
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

DOLOMİT VE BOKSİT ESASLI NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ISIL SİSTEMLERDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ

Duygu YILMAZ AYDIN

DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2019

Duygu YILMAZ AYDIN tarafından hazırlanan "DOLOMİT VE BOKSİT ESASLI NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ISIL SİSTEMLERDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Ana Bilim Dalı, Üniversite Adı (Örn: Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. ……

Başkan: Unvanı Adı SOYADI

Ana Bilim Dalı, Üniversite Adı (Örn: Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. ……

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Ana Bilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. ……

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Ana Bilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. ……

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Ana Bilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. ……

Tez Savunma Tarihi: ...../……/……

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

……

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.

Duygu YILMAZ AYDIN
27/12/2019

DOLOMİT VE BOKSİT ESASLI NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ISIL SİSTEMLERDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Duygu YILMAZ AYDIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Isı transferi için temel akışkan olarak en çok kullanılan su, etilen glikol, mineral yağlar gibi geleneksel akışkanlar zayıf ısı aktarım karakteristikleri nedeniyle ısıl sistemlerde istenilen performansı sağlayamamaktadırlar. Bu dezavantaj nanopartiküllerin temel akışkan ile süspansiyon oluşturulmasıyla giderilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada temel akışkan olarak su, etilen glikol, etilen glikol-su (50:50) kullanılarak iki adım metoduyla farklı konsantrasyonlarda (%1, %2, %4) dolomit ve boksit nanoakışkanları hazırlanmış, hazırlanan nanoakışkaların termofiziksel özellikleri belirlenmiş ve ısıl sistemlerdeki performansa etkileri incelenmiştir. Spex tipi bilyeli öğütücüde optimum şartlarda sırasıyla 24,5 nm ve 38,9 nm boyutunda dolomit ve boksit nanopartikülleri elde edilmiştir. Nanoakışkanların kararlılıklarının belirlenmesinde zeta potansiyeli ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik, özgül ısı, vizkozite ve yüzey gerilimi gibi termofiziksel özellikleri deneysel olarak ölçülmüştür. Dolomit nanoakışkanının, boksit nanoakışkanına göre daha üstün termofiziksel özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Isı borusu deneylerinde kullanılan sistem, 1 m uzunluğunda, iç ve dış çapı sırasıyla 13 mm ve 15 mm olan çift fazlı kapalı bakır borudur. Deneylerde evaporatör bölümüne 200 W, 300 W ve 400 W ısıtma gücü uygulanmış ve kondenser bölümünde farklı debilerdeki (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) su ile soğutma gerçekleştirilmiştir. Isı borusu duvar sıcaklığı, termal direnci ve verimi temel akışkanların ve nanoakışkanların ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanımıyla ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nanoakışkanlar, üstün termal özelliklerinden dolayı ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında, temel akışkanlara göre evaporatör bölgesinin ortalama sıcaklığını daha fazla düşürmüşlerdir. 200 W ısıtma gücü ve 10 g/s soğutma suyu debisinde dolomit-EG nanoakışkanı çalışma akışkanı olarak kullanıldığında evaporatör bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığı etilen glikol kullanıldığı duruma göre 26,25 °C düşmüştür. 200 W ısıtma gücü, 5 g/s debide, %2 konsantrasyondaki dolomit-su nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusu termal direncinde saf suya göre %36,84 iyileşme görülmüştür. 400 W, 10 g/s debide dolomit-etilen glikol nanoakışkanı çalışma akışkanı olarak kullanıldığında etilen glikole kıyasla ısı borusu veriminde %47 artış sağlamıştır.

Bilim Kodu : 91207
Anahtar Kelimeler : Nanoakışkan, ısı borusu, dolomite, boksit
Sayfa Adedi : 133
Danışman : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF DOLOMITE AND BAUXITE BASED NANOFLUIDS AND EFFECT ON PERFORMANCE OF THERMAL SYSTEMS

(Ph. D. Thesis)

Duygu YILMAZ AYDIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Conventional fluids such as water, ethylene glycol, mineral oils, which are most commonly used as base fluids for heat transfer, cannot provide the desired performance in thermal systems due to their poor heat transfer characteristics. This disadvantage is tried to be overcome by suspending the nanoparticles with the base fluid. In this study, dolomite and bauxite nanofluids were prepared by using two-step method in different concentrations (1%, 2%, 4%) using water, ethylene glycol, ethylene glycol-water (50:50) as the base fluid, and the thermophysical properties of the prepared nanofluids were determined and effects on performance of thermal systems were investigated. Dolomite and bauxite nanoparticles of 24.5 nm and 38.9 nm were obtained in the Spex type ball mill under optimum conditions, respectively. Zeta potential measurement method was used to determine the stability of nanofluids. Thermal conductivity, specific heat, viscosity and surface tension of the prepared nanofluids were measured experimentally. Dolomite nanofluid has superior thermophysical properties compared to bauxite nanofluid. The system used in the heat pipe tests is a two phase closed copper pipe with a length of 1 m, inner and outer diameter of 13 mm and 15 mm, respectively. In the experiments, 200 W, 300 W and 400 W heating power were applied to the evaporator section and cooling was performed with different flow rates (5 g/s, 7.5 g/s, 10 g/s) in the condenser section. Heat pipe wall temperature, thermal resistance and efficiency were investigated separately by using the base fluids and nanofluids as working fluids in the heat pipe and the obtained results were compared. Because of their superior thermal properties, nanofluids have reduced the average temperature of the evaporator section more than base fluids when used as working fluid in the heat pipe. When the dolomite-EG nanofluid was used as the working fluid at 200 W heating power and 10 g/s cooling water flow rate, the average wall temperature in the evaporator section decreased by 26.25 °C compared to ethylene glycol. At a heating power of 200 W and a flow rate of 5 g/s, thermal resistance of the heat pipe improved by 36.84% when 2% concentration of dolomite-water nanofluid was used. At the conditions of 400 W and 10 g/s, the dolomite-ethylene glycol nanofluid used as working fluid provided a 47% increase in heat pipe efficiency compared to ethylene glycol.

Science Code : 91207
Key Words : Nanofluid, heat pipe, dolomite, bauxite
Page Number : 133
Supervisor : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, teorik ve laboratuvar çalışmalarım da bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, ahlaki yönden örnek aldığım çok kıymetli hocam Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım boyunca yaptıkları katkılardan dolayı Sayın Prof. Dr. Canan CABBAR ve Prof. Dr. Adnan SÖZEN hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımda değerli katkılarından dolayı Arş. Gör. Erdem ÇİFTÇİ'ye teşekkür ederim. Hayatım boyunca destek ve dualarını eksik etmeyen sevgili annem, babam, ablam ve abime; Her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen canım eşim Emrullah AYDIN'a, teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunda manevi desteğini benden esirgemeyen Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölüm araştırma görevlilerine çok teşekkür ederim. Bu çalışma 06/2018-22 numaralı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xviii

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. NANOAKIŞKANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 5

2.1. Nanoakışkan Çeşitleri 5

2.1.1. Tek tip nanopartikül içeren nanoakışkanlar 5

2.1.2. Hibrit nanoakışkanlar 6

2.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri 6

2.2.1. İki adım yöntemi 7

2.2.2. Tek adım yöntemi 7

2.3. Nanoakışkanlarda Kararlılık 7

2.3.1. Nanoakışkanların kararlılığını değerlendirme yöntemleri 8

2.3.2. Nanoakışkanların kararlılığını arttırma yöntemleri 11

2.4. Nanoakışkanların Kullanım Alanları 15

2.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri ve Kaynak Araştırması 17

2.5.1. Termal iletkenlik 17

2.5.2. Vizkozite 22

Sayfa

2.5.3. Özgül ısı 25

2.5.4. Yüzey gerilimi 26

3. ISI BORUSUNDA NANOAKIŞKANLARIN KULLANIMI VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 29

3.1. Isı Borusu ve Çalışma Prensibi 29

3.2. Isı Borularında Kullanılan Geleneksel Çalışma Akışkanları 30

3.3. Isı Borusu Çeşitleri ve Uygulamaları 31

3.3.1. Fitilli ısı boruları 31

3.3.2. Titreşimli ısı boruları 34

3.3.3. Termosifon tipi ısı borusu 35

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 39

4.1. Nanopartikül Üretimi 39

4.2. Nanoakışkanların Hazırlanması ve Kararlılıklarının İncelenmesi 40

4.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi 40

4.4. Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisinin İncelenmesi 43

5. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA 45

5.1. Nanopartikül Üretimi 45

5.2. Nanoakışkanların Kararlılıklarının İncelenmesi 50

5.3. Dolomit ve Boksit Esaslı Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi 52

5.3.1. Dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların termal iletkenliklerinin belirlenmesi 52

5.3.2. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların özgül ısılarının belirlenmesi . 56

5.3.3. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerlerinin belirlenmesi 57

Sayfa

5.3.4. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların temas açılarının ve yüzey gerilimlerinin belirlenmesi 59

5.4. Dolomit ve Boksit Esaslı Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisi ... 62

5.4.1. Nanoakışkanların ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi 63

5.4.2. Nanoakışkanların ısı borusu termal direncine etkisi 93

5.4.3. Nanoakışkanların ısı borusu termal verimine etkisi 106

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 119

KAYNAKLAR 123

ÖZGEÇMİŞ 133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Bazı nanopartiküller ve temel akışkanların termal iletkenlikleri 18

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan dolomitin kimyasal içeriği 39

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan boksitin kimyasal içeriği 39

Çizelge 5.1. Temel akışkan olarak suyun kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları ... 56

Çizelge 5.2. Temel akışkan olarak etilen glikolün kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları 56

Çizelge 5.3. Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımın kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları 57

Çizelge 5.4. Saf suyun ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları 59

Çizelge 5.5. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları 60

Çizelge 5.6. Etilen glikol-su (50:50) ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları 60

Çizelge 5.7. Saf su ve farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanların yüzey gerilimleri 61

Çizelge 5.8. Etilen glikol ve SDBS katkılı nanoakışkanların yüzey gerilimleri 62

Çizelge 5.9. Etilen glikol-su (50/50) karışımı ve SDBS katkılı nanoakışkanların yüzey gerilimleri 62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Isı borusu çalışma çevrimi 29

Şekil 3.2. Fitilli ısı borusu 32

Şekil 4.1. Traube stalogmometresi 42

Şekil 4.2. Isı borusunun şematik olarak gösterimi 43

Şekil 4.3. (a) Isı borusu sistemi (b) ısıl çiftlerin konumlandırılması 44

Şekil 5.1. Dolomit için 1:15 kütlece numune /bilye oranında partikül boyut dağılımı . 46

Şekil 5.2. Kütlece dolomit/bilye oranının partikül boyutuna etkisi 46

Şekil 5.3. Dolomitin 7 saat öğütme süresinde elde edilen partikül boyut dağılımı 47

Şekil 5.4. Dolomit için spexte kalma süresinin partikül boyutuna etkisi 47

Şekil 5.5. Boksit için 1:15 kütlece numune /bilye oranında partikül boyut dağılımı 48

Şekil 5.6. Kütlece boksit/bilye oranının partikül boyutuna etkisi 48

Şekil 5.7. Boksitin 9 saat öğütme süresinde elde edilen partikül boyut dağılımı 49

Şekil 5.8. Boksit için spexte kalma süresinin partikül boyutuna etkisi 50

Şekil 5.9. %2 konsantrasyonda hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanlarının zeta potansiyelleri 51

Şekil 5.10. %2'lik dolomit/EG nanoakışkanının zeta potansiyeli grafiği 51

Şekil 5.11. Saf su ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (33 g/s debide) 53

Şekil 5.12. Saf suyun ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (50 g/s debide) 53

Şekil 5.13. Saf su ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (66 g/s debide) 54

Şekil 5.14. Saf su ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (33 g/s debide) 54

Şekil 5.15. Saf suyun ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (50 g/s debide) 55

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.16. Saf suyun ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (66 g/s debide) 55

Şekil 5.17. Saf su, dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri 57

Şekil 5.18. EG-Su, dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri 58

Şekil 5.19. Temas açısı ölçümleri (a) Saf su (b) SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı (c) Triton X-100 katkılı dolomit nanoakışkanı 59

Şekil 5.20. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 63

Şekil 5.21. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 64

Şekil 5.22. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 65

Şekil 5.23. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 66

Şekil 5.24. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 66

Şekil 5.25. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 67

Şekil 5.26. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 68

Şekil 5.27. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 68

Şekil 5.28. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 69

Şekil 5.29. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 70

Şekil 5.30. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 71

Şekil 5.31. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 71

Şekil 5.32. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 72

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.33. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 73

Şekil 5.34. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 73

Şekil 5.35. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 74

Şekil 5.36. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 75

Şekil 5.37. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su içeren nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları 75

Şekil 5.38. %2'lik dolomit ve %2 'lik boksit içeren nanoakışkanların 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları 76

Şekil 5.39. 200 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı 77

Şekil 5.40. 200 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı 78

Şekil 5.41. 200 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı 78

Şekil 5.42. 300 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 79

Şekil 5.43. 300 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 79

Şekil 5.44. 300 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 80

Şekil 5.45. 400 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 81

Şekil 5.46. 400 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 81

Şekil 5.47. 400 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu 82

Şekil 5.48. 200 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 83

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.49. 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 83

Şekil 5.50. 200 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 84

Şekil 5.51. 300 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 85

Şekil 5.52. 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 85

Şekil 5.53. 300 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 86

Şekil 5.54. 400 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 86

Şekil 5.55. 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 87

Şekil 5.56. 400 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 87

Şekil 5.57. 200 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 88

Şekil 5.58. 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit -EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 89

Şekil 5.59. 200 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 89

Şekil 5.60. 300 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 90

Şekil 5.61. 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit -EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 90

Şekil 5.62. 300 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 91

Şekil 5.63. 400 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 91

Şekil 5.64. 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit -EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 92

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.65. 400 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit -EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi 92

Şekil 5.66. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 94

Şekil 5.67. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 95

Şekil 5.68. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 95

Şekil 5.69. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 96

Şekil 5.70. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 97

Şekil 5.71. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi 98

Şekil 5.72. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 99

Şekil 5.73. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 100

Şekil 5.74. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 100

Şekil 5.75. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 101

Şekil 5.76. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 102

Şekil 5.77. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif maddekatkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi . 102

Şekil 5.78. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG ve boksit/EG nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 103

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.79. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG- su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 104

Şekil 5.80. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 104

Şekil 5.81. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 105

Şekil 5.82. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 105

Şekil 5.83. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi 106

Şekil 5.84. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 200W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 107

Şekil 5.85. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 300 W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 108

Şekil 5.86. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 400 W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 108

Şekil 5.87. Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanın 200W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 109

Şekil 5.88. Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanın 300W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 109

Şekil 5.89. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 400W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri 110

Şekil 5.90. Dolomit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 111

Şekil 5.91. Dolomit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 111

Şekil 5.92. Dolomit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 112

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.93. Boksit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 113

Şekil 5.94. Boksit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 113

Şekil 5.95. Boksit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları 114

Şekil 5.96. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 115

Şekil 5.97. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 115

Şekil 5.98. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 116

Şekil 5.99. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 117

Şekil 5.100. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 117

Şekil 5.101. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri 118

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. (a) Spex tipi bilyeli öğütücü (b) reaktörler (c) çelik bilyeler 40

Resim 4.2. Termal iletkenlik ölçümü deney düzeneği 41

Resim 4.3. Kalorimetre kabı 41

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
C	Özgül ısı [kJ kg^{-1} K^{-1}]
η	Verim
R	Isıl direnç [K W^{-1}]
T	Sıcaklık [K]

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CTAB	Setil trimetil amonyum bromür
PVP	Polivinilprolidon
SDBS	Sodyum dodesil benzen sülfonat
SDS	Sodyum dodesil sülfat

1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda enerji tüketiminin optimizasyonu, enerji kaynaklarının eksikliği nedeniyle son derece önemli hale gelmiştir. Bu nedenle, çalışmalar gittikçe artan bir şekilde ısı transfer süreçlerinin performanslarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Çalışma akışkanının seçimi, ısı transfer cihazlarının ısıl verimini belirlemektedir. Günümüzde ısı transferi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan su, etilen glikol ve mineral yağlar gibi geleneksel akışkanların ısıl performansı sınırlıdır. Mevcut araştırma ve geliştirme çalışmalarına rağmen, geleneksel çalışma akışkanlarının düşük termal karakteristikleri, cihazların performansı üzerinde önemli kısıtlamalara neden olmuştur. Son yıllarda, termal performansı iyileştirmek için termal sistemlerde (ısı değiştiriciler, ısı boruları, ısı eşanjörleri vb.) nanopartikül içeren çalışma sıvılarının kullanımına bir eğilim olmuştur. Nanoakışkanlar, genel olarak metalik ya da metalik olmayan katı nanopartiküllerin (karakteristik boyut ~ 1-100 nm) su, yağ ve etilen glikol gibi bir sıvı içerisinde homojen ve kolloidal dağılımlarıdır (Suganthi ve Rajan, 2017).

Nanopartiküllerin, mikropartiküllerden 1000 kat daha fazla yüzey/hacim oranına sahip olduğu bilinmektedir. Isı transferinin parçacığın yüzeyinde meydana gelmesi, nanoakışkanların termal özelliklerinin, mikropartiküllerin kolloidal süspansiyonlarından daha gelişmiş olmasına neden olur. Nanopartiküller, mikropartiküllerle karşılaştırıldığında, süspansiyonda statik koşullarda daha az çökelirler ve temel akışkanda daha uzun süre askıda kalırlar (Upman ve Srivastava, 2014). Nanoakışkanlar ihtiva ettikleri nanopartiküllerden dolayı ısı transferi sistemlerinde kararlılık ve ultra yüksek sıcaklık iletimini sağlamak için kullanılırlar. Ayrıca, nanopartiküller çok küçük olduğundan, erozyonu ve tıkanmayı önemli ölçüde azaltabilirler (She ve Fan, 2018). Nanoakışkanlar için öngörülen diğer yararlar; pompa gücü talebinin azalması ve önemli miktarda enerji tasarrufudur (Tawfik, 2017). Metaller, metal oksitler, karbon nanotüpler, grafen, grafen oksit, grafit, elmas, karbür ve nitrürler vb. nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküllerdir. Nanoakışkanlar; otomobil, güneş enerjisi, mekanik, reaktörlerde ısı değiştiricisi, optik, deterjan, biyomedikal ve elektronik soğutma gibi birçok uygulamada kullanım alanı bulmuştur (Deverdiran ve Amirtham, 2016).

Isı transferi uygulamalarında kullanılan cihazlardan birisi ısı borularıdır. Isı borusu, etkin termal iletkenliğe sahip bir tür pasif ısı transfer cihazıdır. Isı transferi uygulamalarının en önemli yönleri küçük sıcaklık farkları ile verimli ve hızlı ısı transferidir. Isı iletkenliği yüksek ısı boruları bu ihtiyaçları karşılar ve bu nedenle soğutma, havacılık uygulamaları, yakıt hücreleri, güneş enerjisi sistemleri vb. birçok uygulamada kullanılırlar. Farklı teknolojiler ve yöntemler arasında ısı borusu kullanımı; düşük maliyet, hafif ve basit tasarım, enerji tasarrufu nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. Farklı tipte ısı boruları vardır. Termosifon tipi ısı borusu bunlardan biridir. Genel olarak, termosifon tipi ısı borusu yalıtımlı bir borudan ve bu boru içinde dolaştırılan bir çalışma sıvısından oluşur. Evaporatör, adyabatik kısım ve kondenser olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Evaporatör bölgesinden ısı girişi durumunda, çalışma sıvısı, sıvı fazdan buhar fazına geçer ve ısı enerjisini vakum ve doğal taşınımın etkisiyle bir bölgeden diğerine taşır. Buhar, yoğuşma alanındaki düşük sıcaklığın etkisi altında sıvı faza geçer ve yerçekiminin etkisi nedeniyle buharlaştırıcı alanına geri döner (Gupta ve diğerleri, 2017).

Bu çalışmada, dolomit ve boksit nanopartikülleri kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Dolomit; kalsiyum ve magnezyumun çift karbonat bileşiğidir ve kimyasal formülü $CaMg(CO_3)_2$ 'dir. Dolomitin kalsitten ayrı özellikte bir mineral olduğu ilk kez 1791'de Fransız jeolog Deodat de Dolomieu tarafından belirlemiştir. Ülkemizde dolomit hemen hemen bütün bölgelerde çıkarılmaktadır. Dolomit, ekonomik ve çevre dostu bir mineraldir. Beyazlığı, mukavemetinin iyi olması ve maliyet düşürücü olması yönüyle dolomit; boya, kağıt, seramik ve plastik vb. birçok sanayi uygulamasında kullanılmaktadır. Dolomitin termal bozunma süreci iki aşamada gerçekleşmektedir. Dolomitlerde, $MgCO_3/CaCO_3$ oranı değiştiği için, ayrışma sıcaklığı da buna bağlı olarak değişmektedir. Dolomitin magnezyum karbonat bileşiğinin, atmosferik basınçtaki ortalama ayrışma sıcaklığı 725 °C iken kalsiyum karbonat bileşiğinin aynı koşullar altındaki ayrışma sıcaklığı daha yüksektir (Kurt, 2010).

Boksit, diyasporit ($Al_2O_3.H_2O$), böhmit [AlO(OH)], gibsit (hidrarjilit) [$Al(OH)_3$] gibi alüminyum oksit ve alüminyum hidroksitlerin bir karışımı olup genel olarak silis, demir oksitler ve TiO_2 içermektedir. Dünyadaki metal alüminyum üretiminin % 90'ı bu cevherden temin edilmektedir. Bu bakımdan boksit cevheri dünya ticaretinde önemli bir yer tutmaktadır. Rengi, içerdiği demir miktarına bağlı olarak sarı, kahverengi ve kırmızı olabileceği gibi kirli-beyazdan, griye kadar değişmektedir (Car, 2010). Çıkarıldığı yerler

Akseki, Seydişehir, Milas, Mersin, Zonguldak'tır. Boksit, kimyasal bileşimine bağlı olarak endüstride değişik alanlarda kullanılmaktadır. Boksit refrakter sanayinde, uçak ve silah sanayinde, çimento, demir-çelik ve tuğla sanayinde, kimya sanayinde, zımpara kâğıdı ve tozları yapımında, ham şekerin renginin giderilmesinde, çimento yapımında, ferrokrom tesislerinde kullanılır (Madencilik özel ihtisas komisyonu, 2001).

Bu çalışmanın amacı, dolomit ve boksit nanopartiküllleri le farklı temel akışkanlar (su, etilen glikol, etilen glikol-su) kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve bu nanoakışkanların, termosifon tipi ısı borusunun ısıl performansına etkisinin incelenmesidir.

2. NANOAKIŞKANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Nanoakışkanlar, nanopartiküllerin temel akışkanlarla (su, etilen glikol, yağ vb.) oluşturdukları süspansiyonlardır. Nanopartiküller yüksek yüzey alanına sahip olduklarından dolayı daha iyi ısı iletimi sağlarlar. 20 nm'den daha ince parçacıklar, atomlarının % 20'sini yüzeylerinde taşır, bu da onları anında termal etkileşim için uygun hale getirir. Bir başka avantaj, akışkanın mikro konveksiyonunu ve dolayısıyla ısı transferini artırabilen partiküllerin hareketliliğidir. Mikro konveksiyon ve artan ısı aktarımı, sıvının içindeki ısı dağılımını daha hızlı bir şekilde artırır (Das ve diğerleri, 2006). Geleneksel akışkanlarla karşılaştırıldığında daha geniş yüzey alanlı nanopartiküller sadece ısı transfer kabiliyetini iyileştirmekle kalmayıp süspansiyonun kararlılığını da önemli ölçüde artırmaktadırlar. Nanoakışkanlar ısı transfer sistemlerinin verimliliğini arttırırlar. Isıl sistemlerin boyutlarının küçülmesinde rol oynarlar. Performans fiyat karşılaştırması yapıldığında oldukça efektiflerdir. Yapılan çalışmalar nanoakışkanların geleneksel karışımlara nazaran tortulaşma, akışı engelleme, aşınma ve basınç düşüşü gibi problemlere karşı daha etkili olduklarını göstermiştir. Bu nedenle nanoakışkanların iki fazlı sistemlerde çalışma akışkanı olarak kullanılması, sistemin ısıl performansının artmasını sağlamaktadır.

2.1. Nanoakışkan Çeşitleri

Nanoakışkanların eldesinde tek tip metal nanopartiküller (Cu, Fe, Ag, vb.), tek metal oksitler (CuO, Cu_2O, $A1_2O_3$, TiO_2 vb.), metal alaşımları (Cu-Zn, Fe-Ni, Ag-Cu, vb.), çok metalli oksitler ($CuZnFe_4O_4$, $NiFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$ vb.), metal karbürler (SiC, B_4C, ZrC vb.), metal nitrürler (SiN, TiN ve AlN) ve karbon malzemeler (grafit, karbon nanotüpler, elmas vb.) kullanılır (Ali ve diğerleri, 2018). Nanoakışkanlar iki temel kategoride sınıflandırılabilirler.

2.1.1. Tek tip nanopartikül içeren nanoakışkanlar

Bu nanoakışkan kategorisi ilk olarak 1995 yılında önerilmiştir ve tek bir nanoparçacık tipinin kullanıldığı geleneksel nanoakışkan formudur (Choi ve Eastman, 1995). Literatürdeki birçok çalışmada, bu kategorideki nanoakışkanların, temel akışkanlardan

daha üstün termofiziksel özelliklere sahip olmalarından dolayı performans bakımından etkili oldukları bildirilmiştir (Tawfik, 2017; Yang ve Du, 2017; Reddy ve diğerleri, 2017).

Metal nanoakışkanlar

Metal nanoakışkan, saf metalin bir temel akışkanl ile oluşturduğu süspansiyon olarak tanımlanabilir. Metallerin termal iletkenliklerinin yüksek oluşundan dolayı metal nanoakışkanların termal iletkenlikleri diğer nanoakışkanlardan daha yüksektir. Bu tip nanoakışkanlara, Ag, Al, Au, Mg, Zn vb. nanoakışkanlar örnek verilebilir.

Seramik nanoakışkanlar

Seramik nanoakışkanlar, düşük yoğunluklu ve yüksek kararlılık sağlayan seramik partiküllerin temel akışkanlar ile oluşturdukları süspansiyonlardır. Seramik partiküller daha ekonomik ve erişilebilir olduklarından dolayı literatürdeki birçok çalışmada kullanılmışlardır. Bu tip nanoakışkanlara Al_2O_3, CuO, SiO_2, MgO, TiO_2 vb. nanoakışkanlar örnek verilebilir.

2.1.2. Hibrit nanoakışkanlar

Hibrit nanoakışkanlar, birden fazla nanopartikül kombinasyonunun bir temel akışkan içerisinde askıda kalmasıyla elde edilen nanoakışkanların gelişmiş bir çeşididir. Hibrit nanoakışkanların sentezlenmesinin asıl amacı, sinerjik etkiye bağlı olarak tek çeşit nanopartikül içeren nanoakışkanlara göre daha yüksek termal iletkenlik sağlamaktır. Syamsundur ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada hibrit nanoakışkanların tek nanoparçacık tipli süspansiyonlardan daha yüksek termal iletkenliğe ve viskoziteye sahip olduklarını belirlemişlerdir.

2.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Nanoakışkan içerisindeki partiküllerin homojen dağılımı ve nanoakışkanların termofiziksel özellikleri esas olarak kullanılan hazırlama yöntemine bağlıdır. İki benzer nanoakışkan farklı üretim yöntemleri kullanılarak hazırlanacaksa, bunların termofiziksel özellikleri ve topaklanma eğilimlerinin birbirinden farklı olması muhtemeldir. Nanoakışkanların

hazırlanmasında, genel olarak iki yöntem kullanılır; bunlar tek adım yöntemi ve iki adım yöntemidir.

2.2.1. İki adım yöntemi

Bu yöntemde, önce istenen nanopartiküller elde edilir, sonra temel akışkan içerisine stabilitesini ve homojenliğini koruyacak şekilde nanopartiküllerin dağılması sağlanır (Deverdiran ve Amirtham, 2016). Homojen dağılımı sağlamak için manyetik karıştırıcı, ultrasonik su banyosu yada homojenizatörler kullanılır. Yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi nanopartiküllerde kümelenme eğilimi gösterir. İki adım yönteminde kararlılığı arttırmak ve topaklaşmayı önlemek için yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır.

Düşük üretim maliyetine sahip olması ve nanopartiküllerin endüstriyel üretimlerinden dolayı kolay ulaşılabilir olmaları nedeniyle nanoakışkanların hazırlanmasında en çok kullanılan yöntem iki adım yöntemidir (Ali ve diğerleri, 2018). Ayrıca bu yöntemde, büyük miktarlarda nanoakışkan üretilebilme imkânı olduğundan ticarileşme potansiyeli daha yüksektir.

2.2.2. Tek adım yöntemi

Tek adımlı yaklaşım, nanopartiküllerin üretim ve dağılım işlemlerinin tek bir adımda nanoakışkanda birleştirilmesine dayanır. Bu yöntem için kimyasal ıslatma yöntemi, vakum buharlaştırma yöntemi, tozaltı nanoparçacık sentez yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek adım yönteminde genellikle ısı iletim katsayısı yüksek ve hızlı oksitlenebilen metal malzemeler tercih edilmiştir. Bunun nedeni, metal nanopartiküller akışkan ile birlikte sentezlendiğinde havayla teması engellenmektedir. Ancak bu yöntemin bir dezavantajı, yalnızca düşük buhar basınçlı sıvıların işlemle uyumlu olmasıdır bu da yöntemin kullanımını sınırlamaktadır (Li ve Zhou, 2009).

2.3. Nanoakışkanlarda Kararlılık

Partikül-partikül ve partikül-sıvı etkileşimleri nedeniyle oluşan zayıf kararlılık nanoakışkanlar için önemli bir problemdir. Kararsız nanoakışkanlardaki büyük miktarlardaki topaklaşma, sistemin iç yüzeyinde çökelme ve adsorpsiyona neden olabilir;

bu da ısı transfer verimliliğinin düşmesine, pompalama gücünün yükselmesine ve hatta sistem boru bloklarında tıkanmaya neden olabilir (Yang ve Hu, 2017). Bu tür bir davranış iki karşıt kuvvete bağlanabilir: (1) Van der Waals kuvveti, taneciklerin kümelenmelerine veya topaklanmaları neden olur ve daha sonra tanecikler nanaoakışkandan ayrılarak yerçekimi kuvvetiyle dibe çökerler. (2) Elektriksel çift katmanlı itme kuvveti, partikülleri birbirinden sterik ve elektrostatik itme mekanizmalarıyla ayırma eğilimindedir (Bushehri ve diğerleri, 2016; Hong ve Kim, 2012; Arthur ve Karim, 2016). Kararlı bir nanoakışkan elde etmek için, elektriksel çift katmanlı itme kuvvetinin, Van der Waals çekme kuvvetine göre baskın olmalıdır. Diğer bir deyişle, nanoakışkanların kararlılığını sağlamak için partiküller arasında etkileşimi azaltmak ve itme kuvvetlerini etkin hale getirmek gerekmektedir.

2.3.1. Nanoakışkanların kararlılığını değerlendirme yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılıklarının değerlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler vardır. Bunlar; zeta potansiyeli ölçümü, sedimentasyon yöntemi, ultraviyole-görünür bölge absorpsiyon spektroskopi yöntemi, elektron mikroskopi yöntemi ve dinamik ışık saçılım yöntemidir.

Zeta potansiyeli ölçümü

Nanopartiküller arasındaki itme kuvvetinin elektriksel potansiyel değerine zeta potansiyeli denilmektedir. Milivolt cinsinden ölçülür. Zeta potansiyel değeri partikül yüzey yüküne göre negatif veya pozitif değerler alabilmektedir. Yüksek zeta potansiyeline sahip nanoakışkanlar (negatif ya da pozitif) elektriksel olarak kararlıyken düşük zeta potansiyeline sahip olanlar koagüle olma ya da topaklanma eğilimindedirler. Nanoakışkanlar için zeta potansiyeli değeri 15 mV ve 30 mV aralığında olduğunda çökelti oluşumu kısa sürede gözlenir, 30 mV değerinde kararlılık sağlanır fakat 45 mV ve üzerinde kararlılığın çok iyi olduğu söylenebilir (Babita ve diğerleri, 2016).

Lee ve diğerleri (2008), yaptıkları çalışmada, hacimce %0,1 Al_2O_3 nanopartikülleri ve deiyonize su kullanarak nanoakışkan hazırlamışlardır. 5 saat sonikasyon uygulamışlardır. Hazırladıkları nanoakışkanın kararlılığını belirlemek için zeta potansiyeli ölçümü yapmışlardır. Nanoakışkanın zeta potansiyelini 34 mV olarak belirlemişlerdir. Zeta

potansiyeli ölçümü sonucuna göre hazırlanan Al_2O_3-su nanoakışkanının kararlı yapıda olduğunu tespit etmişlerdir.

Kim ve diğerleri (2009), partikül büyüklüğü 7,1 ile 12,11 nm arasında değişen, herhangi bir yüzey aktif madde ilave edilmeden altın/ su nanoakışkanları hazırlamışlardır. Nanoakışkanların kararlılığını, zeta potansiyeli ölçümü ile belirlemişlerdir. Hacimce % 0,018 nanopartikül içeren nanoakışkanın zeta potansiyelini −32,1 mV; hacimce 0,0025 nanopartikül içeren nanoakışkanın zeta potansiyelini −38,5 mV olarak bulmuşlardır ve nanoakışkanların kararlı yapıda olduklarını belirlemişlerdir.

Mondragon ve diğerleri (2012), silika nanopartikül derişim artışının silika nanoakışkanlarının kararlılığı üzerine etkisini incelemişlerdir. Nanopartiküllerin % 2'den % 20'ye kadar kütlece derişiminin artması, zeta potansiyel değerini -48.63 mV'dan -16 mV' a kadar düşürmüştür. Kütlece % 20 nanopartikül içeren nanoakışkanın minimum 48 saat kararlılık gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Sedimentasyon yöntemi

Nanoakışkanların içerisindeki nanopartiküllerin çökelme miktarlarını gözlenerek kararlılıklarının analiz edilmesi yöntemine sedimentasyon yöntemi denir. Sedimentasyon yöntemi en basit nanoakışkan kararlılık belirleme yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem, şeffaf bir derecelendirilmiş cam tüp içerisine hazırlanmış nanoakışkandan doldurularak zamanla çökelme hacminin veya miktarının ölçülmesi prensibine dayanır (Şahin ve Namlı, 2018). Gözlemlenen nanoakışkanın, partikül ebadı ve dağılması zamanla sabit kaldığında yani çökelme olmadığında kararlı olduğu kabul edilir. Partikül boyutu küçüldükçe, çökelme hızı yavaşlar. Bu nedenle temel akışkan içerisindeki büyük boyutlu partiküllerle karşılaştırıldığında nanopartiküllerin çökelme hızı daha yavaş olacaktır. Sedimentasyon, diğer tekniklerle karşılaştırıldığında çok yönlü ve ucuz bir tekniktir. Sedimentasyon, akışkan fotoğraflandırılıp görüntü alınarak analiz edilebilir. Çökelti fotoğrafçılığı, nanoakışkanların görsel olarak kararlılığını tahmin etmenin en kalitatif ve en basit yöntemidir (Babita ve diğerleri, 2016).

Ultraviyole-Görünür bölge absorpsiyon spektroskopi yöntemi

Nanoakışkanların kararlılığını değerlendirmek için bir başka yararlı ve etkili teknik UV-spektroskopisidir. İlk olarak Jiang ve diğerleri (2003) nanoakışkanların kararlılığını değerlendirmek için UV-vis spektrofotometreyi önermişlerdir. Eğer bir nanoakışkanın karakteristik absorpsiyon bandı 190-1100 nm dalga boyundaysa, o zaman spektral absorbans metodu nanoakışkanların kararlılığını değerlendirmek için güvenilirdir (Yu ve diğerleri, 2012). Bu yöntem, absorbans değeri çözeltinin konsantrasyonu ile doğrudan orantılı olduğu için, Beer-Lambert yasasına dayanır. Dolayısıyla, bu teknik, nanoakışkanların konsantrasyonuna karşılık gelen nicel sonuçlar elde etmek için kullanışlıdır (Mukherjee ve Paria, 2013). Bu teknik, yüksek konsantrasyonlu ya da koyu renkli nanoakışkanlar için uygun değildir. Çünkü yüksek konsantrasyonlu nanoakışkanlar ışığın yüksek emilimine yol açmakta ve veri kalitesini düşüren dağınık ışığın şiddetini azaltmaktadır (Ghadimi ve diğerleri, 2011)

Elektron mikroskopi yöntemi

Elektron mikroskopisi, geçirimli elektron mikroskobu (TEM) veya taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazları kullanılarak nanopartiküllerin dağılımını ve bir araya gelerek topaklanmasını gözlemleyerek nanoakışkanların stabilitesini araştırmak için kullanılan genel bir tekniktir. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), kafes görüntülerinde yaklaşık 0.1 nm'ye ulaşabilen çok yüksek bir çözünürlük sağlar. Elektron mikrografisi olarak bilinen dijital görüntüleri yakalar (Kong ve diğerleri, 2017). Elde edilen görüntüler içinde nanopartikül kümeleri bulunursa, sedimantasyon mekanizmasının ortaya çıkması muhtemeldir yani, nanoakışkanın kararsız olduğu kabul edilir.

Duangthongsuk ve Wongwises (2009), TiO_2/su nanoakışkanındaki TiO_2 nanoparçacıklarının büyüklüğünü belirlemek için Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) kullandı. Nanopartiküllerin, ortalama çapının yaklaşık 21 nm ve küresel şeklinde olduğu bulundu. Li ve diğerleri (2007,c), Cu/su nanoakışkanının TEM görüntülerini kullanarak, nanoparçacıkların küresel yada küresele yakın bir şekle sahip olduklarını ve akışkanda iyi şekilde dağılmış olduğunu gözlemlemişlerdir. Seob Kim ve diğerleri (2017), tek adım yöntemi ile Cu/etanol, Ni/etanol, Cu/etilen glikol, Ni/etilen glikol nanoakışkanlarını hazırlamışlardır. TEM görüntülerini kullanarak partiküllerin küresel

olduğunu ve 100 nm' den küçük olduklarını belirlemişlerdir. Ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntülerden temel akışkan olarak etilen glikolün kullanılması halinde etanole göre daha iyi dağılım elde edildiğini, en ince parçacık boyutuna sahip Cu/etilen glikol nanoakışkanının en yüksek kararlılığa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dinamik ışık saçılımı (DLS)

1 nm'ye kadar parçacık boyutlarını ölçmek için kullanılan popüler bir tekniktir. Teknik, bir sıvı numunesinde dağılmış nanoparçacıkları aydınlatmak için bir lazer kullanır. Nanopartiküller Brownian hareketi nedeniyle numune boyunca hızla hareket eder. Bir foton detektörü ortaya çıkan saçılmış ışık dalgalanmalarını kaydeder, verileri parçacık hızına dönüştürür ve ardından hız verilerinden parçacık büyüklüğü ve parçacık büyüklüğü dağılımını hesaplar. Bu nedenle, DLS tekniği, değişken partikül ebadını ölçerek zamanla nanoakışkan stabilitesini izlemek için kullanılır. Kararlı nanoakışkanlar zaman içinde sabit bir ortalama parçacık boyutuna sahip olurken, kararsız nanoakışkanlar zamanla artan parçacık boyutlarına sahip olacaktır. Bu nedenle, hem su bazlı hem de yağ bazlı nano-akışkanların uzun vadeli stabilitesini izlemek için DLS tekniği kullanılabilir.

2.3.2. Nanoakışkanların kararlılığını arttırma yöntemleri

Literatürde nanoakışkanların kararlılığını arttırmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Nanoakışkanların kararlılığını arttırmak için kullanılan yöntemler arasında; yüzey aktif madde ilavesi, ultrasonik karıştırma ve pH kontrolü sayılabilir.

Yüzey aktif madde ilavesi

Nanoakışkanların hazırlanması için, genellikle iki bileşen, yani nanopartiküller ve temel akışkan gereklidir. Nanoakışkanın kararlılığı, nanopartiküllerin çeşidine ve kullanılan temel akışkana bağlıdır. Nanopartiküller hidrofobik veya hidrofilik olabilir ve temel akışkanlar polar veya apolar olabilir. Oksit nanopartikülleri gibi hidrofilik nanopartiküller, su gibi polar temel akışkanların içinde kolayca dağılabilirler ve karbon nanotüpler gibi hidrofobik nanopartiküller, üçüncü bir bileşen gerektirmeden yağlar gibi polar olmayan temel akışkanlar içinde dağılabilirler. Ancak, hidrofobik nanopartiküllerin polar temel akışkanlar içerisinde ve hidrofilik nanopartiküllerin polar olmayan temel akışkanlar

içerisinde dağılması durumunda nanoakışkanları kararlı hale getirmek için yüzey aktif maddelerin eklenmesi gerekir. Yüzey aktif maddeler, nanopartiküller ve temel akışkanlar arasında bir köprü görevi görür ve süreklilik sağlar (Herman ve diğerleri, 2012; Babita ve diğerleri, 2016). Dört farklı çeşit yüzey aktif madde sınıfı vardır. Bunlar; Anyonik yüzey aktif maddeler (Sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS), Sodyum dodesil sülfat (SDS), Amonyum lauril sülfat, Potasyum lauril sülfat, Sodyum stearat, vb.), katyonik yüzey aktif maddeler (Setil trimetil amonyum bromür (CTAB), Benzalkonyum klorür, Setrimonyum klorür, Distearil dimetilamonyum klorür, vb.), iyonik olmayan yüzey aktif maddeler (Gum arap (GA), Polioksietilen (10) nonilfenil eter, Polivinilpirolidon (PVP), Tween 80, Tween X-100, Stearil alkol, Oleik asit, Oleyl amin, Rokanol K7, Rokacet O7, vb.), amfoterik yüzey aktif maddelerdir (Lesitin, Sodyum lauroamphoasetat, Hidroksisültain, Cocamidopropil betain, vb.).

Islam ve diğerleri (2003) tek duvarlı karbon nanotüp/su nanoakışkanını Sodyum dodesil benzen sülfonat yüzey aktif maddesi kullanarak hazırlamışlardır. Hazırlanan nanoakışkanın üç ay süreyle kararlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Song ve diğerleri (2015) paslanmaz çelik nanopartikülleri ile temel akışkan olarak su kullanarak nanoakışkan hazırlamışlardır. Yüzey aktif madde olarak heksadesil trimetil amonyum bromür (CTAB) kullanmışlardır. Nanoakışkanının kararlı kaldığı süreyi on gün olarak tespit etmişlerdir.

