



**SPİNELOKSİT NANOAKIŞKANLI ÖN SOĞUTMASIZ DİFÜZYONLU
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ**

Emine Yağız GÜRBÜZ

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2021

ETİK BEYAN

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

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

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

Emine Yağız GÜRBÜZ

10/09/2021

SPİNELOKSİT NANOAKIŞKANLI ÖN SOĞUTMASIZ DİFÜZYONLU
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

(Doktora Tezi)

Emine Yağız GÜRBÜZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2021

ÖZET

Difüzyonlu absorpsiyonlu soğutma sistemleri (DASS), soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında ilgi çeken ve geliştirilebilir bir teknoloji olarak önem kazanmaktadır. Termal sistemlerde nanoakışkan kullanılması da ısı transferinin iyileştirilmesi açısından tercih edilen bir yöntem olarak önemini korumaktadır. Bu tez kapsamında, çalışma akışkanı olarak amonyak-su-helyum ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$) ve ağırlıkça farklı oranlarda MgOAl_2O_3 , ZnOAl_2O_3 ve TiO_2 nanopartikülleri eklenmiş olan amonyak-su-helyum çalışma akışkanları ön soğutmasız difüzyonlu absorpsiyonlu soğutma sisteminde (DASS) deneysel olarak incelenmiştir. 250 ml amonyak-su çözeltisi, ağırlıkça % 0.2 oranında yüzey aktifleştirici sodyum dodesil benzen sülfonat maddesi, ağırlıkça % 1 ve % 2 oranında üç farklı nanopartikül eklenerek, her çalışma akışkanı sistemde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile enerji ve ekserji analizleri yapılarak sistem performansları değerlendirilmiştir. En yüksek soğutma kapasitesi, ağırlıkça % 2 oranında MgOAl_2O_3 nanopartikül kullanılan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanında elde edilirken, en düşük soğutma kapasitesi $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz iş akışkanında görülmüştür. En yüksek ekserji yıkımı sıvı ısı değiştiricisinde gerçekleşirken, en düşük ekserji yıkımı kondenserde meydana gelmiştir. Sonuç olarak MgOAl_2O_3 nanopartikül kullanılması ile soğutma kapasitesinde %38 iyileşme hesaplanırken, ekserji veriminde ise %58 artış sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 92808
Anahtar Kelimeler : Difüzyonlu absorpsiyonlu soğutma, nanoakışkan, enerji, ekserji
Sayfa Adedi : 74
Danışman : Prof. Dr. Adnan SÖZEN
İkinci Danışman : Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SPINEL OXIDE NANOFLUID WITHOUT PRE-COOLED DIFFUSION ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM

(Ph. D. Thesis)

Emine Yağız GÜRBÜZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2021

ABSTRACT

Diffusion absorption refrigeration systems (DARS) gain importance as an interesting and developable technology in cooling and air conditioning applications. The use of nanofluids in thermal systems also maintains its importance as a preferred method in terms of enhancing heat transfer. In this thesis, ammonia-water-helium ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$) working fluid and ammonia-water-helium working fluids with different weight ratios of MgOAl_2O_3 , ZnOAl_2O_3 and TiO_2 nanoparticles added were experimentally investigated in a DARS without pre-cooling. Each working fluid was tested in the system by adding 0.2 wt.% surface active agent and three various nanoparticles of 1wt.% and 2 wt.% to 250 ml of ammonia-water solution. System performances were evaluated by performing energy and exergy analyzes with the results obtained. The highest cooling capacity was found in the $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ working fluid using 2 wt.% MgOAl_2O_3 while the lowest cooling capacity was observed in the $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ base working fluid. The highest exergy destruction occurred in the solution heat exchanger, while the lowest exergy destruction happened in the condenser. As a result, an improvement of 38% was determined in the cooling capacity and an increase of 58% was in the exergy efficiency by using MgOAl_2O_3 nanoparticles.

Science Code : 92808
Key Words : Diffusion absorption refrigeration system, nanofluid, energy, exergy
Page Number : 74
Supervisor : Prof. Dr. Adnan SÖZEN
Second supervisor : Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında desteklerini ve akademik bilgi birikimini benden esirgemeyen yol gösteren, sonsuz sabırla beni her zaman çalışmaya teşvik eden sayın danışmanım Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e ve sayın ikinci danışmanım Prof. Dr. Ali KEÇEBAŞ'a, hayatımda her türlü desteği veren kıymetli anneme, babama, ağabeyime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ	9
3.1. Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemi	9
3.2. Adsorbsiyonlu Soğutma Çevrimi	10
3.3. Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Çevrimi.....	11
3.4. Hava Soğutma Çevrimi	12
3.5. Termo Elektrik Soğutma Sistemi	13
3.6. Paramagnetik Soğutma Sistemi.....	14
4. DİFÜZYONLU ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ (DASS).....	17
4.1. Ön Soğutmasız DASS	18
5. NANOAKIŞKAN KAVRAMI VE ÖZELLİKLERİ.....	23
5.1. Nanoakışkan Türleri.....	24
5.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri	25
5.2.1. Tek adımlı yöntem.....	25

Sayfa

5.2.2. İki adımlı yöntem.....	26
5.3. Nanoakışkanların Kararlılığının Değerlendirilmesi ve Arttırılması	26
6. MATERYAL VE METOT.....	31
6.1. Deneysel Çalışma.....	31
6.2. Çalışma Akışkanlarının Hazırlanması.....	36
6.3. Deneylerin Yapılması.....	39
6.4. Teorik Analiz	40
6.5. Belirsizlik Analizi	45
7. DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
8. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. DAS sisteminde nanoakışkan kullanımı	6
Çizelge 6.1. ISOLAB ultrasonik banyonun özellikleri	39
Çizelge 7.1. Deneysel hesaplamalar sonucunda baz akışkan için elde edilen kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları	58
Çizelge 7.2. Deneysel hesaplamalar sonucunda $MgOAl_2O_3$ içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları	58
Çizelge 7.3. Deneysel hesaplamalar sonucunda $ZnOAl_2O_3$ içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları	59
Çizelge 7.4. Deneysel hesaplamalar sonucunda TiO_2 içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları	59
Çizelge 7.5. Baz akışkanın termodinamik özellikleri (NH_3-H_2O-He)	60
Çizelge 7.6. $NH_3-H_2O-He + MgOAl_2O_3$ içeren çözeltilerin termodinamik özellikleri ...	60
Çizelge 7.7. $NH_3-H_2O-He + ZnOAl_2O_3$ içeren çözeltilerin termodinamik özellikleri	61
Çizelge 7.8. $NH_3-H_2O-He + TiO_2$ içeren nanoakışkanların termodinamik özellikleri ...	61
Çizelge 7.9. Farklı deneyler için enerji analiz sonuçları	62
Çizelge 7.10. Farklı çalışma akışkanları için COP değerleri	64
Çizelge 7.11. Ekserji analiz değerleri	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Deney düzeneğine ait bir görünüm.....	31
Resim 6.2. Çözelti tankı görseli.....	33
Resim 6.3. Sistemdeki basınç ölçer cihazı.....	34
Resim 6.4. Yoğuşturucu ve bypass hattı.....	35
Resim 6.5. Buharlaştırıcının yapısal gösterimi.....	35
Resim 6.6. Ultrasonik banyo.....	39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevriminin şematik gösterimi	10
Şekil 3.2. Adsorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi	11
Şekil 3.3. Buhar-jet (ejektör) soğutma sisteminin şematik gösterimi	12
Şekil 3.4. Hava soğutma çevriminin şematik gösterimi	13
Şekil 3.5. Termo-elektrik soğutma sisteminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.6. Paramagnetik soğutma sisteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 4.1. Ön soğutmasız DAS sisteminin şematik gösterimi	19
Şekil 5.1. Nanoakışkanların şematik gösterimi.....	23
Şekil 5.2. Nanopartiküller ve nanoakışkanların sınıflandırılması.....	25
Şekil 5.3. Nanoakışkan hazırlamada iki adımlı yöntemle başvurulması	26
Şekil 5.4. Nanoakışkanların zeta potansiyeli cinsinden kararlılık değerleri.....	27
Şekil 5.5. Nanoakışkanın kararlılığının artırılması için yöntemler.....	28
Şekil 6.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 6.2. ZnOAl ₂ O ₃ parçacık boyutu dağılım eğrisi.....	37
Şekil 6.3. MgOAl ₂ O ₃ parçacık boyutu dağılım eğrisi.....	37
Şekil 6.4. TiO ₂ parçacık boyutu dağılım eğrisi.....	38
Şekil 6.5. Hesaplamalarda kullanılan noktaların gösterimi	42
Şekil 7.1. NH ₃ -H ₂ O-He deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	48
Şekil 7.2. NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	48
Şekil 7.3. NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	49
Şekil 7.4. NH ₃ -H ₂ O-He + ZnOAl ₂ O ₃ (%1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	51
Şekil 7.5. NH ₃ -H ₂ O-He + ZnOAl ₂ O ₃ (%2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	52
Şekil 7.6. NH ₃ -H ₂ O-He + TiO ₂ (% 1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	54
Şekil 7.7. NH ₃ -H ₂ O-He + TiO ₂ (% 2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 7.8. $MgOAl_2O_3$ içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri.....	56
Şekil 7.9. $ZnOAl_2O_3$ içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri.....	56
Şekil 7.10. TiO_2 içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri	57
Şekil 7.11. DAS sisteminin her elemanı için enerji analiz değerleri	63
Şekil 7.12. EXCOP değerinin çalışma akışkanlarına göre karşılaştırılması	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

$\dot{E}_x$	Ekserji oranı (W)
$\dot{Q}$	Isı transfer miktarı (W)
W_R	Toplam belirsizlik, (%)
$\dot{m}$	Kütleli debi, (kg/s)
w_n	Bağımsız değişkendir belirsizlik
COP	Soğutma performans katsayısı
DASS	Difüzyonlu absorpsiyonlu soğutma sistemi
EXCOP	Ekserji performans katsayısı
h	Isı taşıma katsayısı, (W/m ² K)
o	Ölü hal
P	Basınç, (Pa)
s	Entropi (kJ/kg.K)
SDBS	Sodyum dodesil benzen sülfonat
T	Sıcaklık, (°C)
t	Zaman, (s)
x	Çözeltide amonyak kütle oranı

Kısaltmalar

Açıklamalar

abs	Absorber
evap	Evaporatör
he	Helyum
ısıd	Sıvı ısı değiştiricisi
saf	Safleştirici

1. GİRİŞ

Günümüzün yaşam şartlarında, insanlar günlük hayatlarının %85-90'ını kapalı ortamlarda geçirmek durumunda kalmaktadırlar. Bu sebepten ötürü kapalı mekânların konforlu ve sağlıklı olması, insan yaşamı açısından çok önemli bir yer tutmaktadır. Konfor denildiğinde akla gelen ve uygun bir şekilde sağlanması gereken şartlardan birisi de “Soğutma”dır. Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısıнын alınması işlemine soğutma denir [1]. Soğutma makinaları ve ısı pompaları termodinamiğin ikinci yasası uyarınca Clausius ifadesine uygun olarak çalışırlar. Clausius ifadesine göre, bir çevrimde dışarıdan herhangi bir güç almadan düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı alarak, daha yüksek sıcaklıktaki bir diğer kaynağa ısı aktarımı olanaksızdır. Yani soğutma olayı ancak çevrime dışarıdan, ek bir güç sağladığı durumda gerçekleşebilir.

Soğutma işleminin yapılması sırasında farklı koşullar göz önüne alınmalıdır. Farklı koşullar denildiğinde ele alınacak temel parametreler; soğutulacak malzeme, malzemenin miktarı, soğutması gerçekleştirilecek yer, değişim olacak sıcaklık değerleridir. Bunların yanı sıra değişiklik gösterecek farklı koşullarda bulunmaktadır. Dolayısıyla değişen koşullar farklı soğutma çevrimlerini de gerektirmektedir.

Çeşitli soğutma yöntemlerinden biri olan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin, buzdolaplarında soğutma amaçlı kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Özellikle elektriğin günümüzdeki kadar erişilebilir olmadığı zamanlarda ısı güç ile çalışan bu soğutma sistemlerine başvurulmuştur. Sistem ilk olarak Fransız Ferdinand Carre tarafından icat edilmiş ve 1859 yılında patenti alınmıştır [2]. Özellikle ABD’de de bu tür makinalar buz yapmak ve gıdaların soğukta saklanması amacıyla sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. 1850’li yıllarda imalatı yapılmış en büyük absorpsiyonlu soğutma sistemi 4190 kW kapasitesindedir. Ancak 1950’li yıllardan sonra elektriğin çok daha yaygın kullanılması ile bu sistemlerin yerini buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri almaya başlamıştır [3]. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sıklıkla LiBr-H₂O ve NH₃-H₂O şeklinde iki çeşit iş akışkanı kullanılmaktadır.

Bunun yanında günümüzde önem kazanan bir alan da ısı transferi proseslerinin olabildiğince iyileştirilmesidir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden biri de, konvansiyonel

Çalışma akışkanlarının (su, yaę, etil alkol, hava gibi) dūřuk olan ısı transferi katsayısını artırmaktır. Isı transferi arttırmanın yollarından biri de çalışma akışkanlarına belirli oranlarda nano boyutta metal oksit parçacıkları ekleyerek nanoakışkanlar elde etmektir. Böylelikle alışma akışkanı içerisine eklenen nanopartiküller, iř akışkanının yüzey alanını ve ısıyı tutma kapasitesini arttırarak ısı transferini artırırlar [4].

Literatürdeki nanoakışkanlar üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artış göstermektedir. Artışın başlıca nedeni ısı transferi proseslerinde çalışma akışkanlarının değiştirilebilmesi sayesinde verimliliğin arttırılmasının sağlanabilmesidir. Ancak, n soğutmasız DAS sistemlerinde nanoakışkan kullanımı konusundaki çalışmalar oldukça sınırlı durumdadır. Bu nedenle, literatürde bulunan bu boşluğu doldurmak ve alternatif çalışma akışkanları ile ilgili katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, n soğutmasız DAS sisteminde $ZnOAl_2O_3$ (ağırlıkça %1 ve %2 oranında), $MgOAl_2O_3$ (ağırlıkça %1 ve %2 oranında), TiO_2 (ağırlıkça %1 ve %2 oranında) nanoakışkanlar kullanılarak enerji ve ekserji performansı değerlendirilmiştir.

Difüzyonlu absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan klasik amonyak-su çalışma akışkanının geliştirilerek, içerisine ilave edilen nanopartiküller ile nanoakışkan hazırlanması ve ısı transferinin geliştirilmesi ile ısıl performansın arttırılması için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu amaç ile yola çıkılarak, ktलेce farklı yüzdelerde olmak üzere, farklı nanoakışkanlar kullanılarak sistemin enerji ve ekserji performansları değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ve hesaplamalar sonucunda, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılması durumunda difüzyonlu absorbsiyonlu soğutma sisteminde (DASS) sağlanabilecek verim artışı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu amaçla bu tez; birinci bölümde giriş, ikinci bölümde literatür taraması, üçüncü bölümde soğutma sistemlerinin sınıflandırılması, dördüncü bölümde DASS tanıtımı ve tez çalışmasında kullanılan n soğutmasız DASS tanıtılması, beşinci bölümde nanoakışkan kavramı ve özellikleri, altıncı bölümde materyal ve metot, yedinci bölümde deneysel sonuçlar ve tartışma, sekizinci bölümde sonuçların değerlendirilmesi ve öneri kısmı şeklinde düzenlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde, DAS sistemlerinin enerji analizi ile ilgili yer alan çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Arslan ve Eğrican (2004), bir buzdolabı uygulamasında çalışma akışkanı olarak amonyak-su- helyum kullanarak deneysel olarak absorpsiyonlu soğutma sisteminin performansını enerji analizi ile farklı ısı girdileri için incelemiştir. Bu çalışmada, sistem içerisinde özellikle meydana gelen ısı kayıpları üzerine yoğunlaşmıştır. Deneysel sonuçların ve teorik incelemelerin ışığında, çevrimin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için bazı bölgelerdeki kayıpların gerekli ve kaçınılmaz olduğu, ancak sıvı ısı değiştiricisindeki ısı kayıplarının ise geri kazanılması gerektiğinin önemini vurgulamışlardır. Gereken ısı kayıplarının önlenmesi ile sistem performansında kayda değer bir artış ve iyileşmenin elde edilebileceğini kanıtlamışlardır [3].

Zohar vd. (2007), DAS sisteminde, buharlaştırıcıya girmeden önce sıvı amonyakın ön soğutmalı ve ön soğutmasız olarak incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Teorik olarak yapılan çalışmada, sistemlerin performansları ve en düşük soğutma sıcaklıkları bilgisayar simülasyonu yardımıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında her iki sistemi oluşturan tüm elemanlar, kütle ve enerji korunum denklemleri aracılığıyla sayısal olarak çözülmüştür. Yaptıkları teorik çalışma sonucunda iki sonuca ulaşılmıştır. Ön soğutmasız DAS sisteminin veriminin, ön soğutmalı DAS sisteminin verimine göre %14-20 civarında arttığını ve ön soğutmalı DAS sisteminin en düşük soğutma sıcaklığına ulaştığını belirlemişlerdir [5].

Chen vd. (1996), DAS sistemindeki çevrim akışını hızlandırmaya yönelik bir uygulama yapmışlardır. Bu amaçla ısı değiştiricili yeni bir jeneratör tasarımı yapmış ve bu tasarımın imalatını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda yeni ısı değiştiricili jeneratörün soğutma tesir katsayısının, orijinal jeneratör tasarımına göre %50 civarında arttığı sonucuna ulaşıldığı bulunmuştur [6].

Sözen ve Özalp (2003), amonyak-su ikilisi ile çalışan bir DAS sisteminde, ejektörün kullanılacağı bölgenin değiştirilmesinin, sistem verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada ejektörü absorber girişine yerleştirerek, enerji performans katsayısını (COP) ve ekserji performans katsayısını (ECOP) incelemiştir. Sonuç olarak,

COP katsayısında %49 oranında, ECOP katsayısında ise %56 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca ejektörlü bir DAS sisteminde, ekserji kaybının azaltılması amacıyla çok bölmeli bir absorber tasarlanabileceği önerisi yapılmıştır [7].

Starace ve Pascalis (2013) yaptıkları çalışmada, DAS sisteminin tasarımını model iyileştirmesi ile geliştirmişlerdir. Sistemdeki kütleli debileri deneysel ve teorik olarak birbiriyle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda hesaplanan ve ölçülen değerlerin ve performans katsayısının (COP) hata analizini gerçekleştirmişlerdir [8].

Srikhirin ve Aphornratana (2002), amonyak-su içeren bir DAS sistemini incelemişlerdir. Bu çalışmada güvenlik nedenlerinden ötürü hidrojen yerine helyum tercih edilmiştir. Oluşturdıkları matematiksel model sonuçları ile deney sonuçlarını karşılaştırdıklarında, sistem performansını etkileyen 3 etken bulmuşlardır: Kabarcık pompasının karakteristiği, evaporatör performansı, soğurucu kütle transfer performansı [9].

Zohar vd. (2009) DAS sisteminin performansını dimetilasetamid (DMAC) ve beş farklı soğutucu akışkan (R22, R32, R124, R125 ve R134a) kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. İncelemede yardımcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. Ayrıca incelenen sistem, konvansiyonel sistem ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda COP açısından en yüksek değer 0.298 ile konvansiyonel amonyak-su kullanılan sistemde elde edilirken, DMAC-R32 kullanılan sistemde 0.136 ile en düşük COP değerine ulaşılmıştır. Ayrıca kaynatıcı sıcaklığında 150°C'ye ulaşılırken, verimlilik anlamında bir iyileşme görülememiştir [10].

Zohar vd. (2008) yaptıkları çalışmada kaynatıcı ve kabarcık pompası için farklı üç tasarım üzerinde çalışmışlar ve termodinamik modeller geliştirmişlerdir. Üç sistem şu şekilde oluşturulmuştur: birinci sistem; konvansiyonel sisteme benzer şekilde iki cidardan oluşan kaynatıcı ve kabarcık pompası (dış cidarda kaynatıcı, iç cidarda kabarcık pompası), ikinci sistem; kaynatıcı ve kabarcık pompası ayrı, üçüncü sistem; kaynatıcı ve kabarcık pompası kısmen ayrı. Sonuç olarak, ikinci sistemin ısıyı doğrudan zengin çözeltiye vermesine rağmen, COP açısından en düşük değeri verdiği görülmüştür [11].

Zohar vd. (2005) yaptıkları çalışmada, amonyak-su ile çalışan DAS sisteminde yardımcı gaz olarak hidrojen yerine helyum kullanılmasını termodinamik bir model aracılığıyla incelemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda, helyum kullanımının güvenlik açısından

daha güvenilir olması ile birlikte, performans anlamında da %40 oranında artış sağladığı bulunmuştur [12].

Koyfman vd. (2003) DAS sistemindeki kabarcık pompası elemanı üzerine deneysel bir çalışma yürütmüştür. Deney kapsamında değişken olarak ısı kaynaklarını (140W, 160W, 180W, 200W, 220W ve 240W) kullanmışlardır. İş akışkanı olarak organik bir çözücü ve hidrokloroflorokarbon (HCFC) kullanılarak deney gerçekleştirilmiş, kabarcık pompasının performansının ısı girişine bağlı değişimi incelenmiştir [13].

Yıldız ve Ersöz (2013) yaptıkları çalışmada DAS sisteminin termodinamik analizini çalışmışlardır. DAS çevrimi sisteminde, yardımcı gaz olarak helyum tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında her bir bileşen için kütle, enerji ve ekserji dengesi denklemleri yardımıyla, modelleme ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma neticesinde verimi etkileyen ana kayıpların ısı değiştiricisi elemanında olduğu görülmüştür. Enerji performansı açısından verim değeri 0,1858 elde edilirken, model ve deney ekserji verimi değerleri ise 0,026 ve 0,035 olarak elde edilmiştir [14].

Sözen vd. (2014), yaptıkları çalışmada DAS sisteminde amonyak-su çözeltisine alüminyum oksit (Al_2O_3) nanopartikülleri ekleyerek, nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkisini incelemiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, nanoakışkan kullanılan sistemde konvansiyonel sisteme oranla çalışma süresinin azaldığı ve elde edilmek istenen soğutmanın daha çabuk elde edildiği görülmüştür. Ayrıca performans değerlendirilmesinde COP değerlerinin, konvansiyonel sistemde 0,213-0,28 aralığında olduğu görülürken, nanoakışkan kullanıldığında 0,22-0,30 aralığında olduğu yani COP katsayısının arttığı görülmüştür [15].

Çizelge 2.1.'de DAS sisteminde farklı nanoakışkan kullanımı üzerine yapılan çeşitli çalışmalar özetlenmiştir. Özet çizelgede çalışma akışkanı, çalışmanın içeriği ve elde edilen sonuçlar başlıkları değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.1. DAS sisteminde nanoakışkan kullanımı

Yazar, Kaynak	Çalışma akışkanı	Çalışmanın içeriği	Elde edilen sonuçlar
Yang vd. (2012), [16]	NH ₃ /H ₂ O 20 çeşit nanoparçacık 10 farklı yüzey aktifleştirici madde	DAS sisteminde, NH ₃ /H ₂ O Çözeltisinde sırasıyla 20 farklı nanopartikül ve 10 tip yüzey aktifleştirici madde kullanılmıştır.	Sonuçlar, TiO ₂ , TiN ve SiC nanopartiküllerinin NH ₃ /H ₂ O çözeltisinde daha homojen dağıldığını göstermiştir.
Wu vd. (2017), [17]	NH ₃ /H ₂ O Al ₂ O ₃ , ZnO ZrO ₂ nanoparçacıklar	NH ₃ /H ₂ O baz sıvısı içerisinde nanopartiküllerin deneysel olarak incelenmesi	Performans iyileşmesi.
Aramesh vd. (2013), [18]	LiBr/H ₂ O Ag, Cu, CuO, Al ₂ O ₃ nanoparçacıklar	Baz akışkana farklı nanopartiküller katılarak, deneysel olarak test edilmiş bir çift etkili absorpsiyonlu soğutma çevrimi	Ag nanopartiküller ile elde edilen çift etkili absorpsiyonlu soğutma çevriminin en iyi performans sonuçları %53 olmuştur.
Jiang vd. (2019), [19]	NH ₃ /H ₂ O TiO ₂ nanoparçacıklar	Yeni bir soğurucu kullanılarak sistem tasarlanmış ve TiO ₂ parçacıkları test edilmiştir.	Nanoakışkanların termal iletkenliğinin absorpsiyonlu soğutma işleminde fayda sağladığı açıkça görülmüştür.
Yang vd. (2017), [20]	NH ₃ /H ₂ O TiO ₂ nanoparçacıklar	Nanoakışkan çözeltisinin dinamik özelliklerinin incelenmesi	Nanoakışkan çözeltisinde partiküllerin asılı kalma kabiliyetlerinin artırılması sağlanmıştır.

