları yapmışlardır. Soğutma çevrimi içerisinde en fazla güç harcayan ekipmanın kompresör olduğunu ve kompresörün verimli çalışabilmesi için yağlama yağının gerekliliğini belirtmişlerdir. Yazarlar, soğutma sisteminde kompresör yağının bir kısmının soğutucu gaza karışarak çevrim içinde yer aldığını belirtmişlerdir. Bu sebeple, kompresör yağı içerisine metaller, oksitler ve karbon nanotüp gibi nanoparçacıklar katkılایarak, oluşturdukları süspansiyon ile verimliliği arttırmaya çalıştıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda baz sıvısı olarak mineral yağ kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcıların, polyol-ester ile hazırlanan nanoyağlayıcılara göre daha verimli olduğu raporlanmıştır. Çalışmada kompresördeki yağ yerine, TiO_2 nanopartiküllü nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP) değerinin %20 kadar arttığını, güç tüketiminin ise %15,4 kadar azaldığı raporlanmıştır [31].

Sharif ve diğerleri yapmış oldukları deneysel çalışmalarında soğutucu akışkan yerine nanosoğutucu ve kompresör çalışma yağı yerine de nanoyağlayıcı kullanarak soğutma sisteminin çalışma verimliliğini arttırmaya çalışmışlardır. Deneyler sonucunda, sistem performansını, kompresör çalışmasını ve COP değerini iyileştirdiklerini raporlamışlardır. Deney sonuçlarına göre, sistemde soğutucu akışkan yerine nanosoğutucu, kompresör yağı yerine de nanoyağlayıcı kullanımı ile termal iletkenlik artışının %4 kadar olduğu rapor edilmiştir. Soğutma sisteminin, COP değerinin de, nanosoğutucu ve nanoyağlayıcı kullanımıyla %24 kadar arttığını bildirmişlerdir [32].

Ohunakin ve diğerleri soğutma sisteminde soğutucu akışkan yerine çalışma sıvısı olarak Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) kullanmışlardır. Çevrim içerisinde kompresör yağı olarak kullanılan mineral yağ yerine nanoyağlayıcı kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak mineral yağ ve farklı derişimlerde TiO_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 nanopartikülleri kullandıklarını belirtmişlerdir. Soğutma sisteminde, kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcı içerisinde nanopartikül olarak TiO_2 ve SiO_2 metal oksitleri kullanıldığı zaman, kompresör güç tüketiminde sırasıyla %13 ve %12 azalma meydana geldiği raporlanmıştır. Nanoyağlayıcı içerisinde nanopartikül

olarak Al_2O_3 metal oksiti kullanıldığı zaman ise, sistemde daha yüksek güç tüketimi olduğu bildirilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan bu üç nanopartikül için Ortalama Karekök Hatası (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) hata payı değerlerini de belirlemişlerdir, bu değerler göz önüne alındığında Al_2O_3 ile hazırlanan nanoyağlayıcının LPG ile daha uyumlu çalıştığını raporlamışlardır [33].

Adelekan ve diğerleri çalışmalarında, nanoyağlayıcı oluşturmak için baz sıvısı olarak mineral yağ ve nanopartikül olarak da TiO_2 metal oksiti kullanmışlardır. Deneyleri, 0,2 g/L; 0,4 g/L; 0,6 g/L nanopartikül konsantrasyonlarında gerçekleştirmişlerdir. Deney düzeneği olarak basit bir ev tipi buzdolabı kullanmışlardır. Buzdolabında soğutucu gaz olarak R134a kullandıklarını belirtmişlerdir. Hazırlanan nanoyağlayıcıları, ev tipi buzdolabında kompresör yağı olarak kullanmışlardır ve sistemin çekme süresi, güç tüketimi, kompresör güç girişi, soğutma kapasitesi ve soğutma etkinlik katsayısı değerlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Yapılan deneylerde, 0,6 g/L konsantrasyonunda 27 g LPG şarjı ile yapılan deney dışında, sistemde iyileşme tespit ettiklerini raporlamışlardır. Genel olarak sistemin güç tüketiminde azalma olduğu rapor edilmiştir. En yüksek COP değerini 0,4 g/L konsantrasyonunda nanoyağlayıcı içeren 40 g LPG şarjı ile elde ettiklerini raporlamışlardır [34].

Bi ve diğerleri deneysel çalışmalarında, ev tipi bir buzdolabında nanosoğutucu kullandıklarını bildirmişlerdir. Sistem içerisinde, soğutucu akışkan olarak R600a ve soğutucu gaz içerisinde nanopartikül olarak TiO_2 kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, ev tipi buzdolabında, soğutucu akışkan olarak nanosoğutucuların güvenli bir şekilde kullanılabileceğini raporlamışlardır. Deneylerde, en iyi sonuçların 0,5 g/L nanopartikül konsantrasyonunda elde edildiğini ve bu konsantrasyon için sistemde %9,6 kadar enerji tasarrufu sağlandığını bildirmişlerdir. Ayrıca, %1,0 g/L nanopartikül konsantrasyonu için %5,94 kadar enerji tasarrufu elde ettiklerini raporlamışlardır [35].

Kumar ve Elansezhian deneysel çalışmalarında, buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevriminde soğutucu akışkan olarak nanosoğutucu kullanmışlardır. Nanosoğutucu oluştururken soğutucu akışkan olarak R152a, nanopartikül olarak da ZnO metal oksiti kullanmışlardır. Nanosoğutucu hazırlarken, ZnO nanopartiküllerini %0,1; %0,3; %0,6 hacim konsantrasyonlarında kullandıklarını belirtmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, %0,5 ZnO nanopartikül konsantrasyonu ile en iyi sonucu elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Ayrıca, enerji tüketiminde %21 oranında azalma elde ettiklerini raporlamışlardır. Deneyler sonucunda soğutma sistemi için soğutma etkinlik katsayısının da arttığını bildirmişlerdir [36].

Yusuf ve diğerleri deneysel çalışmalarında nanoyağlayıcı hazırlamışlardır ve hazırlamış oldukları nanoyağlayıcıyı, minibar ev tipi bir buzdolabının performansını arttırmak için kullanmışlardır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak da Al_2O_3 metal oksiti kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda da hazırlanan nanoyağlayıcıyı, soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı yerine kullandıklarını ve güvenli bir şekilde çalıştığını raporlamışlardır. Sonuçlara göre %0,2 hacim konsantrasyonunda hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, enerji tüketimin %2,1 kadar azaldığını raporlamışlardır [37].

Padmanabhan ve Palanisamy deneysel çalışmalarında nanoyağlayıcı oluştururken, baz sıvısı olarak MO, nanopartikül olarak da TiO_2 metal oksiti kullandıklarını belirtmişlerdir. Soğutucu akışkan olarak da R134a, R436A (R290/R600a-56/44-wt.%) ve R436B (R290/R600a-52/48-wt.%) kullandıklarını belirtmişlerdir. Soğutma çevrimi içerisinde kompresör ekipmanı için yağlama yağı olarak POE yerine oluşturdukları nanoyağlayıcıyı kullanarak, sistemde performans iyileştirmesi sağlamak istemişlerdir. Nanoyağlayıcı içerisindeki nanopartikül derişimini 0,1 g/L olarak belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda en iyi COP artışının, soğutucu akışkan olarak R134a ve nanoyağlayıcı olarak da 0,1 g/L TiO_2 derişiminde hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında elde ettiklerini belirtmişlerdir. Soğutma çevriminde kompresör yağı olarak nanoyağlayıcı ve soğutucu akışkan olarak da R134a, R436A ve R436B kullanıldığında, kompresör güç tüketiminin sırasıyla %26,9, %11,08 ve %10,4 oranında azaldığını raporlamışlardır [38].

Maheshwary ve diğerleri deneysel çalışmalarında, soğutma sistemi içerisinde soğutucu akışkan olarak nanosoğutucu kullanarak sistem performansını arttırmaya çalışmışlardır. Nanosoğutucu oluştururken de baz akışkanı olarak R134a ve nanopartikül olarak ZnO metal oksiti kullandıklarını belirtmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, nanosoğutucu içerisinde nanopartikül şeklinin önemine dikkat çekmek istemişlerdir. Bu nedenle de ZnO nanopartiküllerini küresel ve kubik olarak kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Nanosoğutucu içerisinde küresel ve kubik şeklinde nanoparçacıklar

kullanıldığı zaman, sırasıyla %25,26 ve %42,5 oranında, soğutucu akışkanın termal iletkenliğini arttırdığını raporlamışlardır [39].

Zawavi ve diğerleri çalışmalarında kompozit nanoyağlayıcı malzeme hazırlamışlardır. Kompozit nanoyağlayıcı malzeme hazırlarken baz sıvısı olarak PAG kullanmışlardır. Baz sıvı içerisinde de $Al_2O_3-SiO_2$ metal oksit bileşimini kullandıklarını belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcının, %0,02 ile %0,1 aralığındaki konsantrasyonlarda ısı iletkenliğinin ve viskozitesinin incelendiğini bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda %0,1 konsantrasyonda hazırlanan nanoyağlayıcı da ısı iletkenliğinde, %2,41 oranında bir artış sağlandığını raporlamışlardır. Nanoyağlayıcı içerisinde, nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısı iletkenliğinin de arttığını raporlamışlardır. Aynı konsantrasyon için, bağlı viskozitenin ise %9,71 oranında arttığını belirtmişlerdir [40].

Sabareesh ve diğerleri çalışmalarında, soğutma sisteminin performansını arttırmak için kompresörde mineral yağ yerine nanoyağlayıcı kullanmışlardır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak mineral yağ, nanopartikül olarak da TiO_2 metal oksitini kullanmışlardır. Ölçümler sonucunda, mineral yağ içerisinde metal oksit kullanıldığı zaman, iş akışkanının, viskozite ve yağlama özelliklerinin daha iyi olduğunu raporlamışlardır. Hacim fraksiyonu olarak da %0,01 oranında nanoyağlayıcı kullanıldığında, ısı transfer hızının %3,6 kadar arttığını raporlamışlardır. Ayrıca, mineral yağ içerisinde nanopartiküllerin homojen olarak dağılması sağlandığında, COP değerinin %17 kadar arttığını bildirmişlerdir [41].

Diao ve diğerleri çalışmalarında, soğutma sisteminin termal performansını arttırmak amacıyla sistem içerisinde, soğutucu akışkan olarak nanosoğutucu kullanmışlardır. Nanosoğutucu hazırlarken baz akışkan olarak, R141b soğutucu akışkanı ve nanopartikül olarak da bakır metalini kullandıklarını belirtmişlerdir. Yüzey aktif malzemenin ve nanoparçacıkların soğutucu akışkana eklenmesiyle, akışkanın ısı transfer özelliklerinin arttığını raporlamışlardır. Deneylerde nanosoğutucu hacim konsantrasyonlarının; %0,008; %0,015 ve %0,05 olarak belirlendiğini söylemişlerdir. Sonuç olarak, soğutucu akışkan olarak R141b yerine, Cu/R141b nanosoğutucusunun kullanılmasıyla, kaynama ısı transfer performansının arttığını raporlamışlardır [42].

Babarinde ve diğerleri deneysel çalışmalarında, buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevriminde kompresör içerisinde nanoyağlayıcı kullanarak sistem performansını arttırmaya çalışmışlardır. Ayrıca buhar sıkıştırımlı çevrim içerisinde, daha çevreci olduğunu belirttikleri R600a soğutucu akışkanını kullandıklarını söylemişlerdir. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi olarak kullandıkları ev tipi buzdolabında hazırlanan nanoyağlayıcıyı kullanarak soğutma kapasitesi, güç tüketimi ve performans katsayısı özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar, baz sıvısı içerisine 0,2 g/L; 0,4 g/L; 0,6 g/L konsantrasyonlarında grafen nanoparçacıkları katarak, nanoyağlayıcı hazırladıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoyağlayıcı konsantrasyonları ile deneyler yapılırken, soğutucu akışkanın sisteme; 50 g, 60g ve 70 g miktarlarında şarj edildiği belirtilmiştir. Kompresörde, mineral yağ ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kullanılması sonucunda, sistem performansındaki değişimler için karşılaştırmalar yapıldığı söylenmiştir. Deneyler sonucunda 180 dakika içinde ISO 8187 standart sıcaklığı -3°C olan, buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde, kompresörde mineral yağ yerine grafen katkılı nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, COP değerinin arttığını ve güç tüketiminin ise azaldığını raporlamışlardır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kullanılması ile evaporatör sıcaklığında düşüş gözlemlendiği belirtilmiştir [43].

Babarinde ve diğerleri bir diğer deneysel çalışmalarında sistem olarak aynı şekilde buhar sıkıştırımlı bir ev tipi buzdolabı kullandıklarını belirtmişlerdir. Soğutma çevrimi içerisinde R134a soğutucu akışkanını yerine, 50 g, 60 g ve 70 g miktarlarında şarj ettikleri, R600a soğutucu akışkanını kullandıklarını belirtmişlerdir. Deney düzeneği olarak kullanılan ev tipi buzdolabında performansı iyileştirmek amacıyla, kompresör içerisinde mineral yağ yerine hazırlamış oldukları nanoyağlayıcıyı kullandıklarını söylemişlerdir. Baz sıvısı olarak kompresör içerisindeki mineral yağa 0,4 g/L ve 0,6 g/L konsantrasyonlarında Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWCNT) partikülleri eklediklerini bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda, 0,6 g/L MWCNT nanoyağlayıcı ve 60 g şarj ile R600a soğutucu akışkanını kullanıldığı zaman, COP açısından en iyi sonuçların elde edildiği raporlanmıştır. Ayrıca, 0,4 g/L konsantrasyonunda hazırlanan nanoyağlayıcı ve 50 g R600a soğutucu akışkanını ile yapılan deneylerde en düşük güç tüketiminin elde edildiği raporlanmıştır [44].

Anwar ve Randa çalışmalarında kompresör yağı olarak nanoyağlayıcıların son yıllarda tercih edilmeye başlandığını ve iyi sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir. Nanoparçacıkların yağlama yağına eklenmesiyle birlikte, baz sıvısının termal ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilebileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenlerden dolayı, soğutma çevrimi içerisindeki en önemli ekipman olan kompresörde nanoyağlayıcı kullandıklarını ve sistem içerisinde de R134a soğutucu akışkanı kullandıklarını söylemişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak Polialkelen Glikol (PAG), nanopartikül olarak da 40-50 nm boyutlarındaki Al_2O_3 metal oksiti kullandıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoyağlayıcının, PAG'a göre daha iyi termal iletkenliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda kompresörde farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, COP değerinde %31 kadarlık artış raporlanmıştır. Sonuç olarak, Al_2O_3 nanopartikülü ve PAG baz sıvısı ile hazırlanan nanoyağlayıcının doğru konsantrasyonlarda soğutma sisteminde, güvenle kullanılabileceğini rapor etmişlerdir [45].

Vasu ve diğerleri çalışmalarında soğutma çevrimi içerisinde COP değerini arttırmak amacıyla VCRS (Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi) sisteminde, düşük basınçlı alıcı kullanarak eşzamanlı hem aşırı soğutma hem de aşırı ısıtma uygulaması yaptıklarını belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, baz sıvısı içerisinde Al_2O_3 nanopartikülleri kullanmışlardır. Kompresör yağı içerisine belirlenen derişimler de dağıtılmış Al_2O_3 nanoparçacıkları ile hazırlanmış nanoyağlayıcı ile çalıştırılan sistem 100 W, 150 W, 200 W ve 250 W gibi farklı yüklere maruz bırakılarak, deneyleri gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda yazarlar; kompresör gücü, soğutma etkisi ve COP gibi performans parametrelerini incelediklerini söylemişlerdir. Sonuç olarak; COP değerinde artış, kompresörün çekmiş olduğu güç değerinde de azalma olduğu raporlanmıştır. Ayrıca sisteme uygulanan 100 W, 150 W, 200 W ve 250 W çalışma yüklerinde en başarılı sonuçların 200 W çalışma yükünde elde edildiği raporlanmıştır [46].

Nair ve diğerleri deneysel çalışmalarında buhar sıkıştırılmalı bir soğutma çevriminde nanoyağlayıcı kullanmışlardır. Sistemde nanoyağlayıcı kullanmanın; soğutma kapasitesi, kompresör gücü, kompresör deşarj sıcaklığı ve performans katsayısı üzerine etkilerini incelediklerini belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak PAG ve nanopartikül olarak da Al_2O_3 nanoparçacıkları kullandıklarını bildirmişlerdir. Al_2O_3

nanopartikülünü seçme sebebi olarak, diğer yaygın metal oksitlere göre düşük dielektrik sabitine sahip olmasını göstermişlerdir. Deneyler sonucunda, R134a soğutucu akışkanı ve nanoyağlayıcı kullanılarak yapılan deneylerde, daha yüksek yoğunlaşma kapasitesiyle soğutma kapasitesinde iyileşme görüldüğü raporlanmıştır. Soğutma sisteminde kompresör yağı içerisinde, nanopartikül kullanılmasının kondenser çıkışında daha yüksek seviyede aşırı soğutmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Kompresör deşarj sıcaklığının R134a/nanoyağlayıcı kullanımı ile arttığını bildirmişlerdir. Sistem COP değerinde, kompresörde nanoyağlayıcı kullanımıyla artış olduğunu raporlamışlardır. Mevcut soğutma istemi için gerçekleştirilen aşağı çekme testinde, R134a/PAG karışımı, R134a/nanoyağlayıcı ile değiştirildiği zaman, kompresör çalışma süresinde, 170 saniyeye kadar azalma olduğu raporlanmıştır [47].

Redhwan ve diğerleri deneysel çalışmalarında kompakt araç mobil klima sisteminde nanoyağlayıcı kullanarak, sistem performansını arttırmak istemişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak PAG, nanopartikül olarak da Al_2O_3 kullandıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoyağlayıcının stabilitesinin dört adımlı UV-vis spektral emicilik analizi kullanarak gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir. Konsantrasyon olarak %0,010 hacim konsantrasyonunda hazırlanan nanoyağlayıcının uzun süre mükemmel derecede bir stabilitede kaldığını gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Araç mobil klima sisteminde nanoyağlayıcı kullanıldıktan sonra sistemin; soğutma kapasitesi, kompresör çalışması ve soğutma etkinlik katsayısı parametrelerindeki değişimin incelendiğini belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda soğutma kapasitesinde %6, kompresör çalışmasında %8 ve COP değerinde %33 kadar gelişim sağlandığı raporlanmıştır. Ayrıca deneyler sonucunda en iyi sonuçların, %0,010 hacim konsantrasyonuna sahip nanoyağlayıcı ile sağlandığı raporlanmıştır [48].

Jatinder ve diğerleri çalışmalarında ev tipi buzdolabının performansını iyileştirmek için sistem de nanoyağlayıcı kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken yazarlar, baz sıvısı olarak Mineral Yağ (MO) ve nanopartikül olarak da TiO_2 metal oksitini kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada nanopartikül konsantrasyonunun nanoyağlayıcının termofiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir. Ev tipi buzdolabı için de performans eğrisinin doğrudan nanoyağlayıcı viskozitesi ile değiştiği söylenmiştir. Deneylerde 40 g, 60 g ve 80 g kadar şarj edilen R600a soğutucu akışkanı ve 0,0 g/L; 0,2 g/L; 0,4 g/L ve 0,6 g/L konsantrasyonlarında nanoyağlayıcı

kullanılarak deneylerin gerçekleştirildiği söylenmiştir. Deneyler sonucunda ev tipi buzdolabının performans eğrisinin, 40 g kadar R600a soğutucu akışkan şarj edildiğinde, nanoyağlayıcı viskozitesi ile değiştiği ve sistem için basınç oranının tüm TiO_2 nanopartikül konsantrasyonları için; %0,60 ile %3,06 aralığında bir azalma gösterdiği raporlanmıştır. Yazarlar benzer bir çalışmalarında, soğutucu akışkan R600a yerine LPG kullandıklarını ve bu çalışmada elde ettikleri sonuçları, o çalışma ile kıyasladıklarını bildirmişlerdir. Yapılan bu kıyaslama sonucunda, kompresör deşarj sıcaklığında yaklaşık %41,92, kompresör güç tüketiminin yaklaşık %33,33 ve aşağı çekilme süresinin de yaklaşık %21,05 kadar azaldığı rapor edilmiştir [49].

Chauhan ve diğerleri deneysel çalışmalarında, soğutma çevrimi için performansı arttırmak amacıyla, çevrim içerisinde nanoyağlayıcı kullandıklarını belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE ve nanopartikül olarak da TiO_2 kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneylerde soğutma çevrimi için; çekilme süresi, soğutma kapasitesi, basınç oranı, kompresör giriş gücü ve performans katsayısı özelliklerinin araştırıldığı söylenmiştir. Soğutma çevrimi içerisinde soğutucu akışkan olarak, R134a kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca, nanoparçacık konsantrasyonundaki değişimin, kompresör emme ve boşaltma uçlarındaki R134a ve nanoyağlayıcı karışımının termal iletkenliği, viskozite ve yoğunluğu ne derece de etkilediği incelenmiştir. Deneyler sonucunda POE içerisine TiO_2 nanopartiküllerinin eklenmesiyle soğutma sisteminin performansının önemli ölçüde iyileştirildiği raporlanmıştır. Nanoyağlayıcı kullanımıyla kompresörü çalıştırmak için gerekli güç, %15,7 kadar daha düşük hesaplanmıştır ve %0,2 nanopartikül konsantrasyonunda, COP değerinin, %29,1 daha yüksek bulunduğu raporlanmıştır [50].

Hamisa ve diğerleri çalışmalarında otomotiv klima sisteminin performansını iyileştirmek amacıyla, nanoyağlayıcı kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak PAG ve nanopartikül olarak da $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ kullandıklarını belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı kullanımıyla sistem COP değerinde, %28,7 kadar artış tespit ettiklerini raporlamışlardır [51].

Soliman ve diğerleri çalışmalarında, nüfusla enerji miktarındaki artışa dikkat çekmişlerdir. Artan bu enerji miktarını karşılamak için, iki tane çözüm noktası olduğunu belirtmişlerdir. Bunlardan birincisi; yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, ikincisi de

enerjiyi daha verimli kullanılması olarak bildirilmiştir. Yazarlar bu çalışmalarında, enerji verimliliğine dikkat çekmişlerdir. Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde yoğun şekilde enerji tüketimine sahip olduğunu söylemişlerdir. Buhar sıkıştırılmalı bir soğutma çevriminde performansı arttırmak ve harcanan enerjiyi düşürebilmek amacıyla bu çalışmanın yapıldığı bildirilmiştir. Deneylerde, soğutma çevriminde soğutucu akışkan olarak R143a, kompresör yağı olarak da nanoyağlayıcı kullanıldığı belirtilmiştir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken de baz sıvısı olarak mineral yağ ve nanopartikül olarak da Al_2O_3 metal oksitini kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneylerde soğutma sistemi için ısı transfer katsayısının, sistem de soğutma tesir katsayısının ve güç tüketiminin incelendiğini söylemişlerdir. Deneyler sonucunda kütle fraksiyonu olarak %0,1 oranında nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman en etkin çözümlerin elde edildiği raporlanmıştır. Ayrıca ekserji verimliliğinin maksimum %20 arttığı, COP değerinin de teorik olarak maksimum %22,49 oranında arttırıldığı raporlanmıştır [52].

Zawawi ve diğerleri deneysel çalışmalarında bir araçta bulunan AAC sisteminin önemini ve bu sistemin performansını iyileştirmeye çalıştıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada sistem için soğutma kapasitesi, kompresör çalışması ve performans katsayısı özelliklerinin incelendiğini bildirmişlerdir. Yazarlar, sistem içerisinde kompozit nanoyağlayıcı kullandıklarını söylemişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken; baz sıvısı olarak PAG ve nanopartikül olarak da Al_2O_3 ve SiO_2 metal oksitlerini kullanmışlardır. Deneyleri farklı soğutucu yüklerinde 95 g ile 155 g ve farklı hızlarda 900 rpm ile 2100 rpm gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda da en yüksek soğutma kapasitesi ve COP değerlerinin sırasıyla %59,91 ve %7,72 oranında arttığını raporlamışlardır. Bir diğer önemli parametre olan kompresör güç tüketiminin de %9,35 kadar azaldığı rapor edilmiştir [53].

Alawi ve diğerleri deneysel çalışmalarında, Al_2O_3 /R-141b nanosoğutucu akışkanını hazırlamışlardır ve bu nanosoğutucunun termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Hazırlanan nanosoğutucu içerisindeki nanopartikül kütle fraksiyonuna ve sıcaklığa bağlı olarak COP değerinin değişimini incelediklerini bildirmişlerdir. Nanosoğutucu içerisinde partikül hacim fraksiyonu ve sıcaklığı arttıkça termal iletkenliğin arttığını rapor etmişlerdir. Deneyler sonucunda termal iletkenlikte maksimum %28,88'lik bir iyileşme gerçekleştiği raporlanmıştır. Ayrıca COP değerinde %15,13'lük bir artış sağlandığı raporlanmıştır [54].

Jwo ve diğerleri çalışmalarında R134a soğutucu akışkanı ile çalışan bir soğutma sistemindeki kompresör ekipmanı üzerinde verimlilik çalışmaları yapmışlardır. Soğutma sistemi içerisindeki kompresör ekipmanında yağ olarak kullanılan POE yerine, hazırlamış oldukları nanoyağlayıcı sıvısını kullandıklarını bildirmişlerdir. Kompresör yağı yerine nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, sistemin ısı transfer özelliklerini incelediklerini belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken kompresörde baz sıvısı POE içerisine %0,05; %0,1; %2,0 konsantrasyonlarında nanopartikül kullandıklarını ve deneyleri gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda, en iyi sonuçların %0,1 nanopartikül konsantrasyonu ile elde edildiğini raporlamışlardır. Bu konsantrasyon değeri için, güç tüketiminin %2,4 oranında azaldığını raporlamışlardır [55].

Lau ve diğerleri çalışmalarında, ev tipi bir buzdolabında mevcut kompresör yağı yerine, çalışma sıvısı olarak izobütan ve nanopartikül olarak grafitten oluşan nanoyağlayıcı kullanarak, buzdolabının performansını incelediklerini belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, baz sıvısı içerisinde %0,0; %0,05; %0,1; %0,2 ve %0,5 kütle fraksiyonlarında grafit nanoparçacıklarını kullandıklarını belirtmişlerdir. Kompresör yağı olarak, %0,1 grafit nanopartikül kütle fraksiyonunda hazırlanan nanoyağlayıcının kullanılması ile en iyi sonuçların elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu kütle fraksiyonu ile hazırlanan nanoyağlayıcı ile yapılan deneyler sonucunda, buzdolabının güç tüketiminde %4,55 kadar azalma raporlamışlardır. Deneyler sonucunda nanoyağlayıcı kullanıldığında evaporatör sıcaklığı, kondenser sıcaklığı, deşarj basıncı, deşarj sıcaklığı, emme basıncı ve kompresör sıcaklığında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Deneylerde kullandıkları buzdolabı için çekme süresinin nanoyağlayıcı kullanımıyla %15,22 oranında azaldığını raporlamışlardır [56].

Narayanasma ve Kuzhiveli basit bir soğutma sisteminde, kompresörde POE yağı yerine hazırladıkları nanoyağlayıcıyı kullandıklarını belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak da SiO_2 partikülleri kullandıklarını bildirmişlerdir. Baz sıvısı olarak kullanılan POE yağının, termal iletkenliğinin ve viskozitesinin SiO_2 nanopartiküllerinin kütle fraksiyonundaki artışla, arttığını raporlamışlardır. Deneylerde en iyi sonuçların SiO_2 nanopartiküllerinin %0,1 ve %0,15 kütle fraksiyonlarında elde edildiğini raporlamışlardır. Yazarlar, bu deneysel çalışmalarında oluşturmuş oldukları nanoyağlayıcının termal, reolojik, tribolojik, korozyon, oksidatif stabilite, çevre dostu özelliklerinin üzerinde durulduğunu ifade

etmişlerdir. Deneyler sonucunda 85 °C sıcaklık ve %0,2 nanopartikül konsantrasyonu için viskozite indeksinde %10,89 oranında artış olduğunu raporlamışlardır [57].

Lin ve diğerleri çalışmalarında soğutma sisteminde, kompresör yağı NM56 yerine hazırlamış oldukları nanoyağlayıcıyı kullanarak sistem performansındaki değişiklikleri analiz ettiklerini belirtmişlerdir. Soğutma çevrimi içerisinde kullanılan soğutucu akışkan ile bir miktar kompresör yağının da sistem içerisinde karıştığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle kullanılacak nanoyağlayıcının, soğutucu akışkan ile fizyolojik ve kimyasal olarak uyumlu olması gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan nanopartiküllerin bir kısmının, bu soğutucu akışkan içerisinde dolaşabileceğinden dolayı, sistem içerisindeki tıkanıklıkların önüne geçmek için partikül boyutunun önemini, çalışmalarında vurgulamışlardır. Çalışmada soğutma çevrimi içerisinde, soğutucu akışkan olarak R141b kullandıklarını ifade etmişlerdir. Kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcıyı hazırlarken baz sıvısı olarak NM56 yağı, nanopartikül olarak da TiO_2 partiküllerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneyleri, %5 ile %20 aralığında yağ kütle fraksiyonunda ve %0,2 ile %1,0 aralığında nanoparçacık kütle fraksiyonunda gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, karışım-yağ göç oranının 0,388 ile 0,969 aralığında değiştiğini raporlamışlardır. Sonuçlara göre, yağ-kütle fraksiyonu arttıkça, karışım yağ - göç oranının da arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca, yağ - kütle fraksiyonunun %5'ten %20'ye yükseldiğinde, karışım yağ - göç oranının 0,616'dan 0,953'e kadar arttığını raporlamışlardır [58].

Sanukrishna ve Prakash çalışmalarında soğutma sisteminde en fazla gücü tüketen kompresör elemanında, harcanan bu gücü azaltmak ve daha verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla, kompresör yağı yerine nanoyağlayıcı kullandıklarını söylemişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak PAG, nanopartikül olarak da TiO_2 kullandıklarını belirtmişlerdir. Yazarlar, hazırlamış oldukları nanoyağlayıcının termal ve reolojik davranışlarını incelediklerini bildirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, nanoyağlayıcı hacim fraksiyonlarındaki artışla termal iletkenlik ve viskozitenin arttığını raporlamışlardır. Bununla birlikte, sıcaklığın fazla artışının, termal iletkenlik ve viskozitenin azalmasına neden olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca, aynı hacim fraksiyonu için viskozite artışının, termal iletkenlik artışına oranla daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir [59].

Akinlabi ve diğerkleri çalışmalarında iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde nanoyağlayıcı uygulamalarının sistem performansını arttırdığını belirtmişlerdir. Nanaoyağlayıcı hazırlarken baz sıvısı olarak mineral yağ, nanopartikül olarak da TiO_2 ve SiO_2 kullandıklarını bildirmişlerdir. Sistem içerisinde soğutucu akışkan olarak da R600a şarj edildiğini söylemişlerdir. Deneyler sonucunda, soğutma sistemi güç tüketiminin %8,4 kadar azaldığı raporlanmıştır. Yazarlar, TiO_2 nanopartikülleri ile yapılan deneylerde, SiO_2 nanopartikülü ile yapılan deneylere göre daha iyi sonuçlar elde ettiklerini raporlamışlardır [60].

Cremaschi ve diğerkleri çalışmalarında, buhar sıkıştırırmalı döngülerdeki ısı transferi ve basınç kayıplarına dikkat çekmişlerdir. Genel anlamda bir soğutma çevriminde, kompresör yağının az miktarlarda da olsa soğutucu akışkan içerisine karışıp ısı transferi ve basınç kayıplarına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, ısı eşanjörlerinde meydana gelebilecek aşırı yağlanmanında bu kayıplara sebep olabileceğini söylemişlerdir. Sistem içerisinde bu kayıpları en aza indirgeyip, daha verimli bir sistem performansı sağlamak amacıyla kompresörde nanoyağlayıcı kullandıklarına vurgu yapmışlardır. Kompresör yağı içerisine doğru kütle fraksiyonunda nanopartikül eklendiği zaman kompresör yağının, ısı transfer özelliklerinin gelişeceğini belirtmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak da, Al_2O_3 metal oksiti kullandıklarını belirtmişlerdir. Soğutma sistemi içerisinde soğutucu akışkan olarak R410A kullandıklarını bildirmişlerdir. Ölçümler sonucunda, hazırlamış oldukları nanoyağlayıcının özgül ısısının $0\text{ }^{\circ}C$ ile $20\text{ }^{\circ}C$ aralığında POE'den daha düşük olduğunu raporlamışlardır. Deneyler sonucunda da termal iletkenliğin $5\text{ }^{\circ}C$ 'de 1,1 kat, $40\text{ }^{\circ}C$ 'de ise 1,4 kat daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır [61].

Pico ve diğerkleri deneysel çalışmalarında, soğutma sistemindeki elemanlardan kompresörde nanoyağlayıcı kullanarak, sistemin performansını incelediklerini bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak da elmas kullandıklarını belirtmişlerdir. Baz sıvısı olarak kullandıkları POE içerisine %0,1 ve %0,5 kütle fraksiyonlarında elmas nanoparçacıkları eklediklerini söylemişlerdir. Deneylerde elmas nanoparçacıklarının, yağlama katkı maddesi olarak kullanıldığında; soğutma kapasitesi, güç tüketimi, performans katsayısı ve kompresör sıcaklıkları parametrelerinin deneysel olarak incelendiğini belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, soğutma performans katsayısının %0,1 ve %0,5 kütle fraksiyonları için sırasıyla %4 ve

%8'lik artış gösterdiğini raporlamışlardır. Ayrıca, nanoyağlayıcı kullanıldığında kompresör çıkış sıcaklığının da 4 °C kadar düştüğü rapor edilmiştir [62].

Zaki ve diğerleri deneysel çalışmalarında, otomatik klima sisteminin verimliliğini arttırmaya çalışmışlardır. Soğutma çevrimi içerisindeki kondenser ve evaporatör basınç değerlerinin doğrudan sistem performansı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Sistem içerisinde, kompresör yağı olarak hazırladıkları nanoyağlayıcıyı kullandıklarını bildirmişlerdir. Kompresörde nanoyağlayıcı kullandıktan sonra kondenser ve evaporatör basınç değerlerinin sırasıyla yaklaşık olarak %8,47 ve %3,84 kadar azaldığını raporlamışlardır. Ayrıca nanoyağlayıcı kullanıldığında kompresörün harcamış olduğu güç tüketimininde %17,1 kadar azalma gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak PAG ve nanopartikül olarak da SiO₂ partiküllerini kullandıklarını bildirmişlerdir. Kullanılan nanopartiküllerin boyutlarının yaklaşık olarak 30 nm civarında olduğu belirtilmiştir [63].

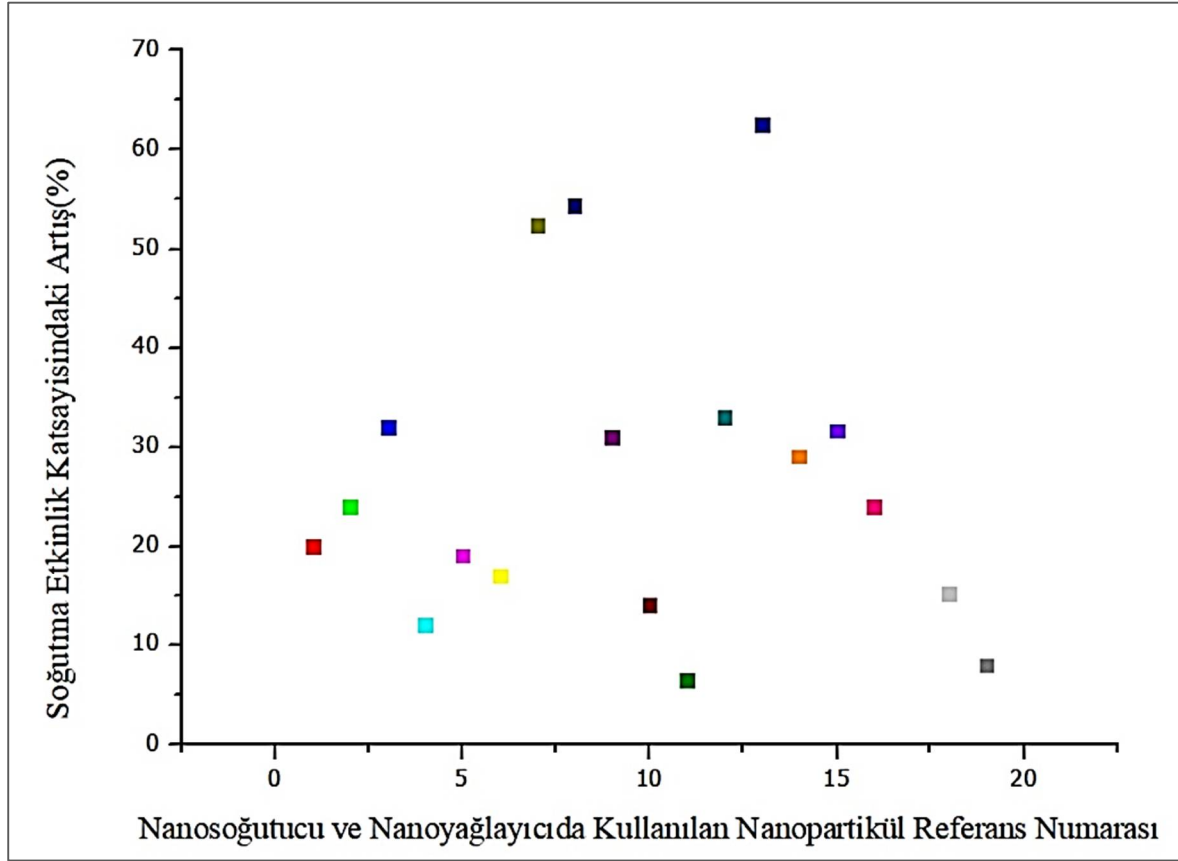
Azziz ve diğerleri çalışmalarında, soğutma sistemlerinde ısı transferinin önemini vurgulamışlardır. Soğutma ve klima sistemlerinde nanoyağlayıcı kullanarak sistem performansının geliştirilebileceğini bildirmişlerdir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak MO4E ve nanopartikül olarak da gümüş partikülleri kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada soğutma çevriminde nanoyağlayıcı konsantrasyonuna bağlı olarak COP ve güç tüketimi değerlerindeki değişimleri raporlamışlardır. En yüksek COP değerini, 0,15 nanoyağlayıcı konsantrasyonunda, 9,964 olarak belirlemişlerdir. Saf yağlayıcı kullanıldığında, COP değerinin 3,704 olarak hesaplandığı düşünüldüğünde, COP değerinde ciddi bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kompresörde saf yağ kullanıldığı zaman ortalama 57 kJ/kg olan kompresör güç tüketiminin; 0,1 ve 0,15 nanoyağlayıcı konsantrasyonları için 25 kJ/kg değerine kadar düştüğü rapor edilmiştir [64].

Soğutma sistemlerinde performansı arttırarak, sistemin daha verimli çalışmasını sağlamak için birçok nanosoğutucu ve nanoyağlayıcı uygulaması mevcuttur [31-64]. Soğutma sisteminin ne kadar verimli çalıştığına dair en önemli parametremiz COP değeridir. Ayrıca; nanosoğutucu ve nanoyağlayıcı uygulamalarında soğutma sistemindeki performanstaki artışın, bir ölçüsü de COP değeridir. Son yıllarda yapılan uygulamalar ve COP değerindeki yüzde olarak artış miktarları yaklaşık olarak Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanılan nanopartiküle karşılık COP değerindeki artış (%)

NO	Çalışma	Referans No	Yıl	Nanopartikül	COP'deki Artış (%)
1	Bandgar ve diğ	[31]	2016	TiO ₂	20,00
2	Sharif ve diğ.	[32]	2018	TiO ₂ - SiO ₂ - Al ₂ O ₃	24,00
3	Ohunakin ve diğ.	[33]	2017	Al ₂ O ₃	31,96
4	Adelakan ve diğ.	[34]	2017	TiO ₂	12,00
5	Yusof ve diğ.	[37]	2015	Al ₂ O ₃	19,06
6	Sabareesh ve diğ.	[41]	2012	TiO ₂	17,00
7	Babarinde ve diğ.	[43]	2020	Grafen	52,38
8	Babarinde ve diğ.	[44]	2020	MWCNT	54,34
9	Anwar ve Randa	[45]	2020	Al ₂ O ₃	31,00
10	Vasu ve diğ.	[46]	2020	Al ₂ O ₃	14,00
11	Nair ve diğ.	[47]	2020	Al ₂ O ₃	6,50
12	Redhwan ve diğ.	[48]	2019	Al ₂ O ₃	33,00
13	Jatinder ve diğ.	[49]	2019	TiO ₂	62,54
14	Chauhan ve diğ.	[50]	2019	TiO ₂	29,10
15	Hamisa ve diğ.	[51]	2019	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	31,64
16	Soliman ve diğ.	[52]	2019	Al ₂ O ₃	24,00
17	Zawawi ve diğ.	[53]	2019	Al ₂ O ₃ - SiO ₂	59,91
18	Alawi ve diğ.	[54]	2019	Al ₂ O ₃	15,13
19	Pico ve diğ.	[62]	2019	Elmas	8,00

Çizelge 2.1. incelendiği zaman, son yıllarda yapılan çalışmaların bir bölümü, yıl bazında verilmiştir. Bununla birlikte kullanılan nanopartikül belirtilmiştir. Çalışmalara bakıldığı zaman yoğun olarak TiO₂ ve Al₂O₃ nanopartiküllerinin kullanıldığı görülmektedir. Soğutma sistemi içerisinde, nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamalarında kullanılan nanopartikül çeşitine göre sistem soğutma etkinlik katsayısındaki yüzde artışı, Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu çalışmalar içerisinde en yüksek COP artışını, Jatinder ve diğerleri nanopartikül olarak TiO₂ nanopartikülü kullanarak elde etmişlerdir [49].