Li ve diğerleri (2007b), temel akışkan olarak su kullanarak bakır nanoakışkanları hazırlamışlardır. Üç farklı yüzey aktif madde kullanarak zeta potensiyeli ölçümü yapmışlardır. Hazırladıkları nanoakışkanların kararlılıklarını, heksadesil trimetil amonyum bromür (CTAB), sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS) ve nonil fenil eter (TX-10) kullandıklarında sırasıyla 28,1; 43.8; 8,3 bulmuşlardır. Yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil benzen sülfonat kullandıklarında en yüksek kararlılıkta nanoakışkan elde etmişlerdir.

Yang ve diğerleri farklı yüzey aktif maddelerin (poliakrilik asit (PAA), Setil trimetil amonyum bromür (CTAB) ve sodyum dodesil benzen sülfonat (SDBS)) α-Al2O3 nanoakışkanının kararlılığına etkisini incelemişlerdir. PAA yüzey aktif maddesi

kullanıldığında en iyi dağılım elde edildiğini ve yüzey aktif madde konsantrasyonu arttıkça kararlılığın azaldığını belirlemişlerdir.

Timofeeva ve diğerleri (2011) temel akışkanın ısı transfer verimliliğini arttırmak için 15 nm silisyum dioksit nanoparçacıklarını sentetik yağ ve Therminol 66 (TH66) akışkanlarına eklemişlerdir. Yüzey aktif madde olarak ağırlıkça %5 benzethonium klorür (BZC), benzalkonyum klorür (BAC) ve heksadesil trimetil amonyum bromür CTAB kullanmışlardır. % 1'lik SiO_2/TH66 nanoakışkanı yüzey aktif madde ile ve yüzey aktif madde eklenmeden 50 dakika sonikasyona tabi tutulmuştur. 24 saat boyunca numunelerin görsel görünümü, yüzey aktif maddelerin, nanoakışkanların stabilitesini arttırdığını, BAC' nin ise en yüksek dağılım sağladığını göstermiştir.

Sözen ve diğerleri (2018) farklı iki yüzey aktif madde (Triton X-100, SDBS) kullanarak hazırladıkları TiO_2/su nanoakışkanınların termosifon tipi ısı borusunda termal performanslarını incelemişlerdir. Su ile kıyaslandığında SDBS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ısı borusu termal direncini %43,26 oranında düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Krishnam ve diğerleri (2016) bor nitrür (BN) nanoakışkanlarınınn ısıl sistemlerde kullanılıp kullanılamayacağının anlaşılması için ısıl iletim katsayısı, özgül ısısı ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Bornitrür (BN) nanoakışkanların sentezlenmesi deiyonize su temel akışkan olarak tercih edilerek iki aşama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. BN tozu (100nm) bilyalı öğütücüde (1:10 kütle oranında) 60 saat boyunca çalıştırılmış ve 80 nm boyutunda nanopartiküller elde edilmiştir. Daha sonra nanoakışkan 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda kalmış ve sonrasında 2 saat boyunca ultrasonik banyoda bırakılmıştır. Kararlılık incelemesi için nanoakışkanların zeta potansiyeli ölçülmüş ve UV-vis spektrometre kullanılmıştır. BN nanoakışkanının kararlılığı, yüzey aktifleştiricisi kullanmadan ve % 0,001-0,1 derişimlerde kullanarak incelenmiştir. Yüzey aktifleştirici kullanılmayan durumda zeta potansiyeli ölçülerek nanoakışkanın daha kararlı olduğu sonucuna (her ne kadar literatürde diğer nanoakışkanlarda durum tam tersi olsa da) varılmıştır.

Hormozi ve diğerleri (2016) Al_2O_3- Ag hibrit nanoakışkanınısı değiştiricideki termal performansı üzerine farklı konsantrasyonlardaki (%0,1-0,4) yüzey aktif maddelerin (SDS, PVP)) etkisini incelemişlerdir. %0,2 konsantrayonda hibrit nanoakışkan ve % 0,1

konsantrasyonda SDS aniyonik yüzey aktif maddesini kullandıklarında maksimum termal performansı elde etmişlerdir bu değer saf distile suyun performansından %16 daha fazladır.

Ultrasonik karıştırma

Ultrasonik dalgaların akışkan içinde kullanılmasına dayanan fiziksel bir yöntem olan ultrasonik karıştırma işlemi, çökelti içindeki nanopartiküllerin çekim kuvvetini parçalayarak nanoakışkanın stabilitesini arttırmak için kullanılır. Prob tipi ve banyo tipi olmak üzere iki tip ultrasonikatör vardır. Sonikasyon süresi yapılan çalışmaya göre değişmektedir. Fakat sonikasyon süresi optimize edilmelidir çünkü sonikasyon süresinde artış nanoparçacıkların boyutunu azaltabilir. Uzun süreli sonikasyon ayrıca, nanoakışkanlarda bulunan yüzey aktif maddelere zarar verebilir (Babita ve diğerleri, 2016).

Chen ve Wen (2011), 10 ila 60 dakika arasında değişen sonikasyon süresiyle altın/su nanoakışkanı hazırlamışlardır. Ultrasonikasyon süresindeki artışın koagüle olmuş nanopartiküllerin miktarını azalttığını doğrulamışlardır. 45 dakikalık sonikasyon uygulamasından sonra, nanoakışkanlar içinde mevcut olan aglomere nanopartiküllerin boyutunda herhangi bir azalma olmamıştır. Bu nedenle, her nanoakışkan için optimum sonikasyon süresi olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Mahbubul ve diğerleri (2017) iki adım yöntemiyle TiO_2/su nanoakışkanı hazırlamışlardır. 30, 60 90, 120, 150, 180 dakika sürelerinde ultrasonikasyon uygulamışlardır. Deneysel sonuçlara göre en uzun süre kararlılık sağlamak için optimum ultrasonikasyon süresinin 150 dakika olduğunu tespit etmişlerdir. 150 dakikadan daha fazla uygulanan sonikasyon süresi nanopartiküllerin yeniden aglomere olmasına neden olmuştur.

Azmi ve diğerleri (2016), 50 nm partikül boyutunda ağırlıkça %40 TiO_2 nanopartikülleri ve temel akışkan olarak su-etilen glikol (60:40) karışımı kullanarak hazırladıkları nanoakışkanı, 30 dakika karıştırıcıda karıştırmış iki saat ultrasonik banyoda bekletmişlerdir. FESEM ve TEM kullanarak kararlılık araştırmaları yapmışlardır. Hazırlanan nanoakışkanın 7 aydan daha uzun süre kararlı olduğuu gözlemlemişlerdir.

Mahbubul ve diğerleri (2016) hacimce %0,5 Al_2O_3 nanopartiküllerini distile suda 0-5 saat aralığında farklı sürelerde ultrasonikasyonla dağılımını sağlamışlardır. Nanopartiküllerin

dağılımını elektron mikroskopisi ile incelemişlerdir. Araştırmacılar daha iyi kararlılık ve bunun yanı sıra daha düşük viskozite elde etmek için yüksek ultrasonikasyon süresinin gerekli olduğunu tespit etmişlerdir. TEM analizi sonucuna göre 2 saat ultrasonikasyondan sonra daha iyi partikül dağılımı gözlemlemişlerdir.

pH kontrolü

Nanoakışkanların pH değeri nanopartiküllerin yüzeyiyle ilişkilidir ve pH değişimi kararsız nanopartiküllerin stabilitesini güçlü bir şekilde iyileştirebilir (Choudhary ve diğerleri, 2017). Bunun nedeni nanoakışkanın stabilitesinin doğrudan elektrokinetik özellikleri ile ilişkili olmasıdır. Bu nedenle, nanoakışkanın pH değeri değiştirilerek zeta potansiyeli arttırılabilir ya da azaltılabilir. Bir nanoakışkanın pH değeri, uygun bir reaktif olmayan alkali veya asidik çözelti eklenerek arttırılabilir veya azaltılabilir (Azizian ve diğerleri, 2016).

Li ve diğerleri (2007,a) SDBS katkılı bakır/su nanoakışkanının kararlığı üzerinde pH etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkanın kararlılığının pH 9,5 değerinde oldukça iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ju ve diğerleri (2012), temel akışkan olarak deiyonize su ve yüzey aktif madde olarak SDBS kullanarak hazırladıkları karbon nanotüp (CNT) nanoakışkanları üzerine pH etkisini incelemişlerdir . Elde edilen sonuçlara göre, CNT'lerin topaklaşma kinetiği pH'a bağımlılık göstermiştir. CNT partiküllerinin topaklaşması, pH 3'ten 10'a yükselirken önemli ölçüde azalmıştır.

2.4. Nanoakışkanların Kullanım Alanları

Isı transfer işlemlerinin verimliliğinin arttırılmasına yönelik yeni teknolojilere ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Nanoakışkanlar üstün termal özelliklerinden dolayı ısı transfer işlemlerinde ısıl verimliliği artırmak için kullanılmaktadırlar.

Soğutma, birçok sektörün karşılaştığı önemli zorluklardan biridir. Soğutma oranını arttırmanın geleneksel yolu, ısı transfer alanını arttırmaktır. Pompalama maliyetleri ile ısı transferi arasında bir denge var. Alan büyüdükçe, sıvıyı ısı değiştiriciden geçirmek için

gereken enerji de artar. Isı transfer alanının daha da artması, termal yönetim sisteminin boyutunun arttırılmasını gerektirir. Isı değiştirici tasarımında yüksek verimli ısı transfer akışkanları geliştirmek önemli bir parametredir. Nanoakışkanlar motor soğutucu olarak otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Nanoakışkanlar yakıt tasarrufuna neden olarak radyatörün boyutunu düşürülmesini sağlar (Ganvir, 2017).

Nanopartiküllerin katı yakıtlara ve itici gazlara eklenmesi çeşitli çalışmaların bir parçası olmuştur. Bu tür çalışmalar, kısa ateşleme gecikmesi artan enerji yoğunluğu ve yüksek yanma oranları gibi itici gazlara ve katı yakıtlara nanopartikül eklemenin birçok avantajı olduğunu göstermiştir.

Ticari bir ısı değişirici de nanoakışkanların kullanımına ilişkin birçok çalışma mevcuttur. Nanoakışkanlar üstün termal özellikleri nedeniyle ısı iletimini ve termal verimliliği arttırmaktadır. Bir ısı değiştirici içindeki akış tipinin (laminer veya türbülanslı) nanoakışkanın etkinliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Isı alışverişi ekipmanı türbülansı destekleyen koşullar altında çalıştığında, nanoakışkanların kullanımı, ancak bunların ısı iletkenliklerindeki artışa, elde edilmesi çok zor gibi görünen viskozitedeki bir artışın eşlik etmesi durumunda faydalı olmaktadır.

Güneş enerjisi, özellikle diğer kaynaklar tükendiğinde, tüm yenilenebilir enerji kaynakları için en büyük potansiyele sahiptir. Güneş enerjili su ısıtıcıların verimliliğini artırmak için birçok yöntem uygulanmıştır. Güneş enerjili su ısıtıcılarından, Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) tesislerine kadar uzanan güneş termal cihazlarının performansını artırmak için nano akışkanlar kullanılabilir (Tawfik, 2017). Güneş enerjisi kolektörlerinin performansı, çalışma akışkanının özelliklerine bağlıdır. Geleneksel akışkanların zayıf ısı transfer özellikleri, sistemin yüksek kompaktlık ve etkinliğinin önündeki en büyük engeldir. Temel girişim, geleneksel akışkanlardan birkaç yüz kat daha yüksek termal iletkenliğe sahip katı nanopartikülleri kullanmaktır. Nanoakışkanlar geleneksel güneş enerjili su ısıtıcısının verimliliğini arttırmaktadırlar. Ek olarak, nanopartiküller, sıvının doğrudan güneş enerjisini emmesini sağlayan bir ortam sağlarlar. Ayrıca, nanoakışkanların foto termal özellikleri, kızılötesi bölgedeki düşük emisyonu gibi, temel akışkanlar ile karşılaştırıldığında gelişmiş optik özellikler gösterirler.

Nanoakışkanlar jeotermal enerji uygulamalarında da kullanılmaktadırlar. Yerin yüzeyinden çok fazla derinliklere inilmesi ile sıcaklık artışı olmaktadır bu durumda nanoakışkanlar soğutma akışkanı olarak kullanılabilmektedirler. Ayrıca jeotermal uygulamalarda karşılaşılan bir zorluk olan titreşim ve sarsıntılara karşı yüksek enerji salınımlarını emebildiklerinden dolayı dirençli akışkan olarakta nanoakışkanlar tercih edilebilmektedirler (Hussein, 2015).

Nanoakışkanlar ve nanopartiküller biyomedikal endüstrisinde birçok uygulamaya sahiptir. Demir bazlı nanopartiküller, yakındaki sağlıklı dokuya zarar vermeden ilaçlar veya radyasyon için dağıtım aracı olarak kullanılabilirler (Tawfik, 2017). Bu partiküller, kan akışında vücuda harici mıknatıslar kullanan bir tümöre yönlendirilebilirler. Nanoakışkanlar, cerrahi bölge çevresinde etkili soğutma üreterek ve organ hasarı riskini azaltarak daha güvenli cerrahi için de kullanılabilirler. Biyoakışkanlardaki manyetik nanopartiküller, yeni kanser tedavi teknikleri sağlayan ilaçlar veya radyasyon için dağıtım aracı olarak kullanılabilirler. Manyetik nanopartiküller, insanlara tolere edilebilen AC manyetik alanlardaki mikropartiküllerden çok daha fazla güç emerler. Nanopartiküller, tümör hücrelerine normal hücrelere göre daha yapışkandır, bu nedenle bir AC manyetik alanı tarafından uyarılan manyetik nanopartiküller, kanser tedavisi için umut vericidir (Jordan ve diğerleri,1999; Wong ve Leon, 2010).

2.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri ve Kaynak Araştırması

Temel akışkana nanopartiküllerin ilave edilmesi, ısı iletkenlik, viskozite ve konvektif ısı transferini etkileyen özgül ısı gibi termofiziksel özelliklerde değişime neden olur. Farklı nanomalzemeler temel akışkanın termofiziksel özelliklerini farklı ölçüde değiştirir. Nanopartiküllerin konsantrasyonu, şekli ve büyüklüğü, termofiziksel özellikleri önemli ölçüde değiştiren başlıca faktörlerden bazılarıdır.

2.5.1. Termal iletkenlik

Nanopartiküller, ısı transferi uygulamalarında kullanılan geleneksel akışkanlara eklendiklerinde, termal iletkenliklerinin temel akışkandan daha yüksek olması durumunda eklendikleri akışkanın termal iletkenliğini arttırırlar. En yaygın kullanılan nanopartikül çeşitlerinin ve temel akışkanların termal iletkenlikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı nanopartiküller ve temel akışkanların termal iletkenlikleri

Malzeme cinsi	Malzeme adı	Termal iletkenlik (W/m.K)
Metalik katılar	Cu	401
	Al	237
	Ag	428
	Au	318
	Fe	83,5
Metalik olmayan katılar	Al_2O_3	40
	CuO	76,5
	SiC	270
Temel akışkanlar	H_2O	0,613
	Etilen glikol	0,253
	Motor yağı	0,145

Nanoakışkanların termal iletkenliklerinin temel akışkana göre daha iyi olmasının bir sebebi; nanopartiküllerin akışkan içerisindeki moleküller ile çarpıştıklarında rastgele yönde hareket etmeleridir. Bu hareket, nanopartikül-sıvı süspansiyonlarının termal davranışını kontrol eden anahtar bir mekanizma olan Brownian hareketi olarak tanımlanır. Partikül boyutu küçüldükçe Brownian hareketi ve hareket etkinliği artar. İkinci sebep, ara yüzey katmanı (nano katman), yani katı bir parçacık yüzeyine yakın sıvı moleküller tabakalı yapılar oluşturur. Bu katmanlı yapılar, nanopartiküller ve sıvı arasında bir termal köprü görevi görür ve termal iletkenliği arttırır. Nanoakışkanların termal iletkenliklerini ölçmek için kullanılan yöntemler şunlardır; geçici sıcak tel metodu, geçici düzlem kaynağı yöntemi, sıcaklık salının tekniği, kararlı hal paralel plaka tekniği ve optik yöntemdir.

Literatürde farklı temel akışkan (etilen glikol, propilen glikol, metanol, gliserol, dişli yağı, motor yağı, parafin vb) ve farklı nanopartiküllerle yapılan çalışmalar mevcuttur. Termal iletkenliğe etki eden birçok parametre vardır. Bunlardan bazıları; nanopartikülün konsantrasyonu, nanopartikülün boyutu, sıcaklık, temel akışkanın çeşididir.

Nanopartikül konsantrasyonunun termal iletkenliğe etkisi

Yapılan çalışmalarda nanopartikül konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın termal iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Fakat belli bir konsantrasyon değerinden sonra topaklanma başladığından termal iletkenliğin düştüğünü belirten çalışmalar mevcuttur.

Duangthongsuk ve Wongwises (2009) hacimce % 0,2-2 aralığında farklı konsantrasyonlarda hazırladıkları TiO_2-su nanoakışkanlarının termal iletkenliklerini ölçmüşlerdir. Termal ilektenliğin partikül konsantrasyonu ve sıcaklık (15 °C-35 °C aralığında) arttıkça arttığını gözlemlemişlerdir. Hacimce %0,2-2 nanopartikül kullanıldığında, temel akışkana göre termal iletkenliğin %3-7 aralığında artış gösterdiği bulunmuştur.

Suresh ve diğerleri (2011) farklı nanopartikül konsantrasyonuna (hacimce % 0,1-2) sahip Al_2O_3-Cu /su hibrit nanoakışkanınlarının termal iletkenliklerini incelemişlerdir. Termal iletkenliğin nanopartikül konsantrasyonunun bir fonksiyonu olduğu sonucuna varmışlardır. Suya, hacimce %2 nanopartikül eklendiğinde termal iletkenliğin %12,11 arttığını gözlemlemişlerdir.

Gandhi ve diğerleri (2011) grafen-su nanoakışkanını hacimce %0,001-0,2 aralığında farklı nanopartikül konsantrasyonlarında hazırlayarak termal iletkenlik ölçümü yapmışlardır. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça termal iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir. %0,2 konsantrasyondaki nanoakışkanın termal iletkenliği, temel akışkana göre %27 artış göstermiştir.

Saholi ve Sabbaghi (2013) ağırlıkça % 0,01-0,1 aralığında değişen farklı konsantrasyonlardaki CuO/etilen glikol-su nanoakışkanlarını hazırlamışlardır. CuO partikül çapı 15 nm'dir. Temel akışkana eklenen nanopartiküllerin miktarı arttıkça, termal iletkenliğin arttığını gözlemlemişlerdir. Fakat belli bir zamandan sonra nanopartiküller aglomere olmuş ve nanoakışkan kararsız hale gelmiştir, dolayısıyla termal iletkenlik nanoakışkandaki CuO nanopartikül miktarı arttıkça azalmaya başlamıştır. Maksimum termal iletkenlik artışı, 70 °C'de % 0,06 nanopartikül konsantrasyonunda %1,66 olarak elde edilmiştir.

Nadooshan yaptığı çalışmada (2017) ZnO/su-etilen glikol nanoakışkanını hazırlamıştır. Temel akışkan olarak %30 etilen glikol %70 su karışımı kullanılmıştır. Performans deneyleri farklı sıcaklıklarda (20 -50 °C) ve farklı nanopartikül konsantrasyonlarında (hacimce 0,125%, 0,25%, 0.5%, 1%, 2% ve 4%) yapılmıştır. ZnO partikülleri aglomerasyon olmaması için manyetik karıştırıcıda iki saat karıştırılmıştır. Daha sonra nanoakışkan 7 saat boyunca manyetik dalgalara maruz bırakılmıştır. Termal iletkenliğin,

nanopartikül konsantrasyonu arttıkça artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. % 4 nanopartikül konsantrasyonunda ve 50 °C'de termal iletkenliğin %20 artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Nanopartikül konsantrasyonunun arttırılması, büyük kayma gerilmelerine neden olmakta ve fazla pompalama gücü gerektirmektedir. Bu nedenle hazırlanan nanoakışkanlarda uygun nanopartikül konsantrasyonunun seçimi önemlidir (Ganvir ve diğerleri, 2017).

Nanopartikül boyutunun termal iletkenliğe etkisi

Kim ve diğerleri (2007), ZnO-su nanaoakışkanını hacimce %3 oranında farklı ZnO partikül boyutlarında hazırlamışlardır. 10 nm, 30 nm ve 60 nm boyutlarında nanopartikül kullanıldığında sırasıyla %14,2, %11,5 ve %7,3 oranlarında termal iletkenlik artışı gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmada 10 nm, 34 nm ve 74 nm boyutlarında partiküller kullanılarak hacimce %3 oranında TiO_2-su nanoakışkanının termal iletkenliği belirlenmiştir. Termal iletkenliklerde artış sırasıyla; %11,4, %8,7, %6,4 olarak bulunmuştur. Nanopartikül boyutunun küçülmesi, termal iletkenlik üzerinde olumlu yönde etki göstermiştir.

Li ve diğerleri (2007), Al_2O_3-su nanoakışkanını hacimce %6 oranında hazırlamışlardır. İki farklı boyutta partiküller kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuca 36 nm parçacık boyutuyla hazırlananan nanoakışkan, suya göre termal iletkenliği %28 oranında arttırırken ve 47 nm boyutunda nanopartikül kullanılarak hazırlanan nanonakışkan %26 oranında bir artış oluşturmuştur. Nanopartikül boyutu küçüldükçe termal iletkenlik artmıştır.

Chopkar ve diğerleri (2008), Al_2Cu-su nanoakışkanını %2 konsantrasyonda hazırlamışlardır. Partikül boyutu 101 nm olduğunda termal iletkenlik suya göre %61 oranında arttırırken, 31 nm olduğunda termal iletkenlikte %96 oranında artış görülmüştür. Aynı çalışmada Al_2Cu/etilen glikol nanoakışkanı %2 konsantrasyonda hazırlanmıştır. 101 nm boyutunda partikül kullanıldığında termal iletkenlik artışı %56 iken 31 nm nanopartikül kullanıldığında bu artışın %84 olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma nanopartikül boyutunun termal iletkenlik üzerinde çok etkili bir parametre olduğunu göstermiştir.

Xie ve diğerleri (2002) Al_2O_3-su nanoakışkanı hazırlayarak, nanopartikül boyutu ve spesifik yüzey alanının termal iletkenliğe etkisini araştırmışlardır. Partikül boyutu küçüldükçe başlangıçta termal iletkenlik artış gösterirken, partikül boyutundaki daha fazla azalma ısıl iletkenlikte azalmaya neden olmuştur. Partikül boyutuyla termal iletkenliğin değişimi ile ilgili iki görüş ortaya koymuşlardır. Birincisi; partikül boyutundaki azalma özgül yüzey alanını arttırmıştır dolayısıyla temel akışkan molekülleri ile nanoparçatiküller arasındaki etkileşim daha fazla olmuştur. Parçacık boyutunun daha da azaltılması, parçacık çapının fonon saçılması ile sonuçlanan fonon ortalama serbest yolundan daha düşük olmasına neden olmuştur.

Literatürde nanopartikül boyutunun küçülmesiyle, termal iletkenliğin azaldığı bazı çalışmalarda mevcuttur.

Sun ve diğerleri (2013), SiO_2-su nanoakışkanını nanopartikül boyutunun termal iletkenliğe etkisini incelemek amacıyla, hacimce %1,2 oranında 10 nm ve 60 nm boyutlarında nanopartiküller kullanarak hazırlamışlardır. Termal iletkenlikte sırasıyla % 11 ve %13 lük artış gözlenmiştir. Çok büyük bir fark olmamakla birlikte bu çalışma bazen nanopartikül boyutunun artmasıyla termal iletkenlikte artış olabileceğini göstermektedir.

Kullanılan temel akışkanın termal iletkenliğe etkisi

Reddy ve Rao (2013) üç fatklı temel akışkan ve TiO_2 nanopartikülleri ile üç farklı nanoakışkan hazırlamışlardır. Temel akışkan olarak su, etilen glikol-su (40:60) ve etilen glikol-su (50:50) kullanmışlardır. Hacimce %1 nanopartikül konsantrasyonunda, termal iletkenlikteki artış temel akışkan olarak su kullandıklarında %5,01; etilen glikol-su (40:60) kullandıklarında %4,38; etilen glikol-su (50:50) kullandıklarında %14,2 olmuştur. Yaptıkları çalışmada, en etkili sonuç temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımı kullanıldığında elde edilmiştir.

Abdolbaqi ve diğerleri (2016) Al_2O_3 nanopartikülleri ile farklı temel akışkanlar kullanarak hazırladıkları nanoakışkanların termal iletkenliklerini ölçmüşlerdir. Temel akışkan olarak biyoglikol-su (60:40) kullandıklarında termal iletkenlik artışı %13 olurken, temel akışkan olarak biyoglikol-su (40:60) kullandıklarında termal iletkenlik artışı %24 olmuştur. Bu

sonuçlara göre biyoglikol-su (40-60) kullanımı ile maksimum termal iletkenlik artışı yaklaşık 2 kat artış göstermiştir.

Usri ve diğerleri (2015) 13 nm boyutundaki Al_2O_3 nanopartikülleri ile iki adım metodunu kullanarak üç farklı karışım oranına sahip su-etilen glikol (60:40, 50:50, 40:60) temel akışkanlarıyla hazırladıkları nanoakışkanların termal iletkenlik ölçümlerini yapmışlardır. Ölçümleri geçici sıcak tel metoduyla yapmışlardır. Deneysel sonuçlara göre etilen glikolün özelliklerinden dolayı karışımdaki oranı arttıkça termal iletkenlik artışı düşmekedir.

Yapılan çalışmalar kullanılan temel akışkanın, hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlikleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Sıcaklığın termal iletkenliğe etkisi

Yu ve diğerleri (2009) ZnO-EG nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. 10 °C-60 °C sıcaklık aralığında çalışmışlardır. Sıcaklık arttıkça termal iletkenlikte artış olmuştur. Maksimum termal iletkenlik artışı %26,5 olarak bulunmuştur.

Sundar ve diğerleri (2013) %0-2 konsantrasyonda Fe_3O_4 nanoparçacıkları ve distile su kullanarak hazırladıkları nanoakışkanların termal iletkenliklerini 20–60 °C sıcaklık aralığında incelemişlerdir. Çalışmalarında, termal iletkenliğin sıcaklığa ve partikül hacim konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermişlerdir. %2 nanopartikül içeren nanoakışkanın 60 °C sıcaklık şartlarında maksimum iletkenlik artışının %48 olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yapılan çalışmalar sıcaklığın termal iletkenlik üzerinde etkili olduğunu ve sıcaklık artışıyla termal iletkenliğin artığını göstermiştir.

2.5.2. Vizkozite

Vizkozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanabilir. Nanopartiküllerin temel akışkana eklenmesiyle, temel akışkanın vizkozitesinde değişim meydana gelir. Isı transfer uygulamalarında, nanoakışkanların vizkoziteleri termal iletkenlik kadar önemlidir. Çünkü vizkoziteye bağlı basınç düşüşündeki artış pompa

gücünü arttırmaktadır. Nanoakışkanların vizkozitelerindeki değişim birçok parametreye bağlıdır. Bunlar; sıcaklık, nanopartikül konsantrasyonu, nanopartikül boyutu ve şekli, kayma gerilimi, yüzey aktif madde eklenmesi, temel akışkanın çeşidi vb'dir. Nanoakışkanın kararlılığını arttırmak için eklenen yüzey aktif maddeler nanoakışkanların vizkozitekelerini arttırmaktadırlar. Nanoakışkanların vizkozite ölçümlerinde en çok kullanılan vizkozimetre çeşitleri; titreşimli/salınımlı vizkozimetre, döner vizkozimetre, orifis tipi vizkozimetre, kılcal vizkozimetre ve kabarcık vizkozimetredir.

Sıcaklık etkisi

Sıvıların ısıtılması genellikle sıvının moleküllerine daha yüksek enerji verir. Enerjideki bu artış, rastgele hareketlerin artmasına ve akışkan moleküllerini tutan moleküller arası kuvvetlerin zayıflamasına katkıda bulunur. Bu olaylar, sıvının kayma gerilimine karşı direncinin azalmasına neden olur ve bunun sonucu olarak, viskozitede bir azalma görülür.

Anoop ve diğerleri (2009) farklı nanopartikül konsantrasyonlarında (% 0,5, %1, %2, %4, %6) Al_2O_3-su, Al_2O_3-etilen glikol nanoakışkanlarını hazırlamışlardır. 20°C -50 °C sıcaklık aralığında vizkozite ölçümleri yapmışlardır. Konsantrasyon arttıkça ve sıcaklık azaldıkça vizkozitenin arttığını gözlemlemişlerdir.

Kumerasan ve Velraj (2012) yaptıkları çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp/etilen glikol-su nanoakışkanının sıcaklığının vizkoziteyle olan ilişkisini incelemişlerdir. 25 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda vizkozitede artış gözlemlemişlerdir. Fakat, düşük sıcaklık aralığında, vizkozitedeki artışın yüksek sıcaklıklarla karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür.

Konsantrasyon etkisi

Nanoakışkanların konsantrasyonu, vizkoziteyi etkileyen çok önemli bir parametredir. Yapılan birçok araştırma sonucu, nanopartikül konsantrasyonu arttıkça, nanoakışkanın vizkozitesinin arttığını göstermektedir.

Namburu ve diğerleri (2007) %0-%10 aralığında farklı konsantrasyonlarda SiO nanopartikülleri ve etilen glikol-su (ağırlıkça 60:40) akışkanını kullanarak hazırladıkları

nanoakışkanların vizkozitelerini incelemişlerdir. Konsantrasyon arttıkça vizkozitenin arttığını tespit etmişlerdir. Hacimce %10 konsantrasyonda nanopartikül içeren nanoakışkanın vizkozitesi temel akışkana göre 1,8 kat daha yüksek olarak bulunmuştur.

Nanopartikül boyutu

Nanoakışkanlarda kullanılan, nanopartiküllerin boyutunun vizkoziteye etkisi farklı çalışmalarda farklı sonuçlarla ilişkilendirilmiştir. Bazı çalışmalarda nanopartikül boyutu küçüldükçe vizkozite artarken bazı çalışmalarda partikül boyutu büyüklüğü arttıkça vizkozite düşmektedir.

Nguyen ve diğerleri (2007) Al_2O_3 –su nanoakışkanı hazırlarken iki farklı partikül boyutunda (36 nm ve 47 nm) Al_2O_3 nanopartiküllerini kullanmışlardır. Yüksek hacimsel konsantrasyonda (>%4) partikül boyutu etkisi daha önemli hale gelmiştir ve nanoakışkanın vizkozitesi küçük nanopartikül boyutu kullanıldığında büyük nanoapartiküllerin kullanıldığı duruma göre daha büyük bulunmuştur. Bu sonuca göre yüksek konsantrasyonda, 47 nm boyutundaki partiküllerle hazırlanan nanoakışkanın vizkozitesi 36 nm boyutundaki partiküllerle hazırlanan nanoakışkanın vizkozitesinden daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuca göre yüksek konsantrayonlarda partikül boyutu arttıkça nanoakışkanın vizkozitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anoop ve diğerleri (2009) Al_2O_3-su nanoakışkanını 45 nm ve 150 nm boyutunda nanopartiküller kullanarak hazırlamışlardır. Vizkozite ölçüm sonuçlarına göre 45 nm partikül boyutuna sahip nanopartiküllerle hazırlanan nanoakışkanın vizkozitesi, 150 nm partikül boyutuna sahip nanopartiküllerle hazırlanan nanoakışkanın vizkozitesinden daha büyük olarak bulunmuştur. Yani daha küçük nanopartiküllerin vizkoziteyi daha fazla arttırdığını savunmuşlardır.

Prasher ve diğerleri (2006) Al_2O_3-propilen glikol nanoakışkanının vizkozitesinin farklı parçacık boyutlarıyla ilişkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, 27, 40 ve 50 nm'lik nanopartiküllerin kullanılmasının nanoakışkanların viskozitesi üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu sonucuna varmışlardır.

2.5.3. Özgül ısı

Bir nanoakışkanın etkin özgül ısısı, bir gram nanoakışkanın sıcaklığını bir santigrat derece arttırmak için gereken sıcaklıktır. Özgül ısı nanoakışkanın ısı transfer hızını etkileyen çok önemli bir özelliktir. Doğrudan ısı depolama ve transferi ile bağlantılıdır ve Prandtl sayısı özgül ısının bir fonksiyonudur.

Namburu ve diğerleri (2007) hacimce %0-%10 aralığında farklı konsantrasyonlarda SiO_2 nanopartikülleri ve etilen glikol-su (ağırlıkça 60:40) akışkanını kullanarak nanoakışkanlar hazırlamışlardır. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın özgül ısısı düşmüştür. %10 SiO_2 nanopartikül konsantrasyonuna sahip nanoakışkanın özgül ısısı temel akışkana göre %12 daha düşük olarak bulunmuştur.

Zhou ve Ni (2008) Al_2O_3-su nanoakışkanını farklı konsantrasyonlarda hazırlayarak nanoakışkanların özgül ısılarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada konsantrasyon %0'dan %21,7'e kadar arttıkça özgül ısıda kademeli olarak düşüş görülmüştür. Konsantrasyon arttıkça özgül ısı azalmıştır.

Kumerasan ve Velraj (2012) yaptıkları çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp/etilen glikol-su nanoakışkanının özgül ısınını incelemişlerdir. Karbon nanotüp partiküllerinin temel akışkana eklenmesi özgül ısıyı arttırmıştır. Fakat nanopartikül konsantrasyonu artıkça özgül ısı değerindeki artış azalmıştır.

Yiamsawasd ve diğerleri (2012) TiO_2 ve $A1_2O_3$ nanoparçacıkları ile saf su ve etilen glikol / su karışımı (ağırlıkça 20:80) temel akışkanlarını kullanarak nanoakışkanlar hazırlamışlardır. Nanopartikül konsantrasyonu % 0 ile %8 arasında ve sıcaklık 15 °C ile 65 °C arasında değişmektedir. Elde ettikleri sonuçlara göre, partikül konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın ölçülen özgül ısısı temel akışkanın özgül ısısından daha düşüktür. Ayrıca, nanoakışkanın özgül ısısının, artan sıcaklıkla arttığı bulunmuştur.

Yapılan çalışmalar, nanopartikül konsantrasyonunun ve sıcaklığın özgül ısı üzeri üzerinde etkili olduklarını göstermiştir.

2.5.4. Yüzey gerilimi

Sıvı içerisinde bulunan bir molekül, komşu sıvı moleküller tarafından ortalama aynı kuvvetle çekildiği için hiçbir kuvvetin etkisi altında değilmiş gibi hareket eder. Yüzeyde bulunan sıvı moleküller sadece iç taraftaki sıvı moleküllerini içe çekerler ve sıvı yüzeyinin daralmasına neden olurlar. Buna göre, sıvı yüzeyini sabit sıcaklık ve basınçta 1 m^2 veya 1 cm^2 büyütmek için verilmesi gereken enerjiye yüzey gerilimi (σ) denir. Yüzey geriliminin birimi dyn/cm'dir. Sıvı yüzeyindeki birim uzunluğu gergin tutan kuvvet olan yüzey gerilimi, moleküller arası çekme kuvvetinin yüzeydeki geometrik dengesizliğinin sonucudur. Diğer tüm özelliklerin yanı sıra, akışkanların yüzey gerilimi, bir termal sistemin ısı transfer performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüzey gerilimi, yüzey ıslanabilirliğini ve kabarcığın büyümesini etkileyen, ısı transfer katsayısını artıran bir kuvvettir. Ayrıca kılcallık çalışma akışkanını, yüzey gerilimi nedeniyle kondansatörden buharlaştırıcıya transfer eder, bu da ısı borularının ısıl performansını arttırır (Bhuiyan ve diğerleri, 2015). Nanoakışkanların yüzey gerilimi, sıcaklığa, partikül konsantrasyonu ve boyutuna bağlıdır.

Zhou ve diğerleri (2016) Al_2O_3-su nanoakışkanını farklı partikül boyutu (10 nm, 20 nm) ve farklı konsantrasyonlarda (%1, %1,5, %2, %2,5) hazırlamışlardır. Nanoakışkanların sıcaklıkları 18 °C ve 30 °C aralığında değişmektedir. Temel akışkanın yüzey gerilimi nanopartikül eklenmesi ile düşmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, sıcaklık ve konsantrasyon arttıkça yüzey geriliminin düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca nanopartikül boyutu küçüldükçe daha düşük yüzey gerilimi elde edilmiştir.

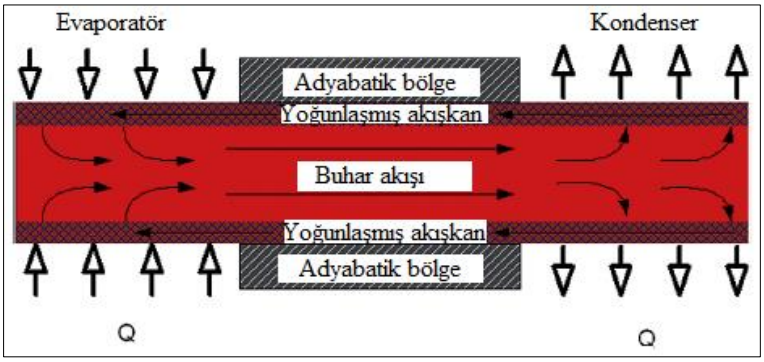
Chinnam ve diğerleri (2015) alüminyum oksit, çinko oksit, titanyum oksit ve silikon dioksit nanopartikülleri ile temel akışkan olarak propilen glikol-su (60:40) kullanarak süspansiyonlar hazırlamışlardır. 30 -70 °C sıcaklık, %0 ve %6 konsantrasyon ve 15-50 nm partikül boyutu aralığında olmak üzere 3 farklı parametre ile farklı şartlarda nanoakışkanların yüzey gerilimlerini incelemişlerdir. Nanoakışkanların yüzey geriliminin, sıcaklık artışıyla azaldığını gözlemlemişlerdir. Sabit bir sıcaklıkta, nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonundaki artış, yüzey geriliminde azalmaya neden olmuştur. Sabit hacimsel konsantrasyondaki ve sıcaklıktaki nanoakışkanlar için, yüzey geriliminin ZnO nanoakışkanı dışında daha küçük partikül boyutları için daha düşük olduğu bulunmuştur.

Bhuiyan ve diğerleri (2015) SiO_2-metanol nanoakışkanının yüzey geriliminin, nanopartikül konsantrasyon ve boyutlarıyla ilişkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, sıcaklık artışıyla yüzey geriliminin arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca nanoakışkanın yüzey gerilimini temel akışkan olan metanolle karşılaştırdıklarında daha yüksek bulmuşlardır. Farklı konsantrasyonlarda (hacimce %0,05-%0,25) yüzey gerilimi %1,7 'den %8,9 'a kadar artış göstermiştir.

3. ISI BORUSUNDA NANOAKIŞKANLARIN KULLANIMI VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

3.1. Isı Borusu ve Çalışma Prensibi

Isı boruları, mevcut olan en verimli pasif ısı transfer teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir ve yüksek termal iletkenliğe sahiptirler. Genel olarak; ısı boruları, faz değişim işlemleri ve buhar difüzyonu kullanılarak, büyük miktarda ısıyı taşıyabilen cihazlardır. Bir ısı borusunun ana yapısı, hem sıvı hem de buhar fazlarında bulunan bir çalışma akışkanı ile kısmen doldurulmuş bir tüpten oluşur. Şekil 3.1'de ısı borularının çalışma çevrimini göstermektedir. Sisteme ısı girişi ile çevrim bir döngü halinde devam eder. Çalışma sıvısı borunun altında bulunur; bir ısı kaynağının eklenmesi, çalışma akışkanının buharlaşmasını sağlar. Buhar ve sıvı arasındaki yoğunluk farkı, buharın soğuk kondenser bölümüne ulaşmasını sağlar.



Şekil 3.1. Isı borusu çalışma çevrimi (Jouhara ve diğerleri, 2017)

Duvar sıcaklığındaki fark, buharın yoğuşmasına ve gizli ısının serbest kalmasına neden olarak, yerçekiminin etkisiyle (termosifonlar) veya bir çeşit kılcal fitil yapısının etkisi ile akışkanın buharlaştırıcı bölgesine geri dönmesini sağlar. Isı borularında performansı etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan biri ısı borusundaki ısıl dirençtir. Isıl direnç ısı borusu içerisindeki faz değişimi esnasında sıvı-katı ara yüzündeki buhar kabarcıklarının yapısıdır. Büyük boyuttaki kabarcık çekirdeği, katı yüzeyden sıvıya olan ısı transferini engelleyerek ısıl dirence sebep olmaktadır. Çalışma akışkanı içerisindeki nanopartiküller kabarcık oluşumu esnasında buhar kabarcıkları üzerine etki ederek çok daha küçük çekirdekleşmenin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum ısı borusu içerinde katı yüzeylerden

sıvıya ısı geçişini kolaylaştırarak, ısı borularının ısıl dirençlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

Isı borularının genelleştirilmesi, düşük sıcaklıktaki kriyojenik uygulamalardan, yüksek sıcaklık uygulamalarına kadar birçok uygulamayı kapsayan geniş bir konudur. Isı borularının kullanımı genellikle aşağıdaki durumlarda gerçekleşir;

- Küçük sıcaklık farkları ile verimli ısı transferinin birincil amaç olduğu ısı transferi uygulamalarında,
- İzotermal uygulamalarda,
- Isı borusunun bir gövdenin sıcaklığını kontrol ettiği sıcaklık kontrolü uygulamalarında,
- Buharlaştırıcıdaki yüksek bir ısı akışından gelen ısının, soğutucudaki daha düşük bir ısı akışına dönüştürüldüğü, ısı akısı dönüşüm uygulamalarında.

Isı boruları çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Isı boruları, güneş enerjisi uygulamalarında, nükleer uygulamalarda, enerji depolamada, jeotermal uygulamalarda, uzay araçlarında, otomotiv sektöründe kullanım alanı bulmaktadır.