Pérez-García vd. (2019), yaptıkları çalışmada küçük bir ticari DAS sisteminin performans katsayısını (COP) incelemek için bir model oluşturmuş ve karşılaştırmak amacıyla aynı

zamanda deneysel çalışmalar yapmıştır. Model ile deneysel DAS sistemi üzerindeki yedi farklı noktadan alınan sıcaklık verileri karşılaştırıldığında ± 4 K kadar bir fark olduğu görülmüştür. COP için model sonuçları ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmasında ise, bağıl hata değeri %8 bulunmuştur [21].

Chaves vd. (2019), DAS sisteminin matematiksel modelini çalışmışlardır. DAS sistemini simüle etmek için, modelde 14 farklı parçadaki zayıf ve zengin çözelti konsantrasyonları, jeneratör sıcaklığı, bileşenler arasındaki ısı transferi ve çevrimin çeşitli noktalarındaki kütle akış hızı hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan model, 80 W nominal elektrik gücündeki ticari bir buzdolabından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışılan modelden beklenen, yeni DAS tasarımlarına yeni bir bakış açısı kazandırmasıdır [22].

Belman-Flores vd. (2014), ticari bir DAS sisteminde kabarcık pompasını analitik bir model ile incelemişlerdir. Çalışma, kabarcık pompasının geometrik ve operasyonel bileşenlerine dayalı olarak soğutma performanslarının incelenmesine yönelik yapılmıştır. Soğutma kapasitesi ve COP açısından kabarcık pompasının çap oranı ve boru uzunluğunun ısı girdisinden etkilendiği görülmüştür. Konvansiyonel sistem tasarımı ile karşılaştırıldığında, çap oranı 1,5'e genişletildiğinde, COP'de yaklaşık %150 bir artış elde edilebileceği görülmüştür [23].

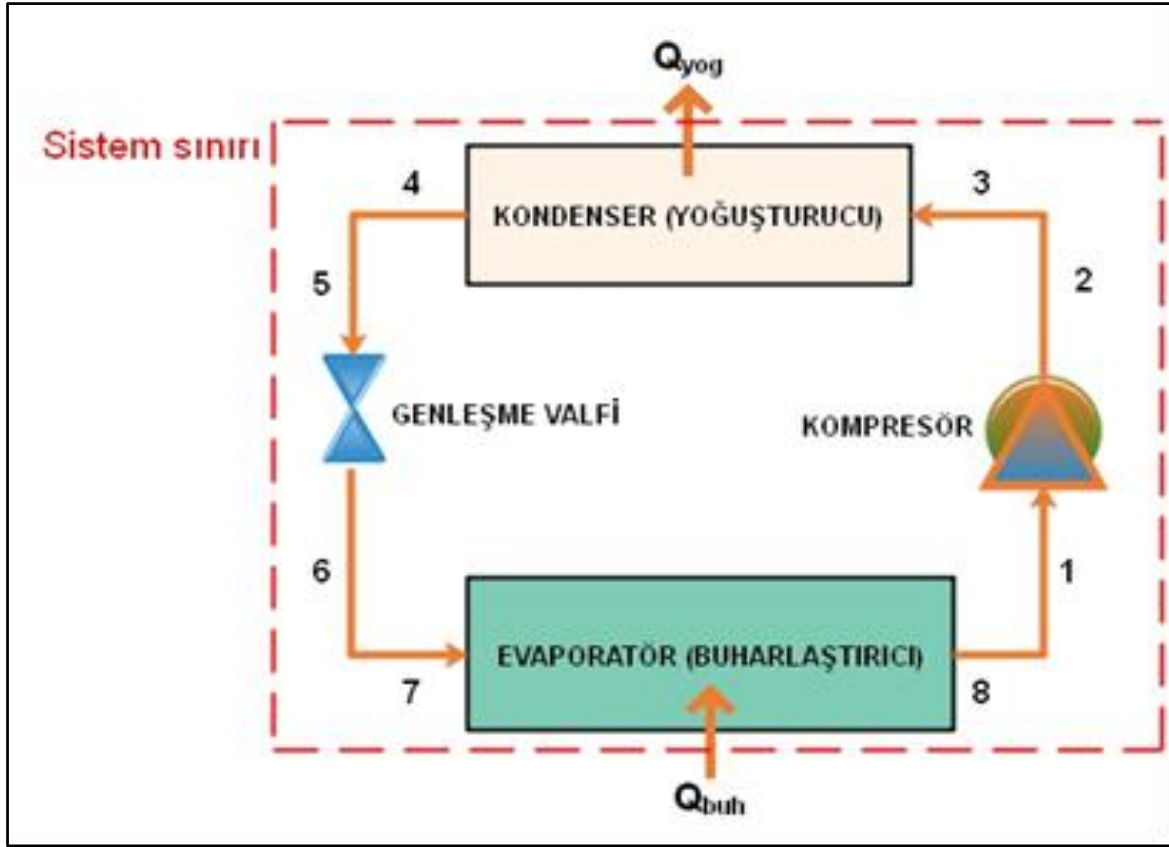
DAS sistemleriyle ilgili yapılmış birçok araştırma ve çalışma detaylı bir şekilde yukarıda verilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin verimlerinin, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimlerine nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanında, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının bu verim değerini daha da arttıracak açıkça ortaya konulmuştur. Ayrıca ön soğutmasız DAS sistemi ile ilgili yapılan çalışmalar teorik olarak sınırlı kalmıştır. Bu tez çalışması ile ön soğutmasız DAS sisteminin nanoakışkanlar ile geliştirilmesi üzerine yapılmış ilk çalışmadır. Dolayısıyla çalışmanın literatüre ve endüstriyel alana kaynak olabilecek önemli bir çalışma olarak ön plana çıkacağı düşünülmektedir.

3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Soğutma sistemlerinde buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri ağırlıklı olarak tercih edilmesine rağmen, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi dışında farklı soğutma sistemleri de bulunmaktadır. Soğutma sistemlerinde farklı sistemlerin kullanılmasını gerektiren faktörler: soğutulacak ürün, soğutulacak miktar, soğutulması istenen ortam, ulaşılacak ya da çalışılmak istenen sıcaklık aralığı, teknolojik gelişmeler vb. Başlıca bilinen ve uygulamada sıklıkla kullanılan soğutma çeşitleri bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1. Buhar Sıkıştırırmalı Mekanik Soğutma Sistemi

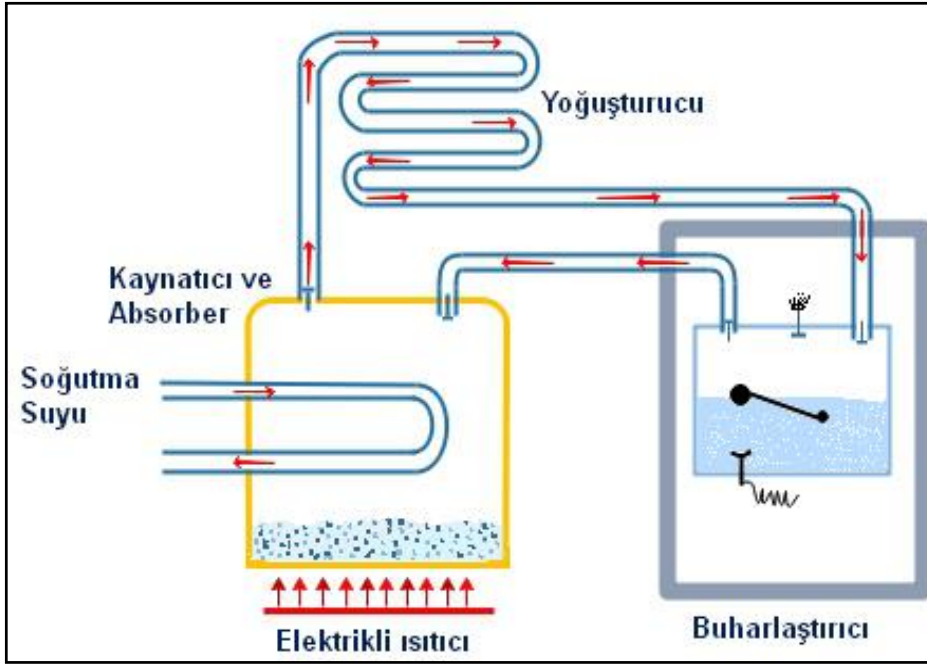
Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevriminin şematik gösterimi Şekil 3.1.'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevrimi, dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bu ana bileşenleri şu şekilde sıralayabiliriz: yoğuşturucu (kondenser) , genişleme valfi, kompresör ve buharlaştırıcı (evaporatör). Mekanik soğutma işlemi denilmesinin nedeni, dışarıdan sisteme verilen iş aracılığıyla, soğutucu akışkanın mekanik olarak kompresör tarafından sıkıştırılması esasına dayanmasıdır. Soğutma sisteminde, kompresörde yüksek basınca sıkıştırılan soğutucu akışkan kızgın buhar halde (kondensere) yoğuşturucuya gönderilir. Kondenserde, çevreye ısı atılarak soğutucu akışkan yoğuşur ve genişleme valfinde alçak basınca kısılarak ıslak buhar halinde evaporatöre (buharlaştırıcıya) girer. Buharlaştırıcıyı çevreleyen ortam sıcaklığının altında bir sıcaklığa sahip olan soğutucu akışkan, ortamın ısını çekerek, ortamı soğutur ve buharlaştırıcı çıkışında doymuş buhar halinde kompresör tarafından emilir. Böylece çevrim devamlı tekrarlanır [24].



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevriminin şematik gösterimi

3.2. Adsorbsiyonlu Soğutma Çevrimi

Adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinde üç adet ana elemandan oluşmaktadır: kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu. Adsorbsiyonlu soğutma sisteminde kaynatıcı elemanında su yerine, silika-gel kullanılmaktadır. Silika-gel kullanılmasının ana sebebi sistemde kullanılan amonyakın emilmesinin sağlanmasıdır. Şekil 3.2.'de adsorbsiyonlu soğutma sistemi resminin şematik gösterimi ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 3.2.'de bulunan kaynatıcı elemanı incelendiğinde, içerisinde elektrikli ısıtıcılar ve soğutma serpantinleri bulunduğu görülmektedir. Kaynatıcının ısıtılması ile içerisinde kullanılan silika-gel ısınır ve emmiş olduğu amonyak buharlaşarak silika-gel'den ayrılır. Ardından sistem istenilen basınca ulaştığında çıkış valfi açılır ve yoğuşturucuya (kondensere) geçiş olur. Yoğuşturucuda diğer soğutma sistemlerinde de olduğu gibi dışarıya ısı atılımı yapılır ve yoğunlaşan çalışma akışkanı buharlaştırıcıya akar.

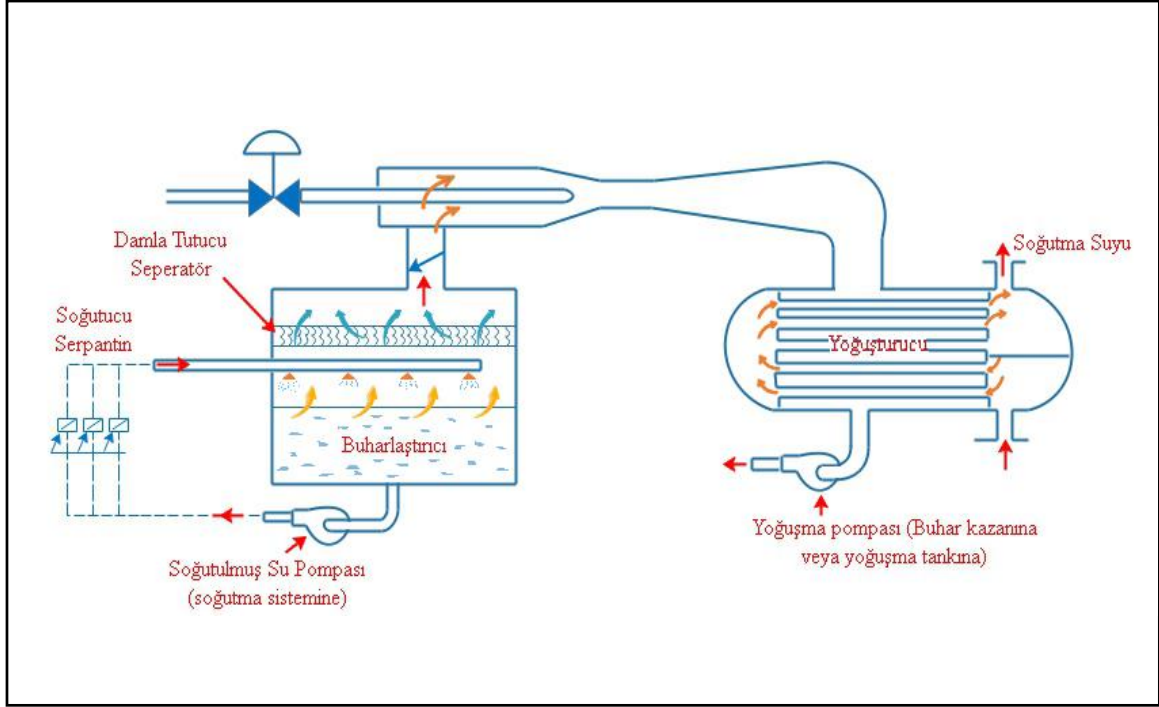


Şekil 3.2. Adsorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi [24]

Şekil 3.2 incelendiğinde, buharlaştırıcı (evaporatör) içerisinde şamandıra bulunduğu görülmektedir. Buharlaştırıcıya yoğuşturucu elemanından akan çalışma akışkanı ile birlikte bir süre sonra, şamandıra yükselerek ısıtıcı devresi kapatılıp, soğutma suyu kısmı açılır. Buharlaştırıcıda ortam ısını çekerek buharlaşan amonyak, kaynatıcı elemanındaki silika-gel tarafından tekrar emilmeye başlanır. Kaynatıcı içerisindeki sıcaklığın azalması ile basınç düşümü de gerçekleşecektir. Basınç azalması ile birlikte amonyakın buharlaşması da kolaylaşacaktır. Ardından döngü tekrarlanarak, Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi devam edecektir [24].

3.3. Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Çevrimi

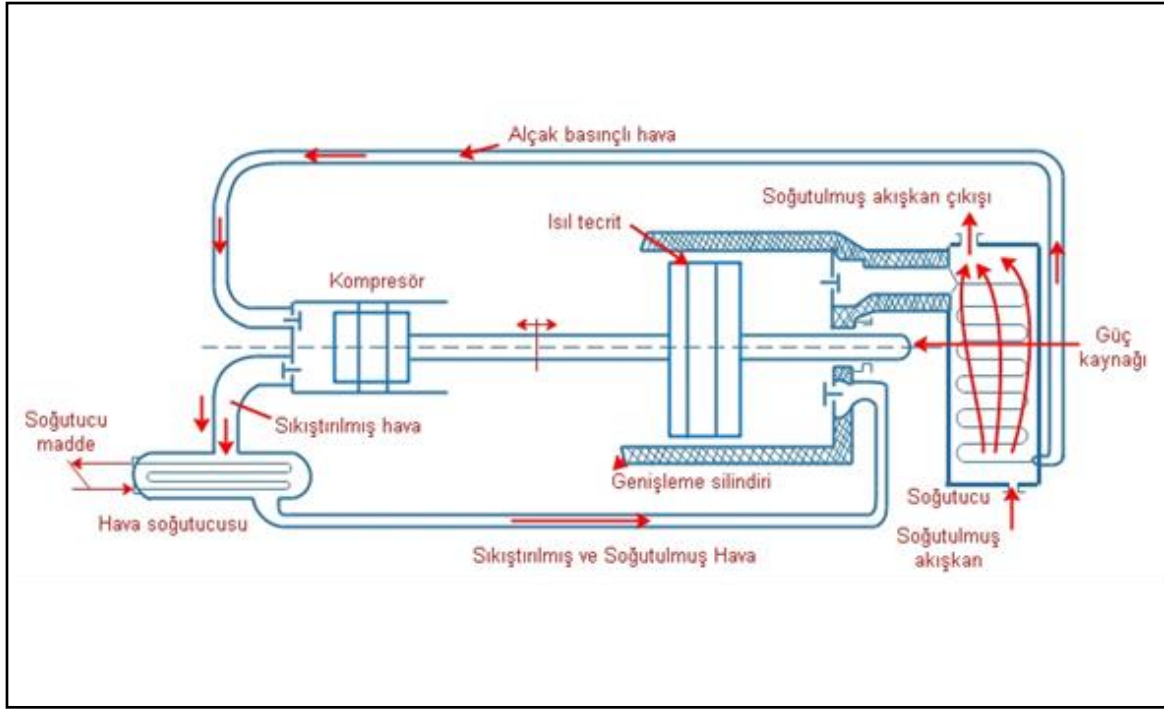
Buhar-jet (ejektör) soğutma sisteminde evaporatör elemanındaki soğutucu akışkan buharı ejektör yardımıyla sürüklenir ve böylelikle buharlaşma basıncının muhafaza ve kontrolü sağlanabilir. Sürükleyici akışkan buhar ve soğutkan maddesi olarak su, buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi için en çok tercih edilen akışkandır. Şematik gösterim olarak Şekil 1.3.'de gösterilmiştir[25].



Şekil 3.3. Buhar-jet (ejektör) soğutma sisteminin şematik gösterimi [25]

3.4. Hava Soğutma Çevrimi

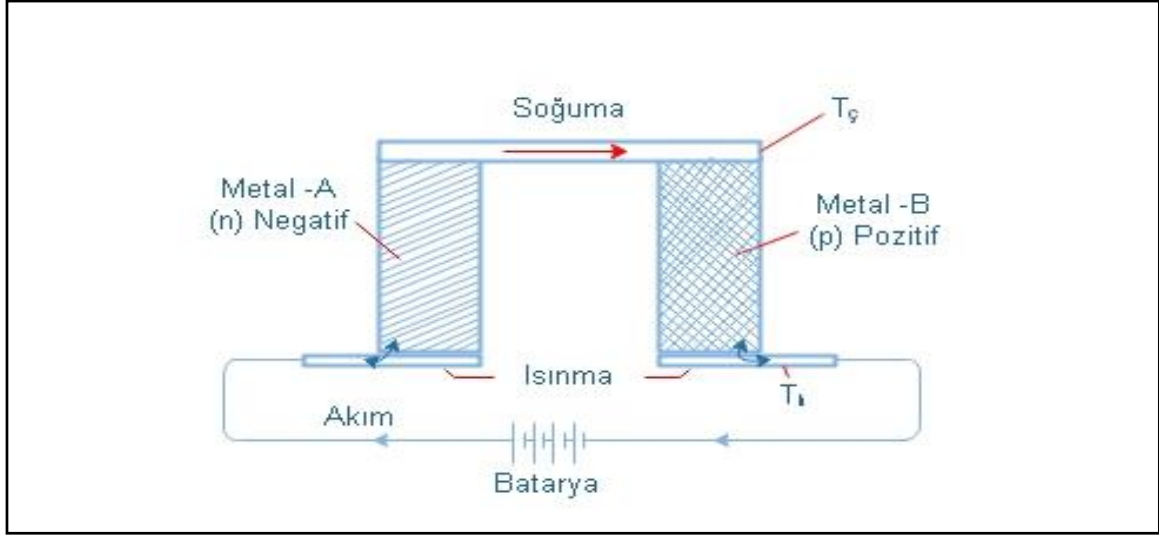
Hava soğutma çevrimlerinde temel fark, soğutucu akışkanın tüm çevrim boyunca sürekli gaz fazında olması ve hiçbir elemanda sıvı faza geçmemesidir. Hava soğutma sistemi, prensip olarak açık sistem ya da kapalı sisteme göre çalışabilir. Şekil 3.4’de hava soğutma çevrimine ait şematik gösterimi verilmiştir. Bu şematik gösterimde yer alan genişleme silindiri bölümü, genleşme valfi görevi ile birlikte kompresör için gerekli gücünde bir kısmını sağlar. Dolayısıyla genişleme silindiri bölümü, güç tasarrufunda da yardımcı olur [25].



Şekil 3.4. Hava soğutma çevriminin şematik gösterimi [25]

3.5. Termo Elektrik Soğutma Sistemi

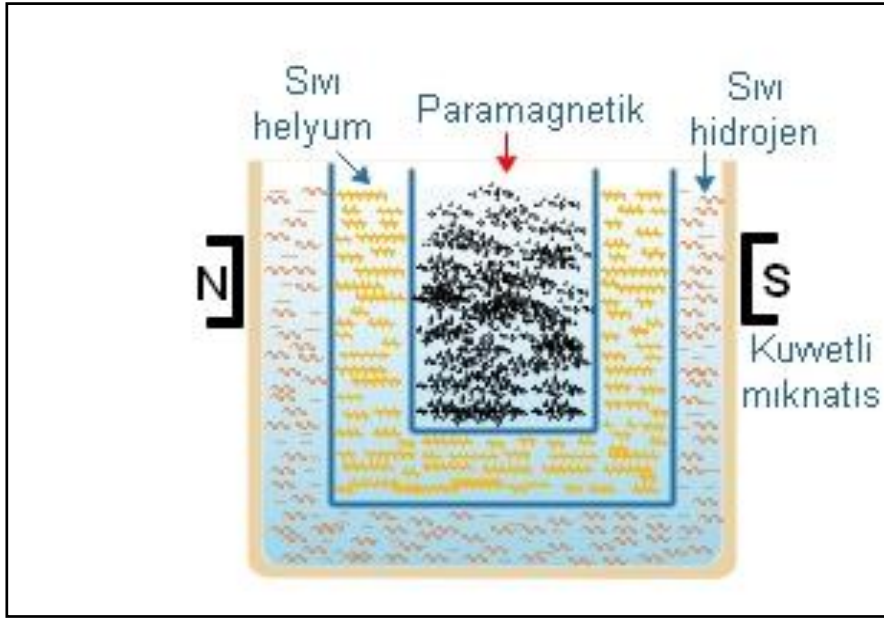
Termo elektrik soğutma sisteminde, diğer soğutma sistemlerinden farklı olmak üzere hareket eden eleman bulunmamaktadır. Bu sistemde Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi, iki farklı metal arasında bir devre oluşturularak, devreye akım verilmesi ile birlikte ısınma ve soğuma olayı meydana gelebilmektedir (Peltier etkisi). Ancak COP değerinin bu sistem için çok düşük seviyelerde kalması nedeniyle, ticari uygulamalarda kullanılması tercih edilmemektedir.



Şekil 3.5. Termo-elektrik soğutma sisteminin şematik gösterimi

3.6. Paramagnetik Soğutma Sistemi

Paramagnetik soğutma sisteminde kullanılan paramagnetik maddeler, basit olarak mıknatıs tarafından çekilmeyen maddeler olarak tanımlanabilmektedir. Şekil 3.4.'de görüldüğü üzere sistemde sıvı helyum ve sıvı hidrojen bulunmaktadır. Sıvı helyum ve sıvı hidrojen buharlaşarak, paramagnetik tuzun ön soğutmasının sağlanmasında kullanılır. Paramagnetik maddenin aşırı soğutulması ile maddelerin arasındaki ısı iletiminin azaltılması sağlanmaktadır. Ardından kuvvetli mıknatıslar yardımıyla oluşturulan magnetik alan, ani olarak kaldırıldığında paramagnetik madde içinde aşırı soğuma sağlanır. Amaç, mutlak sıfır (0 Kelvin, $-273,15^{\circ}\text{C}$) sıcaklığa yakın seviyelerde sıcaklığa ulaşmaktır.