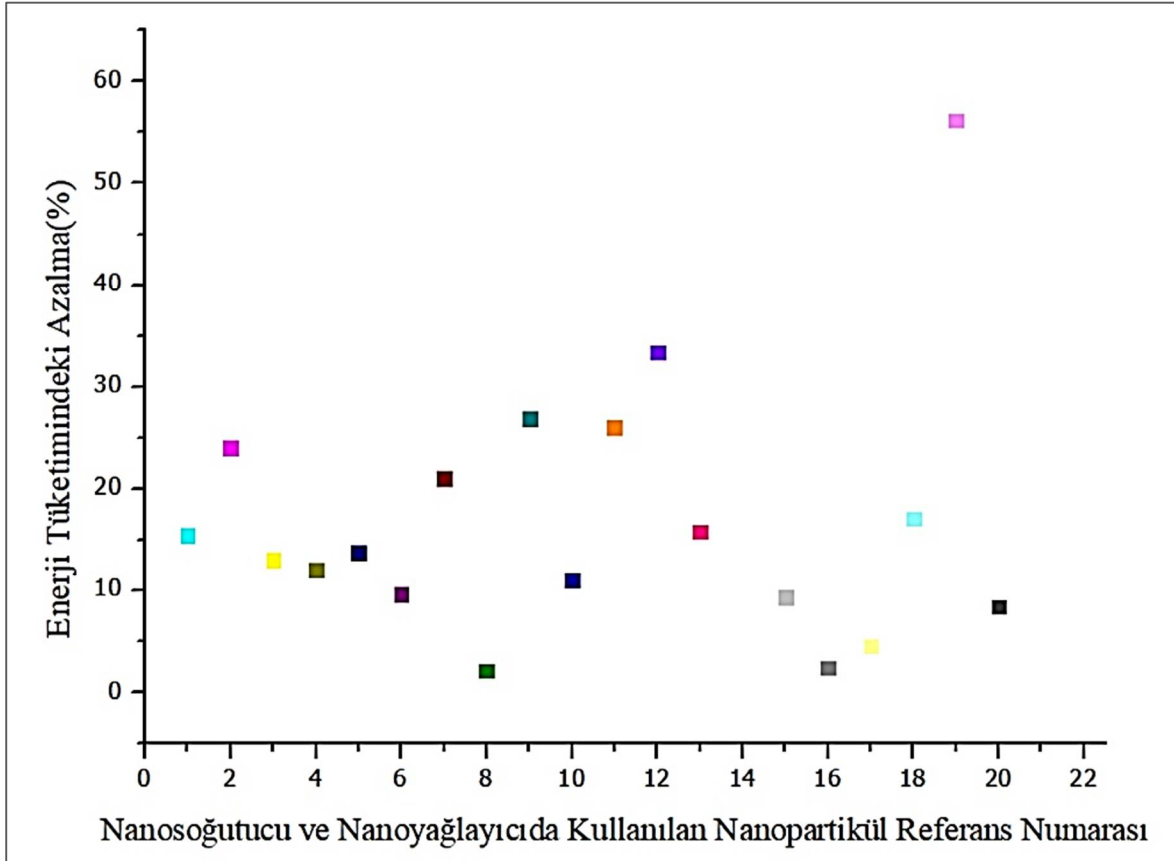
Şekil 2.1. Kullanılan nanopartiküle göre COP değerindeki değişim

Soğutma sisteminin ne kadar verimli çalıştığına dair bir diğer önemli parametre kompresörün tüketmiş olduğu enerji miktarıdır. Soğutma çevrimi için enerjinin neredeyse tamamını kompresör harcadığı için, kompresör güç tüketimi, yaklaşık olarak sistem enerji tüketimini de vermektedir. Nanosoğutucu ve nanoyağlayıcı uygulamalarında soğutma sistemindeki performansdaki artış parametresinin, COP değerinden sonra bir diğer ölçüsü de enerji tüketimidir. Konuyla ilgili, son yıllarda yapılan çalışmalardan bazıları ve bu çalışmalardaki enerji tüketimi değerlerindeki azalma miktarları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kullanılan nanopartiküle karşılık enerji tüketimi miktarındaki azalma (%)

NO	Çalışma	Referans No	Yıl	Nanopartikül	Enerji Tüketimindeki Azalma (%)
1	Bansgar ve diğ.	[31]	2016	TiO ₂	15,40
2	Sharif ve diğ.	[32]	2018	TiO ₂ - SiO ₂ - Al ₂ O ₃	24,00
3	Ohunakin ve diğ.	[33]	2017	TiO ₂	13,00
4	Ohunakin ve diğ.	[33]	2017	SiO ₂	12,00
5	Adelekan ve diğ.	[34]	2017	TiO ₂	13,70
6	Bi ve diğ.	[35]	2011	TiO ₂	9,60
7	Kumar ve diğ.	[36]	2014	ZnO	21,00
8	Yusof ve diğ.	[37]	2015	Al ₂ O ₃	2,10
9	Padmanabhan ve Palanisamy	[38]	2012	TiO ₂	26,90
10	Sabareesh ve diğ.	[41]	2012	TiO ₂	11,00
11	Redhwan ve diğ.	[48]	2019	Al ₂ O ₃	26,00
12	Jatinder ve diğ.	[49]	2019	TiO ₂	33,33
13	Chauhan ve diğ.	[50]	2019	TiO ₂	15,80
14	Soliman ve diğ.	[52]	2019	Al ₂ O ₃	10,00
15	Zawawi ve diğ.	[53]	2019	Al ₂ O ₃ - SiO ₂	9,35
16	Jwo ve diğ.	[55]	2009	Al ₂ O ₃	2,40
17	Lau ve diğ.	[56]	2015	Grafit	4,55
18	Zaki ve diğ.	[63]	2016	SiO ₂	17,10
19	Azziz ve diğ.	[64]	2019	Ag	56,14
20	Akinlabi ve diğ.	[60]	2019	TiO ₂ -SiO ₂	8,40

Çizelge 2.2 incelendiğinde, soğutma sistemlerinde nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamaları için yoğun şekilde kullanılan nanopartiküller verilmiştir. Nanopartiküllere karşılık literatür çalışmaları içinde enerji tüketimindeki en fazla azalmayı, bu çalışmalar içerisinde %33,33 değeri ile Jatinder ve diğerleri çalışmalarında elde etmişlerdir [49]. Soğutma sistemi içerisinde nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamalarında kullanılan nanopartikül çeşitine göre sistem enerji tüketimindeki yüzde olarak azalma miktarları Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Kullanılan nanopartiküle göre enerji tüketimindeki değişim

2.5. Yüzey Aktif Malzemelerin Özellikleri

Yüzey aktif malzemelerin nanoakışkan ve nanosöğütücü içerisinde kullanımına yönelik literatürde birçok çalışma vardır [65-71]. Yüzey aktif malzemelerin bazı özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Yüzey aktif malzemeler için en belirgin karakteristik özellik olarak, uzun hidrokarbon zincirlerine polar gruplarına sahip olmaları gösterilmektedir. Bu uzun hidrokarbon zincirleri, molekülün yüzey aktif özelliğini sağlayan kısım olarak bilinmektedir. Yapı içerisindeki polar grup ise molekülün suda çözünmesini sağlamaktadır. Yüzey aktif malzemeler; anyonik, katyonik, naniyonik, amfoterik ve doğal yüzey aktif malzemeler olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır. Yüzey aktif malzemeler için sınıflandırma, malzeme içerisinde suyu seven yapısal bağ olan hidrofolik grubun özelliğine göre yapıldığı belirtilmektedir [8].
- Yapısal olarak farklılaşmaya neden olan hidrofilik grubun, suda çözündüğünde negatif yük taşıyanları anyonik yüzey aktif malzeme olarak adlandırılmaktadır. Anyonik yüzey

aktif malzemelerin en sıklıkla kullanılanı, *Sodyum dodesil sülfat* olarak bilinmektedir. Yüzey aktif malzeme içerisinde, hidrofil grubu su içerisinde çözündüğü zaman pozitif yük taşıyanlar ise katyonik yüzey aktif malzeme olarak adlandırılmaktadır. Katyonik yüzey aktif malzemelerde sıklıkla kullanılan grup ise *Dodesilpiridintum klorür* olarak bilinmektedir. Herhangi bir şekilde iyonlaşmayan ve eterik oksijenler tarafından yapılan hidrojen bağlarını kullanarak suda çözünebilen grup ise naniyonik yüzey aktif malzemeler olarak bilinmektedir. Bu grup içinde en sıklıkla kullanılan *Polietilen glikol lauril eter* olarak bilinmektedir. Molekül olarak incelendiği zaman, molekül içerisinde, hidrofil grubu olarak hem anyonik hem katyonik grubu birlikte bulunduran grup ise, amfoterik yüzey aktif malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Bu grup içerisinde en yaygın olarak kullanılan ise *Dodesil dimetil amonyum* olarak bilinmektedir. Glukozidler, fosfolipidler, proteinler ve şeker esterleri de doğal yüzey aktif malzemeler olarak bilinmektedir. Bu gruba da örnek olarak *Laurildi glukozid* verilebilir [8].

2.6. Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Yüzey Aktif Malzeme Uygulamaları

Süspansiyon oluştururken; nanaopartiküller, her ne kadar kullanılan baz sıvısına kimyasal olarak uygun seçilmiş olsa da, her zaman süspansiyon içerisinde tam olarak homojen bir dağılım sağlamak pek mümkün değildir. Bununla birlikte süspansiyon içerisinde topaklanmalar ve çökmeler meydana gelmektedir. Tüm bunların önüne geçmek amacıyla nanopartikül boyutu mümkün olduğunca küçük seçilmelidir. Fakat, nanopartikül boyutunun en düşük derecede ayarlanması bile tam olarak hidrofobik özellik sağlayamaz. Bu nedenle, yüzey aktif malzemeler kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutma sistem uygulamalarında yüzey aktif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmaları incelersek [65-71].

Ouikhalfen ve diğerleri deneysel çalışmalarında, konuyla ilgili diğer çalışmalardan farklı olarak nanoakışkan içerisinde yüzey aktif malzeme kullanarak, yüzey aktif maddenin etkilerini incelemişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken hidrotermal işlem ile yüzey modifiye edilmiş TiO_2 nanoparçacıkları, baz sıvısı olarak da Setil-trimetil-amonyum Bromit (CTAB) ve Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoakışkan içerisinde yüzey aktif malzeme olarak CTAB ve SDS kullandıklarını söylemişlerdir. Senetezlemiş oldukları nanopartiküllerin, detaylı olarak termofiziksel özelliklerini ve analizlerini de çalışmada vermişlerdir. Hazırlanan nanopartiküllerin; XRD, FESEM/EDS, TEM, FTIR

analizlerini yaptıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, en iyi değerlerin %1,25 derişimde TiO₂ nanopartikülü ile hazırlanan nanoakışkan ile elde edildiği raporlanmıştır. CTAB ve SDS yüzey aktif malzemeleri kullanıldığında, sırasıyla ısı iletkenliğinde, %15 ve %10 gelişme sağlandığı belirtilmiştir. Nanopartikül olarak kullanılan TiO₂ metal oksitinin yüzey aktif malzemeler ile kaplanırken, partikülün kimyasal yapısında değişiklik olmadığı raporlanmıştır [65].

Tang ve diğerleri deneysel çalışmalarında, baz sıvısı olarak, R141b soğutucu akışkanını, nanopartikül olarak da Al₂O₃ metal oksitini kullanarak nanosoğutucu hazırlamışlardır. Yazarlar, hazırlamış oldukları nanosoğutucunun kaynama ısı transfer özelliklerini test ettiklerini belirtmişlerdir. Deneyler için nanoakışkanların %0,001 ile %0,01 hacim konsantrasyonlarında hazırlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, nanoakışkan içerisinde topaklanmayı önlemek amacıyla SDBS yüzey aktif malzeme kullandıklarını söylemişlerdir. Yüzey aktif malzeme kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlarda, en iyi sonuçların %0,1 hacim konsantrasyonu ile elde edildiği raporlanmıştır [66].

Peng ve diğerleri çalışmalarında, baz sıvısı olarak soğutucu akışkan kullanarak hazırlamış oldukları nanoakışkanda yüzey aktif malzeme kullanımının, nanoakışkan içerisinde kaynama ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkan içerisinde etkilerini incelemek amacıyla SDS, CTAB ve Sorbitan Monooleat (SPAN-80) yüzey aktif maddeleri ile deneylerini gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Soğutucu akışkan bazı nanoakışkan kullanırken, baz sıvısı olarak R113 soğutucu akışkanı, nanopartikül olarak bakır kullandıklarını bildirmişlerdir. Deneyler sonucunda nanoakışkan içerisinde yüzey aktif malzeme kullanımıyla akışkanın ısı transfer özelliklerinin arttığını raporlamışlardır. Bununla beraber, nanoakışkan içerisinde fazla miktarda yüzey aktif malzeme kullanıldığı zaman, kaynatma ısı transferini bozduğunu gözlediklerini bildirmişlerdir. Bu nedenle yüzey aktif malzeme miktarını belirlemek ve bu miktarı, bir oran ile tanımlamak için farklı derişimlerde, Yüzey Aktif Malzeme Geliştirme Oranı (SER) katsayısı tanımladıklarını ifade etmişlerdir. Sonuçlara göre, her bir yüzey aktif malzeme tipi için SER değerinin, yüzey aktif malzeme konsantrasyonu arttıkça, arttığını raporlamışlardır. Hazırlanan nanoakışkanların, kaynama ısı transferi katsayılarının, yüzey aktif malzeme kullanılarak veya kullanılmayarak SER oranlarının; SDS, CTAB ve SAPAN-80 yüzey aktif malzemeleri için sırasıyla; 12-1,67; 0,94-1,39 ve 0,85-1,29 aralığında olduğunu

raporlamışlardır. Sonuç olarak; çekirdek kaynama ısı transferinin, en yüksek nanoparçacık konsantrasyonunda %55,4 kadar arttığını raporlamışlardır [67].

Elghanam ve diğerleri deneysel çalışmalarında, kaynamış ve damıtılmış suya farklı derişimlerde yüzey aktif malzemenin eklenmesiyle, baz sıvısı içerisinde ısı transfer özelliklerini irdelemişlerdir. Deneylerde yüzey aktif malzeme olarak farklı derişimlerde anyonik olarak SDS ve Sodyum Dophne Eter Sğlfat (SLES), katyonik olarak da TX-100 yüzey aktif malzemelerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Sonuçlara göre, baz sıvısı içerisine yüzey aktif malzeme eklenmesiyle birlikte fiziksel ve termal özelliklerde gelişim sağlandığı raporlanmıştır. Yüzey aktif malzeme eklenmesiyle birlikte; SDS, SLES ve TX-100 malzemeleri için ısı transfer katsayısının sırasıyla, %132, %194 ve %240 oranlarında arttığını raporlamışlardır [68].

Choi ve diğerleri çalışmalarında, yüzey aktif malzemelerin nanoakışkanların süspansiyon stabilitesi ve emilimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkan hazırlarken, nanopartikül olarak MWCNT kullandıklarını bildirmişlerdir. Nanoakışkan içerisinde karbon nanotüp parçacıklarının topaklanmasını engellemek amacıyla farklı derişimlerde SDBS, CTAB, SDS ve TX-100 yüzey aktif malzemeleri kullandıklarını bildirmişlerdir. Hazırlanan nanoakışkanları, solar termal alıcılarda çalışma sıvısı olarak kullandıklarını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda, yüzey aktif malzeme eklenmiş MWCNT nanoakışkanlarının, güneş enerjili ısı sistemde kullanıldığı zaman, emme oranını arttırdığını raporlamışlardır. Çalışmada yüzey aktif malzemelerin düşük ve yüksek sıcaklıklarda (10 °C ve 85 °C), kısa ve uzun zaman dilimlerinde (3 saat ve 1 ay) süspansiyon stabilitesi üzerine etkilerini incelediklerini belirtmişlerdir [69].

Arasu ve diğerleri çalışmalarında, baz sıvısı olarak su ve nanopartikül olarak TiO₂ ve gümüş partiküllerini kullanarak nanokompozit sıvısı hazırlamışlardır. Nanokompozit sıvısı içerisinde de SDS ve SDBS yüzey aktif malzemelerinin farklı miktardaki konsantrasyonlarının etkisini incelemişlerdir. Deneylerde, farklı ağırlık fraksiyonlarında (0,1; 0,3; 0,5; 0,7) yüzey aktif malzeme kullandıklarını belirtmişlerdir. Nanokompozit sıvısı hazırlandıktan sonra akışkanın termal iletkenlik, kararlılık ve termofiziksel etkileşimlerini incelediklerini bildirmişlerdir. Sonuç olarak, baz sıvısı olarak kullanılan su içerisine TiO₂ ve gümüş nanopartikülleri kullanıldığı zaman termal iletkenliğin %12,2 kadar arttığını, %0,1 oranında SDS yüzey aktif malzemesinin eklenmesiyle termal

iletkenliğin %29,6 oranında arttığını, %0,1 oranında SDBS yüzey aktif malzemesinin eklenmesiyle de termal iletkenliğin %2,1 daha arttığını raporlamışlardır. Ayrıca çalışmada zeta potansiyeli değeri içinde ölçüm yaptıklarını belirtmişlerdir. Nanokompozit malzeme içerisinde ağırlıkça %0,1 oranında SDS yüzey aktif malzeme kullanılmasıyla zeta potansiyelinin -26,2 mV, ağırlıkça %0,1 oranında SDBS yüzey aktif malzeme kullanılmasıyla da zeta potansiyelinin -50,7 mV ölçüldüğünü raporlamışlardır [70].

Al-Waeli ve diğerleri çalışmalarında, baz sıvısı olarak su, nanopartikül olarak da nano-silisyum karbür kullanarak nanoakışkan hazırladıklarını bildirmişlerdir. Hazırlamış oldukları nanoakışkan içerisinde homojenliği sağlayıp, daha hidrofobik özellik kazandırmak amacıyla akışkan içerisinde beş farklı yüzey aktif malzeme kullanarak, deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada termal iletkenlik ile temel olarak kararlılık süresini incelediklerini bildirmişlerdir. Deneylerde yüzey aktif malzeme olarak ayrı ayrı %0,1 ml kadar CTAB ve SDS kullanarak termal iletkenliği arttırmaya çalıştıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada daha büyük miktarlar da (0,5 ml'den fazla) yüzey aktif malzeme eklenmesinin, nanoakışkanın yoğunluk ve viskozitesinde çok az oranlarda artışa neden olduğu, ancak termal iletkenlikte küçük bir azalmaya neden olduğunu raporlamışlardır [71].

Nanoakışkanlar, nanosoğutucular ve nanoyağlayıcılarla ilgili yapılan çalışmalarda, ısıtma ve soğutma sistemlerinin endüstrideki ve gündelik hayatımızdaki önemine dikkat çekilmektedir. Bu nedenle, bu sistemlerde taşınım ile ısı transferinin önemi vurgulanarak akışkanın termofiziksel özelliklerinin farklılaştırılarak, ısı transfer özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmektedir. Akışkan içerisinde termofiziksel özelliklerin değiştirilerek, termal performansın artırıldığı birçok nanoakışkan uygulaması daha önce yapılmıştır. Isıtma sistemlerinde, geleneksel katı-sıvı süspansiyonlarına göre birçok avantajı olan nanoakışkan uygulamalarının sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir [65-71].

Soğutma sistemleri için nanoyağlayıcı hazırlayarak termofiziksel ve reolojik özelliklerin araştırıldığı deneysel çalışmalar sınırlıdır. Soğutma sistemleri için nanosoğutucu ve nanoyağlayıcı kullanarak sistem içerisinde enerji verimliliği sağlamak mümkündür. Konuyla ilgili yapılan deneysel çalışmalarda özellikle sistem içerisinde en fazla enerjiyi harcayan kompresör elemanında, verimlilik çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Ayrıca; soğutma sistemlerinde, nanoyağlayıcı kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalarda, genel olarak

ısı transferi ve basınç kayıplarını azaltma, sistemin harcamış olduğu enerjiyi azaltma, COP değerinde artış sağlamak, konuları üzerinde durulmuştur [8, 31-64].

Soğutma makinelerinde, sistem performansını arttırmaya yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde, soğutma sisteminde iki şekilde verimliliğin artırılabilceği vurgulanmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda; soğutucu akışkan yerine nanosoğutucu ve kompresör yağı yerine de nanoyağlayıcı kullanılarak sistemde performansın artırılabilceği görölmektedir. Nanosoğutucu hazırlarken, gaz fazda olan soğutucu akışkan ve katı fazda olan nanopartiköller ile homojen bir karışım hazırlamanın olduğa zor olduğu görölmektedir. Literatürde var olan bu tarz çalışmalarda net olarak bir yöntem verilmediği görölmektedir. İki farklı fazda olan maddenin birbiriyle karıştırılmasındaki zorluklar da öngörölmektedir. Nanosoğutucu hazırlarken soğutucu akışkan içerisine nanopartiköllerin püskürtme yöntemi ile karıştırıldığı bilinmektedir. Fakat, soğutucu akışkan içerisinde katı nanopartiköllerin asılı kalması pek mümkün görünmemektedir [31-64].

Nanosoğutucu tam olarak homojen ve hidrofobik özellik gösteremediği için sistem performansını dengeli bir şekilde arttırmak zordur. Bu nedenle soğutma çevrimi içerisinde verimlilik çalışmalarında ikinci bir yöntem olan; hazırlanan nanoyağlayıcının, kompresör yağı olarak kullanılması bu tez çalışmasında tercih edilmiştir. Nanoyağlayıcıda sıvı fazda olan baz sıvısı yağ ile katı fazdaki nanopartiköllerini homojen olarak karıştırmak daha uygundur. Fakat bu tarz süspansiyonlarda, nanoyağlayıcının hidrofobik özellik göstermesi önemlidir. Bu nedenle nanoyağlayıcı çalışmalarında pek sıklıkla görölmeyen yüzey aktif malzeme kullanımı bu tez çalışmasında ön plana çıkmaktadır. Soğutma sistemlerinde enerjinin neredeyse tamamına yakını kompresörlerin harcadığı da bilinmektedir. Bu nedenle kompresör yağına müdahale edilmesi sonucunda, kompresör çıkış sıcaklığı azaltılarak sistemin daha verimli çalışması sağlanabilir. Literatürdeki nanoyağlayıcı çalışmalarında genellikle nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE, PAG veya MO kullanıldığı görölmektedir. Bu yağların kullanılmasındaki temeldeki etken olarak, bu yağların soğutucu akışkanların birçoğu ile uyum içerisinde çalıştığı gösterilmektedir [30].

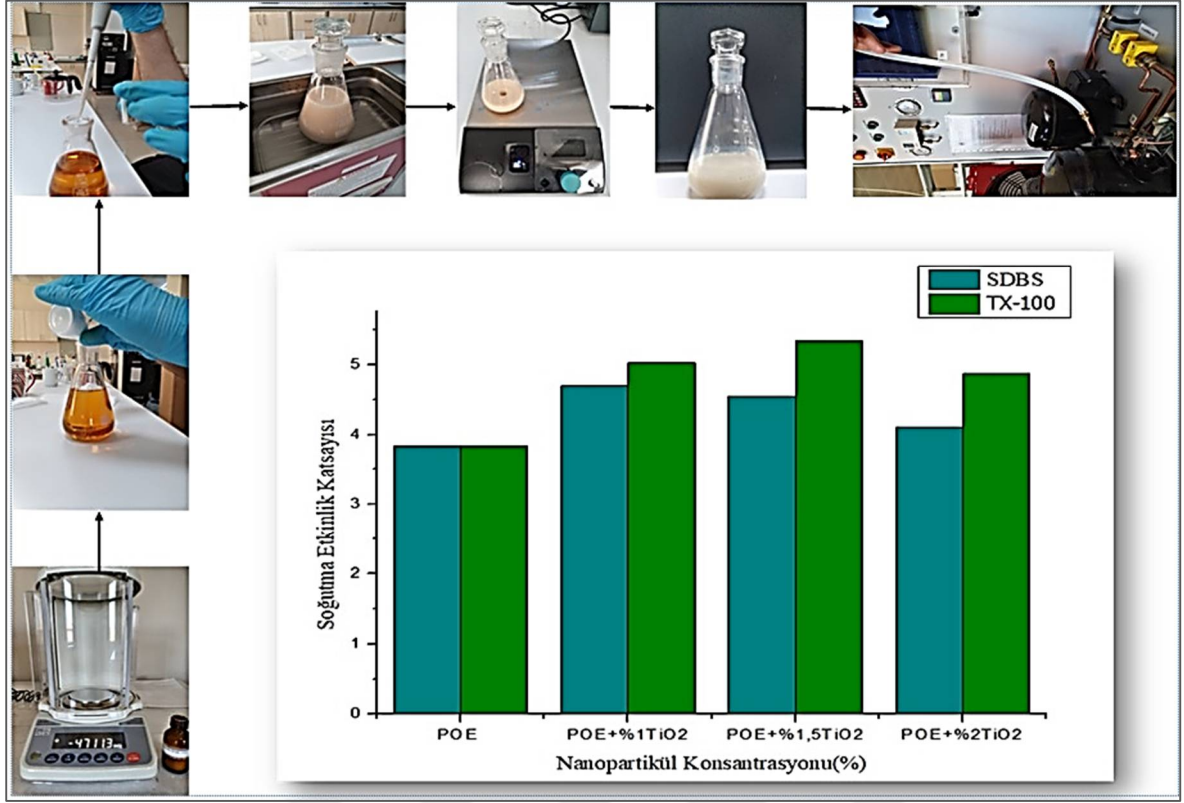
Literatürde verildiği üzere, yapılan çalışmalarda genel olarak baz sıvısı içerisinde nanopartiköl olarak TiO_2 ve Al_2O_3 nanopartiköllerini ile daha iyi sonuçlara ulaşıldığı görölmektedir [58-59]. Metal oksit partiköllerinin hacim fraksiyonları arttıkça termal özelliklerin arttığı çalışmalarda vurgulanmaktadır. Sanukrihna S.S. ve Prakash M.S.'nin

deneysel çalışmalarında bu duruma özellikle dikkat çektikleri görülmektedir. Çalışmada 0,07 ile 0,8 hacim fraksiyonlarında PAG/TiO₂ nanoyağlayıcısı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda moleküllerin hacim fraksiyonlarının artmasıyla birlikte, nanoyağlayıcının viskozitesinin ve termal performansının arttığını belirtmişlerdir [59].

Süspansiyon içerisinde, nanopartikül için belirli bir hacim fraksiyonunun üzerine çıkıldığında, homojen bir karışım oluşması beklenemez. Bunun sebebi de nanoyağlayıcı içerisinde nanopartikülün hacim fraksiyonu arttıkça nanoyağlayıcı içerisindeki hidrofobik özelliğin kaybolduğu, homojenliğin azaldığı ve yüzey gerilmelerinin meydana geldiği belirtilmektedir. Nanoakışkanlarla ilgili yapılan bir çalışmada yüzey aktif malzemeler için SER oranının belirlendiği görülmektedir. SER oranına göre yüzey aktif malzeme için kütle fraksiyonu fazla arttırıldığında ısı transfer özelliklerinin azaldığı sonucuna varılmıştır [67].

Yapılan bu tez çalışmasında nanoyağlayıcı için daha iyi termal özellikler sağlamak amacıyla, bu yüzey gerilmelerinin önüne geçmek ve daha homojen bir dağılım sağlamak amacıyla, nanoyağlayıcı içerisinde SDBS ve TX-100 yüzey aktif malzemeleri ile deneyler yapılarak, yüzey aktif maddelerinin termal performansına olan etkileri verilmiştir. Nanoakışkanlarda görülen bu durumun nanoyağlayıcılar içinde geçerli olabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında yüzey aktif malzemenin en etkin kütle fraksiyonunda kullanılması amaçlanmıştır. Nanoyağlayıcı içerisinde kullanılacak olan nanopartikülün en düşük parçacık boyutunda kullanılması da hedeflenmektedir. Eğer nanoparçacıklar düşük boyutlarda kullanılmaz ise soğutma çevrimi içerisinde tıkanmalara sebebiyet verebileceği öngörülmüştür. Bu tıkanmalara sebebiyet verecek bir değer etken olarak nanoyağlayıcının homojen olarak karışmamış olması gösterilebilir. Bu nedenle hazırlanan nanoyağlayıcı hem ultrasonik su banyosunda hem de manyetik karıştırıcıda bekletilmiştir.

Tez çalışmasında, kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcı içerisinde, yüzey aktif malzemelerin kullanımı ve nanoyağlayıcıda kullanılan nanopartikül kütle fraksiyonunun arttırılması ile çalışma sıvısının ısı transfer özelliklerinin literatüre göre geliştirilmesi amaçlanmıştır. Nanoyağlayıcı için termal özelliklerin incelenmesiyle, nanoyağlayıcının soğutma makinesinde uygulamaları ile ilgili eksiklerde literatürde göze çarpmaktadır. Şekil 2.3'te tez çalışmasının grafiksel bir özeti verilmektedir.



Şekil 2.3. Tez çalışması için grafiksel özet

Tez çalışmasında; baz sıvısı, farklı kütle fraksiyonlarında nanopartikül ve yüzey aktif malzeme kullanılarak nanoyağlayıcı hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcının soğutma makinesinde kompresör yağı olarak kullanılmasıyla sistemin termofiziksel özellikleri ve termal performansı iyileştirilmek istenmiştir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken farklı kütle fraksiyonlarında TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN kullanılmıştır. Ayrıca farklı tip yüzey aktif malzemeler kullanılarak sistem performansı test edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı literatürde daha önce incelenmemiş olan aşağıdaki konuları araştırmaktır:

- Çalışma da literatürde çok fazla rastlanmayan hBN nanopartikülünün yüzey aktif malzeme ile birlikte nanoyağlayıcı hazırlamak için kullanılması,
- Daha önce mineral yağlarla test edilmiş TiO_2 nanoparçacıklarının soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan POE yağlarıyla kullanımı ve sentez ürünü olan nanopartiküllerin boyut olarak uygun seviyede kullanılmış olması,

- Nanoakışkan uygulamalarında sıklıkla kullanılan yüzey aktif malzemelerin, POE/TiO₂, POE/Al₂O₃ ve hBN/POE oluşan nanoyağlayıcı süspansiyonunda topaklanmaları önlemek amacıyla kullanılmış olması,
- POE/TiO₂, POE/Al₂O₃ ve POE/hBN nanoparçacık-süpfaktans karışımının soğutma sistemi performansı üzerine etkisinin detaylı olarak analiz edilmesi,

tez çalışması için ayırt edici özelliklerdir.





3. MATERYAL VE YÖNTEM

Soğutma çevrimlerinde, hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, sistemin termal performansını arttırmaya yönelik çalışmalarda, çevrimdeki temel dinamik ile çevrim içerisinde kullanılan malzemelerin üretim süreçleri, özellikleri ve materyallerin birbiriyle fiziksel ve kimyasal uyumları önemlidir. Deney düzeneğinde ölçümlerin doğru alınması ve kullanılan malzeme ve materyallere uygun deney düzeneğinin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, süspansiyon içerisindeki nanopartiküllerin ve yüzey aktif malzemelerin homojen olarak birbirine karışması gerekmektedir. Sistem içerisinde tıkanıklıklara sebep olmamak ve çalışma sıvısında hidrofobik özellik sağlamak için nanopartiküllerde boyut analizi yapılmıştır. Nanopartiküller için fiziksel ve kimyasal analizlere çalışmada yer verilmiştir.

Bu bölümde deney düzeneği, ölçüm cihazları, nanoyağlayıcı bileşenleri ile tüm analizler paylaşılmıştır. Materyal ve malzemelerin hangi şartlarda oluşturulduğu, hangi yöntemlerle analiz edildikleri anlatılmıştır.

3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Deney Düzeneği

Bu deneysel çalışmada basit bir soğutma düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğindeki soğutma sisteminin temel elemanları kompresör, evaporatör, kondenser ve genişleme valfi çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde, en önemli ekipman kompresördür. Çünkü deneylerdeki temel amacımız, sistemde enerji verimliliğini sağlamaktır ve bu soğutma çevrimi içerisinde enerjinin neredeyse tamamını kompresörün harcadığı bilinmektedir.

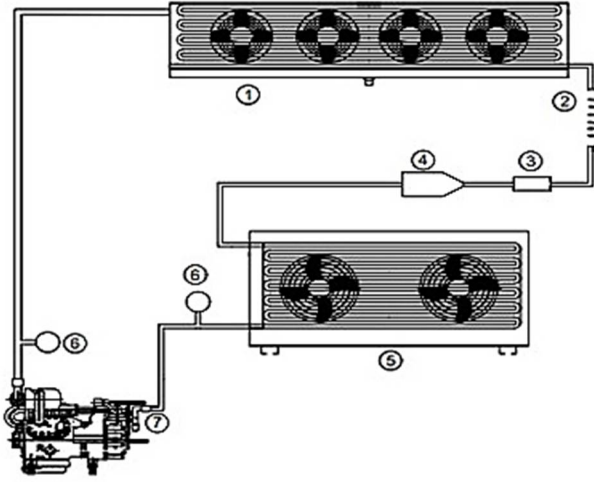
Soğutma sistemi çalıştırıldıktan sonra, ölçümleri almak için sıcaklık ve basınç sensörleri kullanılmaktadır. Düzenek içerisinde temel ekipmanların giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek amacıyla dokuz tane sıcaklık sensörü yer almaktadır. Bu sıcaklık sensörleri Pt 100 tipi termokupllardır. Alçak ve yüksek basınç değerlerini ölçmek için de sistemde üç tane basınç sensörü vardır. Basınç ölçümleri için kullanılan bu analog ölçüm sensörleri, Refco mr-205-ds ve Refco-mr-305-ds bourdon tipi yağlı manometrelerdir. Resim 3.1’de deney düzeneğine ait görünüm verilmiştir.



Resim 3.1. Deney düzeneğine ait görünüm

Deney düzeneğinde kompresör giriş ve çıkış sıcaklığı, kondenser giriş ve çıkış sıcaklığı, evaporatör giriş ve çıkış sıcaklığı ve alçak-yüksek basınç değerleri sistem üzerindeki sensörler vasıtasıyla ölçülerek, düzenek üzerinde ölçüm ekranından alınmıştır. Sistemdeki soğutucu akışkan debisi, debimetre yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri santigrad derece, basınç değerleri bar, debi değeri g/s birimlerinde, sistemden çıktı olarak alınmıştır.

Şekil 3.1’de deney düzeneğinin temel ekipmanlarını içeren bir çizim çıktısı yer almaktadır. Şekil üzerinde 1 numaralı ekipman evaporatörü, 2 numaralı ekipman kapılar tüpü, 3 numaralı eleman debimetreyi, 4 numaralı ekipman kurutucu filtresini, 5 numaralı eleman kondenseri, 6 numaralı eleman genleşme valfini ve 7 numaralı eleman da kompresörü göstermektedir.



Şekil 3.1. Soğutma çevriminin şematik çizimi

Soğutma deney düzeneği üzerindeki sıcaklık sensörleri vasıtası ile elde edilen sıcaklık değerleri ve basınç sensörleri vasıtası ile elde edilen basınç değerleri önemlidir. Çünkü bu sıcaklık ölçüm değerlerine bağlı olarak termodinamiksel tablolar vasıtası ile entalpi değerleri hesaplanmıştır. Bu entalpi verileri üzerinden güç tüketimi, ortamdan çekilen ısı miktarları ve soğutma tesir katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde evaporatöre gelen soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre sıcaklığından daha düşük olduğu için evaporatör, çevreden $\dot{Q}_L$ miktarındaki ısıyı alarak tekrar buhar faza geçecektir. Alınan bu ısı miktarı, Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanır [72];

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_{ort}) \quad (3.1)$$

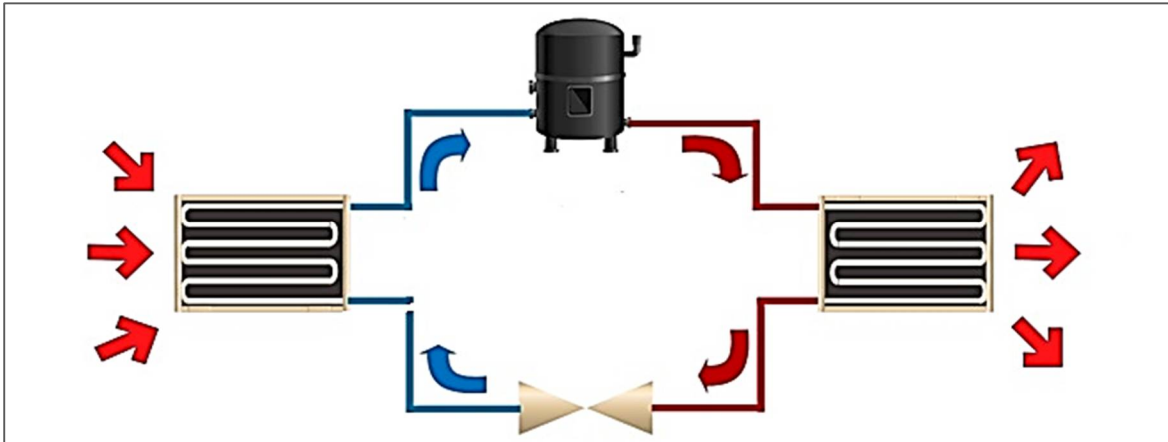
Burada $\dot{m}$ kütleli debi miktarıdır ve g/s birimindedir. h_1 değeri termodinamiksel olarak doymuş buhar tablosundan evaporatör elemanının çıkışındaki sıcaklık değerinin karşılığıdır ve bu entalpi değeri kJ/kg birimindedir. Eşitlik 3.1'deki h_{ort} değeri ise termodinamiksel olarak doymuş sıvı tablosundan kondenser çıkışındaki sıcaklık değerinin entalpi karşılığı h_3 ile evaporatör girişindeki sıcaklık değerinin entalpi karşılığı h_4 'ün aritmetik ortalamasıdır ve birimi kJ/kg olarak verilmektedir. Soğutma çevrimi için kompresörün yapmış olduğu iş $\dot{W}_C$ ile gösterilir ve Eşitlik 3.2'deki gibi hesaplanır [72].

$$\dot{W}_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3.2)$$

Bu formülde $\dot{m}$ değeri, aynı şekilde sistem içerisindeki soğutucu akışkan miktarının g/s olarak karşılığı göstermektedir. Formülde h_1 değeri termodinamiksel olarak doymuş buhar tablosundan kompresör girişindeki sıcaklık değerinin kJ/kg olarak entalpi karşılığıdır. Formülde h_2 ise kızgın buhar tablosundan kompresör çıkışı yüksek basınç bölgesi için, sıcaklık değerinin kJ/kg olarak entalpi karşılığıdır. Soğutma makinesi için COP değeri sistemde elde edilmek istenen değerin harcanan değere oranı olarak bulunmaktadır. Soğutma çevrimi için elde edilmek istenen değer evaporatörün dışarıya atmış olduğu ısıdır. Harcanan değer ise kompresörün yapmış olduğu iştir. COP değeri aşağıdaki Eşitlik 3.3 yardımı ile hesaplanır [72].

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_C} \quad (3.3)$$

Şekil 3.2’de deneylerde kullanılan soğutma çevriminin şematik olarak gösterimi verilmiştir. Deney düzeneğinde 350 gr. kadar R134a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Deneyler gerçekleştirilirken, güvenli ölçüm sonuçları almak için aynı ortam koşullarında, deneyler arka arkaya üçer kez tekrarlanarak yapılmıştır. Ayrıca; her bir deney öncesinde kompresör içerisindeki nanoyağlayıcı değiştirilirken, kompresörün içi azot gazı ile temizlenmiştir.