3.2. Isı Borularında Kullanılan Geleneksel Çalışma Akışkanları

Isı borusunun ısıl iletkenliği, çalışma akışkanının buharlaşma ve yoğuşma özellikleri ile tanımlanır. Bu nedenle çalışma akışkanının seçimi büyük önem taşımaktadır. Çalışma akışkanı ısı borusunun kullanım özelliğine göre seçilmelidir. Çalışma akışkanından beklenen özellikler; yüksek termal iletkenliğe, gizli ısıya ve kararlılığa sahip olması, istenilen sıcaklık aralığında yüksek performans gösterebilmesi, düşük vizkozitesinin olması, sıcaklıkla kimyasal yapısının bozulmaması ve uzun süreli dayanımının olmasıdır. Akışkanın temin kolaylığı ve maliyeti ise diğer önemli belirleyici unsurlardır. Çalışma sıcaklıklarına göre çalışma akışkanları; kriyojenik uygulamalarda kullanılan çalışma akışkanları, düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan çalışma akışkanları ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan çalışma akışkanlarıdır. Kriyojenik uygulamalarda kullanılan akışkanlar; azot, hidrojen, helyum, neon, argon, metan, etan, oksijen, ksenon, kripton vb. ’dir Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan akışkanlar; freon, propan, amonyak, pentan, aseton, metanol, etanol, heptan, su, toluen vb.’dir. Yüksek sıcaklık

uygulamalarında kullanılan akışkanlar; lityum, sodyum, potasyum, gümüş gibi sıvı metallerdir.

3.3. Isı Borusu Çeşitleri ve Uygulamaları

3.3.1. Fitilli ısı boruları

Mikro oluklu ısı boruları

Mikro oluklu ısı boruları farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerin iç yüzeyinde oluklar, yoğunlaştırılmış çalışma akışkanının, kılcal kuvvet vasıtasıyla buharlaştırıcı bölümüne geri dönmesini kolaylaştırır. Soğutucu sıcaklığı, kütle akış hızı, özgül ısı, vb. çalışma akışkanının yoğuşma hızını kontrol eder. Buharlaşma hızı, yoğunlaşma akış hızı (yoğunlaştırıcıdan buharlaştırıcı bölümüne) ısı değiştiricisinin verimli çalışması için birbirleriyle uygun dengede olmalıdır. Eğer buharlaşma hızı, yoğuşma hızından daha yüksek ise bu durum ısı borusunda kuruluğa neden olmaktadır. Düşük buharlaşma oranı düşük verime yol açmaktadır. Kurumayı önlemek için kondenserden evaporatöre doğru kondensat akışı gerekir. Bu nedenle, oluklar veya fitil, çok çeşitli farklı çalışma parametreleri altında buharlaştırıcı bölüme gereken kondensatın ortaya çıkması için yeterli kılcal gücü üretebilmelidir (Gupta ve diğerleri, 2018). Araştırmacılar mikro oluklu ısı borularında farklı nanoakışkanlar kullanmış ve ısıl performansta önemli bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2010), çalışma akışkanı olarak CuO-su nanoakışkanını kullanarak ısı borusunun termal performansını incelemişlerdir. Nanoakışkan, temel akışkan kullanımına kıyasla çalışma akışkanı olarak kullanıldığında, ısı transferinde % 40'lık artış ve ısıl dirençte % 50 azalma sağlandığını görmüşlerdir. Nanoakışkan kullanımı ısı borusunun performansını arttırmıştır.

Liu ve diğerleri (2007), farklı çalışma basınçlarında ve farklı nanopartikül kütle konsantrasyonlarında CuO-su nanoakışkanı kullanarak mikro oluklu buharlaştırıcı yüzeyli bir ısı boruusnun ısı transfer katsayısı ve kritik ısı akışındaki değişimi incelemişlerdir. Sonuçlar, işletme basıncı ve kütle konsantrasyonunun, ısı transfer katsayısı ve kritik nanoakışkan ısı akışı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Her ikisi de

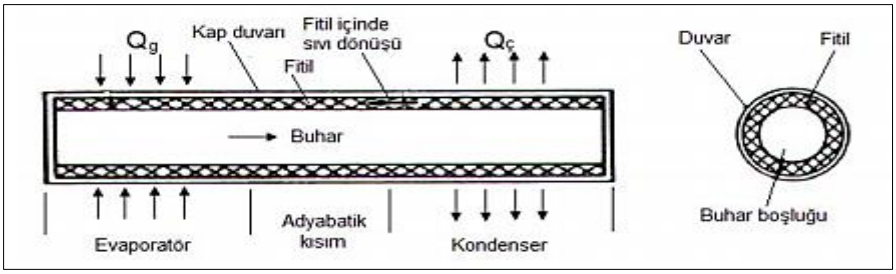
atmosferik basınçta sırasıyla % 25 ve % 50 artarken, 7,4 kPa basınçta sırasıyla % 100 ve % 150 artış gözlemlemişlerdir. Isı transfer katsayısı ve kritik ısı akışı ağırlıkça % 1 kütle konsantrasyonuna kadar yavaşça artmıştır. Bu nedenle, ısı borusunda ağırlıkça % 1 konsantrasyonda nanoakışkan kullanımı termal performansı artmıştır fakat konsantrasyon % 1'i aştığında, kritik ısı akışı artışı durmuş ve ısı transfer katsayısı önemli ölçüde azalmıştır. Araştırma sonuçları, ısı borusunda CuO nanoakışkan uygulamasının, ısı transfer özelliklerini güçlendirdiğini göstermiştir.

Mikro oluklu ısı borusunun termal performanstaki etkileri aşağıdaki nedenlerle ilişkilendirilebilir;

- Nanoakışkanların efektif termal iletkenliği, ısı transferini iyileştirmektedir.
- Isı borusunun iç yüzeyine nanopartiküllerin birikmesi, yüzey ıslanabilirliğini, kılcal etkiyi, ısı borusunun termal verimliliğini artıran ve katı-sıvı arayüzünde kabarcık oluşum oranını azaltarak termal direnci azaltan yapay bir tabaka oluşturmaktadır.
- Nanoakışkan ile ısı borusunun iç yüzeyi arasındaki temas açısındaki azalma, kılcal kuvvet ve yüzey ıslanabilirliğini arttırmaktadır.
- Nanopartiküllerin temel akışkandaki Brownian hareketi ısı transferini arttırmaktadır.

Ağ fitilli ısı boruları

Fitilli ısı boruları en çok kullanılan ısı borusu çeşitlerindendir. Fitiller, çalışma akışkanının yoğuşturucudan, buharlaştırıcıya iletilmesini sağlayacak kapilar basıncın oluşturulmasını sağlarlar. Bu tip ısı boruları yerçekimine karşı iyi performans gösterirler. Fitil ayrıca çalışma akışkanını, buharlaştırıcı yüzeyine dağıtımını sağlayabilmektedir. Fitil malzemesi olarak çok ince dokunmuş (60-200 Mesh) bakır, nikel, alüminyum, paslanmaz çelik değişik malzemeler kullanılır.



Şekil 3.2. Fitilli ısı borusu (Ersöz ve diğerleri, 2009)

Kole ve diğerleri (2013), nanoakışkanların çalışma sıvısı olarak kullanıldığında ısı borusunun termal performansındaki gelişmeyi incelemişlerdir. Üç kat paslanmaz çelik ağ fitili içeren ısı borusu, bir dc güç kaynağı, veri toplama işlemini otomatikleştirmek için bir veri toplama sistemi kullanmışlardır. Bu çalışmada 300 mm uzunluğunda, 10 mm dış duvar kalınlığı ve 0,6 mm dış çapında bir silindirik ısı borusu kullanılmıştır. Evaporatör, adyabatik ve kondansatör bölümünün uzunluğu sırasıyla 70, 80 ve 150 mm'dir. Çalışma sıvısı olarak Cu-su nano-akışkanı kullanarak ve farklı eğimlerde, ağ fitilli ısı borusunun optimum termal performansını incelemişlerdir. Sonuçlar, 60 W giriş gücünde, 90 ° eğimde ve % 0,5 konsantrasyomda Cu-su nanoakışkanında elde edilen ısıl performansta maksimum artış olduğunu göstermiştir. Evaporatörün ortalama duvar sıcaklığındaki gözlenen azalmayı, 100 W giriş gücünde ve 90 ° eğim açısında çalışma sıvısı olarak % 0,5 Cu nanoakışkanı kullanıldığında 14 °C olarak bulmuşlardır. Termal dirençte % 27 oranında azalma gözlemlemişlerdir. Cu nanopartiküllerinin temel akışkana eklenmesi ısı borusunun termal performansında artış sağlamıştır.

Do ve diğerleri (2010) , ısı borusunda Al_2O_3-su nanoakışkanını (hacimce % 1-3) kullanarak ısı borusunun termal performansına etkilerini araştırmıştırlar. Su yerine nanoakışkan kullanıldığında, ısı borusunun buharlaştırıcı duvar sıcaklığı düşmüştür. Konsantrasonu % 3 olan Al_2O_3 nanoakışkanı kullanılarak ısıl direnç yaklaşık % 40 oranında azaltılmıştır. Araştırma, termal performanstaki artışın, yüzey ıslanabilirliğini ve kılcal kuvveti arttıran fitil yapılarında ince gözenekli kaplamanın oluşumundan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Nanopartiküller, buharlaştırıcı iç yüzeyinde, daha yüksek ısı transfer katsayısı sağlamış ve ıslanabilirlik yüzeyinde bir katman oluşturmuştur bu nedenle termal performansı iyileştirmiştir.

Fitilli ısı borularında kullanılan nanoakışkanlar, termal direnci düşürerek ısı borusunun termal performansını arttırmıştır.

Sinterlenmiş metalli ısı boruları

Sinterlenmiş metal fitilli ısı boruları, etkili performansları nedeniyle farklı uygulamalarda da kullanılır. Bu tip ısı borularında metalik tozdan yapılmış sinterlenmiş fitiller kılcal kuvveti üretmek için kullanılır.

Kang ve diğerleri (2009), temel akışkan olarak su ve 10-35 nm boyutunda gümüş nanopartiküller kullanarak hazırladıkları nanoakışkanların ısı borusunun termal performansına etkilerini araştırmıştır. Sinterlenmiş fitil ısı borusunun termal direnci, gümüş nanoakışkanı kullanıldığında suya kıyasla önemli miktarda azalmıştır. Nanopartikül boyutunun termal performans üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Kumaresan ve diğerleri (2014), yüzey aktif madde içermeyen CuO-su nanoakışkanı ile yüklenen ısı borusunun (sinterlenmiş fitil) ısıl performansını araştırmışlardır. Giriş gücü, eğim açısı ve nanoakışkan konsantrasyonları gibi farklı çalışma parametrelerinin ısı borusunun ısıl performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, %1 konsantrasyondaki CuO -su nanoakışkanı kullanıldığında, 45 eğim açısında, ısıl dirençte % 66,1 azalma, ısı transfer katsayısında ve ısıl iletkenlikte sırasıyla % 29,4 ve % 63,5 artış elde edildiğini göstermiştir. Çalışma akışkanına nanopartiküllerin eklenmesi termal performansı arttırmıştır.

Sadeghinezhad ve diğerleri (2016), sinterlenmiş fitilli bir ısı borusunun ısıl performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Grafen-su ve saf su kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarında ısı borusunu iki farklı pozisyonda (yatayla 0° ve 60° açı yapacak biçimde) tutarak 4 farklı ısıtıcı gücü için sonuçlar elde etmişlerdir. Saf su yerine nanoakışkan kullanarak ısıl dirençte maksimum % 48,4 oranında bir düşüş gözlemlemişlerdir. Isıl iletkenlikteki iyileşme oranının en büyük değerini ise 60° eğim açısı ve 60 W ısıtıcı gücünde % 37,2 olarak bulmuşlardır.

3.3.2. Titreşimli ısı boruları

Titreşimli ısı boruları, çalışma akışkanının faz değişimi sırasında meydana gelen basınç ve sıcaklık değişimleri prensibiyle çalışır; bu da, evaporatör ve kondenser arasında sıvı topaklarının ve buhar kabarcıklarının titreşimli bir hareketini oluşturur. Titreşimli ısı borusunda evaporatör bölgesinin ısıtılması sıvının ısı borusunun soğutucu kısmına hareket etmesine neden olur. Isı borusunun doldurma oranı çalışma akışkanın hacminin cihazın toplam iç hacmine oranıdır. Titreşimli ısı borularının avantajı, sıvı ve buhar akışının bir fitil yapısına ihtiyaç duymadan aynı yönde yapılmasıdır (Jouhara ve diğerleri, 2017). Akışkanın çevrimi kılcal boru ile birlikte gerçekleşmektedir.

Qu ve arkadaşları (2010), kapalı devre titreşimli ısı borusunda su bazlı Al_2O_3 nanoakışkan kullanımının ısıl performansta oluşturacağı etkiye dair deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları ısı borusu 2 mm iç ve 3 mm dış çapa sahip bakır bir borudur. Deneysel sonuçlarda güç girişi 58,8 W iken , % 0,9 konsantrasyondaki metal parçacıkların saf su ile karşılaştırılarak oluşturulduğu nanoakışkan kullanıldığında ısıl direncin % 32,5 oranında azaldığını saptamışlardır.

3.3.3. Termosifon tipi ısı borusu

Termosifonlar yerçekimi kuvvetine bağlı olarak, yoğuşan çalışma sıvısının evaporatöre gelmesiyle ısı transferini sağlayan cihazlardır. Termosifonlarda ısı, buharlaştırıcı bölüm boyunca sürekli olarak emilir ve yoğunlaştırıcı bölüm tarafından serbest bırakılır. Açık ve kapalı termosifon çeşitleri mevcuttur. Diğer ısı borularından farkı, fitillerle oluşturulan kılcal kuvvet yerine yer çekimi kuvvetiyle çalışmalarıdır. Termosifonlar için en yüksek performans dikey olarak konumlandırıldıklarında elde edilir. Çünkü doğal konveksiyon akışı için üst ve alt noktalar arasındaki mesafe yeterince büyük olmalıdır.

Sözen ve diğerleri (2016), farklı çalışma koşullarında uçucu kül nanoakışkanının iki fazlı kapalı termosifonun termal performansına nasıl etki ettiği incelenmiştir. İki fazlı kapalı termosifon olarak 1 m uzunluğunda, iç ve dış çapı sırasıyla 13 mm ve 15 mm olan bakır boru kullanılmıştır. Üç farklı ısıtıcı gücü ve üç farklı soğutma suyu debisi kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışma akışkanı olarak, deiyonize su yerine %4 konsantrasyonda uçucu kül içeren nanoakışkan kullanınımı ile, 200 W, 5 g/s debide iki fazlı kapalı termosifonun termal performansında %26,39 artış görülmüştür.

Tharayil ve diğerleri (2015), grafen-su nanoakışkanını ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanarak, nanoakışkanın ısı borusunun termal performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Dikey pozisyonda, 20 W ile 380 W arasında uygulanan ısıl yüklerde farklı derişimlerde nanoakışkanlar kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaların sonucunda ısı borularında nanoakışkan kullanımının ısıl performansı artırdığını ve evaporatör ara yüz sıcaklığını azalttığını, ayrıca optimum nanoakışkan derişiminde (% 0,006) ısı transferindeki iyileşmenin maksimum olduğunu gözlemlemişlerdir. Isı borusunun etkin termal iletkenliği distile su ile elde edilen değerden %27,6 daha büyük olarak bulunmuştur.

Çiftçi ve diğerleri (2016), TiO_2 partikülleri içeren nanoakışkan kullanarak çift fazlı kapalı termosifonun (ısı borusu) ısıl performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde 100 nm' den küçük partikül boyutunda elde edilen %2 konsantrasyondaki TiO_2 metal oksit partikülleri saf su ile karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyon ultrasonik banyoda 5 saat bekletilmiştir. Çözeltideki çökelmeleri önlemek için % 0,2 oranında yüzey aktif madde Triton X-100 ilave edilmiştir. En iyi sonuç ısıl performansta %16,5 oranında iyileşme sağlayan çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanıldığı 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde elde edilmiştir.

Noie ve diğerleri (2009) Al_2O_3-su nanoakışkanın farklı konsantrasyonlarda (%1-3) hazırlayarak farklı giriş güçlerinde (48,4–195,2 W) termosifon tipi ısı borusundaki performansını incelemişlerdir. Su yerine nanoakışkan kullanıldığında optimum şartlarda termal verimlilikte %14,7 artış olmuştur.

Sözen ve diğerleri (2017), farklı metal oksitler içeren yüksek fırın cürufu (SiO2, TiO2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO) kullanılarak hazırladıkları %2 konsantrasyondaki nanoakışkan 200 W ısıtıcı gücünde ve 5 g/s soğutma suyu akış hızında ısı borusunun termal performansını suya göre %22 arttırmıştır.

Parametthanuwat ve diğerleri (2011) gümüş-su nanoakışkanının, bir termosifon ısı borusunda termal performansını incelemişlerdir. Yüzey aktif madde olarak oleik asit kullanmışlardır. Farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C), ve doldurma oranlarında (%30, %50 ve % 80) çalışmışlardır. Deneysel sonuçlar 80 °C ve %50 doluluk oranında termal verimliliğin %30 oranınında arttığını gözlemlemişlerdir.

Hoseinzadeh ve diğerleri (2017) temel akışkan olarak su kullanarak, silisyum karbür (SiC) ve Al_2O_3 nanoparçacıkları ile hazırladıkları nanoakışkanların termosifon ısı borusunun termal performansını arttırdığını belirlemişlerdir. Saf suyla karşılaştırıldığında %2 SiC nanoparçacıkları kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın termosifon veriminde yaklaşık % 11'lik bir artışa neden olmuştur ve en yüksek verim 300 W giriş gücüyle % 3 Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan nanoakışkan kullanıldığında elde edilmiştir. Kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkıda oldukça fazla olmuştur.

Menlik ve diğerleri (2014) magnezyum oksit (MgO)-su nanoakışkanının farklı çalışma şartlarında termosifon tipi ısı borusunun termal performansına etkisini incelemişlerdir. Yüzey aktif madde olarak Triton X-100 kullanmışlardır. 200 W ısıtıcı gücünde 7,5 g/s soğutma suyu akış hızında MgO nanoakışkanının suya göre ısı borusunun termal performansını %26 arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda nanopartiküllerin üstün termal özelliklerinden dolayı temel akışkanlara göre ısı borularının termal performansını arttırdığı, evaporator bölgesinde ortalama duvar sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışma nanopartikül üretimi, nanoakışkanların hazırlanması, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve nanoakışkanların ısı borusu performansına etkisinin incelenmesi olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Çalışmalarda kullanılan dolomit; anka mikronize (İstanbul) ve boksit; Konya Seydişehirden temin edilmiştir. Dolomit ve boksitin kimyasal içerikleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu veriler kimyasalın temin edildiği yerlerden firmalardan alınmıştır.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan dolomitin kimyasal içeriği

İçerik	%
Kalsiyum (Ca)	25,50
Magnezyum (Mg)	21,50
Silisyum oksit	12,00
Kalsiyum karbonat	41.00

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan boksitin kimyasal içeriği

İçerik	%
Alumina (Al_2O_3)	27,5
Demir oksit (Fe_2O_3)	28,5
Silisyum oksit (SiO_2)	20,8
Titanyum dioksit	12,45
Diğer	10,75

4.1. Nanopartikül Üretimi

Dolomit ve boksit minerallerinin nanopartikül boyutuna getirilmesinde spex tipi bilyeli öğütücü kullanılmıştır. Yüksek enerji çarpanlı spex tipi bilyeli öğütücü, kullanılan reaktörler ve bilyeler Resim 4.1'de verilmiştir. Spex tipi bilyesi öğütücü 12 hazneye sahip olup, hızı 1000 devir/dakikadır. Kullanılan reaktör hacmi 10 g'dır. Farklı boyutta ve miktarlarda bilyeler kullanılarak dolomit ve boksit mineralleri farklı sürelerde öğütülmüştür. Elde edilen dolomit ve boksit partiküllerinin boyut analizi Malvern marka Zetasizer Nano ZS90 cihazıyla yapılmıştır.



(a) (b) (c)

Resim 4.1. (a) Spex tipi bilyeli öğütücü (b) reaktörler (c) çelik bilyeler

4.2. Nanoakışkanların Hazırlanması ve Kararlılıklarının İncelenmesi

Dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Temel akışkan olarak su, etilen glikol, etilen glikol- su (50:50) kullanılmıştır. Kütlece farklı yüzdelerde dolomit ve boksit mineralleri ve kütlece % 0,5 yüzey aktif madde kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Yüzey aktif madde olarak; Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) ve Triton X-100 kullanılmıştır. Hazırlanan nanoakışkanlar 2 saat süreyle ultrasonik su banyosunda (ISOLAB) bekletilmişlerdir. Nanoakışkanların kararlılık düzeyleri zeta potansiyeli ölçümleri ile incelenmiştir. Nanoakışkanların zeta potansiyelleri Malvern marka zeta potansiyeli ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

4.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Isıl iletkenlik katsayısının belirlenmesi

Isı iletim katsayısı ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde bulunan deney düzeneğinde yapılmıştır. Isıtıcı gerilim değeri 50 W, 60 W, 70 W ve 80 W değerlerine ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Cihaz içerisinde iki farklı noktadan sıcaklık ölçülmüştür. Birinci ısıl çift (T_1) ısıtıcı elemanın dışında, ikinci ısıl çift (T_2) soğutucu cebinin iç kısmına sabitlenmiştir. Soğutma suyu açılıp, ısıtıcı devreye sokulduktan sonra cihaz içerisindeki sıcaklığın sabitlenmesi için beklenmiştir. Sistem yatışkın duruma geldikten sonra sıcaklıklar kaydedilmiştir. Termal iletkenlik ölçümü deney düzeneği Resim 4.2'de verilmiştir. Deney düzeneğinde öncelikle ısıl iletkenlik deneyi, saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, literatür ile karşılaştırılıp doğrulandıktan sonra hazırlanan nanoakışkanlar kullanılarak ısıl iletkenlik sabitleri belirlenmiştir.



Resim 4.2. Termal iletkenlik ölçümü deney düzeneği

Özgül ısının belirlenmesi

Hazırlanan nanoakışkanların özgül ısısı, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı (Perkin Elmer) kullanılarak belirlenmiştir. Sistem bir örnek kabı, referans materyal kabı, sıcaklık programı ve ısıtma veya soğutma düzeneğinden oluşur (İnce, 2008). Özgül ısı ölçümlerinde ayrıca kalorimetre kabı kullanılmıştır. Sistem ısıl çift, seyreltmenin gerçekleşeceği küçük cam beher, ve küçük beherin yerleştirildiği bir diğer beherden mevcuttur. Kabın dışı izolasyon malzemesi ile yalıtılmıştır. Öncelikle kalorimetre sabiti bulunmuştur. Kalorimetre kabının görseli Resim 4.3'te verilmiştir. Kalorimetre sabiti; kalorimetre ve kalorimetrenin içindekilerinin sıcaklığını $1^{o}C$ yükselmek için gerekli ısıya denmektedir.



Resim 4.3. Kalorimetre kabı

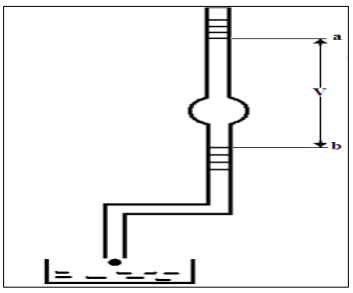
Viskozitenin belirlenmesi

Vizkozite ölçümleri Brookfield DV-III rheometer marka viskozimetre ile yapılmıştır. Farklı sıcaklık değerlerinde nanoakışkanların viskoziteleri ölçülmüştür. Viskozimetre farklı rotasyonel hızlarda çalışabilmektedir. Sıvı içerisine daldırılmış spindle sıvıyı döndürmek için gerekli torku ölçmektedir. Spindle kalibre edilmiş bir yaya bağlı şekilde motor gücüyle çalıştırılır.Vizkozite ölçümleri farklı sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C) gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık etkisinin nanoakışkanların viskozitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Temas açısı ve yüzey geriliminin belirlenmesi

Temas açısı, katı, sıvı ve havadan oluşan üçlü faz sisteminde sıvının katı yüzeyinde oluşturduğu statik haldeki açı olarak tanımlanmaktadır. Temas açısı büyüklüğü sıvının katı yüzeyinde dağılmasına bağlıdır. Temas açısı küçüldükçe ıslanabilirlik artar. Yüksek temas açısı, katının daha hidrofobik olduğu anlamına gelmektedir (Düzyol, 2016). Yüzey aktif maddeler su/hava ara yüzey gerilimini düşürerek katı yüzeyi üzerinde adsorbe olarak katı-sıvı ara yüzey gerilimini düşürürler ve temas açısını küçültürler. Yapılan çalışmalarda su, etilen glikol ve etilen glikol+ su temelli nanoakışkanların temas açıları ölçülmüştür. Taban malzemesi olarak bakır plaka kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalarda yüzey gerilimini belirleme yöntemlerinden bir tanesi olan, belli bir hacimdeki sıvının damla sayısını sayma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada Traube Stalogmometresi kullanılmıştır. Traube Stalogmometresinin görseli Şekil 4.1'de verilmiştir. Stalogmometre ile yüzey gerilimi bilinen bir çözücü yardımıyla konsantrasyona bağlı olarak çözeltinin yüzey gerilimi belirlenebilmektedir.

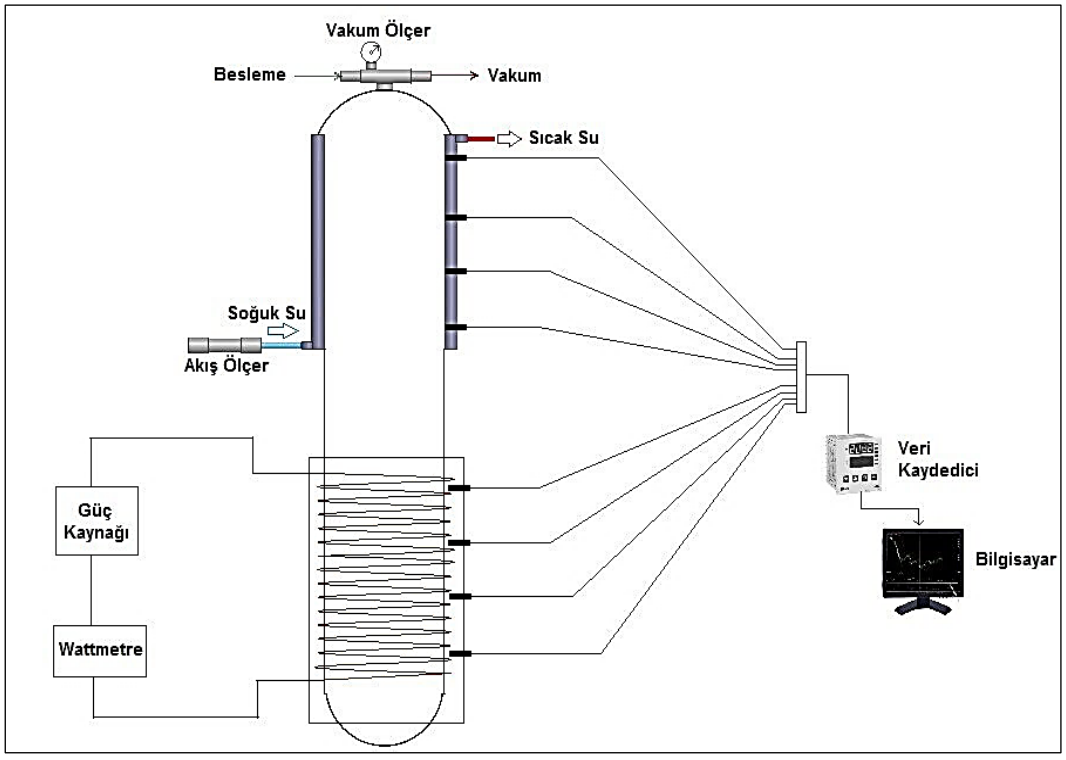


Şekil 4.1. Traube stalogmometresi

4.4. Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisinin İncelenmesi

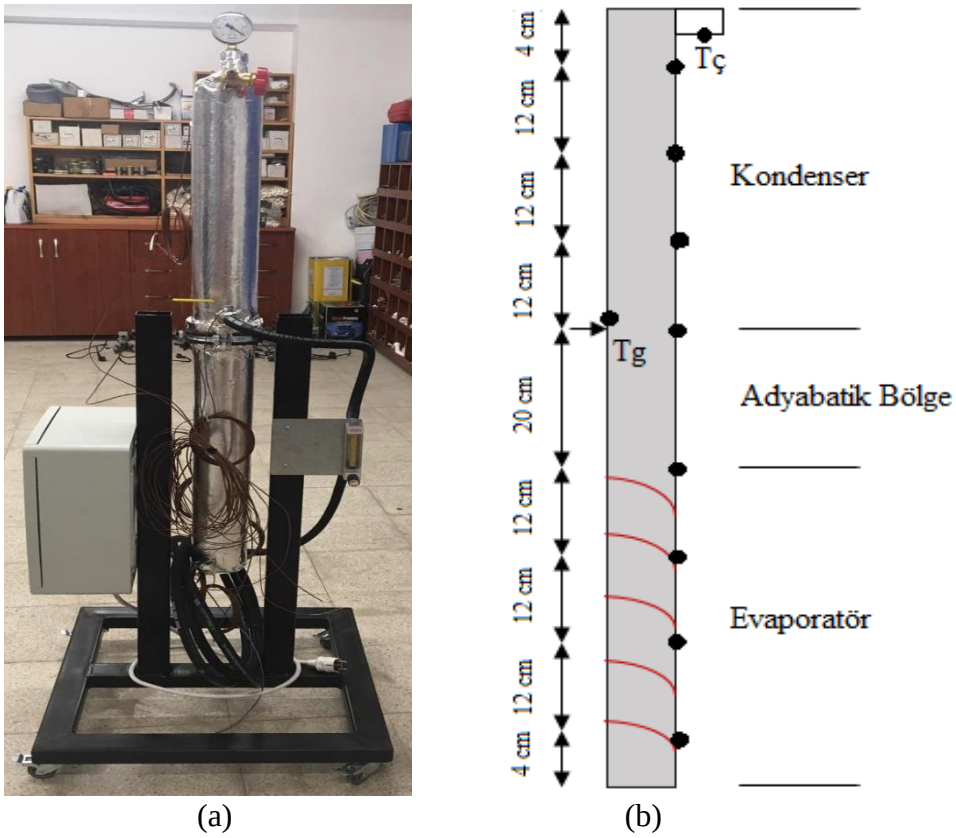
Deneysel çalışmalarda kullanılan termosifon tipi ısı borusu, bakır boru içerisinde yer alan bir çalışma akışkanının sıcaklık etkisiyle buharlaşması-yoğunlaşması prensibi ile çalışan bir cihazdır. Düşük sıcaklıklarda buharlaşma özelliğine sahip bir akışkanın iş akışkanı olarak kullanıldığı bu cihazlarda, sıcaklık etkisiyle sıvı fazdan buhar fazına geçen iş akışkanı, vakumlu ortamın ve doğal taşınımın etkisiyle yükselerek sahip olduğu ısı enerjisini bir bölgeden başka bir bölgeye taşır. Yükseldiği bölgeye enerjisini bıraktıktan sonra da kaybettiği sıcaklık nedeniyle yoğuşur yani sıvı faza geçer ve yerçekiminin etkisiyle tekrar evaporatör bölgesine doğru hareket eder. Sisteme ısı girdisi sürekli olduğunda da bu işlem periyodik olarak gerçekleşmektedir. Kısaca, çalışma akışkanının faz değişiminden yararlanarak ısının bir bölgeden başka bir bölgeye taşındığını söylemek mümkündür.

Termosifon ısı borusu; yoğuşma (kondenser), buharlaşma (evaporatör) ve adyabatik (yalıtımlı) bölge olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Şekil 4.2'de deneysel çalışmalarda kullanılan ısı borusunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.2. Isı borusunun şematik olarak gösterimi

Isı borusunda sıcaklıklıkları ölçmek için 10 adet ısıl çift kullanılmıştır. Bu ısıl çiftlerden alınan sıcaklıklar bir veri kaydedici (ELİMKO) yardımıyla okunmuş ve kaydedilmiştir. Isıl çiftlerin ısı borusunda konumlandırıldıkları yerler ve ısı borusu sistemi Şekil 4.3'te verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.3. (a) Isı borusu sistemi (b) ısıl çiftlerin konumlandırılması

Deneyler ısı borusu 90° açı ile duracak şekilde ve vakum altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ısı borusu hacminin 1/3 ü dolacak şekilde 44,2 ml akışkan ile doldurulmuştur. 200 W, 300 W, 400 W ısıl gücünde ve 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s soğutma suyu debisinde öncelikle saf su, etilen glikol, etilen glikol-su (50:50) karışımının ısı borusundaki performansı incelenmiştir. Daha sonra farklı derişimlerdeki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığına, termal direncine ve verimine etkileri incelenmiştir.

5. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde nanopartikül üretimi, nanoakışkanların hazırlanması ve kararlılıklarının incelenmesi, hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve ısı borusu sisteminin performansına etkisi üzerine yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

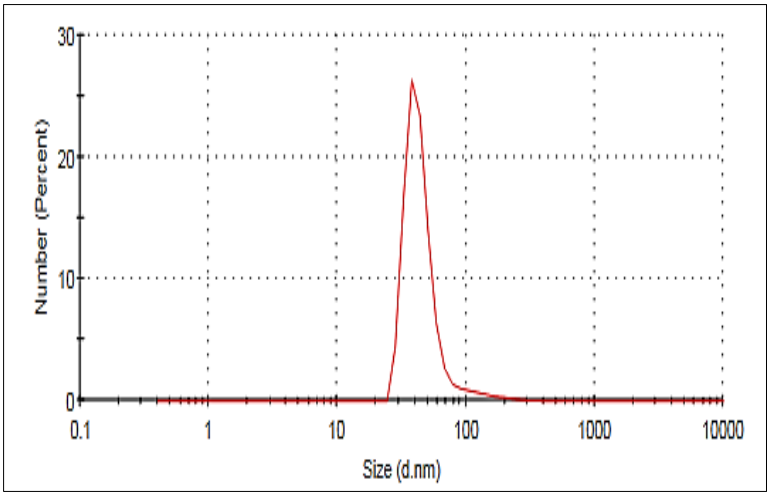
5.1. Nanopartikül Üretimi

Dolomit ve boksit nanopartiküllerinin hazırlanmasında spex tipi bilyeli öğütücü kullanılmıştır. Farklı boyutta bilyeler kullanılarak dolomit ve boksit mineralleri ayrı ayrı farklı sürelerde öğütülmüştür. Literatürde, kullanılan nanopartikül boyutu küçüldükçe nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin arttığı belirtilmiştir. Bu nedenle en küçük boyutta nanopartikül üretilmesi amaçlanmıştır.

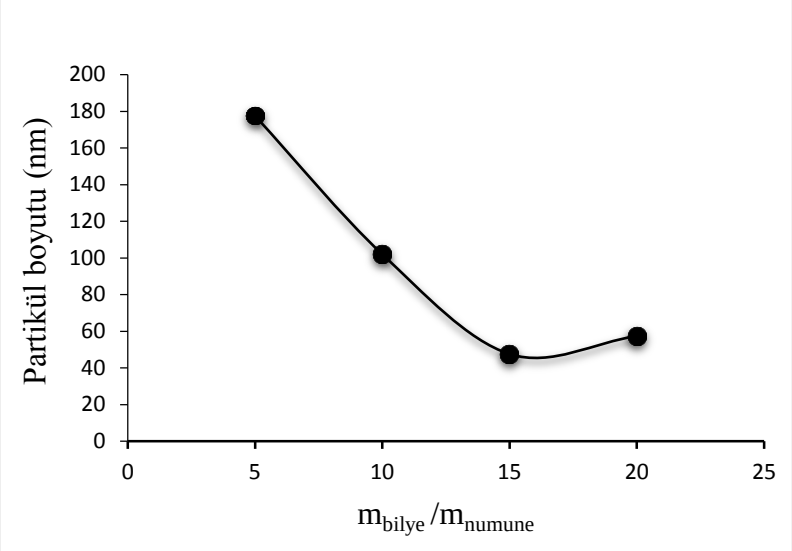
Nanopartiküllerin istenilen en küçük boyuta indirilebilmesi için farklı numune/bilye kütle oranlarında (1:5, 1:10, 1:15, 1:20) ve farklı öğütme sürelerinde (5, 7, 9, 11 saat) dolomit ve boksit mineralleri öğütülmüş ve en uygun şartlarda en küçük partikül boyutunda nanopartiküller elde edilmiştir.

<u>Dolomit mineralinin en küçük partikül boyutunda elde edilmesi için en uygun şartların belirlenmesi</u>

Dolomit için partikül boyutunun belirlenmesi için sabit 5 saat öğütme süresinde en küçük partikül boyutuna 1:15 numune/ bilye oranında inilmiştir. Bu oranda partikül boyutları 47 nm ’dir. Şekil 5.1’ de dolomit için 1:15 numune /bilye oranında partikül boyut dağılımı verilmiştir. Çalışılan bütün oranlarda elde edilen sonuçlar dolomit için Şekil 5.2’de verilmiştir.



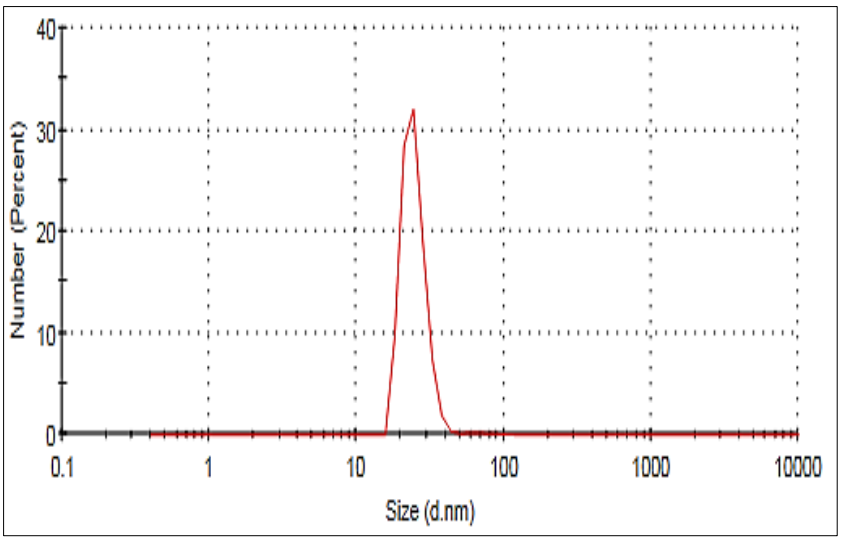
Şekil 5.1. Dolomit için 1:15 kütlece numune /bilye oranında partikül boyut dağılımı



Şekil 5.2. Kütlece dolomit/bilye oranının partikül boyutuna etkisi

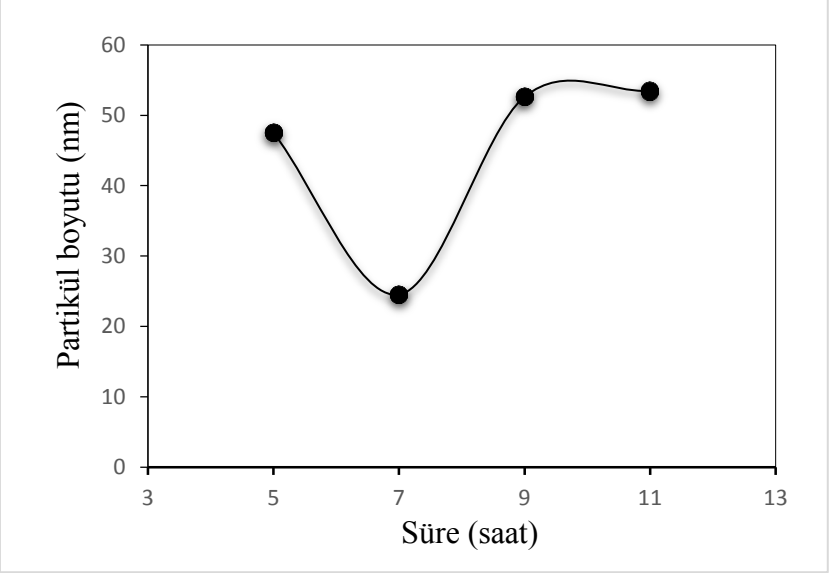
Şekil 5.2' de görüldüğü üzere partikül boyutu 1:15 numune/bilye oranına kadar düşmüş fakat numune/bilye oranı 1:20 olduğunda tekrar artış göstermiştir. Bu da partiküllerin belli bir bilye oranında küçük boyutta elde edildiğini, bilye oranı arttıkça topaklanma nedeniyle boyut artışı olduğunu göstermektedir.

Optimum numune/bilye oranı belirlendikten sonra bu oranda numune ve bilyeler hazırlanmış reaktörlere konulmuştur. Spexte kalma süresi 5, 7, 9, 11 saat olacak şekilde numuneler öğütülmüştür. Dolomit için en uygun süre 7 saat olarak belirlenmiştir. 7 saat spexte öğütülen numunelerin partikül boyutu 24 nm olarak bulunmuştur. Şekil 5.3. 'de 7 saat öğütme süresinde elde edilen numunenin partikül boyut dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 5.3. Dolomitin 7 saat öğütme süresinde elde edilen partikül boyut dağılımı

Çalışılan tüm öğütme sürelerinde elde edilen boyut analizi sonuçları dolomit için Şekil 5.4'te verilmiştir.