Şekil 3.6. Paramagnetik soğutma sisteminin şematik gösterimi

4. DİFÜZYONLU ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ (DASS)

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanılması kronolojik olarak elektrik ile çalışan klasik kompresörlü sistemlere göre çok daha önce bulunmuştur. Ancak elektrik enerjisinin yaygınlaşması ile birlikte yerini klasik kompresörlü sisteme bırakmıştır. Özellikle absorbsiyonlu soğutma sistemlerindeki buharlaştırıcı içerisindeki yardımcı gazın varlığı, soğutucu akışkanın kütleli debisini azalttığından ve saflaştırıcıda ortama doğru ciddi bir ısı kaybı söz konusu olduğundan buhar sıkıştırılmalı çevrimlere göre çalışma performansları ve soğutma kapasiteleri düşüktür [25]. Bu sorun absorbsiyonlu soğutma sistemlerini, geleneksel sistemlere göre yıllarca geri plana atmış olsa da; enerji ve çevresel anlamda sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte difüzyonlu absorbsiyonlu soğutma sistemleri, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında ilgi çeken ve geliştirilebilir bir teknoloji olarak tekrar gündeme gelmiştir. Yaygın olarak tercih edilen geleneksel (buhar sıkıştırılmalı) soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan zararlı kloroflorokarbon ve bir diğer alternatifi hidrokloroflorokarbon (CFC/HCFC) gibi soğutkanların, ozon tabakasına verdiği zararların anlaşılması ile birlikte, soğutmanın “*çevreci*” şekilde yapılması amacıyla yeni akışkanlara ve soğutkanlara ihtiyaç duyulmuştur. Bunun yanı sıra, geleneksel sistemlerin; özellikle büyük kapasitelerde çalışanlarının, elektrik şebekesinde aşırı yüklenmelere ve daha büyük güç kaynaklarına ihtiyaç duymasından, enerjinin sürdürülebilirliği açısından çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde, sistem aktivasyonunun, elektriğin yanı sıra güneş, jeotermal, atık ısı gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanabilmesi de yeni bir eğilim ve geliştirilebilir bir alan olarak literatürde karşımıza çıkmaktadır [26-29]. Dahası absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin hareketli parçalarının olmaması, diğer sistemle karşılaştırılamayacak derecede sessiz çalışmaları ve daha az bakım gerektirmeleri bu sistemlerin önemini ve gerekliliğini arttırmaktadır. DASS aktif bir şekilde ev tipi soğutucularda, karavanlarda rekreasyon araçlarında ve özellikle sessiz çalışmalarından dolayı otellerde ve ofislerde tercih edilmektedir.

Bu tez kapsamında ön soğutmasız DASS sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Dolayısıyla bu sistemin açıklanması yapılmış ve konvansiyonel sistem ile olan farklılıkları karşılaştırılmıştır.

4.1. Ön Soğutmasız DASS

DAS sistemi, ilk olarak Von Platen ve Munters tarafından 1920'li yıllarda uygulanmaya başlanmıştır [30]. Sistemde, birbirinden farklı üç çalışma akışkanı ve üç çevrim göze çarpmaktadır. DAS sisteminde bulunan üç farklı akışkan sırasıyla; soğurucu akışkan olarak su, soğutucu akışkan olarak amonyak ve basıncı dengeleyici gaz olarak helyum ya da hidrojen'dir. Helyum (veya hidrojen) gazına basınç dengeleyici denmesinin sebebi, bu gazın buharlaştırıcıda Dalton Kanununa göre soğutucu akışkanın kısmi basıncını azaltması ve buharlaşmaya izin vermesinden kaynaklanır.

Sistemin elemanları içerisinde herhangi bir mekanik parça (pompa vb.) bulunmamasından dolayı sessiz çalışırlar. Sistemde bulunan habbecik pompasının akışkanları yukarı doğru harekete zorlaması ve yerçekimi etkisi ile akışkanların aşağı yönde hareketi sistemin çalışma prensibinde önemli yer alır.

DAS sisteminin çalışması ;

1.Yüksek miktarlardaki amonyağın kaynatıcı çıkışında yüksek sıcaklık ve basınçta ayrılmasına ve buharlaştırıcıda düşük basınçta soğuk su tarafından emilmesi (soğutulmasına)

2.Amonyak buharının yüksek basınç ve sıcaklıkta yoğunlaşması ve düşük sıcaklıkta buharlaşma özelliği [24]

esasına dayanır.

Görüldüğü üzere DAS sistemlerinde basınç etkisi önemli bir yer tutmaktadır. Ancak çevrim gerçekleşirken basınç, sistemin bazı bölgelerinde küçük değişiklikler gösterse dahi, toplam basınç göz önüne alındığında bu değişikliklerin ihmal edilebileceği yapılan çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır [31].

Tez kapsamında kullanacağımız düzenek, Zohar vd. (2007) tarafından yapılan teorik bir çalışmayı baz almaktadır [5]. Bu çalışmada teorik olarak açıklanan tasarım, deneysel olarak oluşturulmuş ve buharlaştırıcı üzerinde yapısal bir değişikliğe gidilerek yoğunlaştırıcı çıkışında ön soğutmaya tabi tutulan sıvı amonyağın, ön soğutma işlemine maruz kalmadan

buharlaşarak ayrılır. Bu arada verilen ısı ile birlikte bir miktar amonyak buharlaşarak, soğurucu akışkan ve amonyak buharı kabarcık pompası içerisinde birlikte yükselirler. Kabarcık pompasının üst kısmına ulaştıklarında, boru içinde yükselen zayıf çözelti dış boruya düşer ve bununla birlikte amonyak ve az miktardaki su buharı saflaştırıcıya doğru ilerler, soğurucu akışkan yoğunlaşarak soğurucu bölmesine geri döner. Burada birleşik kaplar prensibi uygulamaya geçmektedir. Kaynatıcıda ayrılan zayıf çözelti kaynatıcı ve kabarcık pompası sistemine bakıldığında 1e noktasında kalır. Soğurucuya geri dönen zayıf çözelti ise, zayıf çözelti borusunun soğurucuya bağlantı yerine (H noktası) kadar yükselebilmektedir. Böylelikle soğutucu buharı ve helyum gazı, gaz ısı değiştiricisinden soğurucuya (H noktasına) geldiğinde zayıf çözelti, soğurucu borusundan içeri akarak diğer karışımla birleşir [3]. Bu birleşmeyle birlikte zayıf çözeltinin çevrimi çözelti tankında sona erer. Amaç yoğunlaştırucuya saf amonyak buharı göndermek olduğundan; amonyak buharının içerisinde belirli bir oranda bulunan su buharı bir saflaştırıcı tarafından ayrıştırılır. Bu olay, kaynatıcıyı yaklaşık 165°C’de terkeden amonyak buharının saflaştırıcıdan geçerken çevreye ısı vermesi sonucu yaklaşık 100°C civarına düşmesi ve içerideki su buharının böylece yoğunlaşması ve dış cidardan aşağıya doğru kayması ve kaynatıcıya geri dönmesiyle gerçekleşir. Böylelikle amonyak buharı saflaştırıcı çıkışından saf amonyak olarak yoluna devam eder. Saf amonyak yoğunlaştırucuda yüksek basınç olduğundan burada ısısını vererek sıvı hale geçecektir ve ardından 3 noktasından buharlaştırıcıya girecektir. Burada dikkat edilmesi gereken iki nokta vardır. Sisteme bakıldığında yoğunlaştırucu çıkışında (A noktası) faz değiştirip sıvılaşmış olan amonyak C noktasından çevrime devam eder. Faz değiştirmeyip buhar halinde kalan amonyak ise B noktasından devam ederek geri dönüş borusuna oradan da çözelti tankına girer. Buharlaştırıcı girişinde E noktasında soğuk helyum gazıyla buluşan amonyağın kısmi basıncında belirgin bir düşme meydana gelir ve helyum içinde difüzyonla buharlaşarak yayılır. Böylece ortamın gizli ısısını çekmeye başlayarak (4a noktası), soğutma işlemi de başlatılmış olur [32]. Ardından nano partikül ilavesiyle hızla buharlaşan amonyak buharı (4b noktası) ve helyum karışımının ağırlığı saf helyum ağırlığından daha büyük olduğundan, yer çekiminin de etkisiyle gaz ısı değiştiriciye doğru ilerler. H noktasına kadar birlikte inen karışım, yukarıda da belirttiğimiz üzere bu noktada kaynatıcıdan geri dönen ve geçen zayıf çözelti ile karşılaşır ve soğurucuda beraber ilerlemeye devam ederler. Soğurucuda zayıf çözeltinin etkisiyle amonyak ısısını dışarı atarak yoğunlaşmaya ve helyum gazından ayrılmaya başlar. Böylelikle helyum gazı amonyak buharından kurtulduğundan dolayı yoğunluğu tekrar azalır ve havadan hafif olduğu durumuna dönerek, gaz ısı

değiştiricide genleştikten sonra, buharlaştırıcıya ulaşır. Amonyak buharı fakir karışım tarafından soğurulur ve zengin karışım halinde önce sıvı ısı değiştiricisinde ön ısıtmaya tabi kalarak, tekrar kaynatıcı bölgesine gider. Böylece soğutucu akışkan olarak görev yapan amonyak çevrimini tamamlamış olur. Soğurucuda içindeki amonyak buharından kurtulan helyum gazı, yoğunluğunun azalması ile birlikte yükselerek buharlaştırıcı girişine kadar tekrar geri gelir [32].

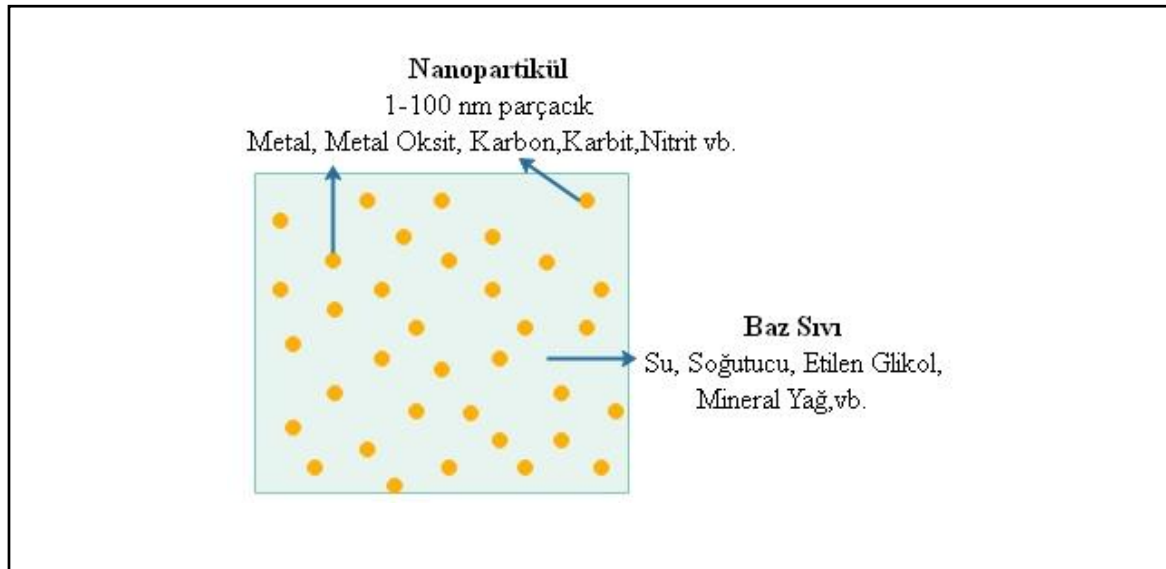
Ön soğutmasız DAS sisteminde çalışma akışkanının ilerleyişi ve ilerleyiş sırasında akışkanda meydana gelecek olan faz değişimleri ayrıntılı olarak bu bölümde anlatılmıştır. Görüldüğü üzere sistemde soğutma etkisinin sağlanması için, amonyak-su karışımına ve helyum gazının etkisine ihtiyaç vardır.

5. NANOAKIŞKAN KAVRAMI VE ÖZELLİKLERİ

Nano kelimesi, milimetrenin milyonda biri ya da diğer bir deyişle 10^{-9} m kavramını temsil etmektedir. Partiküller açısından milimetrenin milyonda biri ise, nanopartikül olarak adlandırılır. Nanopartikül birim olarak 100 nanometre ve 100 nanometreden daha küçük parçacıklar anlamına gelmektedir. Nanopartiküllerin literatüre girmesi ile bu malzemelerin elektronik, manyetik, fiziksel, kimyasal ve termal olarak faydalı özellikleri olduğu fark edilmiştir. Bu özelliklerin keşfedilmesi ile birlikte özellikle metalik nanopartiküller, ısı aktarımı uygulamaları, elektronik malzemelerin kullanımı, soğutma çalışmaları, toz metalurji endüstrisi, tıp sektörü gibi farklı alanlarda kullanıma imkânlarına sahip olmuştur.

Literatürde nanopartiküllerin çalışma akışkanı içerisinde kullanılması ve nanoakışkan kavramının tanıtılması Choi tarafından 1995 yılında gerçekleştirilmiştir [33]. Belirtilen çalışmada ve bu çalışmaya benzer diğer çalışmalarda, nanopartiküller yardımıyla nanoakışkanın ısı iletim katsayısında kayda değer oranda artış sağlanabileceği görülmüştür. Aynı zamanda boyut olarak çok küçük olmalarından dolayı, borularda tıkanma ve birikme probleminin olması da az olacaktır [34].

Nanoakışkanların açıklamalı olarak şematik gösterimi Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Nanoakışkanların şematik gösterimi

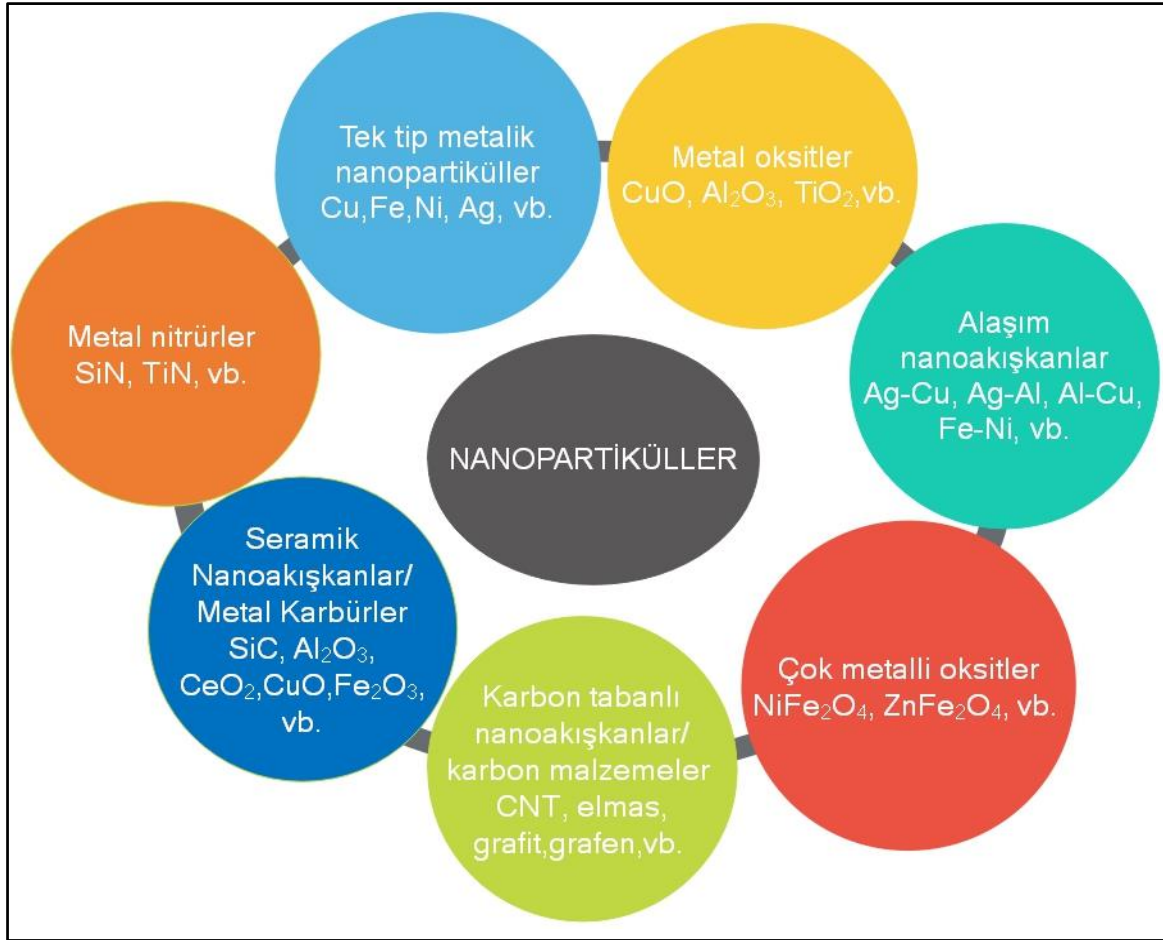
Yapılan çalışmalarda nanopartiküllerin içerisine karıştırıldıkları iş akışkanlarının bazı özelliklerini (ısı iletkenliği, ısı transfer oranı, vb.) iyileştirdiği görülmüştür. Ancak özelliklerde nanopartiküller aracılığıyla sağlanan bu artış miktarı, kullanılan nanopartikülün cinsine ve tercih edilen baz akışkana göre değişiklik göstermektedir.

Nanoakışkanlar ile geleneksel iş akışkanları karşılaştırıldığında, nanoakışkanların geleneksel iş akışkanlarına kıyasla bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir:

- Nanoakışkanlar geleneksel çalışma akışkanlarına göre, akışın sağlandığı kanallarda tıkanmayı engelleme, aşınma, çökme ve birikme gibi özelliklerde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda baz sıvısının içerisine eklenen nanopartikülün cinsiyle de ilişkili olarak, çalışma akışkanının iletkenliği ve ısı transfer alanı da artacaktır. Artan bu ısı transfer alanı, özellikle termal sistemlerde çalışma akışkanının seçiminde, nanoakışkanlar tercih sebebi olmaktadır.
- Nanoakışkanların çalışma sıvısı içerisinde oldukça küçük (nano veya 10^{-9}) boyutta olması, akışkanın da hafif, çökme olasılığının az ve daha kararlı olmasını sağlamaktadır.
- Nanoakışkanların kullanılması ile bir diğer olumlu nokta ise ısı taşınım miktarının artırılabilmesidir. Artan ısı transferi aracılığıyla, çalışma akışkanında geleneksel akışkana göre daha kararlı ve yüksek ısı dağılımı sağlanması da nanoakışkanların tercih sebeplerindendir.
- Çalışma akışkanının vizkozitesinin çok değiştirilmediği uygulamalarda, termal iletkenlikte kazanılan artış, pompalama gücündeki de tasarrufu da yanında getirmektedir.
- Isıl sistemlerin tasarımlarında, nanoakışkanların çalışma sıvısı olarak kullanımında boyutların küçülmesinin yanı sıra ısı transferinin artışı ile birlikte maliyetlerde azalacaktır.

5.1. Nanoakışkan Türleri

Nanopartiküllerin parçacık tiplerine ve sıvılar ile oluşturdukları nanoakışkanlara göre sınıflandırılması Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Nanopartiküller ve nanoakışkanların sınıflandırılması

5.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Nanoakışkan çözeltilerinin hazırlanmasında literatürde iki farklı yola başvurulmaktadır. Bu yöntemler tek adımlı yöntem ve iki adımlı yöntem olarak ikiye ayrılmaktadır.

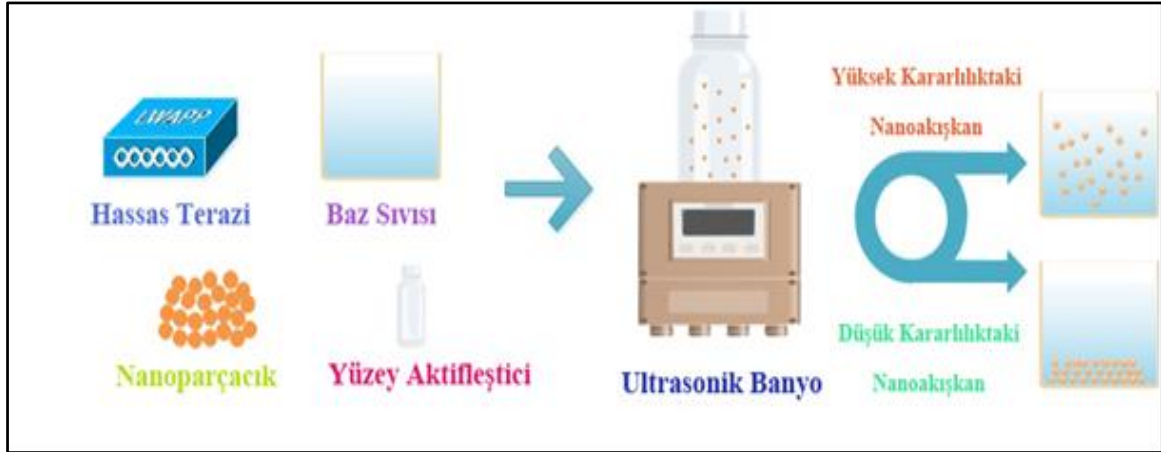
5.2.1. Tek adımlı yöntem

Bu metot da, nanopartiküllerin hazırlanması ve baz akışkana karıştırılması tek adımda sadece nanoakışkanda birleşmesi ile gerçekleşir. Bu yöntemde nanoakışkanın elde edilebilmesi için farklı işlemler kullanılmaktadır: kimyasal ıslatma yöntemi, vakum buharlaştırma, vb. Aynı zamanda nanopartiküllerin kullanılması sırasında kronik problemlerden olan çökelme ve kararlılığın sağlanması amacıyla depolama, kurutma ve dağıtma gibi işlemlerde tercih edilmektedir. Bu yöntemin uygulandığı çalışmalar incelendiğinde, özellikle metal nanopartiküllerin kullanıldığı sistemlerde tercih edildiği görülmektedir. Yöntemin olumlu yanlarından biri, nanoakışkanlardaki topaklanma ya da

kümeleşme probleminin diğer yöntem ile kıyaslandığında oldukça az olmasıdır. Olumsuz yanı ise, maliyet açısından oldukça yüksek olmasıdır [35].

5.2.2. İki adımlı yöntem

İki adımlı yöntem, şematik olarak Şekil 5.3.'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Hazırlanmış olan kuru toz halindeki nanoparçacıkların, hassas terazi ile ölçümü yapılarak, istenen oranda baz sıvısı ile karıştırılır. Bu yöntemde ayrıca nanoparçacıklar arasındaki Van der Waals kuvvetleri ve yüzey alan büyüklükleri kümeleşmeye sebebiyet verdiğinden dolayı, çözeltiye ayrıca belli bir oranda yüzey aktifleştirici madde eklenmiştir. Bu sistemde kararlılığın artırılması için ayrıca ultrasonik banyo aşaması bulunmaktadır. Ultrasonik banyoda belirli sürelerde karıştırılan nanoakışkan çözeltisi, kararlılığın ve parçacıkların asılı kalması açısından çok büyük önem arz etmektedir.



Şekil 5.3. Nanoakışkan hazırlamada iki adımlı yönteme başvurulması

5.3. Nanoakışkanların Kararlılığının Değerlendirilmesi ve Arttırılması

Kararlılık kavramı, nanoakışkanların performanslarının değerlendirilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 5.3.'de de gösterildiği gibi düşük kararlılıktaki nanoakışkanlarda çökeltme ve kümeleşme problemi görülmektedir. Dolayısıyla böyle bir durumda çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılması, fayda sağlamak yerine ısı transferi veriminde düşmeye, pompama gücünün arttırılması gerekliliğine ve bunun yanında borularda tıkanmaya neden olmaktadır. Kararlılık konusu bu açıdan ele alındığında, literatürde de yer alan kararlılık değerlendirme yöntemlerine başvurulması gerekliliği kaçınılmazdır.