Şekil 3.2. Soğutma çevriminin şematik diyagramı

3.2. Nanoyağlayıcı İçerisinde Kullanılan Nanopartiküllerin Özellikleri

Bu tez çalışmasında nanoyağlayıcı hazırlanırken; baz sıvısı ve yüzey aktif malzemesiyle ısı transferini arttırmak için nanopartikül olarak metal oksitler kullanılmıştır. Nanopartikül

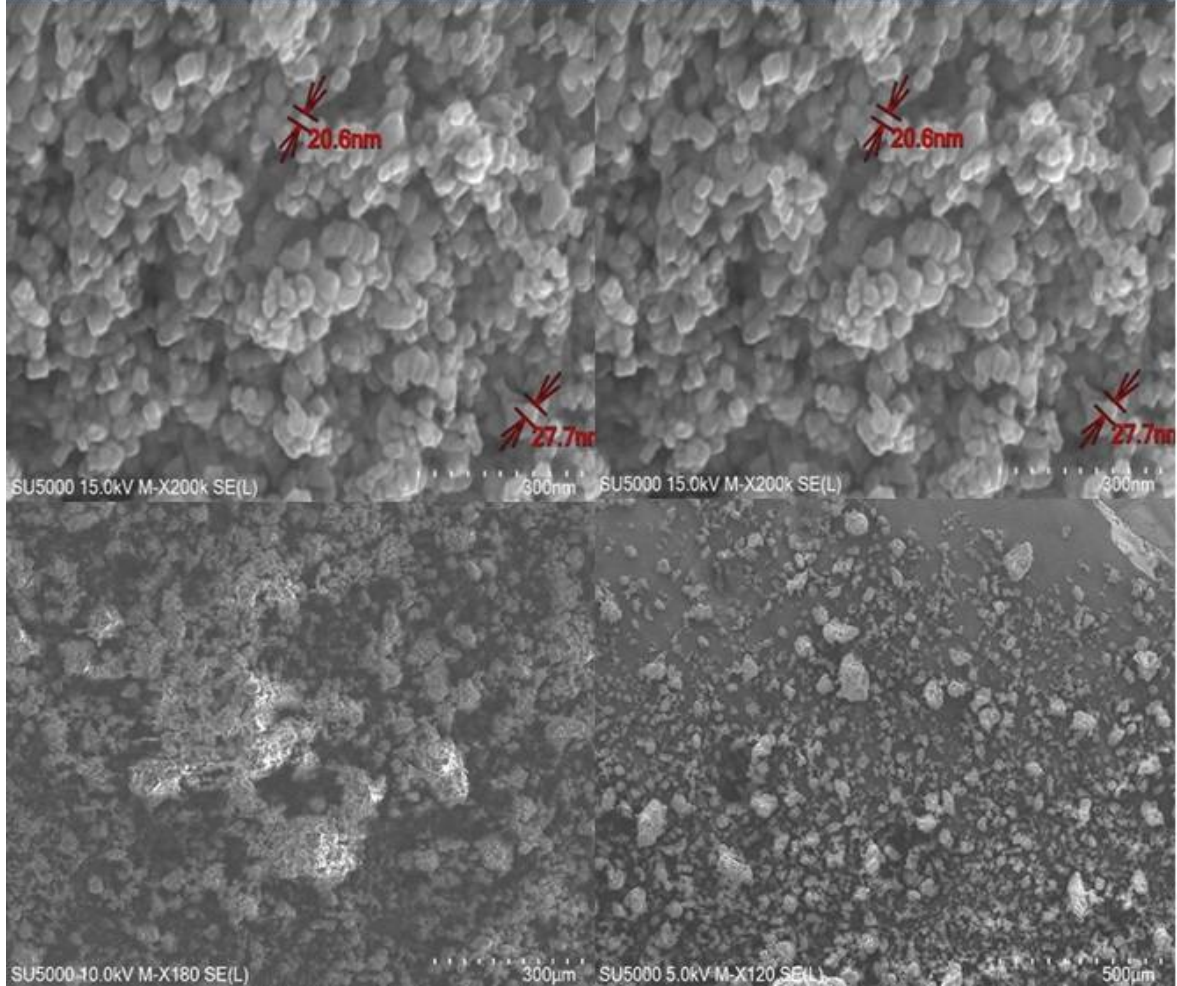
olarak çalışmada TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN partikülleri tercih edilmiştir. Nanoakışkanlar; içerisinde kullanılan nanopartiküllere göre; seramik nanoakışkanlar, saf metal nanoakışkanlar, alaşımlı nanoakışkanlar, karbon esaslı nanoakışkanlar olmak üzere dört grupta incelenmektedir. TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN nanopartikülleri de seramik nanoakışkanlar grubunda yer almaktadır [7].

Seramik grubu; nanoakışkan, nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu duruma sebep olarak, seramik grubundaki nanopartiküllerin çok kolay sentezlenmesi ve diğer gruplara göre süspansiyon içerisinde daha kararlı yapısal özellik göstermesi belirtilmektedir. Nanoparçacık üretim yöntemleri incelendiği zaman, iki tane üretim yöntemi olduğu bildirilmektedir. Bunlardan birinci yöntem; büyük parçalardan nano boyuttaki küçük tanelerin elde edilmesi yöntemidir. Bu yöntemde öğütücü ekipmanının önemli bir yeri vardır. Diğer yöntem ise küçük parçalardan büyük parçaların elde edilmesidir. Bu yöntemde maddenin en küçük yapı taşı olan atomdan başlanarak, farklı kimyasal etki ve yöntemler kullanarak, istenilen boyutta nanoparçacık elde edilmesidir [7, 73-74].

Yapılan bu deneysel çalışmada, ticari olarak temin edilen TiO_2 nanopartikülleri, nanoyağlayıcı hazırlanırken kullanılmıştır. Çalışmada farklı derişimlerde kullanılan nanopartiküllerin soğutma çevrimindeki etkileri farklı analizler ile desteklenmektedir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken kullanılan TiO_2 nanopartikülleri yaklaşık olarak 18 nm boyutundadır. Boyut ölçümü için nanopartiküllerin SEM görüntüleri alınmıştır. Resim 3.2’de nanopartiküllerin SEM görüntüsü yer almaktadır. Nanopartiküle ait SEM görüntüleri KMU-BİLTEM’de bulunan SEM cihazı ile alınmıştır. SEM görüntüsünde, partiküllerin molekül büyüklükleri yaklaşık olarak görülmektedir. Nanopartiküle ait bütün yapısal içeriğin morfolojik analizleri, SEM cihazı tarafından farklı büyütme oranlarında görüntülenmiştir. Farklı büyüklüklerde görüntüler alınmasındaki amaç, partikülün yüzey fizyolojik özelliklerinin detaylı bir şekilde görüntülenmesidir.

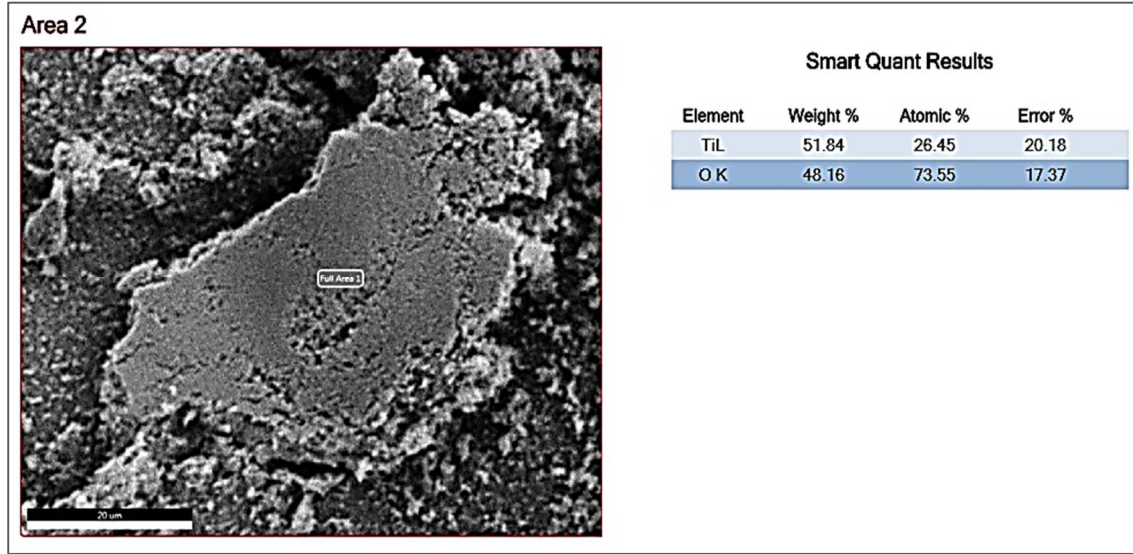
Soğutma sistemlerinde kullanılacak olan, nanoyağlayıcı içerisindeki nanopartiküllerin boyutunun nano seviyede olması, homojen bir süspansiyon oluşturmak için önemlidir. Büyük boyutlardaki nanopartikül parçaları, sistem içerisinde bakır borularda kurutucu filtrelerinde ve genişleme valfinden tıkanmalara neden olarak, soğutma sisteminin

performanslı çalışmasını engelleyebilir. Bu nedenle çalışma içerisinde nanopartikül boyut analizi önemlidir.



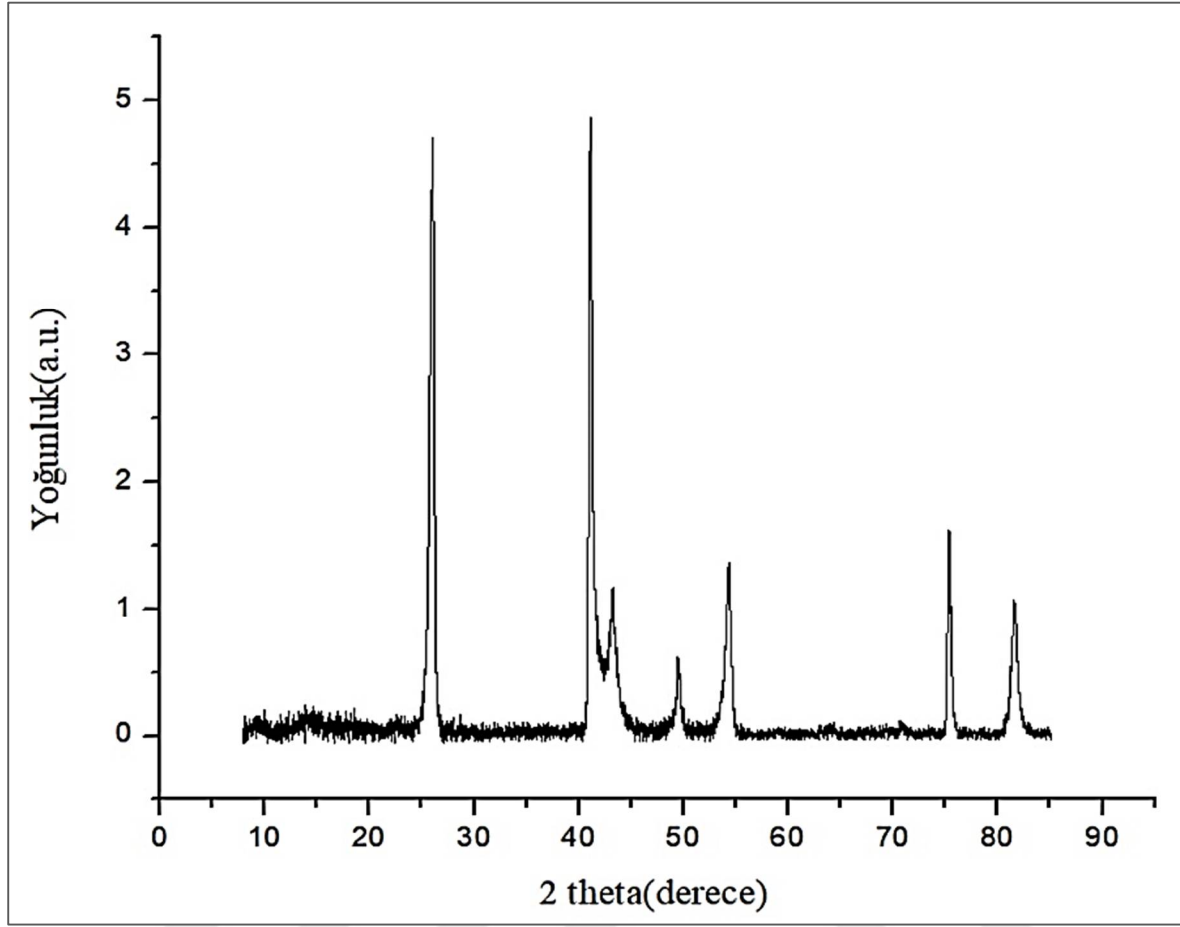
Resim 3.2. TiO_2 nanopartiküllerinin SEM görüntüsü

SEM cihazından alınan görüntülerin yanında, TiO_2 nanopartikülleri için Elektron Dağıtıcı X-Ray (EDAX) analizi de yapılmıştır. Resim 3.3'te, TiO_2 nanopartiküllerine ait EDAX analiz görüntüleri ve içeriği verilmiştir. Nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan TiO_2 nanopartiküllerinin, istenilen saflık düzeyinde olduğunu bu analizlerden anlayabiliriz. Nanopartikül içerisinde %48,16 oranında titanyum ve %51,84 oranında da oksit molekülleri yer almaktadır.



Resim 3.3. TiO_2 nanopartiküllerinin EDAX analizi

TiO_2 nanopartikülleri için KMU-BİLTEM’de, , X-ışını difraksiyonu (XRD) analizi de yapılmıştır. Partikül için XRD analizi, bu çalışma için önemlidir. XRD analizi; mevcut bir numunede tanecik büyüklüğünü, kristal fazları ve tercihli yönelim gibi yapısal özelliklerin incelenmesi noktasında kullanılan bir analizdir. Yapılan analizlere göre, XRD sonuçları Şekil 3.3’te verilmiştir. XRD sonuçları grafiğe döküldüğü zaman, literatürde de var olduğu gibi, yedi tane pik noktası oluşmuştur [75].



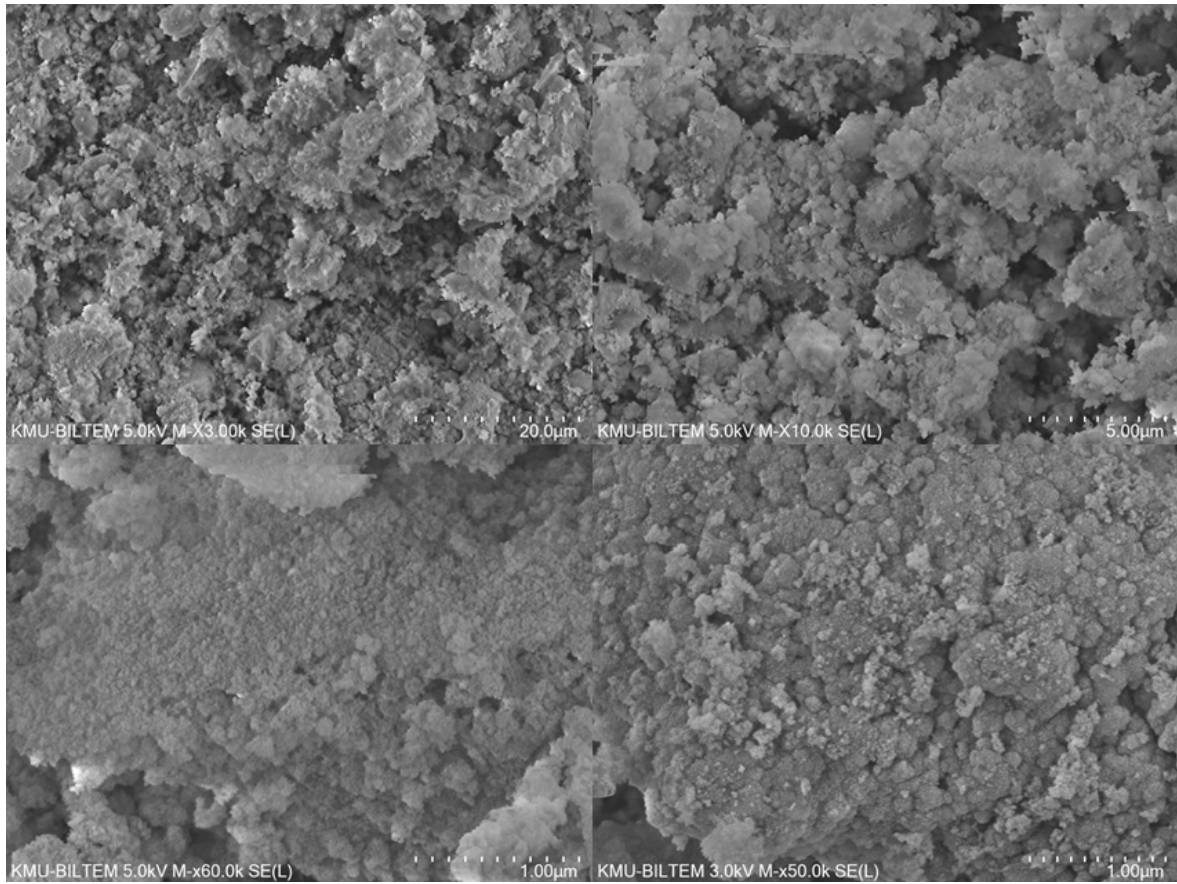
Şekil 3.3. TiO₂ nanopartikülleri için XRD analizi

Şekildeki pik noktaları ve adlandırmaları Çizelge 3.1’de verilmiştir. TiO₂ için pik noktalarının adlandırmaları; 26 derece (theta) için A101 pik noktası, 42 derece (theta) için A004 pik noktası, 43 derece (theta) için R111 pik noktası, 50 derece (theta) için A200 pik noktası, 54 derece (theta) için R211 pik noktası, 76 derece (theta) için A215 pik noktası, 82 derece (theta) için de A224 pik noktası şeklinde literatürde verilmektedir [75-76].

Çizelge 3.1. TiO₂ nanopartikülleri için tepe noktaları [75-76]

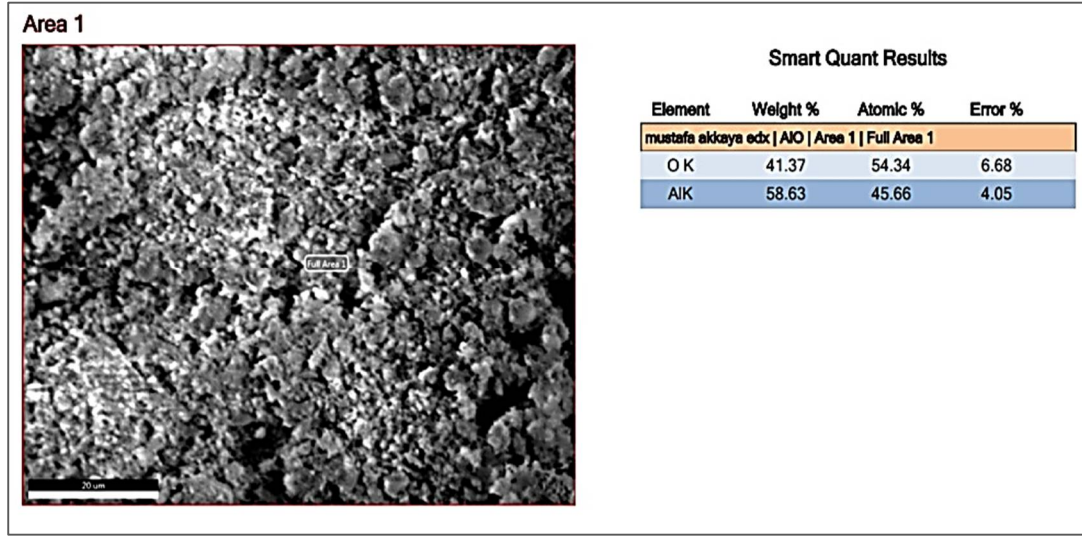
26 Derece (theta) - A101 Tepe Noktası
42 Derece (theta) - A004 Tepe Noktası
43 Derece (theta) - R111 Tepe Noktası
50 Derece (theta) - A200 Tepe Noktası
54 Derece (theta) - R211 Tepe Noktası
76 Derece (theta) - A215 Tepe Noktası
82 Derece (theta) - A224 Tepe Noktası

Nanoyağlayıcı hazırlayarak, deneyleri gerçekleştirmek için bu tez çalışmasında kullanmış olduğumuz bir diğer nanopartikül Al_2O_3 nanopartikülüdür. Al_2O_3 nanopartikülü kolay sentezlenebilir ve kararlı bir yapıya sahip olmasından dolayı nanoyağlayıcı içerisinde kullanımı uygun olan bir metal oksit grubudur. Çalışmada kullanılan Al_2O_3 partikülü ticari olarak temin edilmiştir. Yapılan analizler ve görüntülemeler sonucunda, kullanılan Al_2O_3 nanopartiküllerinin yaklaşık 18 nm boyutunda olduğu söylenebilir. Kullanmış olduğumuz Al_2O_3 nanopartikülleri için boyut ve içerik analizi KMU-BİLTEM’de SEM cihazı ile yapılmıştır. Partiküle ait SEM görüntüleri, Resim 3.4’de verilmiştir.



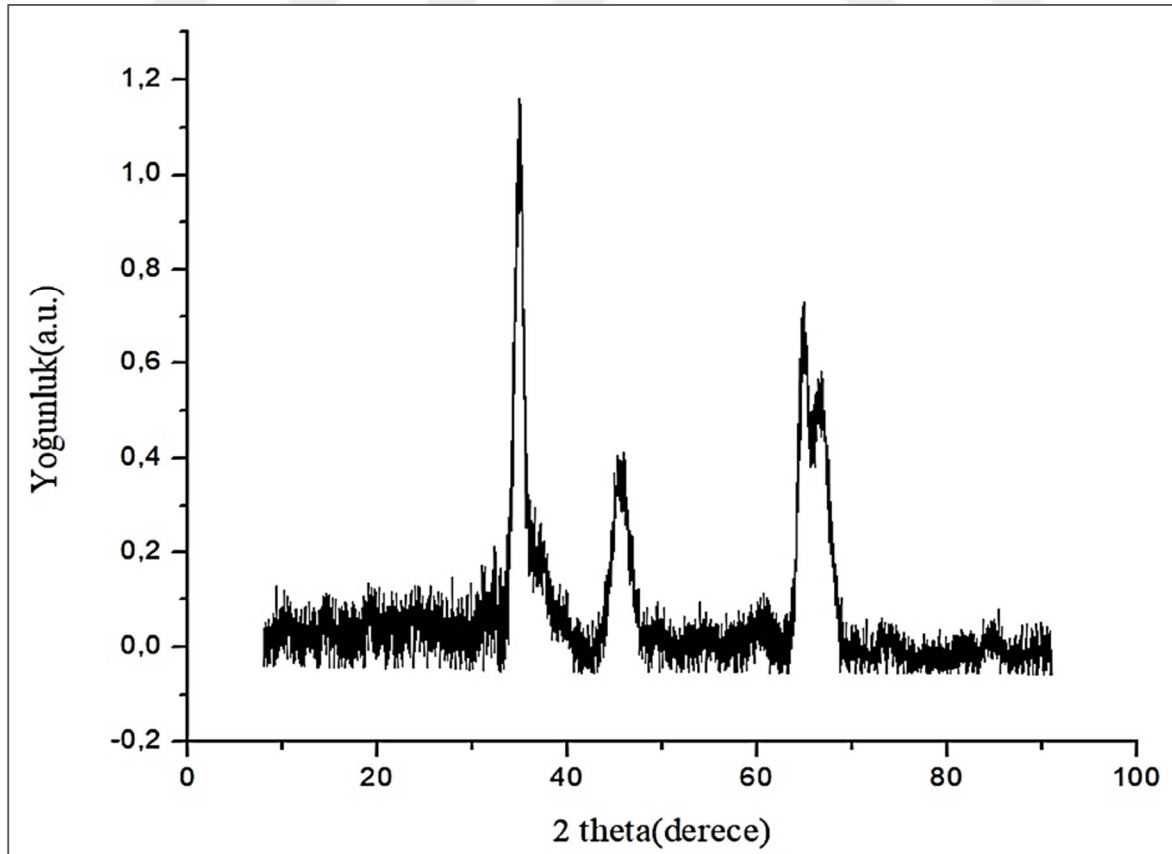
Resim 3.4. Al_2O_3 nanopartikülleri için SEM analizi

Al_2O_3 nanopartikülleri için EDAX analizi de yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre nanoyağlayıcı hazırlamada kullanmış olduğumuz Al_2O_3 nanopartikülleri, içerik olarak %58,63 oranında alüminyum ve %41,37 oranında oksit içermektedir. Yapılan EDAX analizinin görseli Resim 3.5’te verilmiştir.



Resim 3.5. Al_2O_3 nanopartikülleri için EDAX analizi

Nanoyağlayıcı hazırlamada kullanılan Al_2O_3 nanopartikülleri için XRD analizi de KMU BİLTEM’de yapılmıştır. XRD analizine göre Al_2O_3 partikülleri için pik noktaları net bir şekilde görünmektedir. Al_2O_3 nanopartikül için yapılan XRD analiz sonucu ve belirlenen pik noktaları Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Al_2O_3 nanopartikülleri için XRD analizi

Al_2O_3 nanopartikülü için dört tane pik noktası tanımlanmaktadır. 35-40 derece (theta) aralığında Al (111) pik noktası, 40-50 derece (theta) aralığında Al (200) pik noktası, 60-70 derece (theta) aralığında Al (221) pik noktası ve 75-80 derece aralığında Al (311) pik noktası verilmektedir. İncelenen nanopartikül için pik noktaları Çizelge 3.2’de tanımlanmaktadır [77].

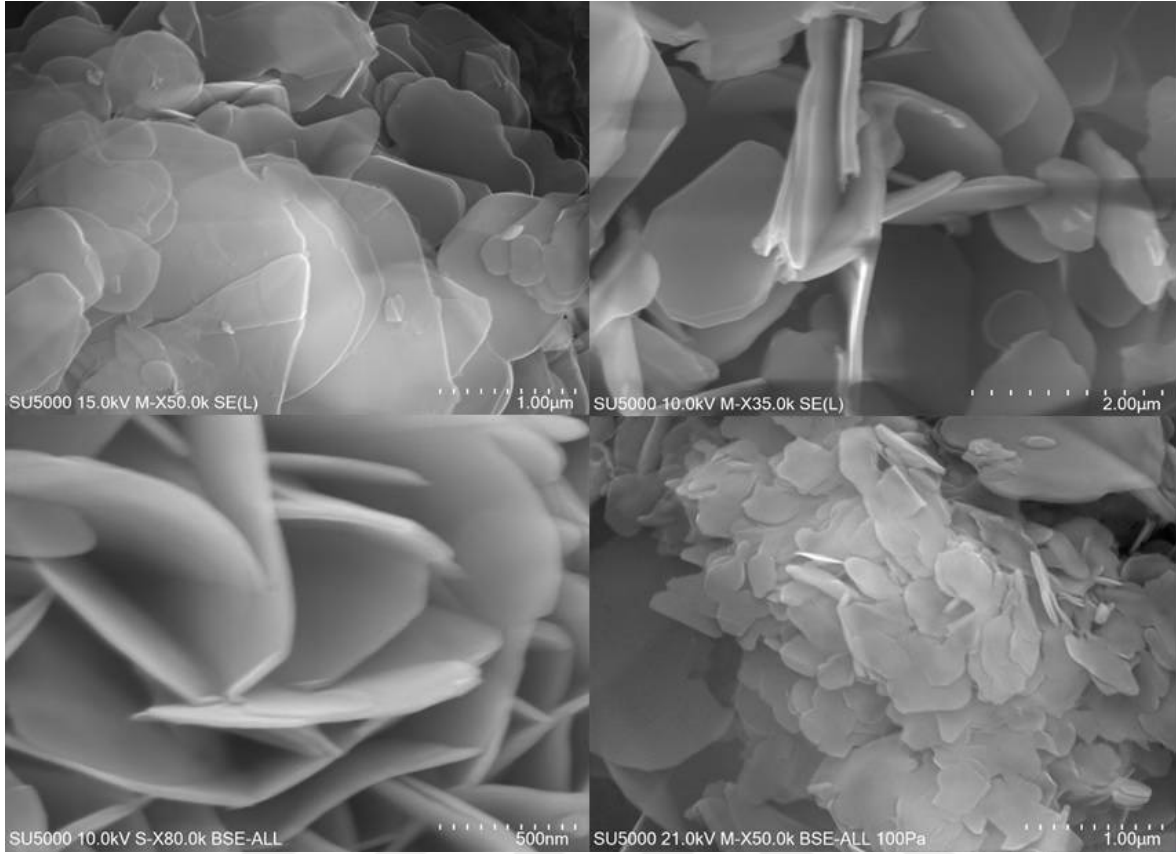
Çizelge 3.2. Al_2O_3 nanopartikülleri için tepe noktaları [77]

35-40 Derece (theta) – Al (111) Tepe Noktası
40-50 Derece (theta) – Al (200) Tepe Noktası
60-70 Derece (theta) – Al (221) Tepe Noktası
75-80 Derece (theta) – Al (311) Tepe Noktası

Çalışmada kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcı içerisinde, partikül olarak hegzagonal hBN de kullanılmıştır. Bor nitrür, farklı kimyasal yapıya sahip seramik grubunda sınıflandırılan bir malzemedir. Deneylerde kullanılan bor nitrür altıgen bor nitrür olarak bilinmektedir. Bor nitrürün altıgen şeklinde olan bu formu; yüksek kimyasal atalet ve yüksek derecede düzlem içi termal iletkenlik şeklinde çok yönlü özelliklere sahiptir. Bu özellikler de altıgen bor nitrürün ısı transfer uygulamalarında, iyi sonuçlar vereceğini göstermektedir [78-79].

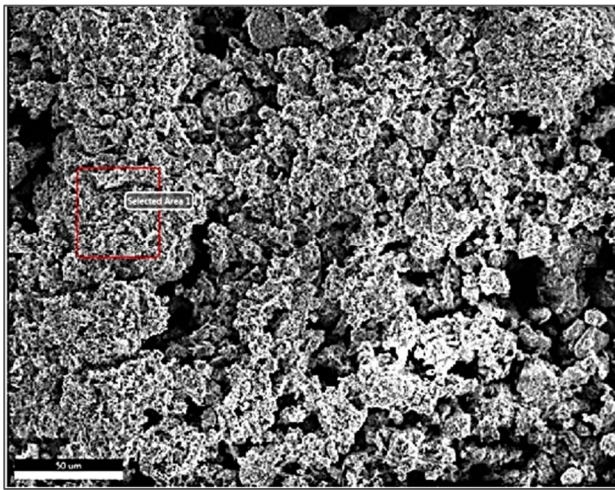
Bor nitrür yapı olarak iyi derece de kimyasal-elektriksel ve termal özelliklere sahip bir bileşendir. Bor nitrür yapısal olarak; borik asit ya da bor oksidin karbon ve azot gazı veya organik azot ya da taşıyıcılarla reaksiyonu sonucunda üretilmektedir [80].

Sentez ürünü olarak bor nitrür temin edildikten sonra, analizleri detaylı olarak incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu karakterizasyonu; nanoyağlayıcı preparasyonundan önce, toz şeklinde olan bor nitrür partiküllerinin aglomerasyon durumunun ön şeklini araştırmak için yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile malzeme karakterizasyonu KMU BİLTEM’de bulunan SEM cihazında yapılmıştır. Resim 3.6’da görüldüğü gibi hBN partikülleri, ortalama çapı 40-60 nm olan, platelet benzeri bir şekle sahiptir.



Resim 3.6. hBN nanopartikülleri için SEM analizi

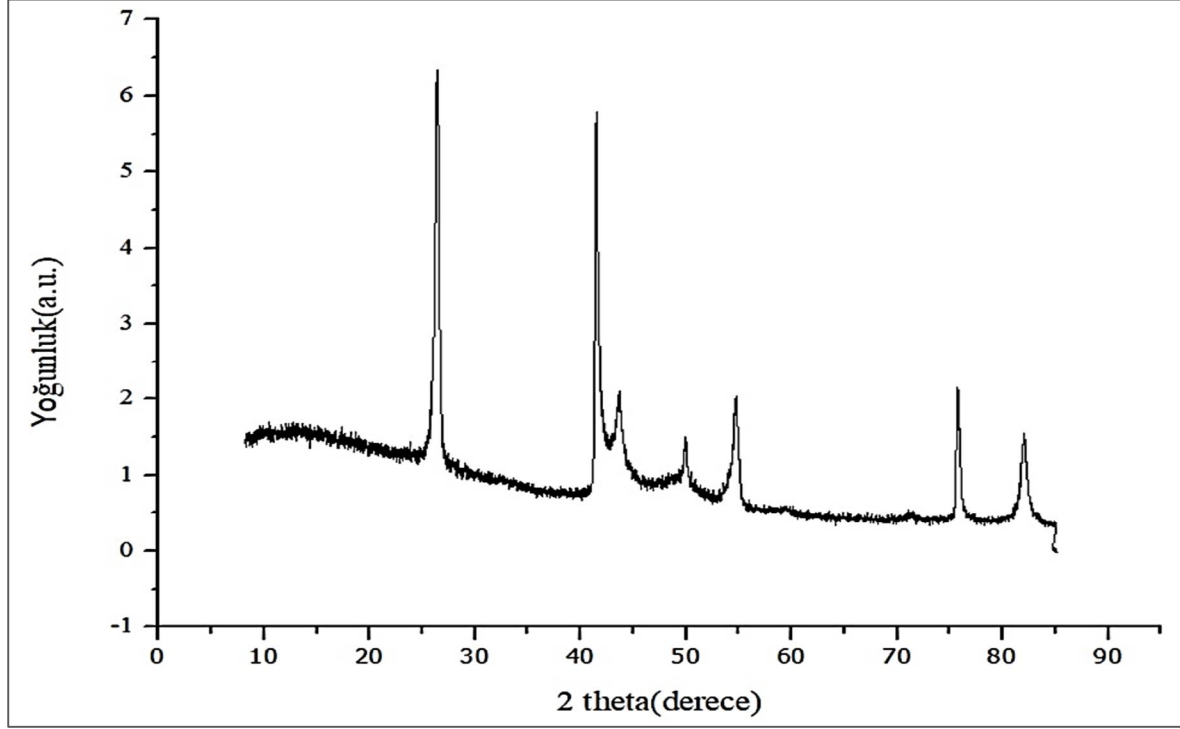
SEM cihazından alınan görüntülerin yanında, TiO_2 nanopartikülleri için EDAX analizi de yapılmıştır. Resim 3.7’de, hBN nanopartiküllrine ait EDAX analiz görüntüsü ve içeriği verilmiştir. Nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan hBN nanopartiküllerinin, istenilen saflık düzeyinde olduğunu bu analizden anlayabiliriz.



Element	Weight %	Atomic %	Error %
B K	0	0	99.99
N K	100	100	10.22

Resim 3.7. hBN nanopartikülleri için EDAX analizi

Çalışmada, nanoyağlayıcı hazırlarken kullanılan partiküllerden biri olan hBN partikülleri için, KMU-BİLTEM’de XRD analizi de yapılmıştır. Yapılan analize göre XRD sonuçları Şekil 3.5’de verilmiştir. XRD analizine göre, incelenen nanopartikül için pik noktaları net bir şekilde görünmektedir.



Şekil 3.5. hBN nanopartikülleri için XRD analizi

Nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan hBN nanopartikülü için XRD analiz sonuçlarında beş tane pik noktası belirlenmiştir. Nanopartikül için XRD analiz sonucu literatür ile uyumludur. 20-30 derece (theta) aralığında hBN (002) pik noktası, 40-50 derece (theta) aralığında hBN (100) ve hBN (101) pik noktaları, 50-60 derece (theta) aralığında hBN(004) pik noktası ve 70-80 derece (theta) aralığında hBN (110) tepe noktası verilmektedir. Tepe noktaları Çizelge 3.3’de tanımlanmaktadır [81].

Çizelge 3.3. hBN nanopartikülleri için tepe noktaları [81]

20-30 Derece (theta) – hBN (002) Tepe Noktası
40-50 Derece (theta) – hBN (100) Tepe Noktası
40-50 Derece (theta) – hBN (101) Tepe Noktası
50-60 Derece (theta) – hBN (004) Tepe Noktası
70-80 Derece (theta) – hBN (110) Tepe Noktası

3.3. Nanoyağlayıcı İçerisindeki Baz Sıvısı Yağın Seçimi ve Özellikleri

Soğutma sisteminde enerji verimliliği noktasında, kayıpları en aza indirmek için kompresör yağı önemlidir. Kompresörün çalışma koşulları incelendiği zaman, bu ekipmanın hidrodinamik, elastohidrodinamik, ve sınır yağlama koşulları ile çalıştığı bilinmektedir. Bu çalışma prensipleri içerisinde hidrodinamik ve elastohidrodinamik şartlar altında, yağlama sadece uygun yağ seçimine bağlı iken, sınır yağlama koşulları içerisinde aşınma önleyici katkı maddelerinin de eklenmesi gerekmektedir. Hidrodinamik yağlama koşulları içerisinde iki yatak arasında kalınca bir yağ tabakası vardır. Yağ filmi kalınlığı; yatakların hareket hızı, uygulanan yük ve yağ viskozitesine bağlıdır. Elastohidrodinamik yağlama koşullarında yatak yüzeyinde elastik defarmasyon meydana gelmektedir. Yatak yüzeyindeki bu elastik deformasyonlarına sebep olarak, temas geometrisinin çizgisel veya noktasal olması gösterilmektedir. Sınır yağlama koşullarında ciddi aşınmaların da meydana geldiği bilinmektedir [30].

Bu çalışma prensiplerinden anlaşılacağı gibi kompresör çalıştığı zaman, aşınmaların önüne geçmek için kompresör yağı ve bu yağın fiziksel özellikleri önemlidir. Bu nedenle; termal özelliklerin artırılmaya çalışılmasıyla bu aşınmaları, kompresör yağına müdahale ederek en aza indirmek mümkün görünmektedir.

Deneyisel çalışmalarda, kompresör yağı olarak kullandığımız nanoyağlayıcı da baz sıvısı olarak POE'den yararlanılmıştır. Soğutma sistemi içerisinde soğutucu gaz ile bir miktar kompresör yağı da, sistem içerisine dahil olmaktadır. Bu nedenle kompresör yağı ile soğutucu akışkanın fiziksel ve kimyasal olarak uyumlu bir şekilde çalışması önemlidir. Deneylerde kullanılan soğutma çevrim düzeneği içerisinde, R134a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. R134a soğutucu akışkanı ile POE'nin uyumlu bir şekilde çalıştığı bilinmektedir. Eğer soğutucu akışkan ile kompresör yağı kimyasal olarak uyumlu değilse ya da tepkime veriyorsa; bu durum çevrim içerisinde birçok olumsuzluğa sebep olacaktır. Özellikle sistem içerisinde faz ayrılmasına ve sistemdeki bakır borular içerisinde yağ birikmesine neden olabileceği bilinmektedir [30].

Soğutma sistemi içerisinde kullanılan kompresör yağından beklenen en önemli özellik, yağın düşük sıcaklıklarda bile yüksek akıcılığa sahip olmasıdır. POE'de düşük sıcaklıklarda yüksek akıcılığa sahip bir kompresör yağı olarak bilinmektedir. Kompresörde

kullanılan yağ, yeterince akıcılığa sahip olmaz ise özellikle soğutma çevrimi içerisindeki yoğunlaştırıcıda problem oluşturabilmektedir ve bu durumda ısı transfer performansını olumsuz etkilemektedir. Kompresör yağı olarak; parafinik mineral, naftanik mineral, poliol foolefin, alkil benzen, polialkilen glikol, polyol ester yağlarının kullanıldığı bilinmektedir. Bu yağlar için de temel uyumluluk özellikleri Çizelge 3.3'te *Yüzer'in* 2005 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında özetlenmiştir. Tabloda da görülmektedir ki POE soğutma sistemi için uygun bir kompresör yağıdır [30].

Çizelge 3.4. Kompresör yağlarının özellikleri [30]

ÖZELLİKLER	Parafinik Mineral	Naftanik Mineral	Polial faolefin	Alkil Benzen	Polialkilen Glikol	Polyol Ester
Kimyasal Stabilité	iyi	iyi	mkm	çok iyi	iyi	iyi
Termal Stabilité	iyi	iyi	çok iyi	çok iyi	iyi	çok iyi
Soğutkan ile Uyumluluk	zayıf	iyi	zayıf	çok iyi	mkm	mkm
Uçuculuk	iyi	orta	mkm	iyi	iyi	mkm
Akışkanlık	zayıf	iyi	çok iyi	iyi	iyi	çok iyi
Viskozite-Sıcaklık	iyi	orta	iyi	orta	iyi	çok iyi
Hidrolik Stabilité	çok iyi	çok iyi	mkm	iyi	iyi	orta
Fiyat(Birim)	1	2	2	2	2	2

Birçok soğutma çevriminde, yağ yeterince akıcılığa sahip olmaz ise, yüksek basınçlı soğutkanı genişletmek için kapiler borunun da tıkanmasına sebep olabileceği belirtilmektedir. POE kompresör yağının bir diğer önemli özelliği de çok iyi termal iletkenliğe sahip olmasıdır. POE'nin çevresel olarak zararlı olmaması ve yenilenebilir kaynaklardan kolayca elde ediliyor olması bir diğer tercih sebebi olarak görülmektedir [30].

3.4. Nanoyağlayıcının Hazırlanması

Bu tez çalışmasının adımlarından biri olan nanoyağlayıcı hazırlanırken deneysel düzenekteki kompresör içerisinde çıkarılan yağ kadar baz sıvısı kullanılmıştır.

1. Nanoyağlayıcı hazırlanırken ilk aşamada, Resim 3.6'da görüldüğü gibi soğutma çevrimindeki kompresörün yağı çıkarılarak, yağ miktarı ölçülmüştür. Kompresörde 100

ml kadar yağ çıkarılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı olarak POE'nin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda, 100 ml kadar POE ölçümü sağlanmıştır. Öncelikle Resim 3.8'de görüldüğü gibi, kompresör sistemden kaynak yardımıyla sökülerek alınmıştır. Daha sonra kompresör yağı beher içerisine boşaltılarak, ölçüm sağlanmıştır.