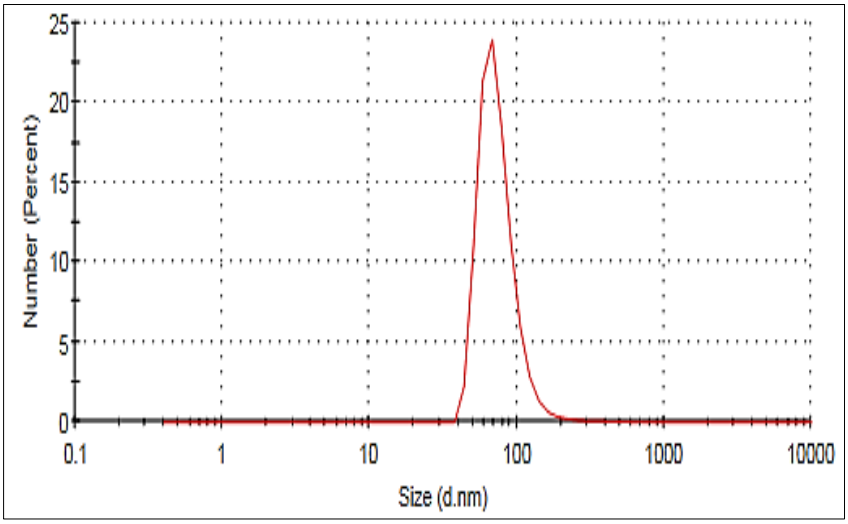


Şekil 5.4. Dolomit için spexte kalma süresinin partikül boyutuna etkisi

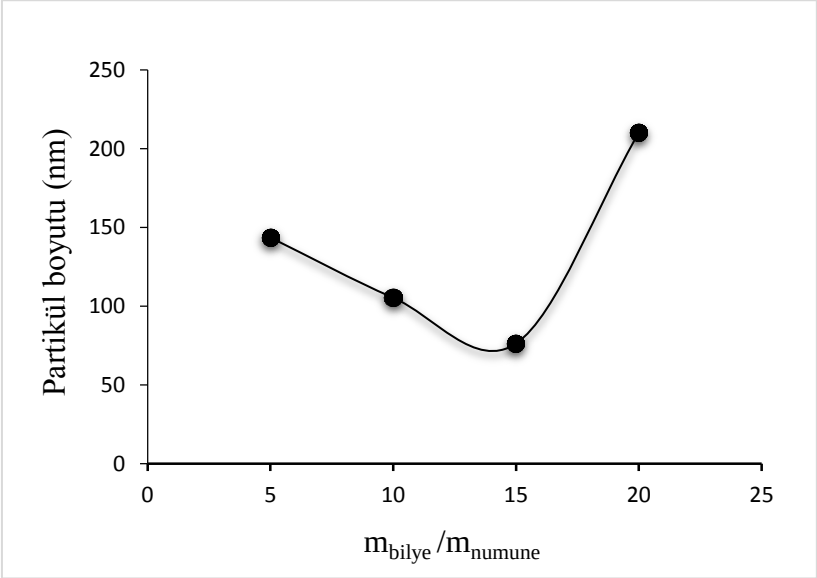
Şekil 5.4'de görüldüğü gibi en küçük partikül boyutu 7 saat öğütme süresinde elde edilmiştir 7 saatten daha uzun süren öğütme süresi sonucunda partikül boyutu artmıştır. Partikül boyutundaki büyüme, öğütme süresi arttıkça yükselen sıcaklığın etkisiyle oluşan topaklaşma ile açıklanabilir.

Boksit mineralinin en küçük partikül boyutunda elde edilmesi için en uygun şartların belirlenmesi

Boksit minerali ve bilyeler numune/ bilye oranları kütlece 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 olacak şekilde reaktörlere yerleştirilerek spexte kalma süresi 5 saat sabit tutulmuştur. En küçük partikül boyutuna 1:15 numune/ bilye oranında inilmiştir. Bu oranda boksit mineralinin partikül boyutu 76 nm'dir. Şekil 5.5'de boksit için 1:15 kütlece numune/bilye oranında partikül boyut dağılımı verilmiştir.



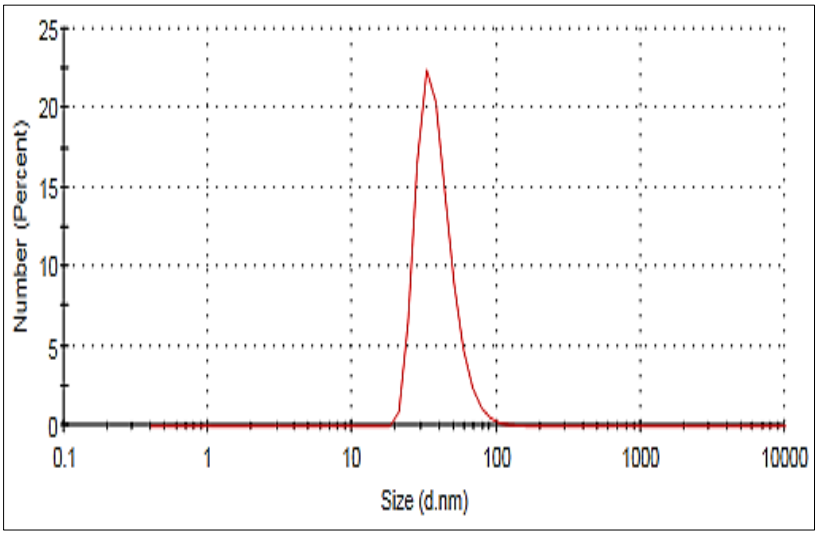
Şekil 5.5. Boksit için 1:15 kütlece numune /bilye oranında partikül boyut dağılımı



Şekil 5.6. Kütlece boksit/bilye oranının partikül boyutuna etkisi

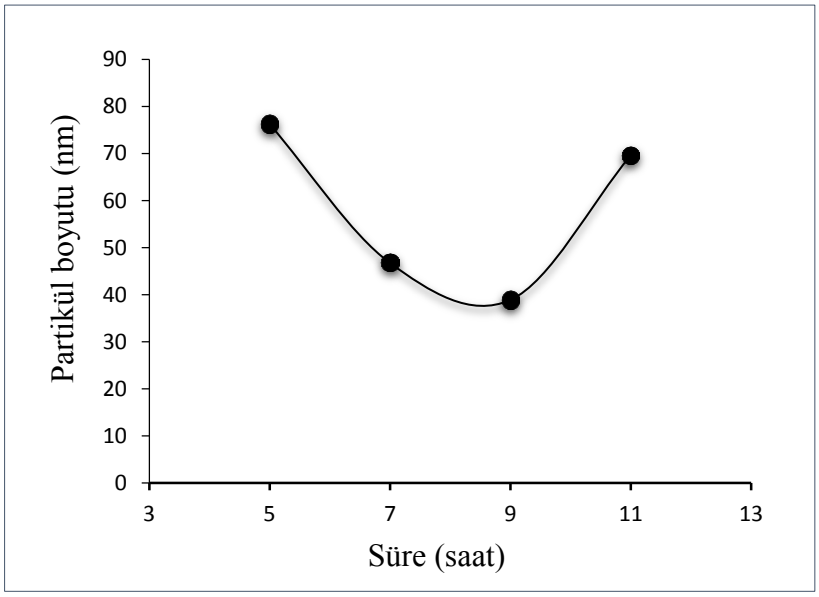
Şekil 5.6'da görüldüğü gibi partikül boyutu, 1:15 boksit/bilye oranında yaklaşık 76 nm iken 1:20 oranında 210 nm olarak bulunmuştur. En küçük partikül boyutunun elde edildiği orandan daha yüksek oranlarda çalışıldığında bilye kütlesi arttığından doloyı boksit minerali topaklanmıştır, aglomerasyon sebebiyle partikül boyutu oldukça yüksek çıkmıştır.

En uygun numune/bilye oranı belirlendikten sonra bu oranda numune ve bilyeler hazırlanmış reaktörlere konulmuştur. Spexte kalma süresi 5, 7, 9, 11 saat olacak şekilde numuneler öğütülmüştür. Boksit için en küçük partikül boyutuna 9 saat spexte kalma süresinde elde edilmiştir. 9 saat spexte öğütülen numunenin partikül boyutu 38 nm olarak bulunmuştur. Şekil 5.7 'de 9 saat öğütme süresinde elde edilmiş numunenin partikül boyut dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 5.7. Boksitin 9 saat öğütme süresinde elde edilen partikül boyut dağılımı

Çalışılan tüm öğütme sürelerinde elde edilen boyut analizi sonuçları boksit için Şekil 5.8'de verilmiştir.

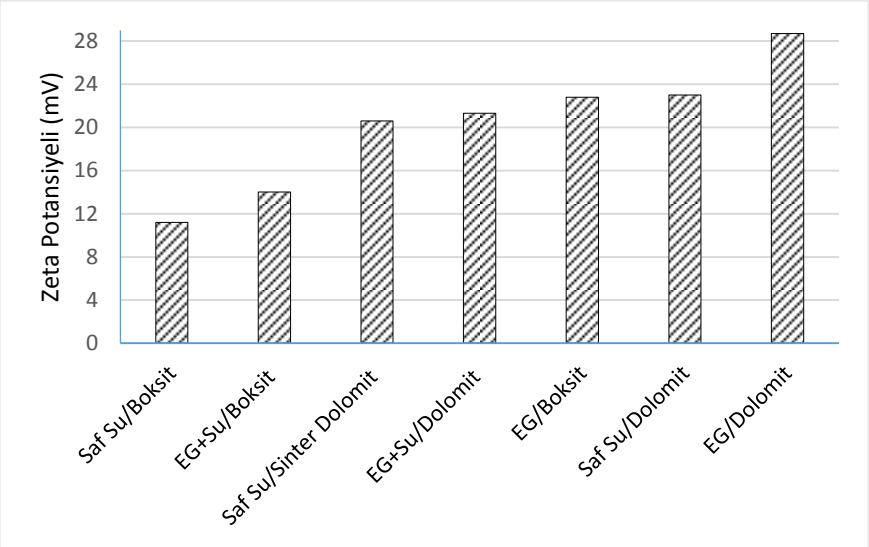


Şekil 5.8. Boksit için spexte kalma süresinin partikül boyutuna etkisi

Şekil 5.8'de görüldüğü gibi en küçük partikül boyutu 9 saat öğütme süresinde elde edilmiştir. Öğütme süresi arttıkça aglomerasyon nedeniyle partikül boyutunda artış meydana gelmiştir.

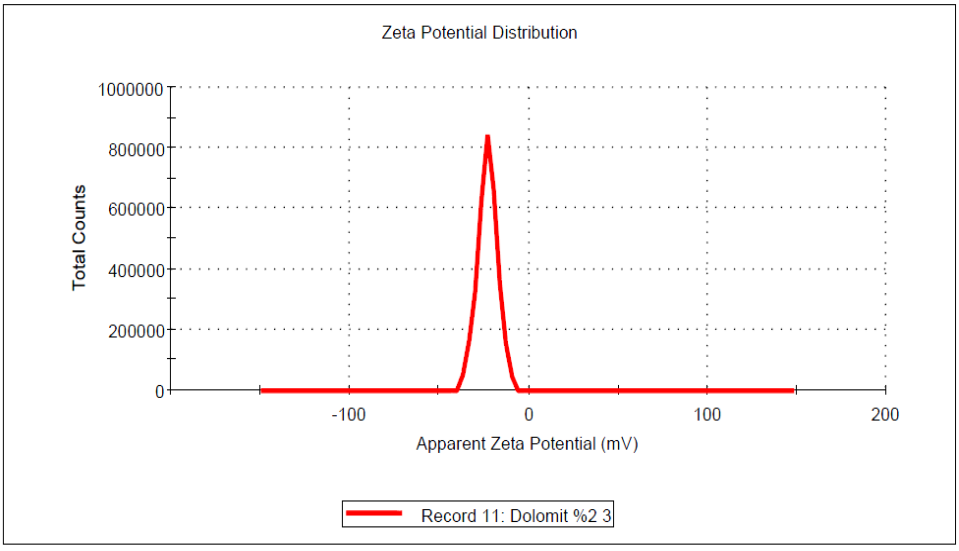
5.2. Nanoakışkanların Kararlılıklarının İncelenmesi

Hazırlanan nanoakışkanların kararlılık analizlerinin yapılabilmesi için zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Nanoakışkanların kararlılıklarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem zeta potansiyeli ölçümüdür (Dey ve diğerleri, 2017). Farklı temel akışkanlar kullanılarak hazırlanan ağırlıkça %2' lik dolomit ve boksit nanoakışkanlarının zeta potansiyeli ölçümleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. %2 konsantrasyonda hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanlarının zeta potansiyelleri

Hazırlanan nanoakışkanlar içinde en kararlı olan dolomit/EG nanoakışkanına ait zeta potansiyel ölçüm grafiği Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. %2'lik dolomit/EG nanoakışkanının zeta potansiyeli grafiği

Taneciklerin süspansiyonlarını içeren akışkanın, zeta potansiyeli ya pozitif ya da negatif değerde 20 mV'nin üzerinde olduğu durumda akışkanın fiziksel olarak kararlı olduğu ve zeta potansiyelinin 20 mV'nin altında olduğu durumda zayıf stabiliteye sahip olduğu bilinmektedir (Sundar ve diğerleri, 2013). Zeta potansiyeli, sıvıda dağılmış yüklü parçacıklar arasındaki itme derecesini gösterir. Yüksek bir zeta potansiyeli, dağınık

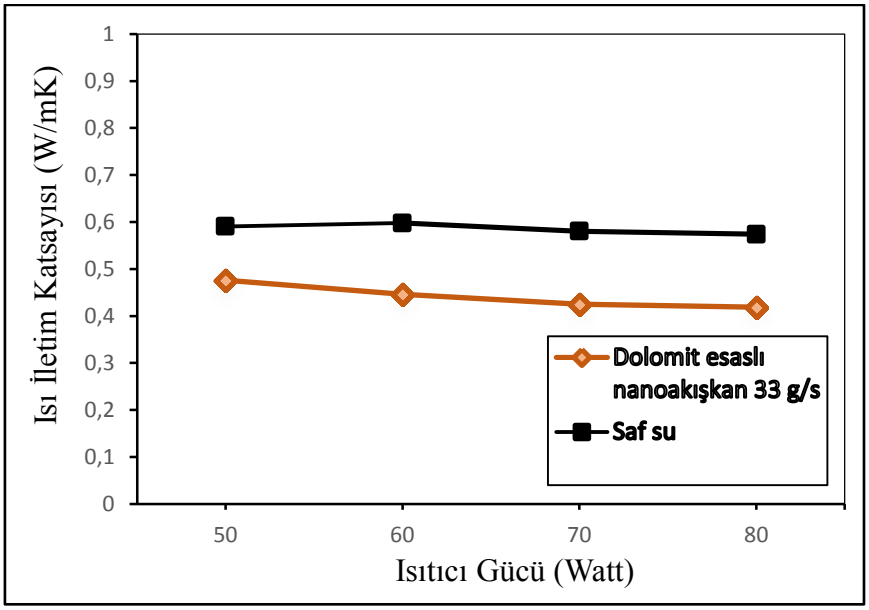
parçacıklar ve daha küçük çekici Van der Waals kuvvetleri arasında kuvvetli kolombik itme kuvvetleri olduğunu göstermektedir (Chamsa-ard ve diğerleri, 2017). Zeta potansiyeli ölçümü sonuçlarına göre dolomit nanoakışkanı boksit içeren nanoakışkana göre daha kararlı bir yapı göstermiştir.

5.3. Dolomit ve Boksit Esaslı Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Nanoakışkanların ısıl sistemlerde kullanımını belirleyen en önemli parametre nanoakışkanların termofiziksel özellikleridir. Çalışmada hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik, özgül ısı, vizkozite ve yüzey gerilimi-temas açı ölçümleri yapılmıştır.

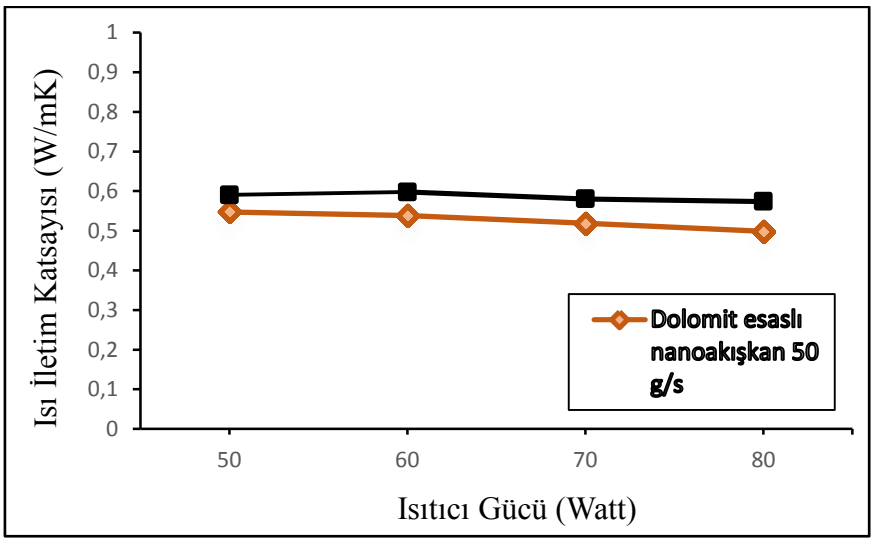
5.3.1. Dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların termal iletkenliklerinin belirlenmesi

Termal iletkenlik ölçümleri farklı ısıtıcı gerilim değerlerinde ve farklı akış hızlarında yapılmıştır. Su ve hazırlanan nanoakışkanların ayrı ayrı termal iletkenlikleri ölçülmüştür. İlk olarak suyun termal iletkenliği belirlenmiştir ve literatür verisi ile arasındaki farkın % 4'ü geçmediği görülmüştür (Ramires ve diğerleri, 1995). Termal iletkenlik ölçüm sisteminde üç farklı soğutma suyu debisi ile çalışılmıştır. Şekil 5.11’ de 33 g/s debide dolomit esaslı nanoakışkan ve saf suyun termal iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.



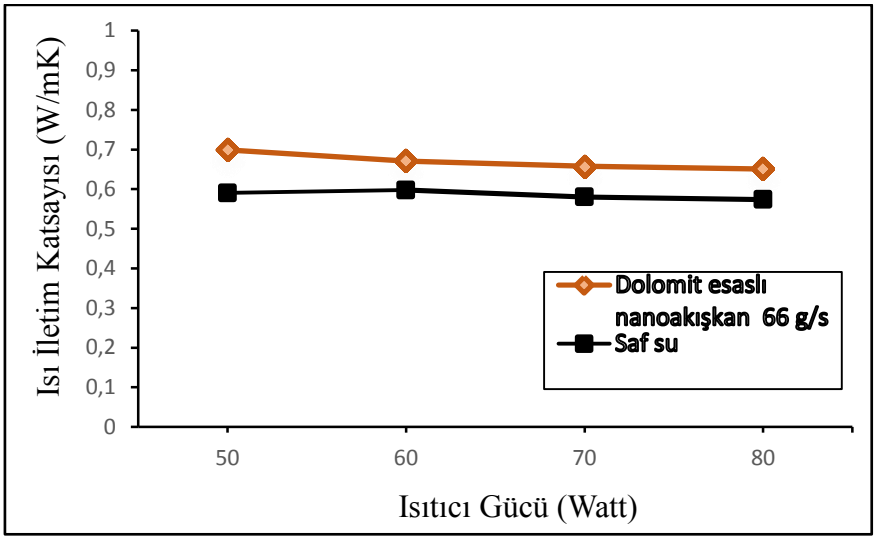
Şekil 5.11. Saf su ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (33 g/s debide)

Şekil 5.12'de 50 g/s debide dolomit esaslı nanoakışkan ve saf suyun termal iletkenlik değerleri verilmiştir.



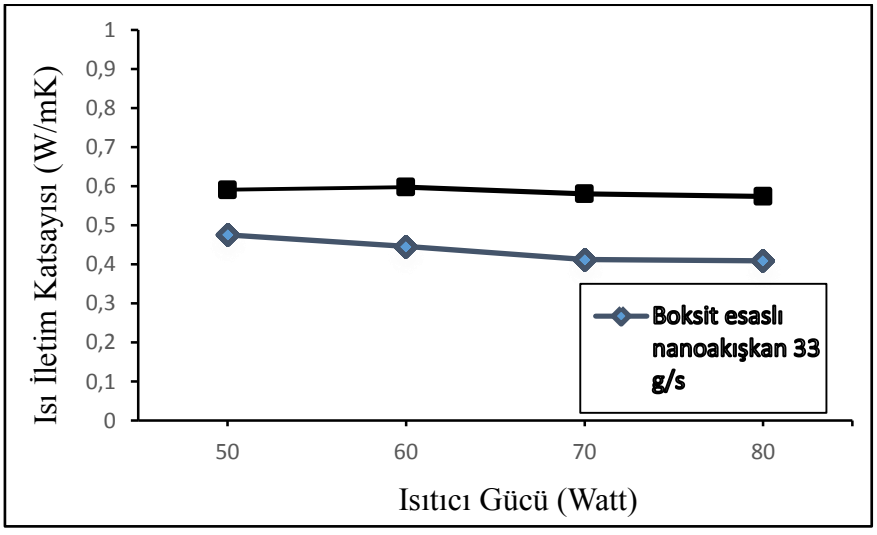
Şekil 5.12. Saf suyun ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (50 g/s debide)

Yapılan deney sonuçlarına göre 33 g/s ve 50 g/s akış hızlarında suyun termal iletkenliği daha yüksek çıkmıştır. Şekil 5.13'te saf suyun ve 66 g/s debide dolomit esaslı nanoakışkan için farklı ısıtıcı gücünde ısıl iletim katsayıları verilmiştir.

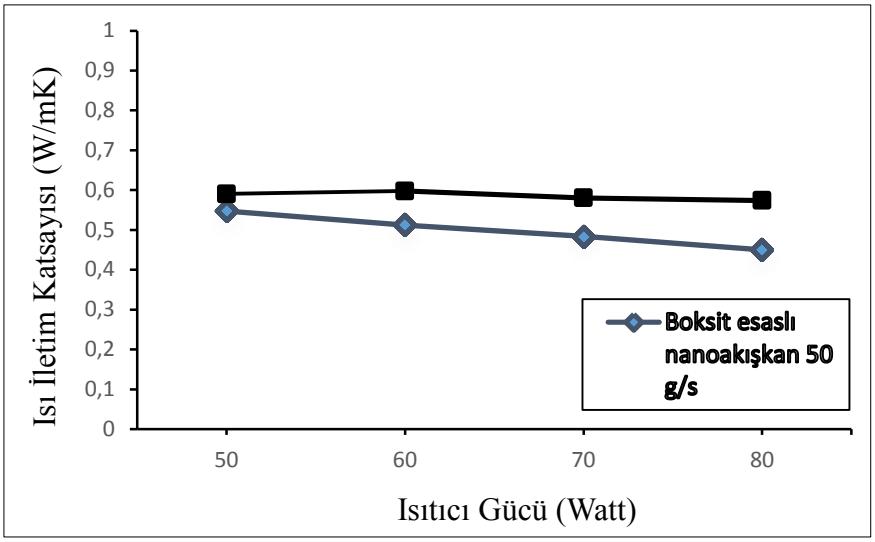


Şekil 5.13. Saf su ve dolomit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (66 g/s debide)

Şekil 5.13' te görüldüğü üzere akış hızı arttığında dolomit nanoakışkanın termal iletkenliği suya göre daha fazla bulunmuştur. Isıtıcı gücü 50 W olarak ayarlandığında ve 66 g/s akış hızında suyun ısı iletim katsayısı deney düzeneğinde 0,59 W/m. K olarak bulunurken dolomit esaslı nanoakışkanın termal iletkenliği 0,699 W/m. K olarak bulunmuştur. Isıl iletkenlik artış oranı %18,4 olarak bulunmuştur. Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te sırasıyla 33 g/s ve 50 g/s debideki boksit nanoakışkanın ve saf suyun termal iletkenlikleri verilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre 33 g/s ve 50 g/s akış hızlarında suyun termal iletkenliği boksit esaslı nanoakışkanın termal iletkenliğine göre daha yüksek çıkmıştır.

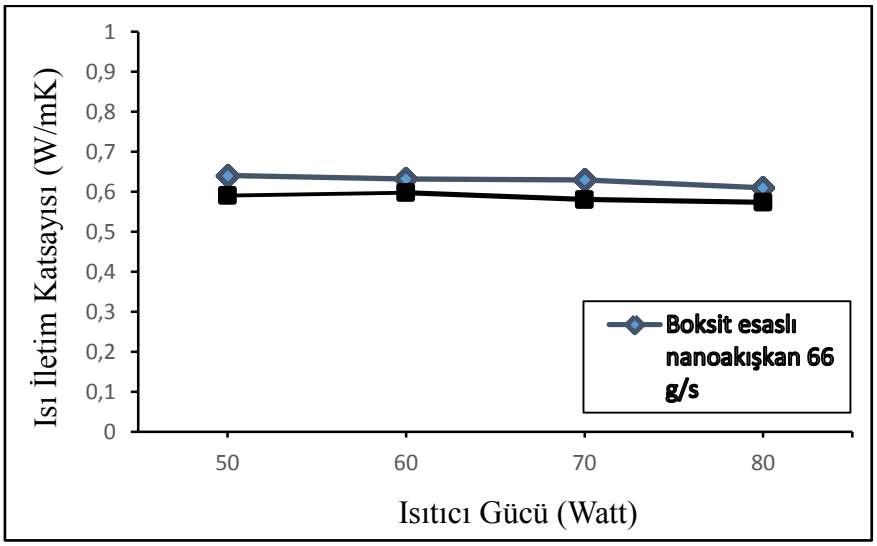


Şekil 5.14. Saf su ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (33 g/s debide)



Şekil 5.15. Saf suyun ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (50 g/s debide)

Şekil 5.16'da saf suyun ve 66 g/s debide boksit nanoakışkanı için farklı ısıtıcı gücünde ısıl iletim katsayıları verilmiştir.



Şekil 5.16. Saf suyun ve boksit nanoakışkanının farklı ısıtıcı güçlerindeki termal iletkenlikleri (66 g/s debide)

Soğutucu akışkanın debisi arttıkça boksit nanoakışkanın termal iletkenliği artmıştır. Boksit esaslı nanoakışkanın 50 W ve 66 g/s soğutucu akışkan debisinde ısıl iletim katsayısı 0,64 W/m. K olarak bulunmuştur. Isıl iletkenlik artışı %8,47 olarak bulunmuştur.

5.3.2. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların özgül ısılarının belirlenmesi

Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı ve kalorimetre kabında yapılan ölçümler sonucunda temel akışkan olarak saf su kullanılarak hazırlanan %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların 20 °C 'deki ölçülen özgül ısı değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Temel akışkan olarak suyun kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları

Akışkan	Özgül ısı (J/g. °C)
Saf su	4,18
Saf su+Dolomit	4,365
Saf su+Boksit	4,354

Dolomit ve boksit nanoakışkanlarının içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve ısı taşıma kapasitesi saf suya göre daha yüksek olarak bulunmuştur. %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanının özgül ısısı suya göre %4,4 artış göstermiştir. %2'lik dolomit nanoakışkanının 20 °C de özgül ısısı %2'lik boksit nanoakışkanının özgül ısısısından daha büyük olduğu görülmüştür. Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak hazırlanan %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların belirlenen özgül ısı değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Temel akışkan olarak etilen glikolün kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları

Akışkan	Özgül ısı (J/g. °C)
Etilen glikol	2,45
Etilen glikol+Dolomit	2,72
Etilen glikol+Boksit	2,55

Yapılan ölçümler sonucunda temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak hazırlanan %2 dolomit ve %2 boksit içeren nanoakışkanların özgül ısılarının etilen glikole göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolomit-EG nanoakışkanının özgül ısı değeri etilen göre göre %11 daha yüksek bulunmuştur. Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımı

kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların belirlenen özgül ısı değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

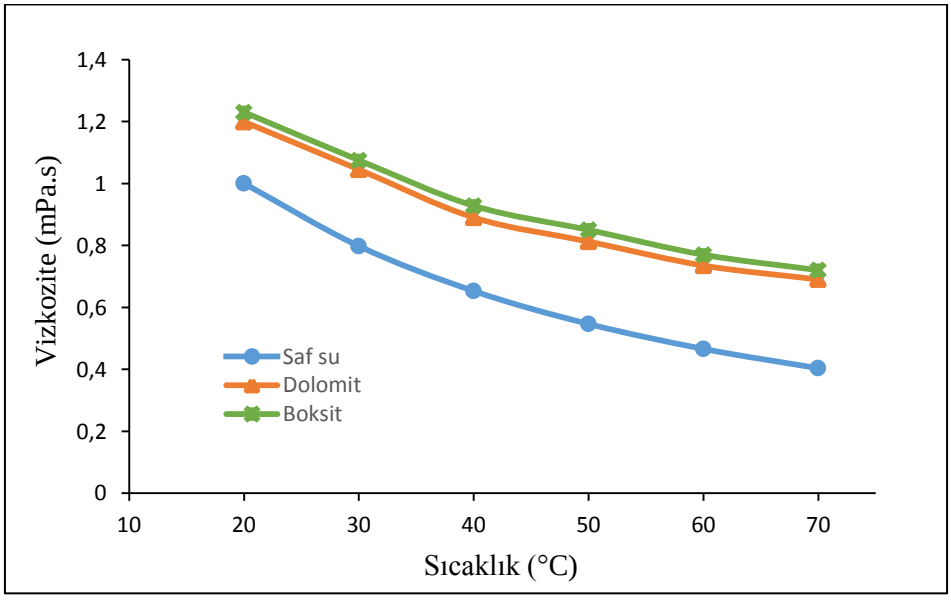
Çizelge 5.3. Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımın kullanıldığı nanoakışkanların özgül ısıları

Akışkan	Özgül ısı (J/g. °C)
Etilen glikol+Su	3,32
Etilen glikol-Su+Dolomit	3,74
Etilen glikol-Su+Boksit	3,6

Etilen glikol-su karışımı temel akışkan olarak kullanıldığında hazırlanan nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin etilen glikol-su karışımına göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, nanoakışkanların kullanılan temel akışkana göre ısı tutma ve ısı taşıma kapasitesinin daha büyük olduğu görülmüştür.

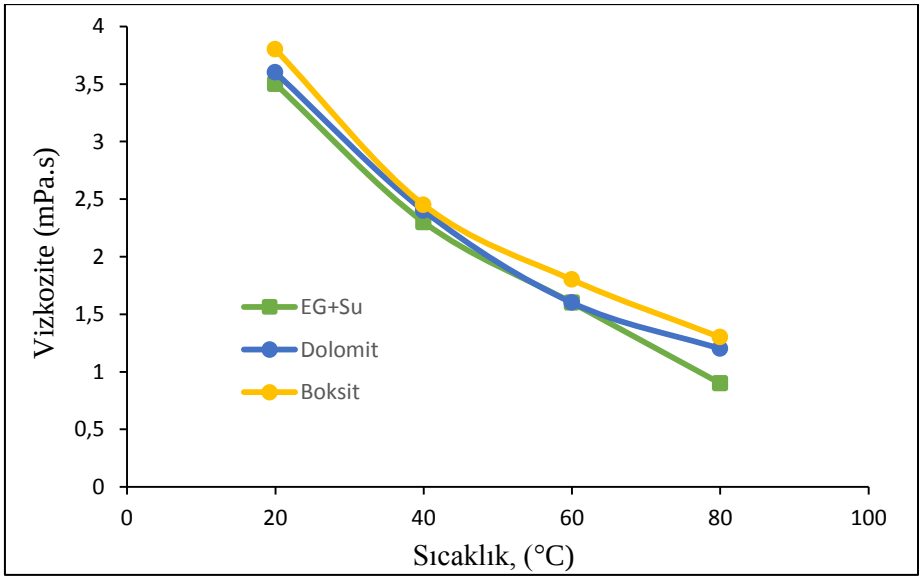
5.3.3. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerlerinin belirlenmesi

Vizkozite değerleri Brookfield marka viskozimetre ile farklı sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C) belirlenmiştir. Saf suyun ve %2 konsantrasyona sahip dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Saf su, dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri

Viskozite, nanoakışkanlar için ısı transferi uygulamalarında önemli bir termofiziksel özelliktir. Çünkü pompalama kuvveti ve basınç düşmesi nanoakışkanların bu özelliğine bağlıdır. Temel akışkanlara kıyasla nanoakışkanların viskozitesindeki artış, ısıl sistemler için bir dezavantajdır. Şekil 5.17'de görüldüğü üzere dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değeri saf suyun vizkozite değerine göre yüksektir. Suyun viskozitesi 1 mPa.s iken, 20 ° C'de dolomit nanoakışkanının vizkozitesi 1,19 mPa.s, boksit nanoakışkanının viskozitesi 1,23 mPa.s olarak bulunmuştur. Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen önemli parametreler; sıcaklık, nanopartikül konsantrasyonu, nanopartikül boyutu ve şekli, pH ve kayma gerilimidir. Temel akışkan içerisindeki nanopartikül konsantrasyonu arttıkça, nanoakışkanın viskozitesinde de artış meydana gelmektedir. Fakat sıcaklık arttıkça vizkozite değeri düşmektedir (Masuda ve diğerleri, 1993; Wang ve diğerleri, 1999). Ağırlıkça %50 etilen glikol- su karışımının ve %2 konsantrasyona sahip dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18. EG-Su, dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların vizkozite değerleri

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi dolomit ve boksit nanopartikülleri, Eg-su karışımına eklendiğinde vizkoziteyi arttırmıştır. Boksit nanokışkanının vizkozite değeri suya göre %8,5 daha yüksek olarak bulunmuştur. Viskozitedeki artış, akış kanalındaki basınç düşümünde ve akış için gerekli pompa gücünde artışlara neden olabilmektedir bu nedenle vizkozite artışı nanoakışkan uygulamalarını sınırlandırabilmektedir. Bu amaçla,

nanoakışkan uygulamalarında maksimum ısıl iletkenlik katsayısı ve minimum viskozite değerlerinin sağlanabilmesi önem taşımaktadır (Elçioğlu ve diğerleri, 2014).

5.3.4. Dolomit ve Boksit esaslı nanoakışkanların temas açılarının ve yüzey gerilimlerinin belirlenmesi

Temas açılanın belirlenmesi

Temel akışkanların, %2 konsantrasyonda nanopartikül ve %0,5 konsantrasyonda yüzey aktif madde (Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat, Triton X-100) kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların aynı miktardaki temas açıları ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 5. 4'te verilmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 5.19. Temas açısı ölçümleri (a) Saf su (b) SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı (c) Triton X-100 katkılı dolomit nanoakışkanı

Katı, sıvı ve gazdan oluşan üç fazlı bir sistemde, cilalanmış veya preslenmiş katı yüzey üzerinde sıvının oluşturduğu statik açı temas açısı olarak tanımlanır (Sözen ve diğerleri, 2018). Temas açısı arttığında, katı yüzey artık sıvı ile ıslanmamaktadır. Sonuç olarak, katı yüzey hidrofobik olarak adlandırılır. Temas açısı azalırsa, ıslanabilirlik artar ve bu nedenle sıvı hidrofilik yapıya dönüşür.Yüzey aktif maddeler, katı yüzey üzerindeki katı-sıvı ara yüzey gerilimini ve temas açısını azaltır.

Çizelge 5.4. Saf suyun ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları

Kullanılan akışkan	Temas açısı (°)
Saf su	58
Saf su+SDBS/Dolomit	31
Saf su+SDBS/Boksit	39
Saf su+Triton X-100/Dolomit	35
Saf su+Triton X-100/Boksit	48

Çizelge 5.4'te verilen deney sonuçlarından görüldüğü üzere saf suyun temas açısı 58° iken, SDBS içeren dolomit nanoakışkanının temas açısı 31°, Triton X-100 içeren dolomit nanoakışkanının temas açısı 35° olarak bulunmuştur. SDBS içeren boksit nanoakışkanının temas açısı 39°, Triton X-100 içeren boksit nanoakışkanının temas açısı 48° olarak bulunmuştur. SDBS yüzey aktif maddesi eklenen nanoakışkanıların yüzeyi ıslatabilme yeteneği Triton X-100 eklenerek hazırlanan nanoakışkanlardan daha yüksektir. SDBS katkılı nanoakışkanların daha hidrofilik olduğu belirlenmiştir.

Temel akışkan olarak etilen glikol ve yüzey aktif madde olarak Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) kullanılarak hazırlanan %2 dolomit ve %2 boksit içeren nanoakışkanların temas açıları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları

Kullanılan akışkan	Temas açısı (°)
Etilen Glikol	45
EG+SDBS/Dolomit	36
EG+SBDS/Boksit	43

Etilen glikolun temas açısı dolomit ve boksit nanoakışkanlarına göre daha büyüktür. Nanoakışkanların yüzeyi ıslatabilme özelliği etilen glikole göre daha fazladır. Etilen glikol-su (50:50) ve temel akışkan etilen glikol-su karışımı, yüzey aktif madde olarak Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) kullanılarak hazırlanan %2 dolomit ve %2 boksit içeren nanoakışkanların temas açıları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Etilen glikol-su (50:50) ve %2 konsantrasyondaki nanoakışkanların temas açıları

Kullanılan akışkan	Temas açısı (°)
Etilen Glikol+Su	50
EG-Su+SDBS/Dolomit	34
EG-Su+ SBDS/Boksit	39

Daha küçük temas açısına sahip akışkan, yüzeyin ıslanma derecesini arttırdığından ısı borusu sistemlerinde daha uygulanabilirdir. Bu özellik, ısı transferi üzerinde olumlu bir etki sağlar.

Yüzey gerilimlerinin belirlenmesi

Yüzey gerilimlerin bulunmasında Traube stalogmometresi kullanılmıştır. Hazırlanan nanoakışkanların yüzey gerilimleri, yüzey gerilimi bilinen saf su referans alınarak belirlenmiştir. Tek bir damlanın tartımından gelecek hatayı azaltmak için n damla düşülerek tartılmış ve bir damlanın ortalama ağırlığı bulunmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak nanoakışkanların yüzey gerilimleri hesaplanmıştır. m_1 , m_2 damla kütlesi; γ_1 , γ_2 sıvıların yüzey gerilimleridir. Saf suyun 20 ºC yüzey gerilimi γ_{su} = 72,75 dyn.cm^{-1} olarak alınmıştır. Saf su ve farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanların yüzey gerilimleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

$$m_1/m_2 = \gamma_1/\gamma_2 \tag{5.1}$$

Çizelge 5.7. Saf su ve farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanların yüzey gerilimleri

Kullanılan Akışkan	Yüzey gerilimi (dyn.cm^{-1})
Saf Su	72,75
Saf Su+SDBS/Dolomit	33,12
Saf Su+Triton X-100/Dolomit	36,49
Saf Su+SDBS/Boksit	37,93
Saf Su+Triton X-100/Boksit	46,76

Nanoakışkan içerisinde bulunan yüzey aktif maddeler molekülleri içe doğru çekmesini belli ölçüde engellediğinden dolayı yüzey aktif madde katılarak hazırlanan nanoakışkanların yüzey gerilimleri saf suya göre düşüktür. Fakat yüzey aktif maddelerin etkileri kendi içlerinde karşılaştırıldığında, SDBS içeren nanoakışkanların yüzey gerilimleri, Triton X-100 içeren nanoakışkanların yüzey gerilimlerinden daha küçük olduğu görülmüştür. Temel akışkan olarak etilen glikol ve yüzey aktif madde olarak SDBS

kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanların yüzey gerilimleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Etilen glikol ve SDBS katkılı nanoakışkanların yüzey gerilimleri

Kullanılan Akışkan	Yüzey gerilimi ($dyn.cm^{-1}$)
Etilen Glikol	47,7
EG+SDBS/Dolomit	31
EG+SDBS/Boksit	39,4

Etilen glikolün temel akışkan olarak kullanıldığı nanoakışkanların yüzey gerilimleri saf etilen glikole göre daha yüksektir. Dolomit nanoakışkanının yüzey geriliminin boksit nanoakışkanına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımı ve yüzey aktif madde olarak SDBS kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit nanoakışkanlarının yüzey gerilimleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Etilen glikol-su (50/50) karışımı ve SDBS katkılı nanoakışkanların yüzey gerilimleri

Kullanılan Akışkan	Yüzey gerilimi ($dyn.cm^{-1}$)
Etilen Glikol+Su	57
EG-Su+SDBS/Dolomit	34,2
EG-Su+SDBS/Boksit	43

Etilen-su karışımının yüzey gerilimi, etilen glikolün yüzey gerilimden daha yüksektir. Dolomit ve boksit nanopartiküllerinin etilen glikol-su karışımına eklenmesi, temel akışkanın yüzey gerilimini düşürmüştür. Isı borusu sistemlerinde, yüzey gerilimi düşük sıvıların kullanılması yüzey ıslanabilirliğini ve termal performansı arttırır.

5.4. Dolomit ve Boksit Esaslı Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisi

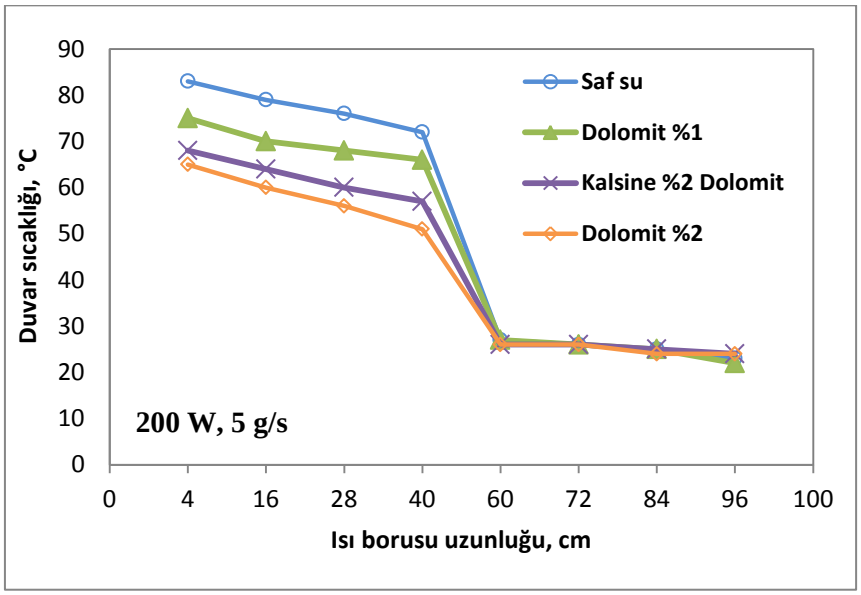
Çalışmanın bu aşamasında farklı temel akışkanlar ve kütlece 1/15 numune/bilye oranında ve dolomit için 7 saat, boksit için 9 saat öğütme süresinde elde edilen en küçük boyuttaki dolomit ve boksit nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı borusu performansına etkileri incelenmiştir. Isı borusu deneylerinde, nanoakışkanlar

kullanıldığında elde edilen ısı borusu duvar sıcaklıkları, ısıl direnç ve verim değerleri temel akışkanlar kullanıldığında elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

5.4.1. Nanoakışkanların ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Kütlece farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Öncelikle saf su kullanılarak ısı borusunun 200 W, 300 W ve 400 W ısıl güçte ve farklı soğutma suyu debilerinde duvar sıcaklıkları ölçülmüştür. Kütlece %1, %2 derişimde dolomit, %2 derişimde kalsine dolomit ve %0,5 konsantrasyonda Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) içeren nanoakışkanlar kullanılarak, 200 W ısıl güç değerinde ve 5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s soğutma suyu debilerinde ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir. Kalsinasyon işleminde nano boyuttaki dolomit minerali 850 °C'de 3 saat bekletilmiştir.