Zeta potansiyeli analizi

Nanopartiküller arasındaki itme kuvvetinin elektriksel anlamda potansiyel değeri zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Zeta potansiyelinin değeri mili volt olarak ölçülür. Elektriksel anlamda kararlılık, nanoakışkanların negatif ya da pozitif olarak zeta potansiyelinin yüksek olmaları ile değerlendirilir. Bu değerlendirme ile ilgili şematik gösterim Şekil 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Nanoakışkanların zeta potansiyeli cinsinden kararlılık değerleri

Sedimentasyon yöntemi

Sedimentasyon yönteminde kararlılık seviyesi, nanoakışkanın belirli bir süre bekletilmesinin ardından içerisinde bulunan nanopartiküllerin çökmesi ile birlikte ölçülür. Hazırlanmış olan nanoakışkandan belirli bir miktar örnek alınarak, cam tüp içerisinde bekletilir. Ardından solüsyonda meydana gelen çökme miktarı değerlendirilir. Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküller ve sıvının dağılımı belirli bir süre sonra dengeye ulaşacaktır, bu dengenin sağlanmasının ardından solüsyonda herhangi bir çökme olmaması durumunda nanoakışkanın kararlı olduğu ifade edilebilir [36].

Ultraviyole-görünür bölge absorpsiyon spektroskopisi yöntemi

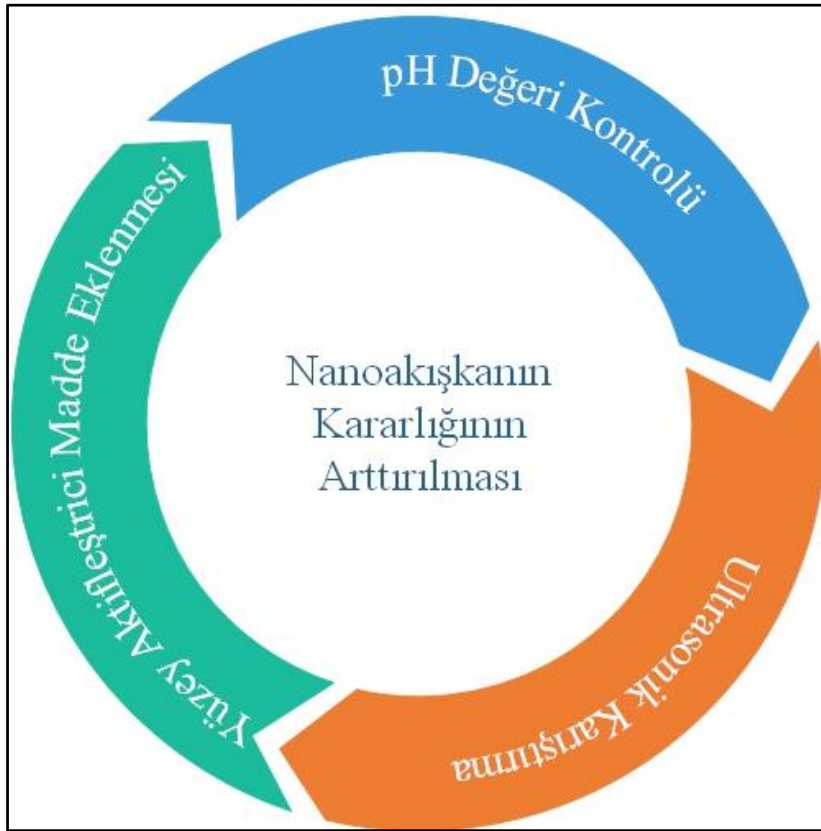
Bir nanoakışkan karışımının karakteristik absorpsiyon bandı, 190-1100 nm dalga boyunda olduğu zaman kararlılık analizinde kullanılması uygun olacaktır. Ancak bu yöntemi kullanarak konsantrasyonu yüksek ya da rengi koyu olan akışkanların kararlılıklarının tayin edilmesi oldukça güç bir işlemdir. Dolayısıyla bu özellikteki nanoakışkanlarda diğer yöntemlerin kullanılması daha uygun olacaktır [37].

Elektron mikroskobu yöntemi

Bu yöntemde iki tür elektron mikroskobundan bahsedilebilir. TEM olarak isimlendirilen, geçirimli elektron mikroskobu veya SEM adı verilen taramalı elektron mikroskobu, nanoakışkanlardaki kararlılığın belirlenmesinde kullanılır. Alınan yüksek çözünürlüklü elektron mikrografisi görüntüleri aracılığıyla, nanopartiküllerin solüsyon içerisindeki davranışları (çökelme, topaklanma, vs.) ayrıntılı olarak incelenebilir [38].

Dinamik ışık saçılım yöntemi

Bu yöntemde diğerlerinden farklı olarak lazerden faydalanılarak inceleme yapılmaktadır. Işık içerisindeki dalgalanmalar bir foton detektörü aracılığıyla kaydedilerek, parçacık hızı belirlenir ve parçacık boyutu ile dağılımına karar verilir. Parçacık boyutu değişkeni bu yöntemde ana değişkendir; eğer sabit kalıyorsa kararlı akışkan, zamanla değişiklik gösteriyorsa kararsız akışkan olarak değerlendirilir.



Şekil 5.5. Nanoakışkanın kararlılığının arttırılması için yöntemler

Şekil 5.5.'de nanoakışkan solüsyonunun kararlılığının artırılması için literatürde üç farklı yöntem önerilmektedir.

Bu yöntemlerden yüzey aktifleştirici madde eklenmesi metodu ile baz sıvı ile nanopartiküllerin arasındaki bağın artırılarak, kararlılığın artırılması sağlanabilmektedir. Yüzey aktifleştirici maddenin ne kadar ekleneceğinin doğru ayarlanması da çok önemlidir. Aksi durumda, akışkanın sistem içerisindeki hareketi sırasında köpük oluşumuna neden olabilir ya da nanoparçacıklar ile baz akışkanı arasındaki ısı direnci artırabilir. Isı direncin artması da sistemdeki ısı iletkenliği kötü etkileyebilir.

Diğer yöntem olan ultrasonik karıştırma ise, sistem özelliklerine göre değişmekle birlikte ultrasonik banyo ya da ultrasonik prob tipli olarak sınıflandırılmaktadır. Karıştırma işlemi ultrasonik dalgalar aracılığıyla yapılmaktadır.

pH değeri kontrolü yönteminde ise, nanoakışkanın kararlılık seviyesinin artırılması için pH değeri değiştirilerek (reaktif olmayan alkali veya asidik çözelti) sistemin verimi artırılabilir.

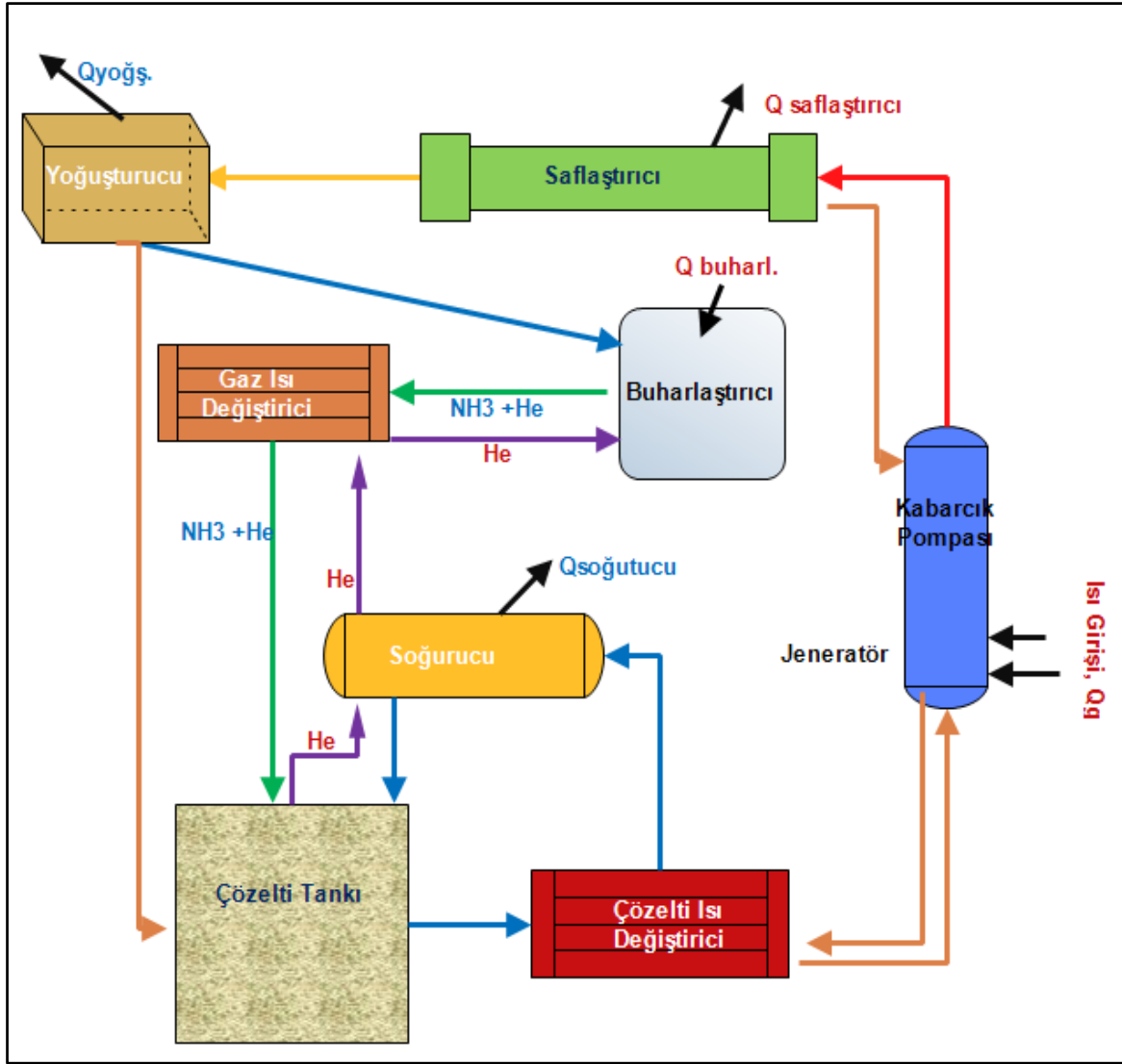
6. MATERYAL VE METOT

6.1. Deneysel Çalışma

Tez kapsamında öncelikle deney düzeneğinde kullanılacak nanoakışkanlar (kütlece %25 amonyak-su ve sırasıyla kütlece belirli oranlarda nanopartikül) hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan akışkanlar ile birlikte içerisinde partikül bulunmayan kütlece %25 lik amonyak-su ile deneyler tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Ardından deneylerden elde edilen veriler kullanılarak, sistemin termodinamik analizi yapılmıştır. Deney düzeneğinin gösterimi Resim 6.1.'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ayrıca deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 6.1'de verilmiştir.



Resim 6.1. Deney düzeneğine ait bir görünüm

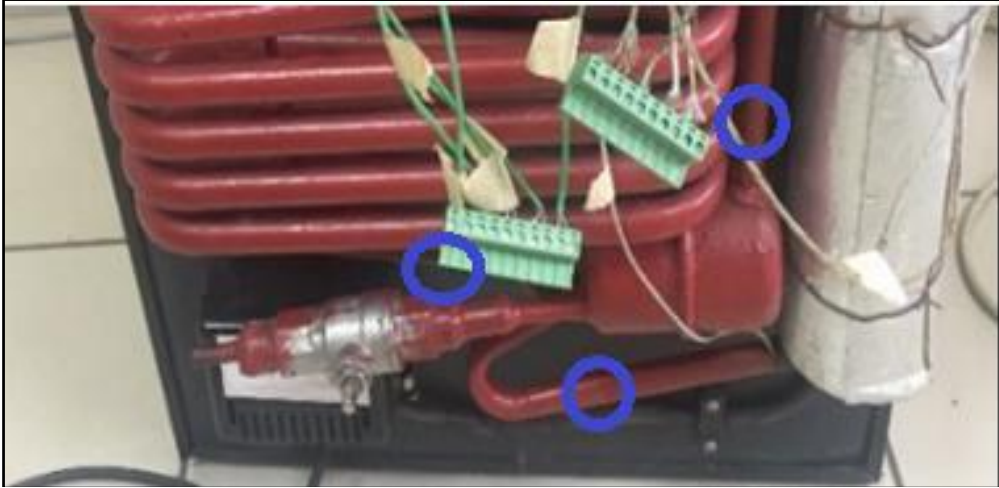


Şekil 6.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Resim 6.1. ve Şekil 6.1 'de verildiği üzere ön soğutmasız DAS sistemleri soğurucu, jeneratör, buharlaştırıcı, saflaştırıcı, yoğuşturucu ve ısı değişiricilerinden oluşmaktadır.

Çözelti tankı

Resim 6.2.'de çözelti tankına ait görsel verilmiştir. DAS sistemine yüklenecek olan karışım hazırlandıktan sonra, vakum ortamında (-1 bar basınç) sisteme doldurulur. Çözelti tankında farklı girişler ve çıkış görülmektedir. Absorber bölümündeki zayıf çözeltinin amonyak konsantrasyonunun artırılmasının ardından oluşan çözelti, evaporatör dış cidarındaki amonyak buharı ve kondenserden gelen amonyak buharı birleşerek çözelti tankına giriş yapar. Bunun dışında, çözelti tankından kaynatıcıya hidrostatik basınç ile çözeltilerin gönderildiği bir çıkış mevcuttur.



Resim 6.2. Çözelti tankı görseli

Sıvı ısı değiştiricisi

Resim 6.2.'de çözelti tankı görselinde de görüldüğü üzere sıvı ısı değiştiricisi, çözelti tankı ile kaynatıcıyı (jeneratörü) birbirine bağlayan bir ısı değiştiricisidir. Isı değiştiricinin yapısı iç içe borular şeklinde olup, kaynatıcıdan gelen kabarcık pompası çıkışındaki zayıf çözelti ile çözelti tankında toplanan sıvı karşılaşıp birbiriyle ısı alışverişi yapar. Böylelikle kaynatıcıya gönderilen, çalışma akışkanının sıcaklığı bir miktar arttırılmış olur.

Jeneratör (Kaynatıcı)

Resim 6.2.'de görselin sağ tarafında jeneratör (kaynatıcı) bölümünün deney düzeneğinde iyi bir şekilde yalıtıldığı görülmektedir. Kaynatıcı kısmında, sıvı ısı değiştiricisinden gelen çözeltinin elektrikli ısıtıcı kaynağı yardımıyla yüksek sıcaklıklara ulaştığı söylenebilir. Zengin çözelti içerisindeki amonyak buharlaşarak ayrılır ve saflaştırıcıya doğru ilerler.

Kabarcık pompası

Kaynatıcıda elektrikli ısıtıcı kaynağıyla sıcaklığı artmış olan çözeltinin içerisindeki yüksek basınçlı amonyak buharı ve bir kısım su buharı, soğurucu akışkandan kabarcık pompası yardımıyla ayrılır.

Saflaştırıcı

Kabarcık pompasından yüksek basınçlı amonyak buharı ve bir kısım su buharı birlikte saflaştırıcıya doğru yükselir. Saflaştırıcı kullanılmasının nedeni, kaynatıcıdan yükselen amonyak buharı içerisindeki su buharını elimine etmek ve olabildiğince saf amonyak buharını yoğuşturucuya göndermektir. Saflaştırıcıda, karışım içerisindeki su buharının yoğuşarak, kaynatıcıya dönmesi ve % 100 saf amonyak buharının kondensere gitmesi amaçlanmaktadır.

Basınç ölçer

Resim 6.3.'de görüldüğü üzere, saflaştırıcıdan ayrılan amonyak buharının basıncının ölçümü kondenser girişinde gerçekleşmektedir.

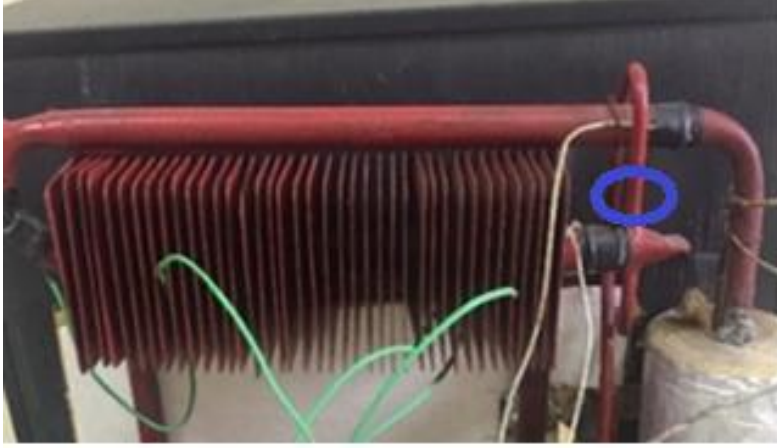


Resim 6.3. Sistemdeki basınç ölçer cihazı

Yoğuşturucu

Saflaştırıcıdan gelen amonyak buharının basınç ölçer yardımıyla basınç ölçümü yapılmasının ardından, amonyak buharı Resim 6.4.'de görülen yoğuşturucu ve bypass hatına giriş yapar.

Resimde görüldüğü üzere, kondenser plaka tipli bir yapıdadır. Burada ısısını ortama veren amonyak buharı, yoğunur.



Resim 6.4. Yoğuşturucu ve bypass hattı

Buharlaştırıcı

Resim 6.5.'de buharlaştırıcının yapısı gösterilmiştir. Buharlaştırıcı (evaporatör) girişinde, soğuk helyum gazı ile amonyak karşılaşır ve kısmi basıncındaki belirgin düşme ile helyum içinde buharlaşarak yayılır. Burada kısmi basıncını arttırmak isteyen amonyak, ortamın ısısını çekerek, buharlaşır ve istenen soğutma işlemi gerçekleşir.



Resim 6.5. Buharlaştırıcının yapısal gösterimi

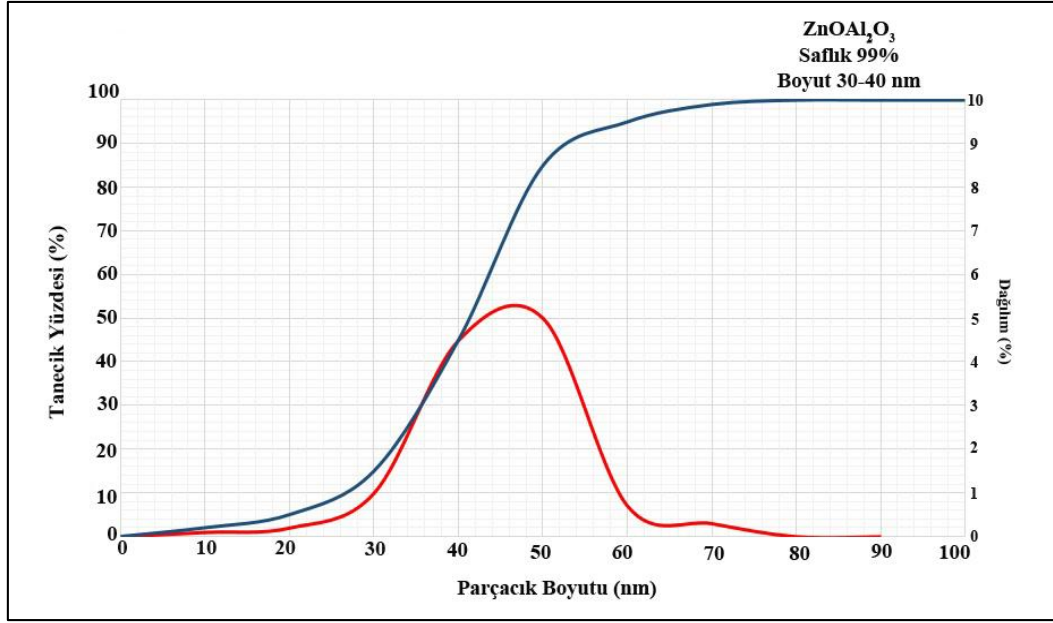
Soğurucu

Soğurucu bölümü diğer adıyla absorber olarak adlandırılır. Evaporatör bölümünde amonyak buharlaşarak, ortamın ısını çekerken bir yandan da gaz ısı değiştiricisinden geçerek absorbere (soğurucuya) ulaşır. Soğurucu girişinde zayıf çözelti ile amonyak buharı karşılaşır ve yüksek basınçta amonyak buharı soğurulur.

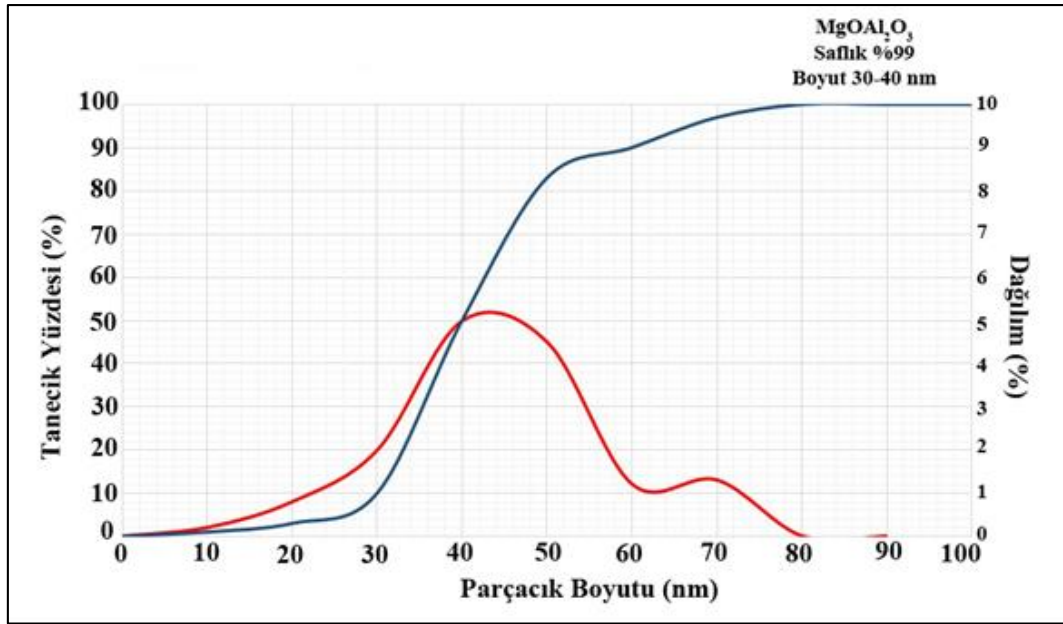
6.2. Çalışma Akışkanlarının Hazırlanması

Isıl iletkenliğin arttırılması için nano boyutta metal ve metal oksit parçacık içeren karışımların etkinliği yapılmış olan çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Bu tez çalışmasında Çinko spinel ($ZnOAl_2O_3$), Magnezyum spinel ($MgOAl_2O_3$) ve Titanyum oksit (TiO_2) partikülleri nano boyutta baz akışkan olan %25 amonyak-su içerisine farklı ağırlık kütle oranlarında eklenmiş ve ardından yüzey aktifleştirici madde (sodyum dodesil benzen sülfonat - SDBS) eklenerek karışımlar hazırlanmıştır.