Resim 3.8. Kompresör yağının boşaltılması

2. Bir sonraki aşamada nanoyağlayıcı hazırlamak için kullanılan nanopartiküller hassas terazi yardımıyla ölçülerek, 100 ml kadar alınan POE yağı içerisine aktarılmıştır. Deneysel çalışmalarda %0,5; %1,0; %1,5; %2,0 kütle fraksiyonlarında nanopartikül kullanılmıştır. Deneylerde nanopartikül olarak TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN partikülleri kullanılmıştır. Ölçüm olarak %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO_2 nanopartikülü, %0,5; %1,0 kütle fraksiyonlarında da Al_2O_3 nanopartikülleri ve %0,5; %1,0 kütle fraksiyonlarında hBN nanopartikülleri kullanılmıştır. Bu nanopartiküllerden TiO_2 ve Al_2O_3 genellikle nanoakışkan çalışmalarında yüksek oranda, termal performansı arttıran metal oksitlerdir. Bu grup nanopartiküller, seramik nanoakışkan grubuna girmektedir ve baz sıvıları içerisindeki dağılımlarında, kararlılıkları son derece önemlidir. Homojen ve hidrofobik bir süspansiyon hazırlamak amacıyla, nanopartikülün baz sıvısı içerisinde dağılımı önemlidir. Düşük boyutlarda nanopartiküllerin temin edilmesi, çalışma için iyi yönde katkı yapmıştır. Çalışmada ortalama 18 nm boyutundaki TiO_2 , 18 nm boyutundaki Al_2O_3 ve ortalama 40-60 nm boyutundaki hBN nanopartikülleri kullanılmıştır. TiO_2 nanopartikülleri %1,5 üzerindeki kütle fraksiyonlarında, Al_2O_3 nanopartikülleri de %1,0 üzerindeki kütle fraksiyonlarında süspansiyon içerisinde çökmelere sebep olmaya başlamıştır. Özellikle soğutma çevrimi

içerisinde bakır borular ve filtreler kullanıldığı için süspansiyon içerisinde karışmamış nanopartiküller nedeniyle, sistem verimliliği azalabilir. Resim 3.9’da nanopartiküllerin ölçümlerine ait prosedür ve baz sıvısı POE içerisine aktarılması verilmiştir.



Resim 3.9. POE içerisine nanopartiküllerin eklenmesi

3. Nanoyağlayıcı hazırlanırken bir sonraki aşama, POE’ye yüzey aktif malzemenin eklenmesidir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken nanopartiküllerin ve yüzey aktifleştirici etken maddenin homojen bir şekilde baz sıvısı ile karışmasını sağlamak önemlidir. Nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzeme kullanımıyla baz sıvısı yağın, daha akışkan bir özellik kazanacağı ve bu şekilde sistem termal performansının artacağı düşünülmüştür. Nanoyağlayıcı içerisinde homojen bir dağılım sağlanmaz ise soğutma sistemi içerisinde soğutucu gaz ile karışan yağda bulunan nanopartiküller, bakır boruların tıkanmasına yol açabilir. Deneysel çalışmalarda, nanoakışkan çalışmalarındaki olumlu etkileri göz önünde bulundurularak SDBS ve TX-100 yüzey aktif malzemeleri kullanılmıştır. Bu yüzey aktif malzemelerden biri anyonik diğeri katyonik yüzey aktif malzeme olarak bilinmektedir. SDBS’nin anyonik özelliğinden ötürü nanoyağlayıcı içerisinde hidrofobik özellik gösterdiği bilinmektedir [82]. Yüzey aktif malzeme ayrıca baz sıvısı içerisinde flokülasyonu ve topaklanmayı önlemektedir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, yüzey aktif malzemeyi baz sıvısına katkılarken bir diğer önemli nokta, malzemenin kütle fraksiyonu olarak hangi oranda süspansiyona karıştırılacağıdır. Bununla ilgili farklı kütle fraksiyonlarında ölçümler yapılarak oran belirlenmiştir. Bu çalışmadaki deneylerde, nanoyağlayıcı içerisinde %0,5 oranında yüzey aktif malzeme kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada, iki farklı yüzey aktif malzeme ile deneyler yapılarak,

kıyaslama yapılmıştır. Resim 3.10'da yüzey aktif malzemenin hassas ölçüm ile süspansiyon içerisine eklenmesi verilmiştir.



Resim 3.10. Yüzey aktif malzemenin eklenmesi

4. Son olarak nanoyağlayıcı içerisindeki baz sıvısı POE, nanopartikül olarak kullanılan TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN nanopartikülleri ile SDBS ve TX-100 yüzey aktif malzemelerinin karıştırılma aşamaları verilmiştir. Gerekli miktarlarda, her ölçüm ve derişim sırasında yağ, nanopartikül ve yüzey aktif malzeme hassas ölçüm cihazları ile ayarlandıktan sonra nanoyağlayıcı oluşturulmuştur. Homojen bir şekilde nanoyağlayıcı oluşturmak için, süspansiyon üç saat kadar ultrasonik su banyosunda (Kudos-Model: SK2210HP) ile karıştırıldıktan sonra, üç saat kadar da manyetik karıştırıcıda (Jeio Tech MS-32M) karıştırılmıştır. Yapılan bu işlemler Resim 3.11'de gösterilmiştir.



Resim 3.11. Hazırlanan nanoyağlayıcının karıştırılması

5. Süspansiyon içerisinde homojen dağılımın sağlanması ve flokülasyonun engellenmesi önemlidir. Bu nedenle yüzey aktif malzeme kullanılması ile beraber süspansiyonun karıştırılma aşamaları önemlidir. Resim 3.12’de baz sıvısı POE, %0,5 ve %1,0 kütle fraksiyonlarında Al_2O_3 ile %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzeme kullanılmasıyla hazırlanan nanoyağlayıcıların, ölçüm ve karıştırılma aşamaları verilmiştir.

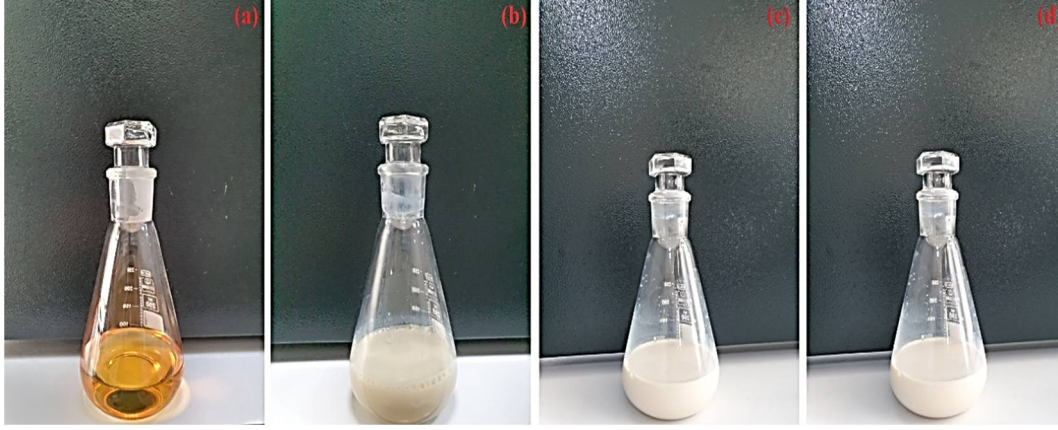


Resim 3.12. POE/ Al_2O_3 /TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcının karıştırılması

3.5. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/ TiO_2 /SDBS)

Soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcılar farklı konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Deneyler; stabil koşullar altında yapılmıştır. Ayrıca; deneylerin tekrarlanabilirliğini ölçmek amacıyla her deney üçer kez tekrarlanmıştır. Nanopartikül olarak TiO_2 ve yüzey aktif malzeme olarak da SDBS kullanıldığında üç farklı konsantrasyonda nanoyağlayıcı hazırlanmıştır.

Nanoyağlayıcı hazırlanırken, %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO_2 partikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda yüzey aktif malzeme SDBS kullanılmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar Resim 3.13’de gösterilmiştir. Resim 3.13 içeriğinde; birinci şekilde saf POE, ikinci şekil de %1,0 TiO_2 ve %0,5 SDBS, üçüncü şekilde %1,5 TiO_2 ve %0,5 SDBS, dördüncü şekilde de %2,0 TiO_2 ve %0,5 SDBS konsantrasyonları ile hazırlanan nanoyağlayıcılar gösterilmektedir.

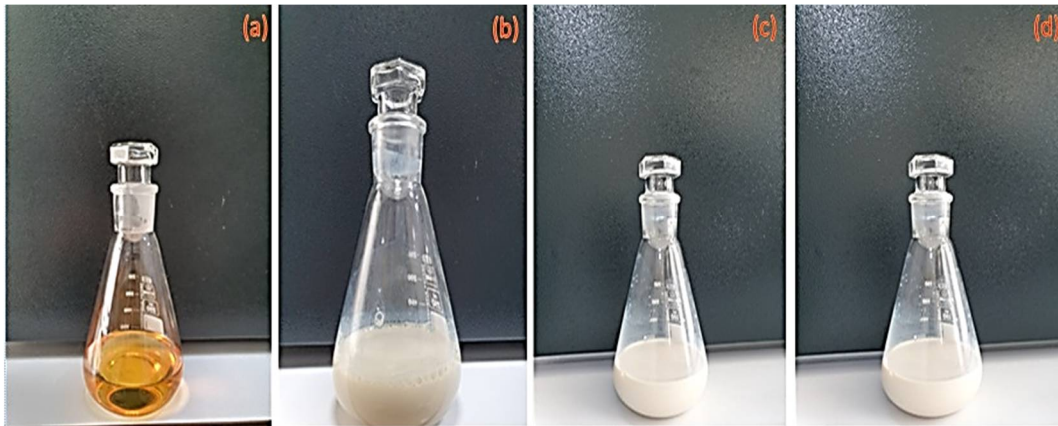


Resim 3.13. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/TiO₂/SDBS)

3.6. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/TiO₂/TX-100)

Yüzey aktif malzemenin nanoyağlayıcının özelliklerine etkisini incelemek amacıyla SDBS yerine TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. TX-100’de katyonik özellik gösteren bir yüzey aktif malzemedir. Nanopartikül olarak TiO₂ ve yüzey aktif malzeme olarak da TX-100 kullanıldığında üç farklı konsantrasyonda nanoyağlayıcı hazırlanmıştır.

Nanoyağlayıcı hazırlanırken %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar Resim 3.14’de gösterilmektedir. Nanopartikül için kütle fraksiyonu aynı tutularak, yüzey aktif malzemenin sistem performansına olan etkisi belirlenmek istenmiştir. Resim 3.14 içeriğinde; birinci şekilde; saf POE, ikinci şekil de; %1,0 TiO₂ ve %0,5 TX-100, üçüncü şekilde; %1,5 TiO₂ ve %0,5 TX-100, dördüncü şekilde de; %2,0 TiO₂ ve %0,5 TX-100 kütle fraksiyonlarında hazırlanan nanoyağlayıcılar gösterilmektedir.



Resim 3.14. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/TiO₂/TX-100)

3.7. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/Al₂O₃/TX-100)

Nanoyağlayıcı hazırlanırken nanopartikül etkisini incelemek amacıyla, TiO₂ nanopartikülü yerine ortalama 18 nm boyutundaki Al₂O₃ nanopartikülleri kullanılmıştır. Baz sıvısı POE içerisinde %0,5 ve %1,0 kütle fraksiyonlarında Al₂O₃ nanopartikülleri kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların her biri için, deneyler üçer kez tekrarlanmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken %1,0 kütle fraksiyonu üzerinde Al₂O₃ nanopartikülü kullanıldığında, süspansiyonda homojenlik sağlanamamıştır.

Al₂O₃ nanopartikülü ile nanoyağlayıcı hazırlanırken, topaklanmanın önüne geçmek amacıyla yüzey aktif malzeme kullanılmıştır. Süspansiyon içerisinde POE ve Al₂O₃ nanopartikülleri ile tepkimeye girmeden uyumlu bir süspansiyon oluşturabilen TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken %0,5 kütle fraksiyonunda yüzey aktif malzeme kullanılmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar Resim 3.15'te verilmiştir. Resim 3.15 içeriğinde birinci şekilde; saf POE, ikinci şekilde; %0,5 Al₂O₃ nanopartikülü ve %0,5 TX-100 yüzey aktif malzeme kullanılarak hazırlanan, üçüncü şekilde; %1,0 Al₂O₃ nanopartikülü ve %0,5 TX-100 yüzey aktif malzeme kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcılar gösterilmiştir.

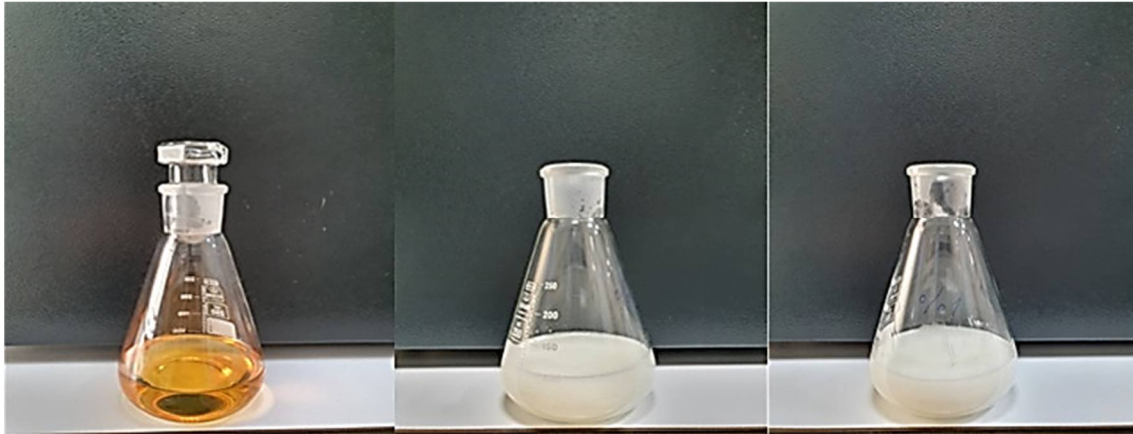


Resim 3.15. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/Al₂O₃/TX-100)

3.8. Farklı Konsantrasyonlarda Nanoyağlayıcı Hazırlanması (POE/hBN/TX-100)

Soğutma sistemi içerisinde kompresör yağı olarak hazırlanan nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan nanopartiküllerden bir diğeri de hBN partikülleridir. Baz sıvısı POE içerisinde %0,5 ve %1,0 kütle fraksiyonlarında hBN ile %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey

aktif aktif malzemesi kullanılarak nanoyağlayıcı hazırlanmıştır. Kompresör yağı olarak; POE/%0,5hBN/%0,5TX-100 ve POE/%1,0hBN/%0,5TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar Resim 3.16’da verilmiştir. Resim 3.16 içeriğinde birinci şekilde; saf POE, ikinci şekilde; %0,5 hBN nanopartikülü ve %0,5 TX-100 yüzey aktif malzeme kullanılarak hazırlanan, üçüncü şekilde; %1,0 hBN nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzeme kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcılar gösterilmiştir.



Resim 3.16. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar (POE/hBN/TX-100)

3.9. Belirsizlik Analizi

İncelenen sistemden alınan deneysel ölçümlerin, doğru ve kesin olmaları gerekir. Sayısal olarak yapılan çalışmaların, deneysel olarak desteklenmesi her zaman önemli olmuştur. Fakat; deneysel olarak yapılan çalışmalarda cihazların kalibrasyonları ve diğer ölçüm özelliklerinin doğruluk bildirmesi gerekmektedir. Bu nedenle, deneysel bir çalışmada belirsizlik analizi önemlidir. Deneysel çalışma için kurulan bir sistemde ölçüm hatalarının iki sebebi olabilir. Bunlardan birincisi, deney seti ve ölçüm sensörlerinin yapısından kaynaklanan ölçüm hatalarıdır. İkincisi ise kullanıcı tarafından yapılan ölçüm hatalarıdır [83].

Bu deneysel çalışmada basınç, sıcaklık ve akışkan debisi ölçülmüştür. Soğutucu akışkan debisini ölçmek için debimetre, soğutma çevrim elemanlarının giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için termokupllar (Pt100 tipi), alçak ve yüksek basınç değerlerini ölçmek için de Refco tipi analog basınç sensörleri kullanılmıştır.

Pt100 tipi sensörler sıcaklık ölçümünün çıktı olarak alındığı sistemlerde sıklıkla kullanılır. Pt100 sensörleri metalik platinden (Pt) yapılmış termokubl olarak bilinirler. Metalik platinin (Pt) direnç değeri sıcaklıkla değişir. Bu sensörlerin stabilitesi ve tekrarlanabilirliği iyidir [84-86].

Sıcaklık $-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +850\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda Pt100 tipi termokupl daha doğru stabilitede kullanılmaktadır. Sensörün ismindeki ikinci terim olan “100”, direncin $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 100 ohm olduğu anlamına gelir. Direnç $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 138.5 ohm' dur [85-86].

Pt100 tipi termokupllar için, sıcaklık ile direnç fonksiyonunun ilişkisi Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5 şeklinde verilmiştir [86].

$$R_{Pt100} = R_0 [1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma^3 (t - 100)] \quad -200^{\circ}\text{C} < t < 0^{\circ}\text{C} \quad (3.4)$$

$$R_{Pt100} = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2) \quad 0^{\circ}\text{C} < t < 850^{\circ}\text{C} \quad (3.5)$$

Resim 3.17’de bu ölçüm cihazlarına ait görseller verilmiştir. Resim 3.17’deki birinci şekilde; basınç sensörü, ikinci şekilde; debimetre ve üçüncü şekilde; sıcaklık sensör çıktı ekranı verilmiştir.



Resim 3.17. Deney setindeki ölçüm cihazları

İstenilen deney sonuçlarına ulaşmak için deneysel bulguların test edilmesi açısından, belirsizlik analizi yapılmalıdır. Belirlenen bu yöntemle göre ölçülen miktar R'dir. Ölçülen “R” miktarını etkileyen bağımsız değişkenlerde $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 'dir. Her bir bağımsız

değişkende sırasıyla $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ hata oranına sahiptir. Deney sonucunda ölçülen verinin genel belirsizliği [13-87]:

$$W_R = \left\{ \left(\frac{dR}{dX_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{dR}{dX_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{dR}{dX_3} W_3 \right)^2 + \dots \left(\frac{dR}{dX_n} W_n \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.4)$$

şeklinde olacaktır.

Bu çalışmada yapılan deneylerde, sıcaklık-basınç ve kütle akış hızı ölçümleri yapılmıştır. Soğutma deney setinde yer alan sıcaklık sensörleri; termokupllar Pt100 tipidir. Sıcaklık değerleri içinde belirsizlik şu şekildedir [13-87]:

$$W_R = \left\{ (W_{termokupl})^2 + (W_{termokupl})^2 + (W_{okuma})^2 \right\}^{1/2} \quad (3.5)$$

$$W_R = \{(1)^2 + (1)^2 + (0,1)^2\}^{1/2} = 1,4177$$

Soğutma deney düzeneğinde soğutucu akışkanın kütle akış hızı debimetre ile ölçülmüştür. Debimetre için belirsizlik analizi şu şekildedir [13-87]:

$$W_R = \left\{ (W_{akışmetre})^2 + (W_{okuma})^2 \right\}^{1/2} \quad (3.6)$$

$$W_R = \{(0,1)^2 + (0,1)^2\}^{1/2} = 0,1414$$

Deney düzeneğinde alçak ve yüksek basınç ölçümleri için sırasıyla (Refco mr-205-ds) ve (Refco mr-305-ds) bourdon tipi yağlı manometreler kullanılmıştır. Basınç ölçümleri içinde belirsizlik analizi şu şekildedir [13-87];

$$W_R = \left\{ (W_{basınç})^2 + (W_{okuma})^2 \right\}^{1/2} \quad (3.7)$$

$$W_R = \{(0,016)^2 + (0,1)^2\}^{1/2} = 0,1012$$

4. SONUÇLAR

Bu bölümde hazırlanan nanoyağlayıcılara ait fiziksel ve morfolojik analizlerle ilgili sonuçlar verilmiştir. Farklı nanopartikül ve yüzey aktif malzemeleri ile hazırlanan nanoyağlayıcılar soğutma deney düzeneğinde kompresör yağı olarak kullanılarak, sistem performansındaki değişimler bu bölümde sunulmuştur. Deney düzeneği ile ilgili gerekli optimizasyonlar yapılarak, sistemde nanoyağlayıcı kullanılmasıyla elde edilen karakterizasyon sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarına göre performans analizleri yapılırken güç ve enerji tüketimi üzerinde durulmuştur.

Soğutma deney düzeneği üzerindeki sıcaklık ve basınç sensörleri vasıtası ile elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri analiz edilmiştir. Elde edilen bu sıcaklık ve basınç ölçüm sonuçları ve yapılan termodinamiksel analizler kullanılarak entalpi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan entalpi değerleri kullanılarak sistem için kompresör güç tüketimleri, soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarları ve soğutma etkinlik katsayıları hesaplanmıştır. Soğutma çevrimi için harcanan enerji, kompresörün yapmış olduğu iş olarak tanımlanabilir. Sistemde elde edilmek istenen değerde evaporatörün dışarıya atmış olduğu ısı miktarıdır. Alınan değerler doğrultusunda, yapılan hesaplar ile sistem için gerekli analiz sonuçları bu bölümde sunulacaktır.

4.1. POE/Al₂O₃/TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması

DeneySEL çalışmanın bu kısmında nanoyağlayıcı hazırlanırken, nanopartikül olarak Al₂O₃ metal oksiti ve yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanılmıştır. Nanopartikül olarak kullanılan Al₂O₃ nanopartikülleri %0,5 ve %1,0 konsantrasyonunda, yüzey aktif malzeme TX-100 ise her iki kütle fraksiyonu için de %0,5 konsantrasyonunda kullanılmıştır. Nanoyağlayıcıda baz sıvısı olarak POE yer almaktadır. Deneylerin yapılmış olduğu deney düzeneğindeki kompresörden 100 ml. kadar kompresör yağı çıkarılmıştır. Nanopartikül, yüzey aktif malzeme ve baz sıvısından oluşan nanoyağlayıcı 100 ml. kadar hazırlanmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde soğutucu akışkan olarak 350 gr. kadar şarj edilen R134a kullanılmıştır.

Başlangıçta, saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanılması ile deney gerçekleştirilerek, alınan sonuçlar doğrultusunda gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Farklı nanoyağlayıcı

konsantrasyonları ile yapılacak olan diğer deneylerin sonuçları, saf POE ile yapılan deney sonuçları baz alınarak, kıyaslamalar yapılmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde, kompresör yağı olarak 100 ml. saf POE ile deneyler yapılırken, sistemin kararlı hale gelmesi için yaklaşık olarak 25 dakika kadar beklenildikten sonra, deneysel veriler alınmıştır. Kompresör yağı olarak POE kullanılıp, gerekli deney çıktıları elde edilirken, sistem için ölçüm güvenilirliğini sağlamak amacıyla, her deney üçer kez tekrarlanmıştır ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Üçer kez tekrarlanan deneylerin arasında, kompresörün tamamen soğuması beklenildikten sonra, bir sonraki deneye geçilmiştir ve 25 dakika kadar bekleme süresi her deney de tekrarlanmıştır.

Kompresör yağı olarak saf POE kullanılarak yapılan deneyler bitirildikten sonra, kompresör sistem içerisinden çıkarılarak, içerisindeki yağ boşaltılmıştır. Kompresörün tamamen temizlenmesi için, kullanılan her nanoyağlayıcıdan sonra, kompresör azot gazı ile tamamen temizlenmiştir. Al_2O_3 nanopartikülü ile yapılan deneylerde baz sıvısı POE içerisinde nanopartikül konsantrasyonu %0,5 ve %1,0 olarak belirlenmiştir. Her bir nanopartikül konsantrasyonu için yüzey aktif malzeme TX-100 konsantrasyonu, %0,5 olarak belirlenmiştir. Kompresör yağı olarak saf POE, POE/%0,5 Al_2O_3 /%0,5TX-100 ve POE/%1,0 Al_2O_3 /%0,5TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. (POE/Al₂O₃/TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları

Ölçümler (Saf POE)	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	15,2	15,3	15,2	15,23
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,6	31,8	31,3	31,56
Ölçümler(%0,5 Al ₂ O ₃)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	26,5	22,5	22,7	23,90
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	63,3	61,9	61,9	62,36
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	23,0	18,0	20,5	20,50
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	26,5	22,5	22,7	23,90
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	63,3	61,9	61,9	62,36
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	24,5	20,2	22,8	22,50
Ölçümler(%1,0 Al ₂ O ₃)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	26,0	26,1	25,7	25,93
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	63,7	63,9	64,0	63,86
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	22,3	22,5	22,0	22,26
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	26,0	26,1	25,7	25,93
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	63,7	63,9	64,0	63,86
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	24,0	24,1	23,5	23,86

Çizelge 4.1 incelendiği zaman, soğutma çevriminde kompresör yağı olarak, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanıldığında, yapılan deneylerde üç ölçüm sonuçları ve ortalama değerleri verilmiştir. Her ölçümde; kompresör, evaporatör ve kondenser için, giriş ve çıkış sıcaklıkları gösterilmiştir.

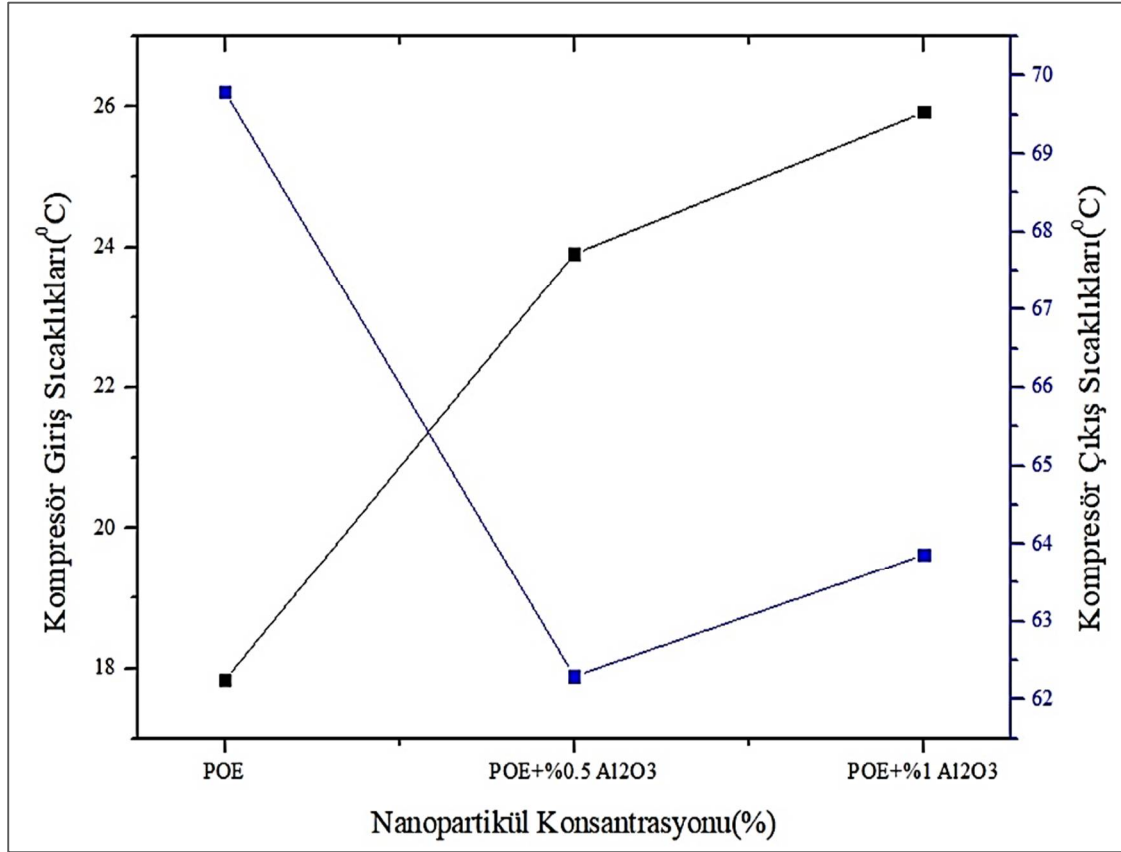
Çizelge 4.2’de, deney sonuçlarına göre farklı konsantrasyonlar için basınç, sıcaklık değerleri ve bu değerlere bağlı olarak soğutulan ortamdan çekilen ısı, kompresör kapasitesi ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplama sonuçları verilmiştir. Bu hesaplamalar teorik olarak ve termodinamiksel tablolardan faydalanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. (POE/Al₂O₃/TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar

Ölçümler	POE	%0,5 Al ₂ O ₃	%1,0 Al ₂ O ₃
Yüksek Basınç(bar)	7,00	4,09	4,11
Alçak Basınç(bar)	2,20	1,90	2,10
Kompresör Giriş Sıcaklığı(°C)	17,83	23,90	25,93
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(°C)	69,80	62,36	63,86
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(°C)	15,20	20,50	22,26
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(°C)	17,83	23,90	25,93
Kondenser Giriş Sıcaklığı(°C)	69,80	62,36	63,86
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(°C)	31,50	22,50	23,86
Soğutkan Debisi(g/s)	70,00	70,00	70,00
Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı(kj/h)	123,32	127,52	126,70
Kompresör Kapasitesi(kj/h)	32,14	28,11	28,39
Soğutma Etkinlik Katsayısı(COP)	3,83	4,53	4,46

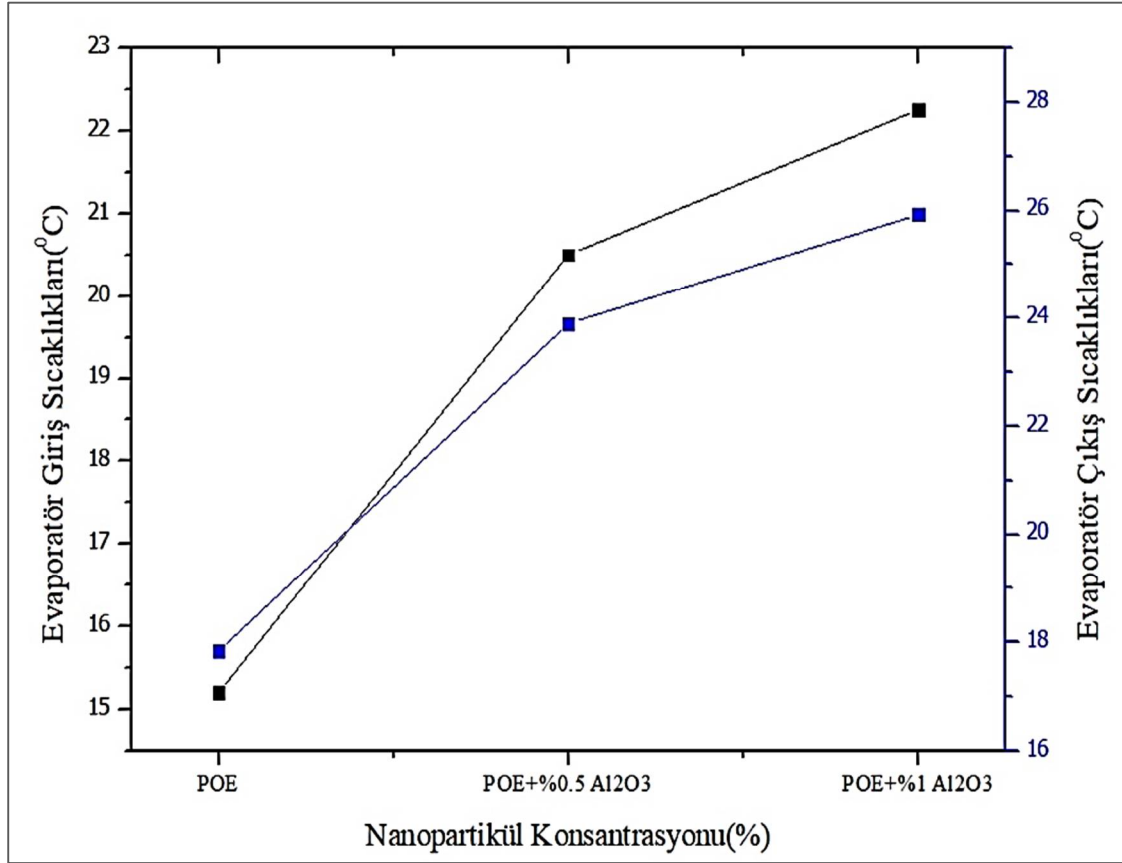
Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki veriler incelendiği zaman, performans parametrelerini termodinamiksel olarak hesaplamak için alçak ve yüksek basınç değerleri ile kompresör, evaporatör ve kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları sistemden alınmıştır. Sistemsel olarak enerji verimliliğini sağlamak için, kompresörün fazla ısınmasını istemeyiz. Kompresör çıkış sıcaklığı ne kadar düşürülebilirse sistem o kadar verimli olacaktır.

Nanoyağlayıcı kullanımıyla, kompresör çıkış sıcaklığının düşmesinin yanında, bu durumdan evaporatör ve kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarını da etkilemiştir. Yüksek ve alçak basınç değerlerindeki değişimler de dikkat çekmektedir. Şekil 4.1'de kompresör elemanı için, farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı kullanımıyla sıcaklık değerlerindeki değişimler verilmiştir.



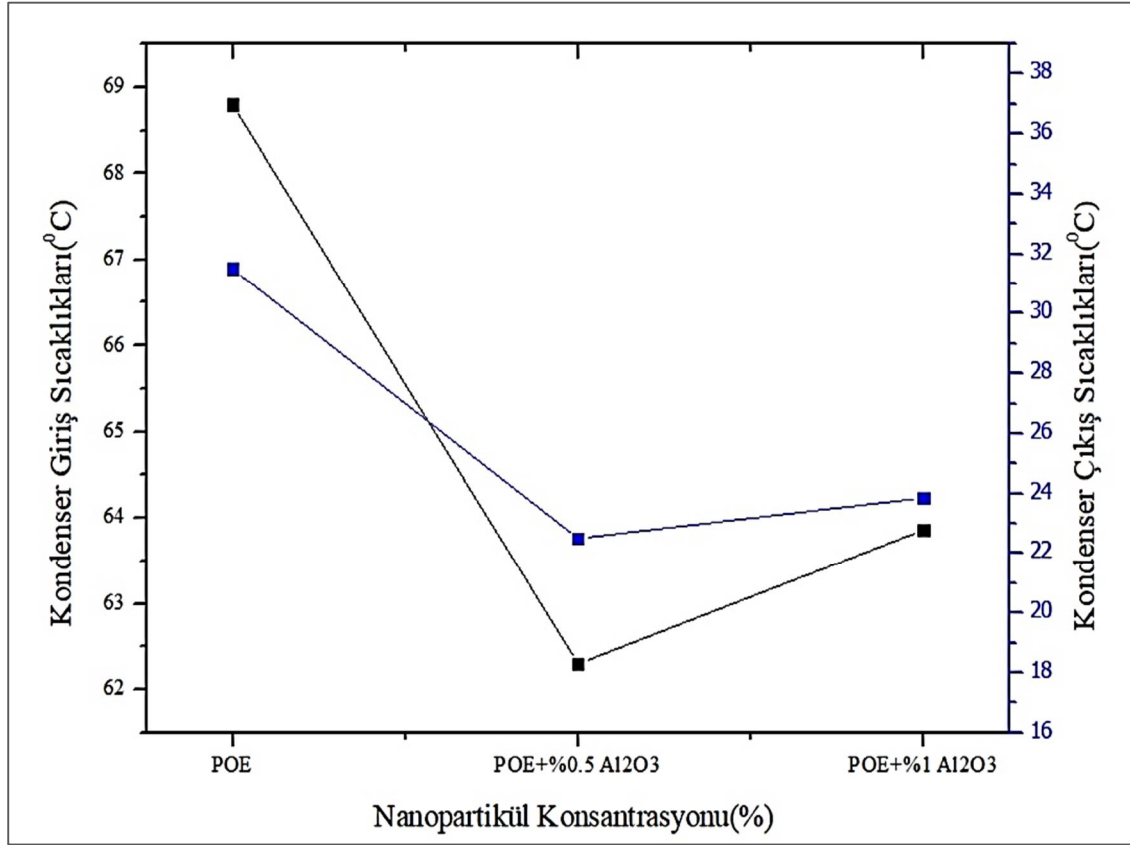
Şekil 4.1. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al₂O₃/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak sistemde yer almasının sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklık değerleri de değişmektedir. Bu sıcaklık değerlerinin değişmesiyle termodinamiksel olarak entalpi değerleri ve verimlilik parametre hesapları değişmektedir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneyler sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al₂O₃/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılardan kompresör yağı olarak faydalandığında, soğutma çevrimi içerisinde kompresör ve evaporatörün giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimlerle birlikte, çevrim içerisinde kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarında da değişimler olmuştur. Sıcaklık değerlerindeki bu değişimler, termodinamiksel olarak entalpi değerlerine de etki etmiştir. Böylece kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarının düşmesi verimlilik ölçü parametrelerini olumlu yönde etkilemiştir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneyler sonucunda kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı konsantrasyonlarda POE/Al₂O₃/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş -çıkış sıcaklıklarının değişimleri

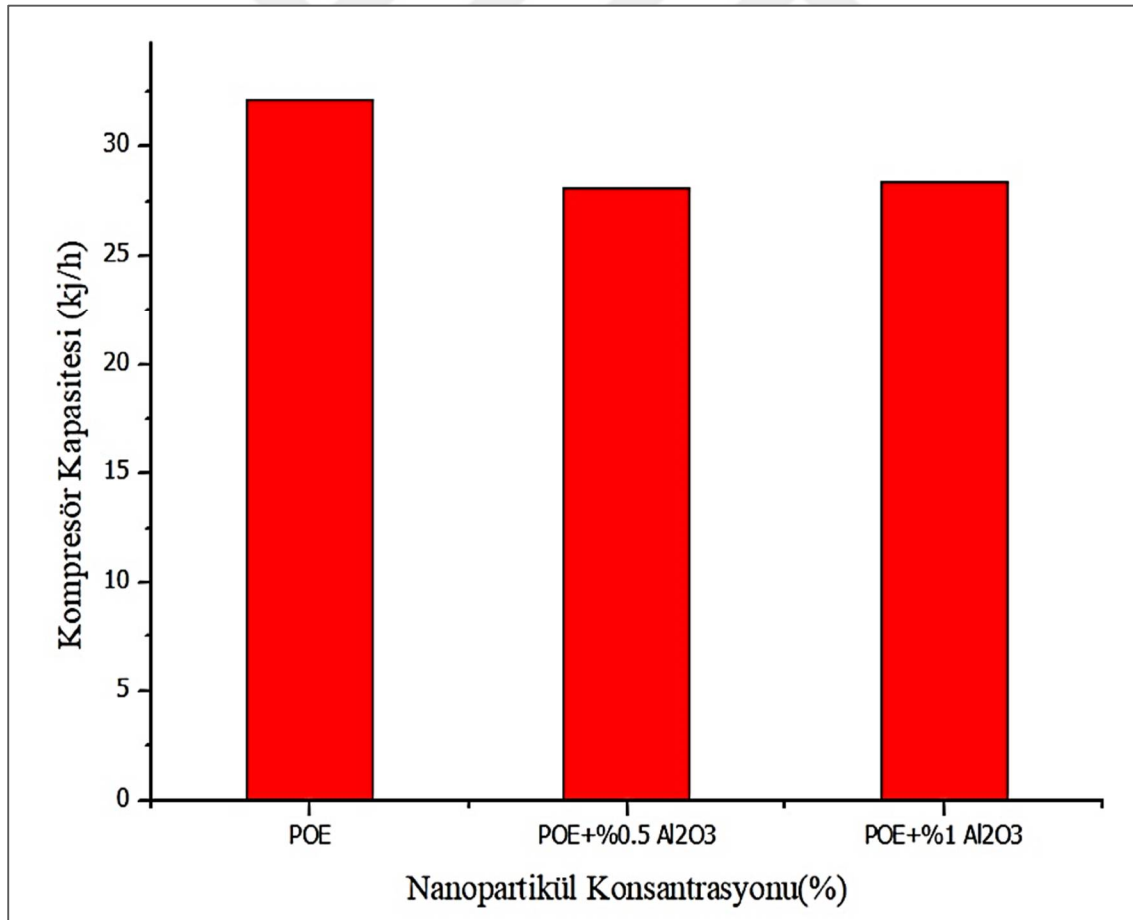
4.1.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi

Soğutma çevrimi içerisinde enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yapılacak en önemli işlem kompresörün enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bu çalışmada da kompresör yağı yerine nanoyağlayıcı kullanılmıştır. Kompresör yağı olarak nanoyağlayıcılardan yararlanıldığında, sistem için ısı transfer özellikleri geliştirilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığı zaman kompresörün çıkış sıcaklığı, %0,5 ve %1,0 nanopartikül kütle fraksiyonları için, sırasıyla 7,5 °C ve 5,94 °C kadar düşürülmüştür.

Kompresör çıkış sıcaklığının düşmesi, kompresörün harcamış olduğu enerjinin de düşmesi anlamına gelmektedir. Sonuçlara bakıldığı zaman, kompresörün çekmiş olduğu güç (kompresör işi), nanoyağlayıcı içerisinde; %0,5 konsantrasyonunda Al₂O₃ nanopartikülü kullanıldığı zaman 28,11 kJ/h, %1,0 konsantrasyonunda Al₂O₃ nanopartikülü kullanıldığı zaman 28,39 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, kompresör çıkış sıcaklıkları ve kompresörün harcamış olduğu güç düşmüştür. Şekil 4.4’de farklı kütle fraksiyonlarında Al₂O₃ nanopartiküllerinin, nanoyağlayıcı içerisinde yer

alması sonucunda hazırlanan nanoyağlayıcının, kompresör yağı olarak kullanılması ile enerji tüketim miktarlarındaki azalma verilmiştir. Partikül eklenmeden saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deney sonucunda kompresörün yapmış olduğu iş, 32,14 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Nanoyağlayıcı içerisinde hacimce %1,0 kütle fraksiyonunun üzerinde Al_2O_3 nanopartikülü kullanıldığında, belli bir süreden sonra, süspansiyon içinde homojenliğin kaybolduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca; %0,5 nanopartikül kütle fraksiyonunda, %1,0 nanopartikül kütle fraksiyonuna göre daha düşük, kompresör enerji tüketimi hesaplanmıştır. Saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deneylere göre; %0,5 konsantrasyonunda Al_2O_3 nanopartikülü ve %0,5 konsantrasyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kompresörde tüketilen enerji miktarının %12,53 kadar azaldığı gözlemlenmiştir.