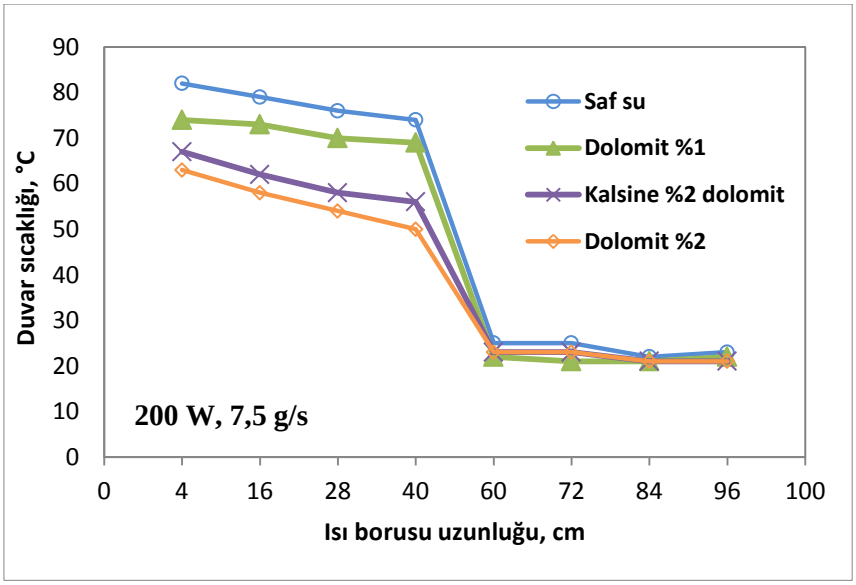


Şekil 5.20. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

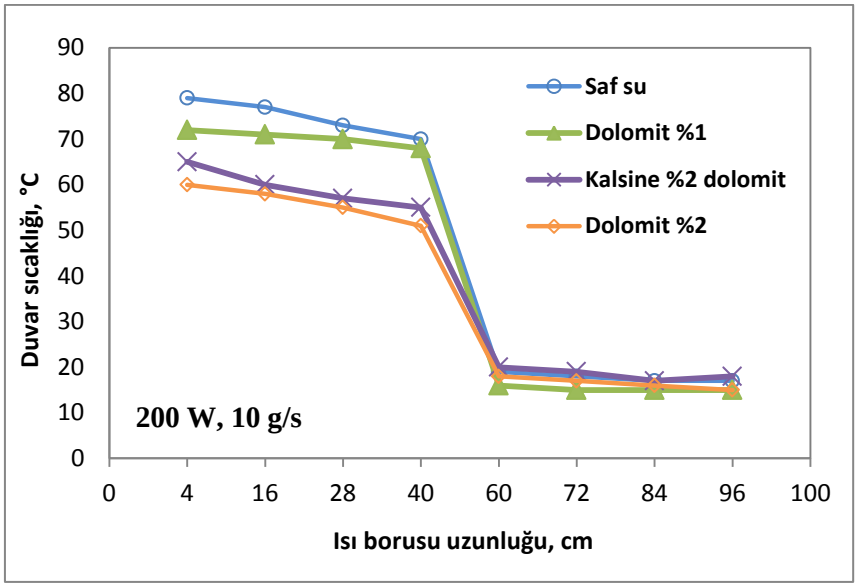
Şekil 5.20'de görüldüğü gibi buharlaşma bölgesinden yoğunlaşma bölgesine doğru ısı borusu duvarı sıcaklığı düşmektedir. Evaporatör bölgesine uygulanan 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisiyle yapılan deney sonuçlarına göre nanoakışkan kullanımıyla evaporatör bölgesinde saf suya göre daha düşük duvar sıcaklıkları elde edilmiştir. %2

derişimde dolomit içeren nanoakışkan kullanıldığında suya göre duvar sıcaklığında oldukça büyük bir sıcaklık farkı olduğu gözlenmektedir. Saf su kullanıldığında evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığı 77,5 °C iken % 2 derişimde dolomit içeren nanoakışkan kullanıldığında evaporatör bölgesindeki ortalama sıcaklık 58 °C olmuştur. Evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığında 19,5 °C'lik bir düşüş görülmektedir. %1 derişimde dolomit içeren nanoakışkan kullanıldığında ise evaporatör bölgesinde saf suya göre ortalama sıcaklıkta 8 °C lik bir azalma meydana gelmiştir. %2 derişimde kalsine dolomit nanoakışkanı kullanıldığında evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 61 °C'dir. Karbonatlı yapının parçalanması ısı borusu duvar sıcaklığında beklenen etkiyi göstermemiştir. Aksine %2 derişimdeki nanoakışkanın performansından daha düşük bir performans göstermiştir. Kondenser bölgesindeki oratalama duvar sıcaklığında saf suya oranla çok az bir miktar daha düşüş gözlenmiştir.

Kapalı termosifon ısı borularında nanoakışkan kullanımı evaporatör bölgesinde daha düşük sıcaklıklar da kaynama olmasını ve kondenser bölgesinde soğutma sıvısına ısı transfer hızının daha fazla olmasını sağlamaktadır. Evaporatör yüzeyinde biriken nanopartiküller ve nanoporoz tabaka ısı transferini pozitif yönde etkilemektedir. Bu avantaj, nanoakışkan ile yüklenen ısı borusunun sabit sıcaklık farkında saf sudan daha büyük ısı yüklerinde çalışmasına izin vermektedir (Özsoy ve Çorumlu, 2018).



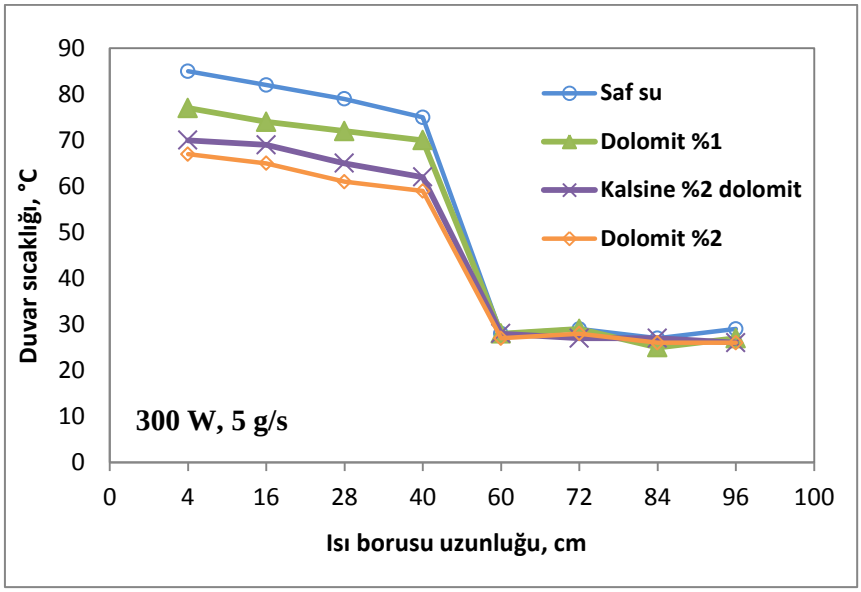
Şekil 5.21. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



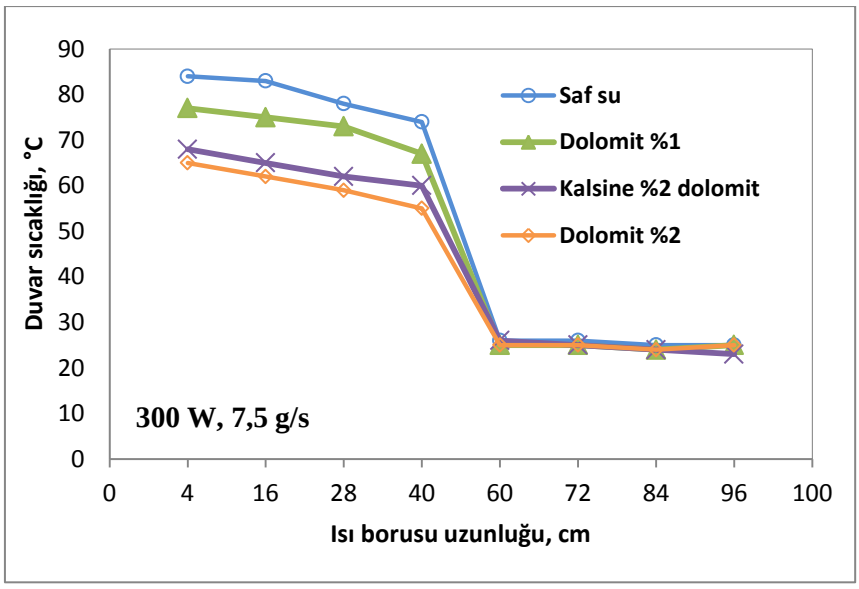
Şekil 5.22. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de 200 W ısıl güçte ve 7,5 g/s ve 10 g/s soğutma suyu debisinde elde edilen duvar sıcaklıkları görülmektedir. %1 konsantrasyonda dolomit nanoakışkanı kullanıldığında 200 W, 5 g/s debide evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 69,75 °C iken 10 g/s debide 71,5 °C'dir. Soğutma suyu debisi arttıkça evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama duvar sıcaklıkları düşmektedir.

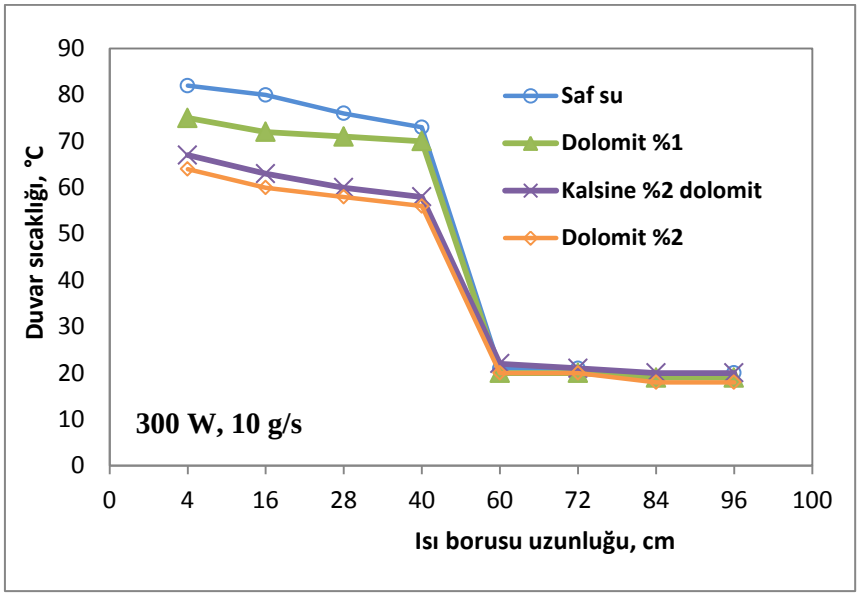
Kütlece %1, %2 derişimde dolomit ve % 2 derişimde kalsine dolomit içeren nanoakışkanları kullanılarak 300 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.23. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 5.24. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

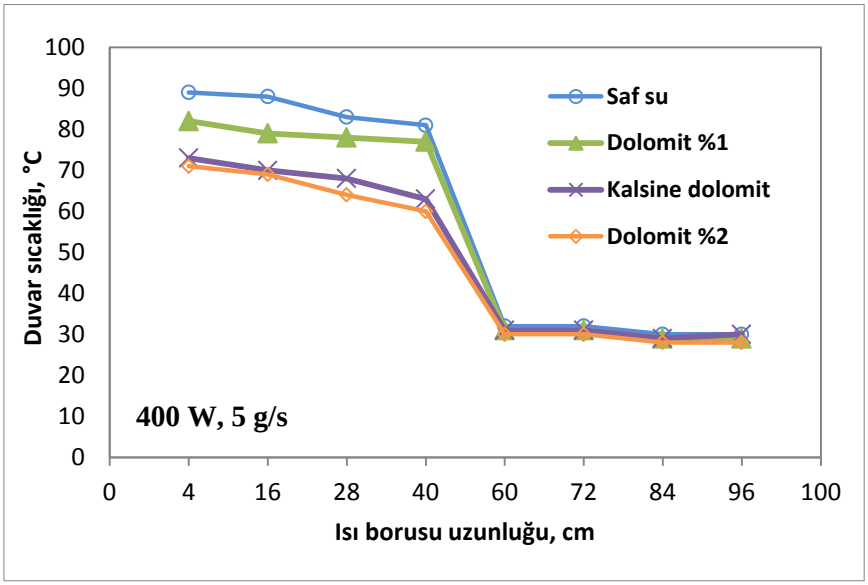


Şekil 5.25. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

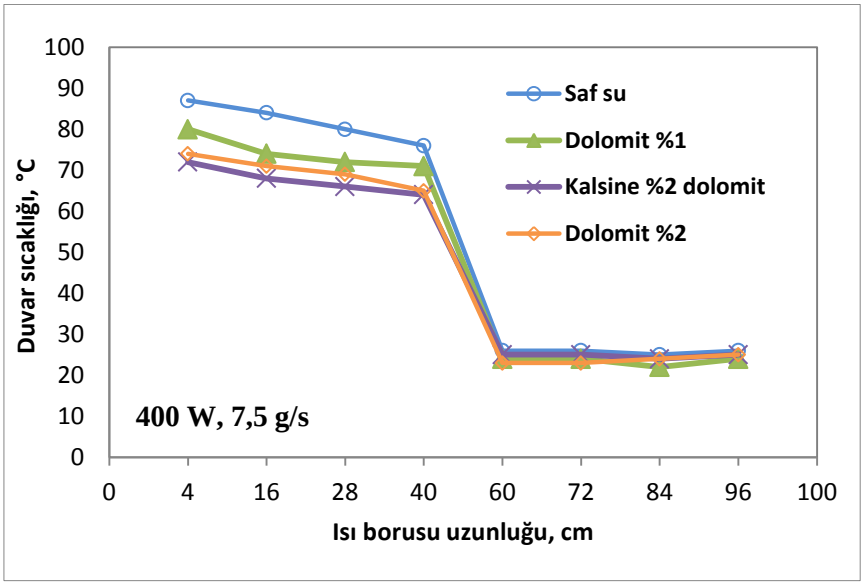
300 W ısıl güç uygulanarak elde edilen sonuçlarda 200 W ısıl güç kullanılarak gerçekleştirilen deneylere kıyasla ısıtma gücüne bağlı olarak evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama sıcaklıklarda artış meydana gelmiştir. Saf su yerine nanoakışkanların kullanılması, buharlaştırıcıda düşük sıcaklıkta kaynama olmasını ve yoğunlaştırıcıdaki soğutma sıvısının ısı transfer hızının daha fazla olmasına neden olmaktadır. Soğutma suyu debisindeki artış ortalama duvar sıcaklıklarında düşüş meydana getirmiştir. Menlik ve diğerleri (2015) %5 konsantrasyondaki MgO/su nanoakışkanını çalışma akışkanı olarak kullanarak termosifon tipi ısı borusu sistemindeki performansını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 300 W ısıtıcı gücünde ve 5 g/s soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesinin ortalama duvar sıcaklığını 65,5 °C olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada %2 konsantrasyonda dolomit nanoakışkanı kullanıldığında, 300 W, 5 g/s debide evaporatör bölgesinde duvar sıcaklığı 63 °C olarak bulunmuştur ve suyun çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre ortalama sıcaklık 14, 5 °C daha düşüktür. Dolomitin içinde MgO bileşiğinin yanı sıra ağırlıklı olarak kalsiyum oksit ve ayrıca silisyum oksit bulunmaktadır. Hibrit etki nedeniyle dolomit minerali kullanarak hazırlanan nanoakışkan duvar sıcaklığında daha fazla düşüşe neden olmuştur.

Kütlece %1, %2 derişimde dolomit ve %2 derişimde kalsine dolomit içeren nanoakışkanlar kullanılarak, 400 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s,

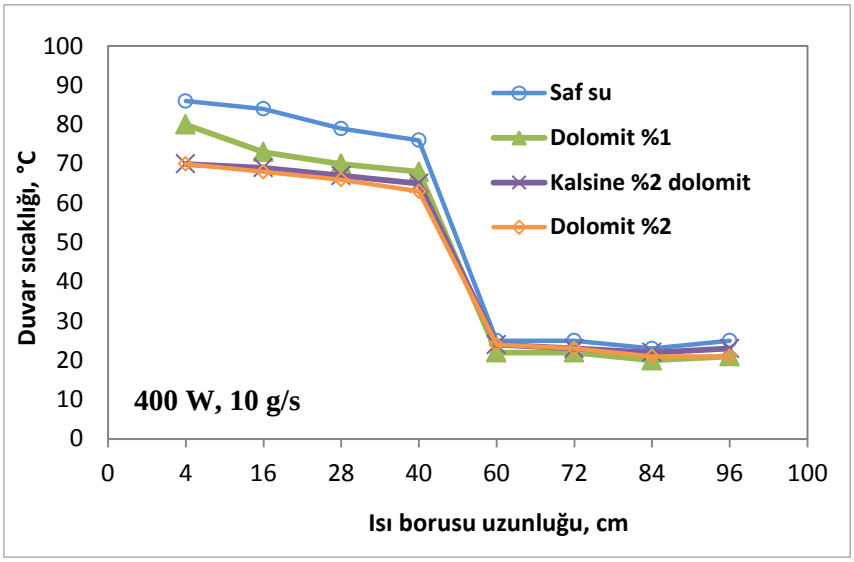
10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.26. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 5.27. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



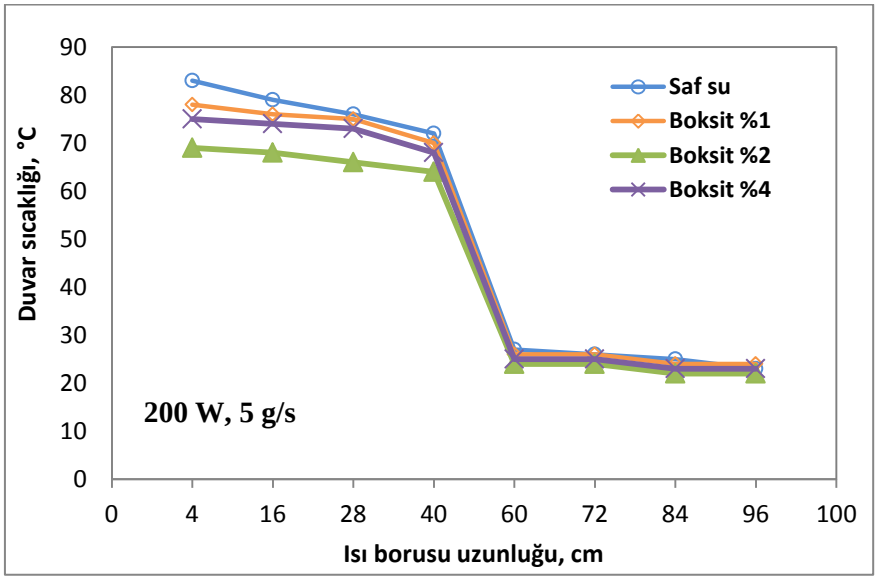
Şekil 5.28. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

400 W ısıl gücü uygulanarak elde edilen sonuçlara göre ısıtma gücüne bağlı olarak evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama duvar sıcaklıklarında artış meydana gelmiştir. Şekil 5.26'da görüldüğü üzere 400 W ısıl güç ve 5 g/s soğutma suyu debisi kullanılarak yapılan deneylerde saf suyun evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 85,25 °C olarak bulunmuştur. %2 derişimde dolomit içeren nanoakışkan kullanıldığında 400 W ısıl güç ve 5 g/s soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığı 66 °C olarak bulunmuştur. Evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklık farkı 19,25 °C'dir. Nanoakışkan kullanımı ile ortalama duvar sıcaklıkları saf suya göre düşmüştür. Soğutma suyu debisindeki artış ortalama duvar sıcaklıklarında düşüş meydana getirmiştir. Çiftçi ve diğerleri (2016) termosifon ısı borusunda %2 konsantrasyondaki TiO_2 nanoakışkanını çalışma akışkanı olarak kullanıldığında 400 W ısıtma gücü 10 g/s soğutma suyu debisinde evaporatör bölgesindeki sıcaklık düşüşü suya göre 9 °C olmuştur. %2 dolomit nanoakışkanı kullanıldığında aynı şartlarda suya göre evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığında 14,5 °C düşüş gözlenmiştir. Dolomit nanoakışkanı TiO_2 nanoakışkanına göre aynı şartlarda duvar sıcaklığında daha fazla düşüşe sebep olmuştur.

Kütlece farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

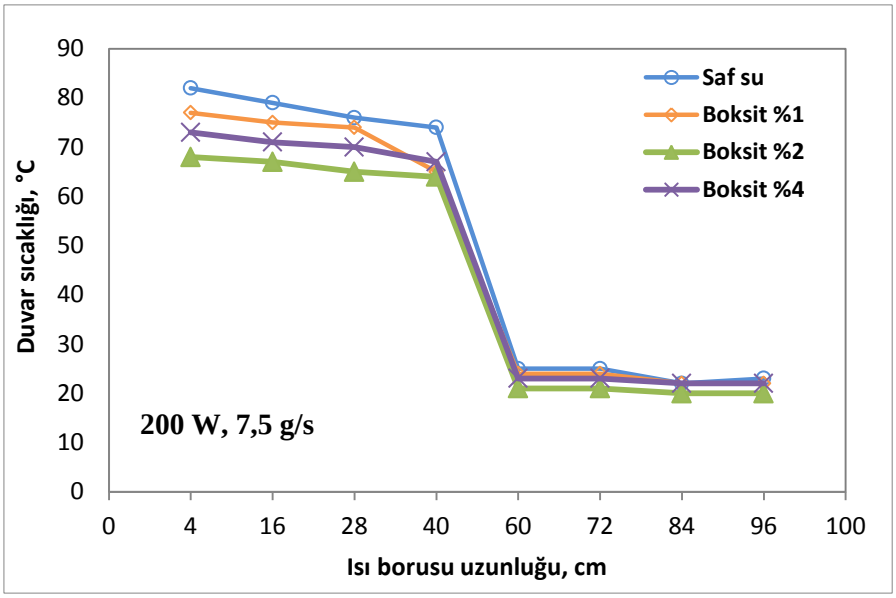
Kütlece farklı derişimlerde (%1, %2, %4) boksit ve %0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak, 200 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s,

10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de verilmiştir.

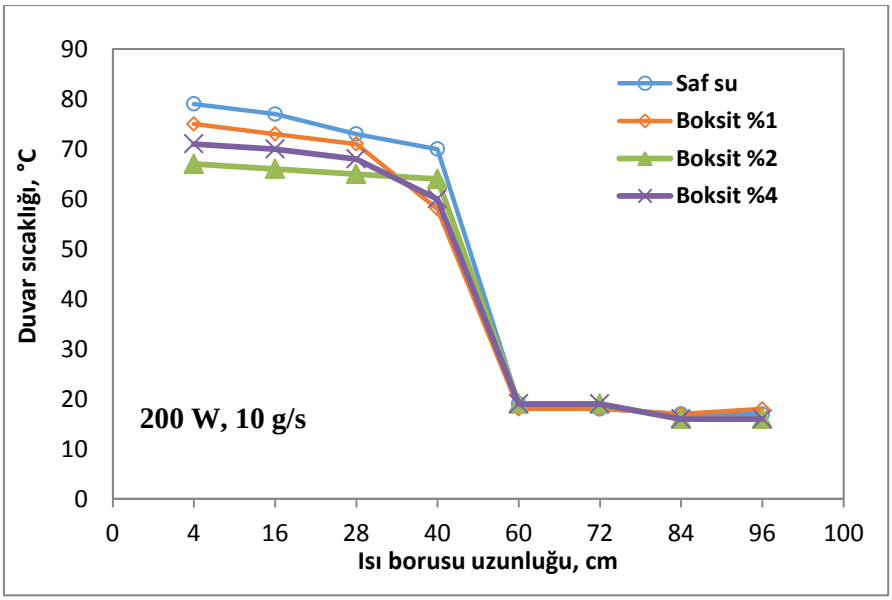


Şekil 5.29. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 5.29'da görüldüğü gibi buharlaşma bölgesinden yoğunlaşma bölgesine doğru ısı borusu duvar sıcaklığı düşmektedir. Evaporatör bölgesinde uygulanan 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisi uygulanarak yapılan deney sonuçlarına göre nanoakışkan kullanımıyla evaporatör bölgesinde saf suya göre daha düşük duvar sıcaklıkları elde edilmiştir. Isı borusu evaporatör bölgesinde ortalama sıcaklığın en düşük olduğu durum %2 konsantrasyonda boksit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığında elde edilmiştir. %4 konsantrasyonda boksit kullanıldığında partikül miktarının artışıyla topaklanmada artış olduğundan ortalama duvar sıcaklığındaki düşüş, %2 konsantrasyonda boksit kullanıldığında elde edilen ortalama duvar sıcaklığına göre daha azdır. Konsantrasyon arttıkça oluşan topaklanma kararlılığı etkilemektedir, bu durum zeta potansiyel ölçüm sonuçlarıyla gözlemlenmiştir. 200 W ısıtma gücü, 5 g/s soğutma suyu debisinde, saf su kullanıldığında evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığı 77,5 °C iken % 2 derişimde boksit içeren nanoakışkan kullanıldığında ortalama sıcaklığı 66,75 °C olmuştur. Ortalama duvar sıcaklığında 10,75 °C (%13,4)' lik bir azalma görülmektedir. Kondenser bölgesinde de ortalama duvar sıcaklığı saf suya oranla bir miktar daha düşüktür.



Şekil 5.30. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

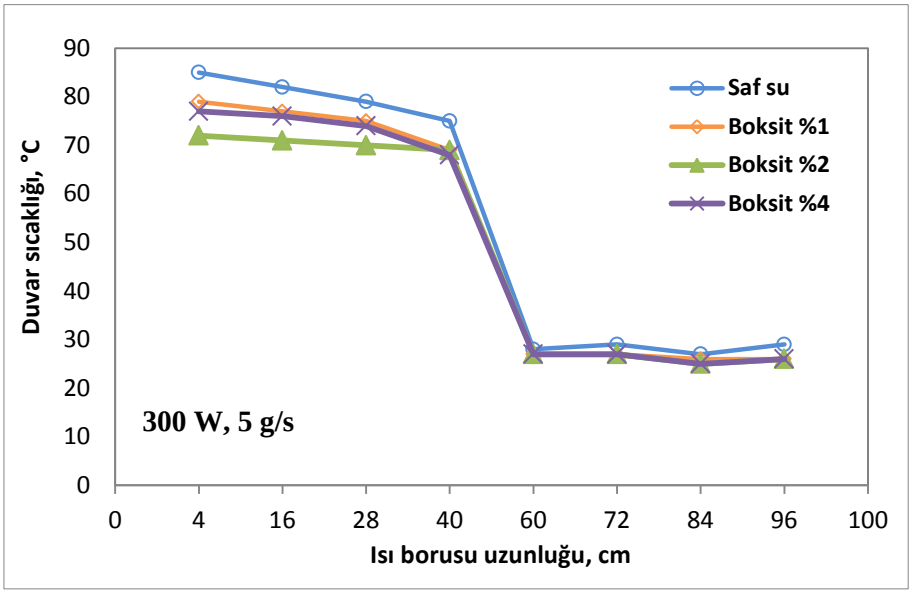


Şekil 5.31. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 200 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de 200 W ısıl güçte ve 7,5 g/s ve 10 g/s soğutma suyu debisinde elde edilen duvar sıcaklıkları görülmektedir. Bu sonuçlar 5 g/s soğutma suyu debisinde elde edilen duvar sıcaklık sonuçlarıyla paralellik göstermiş olup evaporatör bölgesindeki ortalama duvar sıcaklıkları saf suya kıyasla daha düşüktür buda daha düşük sıcaklıklarda

kaynama olduğunu göstermektedir. Soğutma suyu debisindeki artıştan dolayı evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama duvar sıcaklıklarında düşüş meydana gelmiştir.

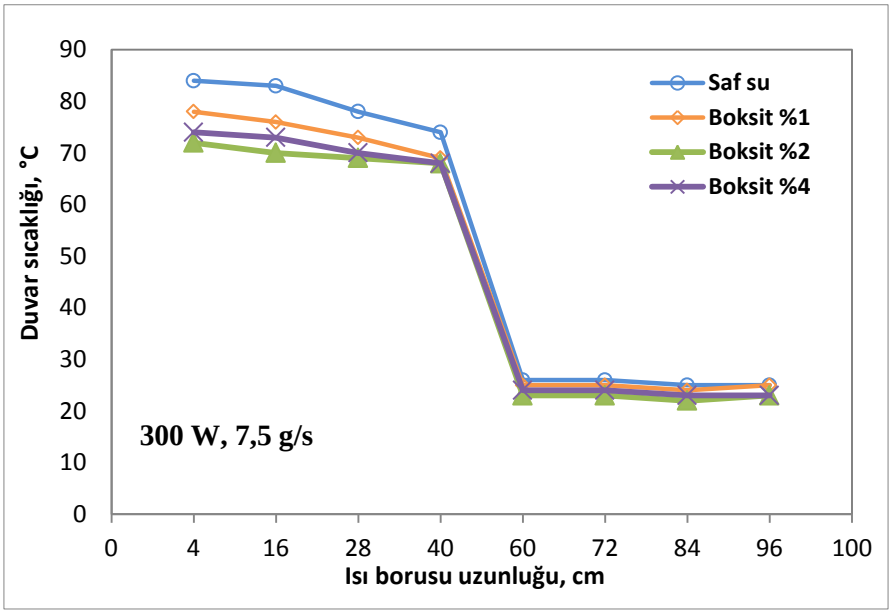
Kütlece %1, %2 ve %4 derişimde hazırlanan boksit içeren nanoakışkanlar kullanılarak, 300 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'te verilmiştir.



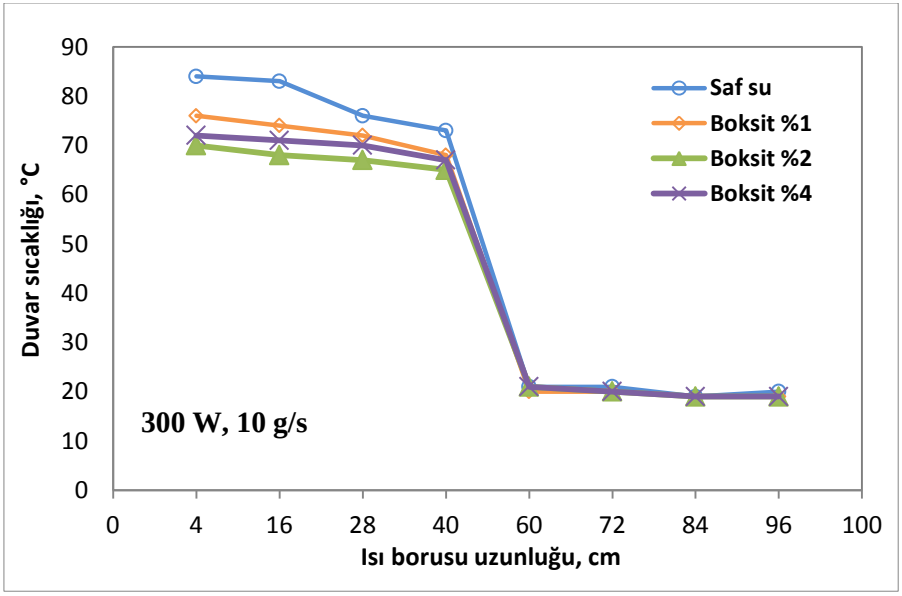
Şekil 5.32. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

300 W ısıl gücü uygulanarak elde edilen sonuçlarda 200 W ısıl gücüne kıyasla ısıtma gücüne bağlı olarak evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama sıcaklıklarda artış meydana gelmiştir. Nanoakışkan kullanımı ile ortalama duvar sıcaklıkları saf suya göre düşüktür. Soğutma suyu debisindeki artış ortalama duvar sıcaklıklarında düşüş meydana getirmiştir. 300 W ısıl gücü uygulandığı durumda da %2 konsantrasyondaki boksit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durumda ortalama duvar sıcaklığında en düşük değerler elde edilmiştir. Sözen ve diğerleri (2016), %2 konsantrasyondaki uçucu kül içeren nanoakışkanını termosifon ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullandıklarında, 300 W ısıtma gücü 5 g/s soğutma suyu debisi uygulandığında evaporatör bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığını su kullanıldığı duruma göre 12 °C daha düşük bulmuşlardır. Kullandıkları uçucu kül yaklaşık %22 Al_2O_3 ve %47 SiO_2 içermektedir. Bu çalışmada kullanılan %2 konsantrasyondaki boksit nanoakışkanı evaporatör bölgesinin

ortalama duvar sıcaklığını 9,75 °C düşürmüştür. Uçucu kül nanoakışkanı, boksit nanoakışkanına göre ısı borusu duvar sıcaklığında daha fazla sıcaklık düşüşüne neden olmuştur.



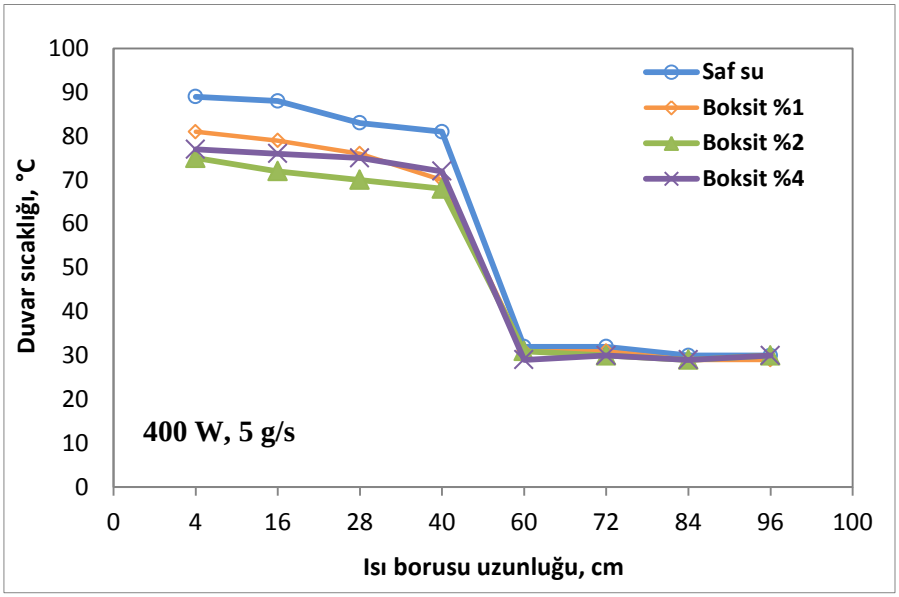
Şekil 5.33. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



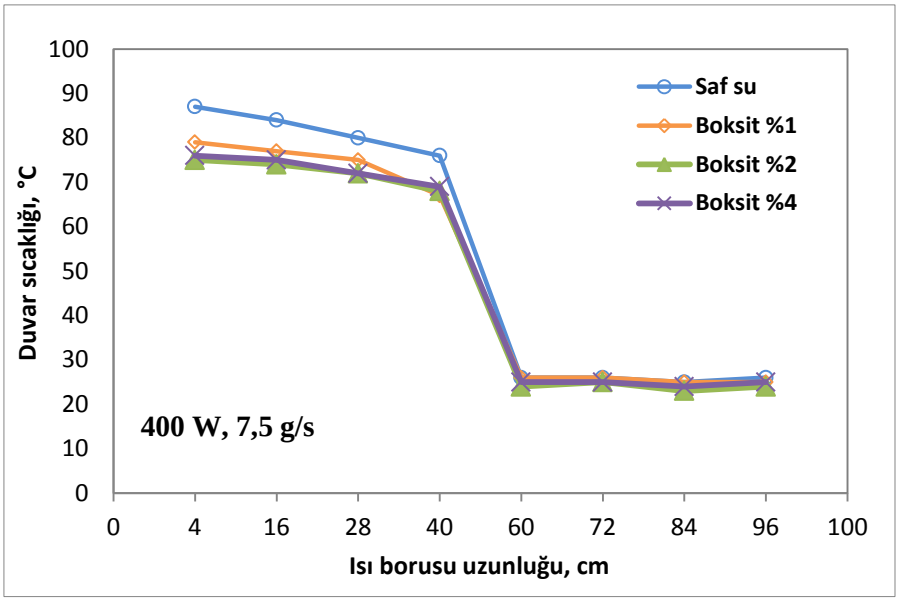
Şekil 5.34. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 300 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 5.34'te görüldüğü üzere 300 W ısıl güç ve 10 g/s soğutma suyu şartlarında ısı borusunda suyun çalışma akışkanı olduğu durumda evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığı 79 °C ; %1 derişimdeki boksit nanoakışkanı kullanıldığında 72,5 °C; %2 derişimdeki boksit nanoakışkanı kullanıldığında 67,5 °C ve %4 konsantrasyondaki boksit nanoakışkanı kullanıldığında 70 °C olarak bulunmuştur. %2 derişimdeki boksit nanoakışkanı kullanıldığında suya göre ortalama duvar sıcaklığında %14,5 düşüş olmuştur.

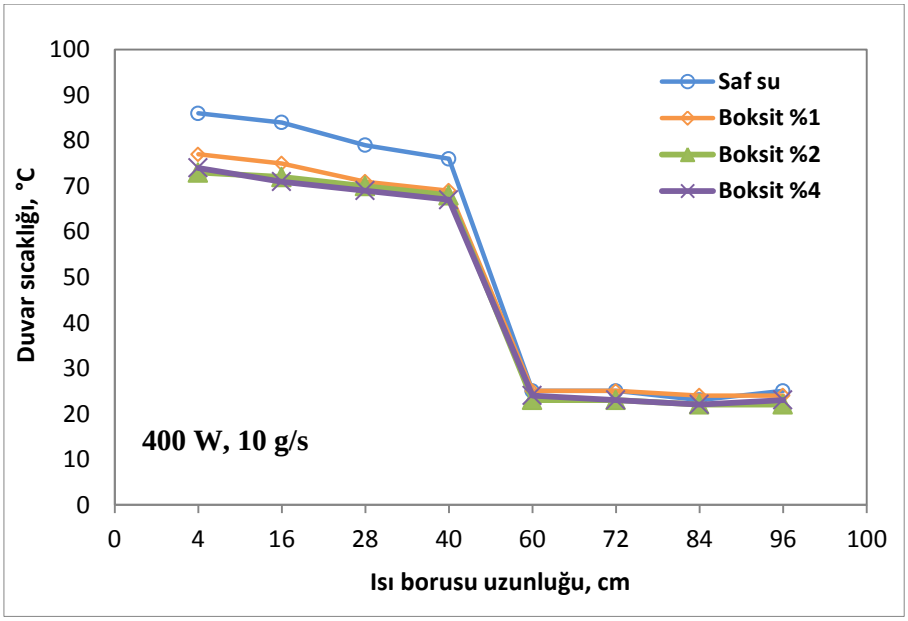
Kütlece %1, %2, %4 derişimde hazırlanan boksit içeren nanoakışkanlar kullanılarak, 400 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.35, Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.35. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 5.36. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



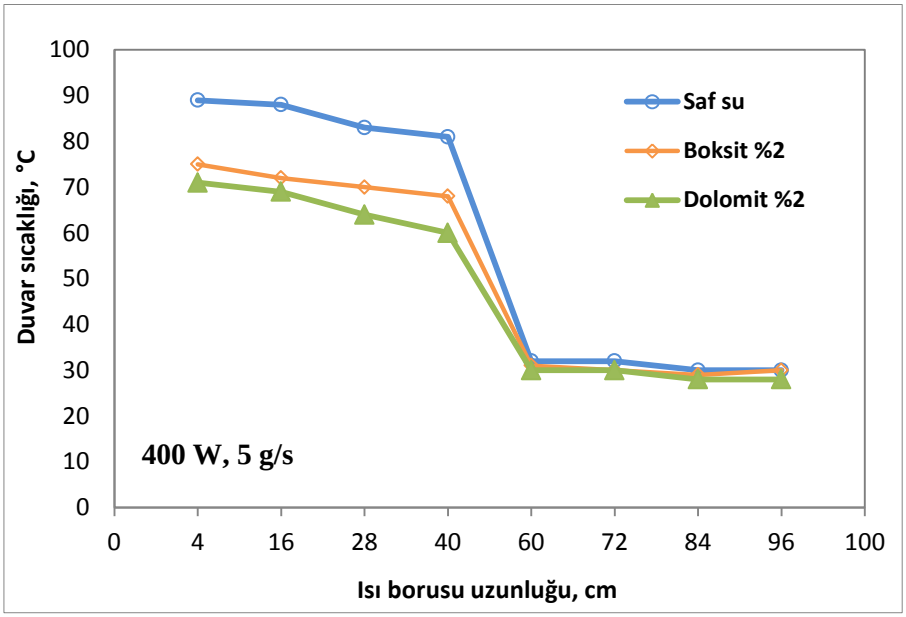
Şekil 5.37. Saf suyun ve farklı derişimlerdeki boksit-su içeren nanoakışkanlarının, 400 W ısıl güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

400 W ısıl güç uygulanarak elde edilen sonuçlarına göre ısıtma gücüne bağlı olarak evaporatör ve kondenser bölgelerindeki ortalama sıcaklıklarda artış meydana gelmiştir. 400 W ısıl güç ve 5 g/s soğutma suyu debisi kullanılarak yapılan deneylerde saf su kullanıldığı durumda ısı borusunun evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 85,25 °C olarak bulunmuştur. %2 derişimde boksit içeren nanoakışkan kullanıldığında ortalama duvar

sıcaklığı 71,25 C° olarak bulunmuştur. Ortalama duvar sıcaklık farkı 14 °C'dir. Nanoakışkan kullanımı ile ortalama duvar sıcaklıkları saf suya göre düşüktür. Soğutma suyu debisindeki artış ortalama duvar sıcaklıklarında düşüş meydana getirmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, hem performans hem de maliyet açısından düşünüldüğünde en iyi performans artışı sağlayan derişim oranının %2 olduğu sonucuna varılmıştır.

%2 konsantrasyonda dolomit ve %2 konsantrasyonda boksit içeren nanoakışkanların 400 W ısıl güçte 5 g/s soğutma debisinde elde edilen duvar sıcaklıklarının karşılaştırılması

Saf suyun, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları Şekil 5.38'de verilmiştir.