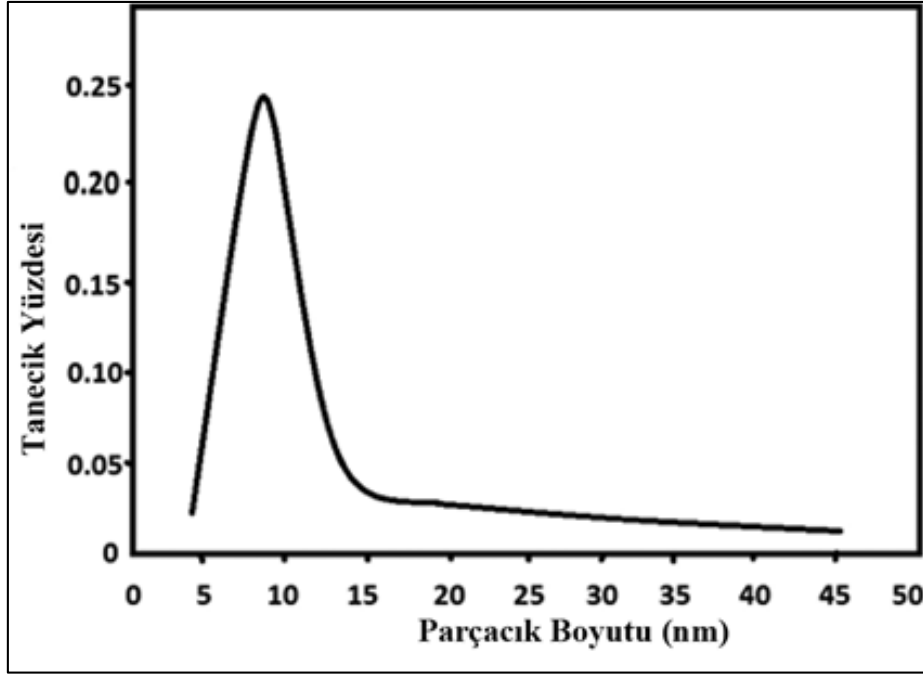
Çinko spinel ($ZnOAl_2O_3$), magnezyum spinel ($MgOAl_2O_3$) ve titanyum oksit (TiO_2) nanopartikülleri, Nanografi Nano Teknoloji Bil. İml. Ve Dan. Ltd. Şti. firmasından satın alınmıştır. Satın alınan firmadan temin edilen parçacık boyutu dağılım eğrileri $ZnOAl_2O_3$, $MgOAl_2O_3$ ve TiO_2 için sırasıyla Şekil 6.2., Şekil 6.3. ve Şekil 6.4. içerisinde verilmiştir. Dağılım eğrileri incelendiğinde spinel oksitler için boyut büyüklüklerinin 30-40 nm olduğu, TiO_2 için ise daha küçük boyutlarda parçacıklarda çalışıldığı görülmüştür.



Şekil 6.2. ZnOAl₂O₃ parçacık boyutu dağılım eğrisi



Şekil 6.3. MgOAl₂O₃ parçacık boyutu dağılım eğrisi



Şekil 6.4. TiO₂ parçacık boyutu dağılım eğrisi

Baz sıvı, %25 amonyak-su içerisindeki nanoparçacık oranının arttırılması, nanoakışkanını termal performansının da artmasını sağlar. Ancak, kullanılan nanopartikül oranının arttırılması basınç artışı veya birikme gibi problemlere neden olacağından dolayı partikül oranları, tüm nanopartiküller için ağırlıkça % 1 ve ağırlıkça % 2 olarak ayarlanmıştır.

Bunun yanında çözelti içerisinde homojenliği ve asılı partikül sayısını arttırmak amacıyla yüzey aktifleştirici madde (sodyum dodesil benzen sülfonat - SDBS) %0,2 oranında eklenmiştir. Bir sonraki aşamada önemli olan çözelti içerisindeki nanoparçacıkların homojenliğinin ve kararlılığın arttırılmasıdır. Bu amaçla ultrasonik banyoda (Resim 6.6.) her çözelti 5 saat süre ile bekletilmiştir. Kullanılan baz sıvı amonyak-su karışımı olduğundan dolayı, ultrasonik banyo içerisindeki saf su sürekli değiştirilerek, sıcaklığının artması önlenmeye çalışılmıştır. Aynı şekilde amonyağın zehirli ve uçucu etkisinden ötürü hazırlanan karışımların bulunduğu kaplar özel kapaklar ile kapatılmıştır. Aksi durumda baz sıvının ve yüzey aktifleştirici maddenin buharlaşması söz konusu olacak ve baz sıvı özelliğini kaybedecektir. Kullanılan ISOLAB marka ultrasonik banyonun özellikleri Çizelge 6.1.'de verilmiştir.



Resim 6.6. Ultrasonik banyo

Çizelge 6.1. ISOLAB ultrasonik banyonun özellikleri

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

6.3. Deneylerin Yapılması

Deneyler aşağıda verilen şartlarda gerçekleştirilmiştir:

DENEY 1: Baz akışkan, %25 amonyak %75 su (mevcut ticari)

DENEY 2: %1(ağırlıkça) MgOAl_2O_3 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

DENEY 3: %2(ağırlıkça) MgOAl_2O_3 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

DENEY 4: %1(ağırlıkça) ZnOAl_2O_3 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

DENEY 5: %2(ağırlıkça) ZnOAl_2O_3 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

DENEY 6: %1(ağırlıkça) TiO_2 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

DENEY 7: %2(ağırlıkça) TiO_2 %0,2 (ağırlıkça) SDBS %25 amonyak %75 su

Ön soğutmasız DAS sistemi her deney tekrarlanmadan önce, diğer deneyden kalıntı kalmayacak şekilde su ile temizlenmiştir. Temizlenen sistem, vakum pompası kullanılarak yaklaşık -1 bar basınca indirgindikten sonra, çözelti tankında bulunan vana kullanarak 250 ml olarak hazırlanan çözelti, sisteme doldurulmuştur. Ardından helyum gazı (yardımcı gaz) sistem basıncı 14-15 bar olacak şekilde sisteme şarj edilmiştir. Helyum gazı da sisteme yüklendikten sonra, deney düzeneğinin ölçüm yapılacak olan noktalarına termokupl kabloları ve data-logger bağlanmıştır. Data-logger aracılığıyla bilgisayarda bulunan DALI 08 Veri toplama ve kayıt arayüzü ile bağlantı yapılarak her deney için ölçüm işlemi 180 dk. boyunca tekrarlanmıştır.

6.4. Teorik Analiz

Teorik analiz kısmında, sistemin analizi ve modellenmesi sırasında kullanılan denklemlere yer verilmiştir. Bu denklemlerde öncelikli olarak, termodinamiğin birinci kanunu ile bazı kabuller yardımıyla çözümlerler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ana faktörler sistemde oluşan sıcaklık ve basınç değerleridir. Yapılan değerlendirmelerde, her bir sistem elemanı için bir kontrol hacmi seçimi yapılmış ve sistemin sürekli rejimde çalıştığı kabulü yapılmıştır.

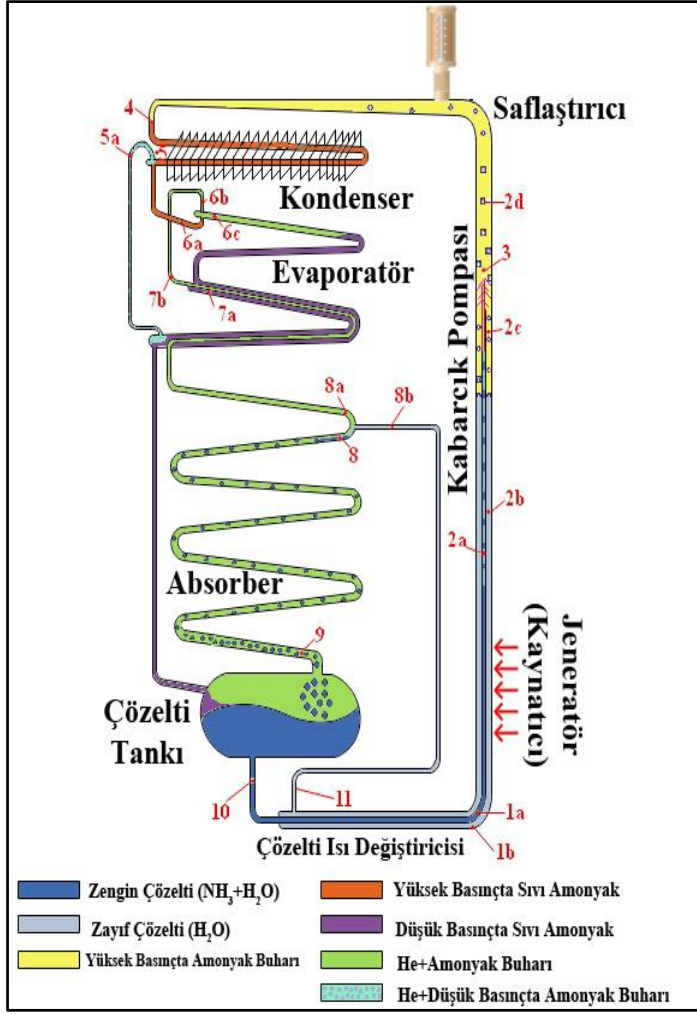
İlk olarak kaynatıcı bölgesinde amonyak-su baz çözeltisinin sıcaklığı bir elektrikli ısıtıcı yardımıyla artırılmış ve bu bölgede olabildiğince saf amonyak buharının karışımından ayrışması amaçlanmıştır. Bunun yanında daha önceki bölümlerde de belirtildiği ve gösterildiği gibi, bu bölgenin en iyi şekilde yalıtılması sağlanmıştır. Böylelikle amaçlanan

kaynatıcı bölgesinde çevreye olacak ısı kaybının en aza indirgenmesidir. Bu bölgede yapılan termodinamik analizde, kaynatıcıdan (jeneratörden) çevreye olan ısı geçişinin sıfır olduğu kabul edilmiştir. Analizlerde kullanılan noktaların gösterimi ise Şekil 6.5.'de verilmiştir.

Saflaştırıcı elemanında ise % 100 amonyak buharı verilmesi için, kaynatıcıdan amonyak buharı ile birlikte yükselen su buharının yoğunlaşarak geri dönmesinin geri dönmesi sağlanmıştır.

Sistem performansında, soğutma görevini yerine getiren saf amonyağın kütleli debisinin miktarı çok önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla kütle ve enerjinin korunumu denklemleri kullanılmıştır.

Kütle korunumu ve enerji korunumu denklemleri ile sistem performansı değerleri elde edildikten sonra, bir sonraki aşamada termodinamiğin birinci ve ikinci yasası kullanılarak elde edilen ekserji analizi yapılmıştır. Belirli bir haldeki sistemin yararlı iş potansiyeline ekserji adı verilir. Ekserji, herhangi bir termodinamik yasaına karşı gelmeden, bir sistemden alınabilecek işin maksimum değerini temsil etmektedir.



Şekil 6.5. Hesaplamalarda kullanılan noktaların gösterimi

$$\dot{m}_{1a} = \dot{m}_3 + \dot{m}_{2c} \quad (6.1)$$

$$x_{1a} \cdot \dot{m}_{1a} = x_3 \cdot \dot{m}_3 + x_{2c} \cdot \dot{m}_{2c} \quad (6.2)$$

$$h_{1a} \dot{m}_{1a} + \dot{Q}_{\text{ısıtıcı}} = h_3 \cdot \dot{m}_3 + h_{2c} \dot{m}_{2c} \quad (6.3)$$

$$\dot{I}_{\text{ısıtıcı}} = T_0 (\dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_{2c} s_{2c} - \frac{\dot{Q}_{\text{ısıtıcı}}}{T_{\text{ısıtıcı}}} - \dot{m}_{1a} s_{1a}) \quad (6.4)$$

Saflaştırıcı elemanı için yazılan kütle korunum ve enerji korunum denklemleri ise aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir. Saflaştırıcı bölgesindeki kütle korunumu denklemleri yardımıyla kondensere (yoğusturucuya) verilen saf amonyak buharının debisi bulunmuştur.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{2d} \quad (6.5)$$

$$x_3 \cdot \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \cdot x_4 + \dot{m}_{2d} \cdot x_{2d} \quad (6.6)$$

Saflaştırıcı elemanında, amonyak buharının su buharından tamamen ayrışabilmesi için sıcaklığın düşmesi gerekmektedir. Sıcaklığın azalması ise saflaştırıcıdan çevreye olan ısı geçişinin gerçekleşmesi ile sağlanabilir. Sistemde saflaştırıcı elemanı çevreye açık bir konumdadır ve çevreye ısı aktarımı olarak sıcaklığın düşmesi olmaktadır. Saflaştırıcı için yazılan enerji denklemi, kaynatıcı için yazılan denkleme benzerlik göstermektedir ancak ısı geçişinin yönü ters tarafta olmaktadır.

$$h_3 \cdot \dot{m}_3 = h_4 \cdot \dot{m}_4 + h_{2d} \cdot \dot{m}_{2d} + \dot{Q}_{saf} \quad (6.7)$$

$$\dot{I}_{saf} = T_0(\dot{m}_4 s_4 + \dot{m}_{2d} s_{2d} + \frac{\dot{Q}_{saf}}{T_{saf}} - \dot{m}_3 s_3) \quad (6.8)$$

Yoğuşturucu (kondenser) bölgesinde amonyak buharının sisteme girişinin % 100 saf olduğu kabul edilerek analizler ve modelleme işlemi yapılmıştır. Bu bölgede amonyak buharı ısısını plakalı ısı değiştiricide çevreye vererek, amonyak buharı yoğuşmaktadır.

$$\dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{Q}_{kond} \quad (6.9)$$

$$\dot{I}_{kond} = T_0(\dot{m}_5 s_5 + \frac{\dot{Q}_{kond}}{T_{kond}} - \dot{m}_4 s_4) \quad (6.10)$$

Evaporatör (buharlaştırıcı) elemanında, amonyağın kısmi basıncı düşer ve düşük sıcaklık buharlaşmaya ve çevreden ısı çekmeye başlar.

$$\dot{m}_{6a} + \dot{m}_{He} = \dot{m}_{7b} \quad (6.11)$$

$$\dot{m}_{6a} \cdot h_{6a} + \dot{m}_{He} \cdot h_{He} + \dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{7b} h_{7b} \quad (6.12)$$

$$\dot{I}_{evap} = T_0(\dot{m}_{7b} s_{7b} - \dot{m}_{6a} s_{6a} - \dot{m}_{He} s_{He} - \frac{\dot{Q}_{evap}}{T_{evap}}) \quad (6.13)$$

Absorber (soğurucu) elemanında, amonyak buharı su tarafından emilir. Sistemdeki soğutucu buhar, kaynatıcıdan gelen zayıf çözeltiyle birlikte çözelti tankına ulaşır. Yardımcı gaz helyum ise evaporatöre doğru ilerler.

$$\dot{m}_9 + \dot{m}_{He} = \dot{m}_{7b} + \dot{m}_{8b} \quad (6.14)$$

$$\dot{m}_9 \cdot h_9 + \dot{m}_{He} \cdot h_{HE} + \dot{Q}_{abs} = \dot{m}_{7b} h_{7b} + \dot{m}_{8b} h_{8b} \quad (6.15)$$

$$\dot{I}_{abs} = T_0 (\dot{m}_9 s_9 + \dot{m}_{He} s_{He} + \frac{\dot{Q}_{abs}}{T_{abs}} - \dot{m}_{7b} s_{7b} - \dot{m}_{8b} s_{8b}) \quad (6.16)$$

Sıvı ısı değiştiricisi, kaynatıcıdan gelen zayıf çözeltinin, çözelti tankından gelen zengin çözelti ile ısı transferi yaptığı bölgedir.

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{1a} \quad (6.17)$$

$$\dot{m}_{1b} = \dot{m}_{11} \quad (6.18)$$

$$\dot{m}_{1b} = \dot{m}_{2c} + \dot{m}_{2d} \quad (6.19)$$

$$\dot{m}_{1b} \cdot x_{1b} = \dot{m}_{2c} \cdot x_{2c} + \dot{m}_{2d} \cdot x_{2d} \quad (6.20)$$

$$\dot{m}_{1b} \cdot h_{1b} = \dot{m}_{2c} \cdot h_{2c} + \dot{m}_{2d} \cdot h_{2d} \quad (6.21)$$

$$\dot{m}_{1b} \cdot h_{1b} + \dot{m}_{10} \cdot h_{10} = \dot{m}_{11} \cdot h_{11} + \dot{m}_{1a} \cdot h_{1a} + \dot{Q}_{lsid} \quad (6.22)$$

$$\dot{I}_{lsid} = T_0 (\dot{m}_{1a} s_{1a} + \dot{m}_{11} s_{11} + \frac{\dot{Q}_{lsid}}{T_{lsid}} - \dot{m}_{10} s_{10} - \dot{m}_{1b} s_{1b}) \quad (6.23)$$

Sistemin farklı noktalarında gerçekleşen ısı transferi denklemlerinin çözülmesi için deneylerde elde edilen veriler kullanılarak karışımların termodinamik büyüklerinin (entalpi, entropi vb.) hesaplamasında REFPROP Version 8.0 programından faydalanarak denklemlerin adım adım çözülmesi sağlanmıştır [39].

Yukarıda verilen denklemlerin yardımıyla oluşturulan kütlenin korunumu ve enerji korunumu denklemlerinin çözülmesiyle sistemin performans hesapları yapılmıştır.

COP (performans katsayısı), birim iş başına yapılan soğutma miktarı olarak tanımlanabilir.

$$COP = \frac{\text{soğutma etkisi}}{\text{iş girişi}} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{ısıtıcı}} \quad (6.24)$$

Sistemin ekserji veriminin hesaplanması için ise şu denklemlere başvurulabilir:

$$EXCOP = \frac{\dot{E}x_{yıkım}}{\dot{E}x_{giren}} \quad (6.25)$$

6.5. Belirsizlik Analizi

Yapılan yedi deney ve bunların tekrarlanmaları sırasında ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri uygun ölçüm aletleri tercih edilerek gerçekleştirilmiştir. Belirsizlik analizi kavramı, deneyler ile birlikte elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve var olan belirsizlikleri saptamak için önemli ve güçlü bir araçtır. Belirsizliklerin olmasının birden çok nedeni bulunmaktadır: test koşulları, cihaz seçimi, okuma hataları, ölçüm cihazlarının hassasiyeti, bağlantı noktalarından kaynaklanan hatalar.

R , bağımsız değişkenler olarak $x_1, x_2, \dots, x_n$ cinsinden verilen bir fonksiyondur. W_R sonuçtaki toplam belirsizliktir ve $w_1, w_2, \dots, w_n$ bağımsız değişkenlerdeki belirsizliklerdir. Toplam belirsizlik Eş 6.27 yardımıyla hesaplanabilir [40].

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.27)$$

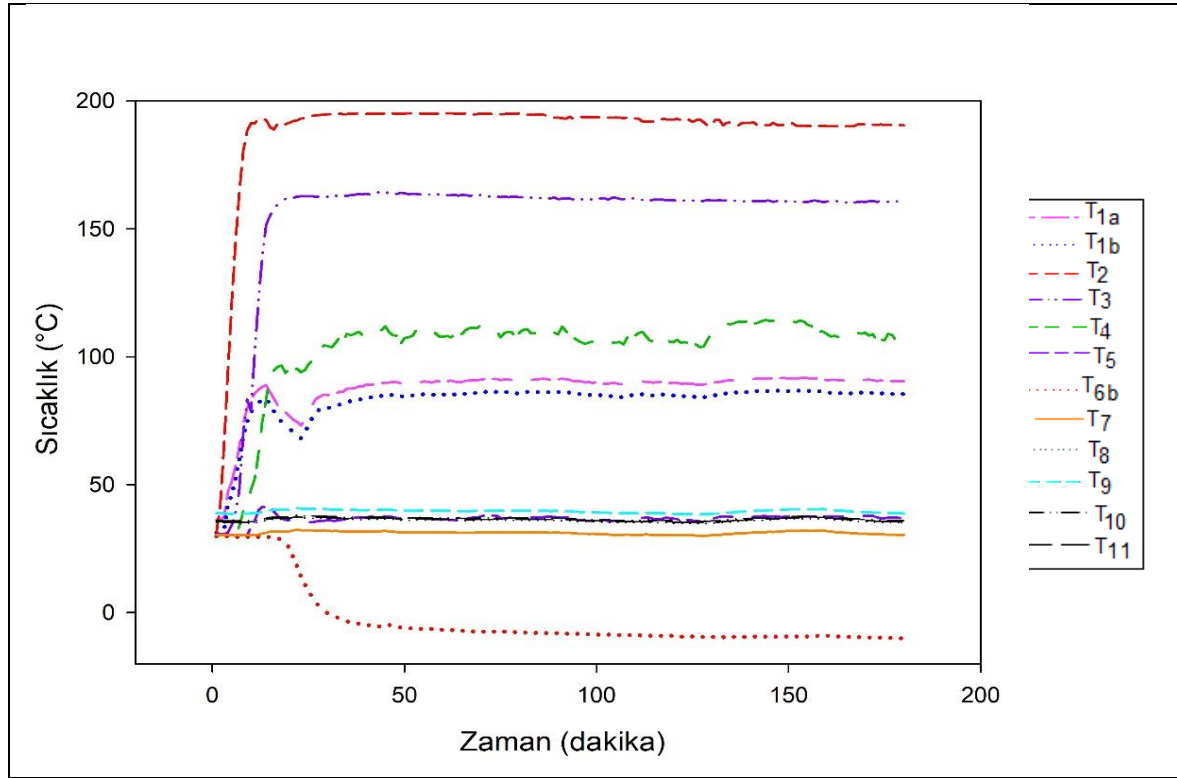
7. DENEYSEL SONUÇLAR

Daha önceki araştırmalarda, farklı tip absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin enerji performanslarının deneysel olarak incelenmesi üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların içeriği, iş akışkanlarının değiştirilmesi ya da sistem üzerinde modifikasyonlar yapılması üzerine kurgulanmıştır. Ancak söz konusu sistemlerde uygulanan analizler, termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan enerji analizleri ile sınırlı kalmıştır. Bu konuda yapılan ekserji analizleri ise sınırlı sayıda kalmıştır. Aynı zamanda son zamanlar da yapılan uygulamalarda, DAS sisteminin performansının artırılması amacıyla, çalışma akışkanı içerisinde nanopartikül kullanımı yaygın olarak görülmektedir.

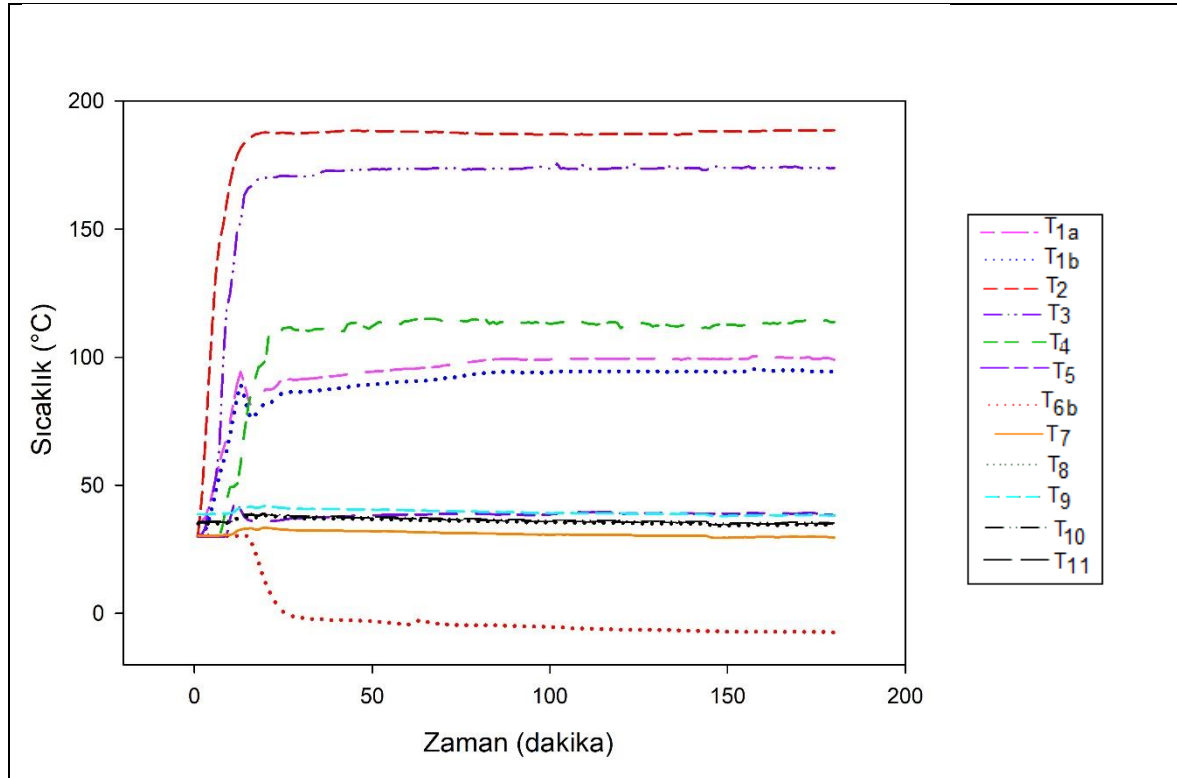
Bu tez çalışması kapsamında, iş akışkanı olarak $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ kullanan sistem ile $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ iş akışkanı kullanan DAS sistemlerinin enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Her bir sistemin tüm elemanları için enerji kayıp/kazanç, ekserji kayıpları, enerji ve ekserji verimleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Deneyler, aynı tarihlerde yapılmış ve benzer çevre sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Farklı çalışma akışkanları ile yapılan deneylerde elde edilen sıcaklıkları gösteren grafikler Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7’de verilmiştir.