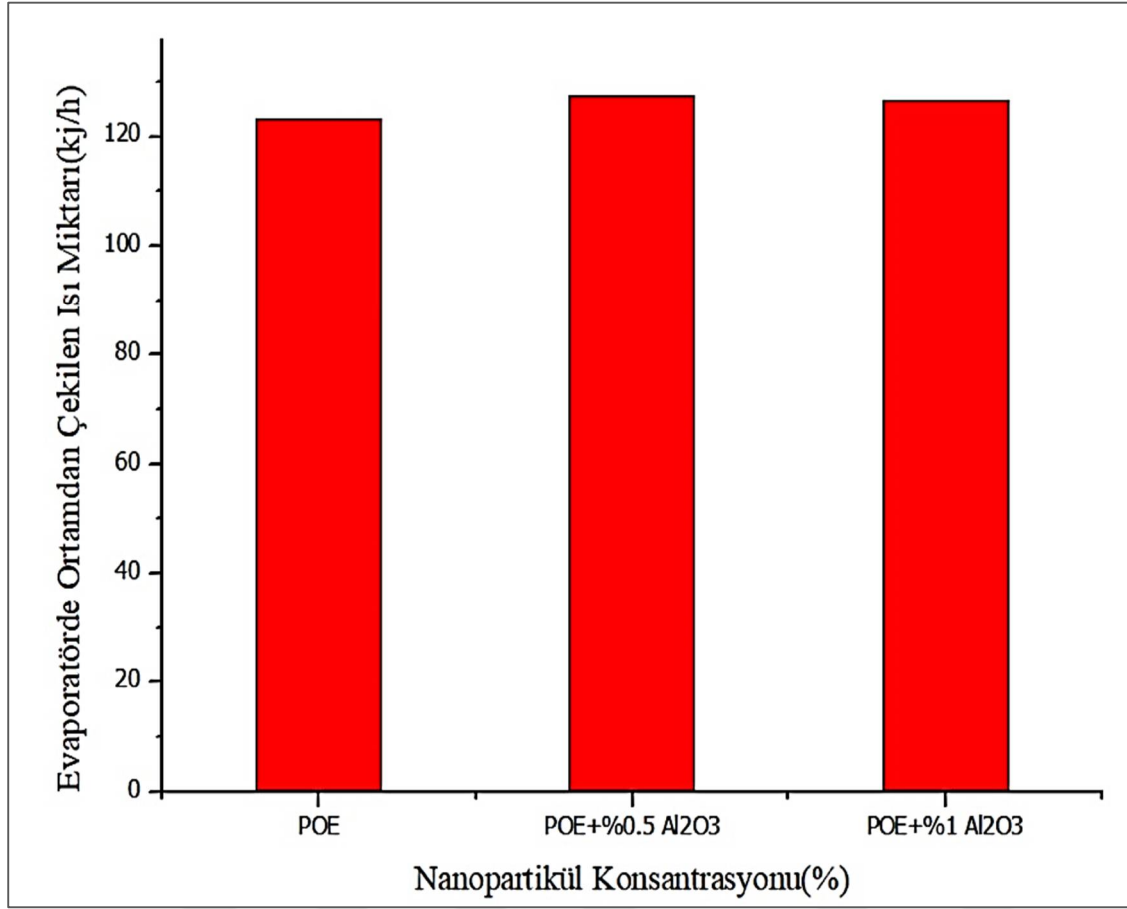
Şekil 4.4. POE/ Al_2O_3 /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör işindeki değişimler

4.1.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi

Soğutma çevriminde yer alan bir diğer ekipmanımız da evaporatördür. Soğutma çevrimi içerisinde farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak sistemde yer alması sonucunda, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarları incelenmiştir.

Kompresör içerisinde 100 ml. kadar POE yağı varken evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresörde, 100 ml. POE yağı yerine, baz sıvısı olarak 100 ml. POE ve %0,5 kütle fraksiyonunda Al_2O_3 nanopartikülü ile %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesiyle hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığı zaman, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı, 127,52 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Aynı deney düzeneğinde, baz sıvısı olarak POE, %1,0 kütle fraksiyonunda Al_2O_3 nanopartikülü ile %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan, kompresör yağı olarak yararlanıldığında, evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarı 126,70 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.5'te baz sıvısı POE, farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 nanopartikülü ve TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, soğutma sistemindeki evaporatör tarafından, ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler verilmiştir. Saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deneylere göre; baz sıvısı POE, %0,5 kütle fraksiyonunda Al_2O_3 nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan, kompresör yağı olarak faydalanıldığında, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı %3,40 kadar artmıştır.



Şekil 4.5. POE/Al₂O₃/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler

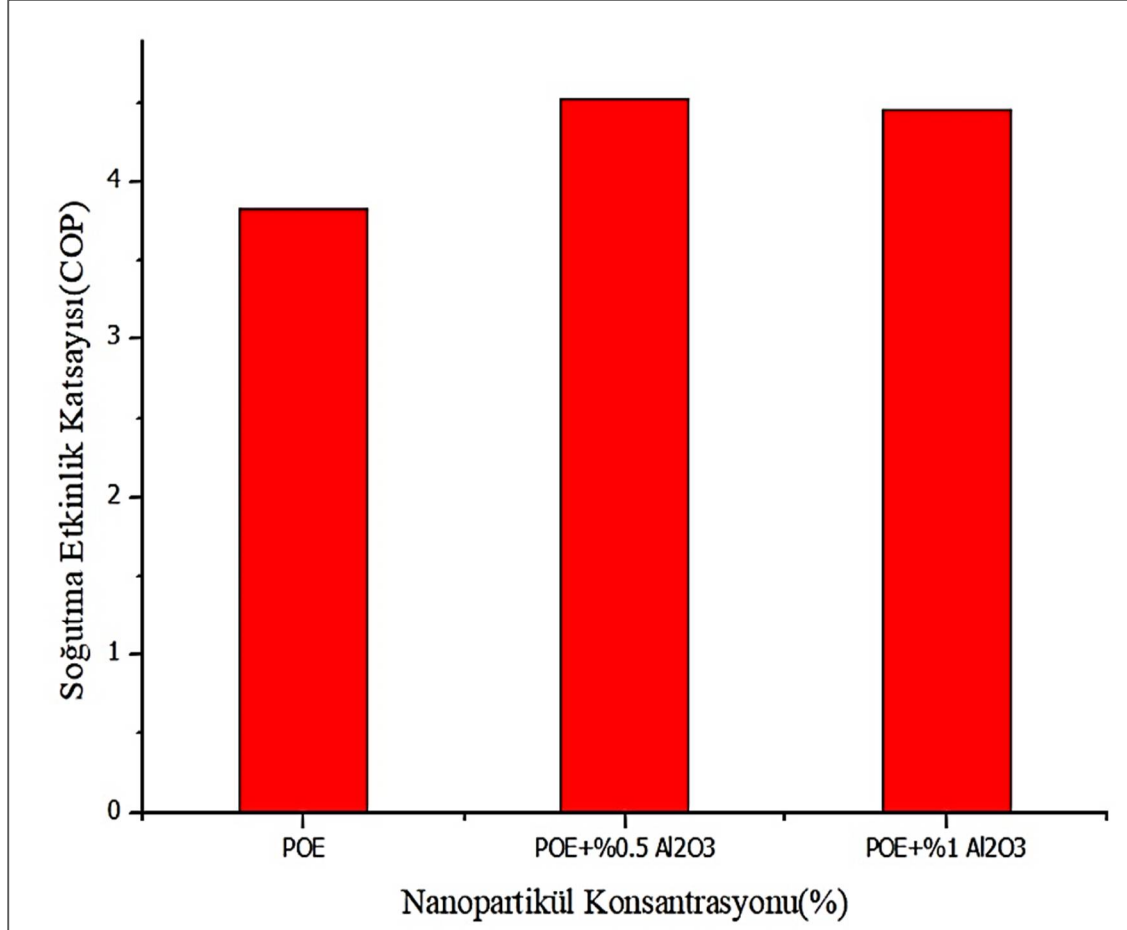
4.1.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan POE/Al₂O₃/TX-100 nanoyağlayıcıları ile yapılan deneyler sonucunda, alınan veriler doğrultusunda soğutma çevrimi için, önemli parametrelerden biri olan soğutma etkinlik katsayıları hesaplanmıştır.

Deneyler sonucunda, kompresör içerisindeki yağ yerine baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak Al₂O₃ ve yüzey aktif malzeme olarak da TX-100 ile hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanıldığında soğutma etkinlik katsayısı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Deney sonuçlarına göre %0,5 ve %1,0 nanopartikül konsantrasyonları ile hazırlanan nanoyağlayıcılar deney düzeneğinde kompresör yağı olarak kullanıldığı zaman, soğutma etkinlik katsayıları sırasıyla 4,53 ve 4,46 olarak hesaplanmıştır.

Saf POE kompresör yağı olarak sistemde yer aldığında, soğutma etkinlik katsayısı 3,83 olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı POE, TX-100 yüzey aktif malzemesi ve %0,5

nanopartikül konsantrasyonunda Al_2O_3 ile hazırlanan nanoyağlayıcı, saf POE yerine kompresör yağı olarak kullanıldığında COP değeri %18,27 kadar artmıştır. Deneyler sonucunda COP değerindeki değişimler Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. POE/ Al_2O_3 /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler

4.2. POE/hBN/TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde, sistemde kompresör yağı olarak yer almak üzere, baz sıvısı POE, farklı kütle fraksiyonlarında hBN nanopartikülleri ve TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlarken, hBN nanopartikülleri; %0,5 ve %1,0 kütle fraksiyonlarında kullanılmıştır. Süspansiyon içindeki baz sıvısı POE ile hBN nanopartiküllerinin, kimyasal olarak daha uyumlu davranış sergilemesi için, %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. Soğutma deney düzeneğinde yer alan kompresör ekipmanında 100 ml. kadar yağ vardır. Hazırlanan nanoyağlayıcı da 100 ml. kadar hazırlanmıştır. Soğutma sisteminde, her deney

aşamasında 350 gr. kadar R134a soğutucu akışkanı şarj edilmiştir. Soğutma çevriminde hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan uygulamalarda, alınan ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla deneyler üçer tekrar şeklinde yapılmıştır. Yapılan deneylerde, ölçüm sonuçları alınmadan önce; soğutma sisteminin kararlılığa ulaşması için 25 dk. kadar beklenilmiştir.

Deneylerin birinci aşamasında kompresör yağı olarak saf POE kullanılarak deneyler yapılmıştır. Sonraki aşamada deney düzeneğindeki kompresörün yağı boşaltılmıştır. Baz sıvısı POE, nanopartikül olarak %0,5 kütle fraksiyonunda hBN ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ve baz sıvısı POE, nanopartikül olarak %1,0 kütle fraksiyonunda hBN ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcılar kompresör yağı olarak kullanılmıştır. Saf POE ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılardan, kompresör yağı olarak yararlanılması sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Kompresör yağı değiştirilerek yapılan her deneyden önce, kompresör azot gazı ile temizlenmiştir ve sisteme 350 gr. kadar soğutucu akışkan R134a şarj edilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında yapılan deneylerde elde edilen veriler, Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. (POE/hBN/TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları

Ölçümler(Saf POE)	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Kompresör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kompresör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	69,6	70,2	69,6	69,80
Evaporatör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	15,2	15,3	15,2	15,23
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kondenser Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	69,6	70,2	69,6	69,80
Kondenser Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	31,6	31,8	31,3	31,56
Ölçümler(%0,5 hBN)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	15,0	15,4	15,9	15,43
Kompresör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	49,1	49,3	51,1	49,83
Evaporatör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	12,0	12,4	12,8	12,40
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	15,0	15,4	15,9	15,43
Kondenser Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	49,1	49,3	51,1	49,83
Kondenser Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	21,8	21,5	22,6	21,96
Ölçümler(%1,0 hBN)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	16,1	16,1	16,1	16,10
Kompresör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	47,8	48,8	49,1	48,56
Evaporatör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	13,1	13,1	13,1	13,10
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	16,1	16,1	16,1	16,10
Kondenser Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	47,8	48,8	49,1	48,56
Kondenser Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	23,3	23,0	23,1	23,13

Çizelge 4.3’de farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen üç ölçüm sonuçları ve ortalama değerleri verilmiştir. Deneylerde kompresör, evaporatör ve kondenser elemanlarının giriş-çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca; sistemde alçak ve yüksek basınç değerleri ile soğutucu akışkan debisi ölçülmüştür. Deneyler sonucunda alınan bu ölçüm sonuçlarının ortalamasına göre termodinamiksel olarak kompresör kapasitesi, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır.

Ölçülen sıcaklık ve basınç değerlerine göre entalpi değerleri hesaplanırken kompresör çıkış sıcaklığının entalpi değeri ile evaporatör giriş sıcaklığının entalpi değerinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Termodinamiksel olarak hesaplanan değerler ve ortalama sıcaklık değerleri de Çizelge 4.4’de verilmiştir.

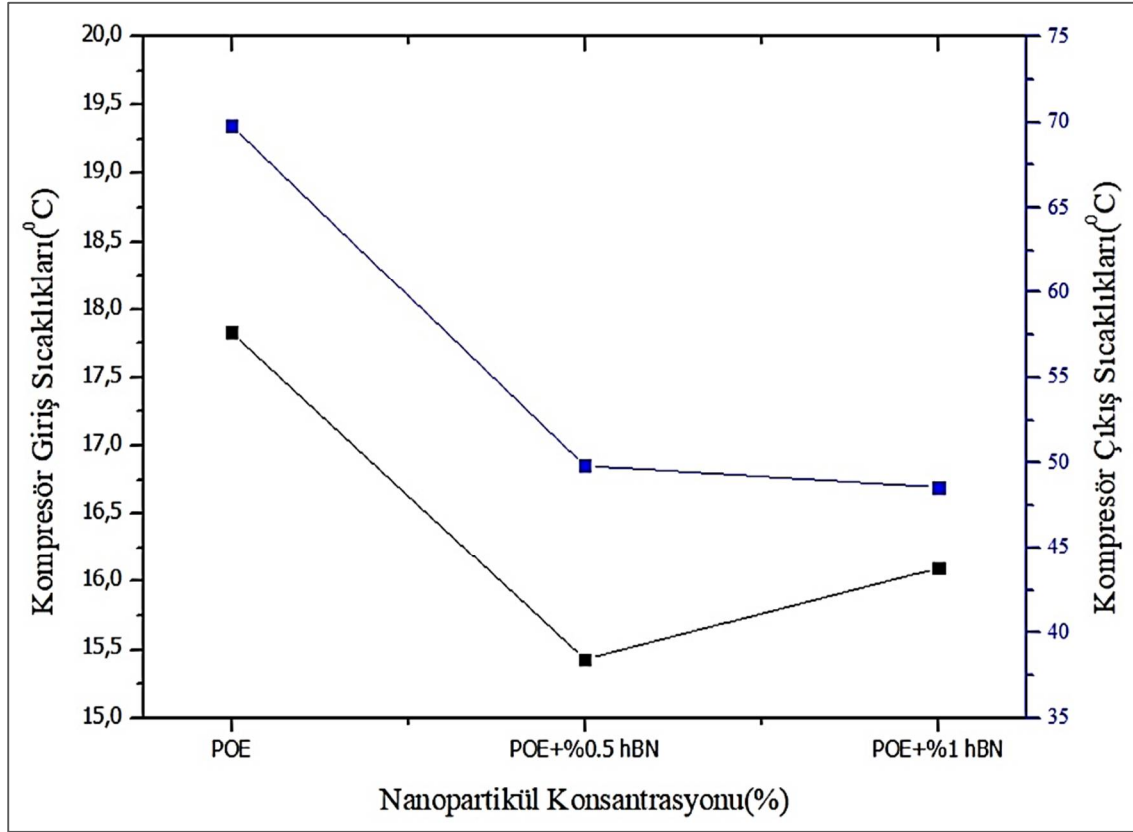
Çizelge 4.4. (POE/hBN/TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar

Ölçümler	POE	%0,5 hBN	%1,0 hBN
Yüksek Basınç(bar)	7,00	4,00	4,00
Alçak Basınç(bar)	2,20	1,90	1,90
Kompresör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	17,83	15,43	16,10
Kompresör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	69,80	49,83	48,56
Evaporatör Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	15,20	12,40	13,10
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	17,83	15,43	16,10
Kondenser Giriş Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	69,80	49,83	48,56
Kondenser Çıkış Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	31,50	21,96	23,13
Soğutkan Debisi(g/s)	70,00	70,00	70,00
Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı(kj/h)	123,32	128,650	127,953
Kompresör Kapasitesi(kj/h)	32,14	23,998	22,917
Soğutma Etkinlik Katsayısı(COP)	3,83	5,36	5,58

Çizelge 4.4’de saf POE ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda; kompresör, evaporatör ve kondenser elemanlarının giriş-çıkış sıcaklıklarının ve alçak-yüksek basınç değerlerinin üç ölçüm için ortalama değerleri verilmiştir. Ayrıca soğutucu akışkanın ölçülen debi miktarı da çizelgede verilmiştir.

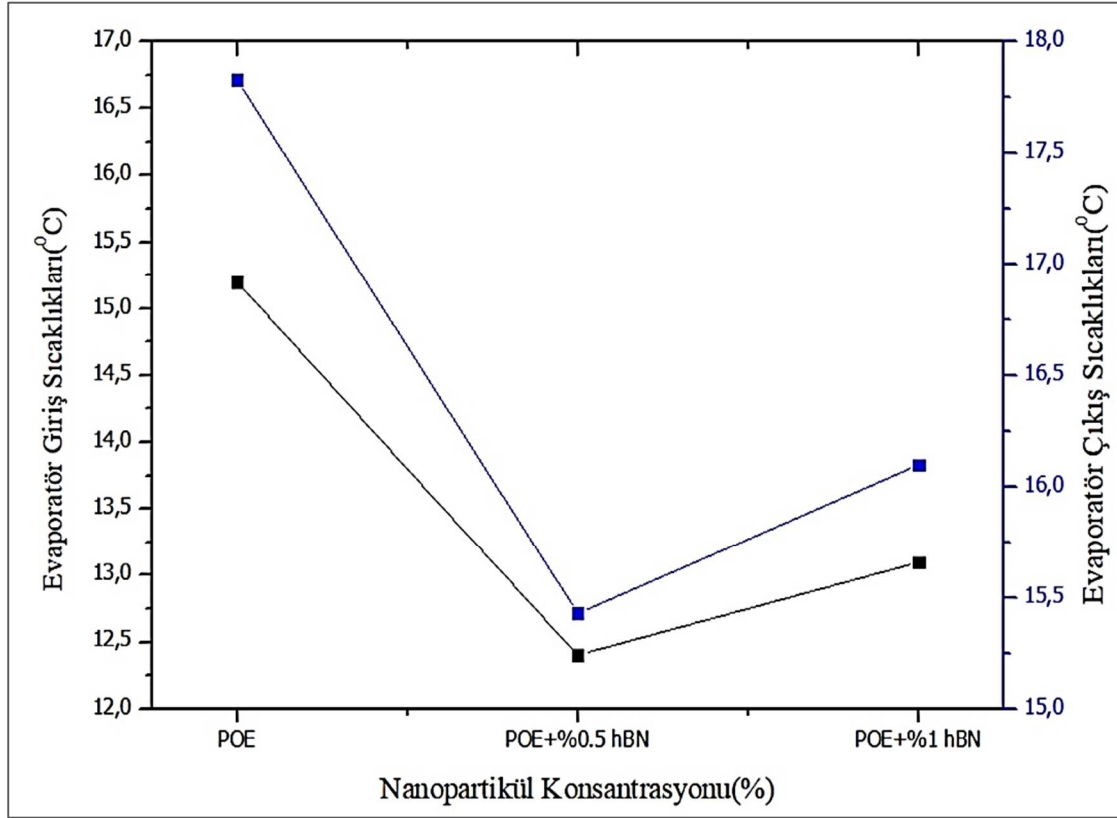
Soğutma çevriminde enerji verimliliği çalışmaları noktasında, kompresör için giriş ve çıkış sıcaklıklarındaki değişimler önemlidir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör giriş-çıkış sıcaklık değerlerindeki değişimler, Şekil 4.7’de verilmiştir. Baz sıvısı POE, %0,5 kütle fraksiyonunda hBN partikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan, kompresör yağı olarak faydalandığında, kompresör çıkış sıcaklığında, 19,97 $^{\circ}\text{C}$ kadar düşüş meydana gelmiştir. Aynı koşullar altında,

nanoyağlayıcı içerisinde %1,0 kütle fraksiyonunda hBN partikülü kullanılarak yapılan deney sonucunda kompresör çıkış sıcaklığı 21,24 °C kadar düşüş meydana gelmiştir.



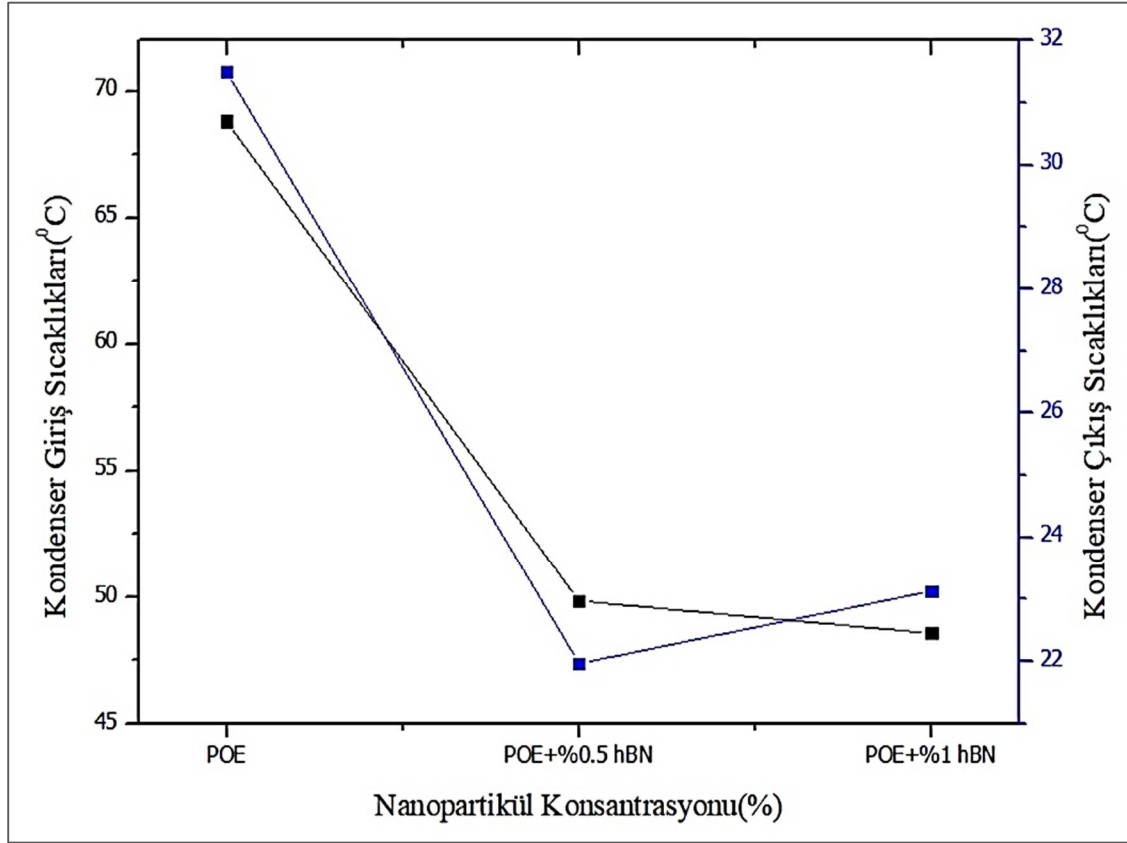
Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Soğutma sisteminde, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deneyler sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklıkları da değişmiştir. Evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimi sonucunda, evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarı ve soğutma etkinlik katsayısı da değişecektir. Farklı kütle fraksiyonlarında hBN partikülleri, baz sıvısı POE ve yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Çalışmanın bu bölümünde farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcıların soğutma çevriminde kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişim Şekil 4.9’da verilmiştir. Kondenser giriş-çıkış değerlerindeki değişimler sonucunda termodinamiksel olarak entalpi değerleri de değişmiştir.



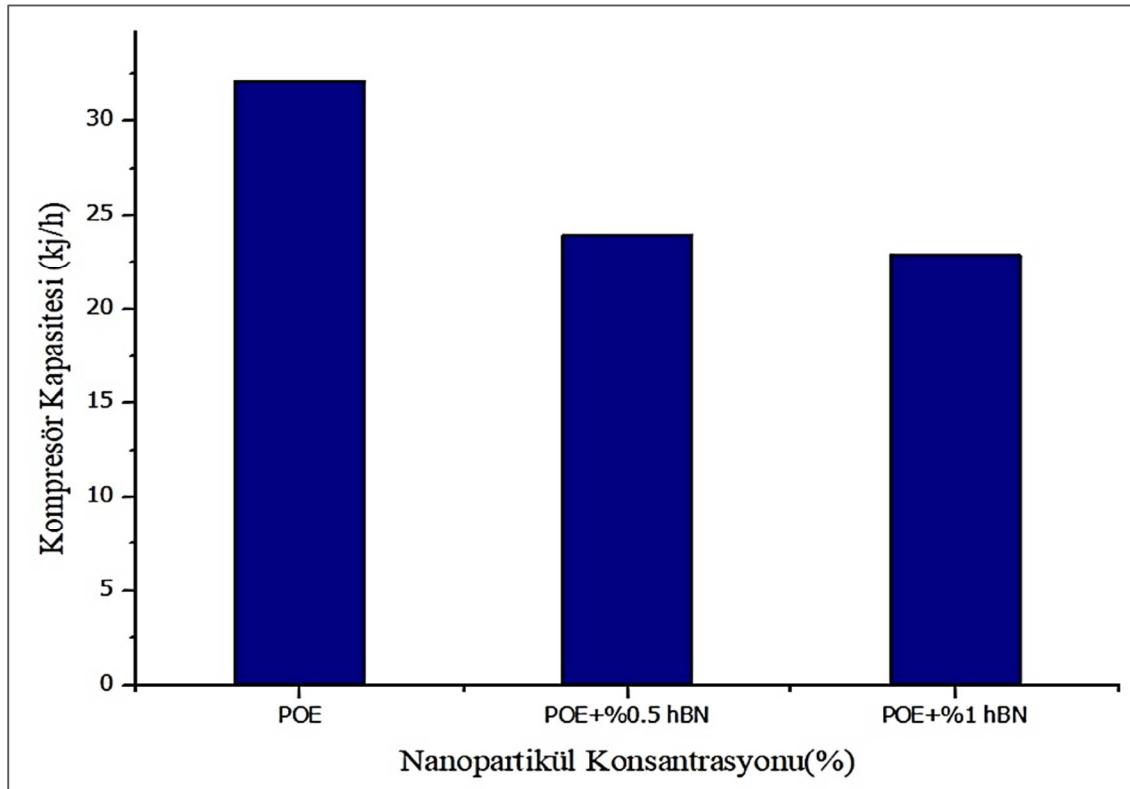
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş - çıkış sıcaklıklarının değişimleri

4.2.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi

Deneyler sonucunda, soğutma çevriminin performansını arttırarak, harcanan enerji miktarı azaltılmaya çalışılmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde enerjinin neredeyse tamamını kompresör tüketmektedir. Bu nedenle de kompresör çalışma sıvısı olarak POE/hBN/TX-100 şeklinde, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılmıştır. Nanoyağlayıcı içerisinde hBN nanopartikülleri kullanıldığında, sistem enerji tüketimindeki azalma dikkat çekicidir. Çalışma sıvısı POE, nanopartikül hBN ve yüzey aktif malzeme TX-100 tepkimeye girmeden, uyumlu bir süspansiyon oluşturmuştur. Nanopartikül olarak kullanılan 40-60 nm boyutlarındaki hBN moleküllerinin, baz sıvısı POE içerisinde ısı transfer özelliklerini, yüksek oranda arttırdığı görülmüştür. Hazırlanan nanoyağlayıcıdan kompresör yağı olarak yararlanıldığında, kompresör çıkış sıcaklığında yüksek miktarda düşüş görülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde, saf POE kompresör yağı olarak kullanıldığında kompresörün çekmiş olduğu güç 32,14 kj/h olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı POE, %0,5 kütle

fraksiyonunda hBN partikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı kompresör yağı olarak kullanıldığında kompresörün çekmiş olduğu güç 23,998 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak faydalanan nanoyağlayıcı içerisindeki hBN nanopartikülünün kütle fraksiyonu %1,0'e arttırıldığında, kompresörün çekmiş olduğu güç 22,917 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Saf POE ve hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneylerin sonuçlarına göre kompresörün çekmiş olduğu güç miktarları, Şekil 4.10'da verilmiştir. POE/%1,0hBN/%0,5TX-100 içeriği ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanımına göre kompresörün tüketmiş olduğu güç, %28,69 kadar azaltılmıştır.

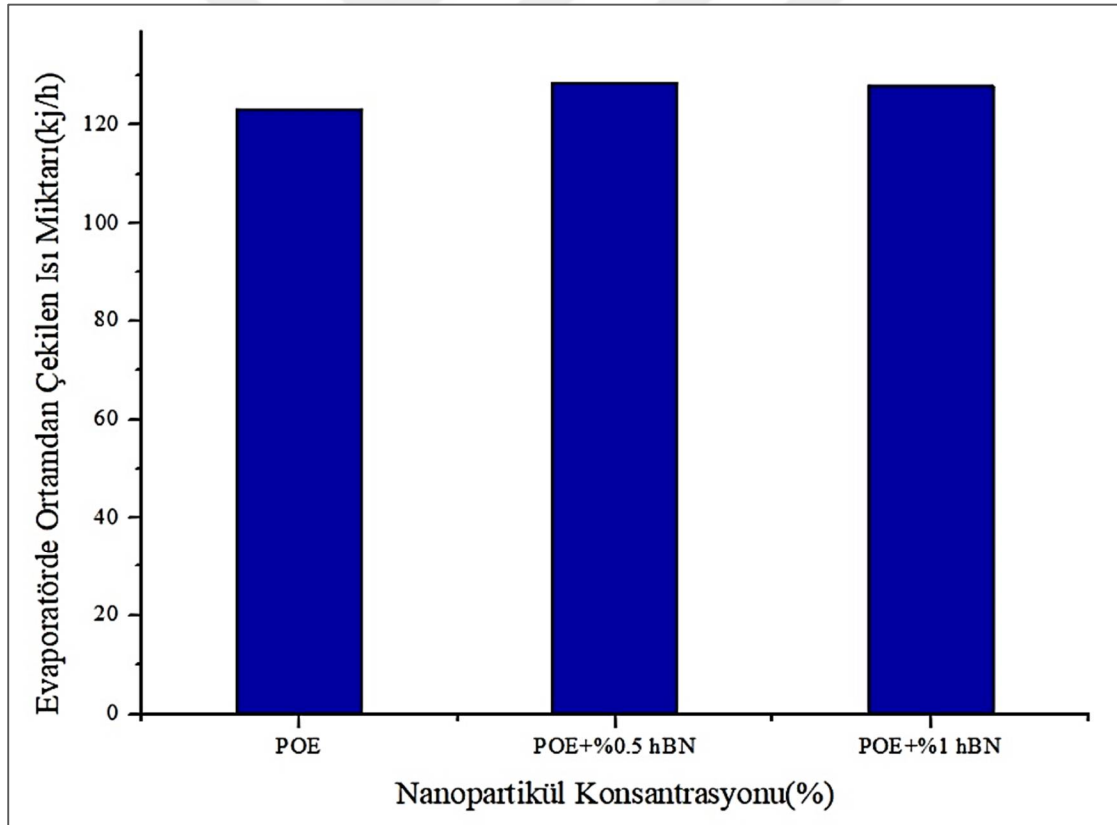


Şekil 4.10. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör işindeki değişimler

4.2.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi

Soğutma çevrimi içerisinde, soğutulan ortamdan ısı çeken elemanımız evaporatördür. Çalışmanın bu bölümünde hazırlanan nanoyağlayıcının, kompresörde kullanılması sonucunda evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarları analiz edilmiştir.

Kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığı zaman, evaporatör tarafından ortamdaki çekilen ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak, baz sıvısı POE, %0,5 kütle fraksiyonunda hBN partikülleri ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında, evaporatör tarafından ortamdaki çekilen ısı miktarı, 128,650 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak yararlanılan nanoyağlayıcıda hBN nanopartikülünün kütle fraksiyonu %1,0'a çıkarıldığında, evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarı, 127,953 kJ/h olarak hesaplanmıştır. POE/%0,5hBN/%0,5TX-100 içeriği ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanımına göre evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarı, %4,32 kadar artmıştır. Saf POE ve hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneylerin sonuçlarına göre evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarları Şekil 4.11'de verilmiştir.

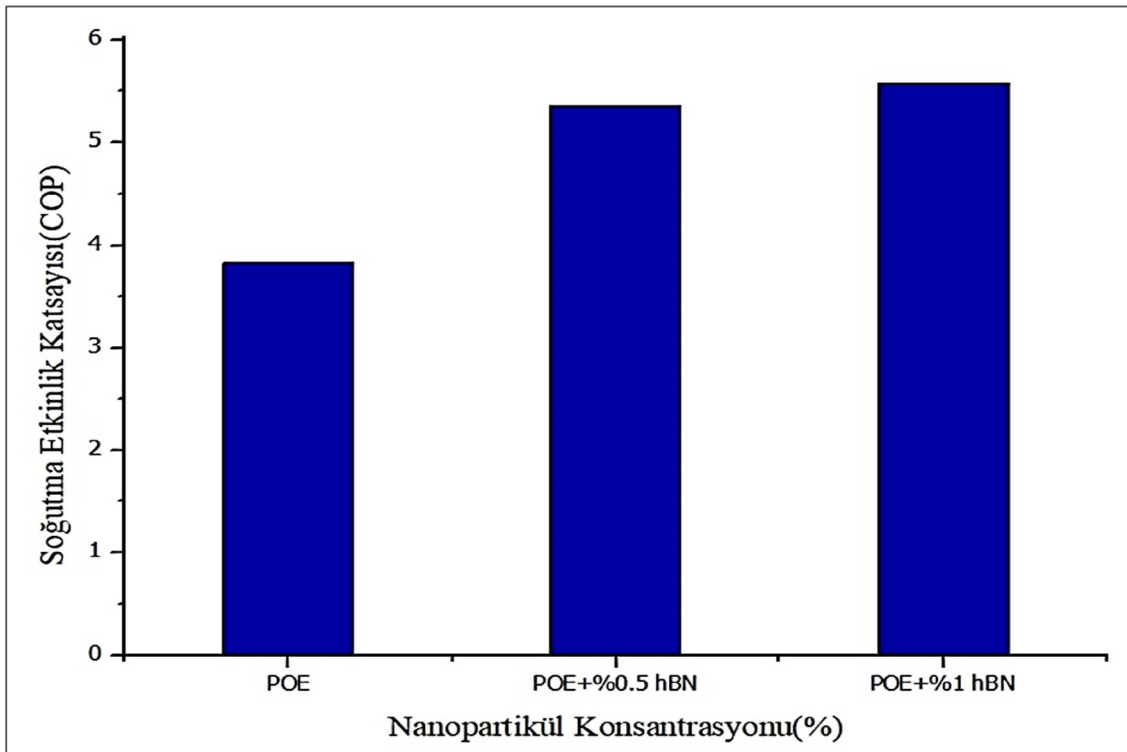


Şekil 4.11. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdaki çekilen ısı miktarlarındaki değişimler

4.2.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi

Farklı konsantrasyonlarda POE/hBN/TX-100 içeriği ile hazırlanan nanoyağlayıcılar, soğutma çevriminde kompresör yağı olarak kullanıldığında soğutma etkinlik katsayıları da hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığında soğutma etkinlik katsayısı 3,83 olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı POE, %0,5 kütle fraksiyonun da hBN partikülleri ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı kompresör yağı olarak sistemde yer aldığında, soğutma etkinlik katsayısı 5,36 olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak yararlanılan nanoyağlayıcıdaki hBN kütle fraksiyonu %1,0'a çıkarıldığında, soğutma etkinlik katsayısı 5,58 olarak hesaplanmıştır. POE/%1,0hBN/%0,5TX-100 içeriği ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan, kompresör yağı olarak faydalanıldığında, saf POE'nin kompresör yağı olarak kullanımına göre, soğutma etkinlik katsayısı %45,69 kadar artmıştır. Çalışmanın bu bölümünde farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. POE/hBN/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler

4.3. POE/TiO₂/SDBS Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması

Deneyisel çalışmanın bu kısmında, bir önceki deneylere göre, farklı tipte nanopartikül ve yüzey aktif malzeme kullanılarak nanoyağlayıcı hazırlanmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlandıktan sonra kompresör yağı olarak kullanılıp, deneyisel ölçümler alınmıştır.

Deneyisel ölçümler sonucunda elde edilen verilerden, gerekli termodinamiksel hesaplamalar için yararlanılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak TiO₂ ve yüzey aktif malzeme olarak da SDBS kullanılmıştır. Deneylerde ilk aşamada kompresör yağı olarak, saf POE'den yararlanılmıştır. Alınan sonuçlar, farklı kütle fraksiyonlarında nanopartikül ve yüzey aktif malzeme ile, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda alınan veriler ile karşılaştırılmıştır. Deneylerin ikinci aşamasında, baz sıvısı POE, %1,0 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanılmıştır.

Bir sonraki aşama da; baz sıvısı POE, %1,5 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan, sistem içerisinde kompresör yağı olarak faydalanılmıştır. Son olarak da, baz sıvısı POE, %2,0 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanılmıştır.

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar sistem içerisinde yer alırken, her bir nanoyağlayıcı ile yapılan deneyler üçer kez tekrarlanmıştır. Kompresör içerisindeki nanoyağlayıcı değiştirilirken kompresör, azot gazı ile temizlenmiştir. Yapılan deneylerdeki ölçüm sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. (POE/TiO₂/SDBS) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları

Ölçümler(Saf POE)	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	15,2	15,3	15,2	15,23
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,6	31,8	31,3	31,56
Ölçümler(%1,0 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	31,9	31,7	31,9	31,83
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	65,5	65,4	65,4	65,43
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	27,7	27,5	27,8	27,66
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,9	31,7	31,9	31,83
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	65,5	65,4	65,4	65,43
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	29,8	29,5	29,7	29,66
Ölçümler(%1,5 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	31,4	31,6	31,5	31,50
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	65,8	66,2	66,7	66,23
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	27,2	27,2	27,2	27,20
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,4	31,6	31,5	31,50
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	68,6	70,2	68,4	66,23
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	29,8	30,1	29,8	29,90
Ölçümler(%2,0 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	28,8	29,6	28,9	29,10
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	70,2	70,6	71,4	70,73
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	16,5	16,7	16,6	16,60
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	28,8	29,6	28,9	29,10
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	70,2	70,6	71,4	70,73
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	30,6	31,1	30,9	30,86

Çizelge 4.5'te baz sıvısı POE, farklı konsantrasyonlarda TiO₂ nanopartikülü ve SDBS yüzey aktif malzeme ile hazırlanan nanoyağlayıcıların deney düzeneğinde, kompresör yağı

olarak kullanılması sonucunda alınan sonuçlar verilmiştir. Her konsantrasyon ve üçer ölçüm için; kompresör, evaporatör ve kondenser için giriş-çıkış sıcaklıkları ve ortalamaları verilmiştir.