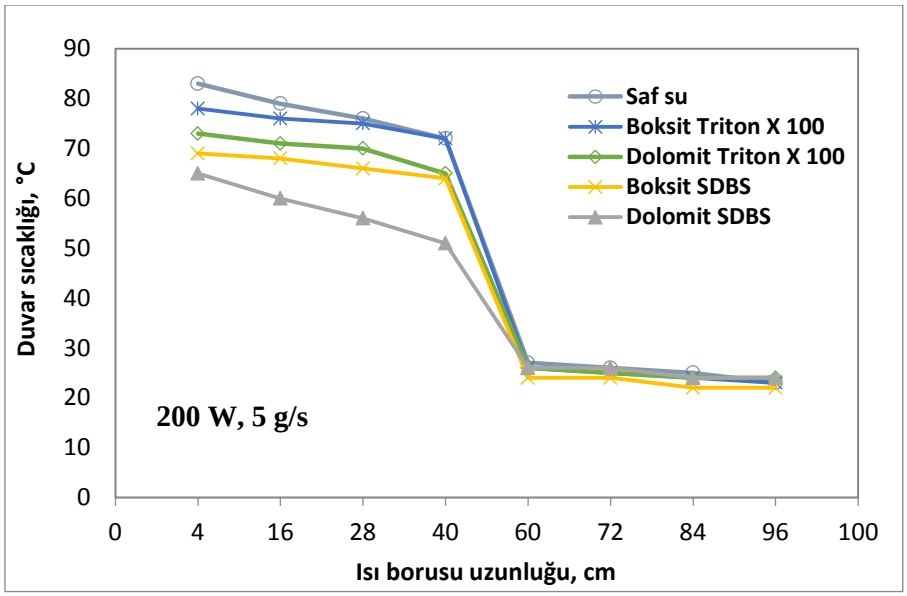


Şekil 5.38. %2'lik dolomit ve %2 'lik boksit içeren nanoakışkanların 400 W ısıl güç ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 5.38'de görüldüğü gibi ısı borusunda dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların kullanılması durumunda evaporatör bölgesinin ortalama sıcaklığı suya göre daha düşüktür. %2 konsantrasyonda dolomit içeren nanoakışkan çalışma akışkanı olarak kullanıldığında evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı % 2 boksit içeren nanoakışkanın kullanıldığı duruma göre 5,25 °C daha düşüktür. Dolomit içeren nanoakışkanın termal iletkenliğinin ve özgül ısının boksit içeren nanoakışkana göre yüksek olması bu durumu açıklamaktadır.

Farklı yüzey aktif madde kullanımının ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

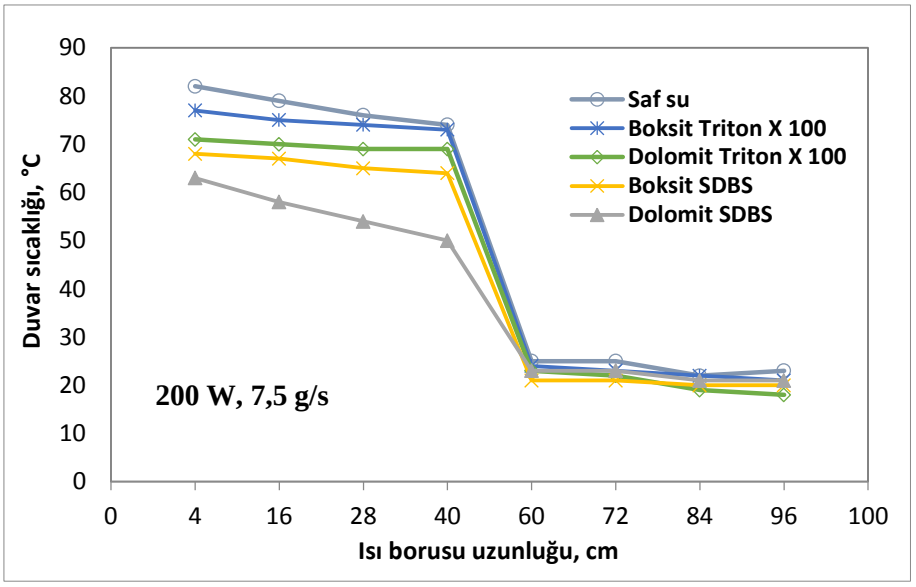
İki farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı borusu performansına ayrı ayrı etkileri incelenmişir. Yüzey aktif madde olarak Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) ve Triton X-100 kullanılmıştır. Bu yüzey aktif maddelerden SDBS anyonik, Triton X-100 noniyoniktir. Nanoakışkanlar, kütlece %2 nanopartikül ve %0,5 yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanmıştır. 200 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de verilmiştir.



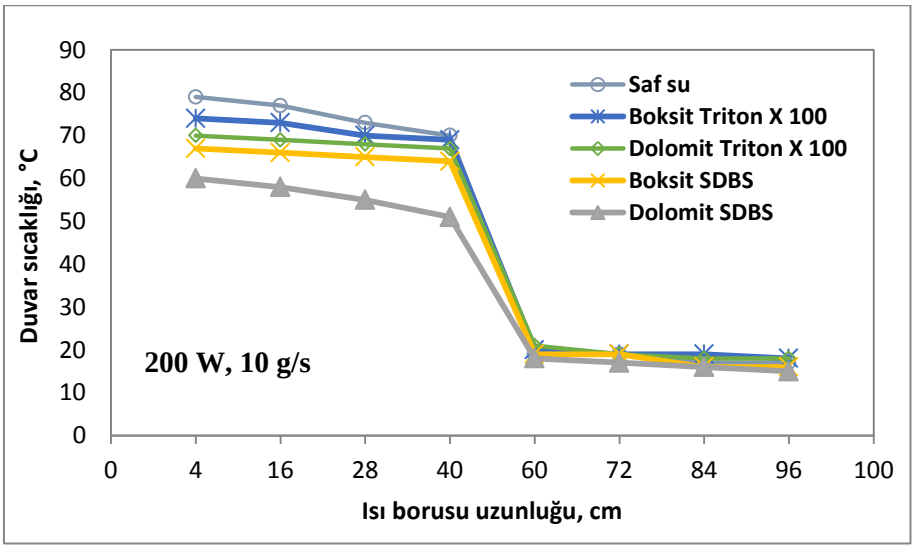
Şekil 5.39. 200 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı

Şekil 5.39'da görüldüğü üzere ısı borusunda evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığında suya göre en fazla düşüş SDBS katkılı %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durumda elde edilmiştir. SDBS katkılı boksit nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusu evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 66,75 °C, kondenser bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 23 °C'dir. Triton X-100 katkılı boksit nanoakışkanı kullanıldığında ise ortalama duvar sıcaklıkları evaporatör bölgesi için 75,25 °C kondenser bölgesi için 24,5 °C olarak bulunmuştur. SDBS yüzey aktif maddesi Triton X-100 yüzey aktif maddesine göre nanoakışkanların ısı borusunda kaynama sıcaklıklarını daha fazla düşürmüştür.

Isı borusu duvar sıcaklığında en fazla düşüşü SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı sağlamıştır. SDBS katkılı boksit nanoakışkanı Triton X-100 yüzey aktif maddesinin eklendiği dolomit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre ısı borusu duvar sıcaklığında fazla düşüşe neden olmuştur.



Şekil 5.40. 200 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı

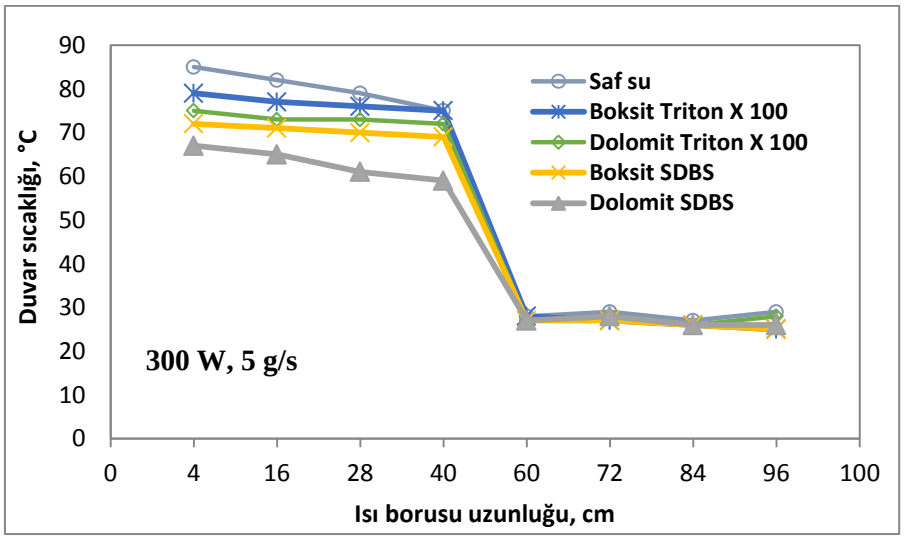


Şekil 5.41. 200 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımı

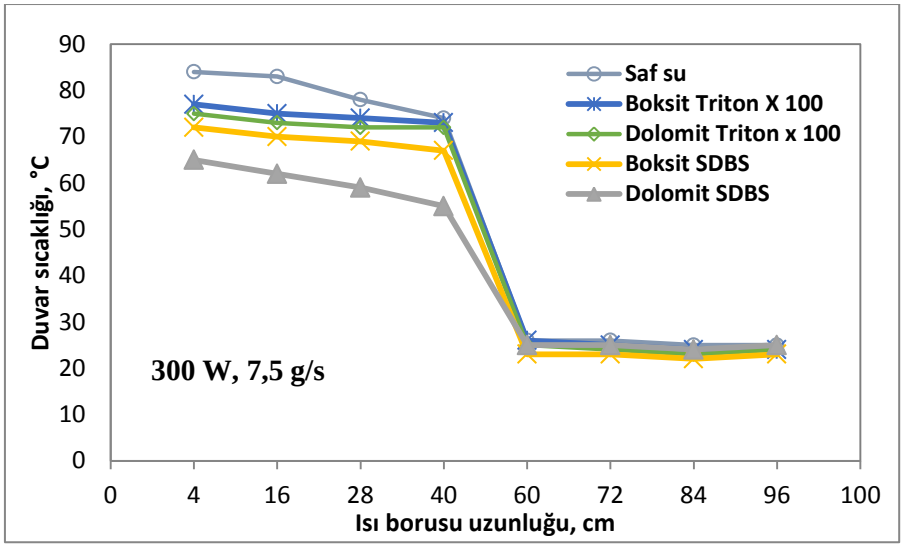
200 W ısıtıcı gücünde farklı debilerde gerçekleştirilen deneylerde SDBS içeren dolomit ve boksit nanoakışkanları ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında, Triton X-

100 katkılı nanoakışkanlara göre duvar sıcaklıklarında daha fazla düşüşe sebep olmuştur. Bu sonuç yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümü deneylerinde elde edilen sonuçları desteklemektedir. SDBS içeren dolomit nanoakışkanının yüzey gerilimi ve temas açısı Triton X-100 içeren nanoakışkana göre küçük olduğu bulunmuştur.

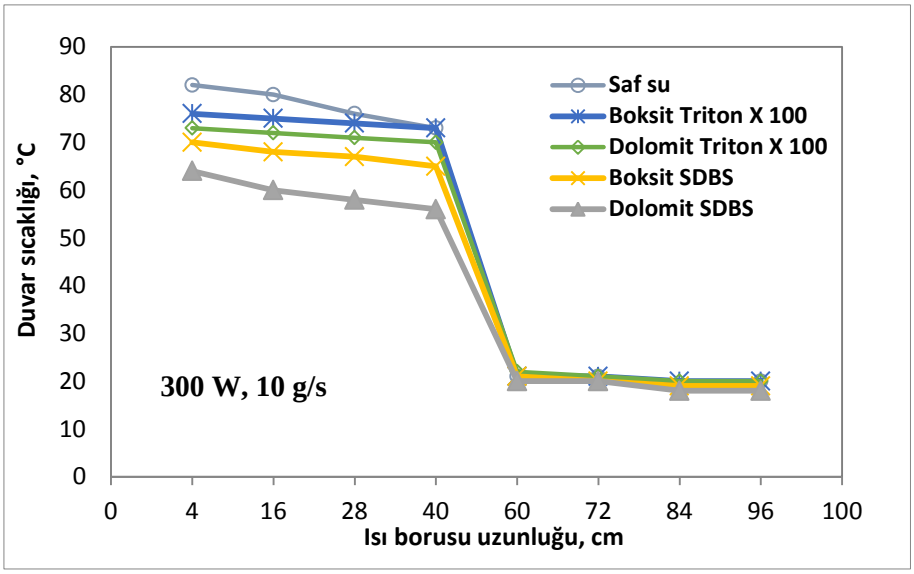
300 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.42, Şekil 5.43 ve Şekil 5.46'da verilmiştir.



Şekil 5.42. 300 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu



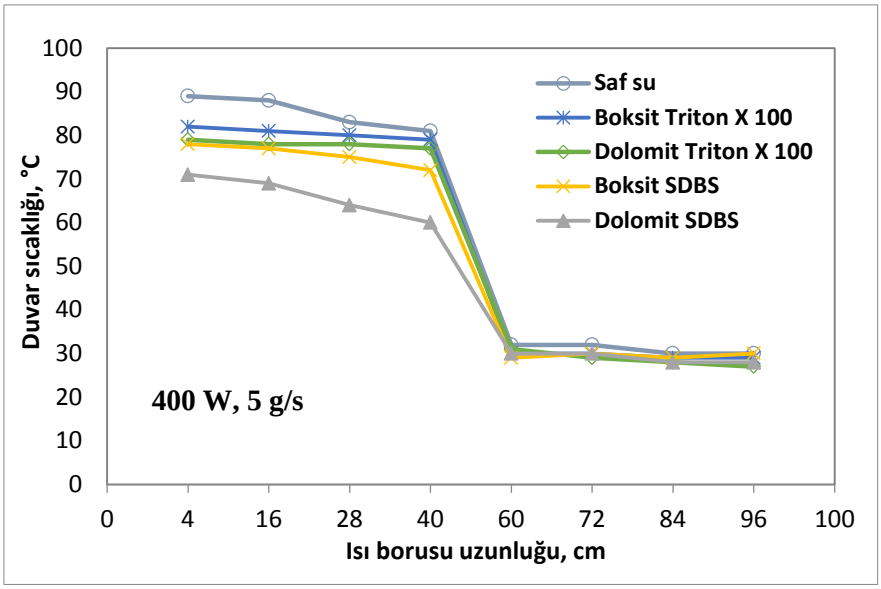
Şekil 5.43. 300 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu



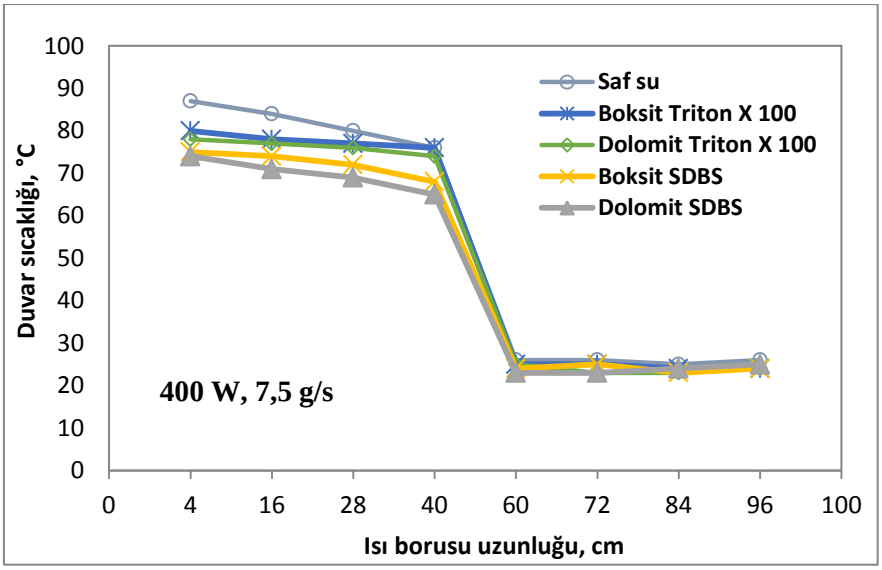
Şekil 5.44. 300 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu

300 Watt ısıtıcı gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde gerçekleştirilen deneylerde SDBS katkılı nanoakışkanlar kullanıldığında ısı borusunda, Triton X-100 içeren nanoakışkanı kullanıldığı duruma göre daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. 300 W ve 10 g/s debide, Triton X-100 katkılı boksit nanoakışkanı kullanıldığında evaporatör bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 74,5 °C iken dolomit nanoakışkanı kullanıldığında 71,5 °C olarak gözlemlenmiştir. Saf suyun çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre en fazla sıcaklık düşüşü SDBS içeren dolomit nanoakışkanı kullanıldığında görülmüştür.

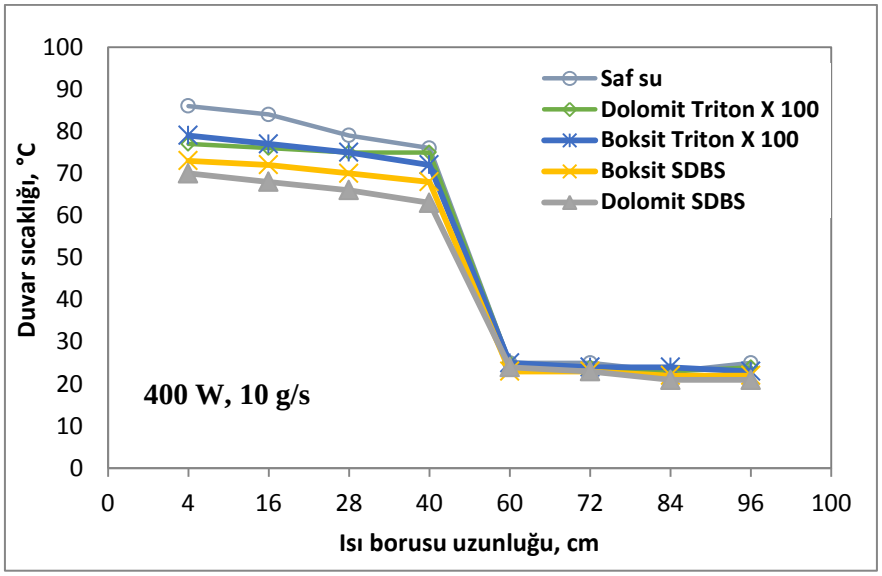
400 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.45, Şekil 5.46 ve Şekil 5.47'de verilmiştir.



Şekil 5.45. 400 W güç ve 5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu



Şekil 5.46. 400 W güç ve 7,5 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu



Şekil 5.47. 400 W güç ve 10 g/s debide nanoakışkanlardaki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı borusu

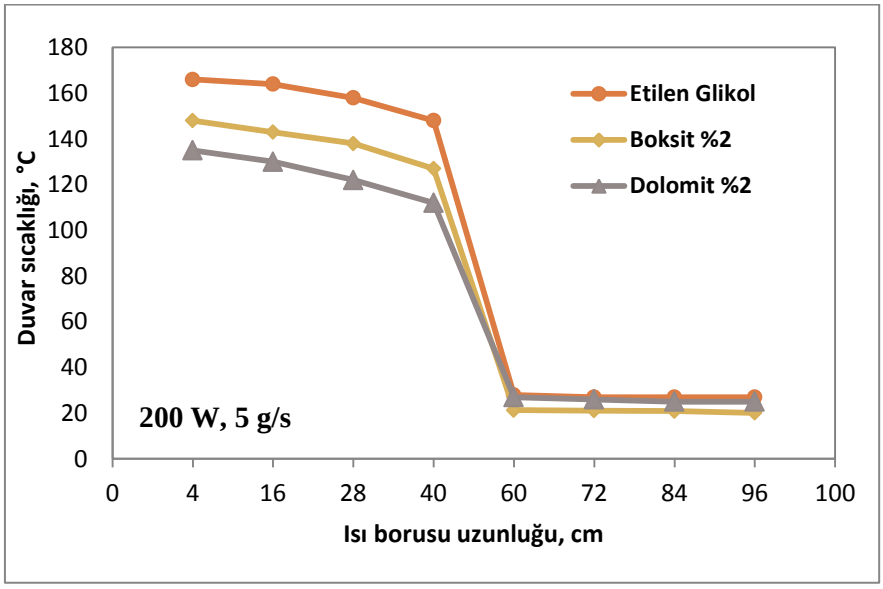
400 W ısıtıcı gücü kullanılarak farklı soğutma suyu debilerinde yapılan deneylerde SDBS yüzey aktif maddesi kullanıldığında duvar sıcaklıklarında düşüş Triton X-100 kullanıldığı duruma göre oldukça düşüktür. Zeta potansiyeli ölçümlerinde SDBS katkılı nanoakışkanların daha yüksek zeta potansiyeline sahip olması bu durumu açıklamaktadır. Nanoakışkan içerisindeki askıdaki nanopartiküllerin yüzeyine SDBS absorbe olarak moleküllerin yüzey enerjisini düşürmekte ve nanoakıkanın içerisindeki partiküllerin homojen dağılmasını sağlayarak topaklaşmayı ve çökelmeyi önlemektedir.

Literatürde yapılan çalışmalarda anyonik yüzey aktif maddelerin kullanıldığı nanoakışkanların noniyonik yüzey aktif maddelerin kullanıldığı nanoakışkanlara göre daha iyi ısıl performans gösterdiği tespit edilmiştir.

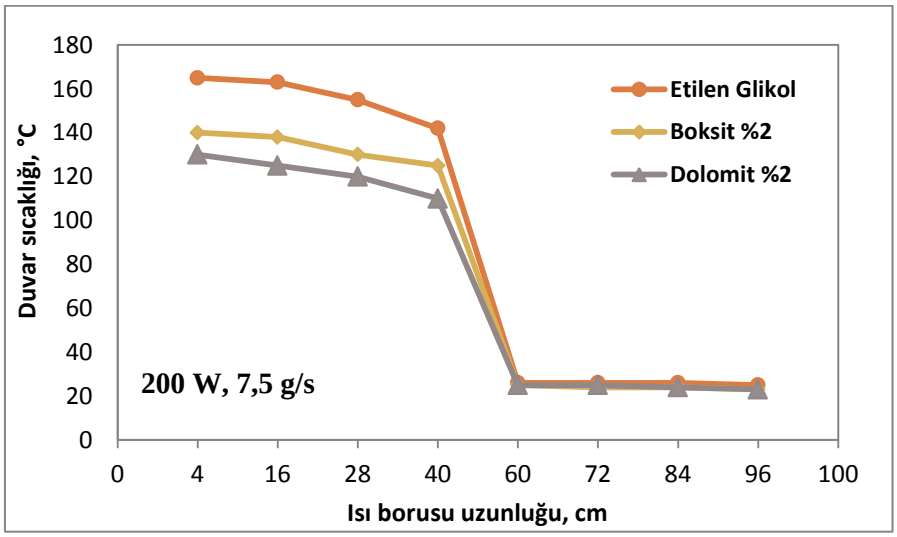
Kütlece %2 derişimdeki Dolomit/EG ve Boksit/EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Öncelikle etilen glikol kullanılarak ısı borusunun 200 W, 300 W ve 400 W ısıl güçte ve farklı soğutma suyu debilerinde duvar sıcaklıkları ölçülmüştür. Daha sonra temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak kütlece %2 derişimde dolomit, %2 derişimde boksit ve %0,5 SBDS içeren nanoakışkanlar hazırlanmış ve ısı borusunda farklı ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerinde duvar sıcaklıkları ölçülmüştür. 200 W ısıl güç değerinde ve

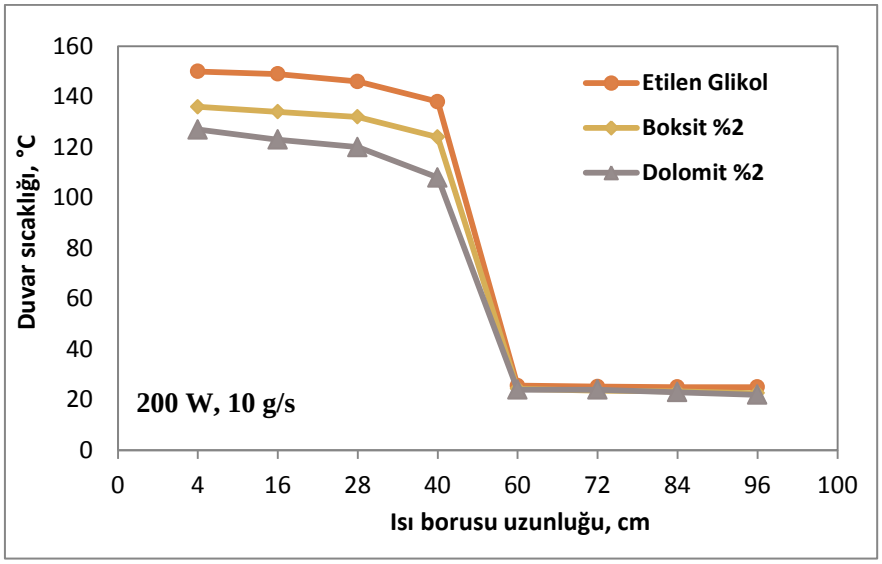
farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50'de verilmiştir.



Şekil 5.48. 200 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

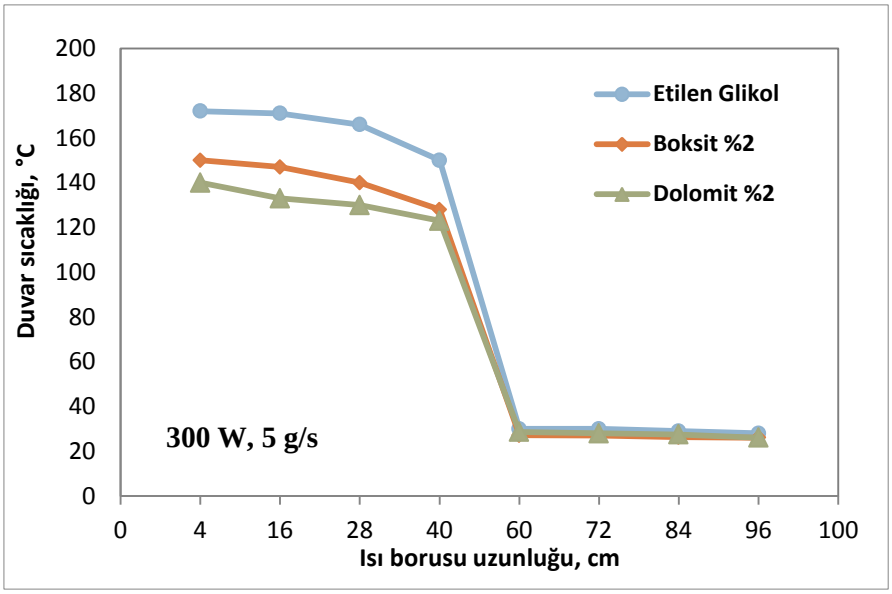


Şekil 5.49. 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

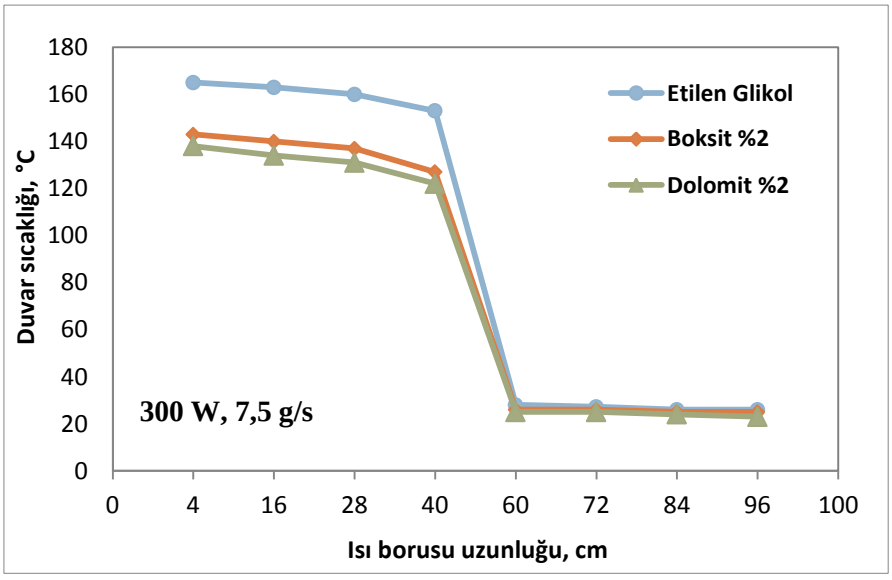


Şekil 5.50. 200 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

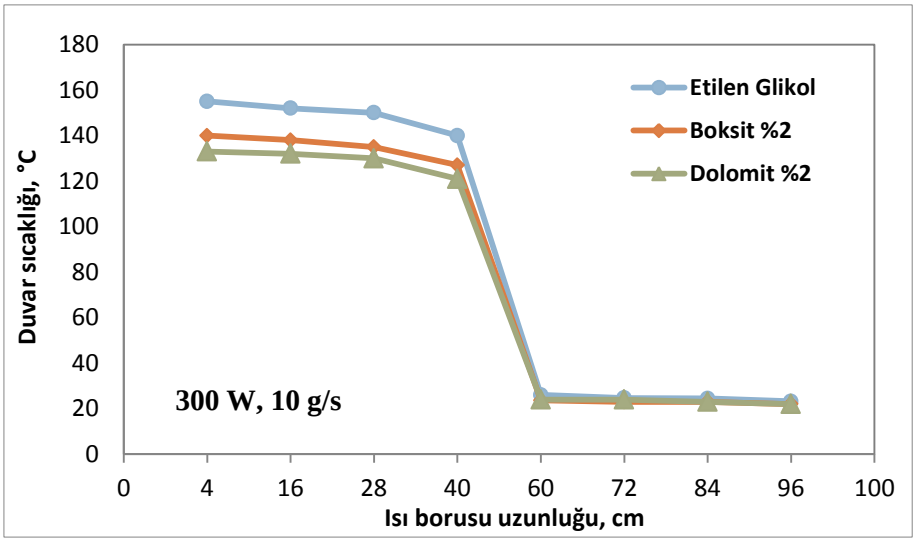
200 W ısıtıcı gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde yapılan deneylerde, etilen glikol temel akışkan olarak kullanılarak hazırlanan %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığında saf etilen glikole göre daha fazla sıcaklık düşüşüne neden olduğu gözlenmiştir. Dolomit nanoakışkanı boksit nanoakışkanına göre daha iyi performans göstermiştir. Şekil 5.50'de gösterilen 200 W ısıtma gücü ve 10 g/s soğutma suyu debisi uygulandığı şartlarda etilen glikolün çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durumda evaporatör bölgesinde ortalama sıcaklık 145,75 °C, kondenser bölgesinin ortalama duvar sıcaklığı 25,2 °C olarak ölçülmüştür. Etilen glikol-dolomit nanoakışkanı kullanıldığı durumda evaporatör bölgesinde ortalama duvar sıcaklığı 119,5 °C, kondenser bölgesinin ortalama duvar sıcaklığı 23,25 °C'dir. Hazırlanan nanoakışkanlar içerisinde zeta potansiyeli en yüksek ve dolayısıyla en kararlı olan nanoakışkan etilen glikol-dolomit nanoakışkanıdır. Bu sonuç duvar sıcaklığındaki düşüşü açıklamaktadır. Etilen glikol-boksit nanoakışkanı duvar sıcaklıkları dolomit içeren nanoakışkana göre daha yüksektir. Bu da etilen glikol-dolomit nanoakışkanının süspansiyon içerisinde askıda boksit-etilen glikol nanoakışkanına göre daha fazla metal oksit tutabildiğini ve daha kararlı bir yapıda olduğunu göstermektedir. 300 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.51, Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'te verilmiştir.



Şekil 5.51. 300 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

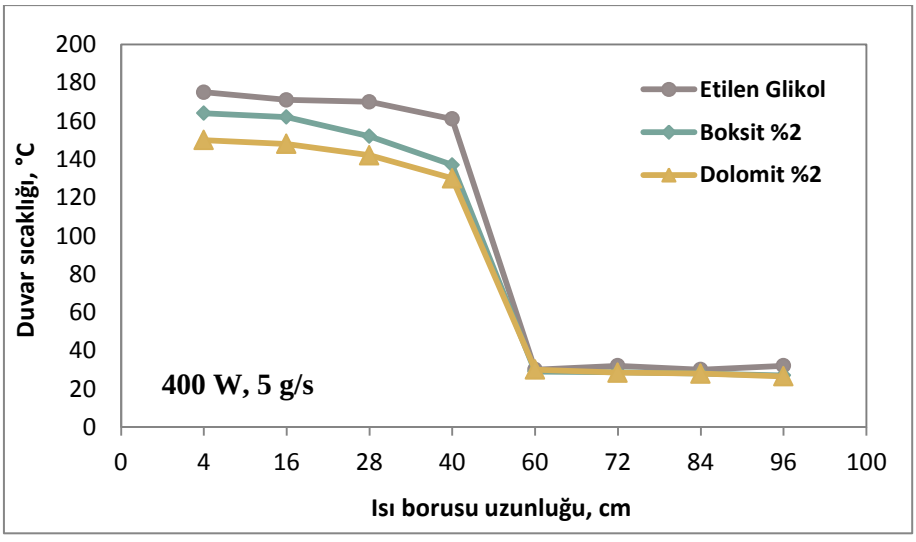


Şekil 5.52. 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

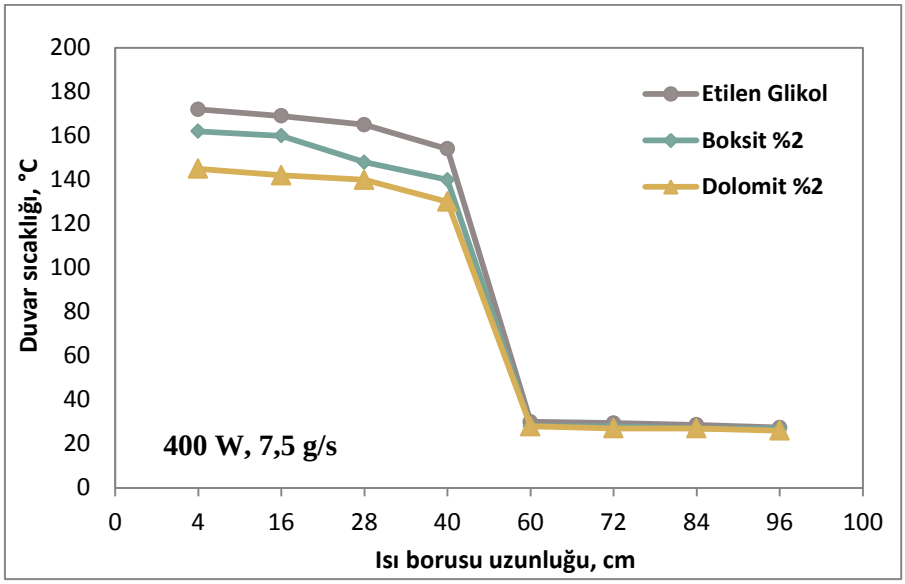


Şekil 5.53. 300 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

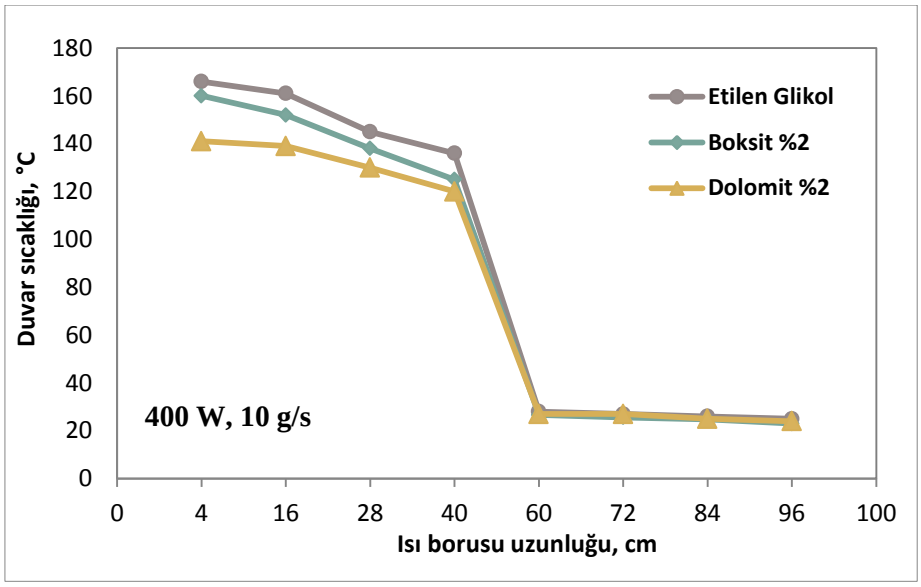
300 W ısıtıcı gücünde yapılan deneylerde evaporatör ve kondenser bölgesindeki ortalama duvar sıcaklıkları 200 W ısıtıcı gücünde kaydedilen duvar sıcaklıklarından daha yüksektir. Şekil 5.53'te verilen 300 W ısıl güç 10 g/s soğutma suyu debisinde, etilen glikol kullanıldığı durumda evaporatör bölgesinde elde edilen ortalama sıcaklık 149,25°C iken etilen glikol-boksit nanoakışkanı kullanıldığında 132,25 °C; dolomit/EG nanoakışkanı kullanıldığında 129 °C'dir. 400 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.54, Şekil 5.55, Şekil 5.56'da verilmiştir.



Şekil 5.54. 400 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi



Şekil 5.55. 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

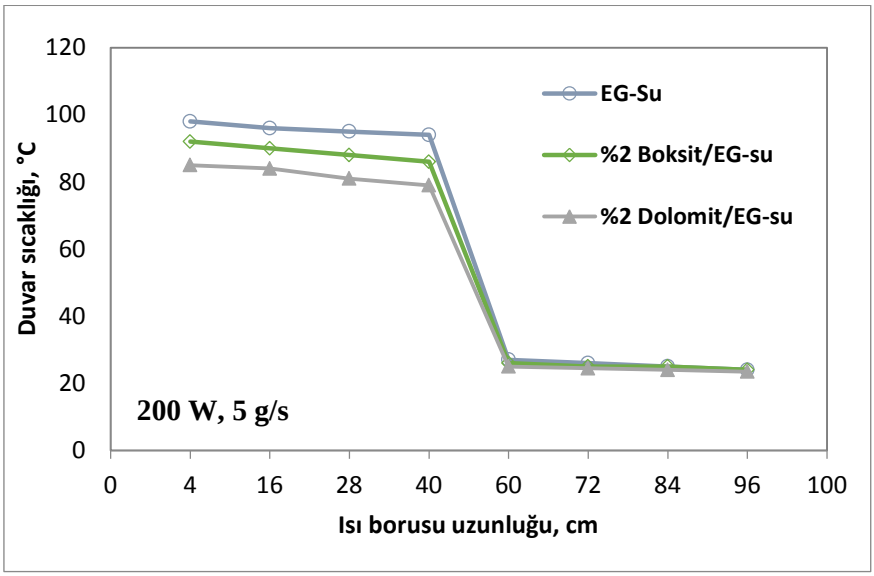


Şekil 5.56. 400 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG ve dolomit-EG, boksit-EG nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

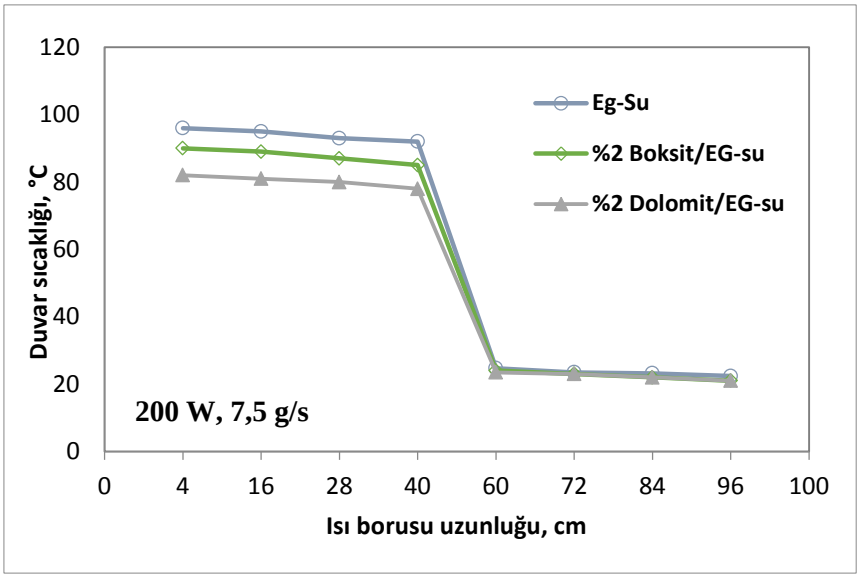
400 W ısıtıcı gücünde elde edilen ısı borusu duvar sıcaklıkları sonuçları 200 W ve 300 W ısıtma gücünde elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Buna göre dolomit - etilen glikol nanoakışkanı etilen glikole göre ısı borusunda daha düşük sıcaklıklarda kaynama olmasını sağlamıştır.