Şekil 7.1’de $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı ön soğutmasız DAS sisteminde kullanıldığında elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere kararlı hal değerleri 120. dakikadan sonra elde edilmiştir. Kararlı hal değerlerine ulaşıldıktan sonra deneyler, yaklaşık 180 dakika sonunda bitirilmiştir.

Şekil 7.2’de ağırlıkça yüzde 1 oranında MgOAl_2O_3 (magnezyum oksit alüminat spinel oksit) eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı, DAR sisteminde kullanıldığında elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’deki T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıkları karşılaştırıldığında, nanoakışkan kullanıldığında jeneratör giriş sıcaklıklarında belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. İki deney için 180. dakika sonuçları değerlendirildiğinde, nanoakışkan kullanılan sistemde jeneratör giriş sıcaklıklarının yaklaşık 10°C arttığı söylenebilir.

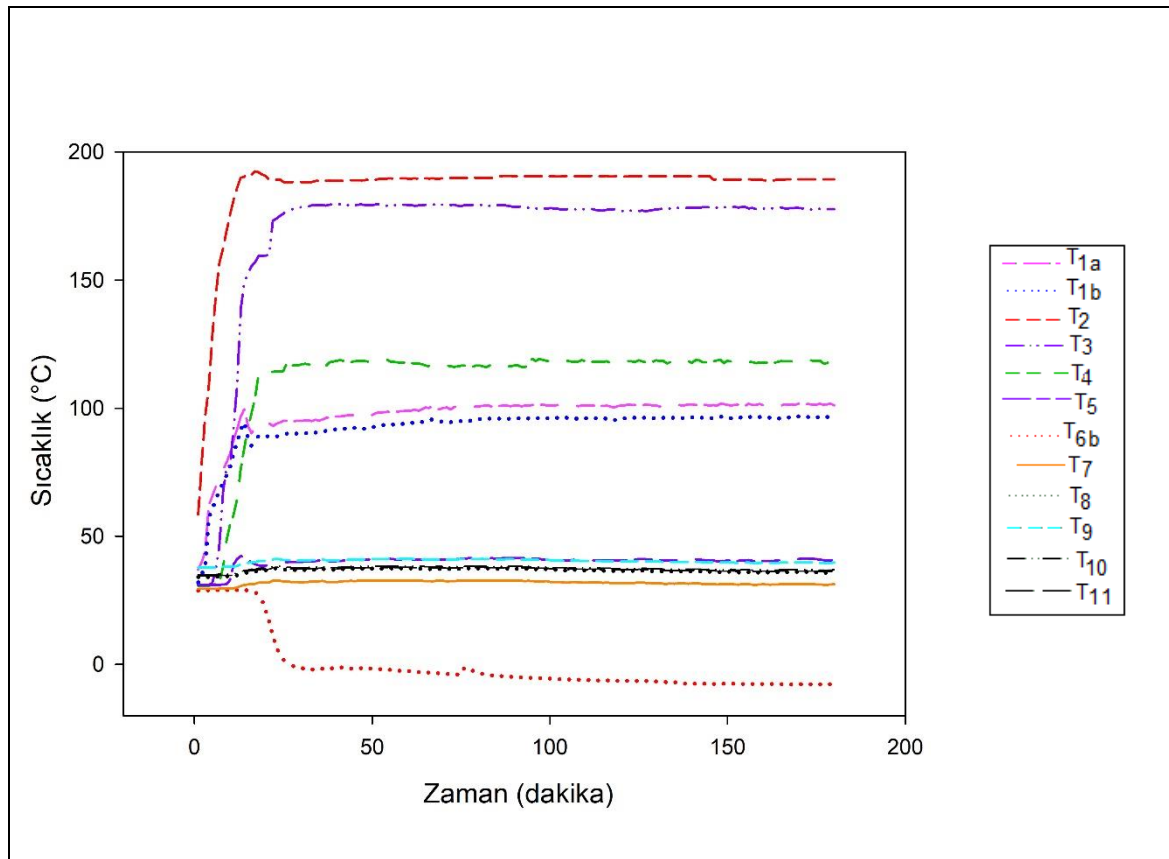


Şekil 7.1. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları



Şekil 7.2. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$ (%1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

Şekil 7.3’de ağırlıkça yüzde 2 oranında $MgOAl_2O_3$ (magnezyum oksit alüminat spinel oksit) eklenmiş olan NH_3-H_2O-He çalışma akışkanı, DAR sisteminde kullanıldığında elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’deki T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıkları karşılaştırıldığında, nanoakışkan kullanıldığında jeneratör giriş sıcaklıklarındaki artışın, ağırlıkça yüzde 2 oranında $MgOAl_2O_3$ (magnezyum oksit alüminat spinel oksit) eklenmiş olan NH_3-H_2O-He çalışma akışkanı için daha da belirgin hale geldiği görülmektedir (yaklaşık $12^\circ C$). NH_3-H_2O-He akışkanına magnezyum oksit alüminat spinel oksit eklenmesinin daha fazla ısı enerjisi emilmesine yol açtığı söylenebilir. Ayrıca daha fazla ısı emilimi, sistemin saflaştırıcı kısmındaki amonyak buharındaki su buharının ayrılmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca nanopartikül kullanımı ile T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıklarının, dalgalanmalar göstermek yerine, daha kararlı olduğu da Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de görülmektedir.



Şekil 7.3. $NH_3-H_2O-He + MgOAl_2O_3$ (%2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

Şekil 7.1 incelendiğinde NH_3-H_2O-He çalışma akışkanı için T_2 sıcaklığı $190,4^\circ C$ olarak görülmüştür. Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’e göre ise ağırlıkça %1 oranında $MgOAl_2O_3$ eklenmiş olan NH_3-H_2O-He çalışma akışkanı için T_2 sıcaklığı $188,6^\circ C$ ve ağırlıkça %2 oranında

MgOAl₂O₃ eklenmiş olan NH₃-H₂O-He çalışma akışkanı için T₂ sıcaklığı 189,3°C elde edilmiştir. Dolayısıyla zayıf çözeltinin kaynatıcı bölümündeki sıcaklığı, küçük farklılıklar göstermekle birlikte, 140. dakikadan sonra üç deney için birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bunun yanında Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 incelendiğinde nanopartikül içeren (ağırlıkça %1 MgOAl₂O₃ ve ağırlıkça %2 MgOAl₂O₃) çalışma akışkanlarının kullanıldığı sistemlerde, NH₃-H₂O-He çalışma akışkanı ile çalışan sistemlere kıyasla daha fazla ısı emiliminin gerçekleştiği de görülmüştür. Deney sisteminin jeneratör kısmından alınan bu ekstra ısının, zayıf çözelti ile taşınan nanoakışkanlar tarafından alındığı saptanmıştır. Bu etkinin ana nedeni baz akışkana oranla metalin ısı iletkenliğinin yüksek olması ve sıvıya eklenen ince katı metallerin ısı iletkenliği arttırmasıdır.

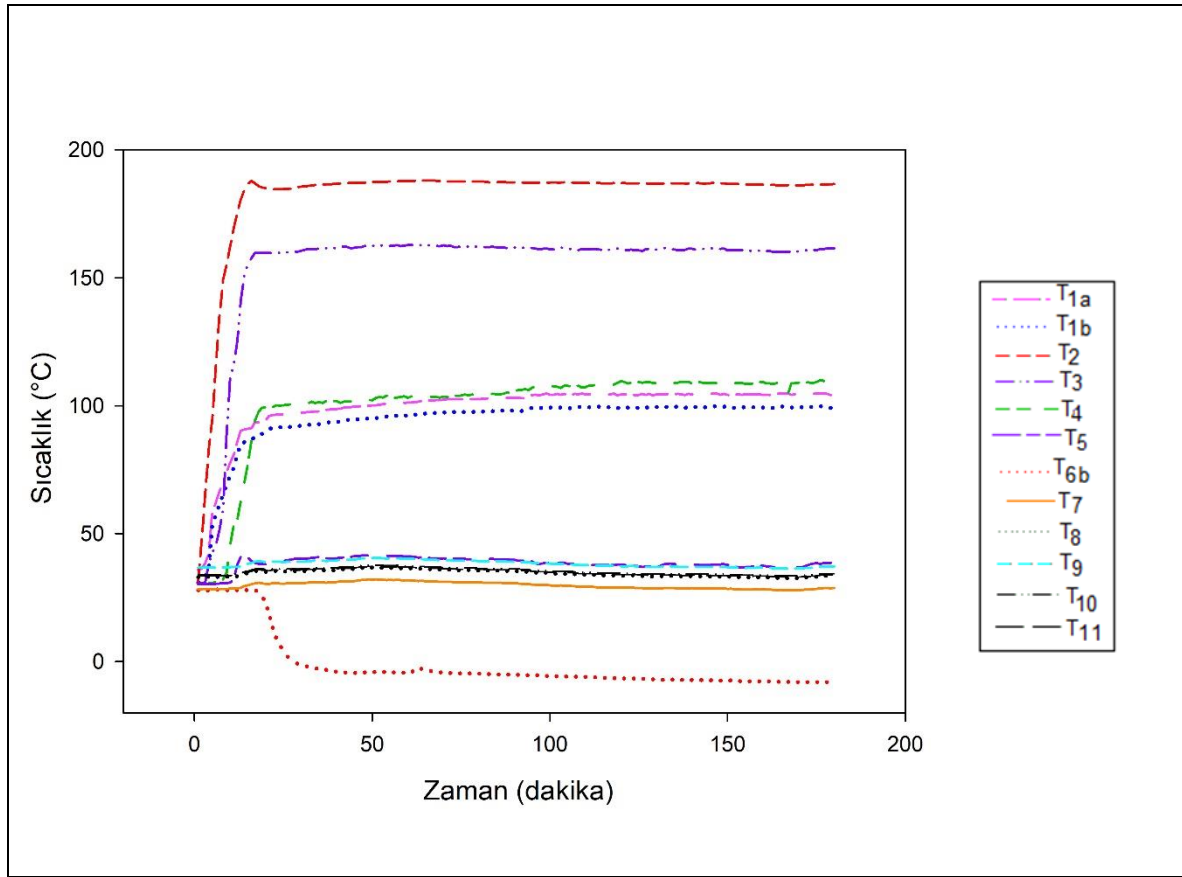
Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de incelendiğinde, NH₃-H₂O-He çalışma akışkanı kullanılan sistemin kondenser giriş sıcaklıklarının (T₄), nanopartikül içeren (ağırlıkça %1 MgOAl₂O₃ ve ağırlıkça %2 MgOAl₂O₃) çalışma akışkanlarının kullanıldığı sistemlere kıyasla devam eden dalgalanmalar gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle baz akışkana nanoparçacık eklenmesinin daha kararlı davranış elde edilmesini sağladığı söylenebilir. Bu etki nanopartiküllerin saçılması ile akışkanının sıcaklık gradyanının iyileşmesini ifade etmektedir.

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 üzerinde T₅ kondenser çıkış sıcaklıkları incelendiğinde, çalışma akışkanı olarak nanoakışkanın kullanılmasıyla artış olduğu görülmüştür. Bu artışın ağırlıkça yüzde 2 oranında MgOAl₂O₃ (magnezyum oksit alüminat spinel oksit) eklenmiş olan NH₃-H₂O-He çalışma akışkanı kullanıldığında yaklaşık 5 °C olduğu görülmektedir.

Yukarıda verilen bulguların yanı sıra nanoakışkanların kullanılması sayesinde evaporatördeki sıcaklık düşüşünün daha kısa sürede tamamlandığı da görülmektedir. Bu, aynı zamanda, büyük sıcaklık düşüşü istenmediği durumlarda termostatin anahtarlama süresini de azaltacaktır. Sonuç olarak, böylelikle enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

Aynı zamanda, ağırlıkça yüzde 2 oranında MgOAl₂O₃ ve ağırlıkça yüzde 1 oranında MgOAl₂O₃ eklenmiş olan çalışma akışkanları kullanıldığında, T_{6b} sıcaklıklarının evaporatörde yaklaşık 20 dakikada 0°C'ye ulaştıkları görülmektedir. Ancak NH₃-H₂O-He çalışma akışkanı kullanıldığında ise DAS sisteminin T_{6b} sıcaklığının evaporatörde 0 °C'ye ulaşması yaklaşık 30 dakika sürmektedir.

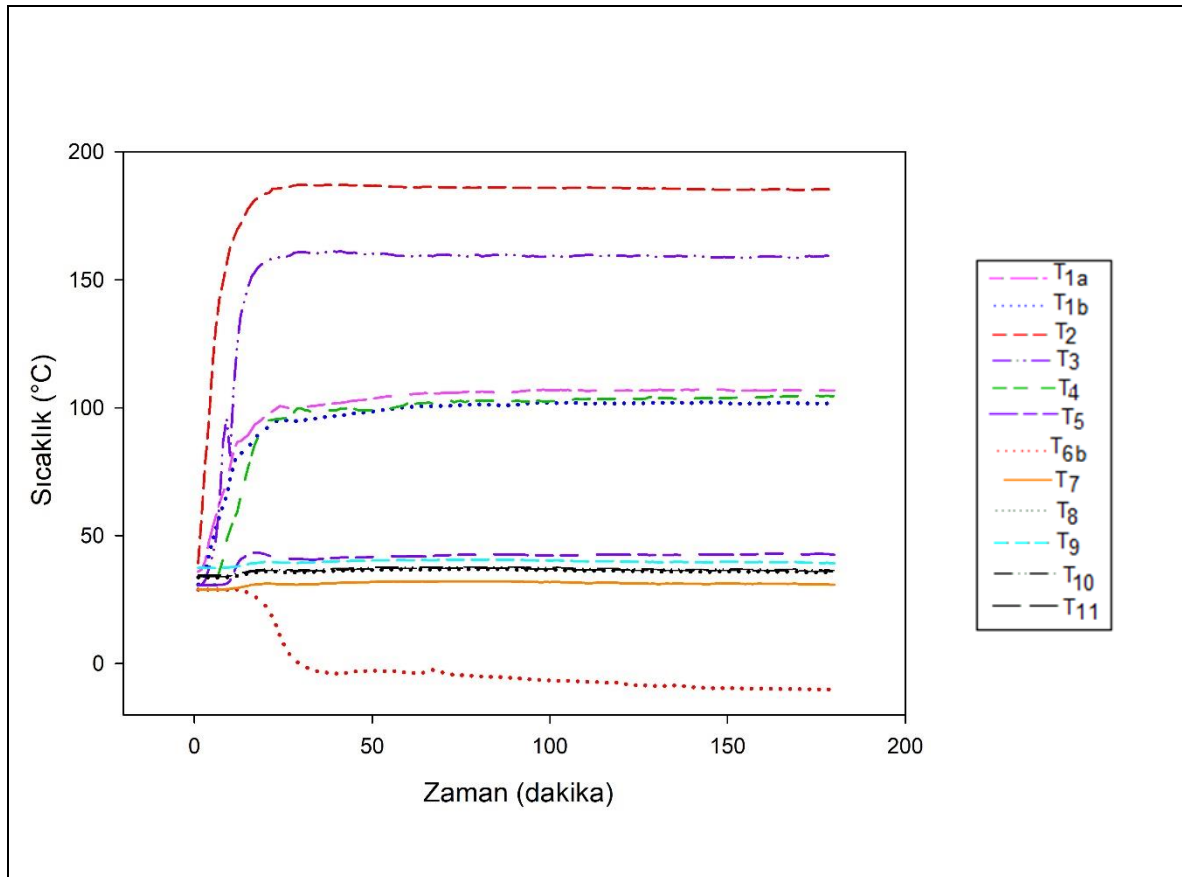
Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'deki soğutulan bölgelerin sıcaklıkları incelendiğinde, nanoparçacık içeren çalışma akışkanlarının, nanoparçacık içermeyen çalışma akışkanına kıyasla termodinamik olarak ısıyı daha fazla absorbe etme kapasitesine sahip olduğu söylenebilir. Bunun yanında nanoakışkan kullanılması ile efektif ısı kapasitesinde de anlamlı bir iyileşme görülmüştür. Artan ısı absorpsiyonunun tüm soğutma kapasitesinde sınırlı bir iyileşmeye sahip olması beklenir; ancak böyle bir sistemin düşük ısı performansına sahip olduğunu da belirtmekte fayda vardır.



Şekil 7.4. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de sırasıyla $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1) çalışma akışkanı ve $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2) çalışma akışkanı DAR sisteminde kullanıldığında elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'deki sıcaklık verileri, Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de olduğu gibi 120. dakikadan sonra kararlı hale ulaşmıştır. Kararlı hal değerlerine ulaşıldıktan sonra deneyler, yaklaşık 180 dakika sonunda bitirilmiştir.

Şekil 7.4'deki T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıkları karşılaştırıldığında, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1) çalışma akışkanı kullanıldığında jeneratör giriş sıcaklıklarının sırasıyla $104,3^\circ\text{C}$ ve $99,3^\circ\text{C}$ olduğu görülmüştür. Şekil 7.5'de ise bu sıcaklıklar sırasıyla $106,8^\circ\text{C}$ ve $101,8^\circ\text{C}$ 'dir. İki deney için 180. dakika sonuçları değerlendirildiğinde, nanoakışkan kullanılan sistemde jeneratör giriş sıcaklıkları yaklaşık 14°C - 17°C artmıştır. Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de de gerçekleştiği gibi $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ akışkanına çinko spinel oksit eklenmesinin daha fazla ısı enerjisi emilmesine yol açtığı görülmektedir. Ayrıca nanopartikül kullanımı ile T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıklarının, dalgalanmalar göstermek yerine, daha kararlıdır.



Şekil 7.5. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

Şekil 7.4'e göre ağırlıkça yüzde 1 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için T_2 sıcaklığı $186,7^\circ\text{C}$ olarak görülmüştür. Ağırlıkça yüzde 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için ise Şekil 7.5'de görüldüğü üzere, T_2 sıcaklığı $185,3^\circ\text{C}$ 'dir. T_2 sıcaklığı değerinin, irdelenen 5 deney için birbirine oldukça yakın değerlerde elde edildiği açıkça görülmektedir.

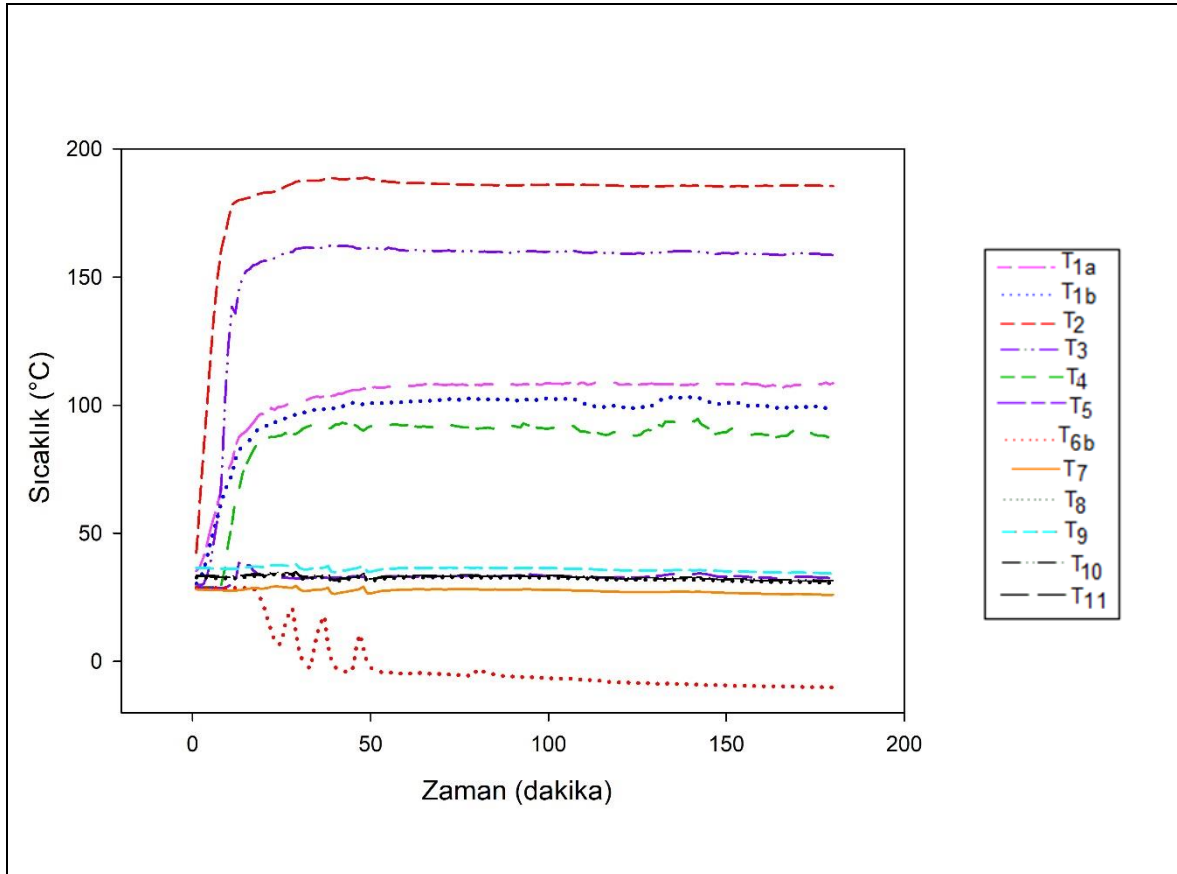
Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 incelendiğinde, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı kullanılan sistemin kondenser giriş sıcaklığının (T_4), nanopartikül içeren (ağırlıkça %1 ZnOAl_2O_3 ve ağırlıkça %2 ZnOAl_2O_3) çalışma akışkanlarının kullanıldığı sistemlere kıyasla devam eden dalgalanmalar gösterdiği görülmüştür. Şekil 7.4 üzerinde T_5 kondenser çıkış sıcaklığı incelendiğinde, ağırlıkça yüzde 1 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı içi sıcaklık $38,5^\circ\text{C}$ olarak elde edilmiştir. Ağırlıkça yüzde 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı kullanıldığında ise T_5 kondenser çıkış sıcaklığı $42,4^\circ\text{C}$ olarak elde edilmiştir. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı kullanılan sistemin kondenser çıkış sıcaklığına göre, sıcaklıkların artış gösterdiği görülmektedir.

T_{6b} sıcaklıklarının ağırlıkça yüzde 2 oranında ZnOAl_2O_3 ve ağırlıkça yüzde 1 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan çalışma akışkanları kullanıldığında, evaporatörde nanoakışkan kullanılmayan sisteme göre daha kısa sürede 0°C 'ye ulaştıkları görülmektedir.

MgOAl_2O_3 ve ZnOAl_2O_3 nanopartikülleri hibrit nanopartiküller olduğundan dolayı beklenen sonuç, TiO_2 nanopartiküllerinden farklı sonuçlar vermesidir. TiO_2 nanopartikülleri daha kolay bulunur ve maliyet açısından daha ucuz olduğundan, özellikle akademik çalışmalarda daha çok tercih edilir durumdadır. Yapılan çalışmada TiO_2 nanopartikülleri de eklenerek, DAS sisteminde çalışma akışkanı olarak nanopartiküllerin kullanılmasının yanı sıra hibrit nanopartiküller ile metal oksit nanopartiküllerin kullanılmasının oluşturacağı farklılık da gösterilmiştir.