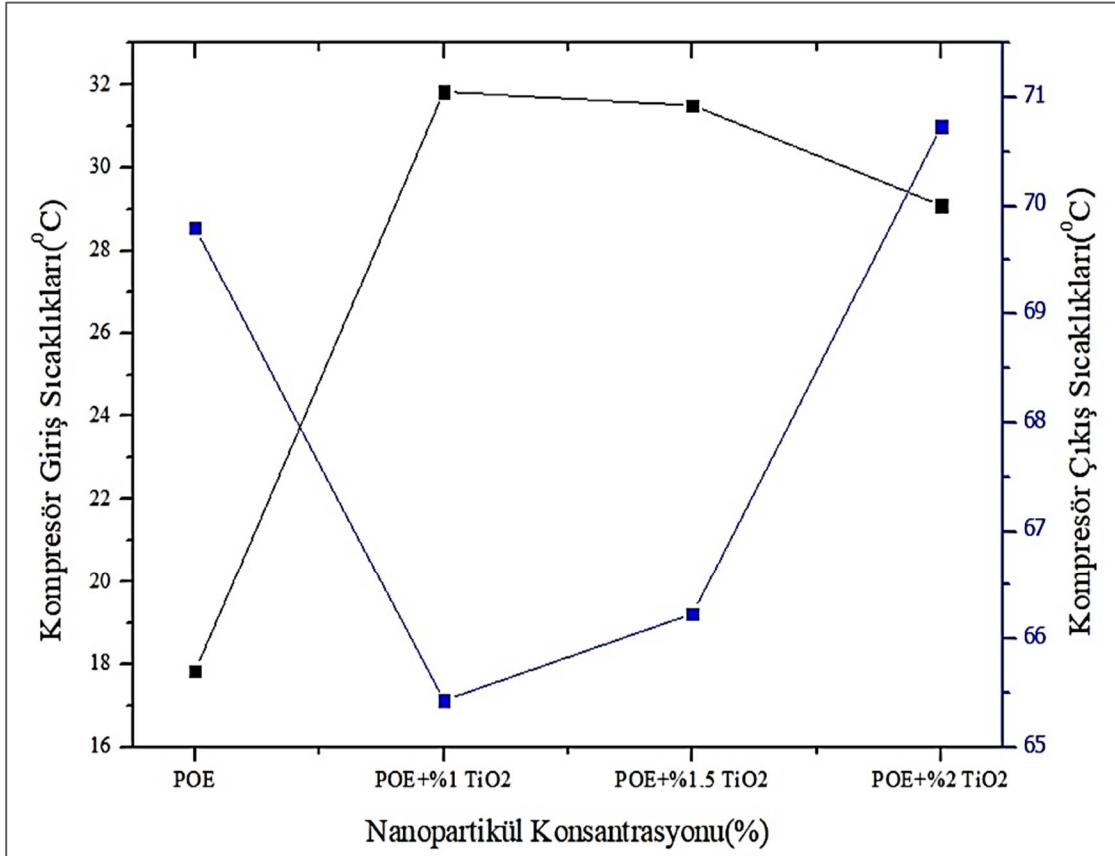
Çizelge 4.6’da yapılan deneylerden alınan ölçüm sonuçlarına göre, farklı konsantrasyonlar için ortalama basınç, sıcaklık ve akış hızı değerleri verilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak, evaporatör tarafından soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarı, kompresör kapasitesi ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. (POE/TiO₂/SDBS) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları ve hesaplamalar

Ölçümler	POE	1,0% TiO ₂	1,5% TiO ₂	2,0% TiO ₂
Yüksek Basınç(bar)	7,00	4,00	4,10	6,00
Alçak Basınç(bar)	2,20	1,80	1,90	2,20
Kompresör Giriş Sıcaklığı(°C)	17,83	31,83	31,50	29,10
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(°C)	69,80	65,43	66,23	70,73
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(°C)	15,20	27,66	27,20	16,60
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(°C)	17,83	31,83	31,50	29,10
Kondenser Giriş Sıcaklığı(°C)	69,80	65,43	66,23	70,73
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(°C)	31,50	29,66	29,90	30,86
Soğutkan Debisi(g/s)	70,00	70,00	70,00	70,00
Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı(kj/h)	123,32	123,54	123,08	127,17
Kompresör Kapasitesi(kj/h)	32,14	26,28	27,05	30,84
Soğutma Etkinlik Katsayısı(COP	3,83	4,70	4,55	4,11

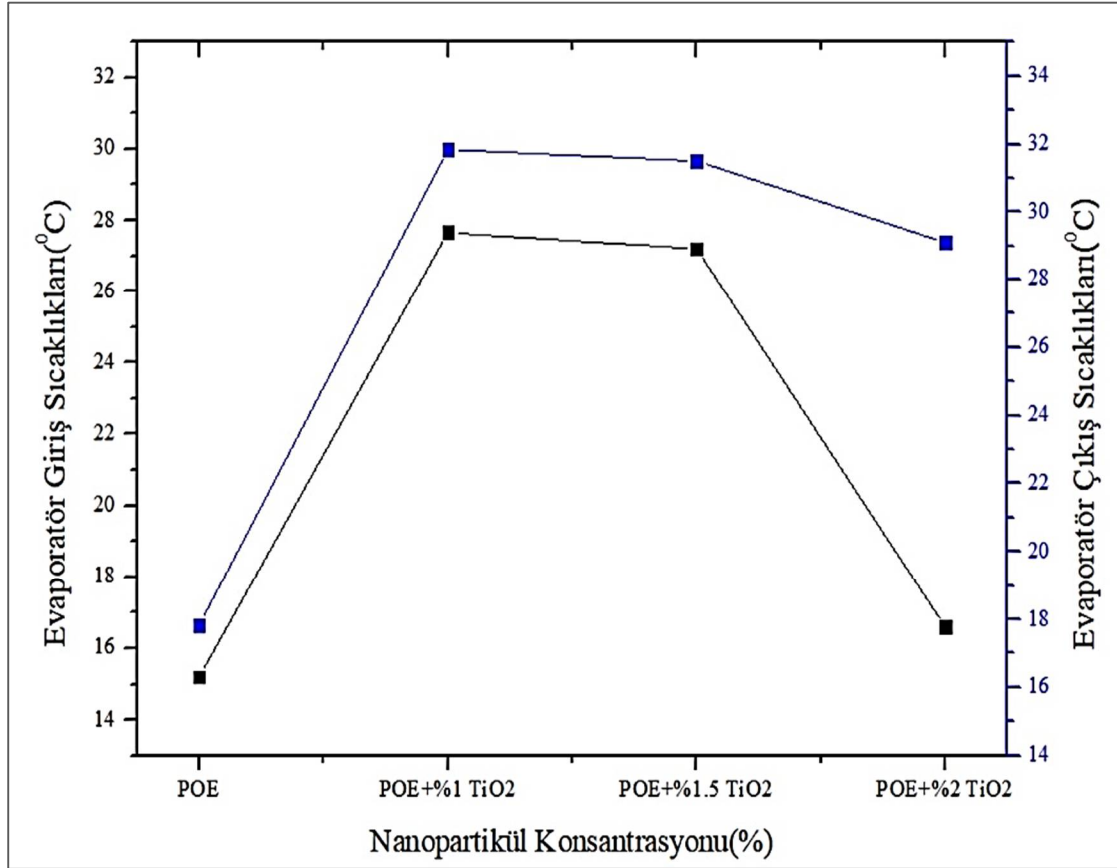
Kompresör yağı olarak, farklı kütle fraksiyonlarında TiO₂ nanopartikülüyle hazırlanan nanoyağlayıcılardan yararlanılması ile yapılan deneylerin sıcaklık, basınç ve debi değerleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir. Soğutma sisteminde performans iyileştirilmesi sağlanırken, bu veriler ve bu veriler doğrultusunda yapılan termodinamiksel hesaplamalar önemlidir. Sistemde nanoyağlayıcı kullanıldığında, verimliliği arttırmak için en önemli etken, kompresörün fazla ısınmasını engellemektir. Nanoyağlayıcı kullanıldığında, bütün konsantrasyonlar için kompresör çıkış sıcaklığı düşmüştür.

En düşük kompresör çıkış sıcaklığı; baz sıvısı POE, %1,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü ve %0.5 SDBS yüzey aktif malzeme ile hazırlanan nanoyağlayıcının, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda elde edilmiştir. Şekil 4.13’de farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların, soğutma sisteminde kompresör yağı olarak kullanımı ile elde edilen, kompresör giriş-çıkış sıcaklıkları verilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı konsantrasyonlarda POE/ TiO_2 /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

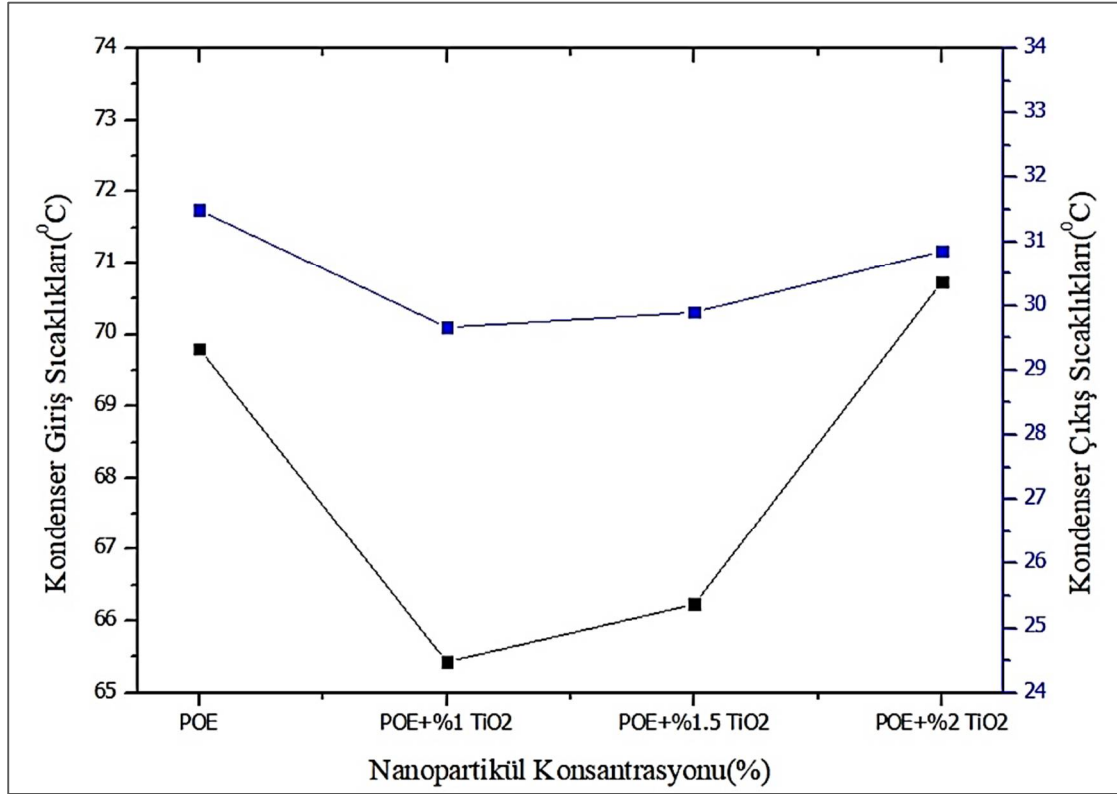
Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak sistemde yer alması sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklıkları da değişmektedir. Genel olarak bütün konsantrasyonlar için evaporatör giriş-çıkış sıcaklıkları artmıştır. Bu durumun sistem verimliliği üzerine olumlu etkisi vardır. Hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kompresör ve evaporatör sıcaklıkları etkilendiği gibi, kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları da çevrim içerisinde değişikliğe uğramıştır. Kompresör yağı yerine, hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları düşmüştür. Baz sıvısı POE, farklı kütle fraksiyonlarında TiO₂ ve SDBS yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak sistemde yer aldığı anda, kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.15’de verilmiştir.

Baz sıvısı POE, %2,0 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülleri ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ile hazırlanan nanoyağlayıcının, soğutma sisteminde kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kondenser giriş sıcaklıkları az da olsa artmıştır. Bu konsantrasyon değerinde süspansiyon içerisinde küçük miktarlarda çökme gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu konsantrasyonda hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, kondenserde sıcaklık artışının olduğu düşünülmektedir.



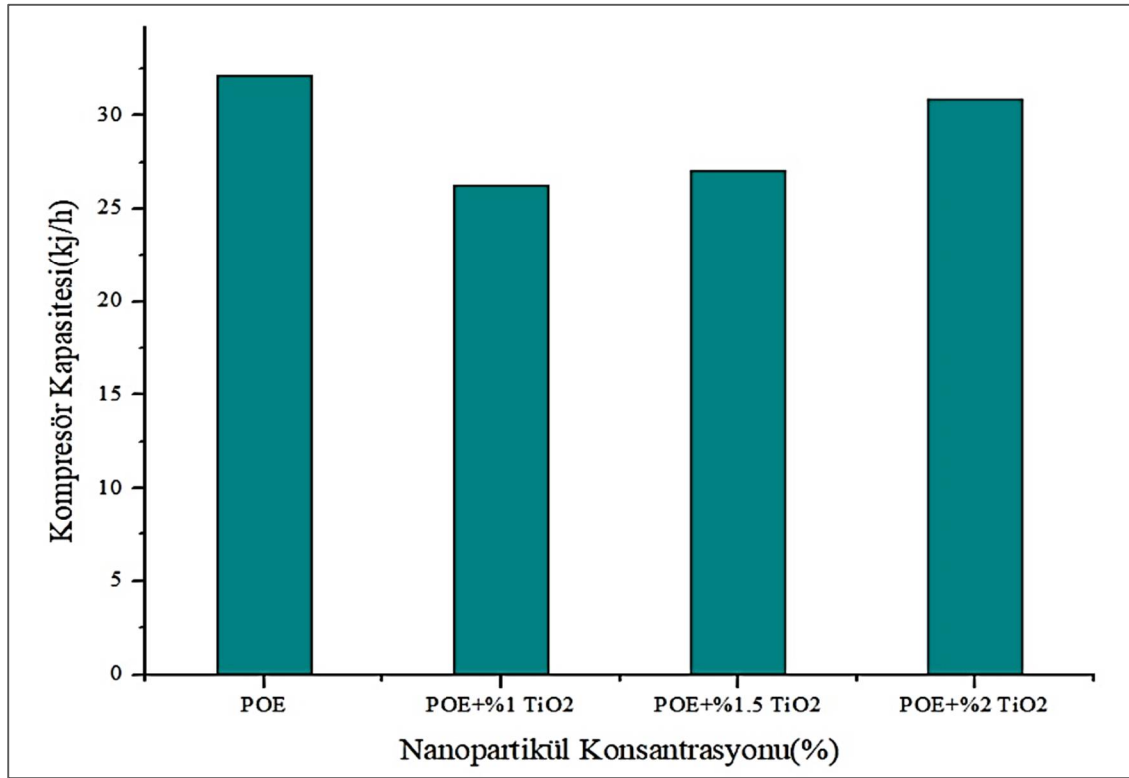
Şekil 4.15. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

4.3.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi

Soğutma sistemleri için yapılan enerji verimliliği çalışmalarında, kompresörde yapılan işin düşürülmesi sistemin verimli çalışması noktasında önemlidir. Nanoyağlayıcı kullanılmadan normal kompresör yağı ile ve %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında nanopartikül kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak sistemde yer almasıyla yapılan deneyler sonunda, kompresörü çalıştırmak için harcanan iş ile ilgili veriler, Şekil 4.16'da verilmiştir. Ayrıca, nanoyağlayıcı oluştururken homojen ve hidrofobik fazda süspansiyon oluşturmak için SDBS yüzey aktif malzemesinden faydalanılmıştır. Şekil 4.16'da gösterildiği gibi, kompresörde çalışma sıvısı olarak POE kullanıldığında, kompresördeki enerji tüketimi 32,14 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresörde çalışma sıvısı olarak hazırlanan nanoyağlayıcı içerisinde, baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak %1,0 kütle fraksiyonunda TiO₂ ve yüzey aktif malzeme olarak %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS ile hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığı zaman, kompresörün enerji tüketimi 26,28 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı POE ile %1,5 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ile

hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, kompresörün enerji tüketimi 27,05 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Son olarak da baz sıvısı olarak POE ile %2,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi kompresör yağı olarak kullanıldığında, kompresörün enerji tüketimi 30,84 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Soğutma çevriminde kompresör yağı olarak; POE yerine, POE/%1,0 TiO_2 /%0,5SDBS şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında, kompresördeki enerji tüketimi yaklaşık %18,23 kadar azaltılmıştır.



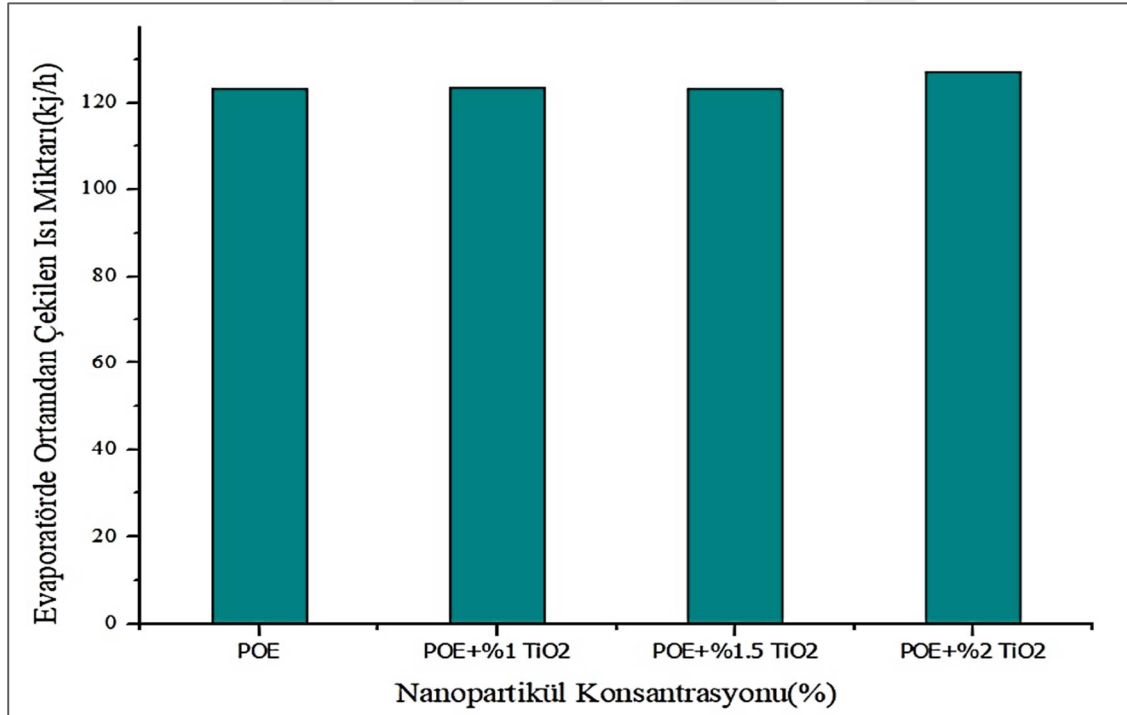
Şekil 4.16. POE/ TiO_2 /SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör işindeki değişimler

4.3.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarının incelenmesi

Soğutma çevrim elemanlarından bir diğeri olan evaporatör tarafından soğutulan ortamdan ısı çekilir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak termodinamiksel olarak entalpi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda her konsantrasyon

için evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarları hesaplanarak, Şekil 4.17’de verilmiştir.

Sistem içerisinde kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığında, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak, POE/%1,0TiO₂/ %0,5SDBS konsantrasyonunda nanoyağlayıcı hazırlanarak, soğutma sisteminde kompresör yağı olarak kullanıldığı zaman, ortamdan çekilen ısı miktarı 123,54 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı ve yüzey aktif malzeme sabit tutularak, nanopartikül miktarları %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak, soğutma sisteminde yer aldığı zaman, evaporatör tarafından soğutulan ortamdan çekilen ısı miktarları sırasıyla, 123,08 kJ/h ve 127,17 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak; baz sıvısı POE yerine, %2,0 kütle fraksiyonunda TiO₂ ve %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzeme ile hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı %3,12 kadar artmıştır.



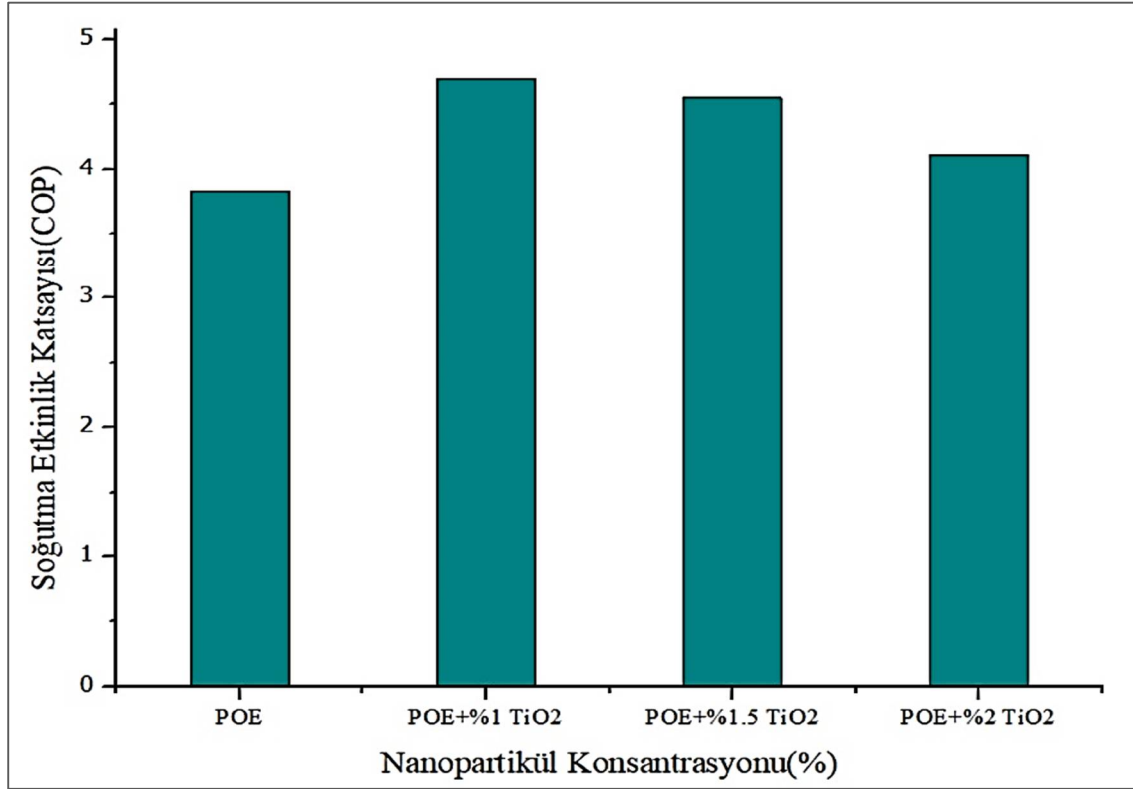
Şekil 4.17. POE/TiO₂/SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler

4.3.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi

Soğutma çevriminde, performans analizini yapmak için en önemli parametre soğutma etkinlik katsayısı değeridir. Yapılan deneyler sonucunda, farklı derişimlerde hazırlanan nanoyağlayıcılardan, kompresör yağı olarak yararlanılması sonucunda, soğutma etkinlik katsayısındaki değışimler Şekil 4.18’de verilmiştir.

Sonuçlara göre, kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığında COP değeri 3,83 olarak hesaplanmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, %1,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü, %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ve baz sıvısı olarak da POE kullanıldığında COP değeri 4,70 olarak hesaplanmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı olarak; %1,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü, %0,5 oranında SDBS yüzey aktif malzemesi ve baz sıvısı olarak POE, %2,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü, %0,5 oranında SDBS yüzey aktif malzemesi ve baz sıvısı olarak POE ile hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanıldığında, sırasıyla COP değerleri; 4,55 ve 4,11 olarak hesaplanmıştır.

Soğutma sisteminde kompresör yağı olarak POE/%1,0 TiO_2 /%0,5SDBS konsantrasyonunda hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında, saf POE’nin kompresör yağı olarak kullanımına göre, soğutma etkinlik katsayısı %22,71 kadar artmıştır.



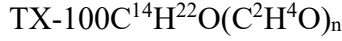
Şekil 4.18. POE/TiO₂/SDBS nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler

4.4. POE/TiO₂/TX-100 Nanoyağlayıcılarının Sistemde Kullanılması

Deneysel çalışmanın bu kısmında, nanoyağlayıcı içerisinde kullanılan yüzey aktif malzemenin sistem performansına olan etkileri araştırılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlanırken baz sıvısı POE içerisinde, TiO₂ nanopartikülleri ile yüzey aktif malzeme olarak SDBS'den faydalanılmasının etkileri daha önce incelenmişti.

Deneylerde, SDBS yüzey aktif malzeme yerine TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılarak, aynı şartlar altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Nanoyağlayıcı çalışmalarında, nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzemelerin etkinliğinin araştırıldığı başka bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu noktada nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzeme kullanarak, sistem performansı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu kısımdaki deneylerin yapılmasındaki temel amaç, soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı yerine kullanmış olduğumuz, nanoyağlayıcı için en iyi performans sonuçlarına ulaşmak için, uygun yüzey aktif malzeme seçiminin sağlanmasıdır.

Yüzey aktif malzemeler belli bir yüzey aktivitesine sahiptir ve çözündükleri süspansiyon içerisinde çözücülerin enerjisini büyük ölçüde değiştiren malzemelerdir. Kullanmış olduğumuz TX-100 yüzey aktif malzemesi için açık formül şu şekildedir [88].



Deneyler yapılırken farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılarak ölçüm sonuçları alınmıştır. Soğutma çevriminin performansını arttırmak amacıyla, kompresör yağı olarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılardan yararlanılmıştır. Deneylerin birinci aşamasında; kompresör yağı olarak saf POE kullanılarak üçer tekrar şeklinde deneyler yapılmıştır. Kompresör yağı olarak POE kullanılırken, sistem 350 gr R134a soğutucu akışkanı ile şarj edilmiştir.

İkinci aşamada; baz sıvısı POE, nanopartikül olarak %0,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülleri ve %0,5 kütle fraksiyonunda da TX-100 yüzey aktif malzemesinden yararlanılarak hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanılarak ölçüm sonuçları alınmıştır. Bu deneylerde üçer tekrar şeklinde yapılmıştır. Deneylerin üçüncü, dördüncü ve beşinci aşamalarında; baz sıvısı POE ve TX-100 yüzey aktif malzemesiyle nanopartikül kütle fraksiyonu sırasıyla %1,0; %1,5 ve %2,0 olacak şekilde hazırlanan nanoyağlayıcılar ile gerçekleştirilmiştir. Her bir kütle fraksiyonu için deneyler üçer kez tekrarlanmıştır. Ayrıca kompresör içerisindeki nanoyağlayıcı değiştirilirken, kompresör azot gazı ile temizlenmiştir. Her bir deney esnasında 25 dakika kadar beklenilip, sistem belli bir kararlılığa ulaşınca ölçüm sonuçları alınmıştır.

Soğutma çevriminde, yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanıldığında, soğutma ekipmanlarının giriş-çıkış sıcaklıkları her ölçüm için Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. (POE/TiO₂/TX-100) ile yapılan deneylerin ölçüm sonuçları

Ölçümler(Saf POE)	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	15,2	15,3	15,2	15,20
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	17,8	17,9	17,8	17,83
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	69,6	70,2	69,6	69,80
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,6	31,8	31,3	31,50
Ölçümler(%1,0 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	24,7	24,5	26,8	25,33
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	60,0	58,6	59,1	59,23
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	20,2	20,1	21,3	20,53
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	24,7	24,5	26,8	25,33
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	60,0	58,6	59,1	59,23
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	22,6	22,6	23,3	22,86
Ölçümler(%1,5 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	26,3	26,5	26,5	26,43
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	56,5	56,4	56,5	56,46
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	22,4	22,8	22,8	22,66
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	26,3	26,5	26,5	26,43
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	56,5	56,4	56,5	56,56
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	24,4	24,5	24,5	24,46
Ölçümler(%2,0 TiO ₂)				
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	26,9	27,0	27,2	27,03
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	59,4	59,2	59,4	59,33
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	23,3	23,2	23,3	23,26
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	26,9	27,0	27,2	27,03
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	59,4	59,2	59,4	59,33
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	24,9	24,8	24,9	24,86

Soğutma sisteminde, kompresör yağı olarak, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcı kullanılması sonucunda, çevrim içerisindeki elemanların giriş ve çıkış

sıcaklıklarındaki değişimlerle birlikte, basınç ve debi değerlerindeki değişimler, Çizelge 4.8’de verilmiştir. Alınan sıcaklık, basınç ve debi değerleri kullanılarak termodinamiksel olarak bu değerlere bağlı, soğutulan ortamdan çekilen ısı, kompresör kapasitesi ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, kullanılan her konsantrasyondaki nanoyağlayıcı için Çizelge 4.8’de verilmiştir.

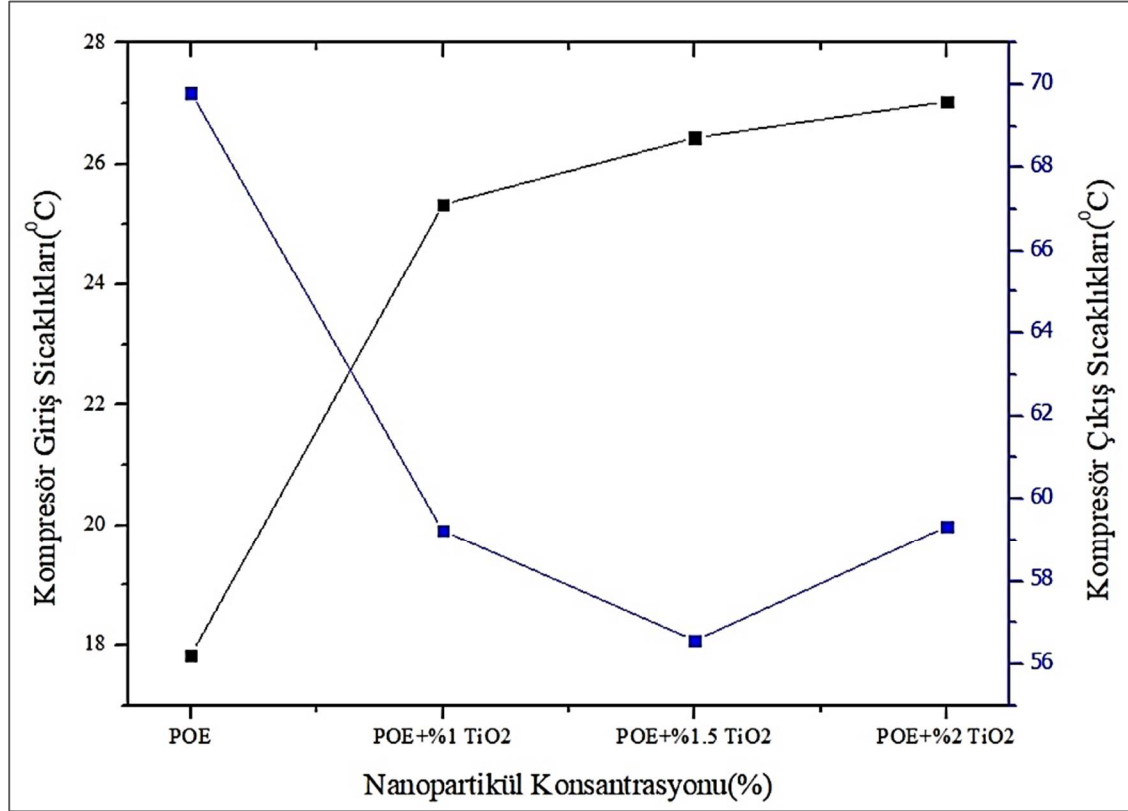
Çizelge 4.8. (POE/TiO₂/TX-100) ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamalar

Ölçümler	POE	1,0% TiO ₂	1,5% TiO ₂	2,0% TiO ₂
Yüksek Basınç(bar)	7,00	4,00	3,10	3,10
Alçak Basınç(bar)	2,20	1,90	1,10	1,10
Kompresör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	17,83	25,33	26,43	27,03
Kompresör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	69,80	59,23	56,56	59,33
Evaporatör Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	15,20	20,53	22,66	23,26
Evaporatör Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	17,83	25,33	26,43	27,03
Kondenser Giriş Sıcaklığı(⁰ C)	69,80	59,23	56,56	59,33
Kondenser Çıkış Sıcaklığı(⁰ C)	31,50	22,86	24,46	24,86
Soğutkan Debisi(g/s)	70,00	70,00	70,00	70,00
Soğutulan Ortamdan Çekilen Isı(kj/h)	123,32	127,93	126,93	126,20
Kompresör Kapasitesi(kj/h)	32,14	25,41	23,75	25,88
Soğutma Etkinlik Katsayısı(COP)	3,83	5,03	5,34	4,87

Deneyler sonucunda alınan verilerden faydalanılarak, hesaplanan değerler doğrultusunda, sistem verimliliğini arttırıcı önemli parametrelerden birisi, kompresör sıcaklığının düşürülmesidir. Kompresör sıcaklığının düşmesi çevrim elemanlarının giriş-çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak, hesaplanan entalpi değerlerini ve doğrudan kompresör kapasitesi değerini ve soğutma etkinlik katsayısı parametrelerini etkileyecektir.

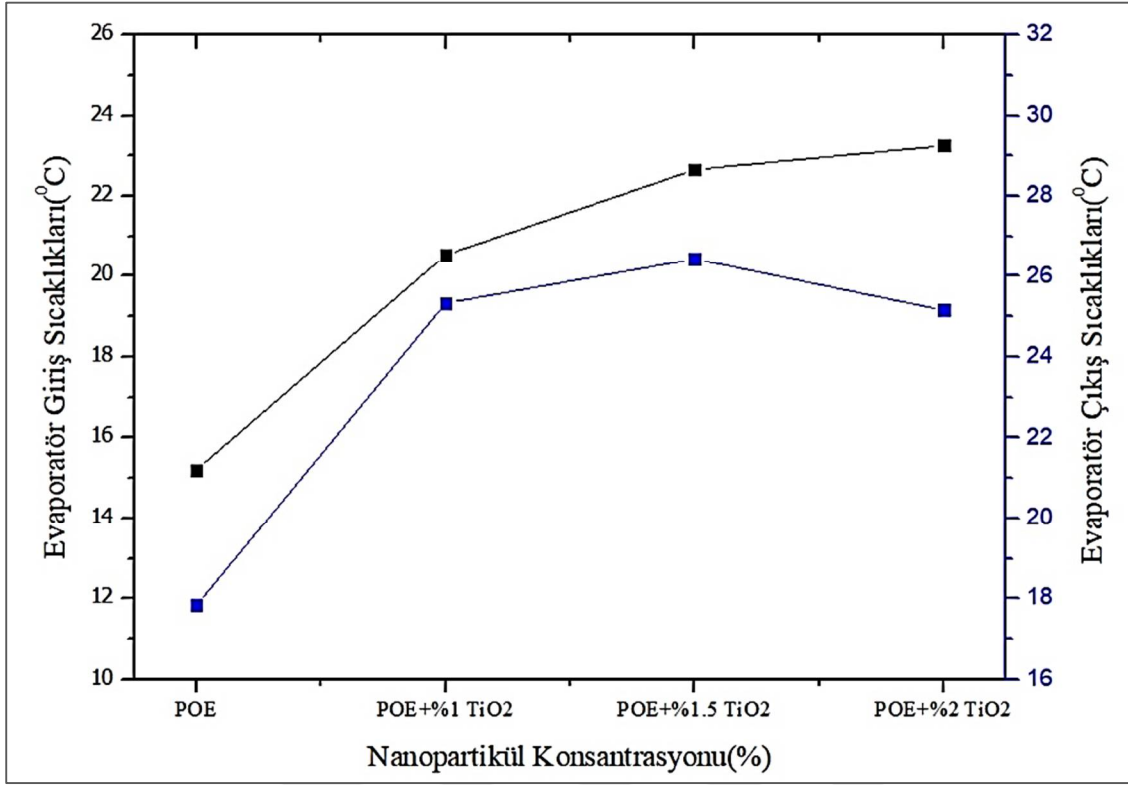
Sonuçlar analiz edildiğinde, %1,5 kütle fraksiyonunda TiO₂ nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesinden yararlanılarak hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak sistemde yer aldığında, kompresör yağı olarak POE kullanımına göre, kompresör çıkış sıcaklığı 13,24 ⁰C kadar düşmüştür.

Şekil 4.19’da farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak soğutma sisteminde kullanılması sonucunda; nanopartikülün nanoyağlayıcı içerisindeki konsantrasyonundaki değişimlerin, kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarına etkisi verilmiştir.



Şekil 4.19. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

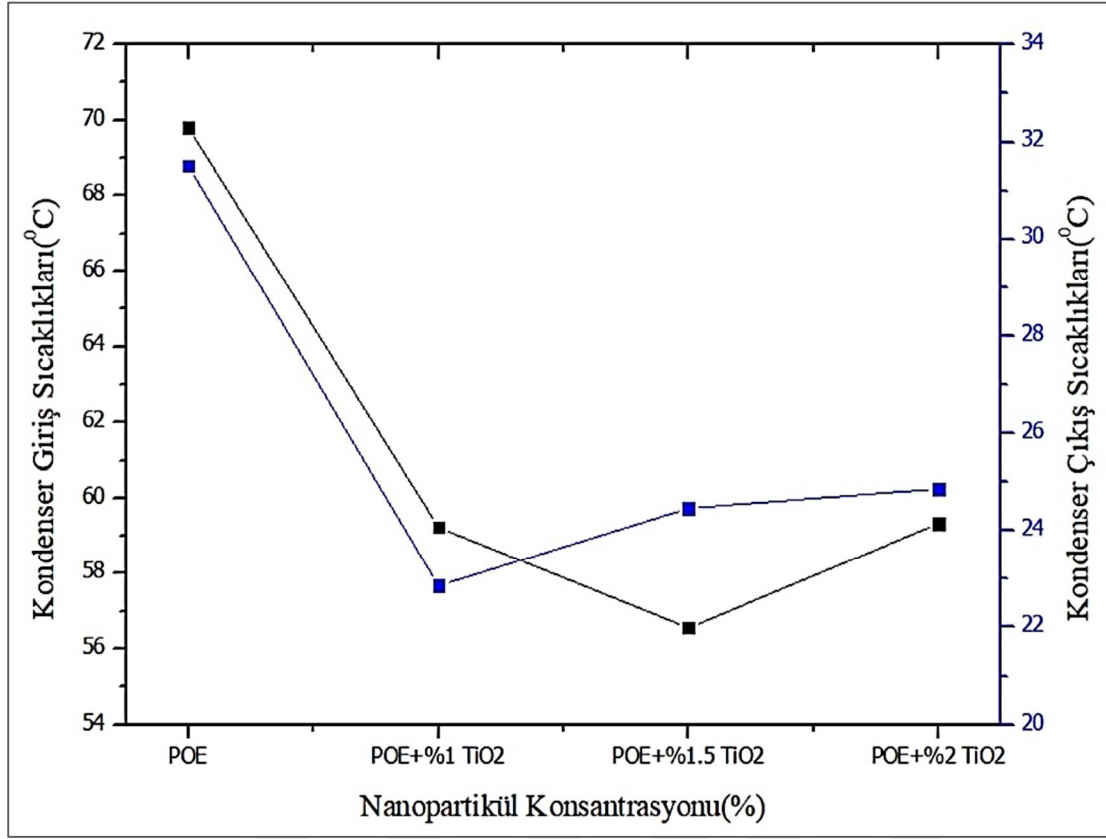
Farklı konsantrasyonlarda nanopartikül ve yüzey aktif malzemeden faydalanılarak hazırlanan nanoyağlayıcının, soğutma çevrimi içerisinde kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kompresör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişmesi ile beraber, evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarında da değişimler olmuştur. Evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimi sonucunda, termodinamiksel olarak entalpi değerleri değişmiştir. Böylece, evaporatörün soğutulan ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı da değişecektir. Sistem performansının değerlendirilmesinde evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı önemlidir. Şekil 4.20’de farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/TX-100 ile hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatör sıcaklık değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.20. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile evaporatör giriş-çıkış sıcaklıklarının değişimleri

Soğutma çevriminde kompresör yağı olarak farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/TX-100 nanoyağlayıcıları kullanıldığında kompresör ve evaporatör giriş-çıkış sıcaklıkları ile kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları da değişmiştir. Kondenser giriş-çıkış sıcaklıklarındaki değişimler Şekil 4.21’de verilmiştir.

Soğutma ana elemanlarındaki sıcaklık değişimleri dikkate alındığında; yüzey aktif malzeme olarak SDBS kullanıldığında aynı nanopartikül ve baz sıvısı ile yapılan deneylerde %2,0 nanopartikül fraksiyonunda kondenser çıkış sıcaklığındaki artış daha önce belirtilmişti. Bu artışa sebep olarak hidrofobik karışım sağlanmadığı ve süspansiyon içinde çökmelerin, bu duruma neden olduğu söylenmişti. Yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanıldığında aynı sorun ile karşılaşılmamıştır. Bu durum göstermektedir; nanoyağlayıcı içerisinde, TX-100 yüzey aktif malzemesi, SDBS yüzey aktif malzemesine göre POE ve TiO₂ nanopartikülü ile daha uyumludur. Kondenser giriş-çıkış değerlerinin değişimi termodinamiksel olarak entalpi değerlerinin değişimini de etkileyecektir. Sistemin performansını da bu sıcaklık değişimleri etkileyecektir.



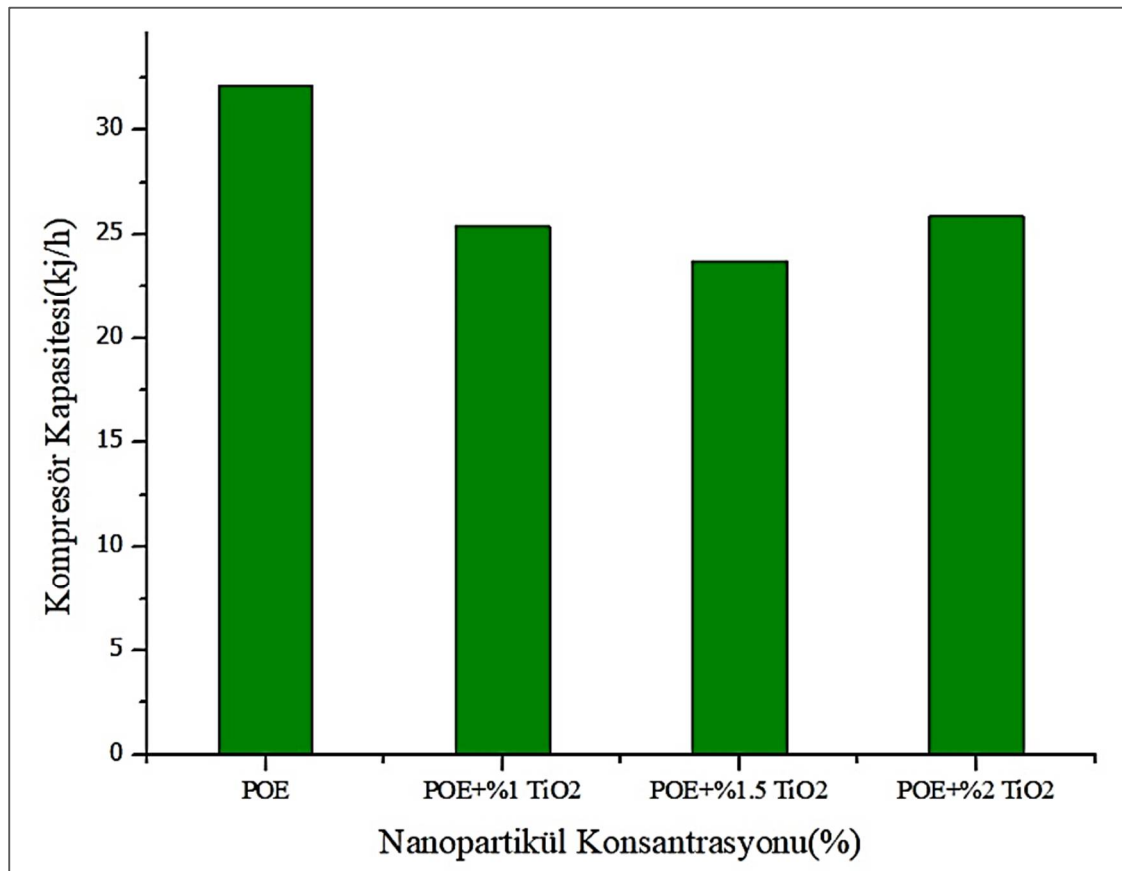
Şekil 4.21. Farklı konsantrasyonlarda POE/TiO₂/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması ile kondenser giriş - çıkış sıcaklıklarının değişimleri

4.4.1. Enerji tüketim miktarının incelenmesi

Soğutma çevrimi içerisinde, harcanan enerjinin neredeyse tamamına yakınının kompresör elemanı tarafından tüketildiği bilinmektedir. Deneylerin bu aşamasındaki temel amaç, kompresör tüketimini azaltmaktır. Bu nedenle farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kompresör tüketimindeki değişimler incelenmiştir.