Kütlece %2 derişimdeki Dolomit/EG-su ve Boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

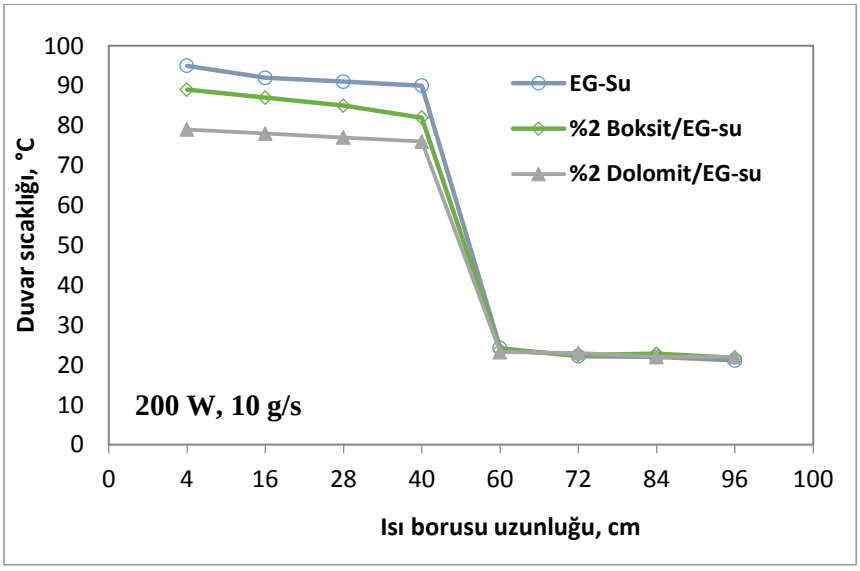
Etilen glikol-su karışımı, otomobil radyatörlerinde metallerle uyumluluk göstermesi ve daha iyi ısı transfer özellikleri nedeniyle uzun yıllardır antifriz olarak kullanılmaktadır. Otomotiv uygulamalarında motorların soğutulmasında Etilen glikol ve su karışımları kullanılır. Genel olarak otomotiv uygulaması için en az % 30 konsantrasyonda etilen glikol bulunması önerilir. Etilen glikol ve su karışımı sırasıyla 30:70, 40:60 ve 50:50 gibi çeşitli oranlarda çoğunlukla otomobillerde kullanılır. Yapılan çalışmada kütlece %50 etilen glikol ve su karışımı hazırlanmış ve ısı borusunda elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Daha sonra temel akışkan olarak etilen glikol-su kullanılarak kütlece %2 derişimde dolomit, %2 derişimde boksit ve %0,5 SBDS içeren nanoakışkanlar hazırlanmış ve ısı borusunda farklı ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerinde duvar sıcaklıkları ölçülmüştür. 200 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.57, Şekil 5.58 ve Şekil 5.59'da verilmiştir.



Şekil 5.57. 200 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi



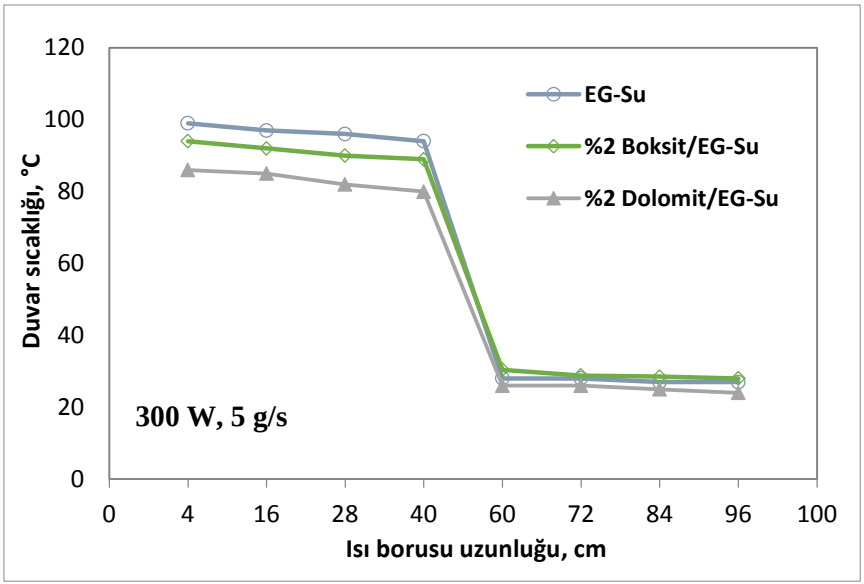
Şekil 5.58. 200 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi



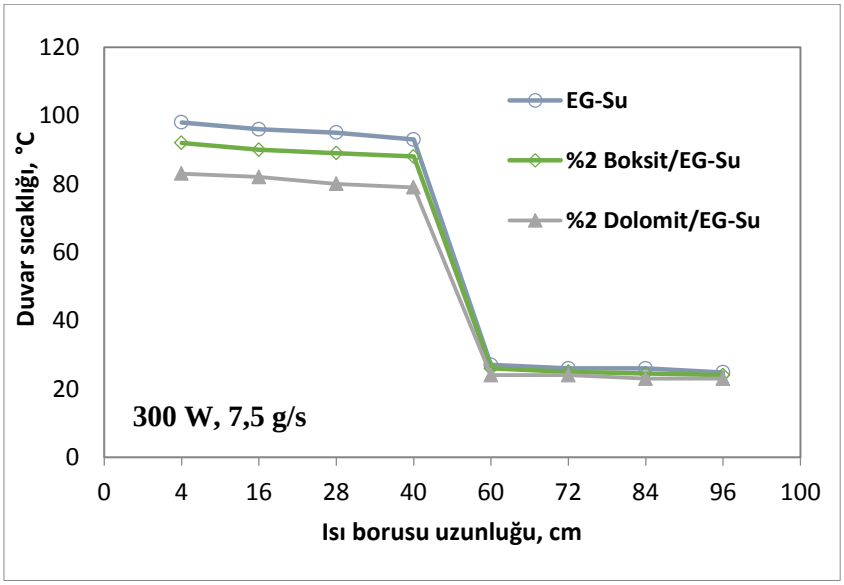
Şekil 5.59. 200 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

200 W ısıl güçte yapılan deneylerde dolomit/EG-su nanoakışkanı kullanıldığında oluşan duvar sıcaklıkları EG-su temel akışkanına ve boksit/EG-su nanoakışkanına göre daha düşük olarak kaydedilmiştir. Şekil 5.57'de görüldüğü üzere 200 W ısıl güç 5 g/s soğutma suyu debisinde, EG-su karışımı kullanıldığında evaporatör bölgesindeki ortalama sıcaklık 95,75 °C iken, boksit nanoakışkanı kullanıldığında 89 °C, dolomit nanoakışkanı kullanıldığında 81,25 °C'dir. Dolomit nanoakışkanı kullanıldığında, etilen-glikol su

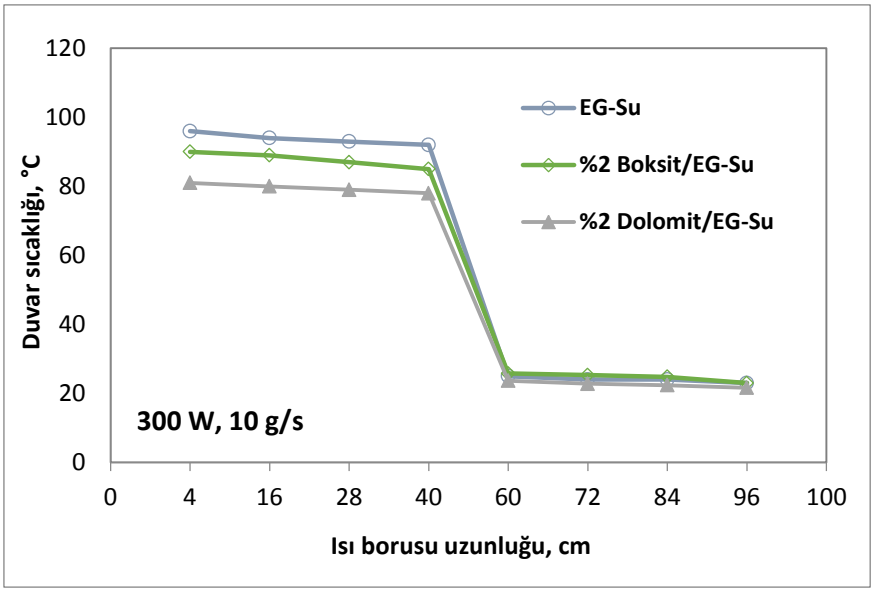
karışımı kullanıldığı duruma göre ortalama sıcaklıkta 14,5 °C sıcaklık düşüşü görülmüştür. 300 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'de verilmiştir.



Şekil 5.60. 300 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

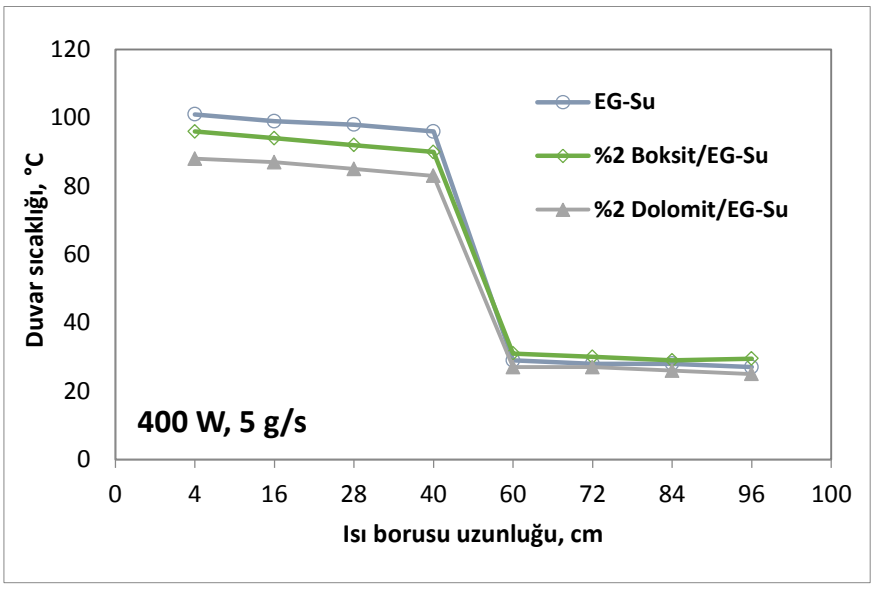


Şekil 5.61. 300 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

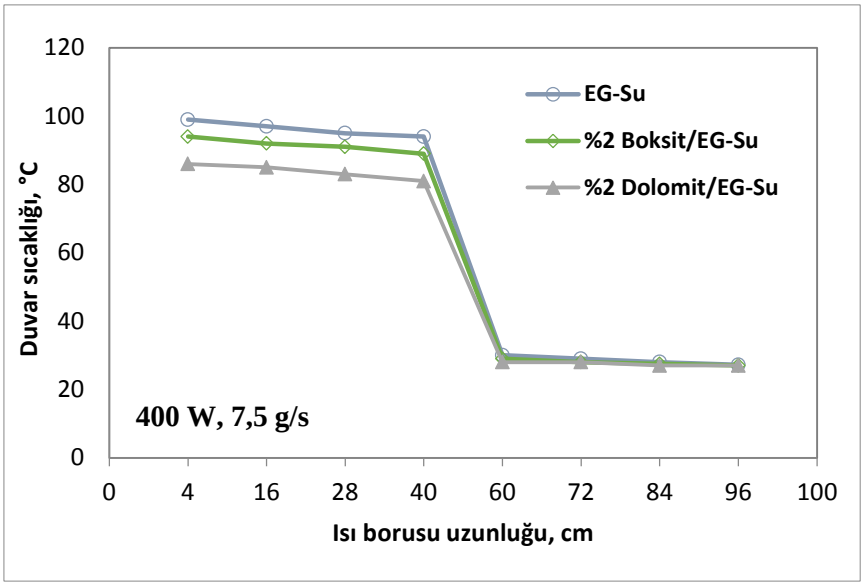


Şekil 5.62. 300 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

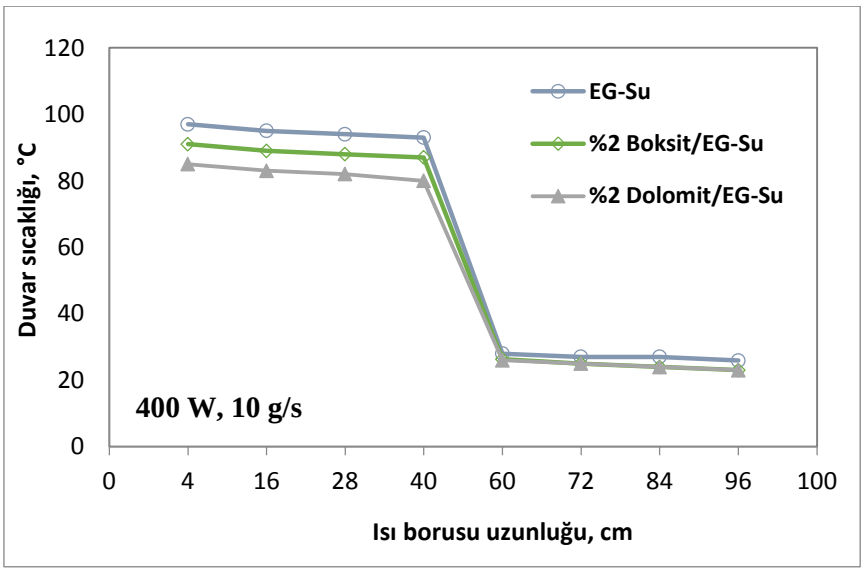
Şekil 5.60'da verilen 300 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s debi şartlarında, ortalama evaporatör bölgesi sıcaklığı etilen-glikol karışımı kullanıldığında 95 °C iken, boksit nanoakışkanı kullanıldığında 91,25 °C, dolomit nanoakışkanı kullanıldığında 82,5 °C'dir. 400 W ısıl güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.63, Şekil 5.64 ve Şekil 5.65'da verilmiştir.



Şekil 5.63. 400 W ısıl güç ve 5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi



Şekil 5.64. 400 W ısıl güç ve 7,5 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi



Şekil 5.65. 400 W ısıl güç ve 10 g/s debide, EG-su (50:50) ve dolomit/EG-su, boksit-EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımına etkisi

400 W ısıtıcı gücünde elde edilen ısı borusu duvar sıcaklıkları sonuçları 200 W ve 300 W ısıtıcı gücünde elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Etilen glikol- su karışımına eklenen boksit ve dolomit nanopartikülleri sıvının yüzeyle yaptığı açıyı küçültmektedir. Buhar kabarcıklarının boyutundaki azalma, yüzey ıslanabilirliğinin arttırılmasına ve evaporatör yüzey sıcaklığının düşmesine neden olmuştur.

5.4.2. Nanoakışkanların ısı borusu termal direncine etkisi

Nanoakışkanların, partikül konsantrasyonu ve yüzey aktif madde parametrelerine bağlı olarak ısı borusu termal direncine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, temel akışkanların oluşturduğu termal direnç verileriyle karşılaştırılmıştır. Evaporatör ve kondenser bölümleri arasındaki termal direnç bu iki bölge arasındaki ortalama sıcaklık farkının ısıtıcı gücüne oranlanmasıyla bulunmuştur.

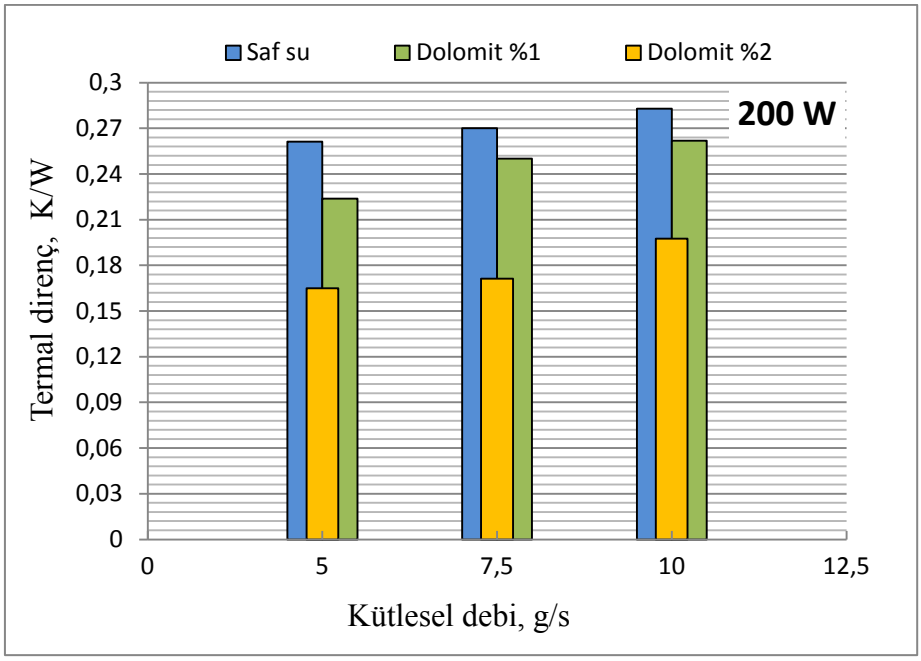
$$R = \frac{\overline{T_e} - \overline{T_k}}{\dot{Q}_{giriş}} \tag{5.1}$$

Buradaki $\bar{T}_e$ ve $\overline{T_k}$ sırasıyla evaporatör ve kondenser bölgelerinde ölçülen ortalama sıcaklık değerlerini göstermektedir.

$$\overline{T_e} - \overline{T_k} = \frac{T_{e1}+T_{e2}+T_{e3}+T_{e4}+}{4} - \frac{T_{k1}+T_{k1}+T_{k1}+T_{k1}}{4} \tag{5.2}$$

Kütlece farklı derişimlerdeki dolomit-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

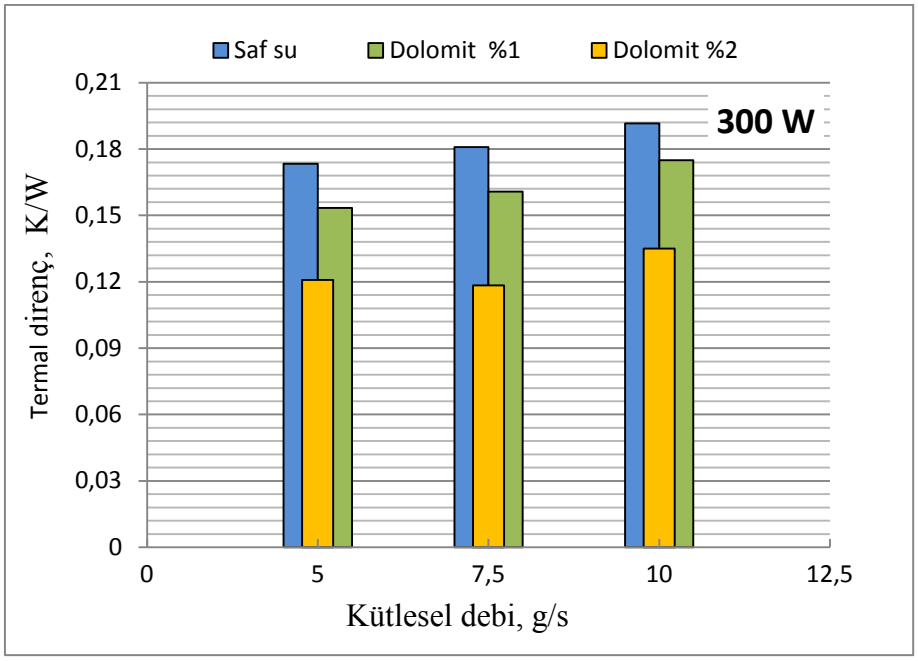
Farklı derişimlerde hazırlanan % 0,5 SDBS içeren dolomit-su nanoakışkanlarının çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında oluşan ısı borusu termal dirençleri, farklı ısıtma güçlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde belirlenmiştir. 200 W ısıtma gücünde, 5 g/s, 7,5 g/s, ve 10 g/s soğutma suyu akış hızlarında dolomit-su nanoakışkanının ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durumda elde edilen termal direnç değerleri Şekil 5.66'da verilmiştir.



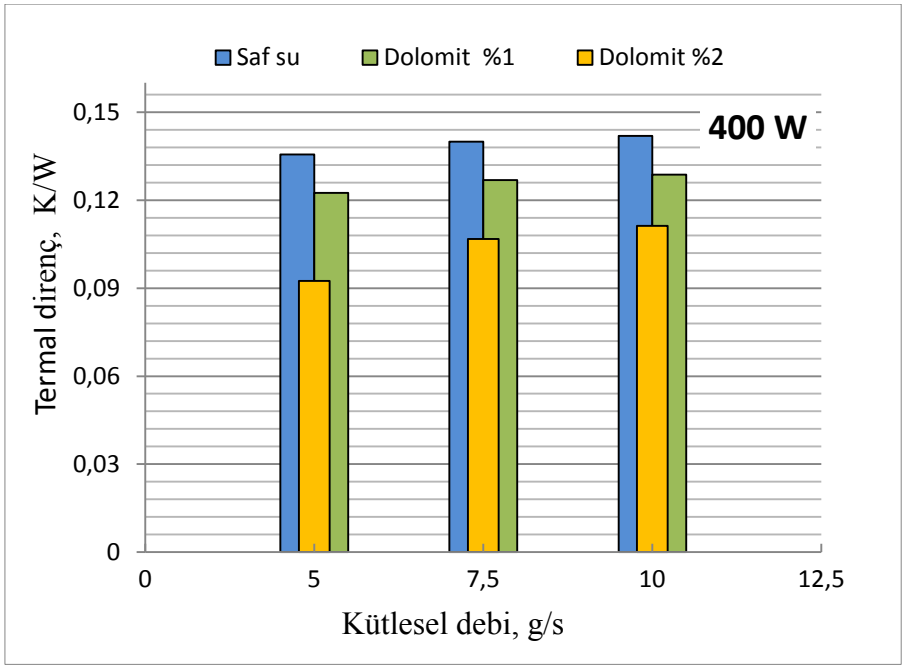
Şekil 5.66. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi

Evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça düşük sıcaklıktaki buharlaşmadan dolayı ısı borusunun termal direnci düşmektedir. 200 W ve 5 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deney sonucunda çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında ısı borusu termal direnci 0,261 K/W iken %1 derişimde dolomit içeren nanoakışkanı kullanıldığında termal direnci 0,223, K/W, %2 derişimde dolomit içeren nanoakışkanın termal direnci 0,165 K/W olarak bulunmuştur. %2 dolomit içeren nanoakışkanın termal direnci saf suya göre %36,84 daha düşüktür. Termal direnç düştükçe ısı borusunun ısıl iletkenliği artmaktadır. %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanının ısı borusunda kullanımı ısı borusunun ısı enerjisini daha iyi iletmesini sağlamıştır. Menlik ve diğerleri (2015) %2 konsantrasyondaki MgO nanoakışkanı termosifon tipi ısı borusunda kullanarak 200 W ısıtma gücü ve 7,5 g/s soğutma suyu akış hızında, ısı borusu termal direncinin suya göre %26 düşüş gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aynı çalışma şartlarında %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusunun termal direnci suya göre %30,2 daha düşüktür. Dolomit nanoakışkanı hibrit özelliğinden dolayı ısı borusu termal direncinin düşmesinde MgO nanoakışkanından daha fazla etkili olmuştur.

Şekil 5.67 ve Şekil 5.68'de kütlece %1 ve %2 derişimde dolomit içeren nanoakışkanın sırasıyla 300 W ve 400 W ısıtma gücünde ve farklı (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) soğutma debilerinde elde edilen termal direnç değerleri verilmiştir.



Şekil 5.67. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi



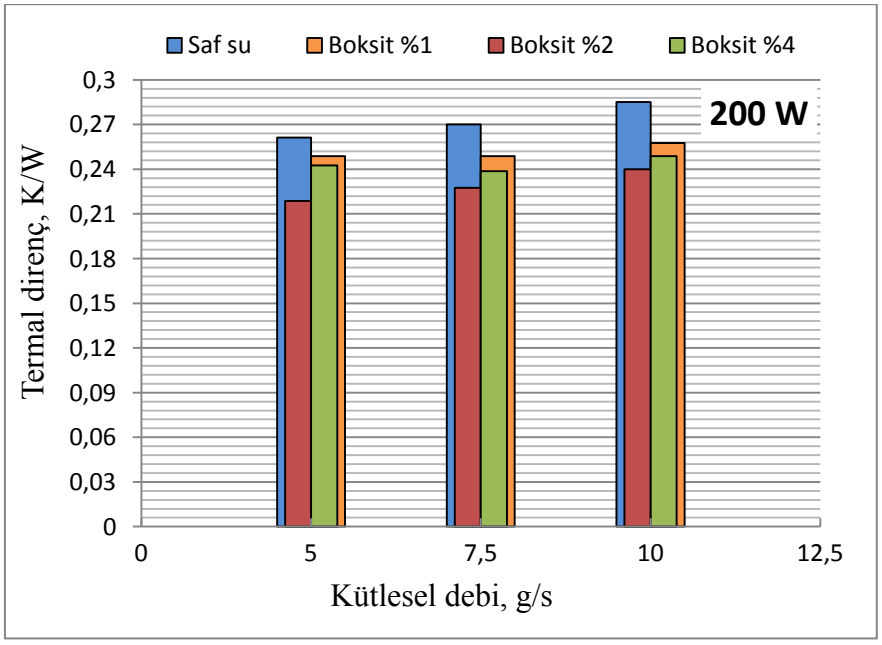
Şekil 5.68. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi

300 W ve 400 W giriş gücünde elde edilen sonuçlara göre dolomit içeren nanoakışkanların oluşturdukları termal direnç değerleri saf suya göre düşüktür. Nanoakışkanlar içerisindeki nanopartiküller katı sıvı temas açısını azaltarak yüzeyin ıslanabilirlik derecesini arttırır. Bu

nedenle, buhar kabarcık çekirleşmeşme boyutu düşer ve temel akışkana göre termal direnç azalır. Büyük boyutlu kabarcık çekirdeklenmesi bir film tabaka oluşturarak katı yüzeyden sıvıya ısı transferini engellemektedir (Kim ve diğerleri, 2007). Isı girdisi, evaporatörden, çevreye ısı kaybını ihmal ederek, buharlaştırıcıdan çalışma akışkanına aktarılan ısıdır. Evaporatör bölümünün termal direnci, hem su hem de dolomit-su nanoakışkan için artan ısı giriş oranı ile azalır. Termosifon ısı borusu için bu karakteristik bir özelliktir. Çünkü düşük ısı girişlerinde tüm ısı transfer yüzeylerinde kaynama olmaz. Isı transferi genellikle doğal konveksiyon ile gerçekleştirilir. Bu nedenle düşük ısı girdilerinde termal direnç yüksektir. Yüzeydeki kaynama, ısı giriş gücünün artmasıyla birlikte yükselir. Böylece, ısı transferi hem doğal konveksiyon hem de faz değişimi ile gerçekleştirilir ve termal direnç azalır. (Özsoy ve Çorumlu, 2018).

Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanların termal direce etkisi

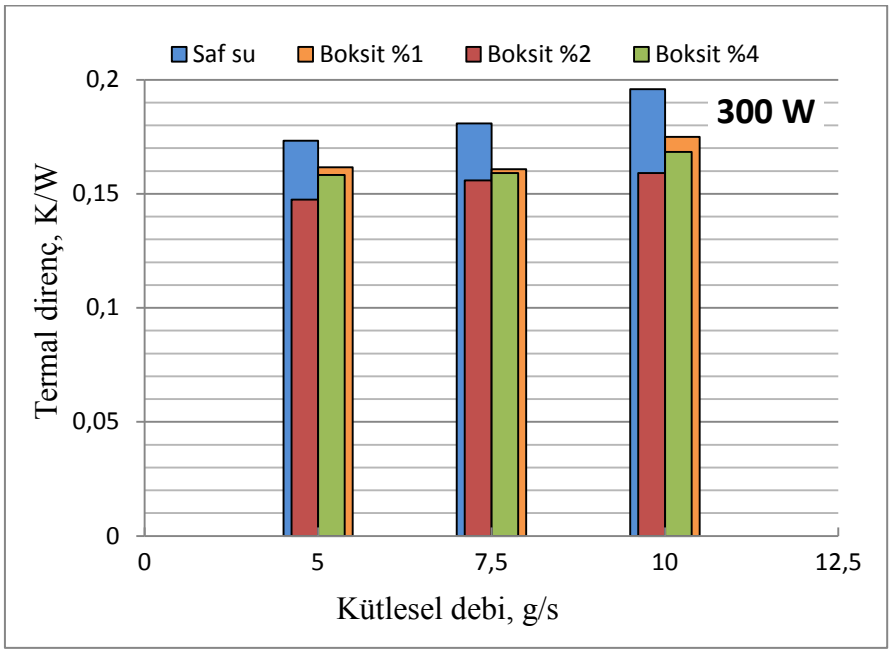
Farklı derişimlerde hazırlanan %0,5 SDBS içeren boksit-su nanoakışkanlarının çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında oluşan ısı borusu termal dirençleri, farklı ısıtma güçlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde belirlenmiştir. Kütlece farklı derişimlerde (%1,%2 ve %4) boksit içeren nanoakışkanların 200 W ısıl güçte ve farklı soğutma suyu debilerinde elde edilen termal direnç verileri Şekil 5.69'da verilmiştir.



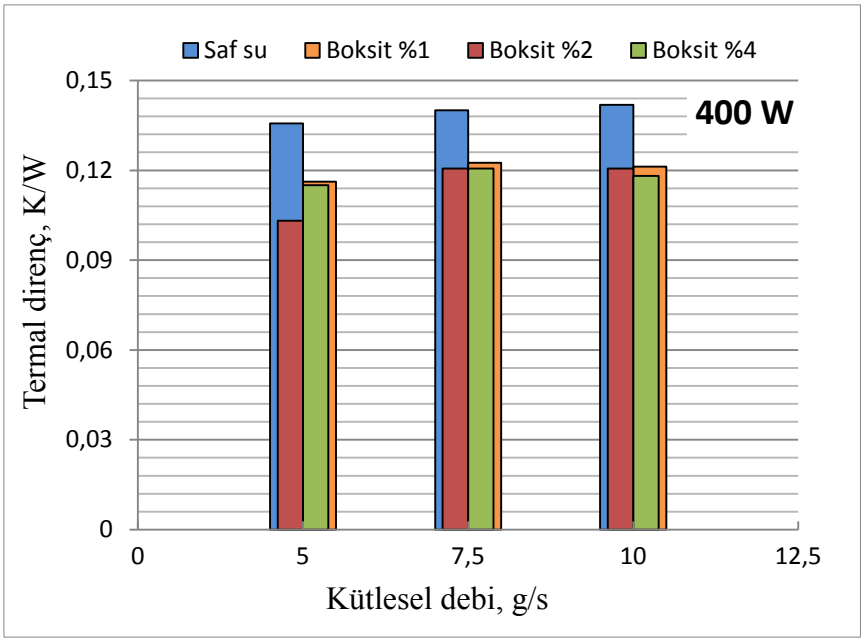
Şekil 5.69. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi

Isı borusu termal direncinde en fazla düşüşe %2 konsantrasyondaki boksit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanımı ile sağlanmıştır. Konsantrasyon arttıkça partikül miktarının artışı ile ısı borusunun termal direnci artmıştır. 200 W ısıl güç, 5 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deney sonucunda saf su çalışma akışkanı olarak kullanıldığında ısı borusunun termal direnci 0,261 iken %2 derişimde boksit içeren nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun termal direnci 0,2187 K/W olarak bulunmuştur. %2 boksit içeren nanoakışkanın termal direnci saf suya göre %16 daha düşüktür.

Şekil 5.70 ve Şekil 5.71'de kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanın sırasıyla 300 W ve 400 W ısıl güç ve farklı (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) soğutma debilerinde elde edilen termal direnç değerleri verilmiştir.



Şekil 5.70. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi



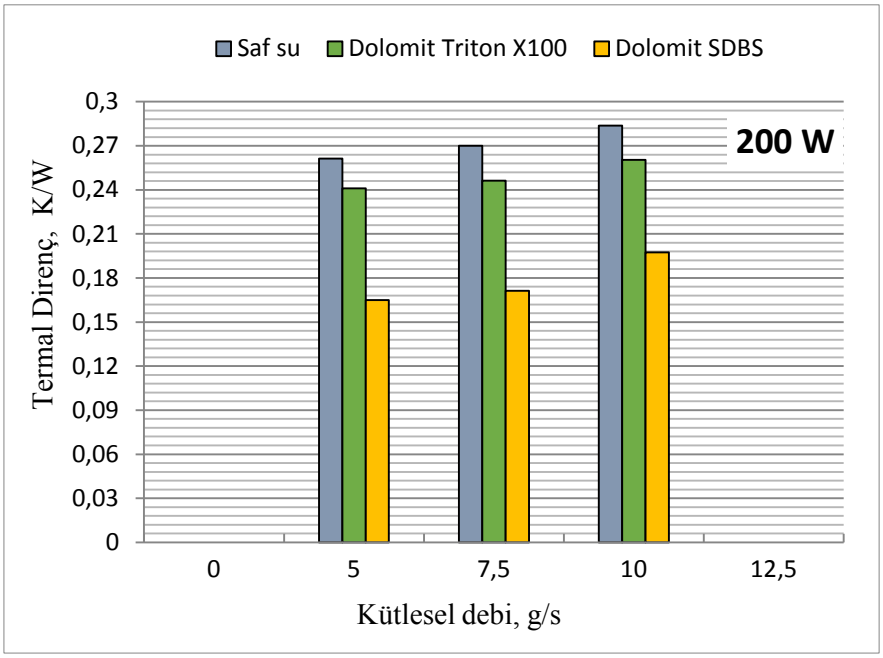
Şekil 5.71. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında boksit nanoakışkanın ısı borusu termal direncine etkisi

Şekil 5.70 ve Şekil 5.71'de gösterilen 300 W ve 400 W ısıl güç uygulandığında elde edilen termal direnç verilerine göre boksit içeren nanoakışkanların kullanımıyla ısı borusu termal direnci suyun çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre oldukça düşüktür. Isıtma gücü arttıkça ısı borusu termal direnci düşmüştür. Evaporatördeki buharlaşma daha fazla olmuştur. Saf su çalışma akışkanı olarak kullanıldığında 400 W ısıtma gücünde 5 g/s soğutma suyu debisinde ısı borusu termal direnci 0,135 K/W iken %2 boksit içeren nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusu termal direnci 0,1031 K/W'dir. Bu verilere göre %2 boksit içeren nanoakışkanın termal direnci saf suya göre %23,6 daha düşüktür.

Gürü ve diğerleri (2019) içeriği ağırlıkça SiO_2 ve Al_2O_3 bakımından zengin olan birçok oksittenden oluşan bir mineral olan bentoniti kullanarak hazırladıkları %2 konsantrasyondaki bentonit nanoakışkanını termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanmışlardır. 400 W, 5 g/s soğutma suyu akış hızında ısı borusu termal direnci suya göre %39 düşmüştür. Bentonit, boksite göre ısı borusu termal direncinin düşürülmesinde daha etkili olmuştur.

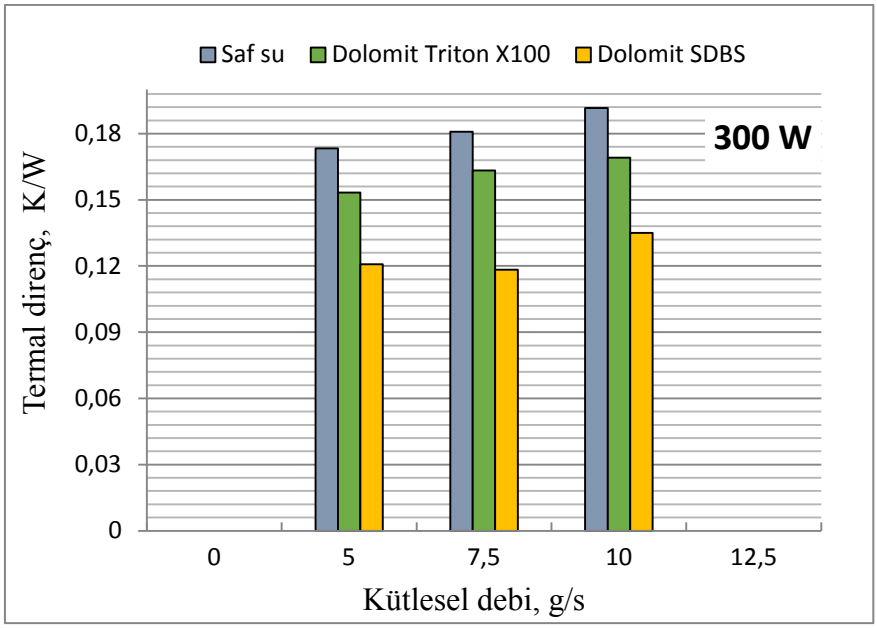
Dolomit-su nanoakışkanında farklı yüzey aktif madde kullanımının ısı borusu termal direncine etkisi

Yüzey aktif madde olarak %0,5 konsantrasyonda SDBS ve Triton X-100 kullanılması durumunda kütlece %2 derişimdeki dolomit-su nanaoakışkanının ısı borusu termal direncine olan etkisi farklı ısıtma gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde Şekil 5.72, 5.73 ve 5.74'te verilmiştir.

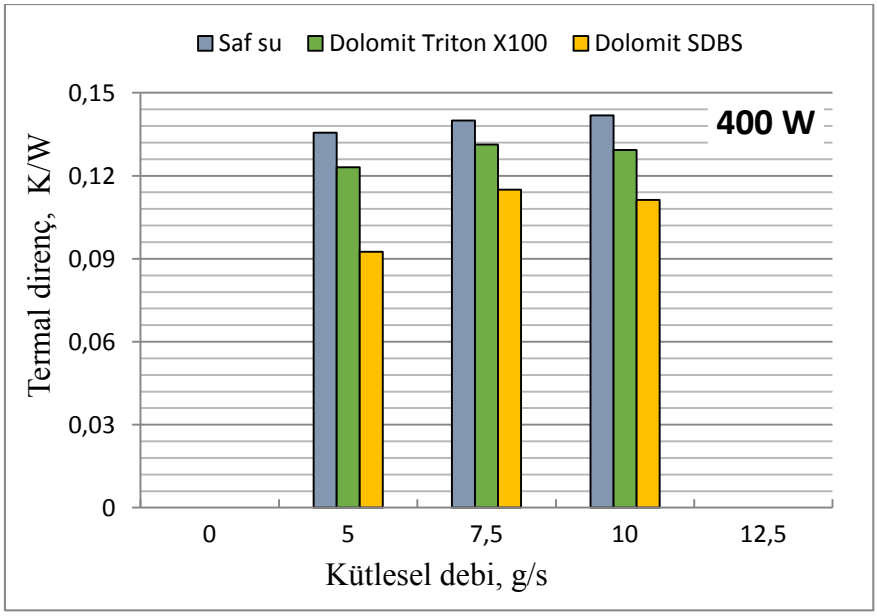


Şekil 5.72. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

200 W güç ve 5 g/s soğutma suyu akış hızında SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı çalışma akışkanı olarak kullanıldığında ısı borusunun termal direnci suya göre %36, Triton X-100 katkılı dolomit nanoakışkanı kullanıldığında %7,75 düşmüştür. Sözen ve diğerleri (2018), SDBS ve Triton X-100 katkılı TiO_2- deiyonize su nanoakışkanını borusu sisteminde çalışma akışkanı olarak kullandıklarında 200 W ısıl güç, 5 g/s soğutma suyu akış hızında ısı borusunun termal direnci, SDBS katkılı nanoakışkan kullanıldığında suya göre %16,8; Triton X-100 katkılı nanoakışkan kullanıldığında %6,8 düşmüştür. Bu sonuçlara göre dolomit nanoakışkanı ısı borusunun termal direncini TiO_2'ye göre daha fazla iyileştirmiştir.



Şekil 5.73. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi



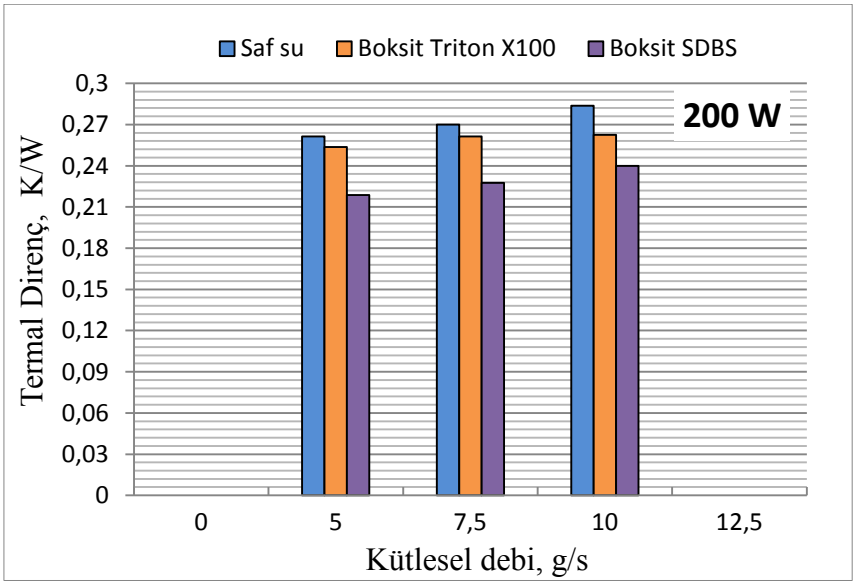
Şekil 5.74. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı dolomit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

Elde edilen deney sonuçlarına göre tüm deneysel koşullarda dolomit nanoakışkanında SDBS kullanıldığı durumda Triton X-100 kullanıldığı duruma göre ısı borusu termal direnci daha düşük olarak bulunmuştur. Saf suyun temas açısı 58° iken, SDBS içeren dolomit nanoakışkanın temas açısı 31°, Triton X-100 içeren dolomit nanoakışkanının temas açısı 35° olarak bulunmuştur. SDBS kullanıldığında dolomit nanoakışkanın katı

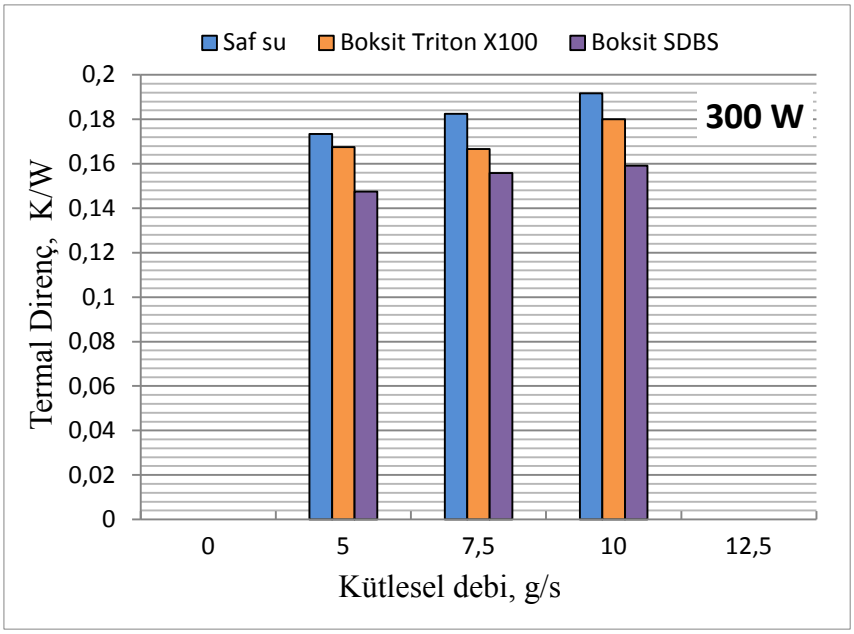
yüzeydeki temas açısı azalmış ve nanoakışkanın yüzeyi ıslatabilme yeteneği artmıştır. Bu nedenle, buhar kabarcık çekirdekleşme boyutu küçülmüş ve temel akışkan olan suya göre termal direnç azalmıştır.