Şekil 7.6'da ağırlıkça yüzde 1 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için sıcaklık değerleri verilmiştir. Aynı bölümde verilen diğer sıcaklık verilerine benzer şekilde, sıcaklık verilerinin dengeye gelmesi aşamasında kararlı hal değerleri 120. dakikadan sonra elde edilmiştir. T_{1a} ve T_{1b} sıcaklıklarının, jeneratör girişindeki artış TiO_2 nanopartikülleri kullanıldığında da açıkça görülmektedir. T_2 sıcaklık değeri incelendiğinde ise sıcaklık değerinin $185,5^\circ\text{C}$ görülmüştür. Dolayısıyla baz akışkan kullanıldığında, T_2 sıcaklığının diğer nanoakışkan kullanılan çalışma akışkanlarına oranla yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Kararlılık anlamında bakıldığında ise, hibrit nanoakışkanların başvurulduğu sistemlerde daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir. Kondenser giriş sıcaklıklarında ise (T_4), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%1) çalışma akışkanının verdiği sonuçlar, aynı sistem için $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2) çalışma akışkanı kullanılan DAS sistemine benzerlik göstermektedir. Şekil 7.6'da T_5 kondenser çıkış sıcaklıkları ağırlıkça

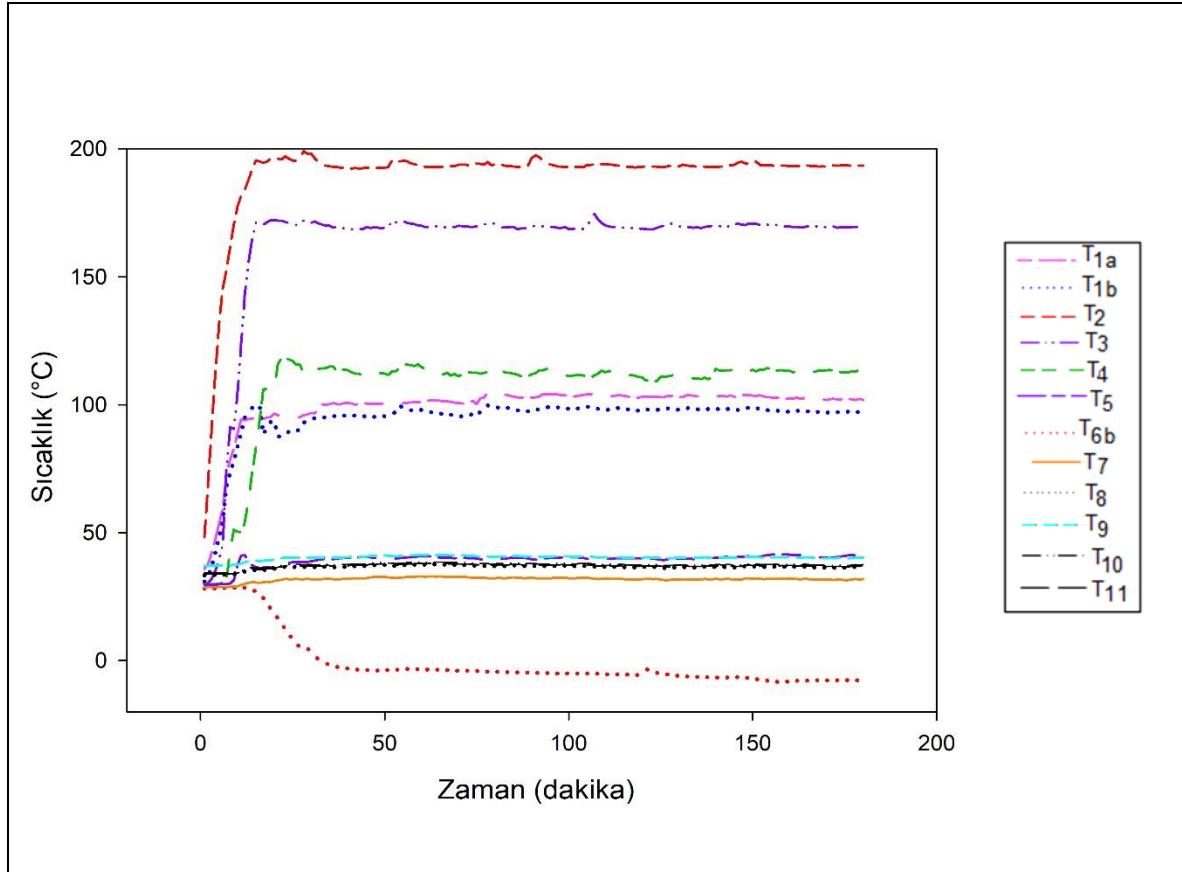
yüzde 1 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için $32,4^\circ\text{C}$ değerine ulaşılmıştır. Bu değer baz akışkanın kondenser sıcaklıklarına daha yakın bir değer olarak verilmektedir. Ağırlıkça %1 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için T_{6b} sıcaklıklarında ancak 35. Dakikadan sonra 0°C değerinin altına inmiştir. Dolayısıyla evaporatörde 0°C değerinin altına inmesi, baz akışkana benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.6. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (% 1) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

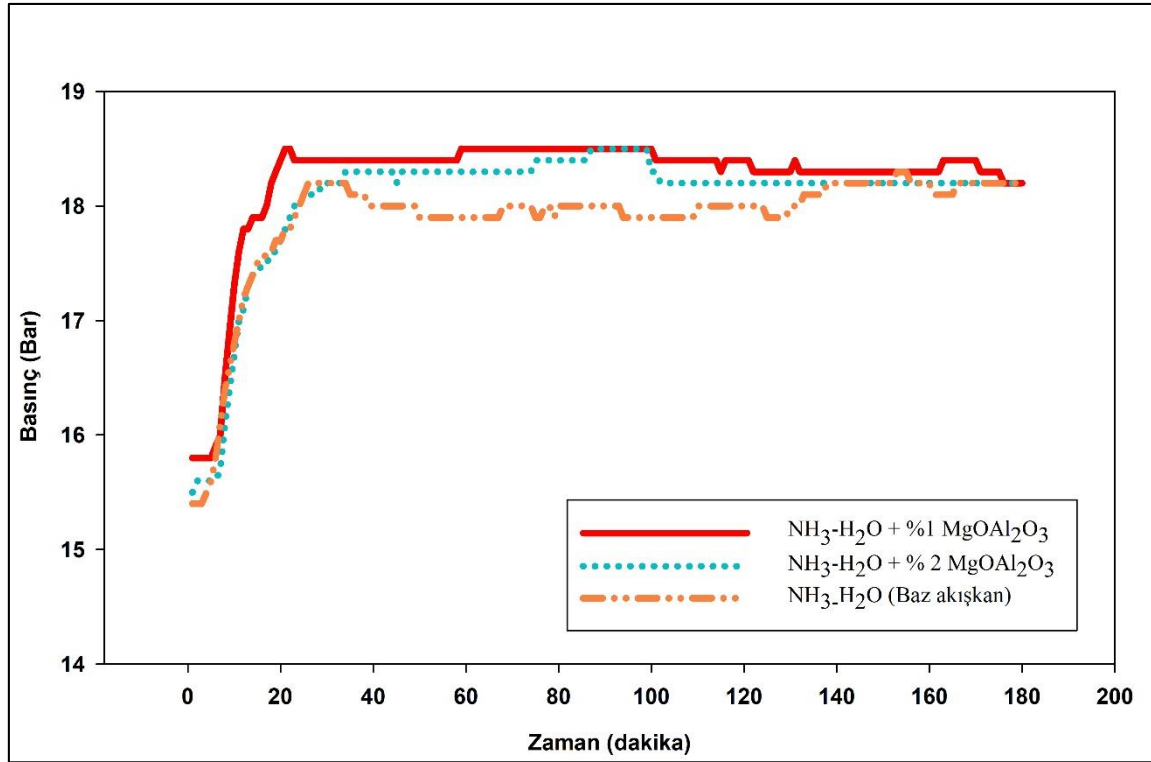
Şekil 7.7’de ise ağırlıkça %2 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için sıcaklık değerleri verilmiştir. Öncelikle jeneratör bölgesindeki sıcaklıklar incelendiğinde T_{1a} ve T_{1b} için sıcaklıkların baz akışkanın değerleri kıyaslandığında yüksek olduğu görülmüştür. Daha önceki grafiklerde de görüldüğü gibi, nanoakışkan kullanıldığında daha fazla ısı emiliminin sağlandığı bu çalışma akışkanının da görülmüştür. Böylelikle daha fazla ısı emilimi ile amonyak buharının su buharından ayrışması kolaylaşacaktır. T_2 sıcaklık değerleri incelendiğinde ağırlıkça %2 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanı için 193°C değerine ulaştığı, ve bu değerinin baz akışkanın T_2 değerine daha yakın olduğu söylenebilir. T_{6b} sıcaklığı incelendiğinde, 0°C

altına inmesinin ise, baz akışkana göre daha kısa sürede gerçekleşmiş olduğudur. T_{6b} sıcaklığı ile ilgili bir diğer olgu ise, ilk 50 dakika içerisinde sıcaklık değerinin oldukça değişkenlik gösterdiğidir. Şekil 7.6'da belirgin olarak göze çarpan T_4 sıcaklığının diğer grafikler ile kıyaslandığında daha dalgalı bir yapıda olmasıdır.

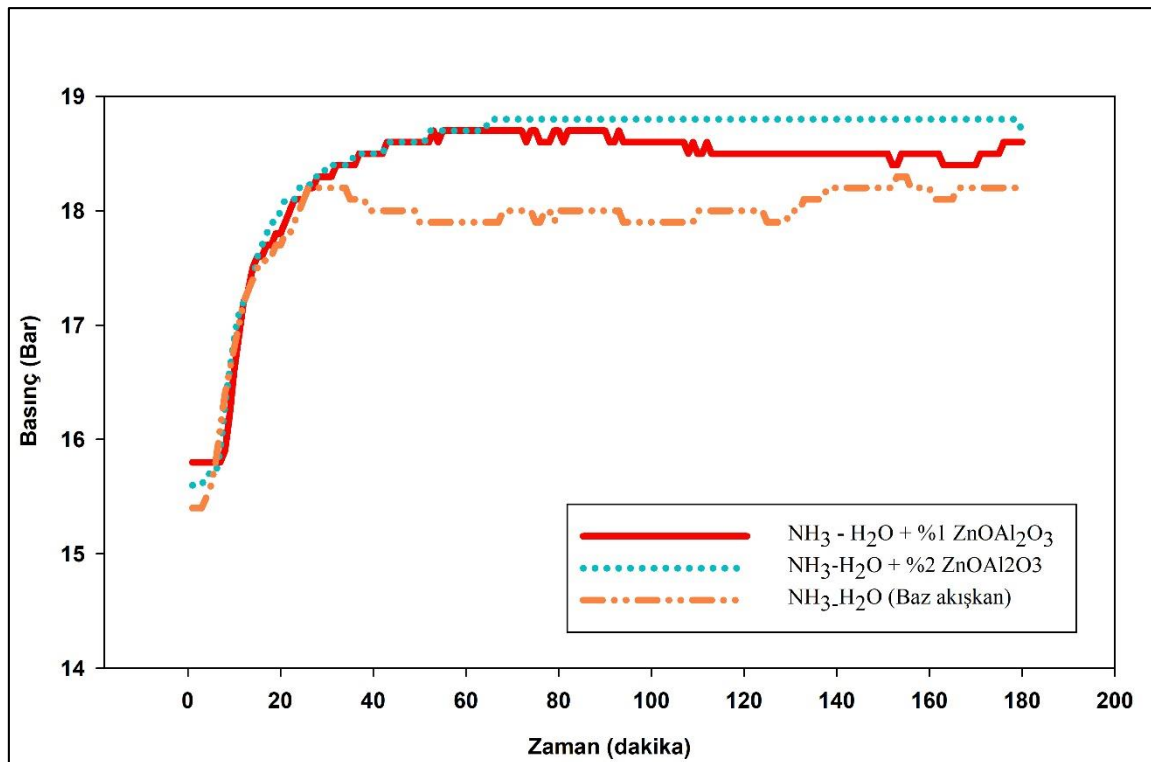


Şekil 7.7. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (% 2) deney sıcaklıkları ölçüm sonuçları

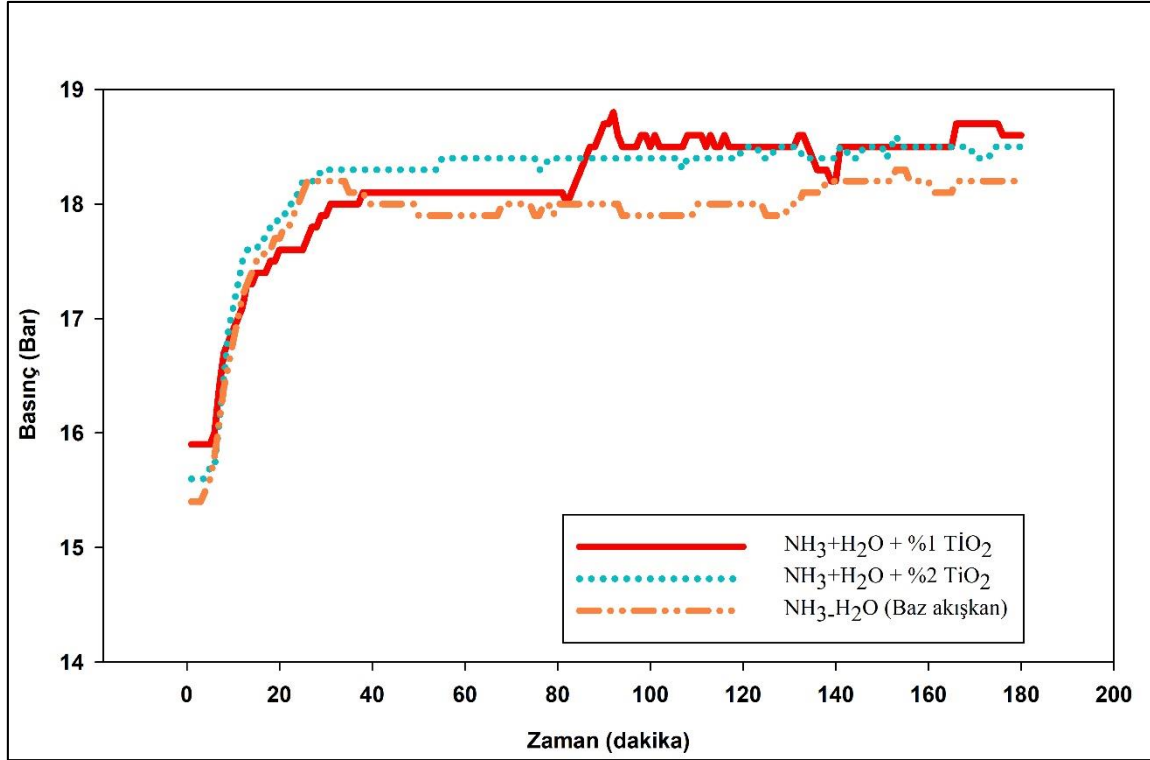
Yapılan deney çalışmalarında, sıcaklık ölçümlerinin alınmasının yanı sıra aynı zamanda basınç ölçümleri de yapılmıştır. Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10 sırasıyla MgOAl_2O_3 , ZnOAl_2O_3 ve TiO_2 nanopartiküllerinin ağırlıkça %1 ve ağırlıkça %2 oranında kullanıldığı çalışma akışkanlarına ait basınç-zaman grafiklerini göstermektedir.



Şekil 7.8. MgOAl₂O₃ içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri



Şekil 7.9. ZnOAl₂O₃ içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri



Şekil 7.10. TiO_2 içeren nanoakışkanların ve baz akışkanın zamana bağlı basınç değeri

Çizelge 7.1, Çizelge 7.2, Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4’de her bir nokta için hesaplanan kütleli debi ve kütle derişim değeri sırasıyla baz akışkanlar ve nanoakışkanlar için ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 7.1’de deneysel olarak hesaplanan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının $\dot{m}_{6a}$ kütleli debisi ile deney düzeneğinde testi yapılan nanoakışkanların $\dot{m}_{6a}$ kütleli debisi karşılaştırıldığında, %16-%36 oranında bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Ancak diğerlerinden farklı olarak %1 oranında TiO_2 eklenmiş olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının $\dot{m}_{6a}$ kütleli debisi, baz sıvının aynı noktadaki kütleli debisine göre % 34 azalma göstermiştir.

Çizelge 7.1. Deneyisel hesaplamalar sonucunda baz akışkan için elde edilen kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He	
	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$
1a	0.25	1.4948E-04
1b	0.2158	1.4273E-04
2c	0.1653	1.2410E-04
2d	0.5531	1.8634E-05
3	0.6645	2.5374E-05
4	0.9725	6.7398E-06
5	0.9725	6.7398E-06
6a	0.9725	6.7398E-06
7a	0.9725	3.8726E-07
8a	0.9725	3.8726E-07
8b	0.2158	1.4273E-04
9	0.25	1.4948E-04
10	0.25	1.4948E-04
11	0.2158	1.4273E-04
He	-----	3.8726E-07

Çizelge 7.2. Deneyisel hesaplamalar sonucunda MgOAl₂O₃ içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%1)		NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%2)	
	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$
1a	0.25	3.2361E-04	0.25	2.7466E-04
1b	0.2323	3.1593E-04	0.2208	2.6406E-04
2c	0.221	3.0667E-04	0.2061	2.5361E-04
2d	0.6063	9.2557E-06	0.5796	1.0453E-05
3	0.775	1.6940E-05	0.7789	2.1050E-5
4	0.9782	7.6843E-06	0.9755	1.0597E-05
5	0.9782	7.6843E-06	0.9755	1.0597E-05
6a	0.9782	7.6843E-06	0.9755	1.0597E-05
7a	0.9782	2.8973E-07	0.9755	2.3256E-07
8a	0.9782	2.8973E-07	0.9755	2.3256E-07
8b	0.2323	3.1593E-04	0.2208	2.6406E-04
9	0.25	3.2361E-04	0.25	2.7466E-04
10	0.25	3.2361E-04	0.25	2.7466E-04
11	0.2323	3.1593E-04	0.2208	2.6406E-04
He	-----	2.8973E-07	-----	2.3256E-07

Çizelge 7.3. Deneysel hesaplamalar sonucunda ZnOAl_2O_3 içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları

Noktalar	$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1)		$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2)	
	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$
1a	0.25	3.4313E-04	0.25	4.3817E-04
1b	0.2325	3.3507E-04	0.2746	4.8128E-04
2c	0.2216	3.2555E-04	0.2285	4.2279E-04
2d	0.605	9.5232E-06	0.6081	5.8485E-05
3	0.776	1.7577E-05	0.8411	1.5378E-05
4	0.9782	8.0538E-06	0.9841	9.5295E-06
5	0.9782	8.0538E-06	0.9841	9.5295E-06
6a	0.9782	8.0538E-06	0.9841	9.5295E-06
7a	0.9782	3.07973E-07	0.9841	4.07412E-07
8a	0.9782	3.07973E-07	0.9841	4.07412E-07
8b	0.2325	3.3507E-04	0.2746	4.8128E-04
9	0.25	3.4313E-04	0.25	4.3817E-04
10	0.25	3.4313E-04	0.25	4.3817E-04
11	0.2325	3.3507E-04	0.2746	4.8128E-04
He	-----	3.07973E-07	-----	4.07412E-07

Çizelge 7.4. Deneysel hesaplamalar sonucunda TiO_2 içeren nanoakışkanların kütle akış hızları ve kütle konsantrasyon oranları

Noktalar	$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%1)		$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%2)	
	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$	X (%)	$\dot{m}(kg/s)$
1a	0.25	5.2991E-04	0.25	1.9446E-04
1b	0.2437	5.2547E-04	0.2139	1.8518E-04
2c	0.238	5.1910E-04	0.1817	1.6879E-04
2d	0.6812	6.3698E-06	0.545	1.6394E-05
3	0.8061	1.0809E-05	0.6991	2.5670E-05
4	0.9853	4.4395E-06	0.9718	9.2757E-06
5	0.9853	4.4395E-06	0.9718	9.2757E-06
6a	0.9853	4.4395E-06	0.9718	9.2757E-06
7a	0.9853	3.083E-07	0.9718	1.4312E-07
8a	0.9853	3.083E-07	0.9718	1.4312E-07
8b	0.2437	5.2547E-04	0.2139	1.8518E-04
9	0.25	5.2991E-04	0.25	1.9446E-04
10	0.25	5.2991E-04	0.25	1.9446E-04
11	0.2437	5.2547E-04	0.2139	1.8518E-04
He	-----	3.083E-07	-----	1.4312E-07

Çalışma akışkanlarının termodinamik özellikleri REFPROP 8.0 programı yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.5, Çizelge 7.6, Çizelge 7.7 ve Çizelge 7.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Baz akışkanın termodinamik özellikleri (NH₃-H₂O-He)

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He	
	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$
1a	400.92	1.7676
1b	596.0211	2.2012
2c	638.36	2.221
2d	314.05	1.7617
3	2195.4	6.6283
4	1686.2	5.7336
5	486.36	1.9644
6a	297.16	1.3009
7b	1629.5	5.7314
8b	61.600	0.73783
9	57.344	0.77548
10	57.344	0.77548
11	61.600	0.73783

Çizelge 7.6. NH₃-H₂O-He + MgOAl₂O₃ içeren çözeltilerin termodinamik özellikleri

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%1)		NH ₃ -H ₂ O-He + MgOAl ₂ O ₃ (%2)	
	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$
1a	424.74	1.8287	434.09	1.8527
1b	570.02	2.1627	581.035	2.1728
2c	577.55	2.1646	591.94	2.1769
2d	321.17	1.7859	316.11	1.7707
3	2085.8	6.5286	2095.2	6.5611
4	1666.3	5.6633	1675.7	5.6948
5	482.98	1.9533	491.21	1.9801
6a	309.07	1.3457	307.24	1.3388
7b	1629.1	5.7391	1629.9	5.7204
8b	55.260	0.74278	64.846	0.75643
9	54.358	0.76559	61.721	0.78948
10	54.358	0.76559	61.721	0.78948
11	55.260	0.74278	64.846	0.75643

Çizelge 7.7. NH₃-H₂O-He + ZnOAl₂O₃ içeren çözeltilerin termodinamik özellikleri

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He + ZnOAl ₂ O ₃ (%1)		NH ₃ -H ₂ O-He + ZnOAl ₂ O ₃ (%2)	
	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$
1a	434.57	1.8538	449.13	1.8907
1b	568.6463	2.1597	539.15	2.1446
2c	575.94	2.1617	568.75	2.1543
2d	319.31	1.7805	325.14	1.7972
3	2083.1	6.5235	2037.5	6.4979
4	1666.9	5.665	1687.5	5.7202
5	479.11	1.9407	488.79	1.9723
6a	306.32	1.3354	296.71	1.2991
7b	1628.7	5.7480	1629.7	5.7259
8b	51.765	0.73171	54.091	0.79770
9	50.889	0.75433	59.583	0.78243
10	50.889	0.75433	59.583	0.78243
11	51.765	0.73171	54.091	0.79770

Çizelge 7.8. NH₃-H₂O-He + TiO₂ içeren nanoakışkanların termodinamik özellikleri

Noktalar	NH ₃ -H ₂ O-He + TiO ₂ (%1)		NH ₃ -H ₂ O-He + TiO ₂ (%2)	
	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$	$h(kJ/kg)$	$s(kJ/kgK)$
1a	439.23	1.8658	442.54	1.874
1b	547.514	2.125	598	2.200
2c	550.18	2.1388	624.87	2.2157
2d	330.24	1.800	321.38	1.7808
3	2049.5	6.4960	2165.3	6.6026
4	1645.3	5.6096	1694	5.744
5	465.62	1.8963	493.15	1.9864
6a	296.71	1.2991	308.15	1.3423
7b	1627.2	5.7792	1630.1	5.7161
8b	37.606	0.70218	68.065	0.75577
9	38.733	0.71477	63.468	0.79507
10	38.733	0.71477	63.468	0.79507
11	37.606	0.70218	68.065	0.75577

Elde edilen sonuçlar ışığında, baz akışkan ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$) ve farklı nanoakışkanlarla çalışan DAS sistemlerindeki bileşenler (kaynatıcı, saflaştırıcı, kondenser (yoğusturucu), evaporatör (buharlaştırıcı), absorber (soğurucu), sıvı ısı değiştiricisi) için enerji analizi yapılmıştır. Çizelge 7.9 ve Şekil 7.11 elemanlarda gerçekleşen ısı transfer miktarlarını (W) göstermektedir.