Kompresör yağı olarak saf POE'den yararlanılması sonucunda, elde edilen veriler doğrultusunda kompresör kapasitesi hesaplanmıştır. Daha sonraki deneylerde ise, kompresör yağı olarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanıldığında elde edilen veriler ile kompresör kapasitesi hesaplanmıştır. Nanoyağlayıcılar hazırlanırken, baz sıvısı olarak POE ve yüzey aktif malzeme olarak da TX-100 kullanılmıştır. Nanopartikül olarak TiO₂ metal oksiti sırasıyla %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında baz sıvısı ve yüzey aktif malzemesiyle karıştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda kompresör yağı olarak POE kullanıldığında kompresör kapasitesi 32,14 kj/h olarak hesaplanmıştır. Soğutma sisteminde kompresör yağı olarak, POE/%1,5TiO₂/%0,5TX-100 şeklinde hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında kompresör kapasitesi 23,75 kj/h olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan en düşük kompresör kapasitesi de 23,75 kj/h olarak belirlenmiş olup, kompresör kapasitesi %26,10 kadar düşürülmüştür. Farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı kullanımı sonucunda kompresör kapasitelerindeki değişimler Şekil 4.22’de verilmiştir.

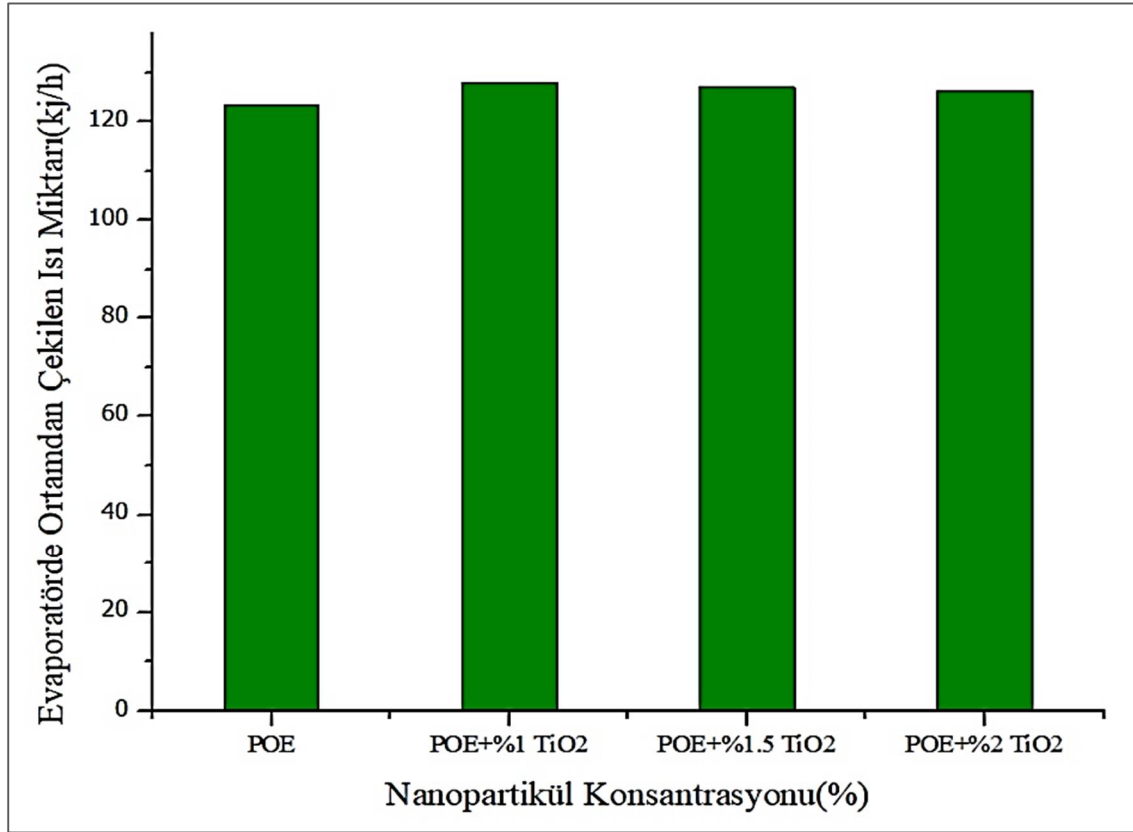


Şekil 4.22. POE/TiO₂/TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör işindeki değişimler

4.4.2. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısıнын incelenmesi

Çalışmanın bu aşamasında, baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak TiO_2 partikülleri ve yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanılması ile hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, evaporatör elemanı tarafından ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler incelenmiştir.

Kompresör yağı olarak POE kullanıldığı zaman, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcı, baz sıvısı POE, nanopartikül olarak %1,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 ile hazırlanılıp, kompresör yağı olarak kullanıldığında soğutma sisteminde, evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı 127,93 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Bu değerler için evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarı %3,73 kadar artmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarları şekil 4.23’de verilmiştir.

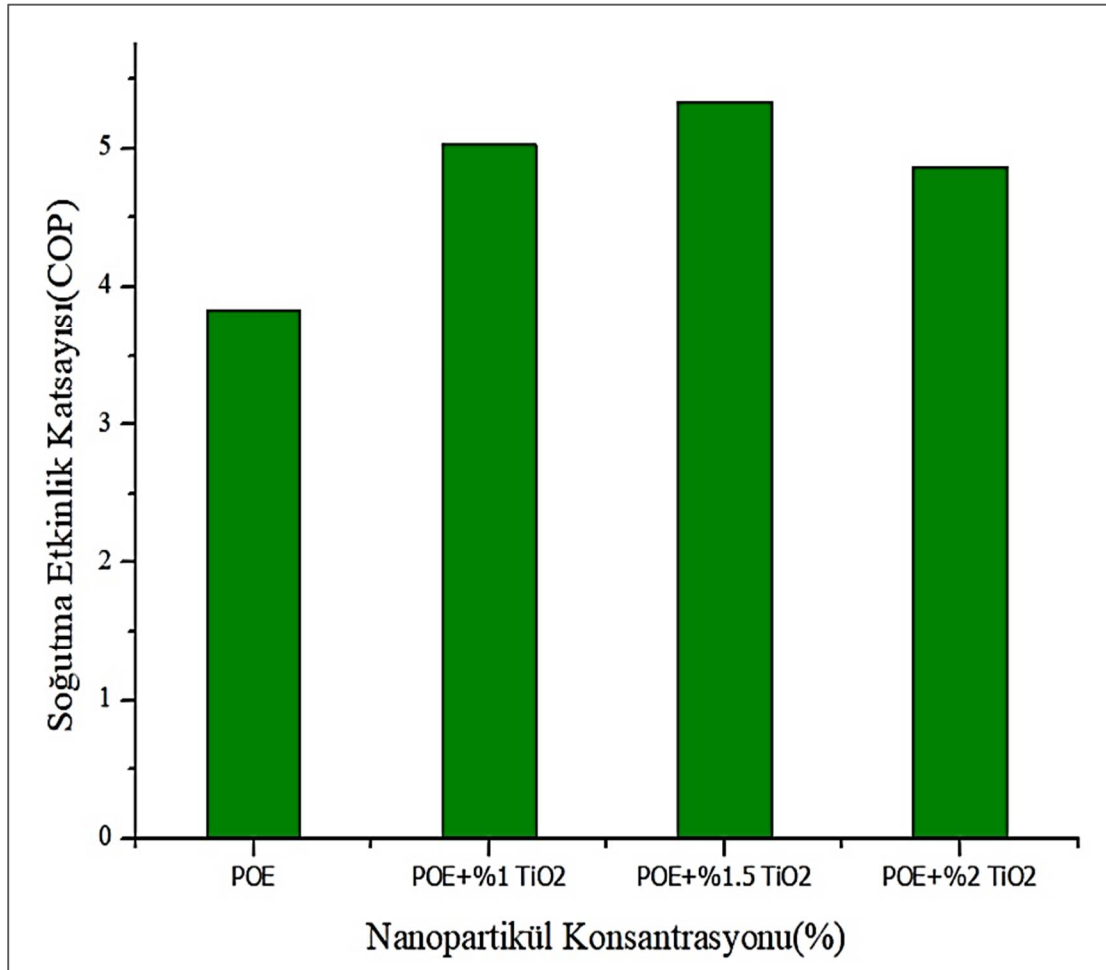


Şekil 4.23. POE/ TiO_2 /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörde ortamdan çekilen ısı miktarlarındaki değişimler

4.4.3. Soğutma etkinlik katsayılarının incelenmesi

Yüzey aktif malzemenin nanoyağlayıcı içerisindeki etkileri incelenirken, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak sistemde yer alması sonucunda, soğutma etkinlik katsayısındaki değişimler Şekil 4.24’de verilmiştir.

Kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığı zaman, soğutma etkinlik katsayısı 3,83 olarak hesaplanmıştır. Baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak %1,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzeme kullanıldığında soğutma etkinlik katsayısı 5,34 olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı kullanıldığında soğutma etkinlik katsayısının %39,42 kadar arttığı görülmüştür.



Şekil 4.24. POE/ TiO_2 /TX-100 nanoyağlayıcılarının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayılarındaki değişimler

4.5. Farklı Partiküller ile Hazırlanan Nanoyağlayıcıların Soğutma Sisteminde Kompresör Yağı Olarak Kullanılmasının Değerlendirilmesi

Deneylerde, soğutma çevrimi içerisindeki elemanlardan kompresör içerisinde, yağlama yağı olarak hazırlanan nanoyağlayıcıların kullanılmasıyla, sistem performansı arttırılmaya çalışılmıştır. Baz sıvısı içerisinde nanopartiküllerden faydalanılması ile akışkanın ısı transfer özellikleri artmaktadır. Ayrıca; nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzeme

kullanılarak hidrofobik özelliğın arttırılmasıyla, daha homojen bir karışım oluşturulmuştur. Deneylerde nanopartikül olarak TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN partikülleri kullanılmıştır.

Bu bölümde; baz sıvısı POE, TX-100 yüzey aktif malzemesi ve %1,0 kütle fraksiyonunda nanopartikül ile hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılmasının soğutma sistemi performansına olan etkileri incelenmiştir.

Karşılaştırma yapılırken, belirlenen nanopartikül kütle fraksiyonunda, baz sıvısı olarak POE ve yüzey aktif malzeme olarak da TX-100'ün kullanıldığı deneyler referans alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda hesaplanan kompresör kapasitesi, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğı ısı miktarı ve soğutma tesir katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır.

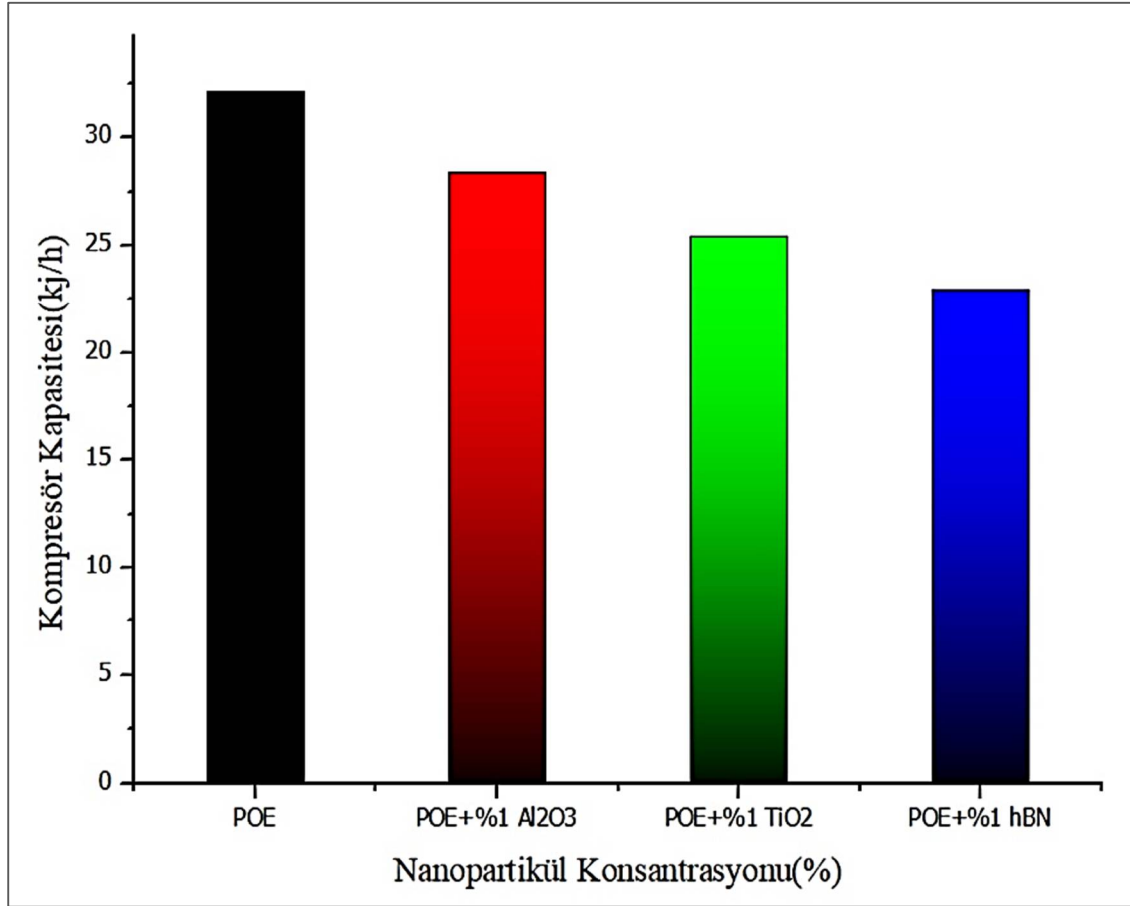
4.5.1. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması

Soğutma sisteminde kompresör yağı olarak yararlanılmak üzere hazırlanan, %1,0 kütle fraksiyonunda nanopartikül, %0,5 kütle fraksiyonunda yüzey aktif malzeme ve baz sıvısı POE içeren nanoyağlayıcılar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda alınan veriler doğrultusunda hesaplanan kompresör kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Nanopartikül olarak %1,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 , %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzeme ve baz sıvısı olarak da POE kullanılmasıyla hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak sistemde yer aldığında kompresör kapasitesi 25,43 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde; %1,0 kütle fraksiyonun da Al_2O_3 nanopartikülü, %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi, baz sıvısı olarak da POE ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında kompresör kapasitesi 28,39 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Son olarak da; %1,0 kütle fraksiyonunda hBN nanopartikülü, %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi, baz sıvısı olarak POE ile hazırlanan nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında kompresör kapasitesi 22,91 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığında ise kompresör kapasitesi 32,14 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Farklı nanopartiküllerin kullanılması sonucunda, kompresörün harcamış olduğı enerji düşmüştür. Ancak; nanopartikül olarak hBN kullanılması ile daha iyi sonuç elde edildiğı görülmektedir. Şekil 4.25'de farklı nanopartiküller ile hazırlanan nanoyağlayıcıların

kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, kompresör kapasite miktarları karşılaştırılmıştır.



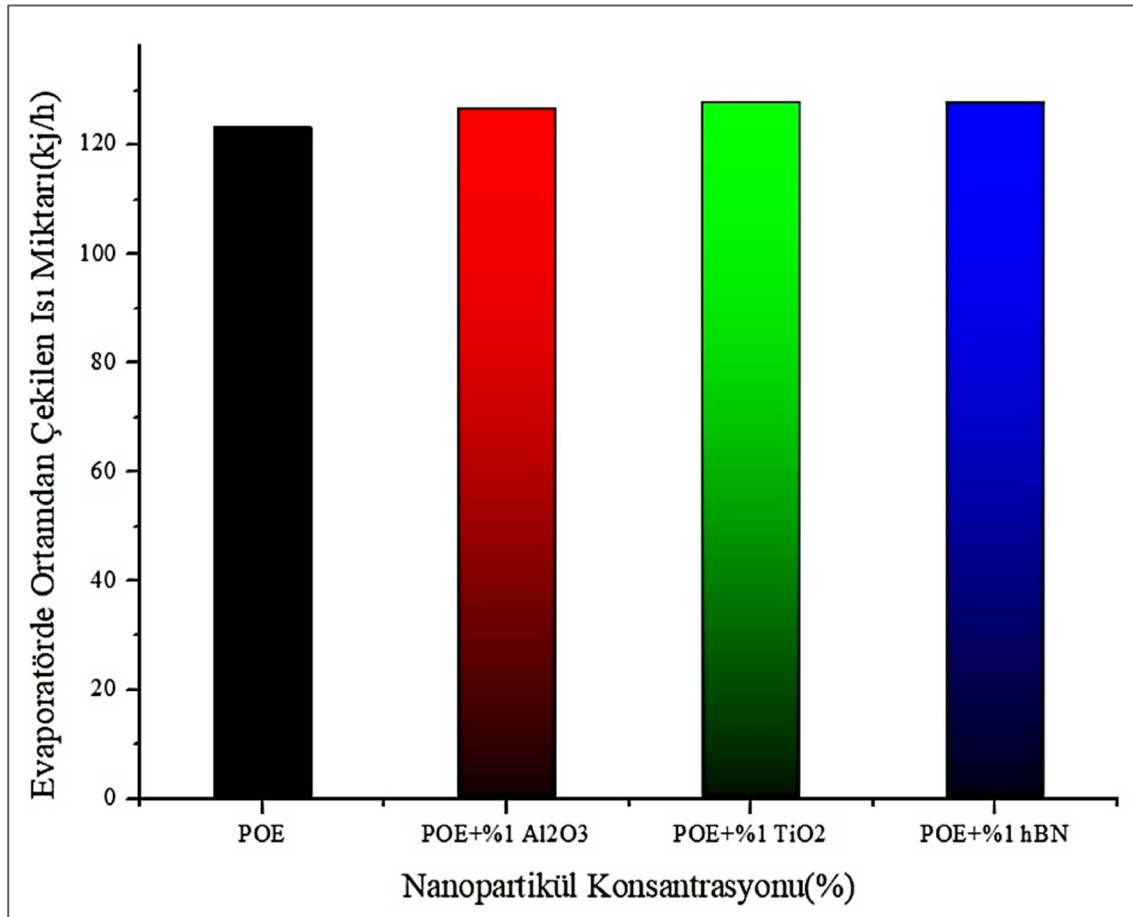
Şekil 4.25. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması

4.5.2. Evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısının karşılaştırılması

Aynı kütle fraksiyonunda farklı nanopartiküllerin baz sıvısı POE ve yüzey aktif malzeme TX-100 ile oluşturmuş oldukları nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, partikül etkileri incelenmiştir. Partikül olarak %1,0 kütle fraksiyonunda TiO₂, Al₂O₃ ve hBN kullanılması sonucunda, kompresör kapasiteleri kıyaslanmıştır.

Bu kısımda, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarları karşılaştırılmıştır. Nanopartikül olarak, nanoyağlayıcı içerisinde %1,0 kütle fraksiyonunda Al₂O₃ kullanıldığında, hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak sistemde yer alması sonucunda, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı, 126,70 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında, nanoyağlayıcı içerisinde %1,0 kütle fraksiyonunda

TiO₂ partikülleri ile hazırlanan nanoyağlayıcının, sistemde kompresör yağı olarak kullanılmasıyla yapılan deneylerde, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı 127,93 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Son olarak; nanoyağlayıcı içerisinde %1,0 kütle fraksiyonunda hBN partiküllerinden yararlanılarak hazırlanan nanoyağlayıcının, sistemde kompresör yağı olarak kullanılması ile yapılan deneylerde, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı 127,95 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak saf POE kullanıldığında evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Bu değerler doğrultusunda evaporatörün çekmiş olduğu ısı miktarlarının karşılaştırılması Şekil 4.26’da verilmiştir.

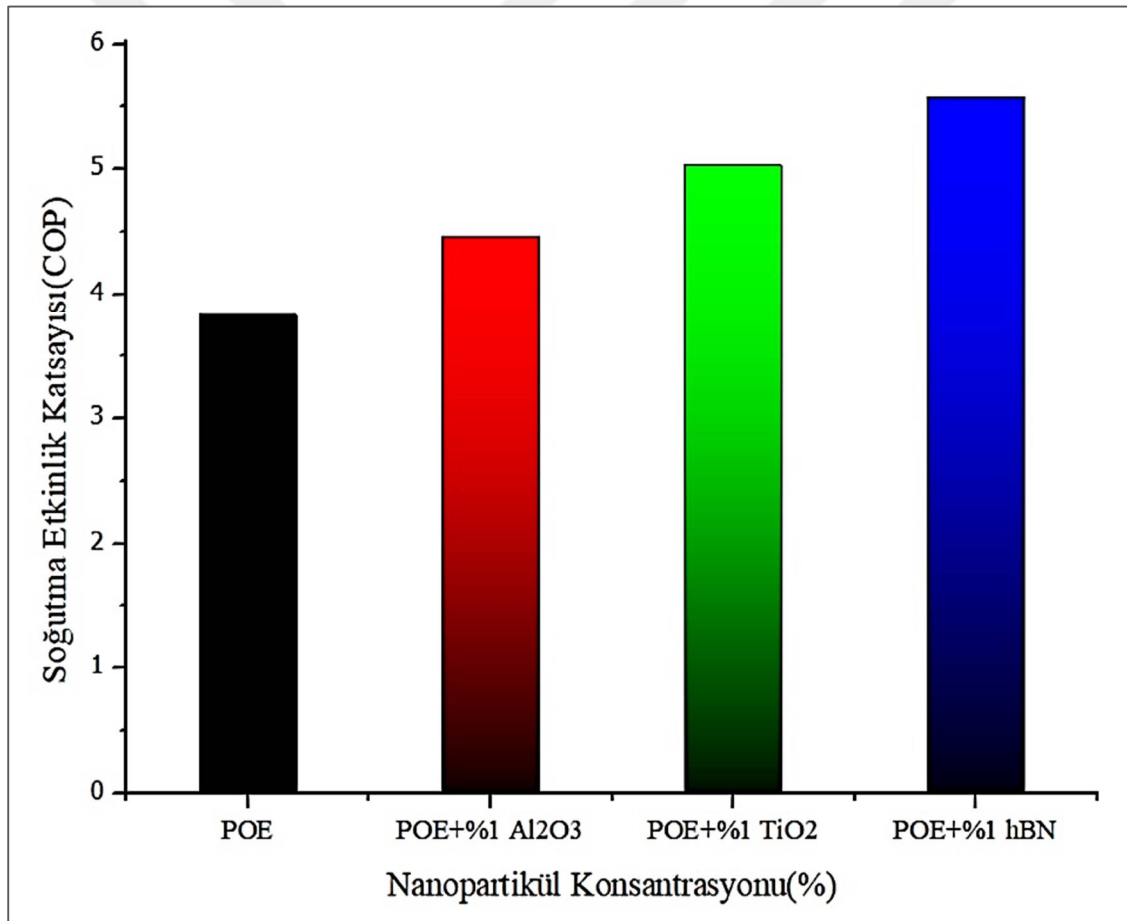


Şekil 4.26. Evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarlarının karşılaştırılması

4.5.3. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin aynı konsantrasyon için, oluşturdukları nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör kapasitesi ve evaporatörün çekmiş olduğu ısı miktarlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde, bir

diğer önemli parametre olan, soğutma etkinlik katsayısının karşılaştırılması yapılmıştır. Nanopartikül olarak, %1,0 kütle fraksiyonunda Al_2O_3 partikülünün; baz sıvısı POE ve yüzey aktif malzeme TX-100 ile oluşturduğu nanoyağlayıcı kompresör yağı olarak sistemde kullanıldığında, soğutma etkinlik katsayısı 4,46 olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında %1,0 kütle fraksiyonunda nanopartikül olarak TiO_2 kullanıldığında, soğutma etkinlik katsayısı 5,03 olarak hesaplanmıştır. Son olarak, nanoyağlayıcı içerisinde %1,0 kütle fraksiyonunda hBN nanopartikülleri kullanıldığında, soğutma etkinlik katsayısı 5,58 olarak elde edilmiştir. Kompresör yağı olarak POE kullanıldığında ise; sistem soğutma etkinlik katsayısı 3,83 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlar altında, soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması

4.6. Farklı Yüzey Aktif Malzemelerle Hazırlanan Nanoyağlayıcıların Soğutma Sisteminde Kullanılmasının Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında ayırt edici noktalardan birisi de, nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzeme kullanılmasıdır. Baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak da %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO_2 metal oksiti kullanarak, nanoyağlayıcı hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar içerisine %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS ve TX-100 yüzey aktif malzemeleri ayrı ayrı katkılanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kompresör yağı olarak kullanılan nanoyağlayıcılar içerisinde, farklı tipteki yüzey aktif malzemelerin etkinliği karşılaştırılmıştır. Nanoyağlayıcı içerisinde baz sıvısı ile POE'nin hidrofobik ve homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için, yüzey aktif malzeme kullanımı önemlidir. Özellikle süspansiyon içerisinde yüzey aktif malzeme kullanımıyla, yüzey gerilmesi azaltılmıştır ve partiküllerin topaklanmasının önüne geçilmiştir.

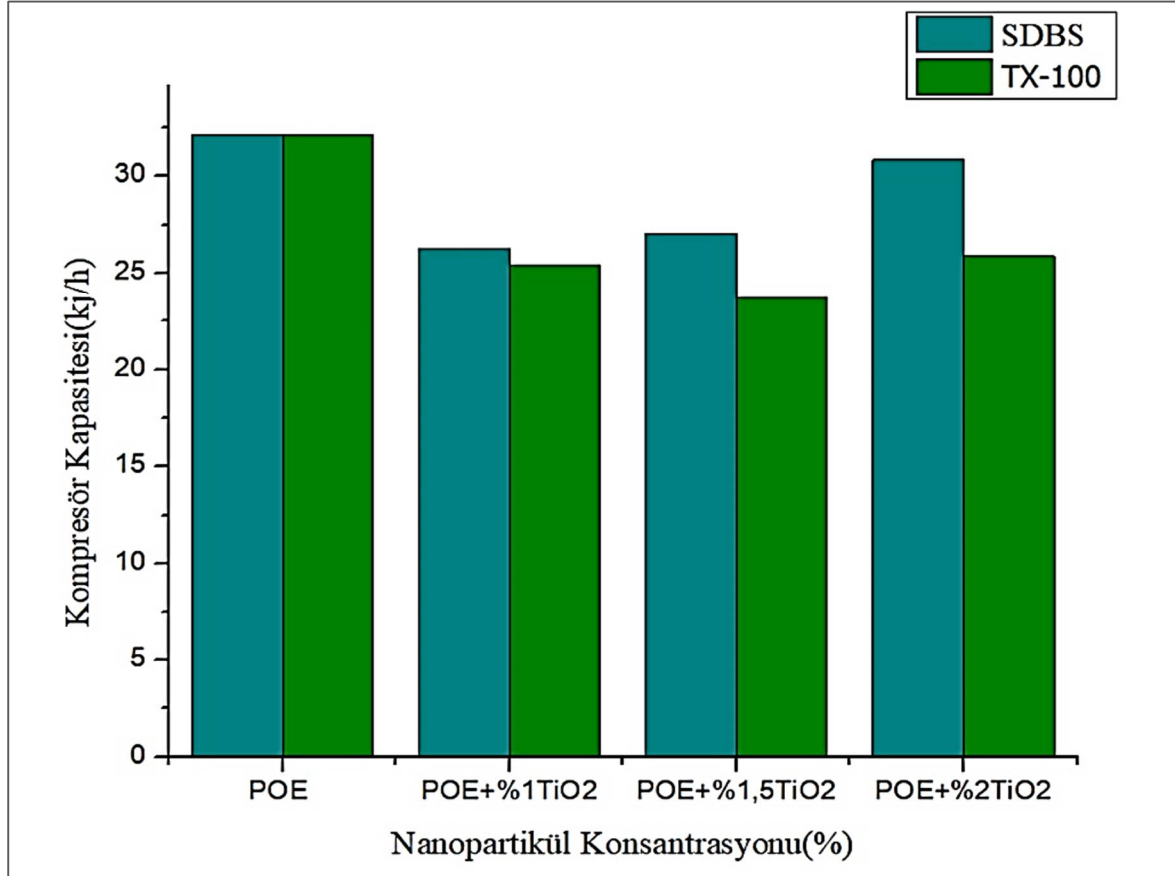
4.6.1. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması

Bu bölümde; farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılarda, yüzey aktif malzemelerin etkinliği karşılaştırılmıştır. Nanoyağlayıcı içerisinde, baz sıvısı ve nanopartikül sabit tutularak, SDBS ve TX-100 yüzey aktif malzemeleri kullanılmıştır.

Kompresör yağı olarak POE kullanıldığında, kompresör kapasitesi 32,14 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Nanaoyağlayıcı hazırlarken nanopartikül konsantrasyonları %1,0; %1,5 ve %2,0 olarak belirlenip, %0,5 oranında yüzey aktif malzeme kullanılmıştır. Yüzey aktif malzeme olarak %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS'den yararlanıldığında, %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında nanopartikül ve baz sıvısı POE ile hazırlanan nanoyağlayıcılar, kompresör yağı olarak kullanıldığında, kompresör kapasiteleri sırasıyla 26,28; 27,05 ve 30,84 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.28'de farklı yüzey aktif malzemeleri ile hazırlanan nanoyağlayıcıların, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda kompresör kapasitesinin değişimi verilmiştir. Nanoyağlayıcı hazırlanırken, nanopartikül çeşiti, kütle fraksiyonları ve baz sıvısı sabit tutularak, SDBS yerine TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanıldığında kompresör kapasiteleri sırasıyla 25,41; 23,75 ve 25,88 kJ/h olarak hesaplanmıştır. En düşük kompresör kapasitesi %1,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 nanopartikülü ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanıldığında elde edilmiştir. Kompresör yağı olarak POE

kullanımına kıyasla, %1,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesinin baz sıvısı içerisinde karıştırılarak oluşturdukları nanoyağlayıcının, kompresör yağı olarak sistemde yer alması sonucunda, kompresör kapasitesi %26,10 kadar düşmüştür.



Şekil 4.28. Kompresör kapasitelerinin karşılaştırılması

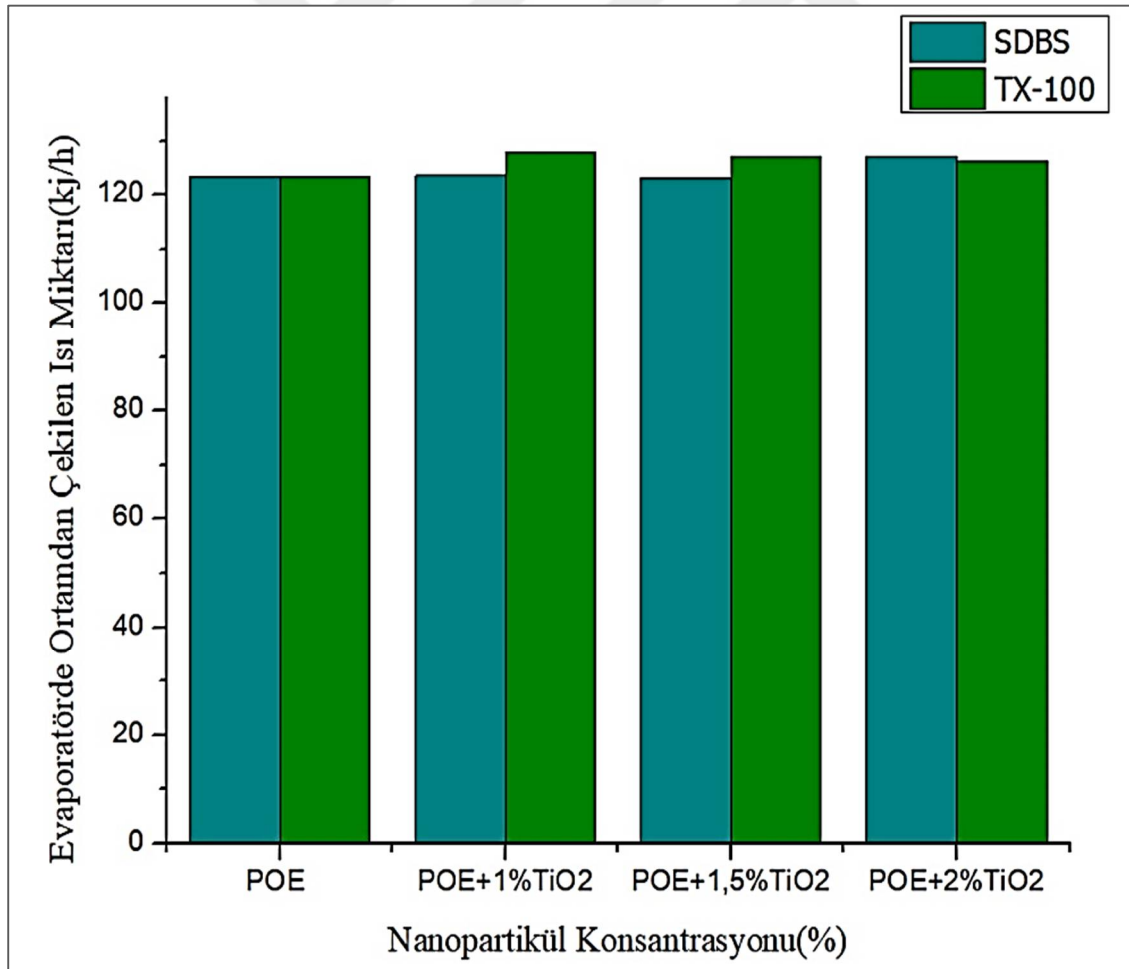
4.6.2. Evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı karşılaştırılması

DeneySEL çalışma içerisinde, yüzey aktif malzemenin nanoyağlayıcıda kullanımının önemi detaylıca anlatılmıştır. Aynı baz sıvısı ve nanopartikül konsantrasyonları ile hazırlanan nanoyağlayıcılarda, farklı türdeki yüzey aktif malzemelerin kullanılması sonucunda evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarlarında da değişimler olmuştur.

Kompresör kapasitelerindeki kıyaslamalara benzer şekilde evaporatörün çekmiş olduğu ısı miktarındaki değişimler Şekil 4.29’da verilmiştir. Baz sıvısı olarak POE, yüzey aktif malzeme olarak %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS yüzey aktif malzemesi ve %1,0 ; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO_2 nanopartikülleri ile nanoyağlayıcı hazırlanıp, kompresör

yağı olarak kullanıldığında evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarları sırasıyla; 123,54; 123,08 ve 127,17 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Aynı miktarlarda POE ve nanopartikül ile %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanıldığında ise evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarları sırasıyla; 127,93; 126,93 ve 126,20 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak POE kullanıldığında, evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı 123,32 kJ/h olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre; evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarının en yüksek olduğu değer TX-100 yüzey aktif malzemesi ile sağlanmıştır. Kompresör yağı olarak POE kullanımına kıyasla, %1,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 ve %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100'ün baz sıvısı içerisinde karıştırılarak oluşturdukları nanoyağlayıcının, kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörün ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı %3,73 kadar artmıştır.



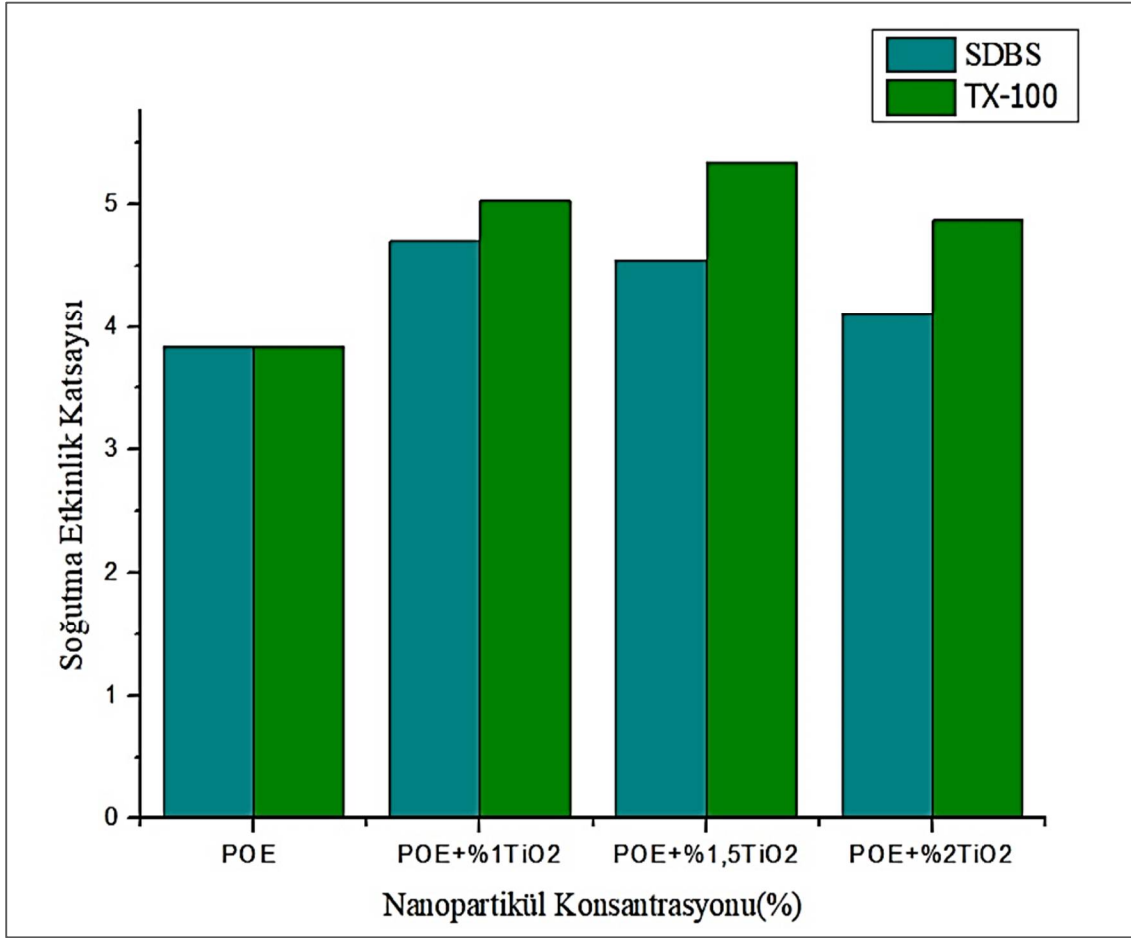
Şekil 4.29. Evaporatör tarafından ortamdan çekilen ısı miktarlarının karşılaştırılması

4.6.3. Soğutma etkinlik katsayısı miktarlarının karşılaştırılması

Çalışmada nanoyağlayıcı içerisinde, farklı yüzey aktif malzemelerinin kullanılması sonucunda, soğutma etkinlik katsayısında da değişiklikler meydana gelmiştir. Baz sıvısı olarak POE, yüzey aktif malzeme olarak %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS ve %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında TiO_2 nanopartikülleri ile hazırlanan nanoyağlayıcılar, kompresör yağı olarak kullanıldığı zaman, soğutma etkinlik katsayıları sırasıyla; 4,70; 4,55 ve 4,11 olarak hesaplanmıştır.

Aynı koşullar altında yüzey aktif malzeme olarak %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanıldığında, soğutma etkinlik katsayıları sırasıyla; 5,03; 5,34; 4,87 olarak hesaplanmıştır. Kompresör yağı olarak POE kullanıldığında ise soğutma etkinlik katsayısı 3,83 olarak hesaplanmıştır.

Soğutma etkinlik katsayısındaki değişimler Şekil 4.30'da verilmiştir. Kompresör yağı POE yerine; baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak %1,5 kütle fraksiyonunda TiO_2 ve yüzey aktif malzeme olarak da %0,5 kütle fraksiyonunda TX-100 ile hazırlanan nanoyağlayıcı kullanıldığında, soğutma etkinlik katsayısı %39,42 kadar artmıştır.