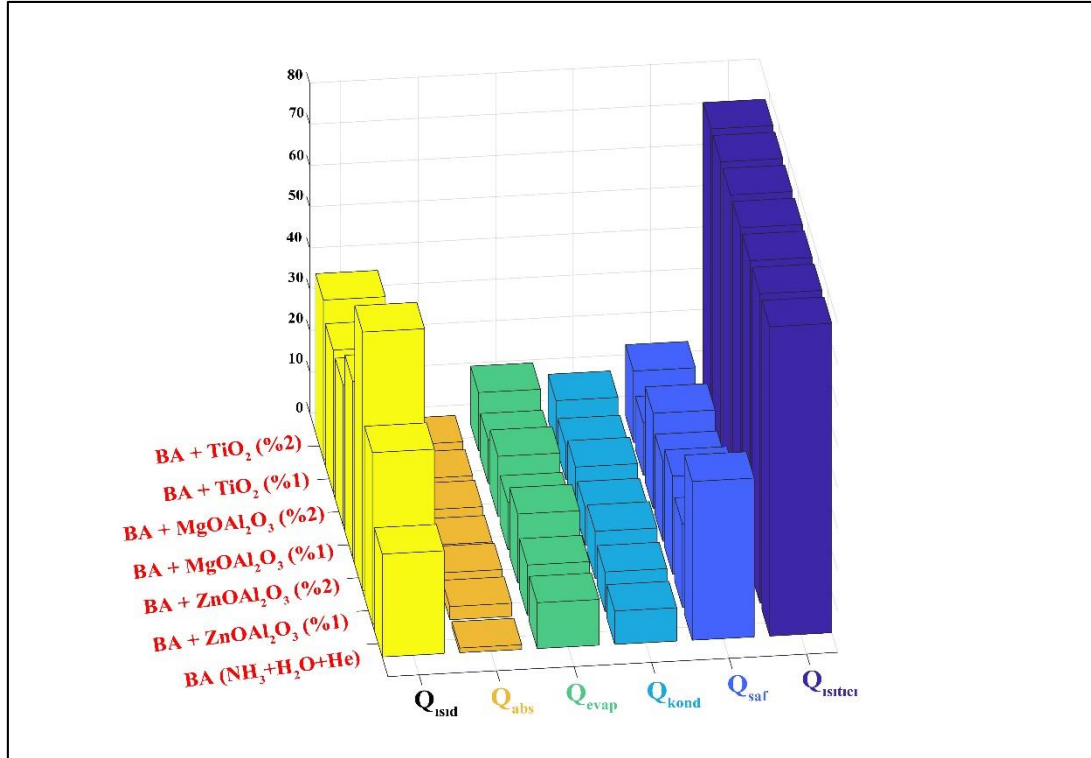
Çizelge 7.9. Farklı deneyler için enerji analiz sonuçları

W	$\dot{Q}_{ısıtıcı}$	$\dot{Q}_{saf}$	$\dot{Q}_{kond}$	$\dot{Q}_{evap}$	$\dot{Q}_{abs}$	$\dot{Q}_{ısıd}$
Baz akışkan (BA)	75.00	38.489	8.086	11.101	1.132	24.922
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%1)	75.00	19.556	9.093	11.527	2.083	42.772
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%2)	75.00	23.042	11.032	14.626	2.613	34.028
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%1)	75.00	20.149	9.566	12.259	3.192	41.540
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%2)	75.00	23.764	11.423	16.619	3.369	42.757
BA+TiO ₂ (%1)	75.00	12.745	8.381	10.629	2.136	34.420
BA+TiO ₂ (%2)	75.00	17.300	11.139	14.115	2.371	38.563

Çizelge 7.9 ve Şekil 7.11 ayrıntılı olarak incelendiğinde ısı transferinin en fazla olduğu bölgelerin sıvı ısı değiştiricisi elemanı ve saflaştırıcı sonucuna ulaşılmıştır. Isı transferi aktarımının en az olduğu bölüm ise soğurucu (absorber) bölgesidir. Çizelge 7.9.'dan elde edilen sonuçlardan, sıvı ısı değiştiricisi elemanında yalıtımın sağlanarak buradaki kayıpların önlenmesinin sistem performansının artırılmasında çok önemli olduğu görülmüştür [14,41].

Aynı zamanda, kararlılığın sağlanmasında, hibrit nanopartiküller kullanılmasının metal oksit nanopartiküllere oranla daha etkili olduğu sonucu da görülmüştür.

Tüm deney sistemlerinde, kullanılan tüm çalışma akışkanlarında ortalama elektrik tüketimi 75 W olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.11. DAS sisteminin her elemanı için enerji analiz değerleri

Çizelge 7.9 ve Şekil 7.11’da görüldüğü üzere, saflaştırıcı elemanındaki en yüksek enerji kaybı $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının kullanıldığı baz sistemde 38.489 W değerinde görülürken, en düşük enerji kaybı ağırlıkça %1 oranında TiO_2 eklenmiş olan çalışma akışkanının kullanıldığı sistemde 12.745 W sonucunda çıkmıştır.

Sıvı ısı değiştirici elemanında ise, en yüksek enerji kaybı, ağırlıkça % 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklemiş olan çalışma akışkanında 42.757 W olarak hesaplamıştır. Bu elemandaki en düşük enerji kaybı ise, 24.922 W değeri ile $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının kullanıldığı baz sistemde görülmüştür.

Kondenserden (yoğuşturucudan) çevreye atılan ısı, ağırlıkça % 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklemiş olan çalışma akışkanında 11.423 W olarak görülürken, en düşük ısı kaybı 8.086 W ile $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının kullanıldığı baz sistemde elde edilmiştir.

Absorberde (yoğuşturucuda) meydana gelen en yüksek enerji kaybı 3.369 W ile ağırlıkça % 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklemiş olan çalışma akışkanında ortaya çıkmış, en düşük enerji kaybı ise $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının kullanıldığı baz sistemde 1.132 W olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.10'da ise 7 çalışma akışkanı için hesaplanmış olan soğutma performans katsayısı (COP) değerlerinin verilmiştir.

Çizelge 7.10. Farklı çalışma akışkanları için COP değerleri

COP (Soğutma performans katsayısı)	COP
Baz akışkan (BA)	0.0995
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%1)	0.1163
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%2)	0.1592
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%1)	0.1223
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%2)	0.1431
BA+TiO ₂ (%1)	0.1125
BA+TiO ₂ (%2)	0.1364

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, enerji analizinin tek başına yapılması yani yalnızca termodinamiğin birinci yasasına bağlı olarak değerlendirme yapılması, termal sistemlerin değerlendirilmesi açısından yeterli değildir. Bu sebepten ötürü ön soğutmasız DAS sisteminin daha iyi anlaşılması için termodinamiğin ikinci analizi de dikkate alınarak bir ekserji analizi ile birlikte değerlendirme yapılmalıdır.

Çizelge 7.11'de kontrol hacimlerinin farklı çalışma akışkanları için ekserji yıkım değerlerinin şekilsel gösterimi ve ekserji analiz sonuçları verilmiştir. Aynı ısıtıcı gücü ve ortam sıcaklığı değeri için, en yüksek ekserji yıkımının 7 çalışma akışkanı için sıvı ısı değiştiricisinde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 7.11. Ekserji analiz değerleri

W	$\dot{I}_{ısıtıcı}$	$\dot{I}_{saf}$	$\dot{I}_{kond}$	$\dot{I}_{evap}$	$\dot{I}_{abs}$	$\dot{I}_{ısıd}$	$\Sigma \dot{I}$	$\dot{E}x_{yıkım}$
Baz akışkan (BA)	2.084	3.817	0.047	0.136	3.025	6.064	15.173	0.0201
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%1)	1.533	1.792	0.048	0.183	3.452	10.320	17.328	0.0231
BA+MgOAl ₂ O ₃ (%2)	2.520	2.036	0.075	0.178	4.476	11.941	21.226	0.0283
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%1)	1.412	1.839	0.057	0.182	3.154	10.227	16.871	0.0225
BA+ZnOAl ₂ O ₃ (%2)	2.229	2.679	0.085	0.164	4.012	12.131	21.300	0.0284
BA+TiO ₂ (%1)	1.610	1.196	0.052	0.167	3.303	13.628	19.956	0.0266
BA+TiO ₂ (%2)	2.591	3.237	0.080	0.160	4.244	12.712	23.024	0.0307

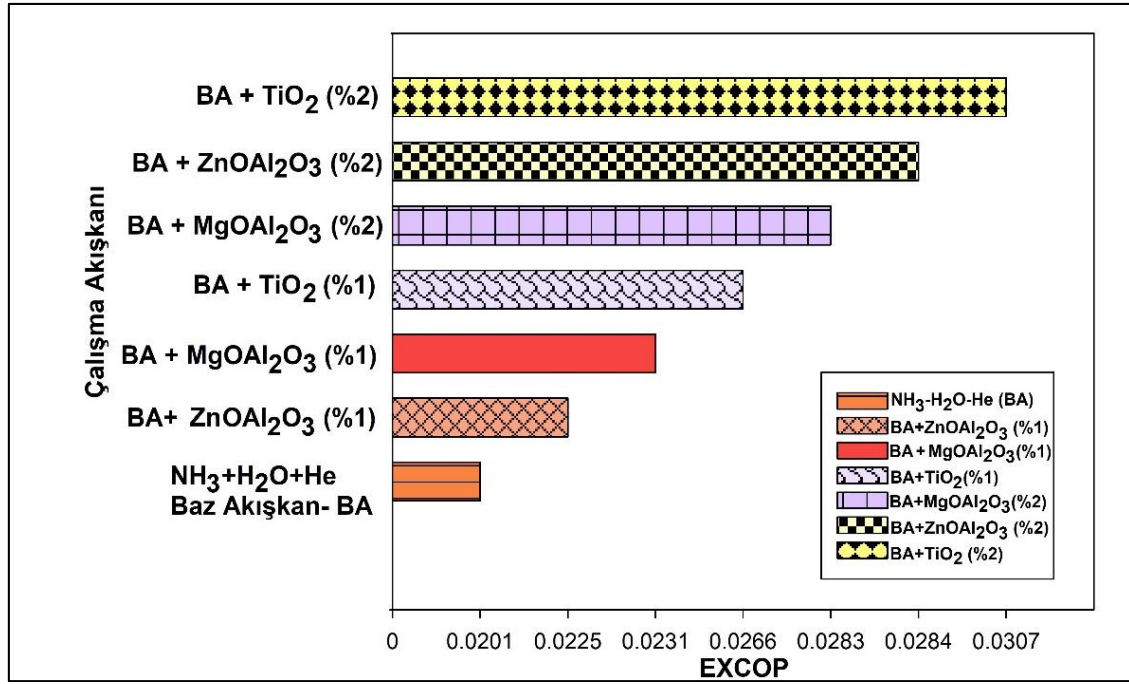
Çizelge 7.11’de gösterdiği üzere, saflaştırıcıdaki en yüksek ekserji yıkımı 3.817 W olarak $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz çalışma akışkanında elde edilmiştir. Aynı elemandaki en düşük ekserji yıkımı ise, ağırlıkça % 1 oranında TiO_2 eklemiş olan çalışma akışkanında 1.196 W olarak görülmüştür.

Sıvı ısı değiştiricisinde en yüksek ekserji yıkımı 13.628 W değeri ile ağırlıkça % 1 oranında TiO_2 eklemiş olan çalışma akışkanında görülmüş ve en düşük ekserji yıkımı ise 6.064 W ile $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz akışkanında meydana gelmiştir.

Kondenser elemanındaki ekserji yıkımı, göreceli olarak diğer elemanlara göre daha düşük olarak gözlenmiştir. En yüksek ekserji yıkımı ağırlıkça % 2 oranında ZnOAl_2O_3 eklenmiş olan çalışma akışkanında, en düşük değer ise $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz akışkanında 0.136 W olarak el edilmiştir.

Absorberde (soğurucu) için hesaplanan ekserji yıkımı, en yüksek 4.476 W ile ağırlıkça % 2 oranında MgOAl_2O_3 çalışma akışkanında, en düşük ise $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz akışkanında 3.025 W olarak sonuçlanmıştır.

EXCOP değerinin çalışma akışkanlarına göre karşılaştırılması, Şekil 7.12’de verilmiştir. Ekserji performanslarının nanoparçacık içermeyen $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz akışkanında en düşük olarak sonuçlandığı görülmüştür. Bu oran en fazla ağırlıkça % 2 oranında TiO_2 içeren $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ çalışma akışkanının kullanıldığı sistemde görülmüştür. Şekil 7.12’de nanoparçacık kullanılan sistemlerin ekserji performansını arttığı söylenebilir. Ayrıca hibrit nanoparçacıklar ile TiO_2 nanoparçacıkları ile karşılaştırıldığında, TiO_2 nanoparçacıkların performans açısından daha yüksek bir performans sergilediği söylenebilmektedir.



Şekil 7.12. EXCOP değerinin çalışma akışkanlarına göre karşılaştırılması

8. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonuçlar

Bu tez çalışmasında $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ iş akışkanını kullanan ön soğutmasız DAS sisteminin performansı, benzer ısıtıcı gücü ve benzer ortam sıcaklığında MgOAl_2O_3 (ağırlıkça % 1 ve ağırlıkça % 2), ZnOAl_2O_3 (ağırlıkça % 1 ve ağırlıkça % 2), TiO_2 (ağırlıkça % 1 ve ağırlıkça % 2) nanopartikülleri eklenerek elde edilen sistemler ile enerji ve ekserji analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmalardan çıkarılan sonuçlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$ (%2), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%2) çalışma akışkanlı sistemlerde elektrik tüketimi 75 W olarak görülmüştür.
- MgOAl_2O_3 nanopartiküllerinin kullanıldığı çalışma akışkanlarında sistemin çalışma basıncı $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz iş akışkanının basıncına yakın sonuçlanırken, ZnOAl_2O_3 ve TiO_2 nanopartiküllerinin sistemin çalışma basıncını arttırarak termodinamik parametrelerin yükselmesine neden olmuştur.
- En yüksek enerji kaybı, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz iş akışkanında saflaştırıcı elemanında gerçekleşirken, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{MgOAl}_2\text{O}_3$ (%2), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{ZnOAl}_2\text{O}_3$ (%2), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%1), $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He} + \text{TiO}_2$ (%2) çalışma akışkanlı sistemlerde sıvı ısı değiştiricisinde elde edilmiştir.
- En yüksek soğutma kapasitesi, ağırlıkça %2 oranında MgOAl_2O_3 nanopartikül kullanılan çalışma akışkanında elde edilirken, en düşük soğutma kapasitesi $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-He}$ baz iş akışkanında elde edilmiştir. Nanopartikül ilavesiyle sistemdeki buble pompası çıkışında saf amonyağın saflaştırıcıya taşınmasına neden olduğu ve evaporatöre daha fazla soğutucu taşınmasına neden olduğu fiziki yorumu yapılabilir.
- Deneysel sonuçlar, ön soğutmasız DAS sisteminde çalışma akışkanını nanoakışkan kullanılmasının daha hızlı buharlaşma ile sonuçlanarak çalışma süresini kısalttığını ve kaynaticıda ısı transferini arttırdığını göstermiştir.

- 7 sistem içerisinde en yüksek ekserji yıkımı ısı değiştiricisinde gerçekleşirken, en dūřuk ekserji yıkımı kondenserde meydana gelmiştir.
- Nanoparçacık kullanılan sistemlerin ekserji performansı arttırdığı sōylenbilir. Ayrıca hibrit nanoparçacıklar ile TiO_2 nanoparçacıkları ile karşılaştırıldığında, TiO_2 nanoparçacıkların performans açısından daha yūksək bir performans sergilediği sōylenbilmektedir.

ōneriler

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda aşağıdaki ōneriler dikkate alınabilir:

- İlerleyen çalışmalarda farklı nanopartikūllerin ōn sōęutmasız DAS sisteminde enerji ve ekserji performansının değerlendirilmesinin yanı sıra termoeekonomik açıdan da değerlendirilmeleri yapılabilir.
- Yūzey aktif madde olarak SDBS (sodyum dodesil benzen sūlfonat) yerine farklı yūzey aktifleřtiriciler test edilebilir.
- Aynı nanopartikūllerin konvansiyonel DAS sisteminde de çalışması yapılarak, ōn sōęutmasız DAS sistemi ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Özbaş, E. (2009). *Yayınımlı Soğurmalı Soğutma Sistemi Tasarımı, İmali, Deneyisel ve Teorik Analizi ile Performans İyileştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.
2. Dinçer, İ., Erdallı, Y. (1993). Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin rolü ve etkinliği. *Termodinamik*, 5, 31-37.
3. Arslan, M. E., Eğrican, A. N. (2004). Buzdolabı uygulamasında kullanılan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 83, 53-63.
4. Xuan, Y., Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58-64.
5. Zohar, A., Jelinek, M., Levy A., Borde I. (2007). The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance. *Applied Thermal Engineering*, 27 (13), 2213-2219.
6. Chen, J., Kim J. K., Herold K. E. (1996). Performance enhancement of a diffusion-absorption refrigerator. *International Journal of Refrigeration*, 19 (3), 208-218.
7. Sözen, A., Özalp, M. (2003). Performance improvement of absorption refrigeration system using triple-pressure-level. *Applied Thermal Engineering*, 23(13), 1577-1593.
8. Starace, G., De Pascalis, L. (2013). An enhanced model for the design of diffusion absorption refrigerators. *International Journal of Refrigeration*, 36(5), 1495-1503.
9. Srikuhirin, P., Aphornratana S. (2002). Investigation of a diffusion absorption refrigerator, *Applied Thermal Engineering*, 22(11), 1181-1193.
10. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I. (2009). Performance of diffusion absorption refrigeration cycle with organic working fluids, *International Journal of Refrigeration*, 32 (6), 1241-1246.
11. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I. (2008). The influence of the generator and bubble pump configuration on the performance of diffusion absorption refrigeration (DAR) system, *International Journal of Refrigeration*, 31 (6): 962-969.
12. Zohar, A., Jelinek M., Levy A., Borde I. (2005). Numerical investigation of a diffusion absorption refrigeration cycle, *International Journal of Refrigeration*, 28 (4), 515-525.
13. Koyfman, A., Jelinek M., Levy A., Borde I. (2003). An experimental investigation of bubble pump performance for diffusion absorption refrigeration system with 112 organic working fluids, *Applied Thermal Engineering*, 23 (15), 1881-1894.
14. Yıldız, A., Ersöz, M. A. (2013). Energy and exergy analyses of the diffusion absorption refrigeration system, *Energy*, 60(1), 407-415.

15. Sözen, A., Özbaş, E., Menlik, T., Çakır, M. T., Gürü, M., Boran, K. (2014). Improving the thermal performance of diffusion absorption refrigeration system with alumina nanofluids: an experimental study, *International Journal of Refrigeration*, 44, 73-80.
16. Yang, L., Du, K., Bao, S., Wu, Y. (2012). Investigations of selection of nanofluid applied to the ammonia absorption refrigeration system, *International Journal of Refrigeration*, 35 (8), 2248-2260.
17. Wu, W., Wu, J., Wang, Y., Zhang, H. (2017). The enhancing influence of nanoparticles on ammonia/water falling film absorption in binary nanofluids under pressure reducing conditions, *Journal of Thermal Science and Technology*, 12(2).
18. Aramesh, M., Pourfayaz, F., Haghir, M., Kasaeian, A., Ahmadi, M.H. (2020). Investigating the effect of using nanofluids on the performance of a double-effect absorption refrigeration cycle combined with a solar collector, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 234 (7), 981-993.
19. Jiang, W., Li, S., Yang, L., Du, K. (2019). Experimental investigation on performance of ammonia refrigeration system with TiO₂ nanofluid, *International Journal of Refrigeration*, 98, 80-88.
20. Yang, L., Jiang, W., Chen, X., Du, K. A. (2017). Dynamic characteristics of an environmental-friendly refrigerant: ammonia-water based TiO₂ nanofluid, *International Journal of Refrigeration*, 82, 366-380.
21. Pérez-García, V., Rodríguez-Muñoz, J. L., Belman-Flores, J. M., Rubio-Maya, C., Ramírez-Minguela, J. J. (2019). Theoretical modeling and experimental validation of a small capacity diffusion-absorption refrigerator, *International Journal of Refrigeration*, 104, 302-310.
22. Chaves, F.D., Moreira, M. F. S. , Koury, R.N., Machado, L., Cortez, M.F.B. (2019). Experimental study and modeling within validation of a diffusion absorption Refrigerator, *International Journal of Refrigeration*, 101, 136-147.
23. Belman-Flores, J.M., Rodríguez-Muñoz, J.L., Rubio-Maya, C., Ramírez-Minguela, J.J., Pérez-García, V. (2014). Energetic analysis of a diffusion-absorption system: a bubble pump under geometrical and operational conditions effects, *Applied Thermal Engineering*, 71, 1-10.
24. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Çoşkun, S., Yamankaradeniz, N.(2009). *Soğutma tekniği ve ısı pompaları uygulamaları*. Türkiye: Dora Yayıncılık, 1-286.
25. Özkol, N. (2007). *Uygulamalı soğutma tekniği*. Ankara: TMMOB MMO Yayını, Yayın No:115, 1-36.
26. Hassan, H.Z., Mohamad A.A. (2012). A review on solar cold production through absorption technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5331-5348.
27. Gutierrez, F. (1998). Behaviour of a household absorption-diffusion refrigerator adapted the autonomous solar operation. *Solar Energy*, 40,17-23.

28. Keizer, C. (1979). Absorption refrigeration machine driven by solar heat. *Proceedings of The 15th IIR International Journal of Refrigeration*, 861-868.
29. Bourseau, P., Mora, J.C., Bugarel, R. (1987). Couplage de machine an absorption-diffusion et de capteur solaire, *International Journal of Refrigeration*, 10,209-216.
30. Platen, B. C., Munters, C.G. (1928). Refrigerator, *U.S. Patent*, 1, 685-764.
31. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Çoşkun, S. (2002). *Soğutma tekniği ve uygulamaları*, VİPAŞ A.Ş., 14-16.
32. Smirnov, G.F., Bukraba, M.A., Fattuh, T., Nabulsi, B. (1996). Domestic refrigerators with absorption-diffusioon units and heat-transfer panels. *International Journal of Refrigeration*, 19 (8), 517-521.
33. Das, S. K., Choi, S. U., Yu, W., Pradeep, T. (2007). *Nanofluids: Science and Technology* (First edition). New Jersey: John Wiley and Sons Publication.
34. Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 3187-3796.
35. Tsai, C., Chien, H., Ding, P. and Chen, P. (2004). Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance. *Materials Letters*, 58(9), 1461-1465.
36. Şahin, F. and Namlı, L. (2018). Nanoakışkanlarda kararlılığın ısı transferini iyileştirme açısından önemi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 880 - 898.
37. Ghadimi, A., Saidur, R. and Metselaar, H. (2011). A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(17–18), 4051-4068.
38. Kong, L., Sun, J. and Bao, Y. (2017). Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofluids. *Royal Society of Chemistry Advances*, 7(21), 12599-12609.
39. NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database Bilgisayar Programı.
40. Klinei, S.J., McClintock, F.A. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mechanical Engineering*, 75, 3–8.
41. Yıldız, A., Ersöz, M.A., Gözmen, B. (2014). Effect of insulation on the energy and exergy performances in DAR systems. *International Journal of Refrigeration*, 44, 161-167.



GAZİ GELECEKTİR..