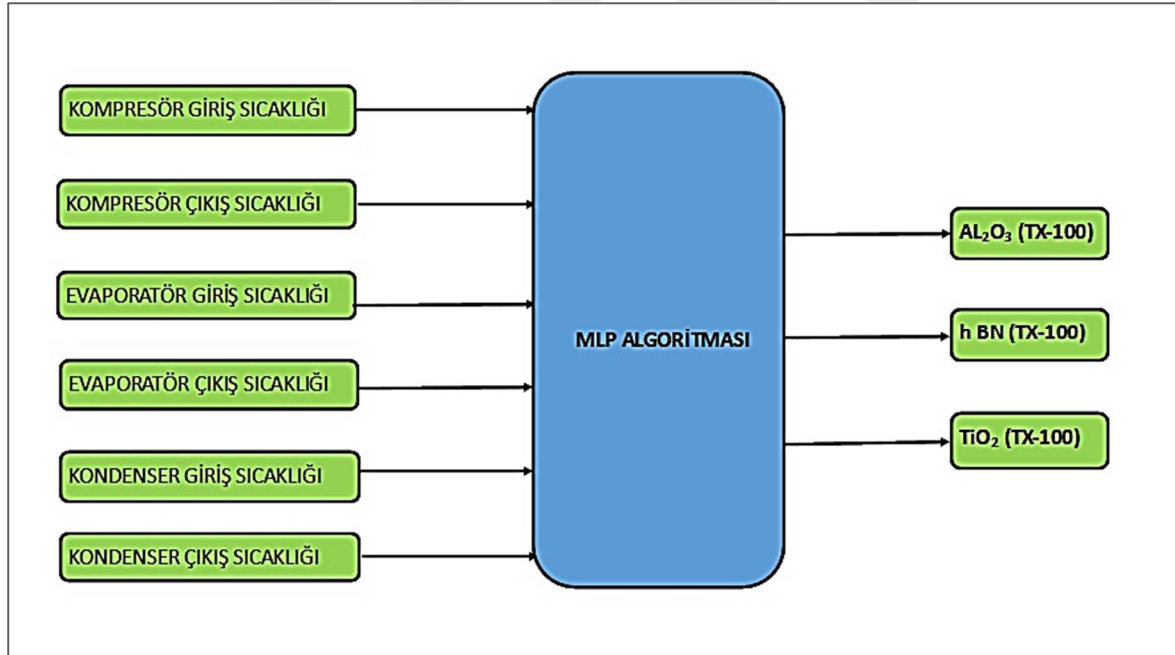


Şekil 4.30. Soğutma etkinlik katsayılarının karşılaştırılması

5. DENEYSEL VERİLERİN MAKİNE ÖĞRENİMİ İLE ANALİZİ

Soğutma deney düzeneğinde kompresör yağı olarak POE ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılarak sistemden veriler alınmıştır. Termal performansı etkileyen önemli parametrelerden biri de sistem elemanlarının giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü ve bu sıcaklık değerlerindeki değişimleridir. Çalışmanın bu bölümünde; kompresör yağı olarak POE kullanıldığında ve farklı kütle fraksiyonlarında nanoyağlayıcı kullanıldığında elde edilen giriş-çıkış sıcaklıkları analiz edilmiştir.

Alınan veriler doğrultusunda, tüm parametre ve şartların eşit olması noktasında, %1,0 kütle fraksiyonunda nanopartikül kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcıların üç ölçüm sonucunun değerleri alınarak, paket program vasıtasıyla sınıflandırması yapılmıştır. Makine öğrenimi içerisinde birçok algoritma veri analizi için kullanılabilir. Şekil 5.1’de veri analizinin genel bir blok diyagramı verilmiştir



Şekil 5.1. Veri analizi için blok diyagramı

Bu kısımda veri analizi yapılırken Multilayer Perceptron Algoritması kullanılmıştır. Genel olarak yapay zekanın katmanları düşünüldüğü zaman, bu katmanların alt değerlemelerinden birisi yapay sinir ağlarıdır. Multilayer Perceptron Algoritması da bu yapay sinir ağı modeli içerisinde bulunan bir algoritmadır. Multilayer Perceptron Algoritmasının hızlı şekilde işleyen operasyonları vardır. Bu nedenle de veri sınıflandırma

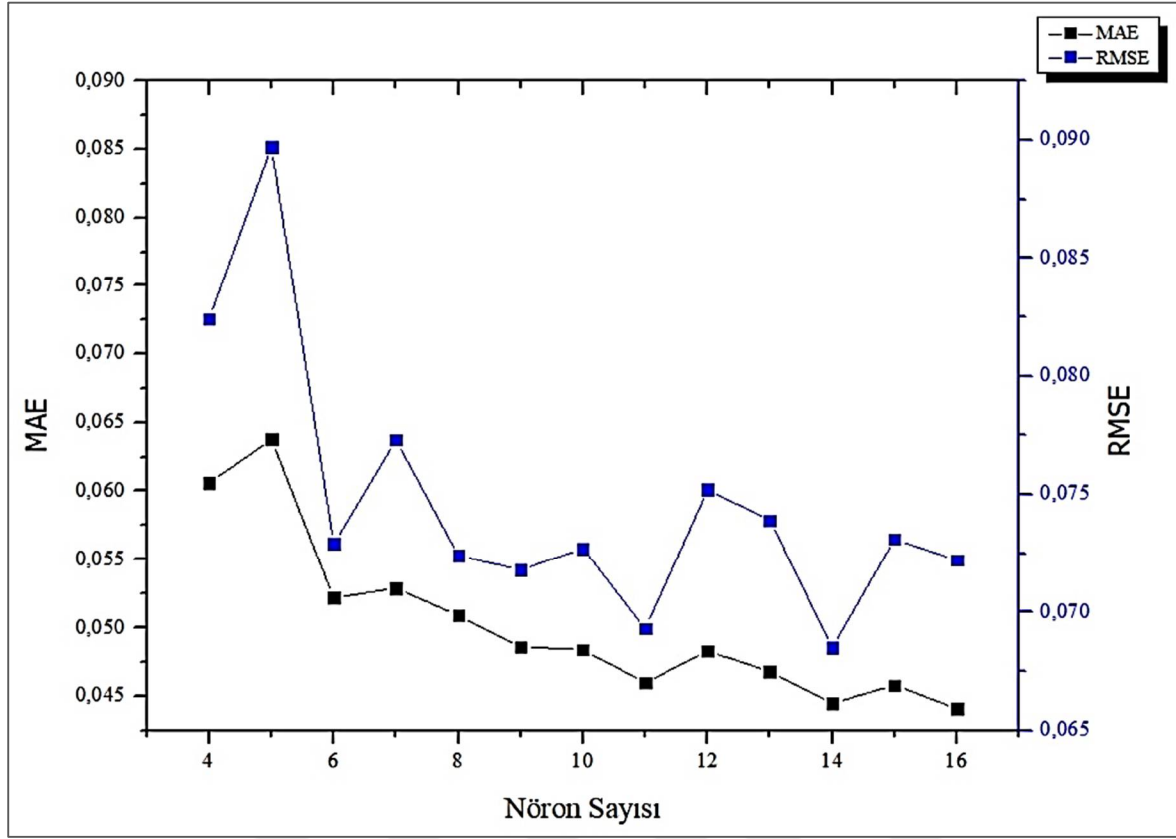
işlemlerinde uygulanabilirliği kolaydır. Multilayer Perceptron işleyiş olarak üç katmana sahiptir. Algoritma içerisinde girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katman bulunmaktadır. Gizli katman olarak adlandırdığımız kısım, aslında bir geçiş katmanıdır ve girdi katmanında alınan verilerin, çıktı katmanına aktarımı bu katman vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Gizli katmanın görevi sadece aktarım değildir. Aynı zaman da verilerin analizinden de sorumlu katman gizli katmandır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta gizli katmandaki nöron sayılarının doğru belirlenmesidir. Eğer, nöron sayısı doğru belirlenmez ise, sistemde gecikmeler oluşabilir. Nöron sayısının belirlenmesi için herhangi bir yöntem yoktur. Nöron sayısı deneme ve yanılma ile bulunmaktadır [89-90].

Çizelge 5.1. incelendiği zaman tasarlanan blog diyagramı ile paket program da nöron sayılarına bağlı olarak hesaplandırılmış RMSE ve MAE değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. RMSE ve MAE değerleri

Nöron Sayısı	MAE	RMSE
4	0,0606	0,0824
5	0,0638	0,0897
6	0,0522	0,0729
7	0,0529	0,0773
8	0,0509	0,0724
9	0,0486	0,0718
10	0,0484	0,0727
11	0,0460	0,0693
12	0,0483	0,0752
13	0,0468	0,0739
14	0,0445	0,0685
15	0,0458	0,0731
16	0,0441	0,0722

Çizelge 5.1’de belirtilen değerlere bağlı olarak, nöron sayısına karşılık RMSE ve MAE değerlerinin gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Nöron sayısına karşılık MAE ve RMSE değerleri



6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, hazırlanan farklı termal özelliklere sahip nanoyağlayıcılar, soğutma deney düzeneği içerisinde kompresör yağı olarak kullanılmıştır. Deneyel olarak bu nanoyağlayıcılardan, kompresör yağı olarak yararlanılması sonucunda soğutma çevrimi içerisinde kompresör, evaporatör ve kondenser elemanlarının giriş-çıkış sıcaklıkları değerlendirilmiştir. Ayrıca sistem için bir diğer önemli parametre olan alçak ve yüksek basınç değerlerindeki değişimler analiz edilmiştir. Sıcaklık ve basınç değerlerine bağlı olarak sistem için termodinamiksel olarak kompresör kapasitesi, evaporatörün ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarı ve soğutma etkinlik katsayısı parametreleri hesaplanarak, analiz edilmiştir.

Enerji verimliliği noktasında, soğutma çevrimi içerisinde gücün neredeyse tamamının kompresör ekipmanı tarafından harcandığına dikkat çekilmiştir. Bu nedenle soğutma çevrimi için yapılacak verimlilik çalışmalarında kompresör ekipmanının daha az güç harcamasına yönelik çalışmalara dikkat çekilmiştir. Bu çalışmada, kompresör yağı yerine nanoyağlayıcı kullanarak sistemin termal performansı geliştirilmiştir. Çalışmada farklı kütle fraksiyonlarında hazırlanan nanoyağlayıcıların hazırlanma aşamalarına yer verilmiştir. Nanoyağlayıcı içerisinde baz sıvısı olarak POE kullanılmıştır ve POE'ye ilişkin termofiziksel özellikler anlatılmıştır. Kompresörde kullanılacak yağlama yağının soğutucu akışkan ile tepkime vermemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, R134a soğutucu akışkanı ile uyumlu çalışan ve tepkimeye girmeyen POE tercih edilmiştir. Nanoyağlayıcı içerisinde nanopartikül olarak farklı kütle fraksiyonlarında, TiO_2 , Al_2O_3 ve hBN nanopartikülleri kullanılmıştır. Soğutma çevrimi içerisinde elemanlar arasındaki bağlantılar, bakır borular ile sağlandığı için ve sistemde filtreler yer aldığından, partikül boyutu son derece önemlidir. Bu nedenle de kullanılan partiküller için detaylı analizlere yer verilmiştir. Çalışmada partikül büyüklüğünün dışında, bir diğer önemli kısım, nanoakışkan uygulamalarında kullanılan yüzey aktif malzemelerin nanoyağlayıcı içerisinde kullanılmasıdır. Yüzey aktif malzeme olarak SDBS ve TX-100 kullanılmıştır.

Nanoyağlayıcı içerisinde baz sıvısı ile nanopartiküller arasında uyumu arttırmak ve daha homojen bir karışım oluşturmak açısından, yüzey aktif malzeme kullanımı çok önemlidir ve bu çalışmada fark yaratmıştır. Özellikle TX-100 yüzey aktif malzemesinin kullanımıyla güzel sonuçlar alınmıştır. Yüzey aktif malzeme, süspansiyon içerisinde topaklanmanın

önüne geçmektedir. Ayrıca; süspansiyon olarak oluşturulan nanoyağlayıcıda yüzey aktif malzeme kullanılması flokülasyonu engellemektedir. Kullanılan nanoyağlayıcılar, bakır borularla veya diğer malzemelerle tepkimeye girmemiştir. Hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılmasıyla kompresörün harcamış olduğu güç değeri, bütün konsantrasyonlar için azalmıştır. Enerji verimliliği noktasında, kompresörün çekmiş olduğu gücün azalması önemlidir. Bununla birlikte, nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda evaporatörün soğutulacak ortamdan çekmiş olduğu ısı miktarı az da olsa artmıştır ve soğutma etkinlik katsayılarında da tüm nanoyağlayıcı konsantrasyonları için artış sağlanmıştır.

6.1. Sonuçlar

Birinci aşama deney sonuçları;

- Yapılan bu deneysel çalışmanın ilk aşamasında farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılarda baz sıvısı olarak POE, nanopartikül olarak Al_2O_3 metal oksiti ve TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar soğutma makinesini daha verimli çalıştırmak amacıyla kompresör yağı olarak kullanılmıştır.
- Deneylerde kullanılan soğutma çevriminde R134a soğutucu akışkanı kullanılmıştır ve R134a ile kompresördeki farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar uyumlu bir şekilde, tepkimeye girmeden çalışmıştır. Ayrıca hazırlanan nanoyağlayıcılar sistem içerisinde güvenli bir şekilde çalışmıştır.
- POE içerisinde Al_2O_3 nanopartikülleri kullanıldığı zaman, baz sıvısının ısı transfer özelliklerinin arttığı görülmüştür. Nanoyağlayıcı hazırlanırken kullanılan nanopartikülün boyutunun önemi deneyler sonucunda belirlenmiştir.
- Farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı hazırlanırken, Al_2O_3 nanopartikülleri %1,0 kütle fraksiyonunda kullanıldığında süspansiyon içerisinde az da olsa partiküllerin çöktüğü gözlemlenmiştir ve bu durum sonuçları etkilemiştir.
- Deneylerin bu aşamasında, nanoyağlayıcı içerisinde yüzey aktif malzeme olarak TX-100 kullanılmıştır. Yüzey aktif malzeme için kütle fraksiyonu olarak %0,5'in uygun olduğu belirlenmiştir. Yüzey aktif malzeme kullanıldığında, nanoyağlayıcı içerisinde daha homojen bir dağılım olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, nanoyağlayıcı içerisinde meydana gelebilecek topaklanmanın önleniği görülmüştür.

- Deneyler sonrasında kompresör kontrol edildiği zaman, kompresörde yağ yerine nanoyağlayıcı kullanılması, kompresörde herhangi bir aşınmaya veya fiziksel bir etkiye neden olmamıştır.
- Deney düzeneğinde kompresör yağı olarak POE kullanıldığında 25 dakikanın üzerinde kararlı hale gelen soğutma makinesinin, kompresör yağı olarak POE kullanımıyla birlikte daha hızlı bir şekilde kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir.
- Deneysel çalışmanın bu kısmında POE baz sıvısı, Al_2O_3 nanopartikülü ve TX-100 yüzey aktif malzemesi ile farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılmasıyla en iyi sonuçlar %0,5 kütle fraksiyonunda Al_2O_3 ve 0,5 TX-100 yüzey aktif malzemesi kullanılmasıyla elde edilmiştir. Kompresörün yapmış olduğu iş, normal POE kullanımına göre %12,53 kadar azalmıştır. Sistem için COP değeri aynı konsantrasyonda hazırlanan nanoyağlayıcının kullanılmasıyla, normal POE'nin kullanılmasına göre %18,27 kadar artmıştır.

İkinci aşama deney sonuçları;

- Bu aşamada; baz sıvısı POE, nanopartikül olarak hBN ve yüzey aktif malzemesi TX-100 kullanılarak farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcılar; soğutma çevriminde kompresör yağı olarak kullanılmıştır.
- Deneylerde soğutma çevriminde, çalışma akışkanı olarak R134a kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcılar, R134a soğutucu akışkanı ile birlikte tepkimeye girmeden, soğutma çevrimi içerisinde güvenli bir şekilde çalıştırılmıştır.
- Çalışmanın bu aşamasında hBN nanopartiküllerinin, nanoyağlayıcıda kullanılması fark yaratmıştır. Soğutma çevrimi için performansın artırılması ve enerjinin daha verimli kullanılması noktasında en iyi sonuçlar bu aşamada elde edilmiştir. Sistem COP değeri %45,69 kadar artmıştır.
- Baz sıvısı POE içerisinde hBN nanopartiküllerinin kullanılması ile, çalışma sıvısının ısı transfer özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Hazırlanan nanoyağlayıcılar kompresörde herhangi bir aşınmaya sebep olmamıştır ve sistem güvenli bir şekilde çalıştırılmıştır.

Üçüncü aşama deney sonuçları;

- Deneylerin bu kısmında, nanoyağlayıcı hazırlanırken TiO_2 nanopartikülleri %1,0; %1,5 ve %2,0 kütle fraksiyonlarında kullanılmıştır. Yüzey aktif malzeme olarak da TX-100 yerine %0,5 kütle fraksiyonunda SDBS kullanılmıştır.
- Yüzey aktif malzeme olarak SDBS'nin kullanılması bu kısımda da fark yaratmıştır. Yüzey aktif malzeme kullanımıyla homojen ve hidrofobik bir süspansiyon oluşturulmuştur. Soğutma sistemindeki tıkanmaların önüne geçmek için homojen bir süspansiyon oluşturulması önemlidir.
- Baz sıvısı POE, nanopartikül olarak TiO_2 ve yüzey aktif malzeme SDBS'den farklı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoyağlayıcıların sistemde güvenli bir şekilde kullanıldığı görülmüştür.
- Hazırlanan farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcılar içerisinde %2,0 kütle fraksiyonunda nanopartikül içeren süspansiyon içerisinde az da olsa çökmeler gözlemlenmiştir. Bu durum, sistem performansına olumsuz yönde etki yapmıştır.
- Kütle fraksiyonu olarak %0,5 nanopartikül ile hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, sistem COP değerinde önemli bir değişim olmamıştır.
- Kütle fraksiyonu olarak %1,0 oranında TiO_2 partikülü kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcı kompresör yağı olarak kullanıldığında, kompresör kapasitesi 26,285 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Bu değer, diğer konsantrasyonlarla yapılan deneyler arasında en düşük kompresör kapasitesidir.
- Deneylerin bu aşamasında, en yüksek soğutma etkinlik katsayısı değeri %1,0 TiO_2 kütle fraksiyonunda hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda elde edilmiştir. Bu konsantrasyon için COP değerinde, %22,52 kadarlık bir artış gözlemlenmiştir.
- Yüzey aktif malzeme etkisini daha net görebilmek amacıyla SDBS yerine farklı konsantrasyonlarda TiO_2 nanopartikülüyle TX-100 yüzey aktif malzemesi de kullanılmıştır. Baz sıvısı POE ile hazırlanan farklı konsantrasyonlardaki nanoyağlayıcıların R134a soğutucu akışkanı ile uyum içinde, güvenli ve kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.
- Bu aşamada nanoyağlayıcı içerisinde, %2,0 kütle fraksiyonunda TiO_2 kullanıldığında, süspansiyon içerisinde az da olsa çökmeler meydana gelmiştir. Bu durumda %1,0 ve

%1,5 kütle fraksiyonlarına göre daha iyi sonuçlar beklenirken, çökelmelerden dolayı sistem performansı olumsuz etkilenmiştir.

- Yüzey aktif malzeme farklı kütle fraksiyonlarında denenmiştir, en uygun sonuçlar %0,5 kütle fraksiyonunda elde edilmiştir.
- Tüm deneyler sonucunda performans katsayısı için en iyi değer %1,5 oranında nanopartikül ve TX-100 yüzey aktif malzeme ile sağlanmıştır. Bu nanoyağlayıcı için COP değerindeki iyileşme %39,42 olarak belirlenmiştir.
- Kompresörün harcamış olduğu güç nanoyağlayıcı ile ciddi oranda azalmıştır. En iyi sonuçlar aynı şekilde %1,5 nanopartikül konsantrasyonunda %0,5 TX-100 yüzey aktif malzemesi ile sağlanmıştır ve komprösörün harcamış olduğu güç %26,10 kadar azalmıştır.
- Soğutma çevrimi için deney sonuçlarına göre verimlilik noktasında, hazırlanan nanoyağlayıcı içerisinde, TX-100 yüzey aktif malzemesinin kullanımı, SDBS yüzey aktif malzemesinin kullanımına göre daha iyi sonuçlara katkı sağlamıştır.

6.2. Öneriler

Bu bölümde, tez çalışmasında kazanılan tecrübeler ve kazanımlar dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonuçlar kısmında yapılmıştır. Bu sonuçları da göz önüne alarak, yapılacak önerilerin bilim insanlarına ve lisansüstü öğrencilerine faydalı olacağı düşünülmektedir.

- Son yıllarda enerji verimliliğinin önemli bir kavram haline gelmesiyle ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimlilik çalışmaları önem kazanmıştır.
- Isıtma sistemleri için yoğun şekilde nanoakışkan uygulamalarında, taşınım ile ısı transferinden faydalanılarak sistem performansları arttırılmıştır.
- Soğutma sistemlerinde de nanoyağlayıcı uygulamaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada farklı nanopartiküller ile farklı konsantrasyonlarda nanoyağlayıcı hazırlanarak soğutma çevriminde performans arttırılmıştır.
- Daha sonra bu alanla ilgili yapılacak çalışmalar için, bu tez çalışmasının önemli bir kaynak teşkil ettiği, açık ve anlaşılır şekilde analizlerin, karşılaştırmalar ile verildiği düşünülmektedir.
- Kullanılan nanopartikül ve sistem özelliklerinin farklılığının yanında nanoyağlayıcı içerisinde farklı tipte yüzey aktif malzemelerin kullanılması dikkat çekicidir. Daha

sonra yapılacak olan çalışmalar için bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların baz alınması değerli grlmektedir.



KAYNAKLAR

1. Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 24(5), 377-390.
2. Azmi, W. H., Sharif, M. Z., Yusof, T. M., Mamat, R. and Redhwan, A. A. M. (2017). Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 415-428.
3. Adib, R., Murdock, H. E., Appavou, F., Brown, A., Epp, B., Leidreiter, A., Farrell, T. C. (2015). *Renewables 2015 global status report*. Paris: REN21 Secretariat, 83, 84.
4. Uluslararası Enerji Ajansı (2019). URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/electricity#abstract>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2019.
5. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (2015-2019). URL: <https://wedocs.unep.org>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2020.
6. Bianco, V., Vafai, K., Manca, O. and Nardini, S. (2015). *Heat transfer enhancement with nanofluids*. Boca Raton: CRC press. 1,2,12-19.
7. Karakaya, U. (2018). *Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özellikleri ve ısı sistemdeki performans etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-18.
8. Batıgöç, Ç. (2010). *Yüzey aktif maddelerin etkileşimlerinin ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 4-17.
9. Gürü, M., Sözen, A., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2019). Influences of bentonite-deionized water nanofluid utilization at different concentrations on heat pipe performance: An experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 148, 632-640.
10. Choi, S. U. and Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. United States: Argonne National Lab.
11. Saidur, R., Leong, K. Y. and Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1646-1668.
12. Koblinski, P., Prasher, R. and Eapen, J. (2008). Thermal conductance of nanofluids: is the controversy over? *Journal of Nanoparticle research*, 10(7), 1089-1097.
13. Sözen, A., Gürü, M., Khanlari, A. and Çiftçi, E. (2019). Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 160, 114001.
14. Krishnakumar, T. S., Sheeba, A., Mahesh, V. and Prakash, M. J. (2019). Heat transfer studies on ethylene glycol/water nanofluid containing TiO₂ nanoparticles. *International Journal of Refrigeration*, 102, 55-61.

15. Arshad, W. and Ali, H. M. (2017). Experimental investigation of heat transfer and pressure drop in a straight minichannel heat sink using TiO₂ nanofluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, 248-256.
16. Ozdemir, M. B. and Ergun, M. E. (2019). Experimental and numerical investigations of thermal performance of Al₂O₃/water nanofluid for a combi boiler with double heat exchangers. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, Vol 29(4), Issn: 0961-5539, 1300-1321
17. Sheikholeslami, M. and Rokni, H. B. (2017). Simulation of nanofluid heat transfer in presence of magnetic field: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 1203-1233.
18. Sözen, A., Khanlari, A. and Çiftçi, E. (2019). Heat transfer enhancement of plate heat exchanger utilizing kaolin-including working fluid. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 233(5), 626-634.
19. Sözen, A., Çiftçi, E., Keçel, S., Gürü, M., Variyenli, H. I. and Karakaya, U. (2018). Usage of a diatomite-containing nanofluid as the working fluid in a wickless loop heat pipe: Experimental and numerical study. *Heat Transfer Research*, 49(17), 1721-1744.
20. Arya, H., Sarafraz, M. M., Pourmehran, O. and Arjomandi, M. (2019). Heat transfer and pressure drop characteristics of MgO nanofluid in a double pipe heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 55(6), 1769-1781.
21. Aydın, D. Y., Gürü, M., Sözen, A. and Çiftçi, E. (2020). Thermal Performance Improvement of the Heat Pipe by Employing Dolomite/Ethylene Glycol Nanofluid. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(1), 23-27.
22. Said, Z., Rahman, S. M. A., Assad, M. E. H. and Alami, A. H. (2019). Heat transfer enhancement and life cycle analysis of a Shell-and-Tube Heat Exchanger using stable CuO/water nanofluid. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 31, 306-317.
23. Kumar, N. and Sonawane, S. S. (2016). Experimental study of Fe₂O₃/water and Fe₂O₃/ethylene glycol nanofluid heat transfer enhancement in a shell and tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78, 277-284.
24. Baskar, S., Chandrasekaran, M., Vinod Kumar, T., Vivek, P. and Karikalan, L. (2020). Experimental studies on convective heat transfer coefficient of water/ethylene glycol-carbon nanotube nanofluids. *International Journal of Ambient Energy*, 41(3), 296-299.
25. Khanlari, A., Aydın, D. Y., Sözen, A., Gürü, M. and Variyenli, H. İ. (2019). Investigation of the influences of kaolin-deionized water nanofluid on the thermal behavior of concentric type heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 1-10.
26. Kumar, N., Sonawane, S. S. and Sonawane, S. H. (2018). Experimental study of thermal conductivity, heat transfer and friction factor of Al₂O₃ based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 90, 1-10.

27. Kim, S., Tserengombo, B., Choi, S. H., Noh, J., Huh, S., Choi, B., Jeong, H. (2019). Experimental investigation of heat transfer coefficient with Al_2O_3 nanofluid in small diameter tubes. *Applied Thermal Engineering*, 146, 346-355.
28. Sarafraz, M. M., Tlili, I., Tian, Z., Khan, A. R. and Safaei, M. R. (2020). Thermal analysis and thermo-hydraulic characteristics of zirconia–water nanofluid under a convective boiling regime. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(4), 2413-2422.
29. Khanlari A., Sözen A. ve Variyenli H.İ. (2019). Simulation and Experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO_2 /water nanofluid. *International Journal of Numerical for Heat&Fluid Flow*.
30. Yüzer, S. N. (2005). *Buzdolabı Kompresörlerinde Yağlama Yağı-Soğutkan İlişkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 6-14.
31. Bandgar, M. S., Ragit, S. S., Kolhe, K. P. and Biradar, N. S. (2016). Effect of nano lubricant on the performance of vapour compression refrigeration system: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 3(4), 56-59.
32. Sharif, M. Z., Azmi, W. H., Mamat, R. and Shaiful, A. I. M. (2018). Mechanism for improvement in refrigeration system performance by using nanorefrigerants and nanolubricants–A review. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 92, 56-63.
33. Ohunakin, O. S., Adelekan, D. S., Babarinde, T. O., Leramo, R. O., Abam, F. I. and Diarra, C. D. (2017). Experimental investigation of TiO_2 -, SiO_2 -and Al_2O_3 -lubricants for a domestic refrigerator system using LPG as working fluid. *Applied Thermal Engineering*, 127, 1469-1477.
34. Adelekan, D. S., Ohunakin, O. S., Babarinde, T. O., Odunfa, M. K., Leramo, R. O., Oyedepo, S. O. and Badejo, D. C. (2017). Experimental performance of LPG refrigerant charges with varied concentration of TiO_2 nano-lubricants in a domestic refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 55-61.
35. Bi, S., Guo, K., Liu, Z. and Wu, J. (2011). Performance of a domestic refrigerator using TiO_2 -R600a nano-refrigerant as working fluid. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 733-737.
36. Kumar, D. S. and Elansezhian, R. (2014). ZnO nanorefrigerant in R152a refrigeration system for energy conservation and green environment. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9(1), 75-80.
37. Yusof, T. M., Arshad, A. M., Suziyana, M. D., Chui, L. G. and Basrawi, M. F. (2015). Experimental study of a domestic refrigerator with POE- Al_2O_3 nanolubricant. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11, 2243-52.
38. Padmanabhan, V. M. V. and Palanisamy, S. (2012). The use of TiO_2 nanoparticles to reduce refrigerator ir-reversibility. *Energy Conversion and Management*, 59, 122-132.

39. Maheshwary, P. B., Handa, C. C. and Nemade, K. R. (2018). Effect of shape on thermophysical and heat transfer properties of ZnO/R-134a nanorefrigerant. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1635-1639.
40. Zawawi, N. N. M., Azmi, W. H., Redhwan, A. A. M., Sharif, M. Z. and Sharma, K. V. (2017). Thermo-physical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{/PAG}$ composite nanolubricant for refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 80, 1-10.
41. Sabareesh, R. K., Gobinath, N., Sajith, V., Das, S. and Sobhan, C. B. (2012). Application of TiO_2 nanoparticles as a lubricant-additive for vapor compression refrigeration systems—An experimental investigation. *International Journal of Refrigeration*, 35(7), 1989-1996.
42. Diao, Y. H., Li, C. Z., Zhao, Y. H., Liu, Y. and Wang, S. (2015). Experimental investigation on the pool boiling characteristics and critical heat flux of Cu-R141b nanorefrigerant under atmospheric pressure. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89, 110-115.
43. Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A., Madyira, D. M. and Ekundayo, F. M. (2020). Enhancing the energy efficiency of vapour compression refrigerator system using R600a with graphene nanolubricant. *Energy Reports*, 6, 1-10.
44. Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A. and Madyira, D. M. (2020). Energy performance evaluation of R600a/MWCNT-nanolubricant as a drop-in replacement for R134a in household refrigerator system. *Energy Reports*, 6, 639-647.
45. Anwar, M. T. and Randa, R. (2020). Experimental study of vapour compression refrigeration system by using aluminium oxide nanoparticles as lubricant additive. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 6(8), 83-88.
46. Vasu, V., Rakesh, D., Sumanth, K. B. and Prasad, V. U. S. V. (2020). *Experimental investigation on low-pressure receiver incorporated domestic refrigerator with Al_2O_3 nanoparticles*. Springer: Singapore, 319-327.
47. Nair, V., Parekh, A. D. and Tailor, P. R. (2020). Experimental investigation of a vapour compression refrigeration system using R134a/Nano-oil mixture. *International Journal of Refrigeration*, 112, 21-36.
48. Redhwan, A. A. M., Azmi, W. H., Sharif, M. Z., Mamat, R., Samykano, M. and Najafi, G. (2019). Performance improvement in mobile air conditioning system using $\text{Al}_2\text{O}_3\text{/PAG}$ nanolubricant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(2), 1299-1310.
49. Jatinder, G., Ohunakin, O. S., Adelekan, D. S., Atiba, O. E., Daniel, A. B., Singh, J. and Atayero, A. A. (2019). Performance of a domestic refrigerator using selected hydrocarbon working fluids and $\text{TiO}_2\text{-MO}$ nanolubricant. *Applied Thermal Engineering*, 160, 114004.
50. Chauhan, S. S., Kumar, R. and Rajput, S. P. S. (2019). Performance investigation of ice plant working with R134a and different concentrations of POE/ TiO_2 nanolubricant using experimental method. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(4), 163.

51. Hamisa, A. H., Azmi, W. H., Zawawi, N. N. M., Sharif, M. Z. and Shaiful, A. I. M. (2019, January). *Comparative study of single and composite nanolubricants in automotive air-conditioning (AAC) system performance*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Pahang (Malaysia), 12044.
52. Soliman, A. M., Rahman, A. K. A. and Ookawara, S. (2019). Enhancement of vapor compression cycle performance using nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(2), 1507-1520.
53. Zawawi, N. N. M., Azmi, W. H., Sharif, M. Z. and Shaiful, A. I. M. (2019, January). *Composite nanolubricants in automotive air conditioning system: An investigation on its performance*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Pahang (Malaysia), 12078.
54. Alawi, O. A., Salih, J. M. and Mallah, A. R. (2019). Thermo-physical properties effectiveness on the coefficient of performance of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{R141b}$ nano-refrigerant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 103, 54-61.
55. Jwo, C. S., Jeng, L. Y., Teng, T. P. and Chang, H. (2009). Effects of nanolubricant on performance of hydrocarbon refrigerant system. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, 27(3), 1473-1477.
56. Lou, J. F., Zhang, H. and Wang, R. (2015). Experimental investigation of graphite nanolubricant used in a domestic refrigerator. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(2), 1687814015571011.
57. Narayanasarma, S. and Kuzhiveli, B. T. (2019). Evaluation of the properties of POE/ SiO_2 nanolubricant for an energy-efficient refrigeration system—An experimental assessment. *Powder Technology*, 356, 1029-1044.
58. Lin, L., Peng, H., Chang, Z. and Ding, G. (2017). Experimental investigation on TiO_2 nanoparticle migration from refrigerant–oil mixture to lubricating oil during refrigerant dryout. *International Journal of Refrigeration*, 77, 75-86.
59. Sanukrishna, S. S. and Prakash, M. J. (2018). Experimental studies on thermal and rheological behaviour of TiO_2 -PAG nanolubricant for refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 86, 356-372.
60. Akinlabi, S. A., Babarinde, T. O., Madyira, D. M., Ogbonna, O. S. and Mashinini, P. M. (2019). Performance analysis of TiO_2 and SiO_2 nanolubricant in domestic refrigeration. *Proc. of the Eighth Intl. Conf. on Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering* - . ISBN: 978- 1-63248-170, 79-84.
61. Cremaschi, L., Wong, T. and Bigi, A. A. (2014). *Thermodynamic and heat transfer properties of Al_2O_3 nanolubricants*. 15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, Indiana, Purdue University, 1-10.
62. Pico, D. F. M., da Silva, L. R. R., Schneider, P. S. and Bandarra Filho, E. P. (2019). Performance evaluation of diamond nanolubricants applied to a refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 100, 104-112.

63. Zaki, S. M., Hamzah, W. A. W. and Aziz, M. R. A. (2016). *Effect of nanolubricant on evaporator and condenser pressure of automotive air conditioning system*. The National Conference for Postgraduate Research 2016, Universiti Malaysia Pahang, Pahang, 302-308.
64. Azziz, H. N., Shareef, A. S. and Hadi, H. S. (2019). Experimental investigation of the ag-nano lubricant effect on air conditioning performance. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 61(1), 147-154.
65. Ouikhalfan, M., Labihi, A., Belaqqiz, M., Chehouani, H., Benhamou, B., Sari, A. and Belfkira, A. (2020). Stability and thermal conductivity enhancement of aqueous nanofluid based on surfactant-modified TiO₂. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 41(3), 374-382.
66. Tang, X., Zhao, Y. H. and Diao, Y. H. (2014). Experimental investigation of the nucleate pool boiling heat transfer characteristics of δ - Al₂O₃-R141b nanofluids on a horizontal plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 52, 88-96.
67. Peng, H., Ding, G. and Hu, H. (2011). Effect of surfactant additives on nucleate pool boiling heat transfer of refrigerant-based nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(6), 960-970.
68. Elghanam, R. I., Fawal, M. E., Aziz, R. A., Skr, M. H. and Khalifa, A. H. (2011). Experimental study of nucleate boiling heat transfer enhancement by using surfactant. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(3-4), 195-209.
69. Choi, T. J., Jang, S. P. and Kedzierski, M. A. (2018). Effect of surfactants on the stability and solar thermal absorption characteristics of water-based nanofluids with multi-walled carbon nanotubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 122, 483-490.
70. Arasu, A. V., Kumar, D. D. and Khan, A. I. (2019). Experimental investigation of thermal conductivity and stability of TiO₂-Ag/water nanocompositefluid with SDBS and SDS surfactants. *Thermochimica Acta*, 178308.
71. Al-Waeli, A. H., Chaichan, M. T., Kazem, H. A. and Sopian, K. (2019). Evaluation and analysis of nanofluid and surfactant impact on photovoltaic-thermal systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100392.
72. Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. (2002). Thermodynamics: an engineeringapproach, Sea, 1000, 8862.
73. Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S. and Hadadian, M. (2013). Nanofluidsforheat transfer enhancement-A review. *Physical Chemistry Research*, 1(1), 1-33.
74. Toparlı, Ç. (2013). *FeNiCo alışım nano partiküllerinin ultrasonik sprey piroliz ve hidrojen redüksiyonu (USP-HR) tekniği ile üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-12.

75. Zhang, J. Y., Boyd, I. W., O'sullivan, B. J., Hurley, P. K., Kelly, P. V. and Senateur, J. P. (2002). Nanocrystalline TiO₂ films studied by optical, XRD and FTIR spectroscopy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 303(1), 134-138.
76. Thamaphat, K., Limsuwan, P. and Ngotawornchai, B. (2008). Phase characterization of TiO₂ powder by XRD and TEM. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 42(5), 357-361.
77. Sivasankaran, S., Sivaprasad, K., Narayanasamy, R. and Satyanarayana, P. V. (2011). X-ray peak broadening analysis of AA 6061100- x wt.% Al₂O₃ nanocomposite prepared by mechanical alloying. *Materials Characterization*, 62(7), 661-672.
78. İlhan, B. and Ertürk, H. (2017). Experimental characterization of laminar forced convection of hBN-water nanofluid in circular pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 500-507.
79. İlhan, B., Kurt, M. and Ertürk, H. (2016). Experimental investigation of heat transfer enhancement and viscosity change of hBN nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77, 272-283.
80. Kurt, M. (2014). *Experimental investigation of thermal and rheological behavior of hexagonal boron nitride nanofluids*. Master Thesis, Graduate Program in Mechanical Engineering Boğaziçi University, 111 s.
81. Wang, J., Zhang, L., Zhao, G., Gu, Y., Zhang, Z., Zhang, F. and Wang, W. (2011). Selective synthesis of boron nitride nanotubes by self-propagation high-temperature synthesis and annealing process. *Journal of Solid State Chemistry*, 184(9), 2478-2484.
82. Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO₂-deionized water nanofluid in a thermosiphon. *Experimental Heat Transfer*, 31(5), 450-469.
83. Akpınar, K. E. (2005). Deneysel Çalışmalardaki Hata Analizine Bir Örnek: Kurutma Deneylerindeki Hata Analizi. *Mühendis ve Makine*, Cilt:46, Sayı:540.
84. Marinov, M., Dimirtov, S., Djamiykov, T. and Donscheva, M. (2004, May). *An adaptive approach for linearization of temperature sensor characteristics*. 27th International Spring Seminar on Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress, Bankya (Bulgaria), 417-420.
85. Kawahito, S., Cerman, A. and Tadokoro, Y. (2002, May). *A digital fluxgate magnetic sensor interface using sigma-delta modulation for weak magnetic field measurement*. IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Anchorage, AK, USA, 257-260.
86. Liu, J., Li, Y. and Zhao, H. (2010, June). *A temperature measurement system based on pt100*. 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, Wuhan (China), 296-298.
87. Holman, J. P. (2001). *Experimental methods for engineers*. Boston: McGraw-Hill, 698.

88. Taffarel, S. R. and Rubio, J. (2010). Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB. *Minerals Engineering*, 23(10), 771-779.
89. Kocyigit, Y., Alkan, A. and Erol, H. (2008). Classification of EEG recordings by using fast independent component analysis and artificial neural network. *Journal of Medical Systems*, 32(1), 17-20.
90. Orhan, U., Hekim, M. and Ozer, M. (2011). EEG signals classification using the K-means clustering and a multilayer perceptron neural network model. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13475-13481.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKKAYA, Mustafa
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.03.1988 / Gaziantep (Nizip)
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0338 220 00 00 (5058)
 e-mail : makkaya@kmu.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Fırat Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	2016
Lisans	Fırat Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	2012
Lise	Özel Harput Koleji	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Akkaya, M., Gültekin, A., Sabancı, K., Balcı, S., Sağlam, H. (2020). Analysis and applicability of mersin region wind speed data with artificial neural networks. *Nevşehir Journal Of Science And Technology*, 9(1), 39-51.
2. Sabancı, K., Akkaya, M., (2016). Classification of different wheat varieties by using data mining algorithms. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering* (Yayın No: 3441544).

3. Akkaya, M., Menlik, T., Sözen, A., (2020), Experimental investigation of the use of nano-lubricants prepared in different Al₂O₃ nanoparticle concentrations in a cooling system. *Journal of Polytechnic* (Yayın No: 6081534). (Accepted Paper).
4. Akkaya, M., Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M. (2020). Experimental investigation of nanolubricant usage in a cooling system at different nanoparticle concentrations. *Heat Transfer Research*. (Accepted Paper).
5. Akkaya, M., Sabancı, K. (2019). *Estimating abalone age from physical measurements by using machine learning algorithms*. The Second International Science and Engineering Congress – 2019, (No:4829396), Alanya/Antalya.
6. Akkaya, M. (2018). *Data classification of different type of grape juice fermentation and design of cold storage to protect the product*. International Science and Engineering Congress – 2018, (No:4350374). Girne/K.K.T.C.
7. Akkaya, M., Sabancı, K. (2017). *Classification of different wind speed data in turkey by using data mining algorithms*. International Computer and Applied Sciences Conference – 2017, (No:3619412). Barcelona/İSPANYA.

Hobiler

Müzik, Futbol, Basketbol



GAZİ GELECEKTİR..