Boksit-su nanoakışkanında farklı yüzey aktif madde kullanımının termal dirence etkisi

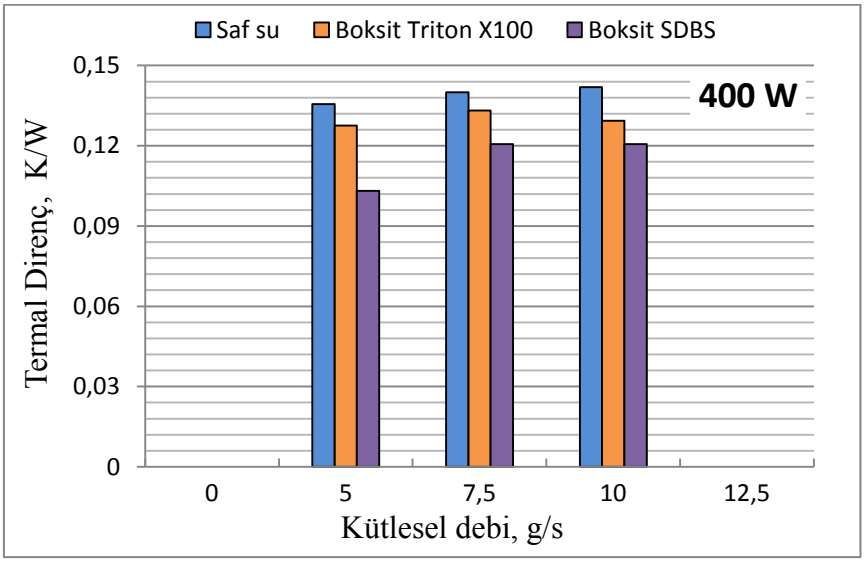
Yüzey aktif madde olarak %0,5 konsantrasyonda SDBS ve Triton X-100 kullanılması durumunda boksit-su nanaoakışkanının, ısı borusunun termal direncine olan etkisi 200 W, 300 W, 400 W ısıtma gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde sırasıyla Şekil 5.75, 5.76 ve 5.77'de verilmiştir.



Şekil 5.75. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi



Şekil 5.76. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif madde katkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi



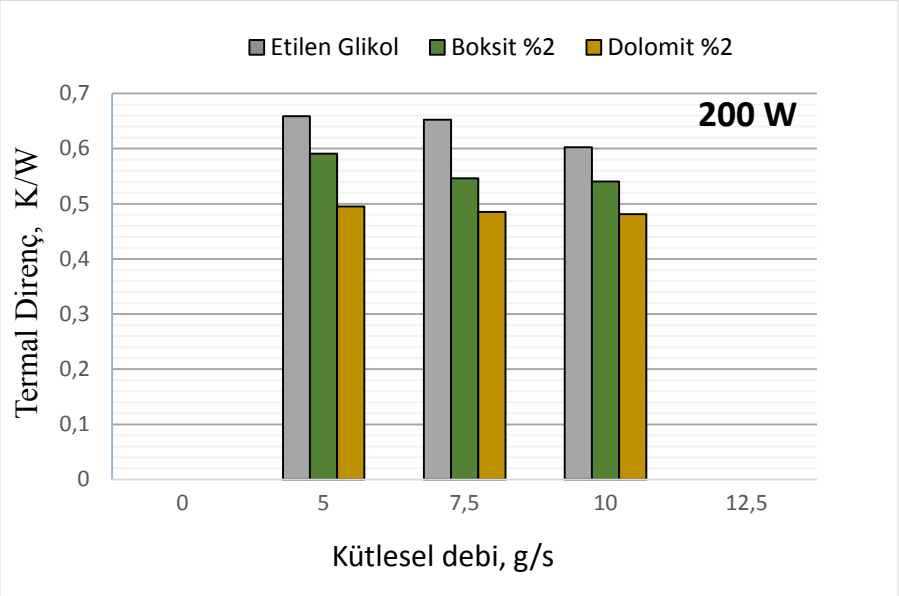
Şekil 5.77. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında farklı yüzey aktif maddekatkılı boksit nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

Elde edilen deney sonuçlarına göre SDBS kullanıldığı durumda Triton X-100 kullanıldığı duruma göre termal direncin daha düşük olduğu görülmüştür. Isıtma gücü arttıkça termal direnç azalmıştır. 300 W ısıtma gücü ve 10 g/s soğutma suyu akış hızında Triton X-100 katkılı boksit nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusu termal direnci suya göre %6 düşerken SDBS katkılı nanoakışkan kullanıldığında %16,7 düşmüştür. Saf suyun temas açısı 58° iken, SDBS içeren boksit nanoakışkanın temas açısı 39°, Triton X-100 içeren

boksit nanoakışkanının temas açısı 48 ° olarak bulunmuştur. SDBS kullanımıyla katı sıvı temas açısı ve ıslanabilirlik derecesini azalmıştır. Bu nedenle, buhar kabarcık çekirdekleşmesinin boyutu küçülmüş ve temel akışkan olan suya göre termal direnç azalmıştır.

Dolomit/EG ve boksit/EG nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

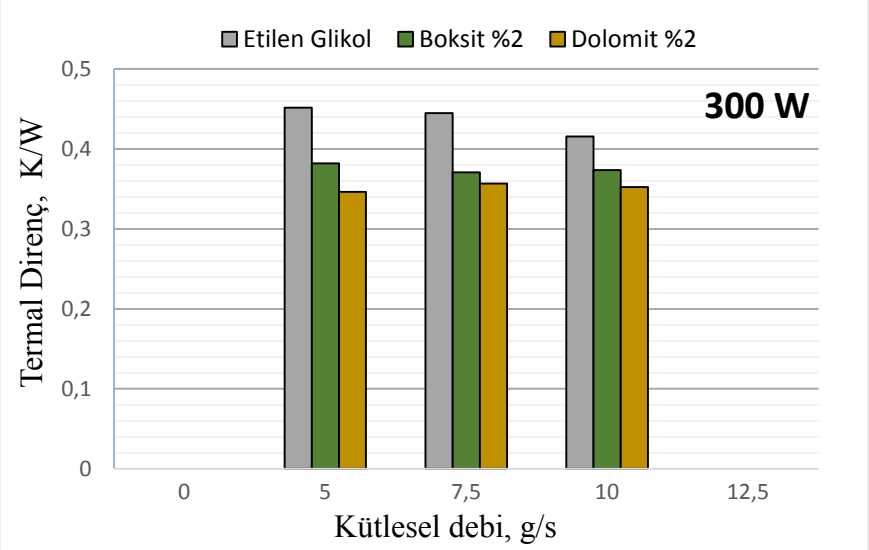
Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak hazırlanan %2 konsantrasyonda dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların farklı ısıl güç değerlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde elde edilen ısı borusu termal direnç değerleri Şekil 5.78, 5.79 ve 5.80'de verilmiştir.



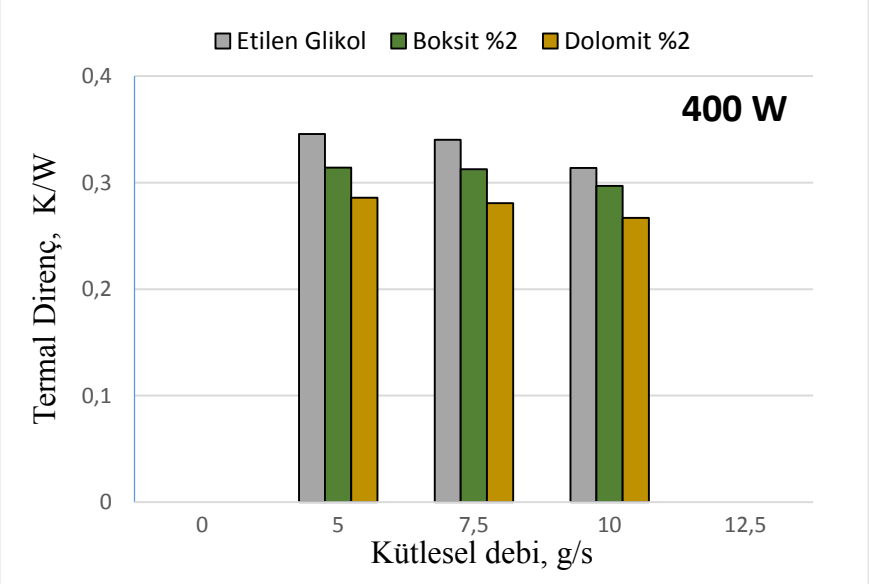
Şekil 5.78. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG ve boksit/EG nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

Etilen glikolün çalışma akışkanı olarak kullanılması ısı borusunun termal direncini arttırmıştır. Etilen glikolün kaynama noktası yüksek olduğundan evaporatör bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığı yüksektir. Evaporatör bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığı ve kondenser bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığı arasındaki fark büyük olduğundan ısı borusunun termal direnci yüksek olmaktadır. Fakat etilen glikole dolomit ve boksit nanopartikülleri eklenerek çalışma akışkanı olarak kullanıldığında ısı borusunun termal

direncini oldukça düşürmektedir. 200 W, 5 g/s akış hızında termal direnç dolomit nanoakışkanı kullanıldığında %33 düşmektedir.



Şekil 5.79. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

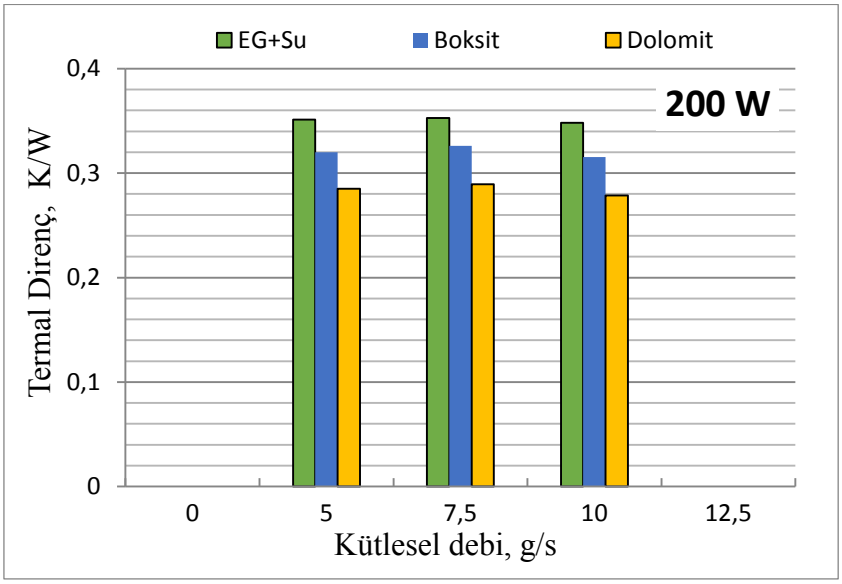


Şekil 5.80. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

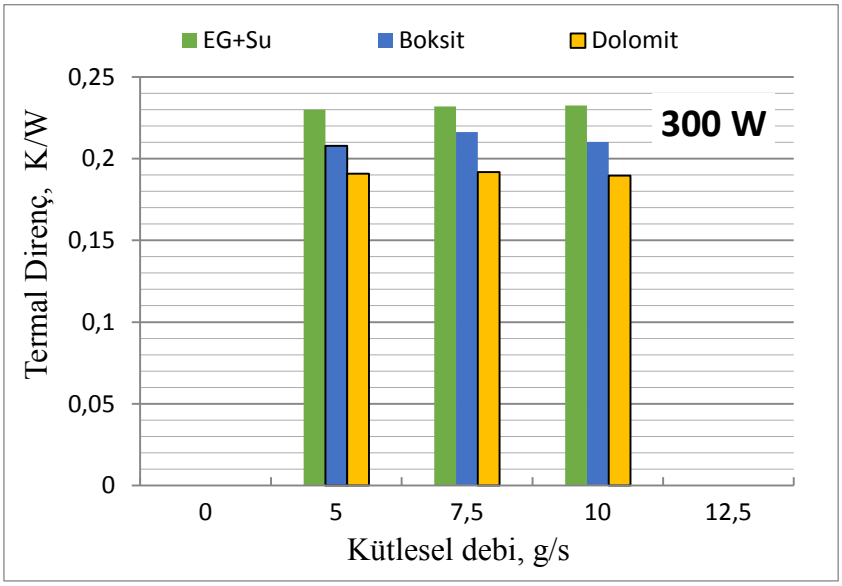
Isıtma gücü arttıkça, etilen glikol ve etilen glikolün temel akışkan olduğu nanoakışkanların ısı borusunda kullanımı ile ısı borusunun termal direnci düşmektedir. 300 W ısıl güç, 5 g/s soğutma suyu akış hızında etilen glikol-dolomit nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusu termal direnci etilen glikole göre %30,3 daha düşüktür.

Dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

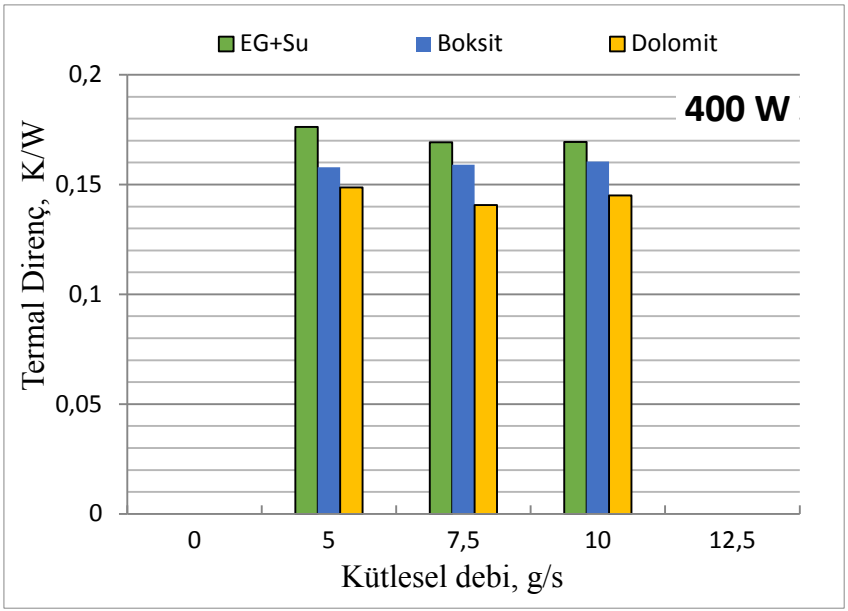
Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımı kullanılarak hazırlanan %2 konsantrasyonda dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların farklı ısıl güç değerlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde elde edilen ısı borusu termal direnç değerleri Şekil 5.81, 5.82 ve 5.83'te verilmiştir.



Şekil 5.81. 200 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi



Şekil 5.82. 300 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi



Şekil 5.83. 400 W güç ve farklı soğutma suyu akış hızlarında dolomit/EG-su ve boksit/EG-su nanoakışkanlarının ısı borusu termal direncine etkisi

Elde edilen sonuçlara göre farklı ısıtma güçleri ve farklı soğutma suyu akış hızlarında; dolomit/EG-su nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanılması durumunda ısı borusu termal direnci, EG-su karışımının çalışma akışkanı olarak kullanıldığında oluşan ısı borusu termal direncinden daha düşüktür. Bu sonuç dolomit/EG-su nanoakışkanının daha düşük yüzey gerilim ve temas açısına sahip olduğu sonucunu desteklemektedir. Dolomit nanoakışkanının 400 W ısıtıcı gücü ve 7,5 g/s soğutma suyu debisinde termal direnci 0,140 K/W'dir. Bu sonuç, ısı borusu termal direncinde, Eg-su karışımının kullanıldığı duruma göre %20'lik bir iyileşme olduğu göstermektedir.

5.4.3. Nanoakışkanların ısı borusu termal verimine etkisi

Isı borusunun verimi, yoğuşma ile atılan ısının, evaporatöre verilen ısıya oranı olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{çıkış}}{\dot{Q}_{giriş}} \tag{5.3}$$

Burada $\dot{Q}_{giriş}$ buharlaşma bölgesine verilen ısıtıcı gücüdür (200 W, 300 W ve 400 W).

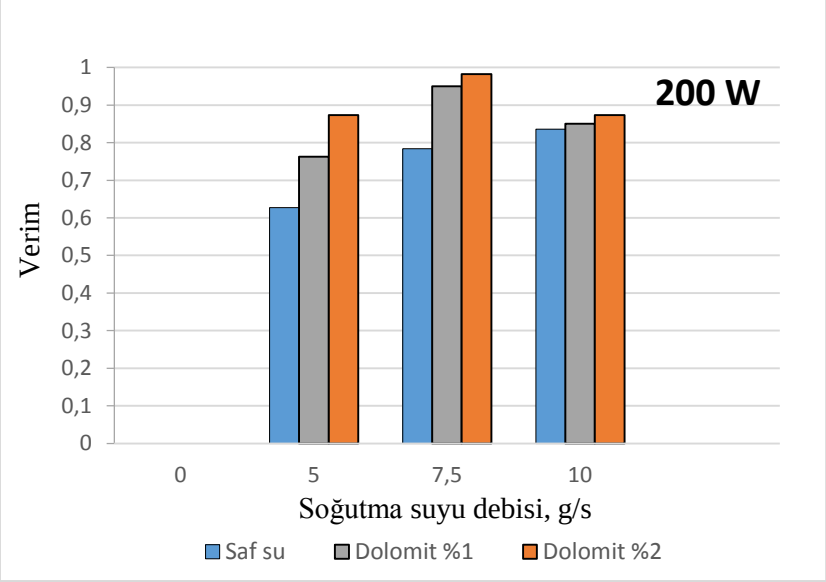
Kondenser bölgesindeki ısıyı çekmek amacıyla kullanılan soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, suyun kütlesel debisi ve özgül ısı değerleri; soğutucu akışkana olan ısı transferi miktarını hesaplamada kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{verilen} = \dot{m}_k c(T_{çıkış} - T_{giriş}) \tag{5.4}$$

Hazırlanan nanoakışkanlar ve temel akışkanların ısı borusu verimine etkisi farklı giriş güçlerinde ve soğutma suyu kütlesel akış hızlarında belirlenerek karşılaştırılmıştır.

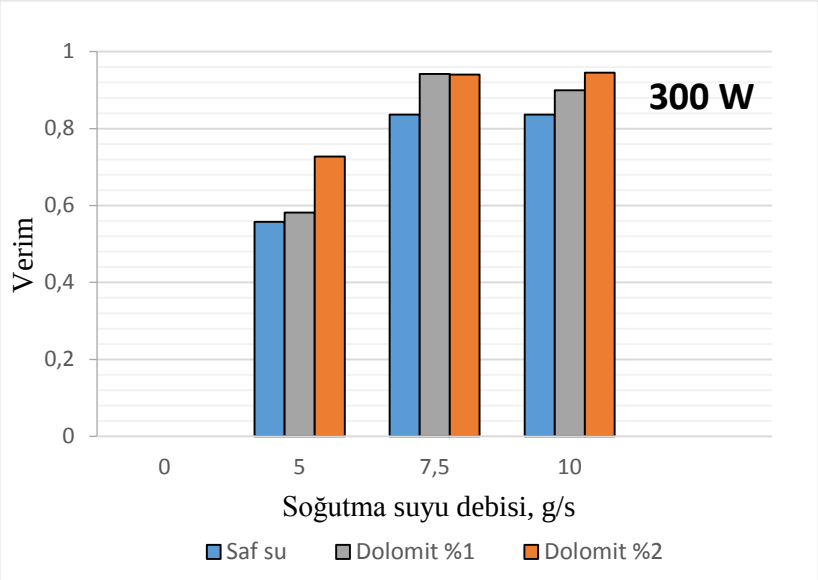
Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanların verime etkisi

%0,5 SDBS katkılı %1 ve %2 konsantrasyonda hazırlanan dolomit nanoakışkanları farklı ısıl güçlerde belirlenen ısı borusu verim değerleri Şekil 5.84, Şekil 5.84 ve Şekil 5.86'da verilmiştir.

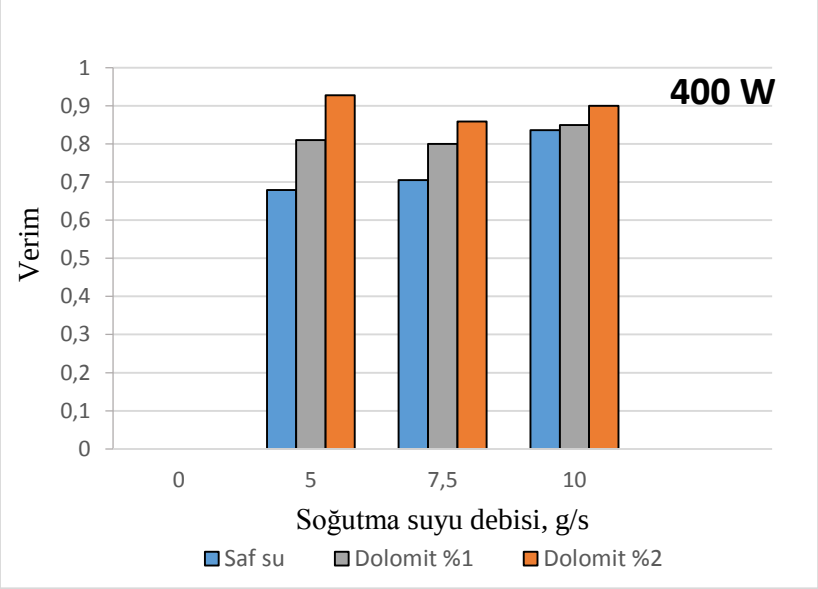


Şekil 5.84. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 200W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri

Dolomit içeren nanoakışkanlarının çalışma akışkanı olarak kullanıldıkları durumda elde edilen ısı borusu verim değerlerinin saf suya orana yüksek olduğu görülmüştür. 200 W ısıl güç 5 g/s soğutma suyu debisinde %2 dolomit içeren nanoakışkanın verim değerindeki artış %39 'dur.



Şekil 5.85. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 300 W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri

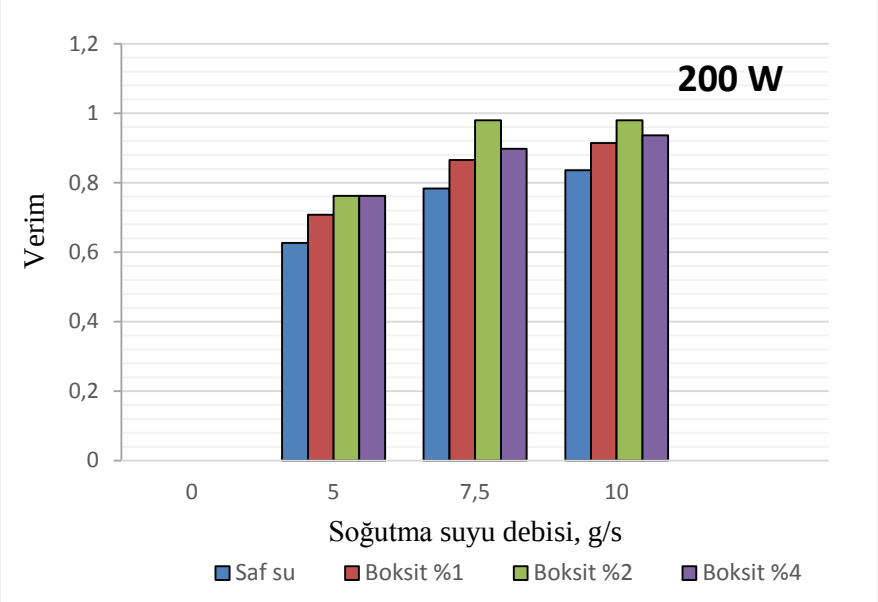


Şekil 5.86. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 400 W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri

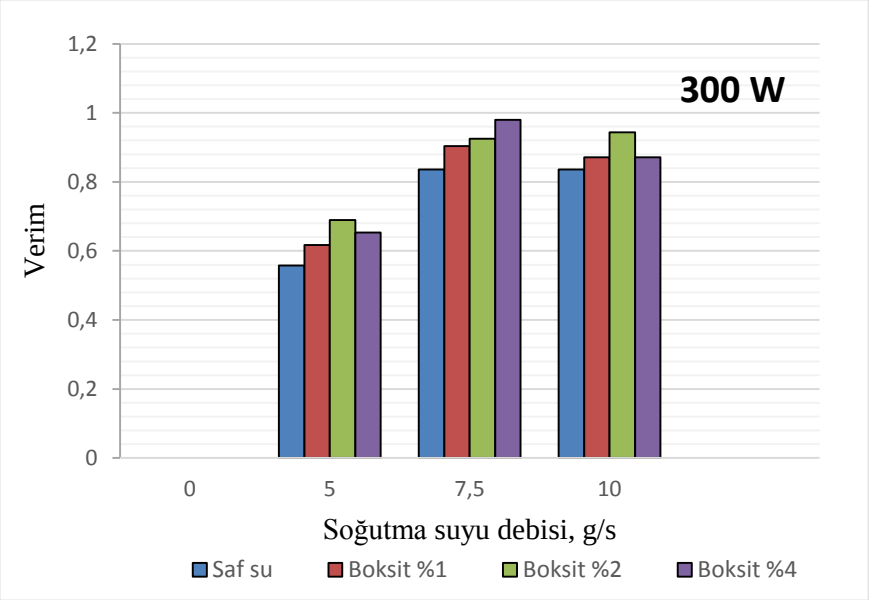
Şekil 5.85 ve Şekil 5.86'da verilen 300 W ve 400 W ısıl güçte, elde edilen verim değerleri incelendiğinde; dolomit nanoakışkanı, çalışma akışkanı olarak kullanıldığında saf suya göre ısı borusunun veriminde artışa neden olmuştur. Ayrıca 300 W ve 400 W ısıtma gücünde %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanı ısı borusunda çalışıldığında ısı borusu verim değerinin % 1 dolomit içeren nanoakışkana göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanların verime etkisi

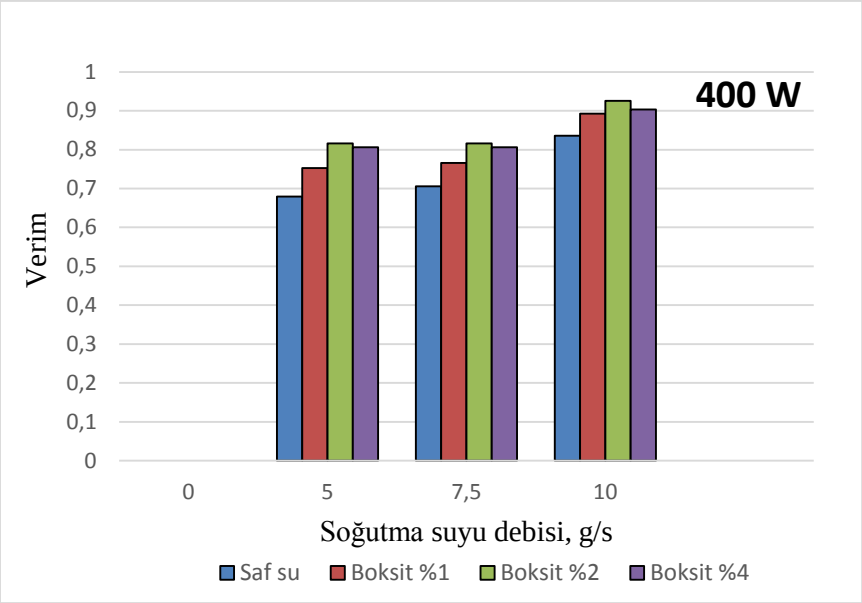
200 W, 300 W ve 400 W ısıl gücünde kütlece %1, %2 ve %4 derişimde boksit içeren nanoakışkanların ısı borusu verim değerleri sırasıyla Şekil 5.87, Şekil 5.88 ve Şekil 5.89'da verilmiştir.



Şekil 5.87. Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanın 200W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri



Şekil 5.88. Kütlece farklı derişimde boksit içeren nanoakışkanın 300W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri

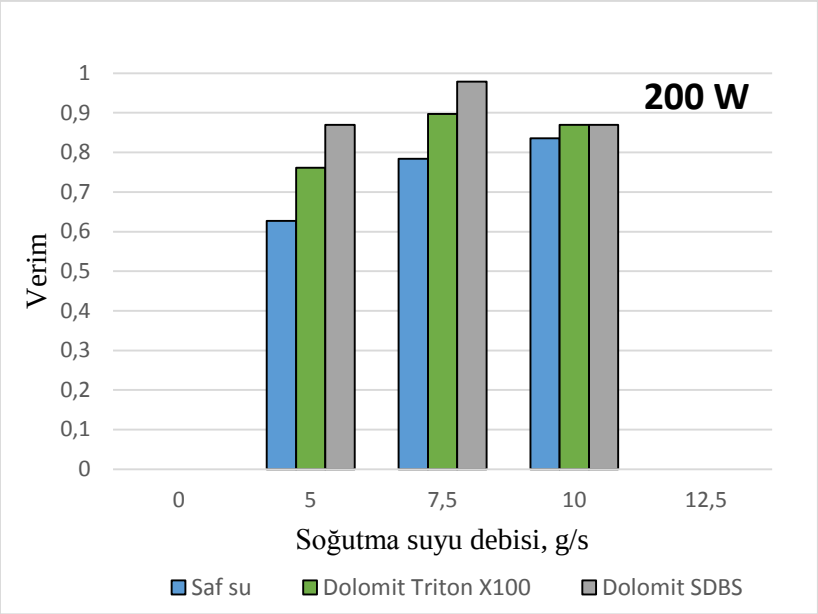


Şekil 5.89. Kütlece farklı derişimde dolomit içeren nanoakışkanın 400W ısıtıcı gücü ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusunda elde edilen verim değerleri

Farklı derişimlerde hazırlanan boksit-su nanoakışkanları ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında ısı borusunun verimini en fazla arttıran nanoakışkan %2 konsantrasyondaki boksit nanoakışkanıdır. %2 derişimde boksit içeren nanoakışkanı, 200 W ısıl güç ve 7,5 soğutma suyu debisinde ısı borusu verimini %25 arttırmıştır.

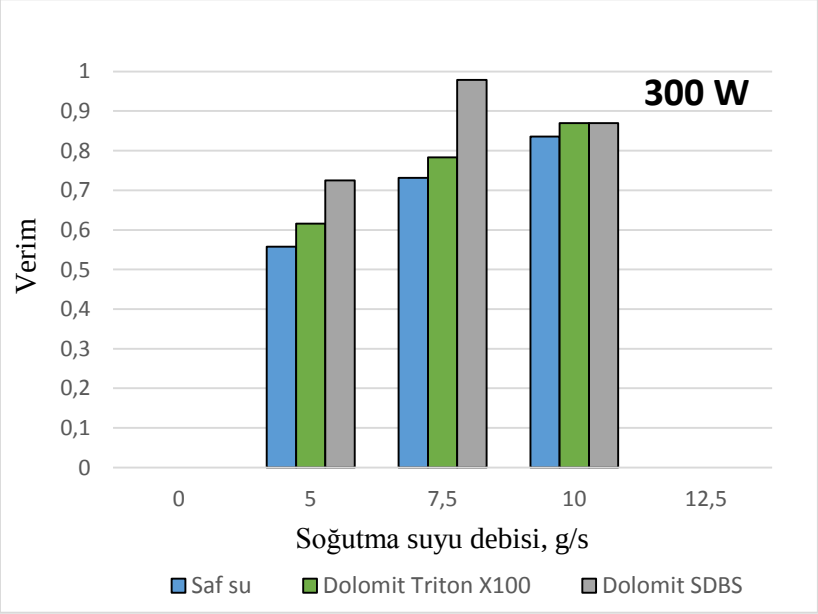
Dolomit-su nanoakışkanında farklı yüzey aktif madde kullanımının verime etkisi

Farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan dolomit içeren nanoakışkanların, 200 W, 300 W ve 400 W ısıl gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde yapılan deneylerde elde edilen ısı borusu verim değerleri sırasıyla Şekil 5.90, Şekil 5.91 ve Şekil 5.92'de verilmiştir.

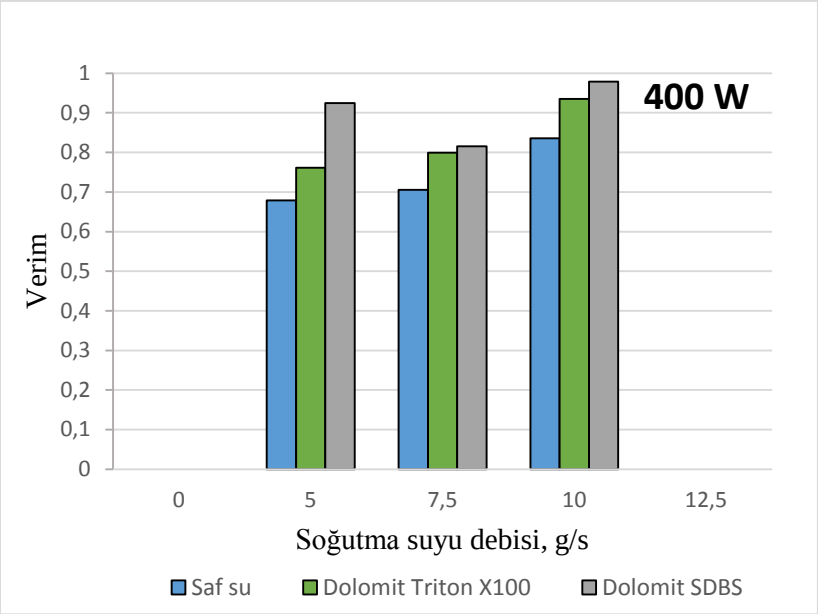


Şekil 5.90. Dolomit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

200 Watt'ta yapılan deneylerde SDBS ve Triton X-100 içeren nanoakışkanların verim değerleri saf suya göre daha yüksektir. SDBS yüzey aktif maddesi kullanıldığı durumda ısı borusu verim değerleri 5 ve 7,5 g/s soğutma suyu debilerinde yapılan deneylerde Triton X-100 kullanılarak hazırlanan nanoakışkan verim değerine göre oldukça yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.91. Dolomit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

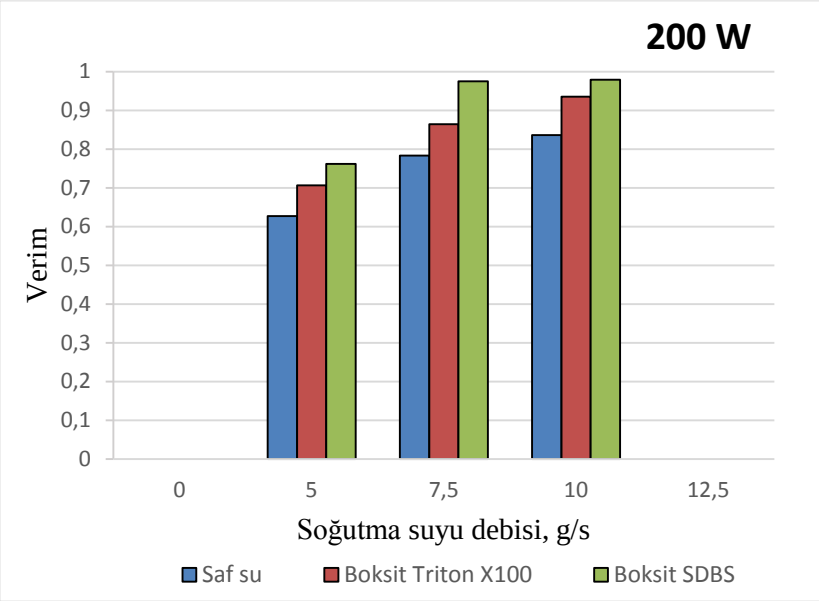


Şekil 5.92. Dolomit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

300W ısıtıcı güç ve 7,5 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deneyde (Şekil 5.91) SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı suya göre ısı borusunun verimini %17 arttırmıştır. En yüksek verim artışı % 36 olarak 200 W ısıtıcı güç ve 5 g/s soğutma suyu debisinde SDBS kullanılarak hazırlanan dolomit nanoakışkanı ile yapılan deneyde elde edilmiştir.

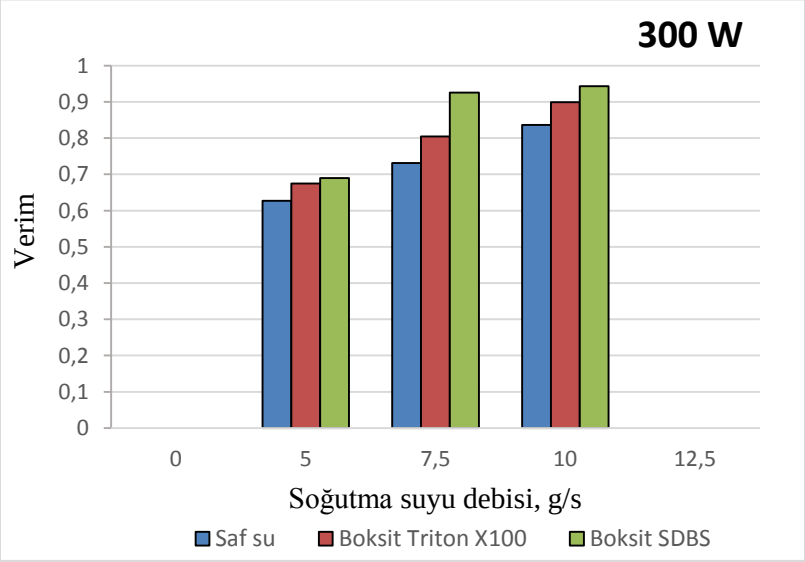
Boksit-su nanoakışkanında farklı yüzey aktif madde kullanımının verime etkisi

Farklı yüzey aktif madde kullanılarak hazırlanan boksit içeren nanoakışkanların, 200 W, 300 W ve 400 W ısıl gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde yapılan deneylerde elde edilen ısı borusu verim değerleri sırasıyla Şekil 5.93, Şekil 5.94 ve Şekil 5.95'de verilmiştir.

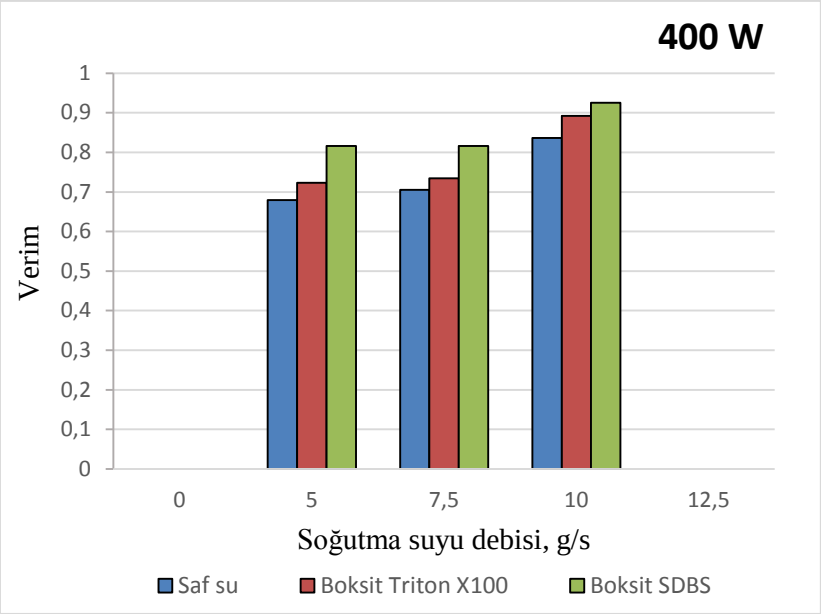


Şekil 5.93. Boksit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

Deney sonuçları incelendiğinde SDBS içeren boksit nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanılması durumunda Triron X-100' göre ısı borusu verimi daha yüksek olarak bulnmuştur. 200 W, 7,5 g/s soğutma suyu debisinde SDBS kullanıldığı durumda %24'lük bir verim artışı gözlenirken Triton X-100 kullanıldığı durumda %10'luk bir verim artışı gözlenmiştir.



Şekil 5.94. Boksit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

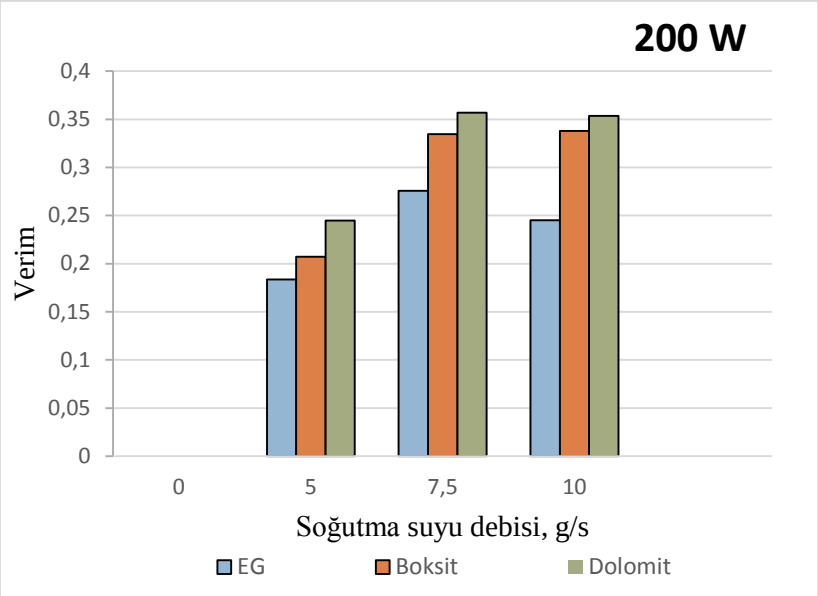


Şekil 5.95. Boksit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

Farklı ısıtma güçlerinde SDBS katkılı boksit nanoakışkanı Triton X-100 katkılı dolomit nanoakışkanına göre ısı borusunu termal verimini suya göre daha fazla arttırmıştır. 400 W, 5 g/s soğutma suyu debisinde SDBS kullanıldığı durumda %20'lik bir verim artışı gözlenirken Triton X-100 kullanıldığı durumda %7,4 'lük bir verim artışı gözlenmiştir.

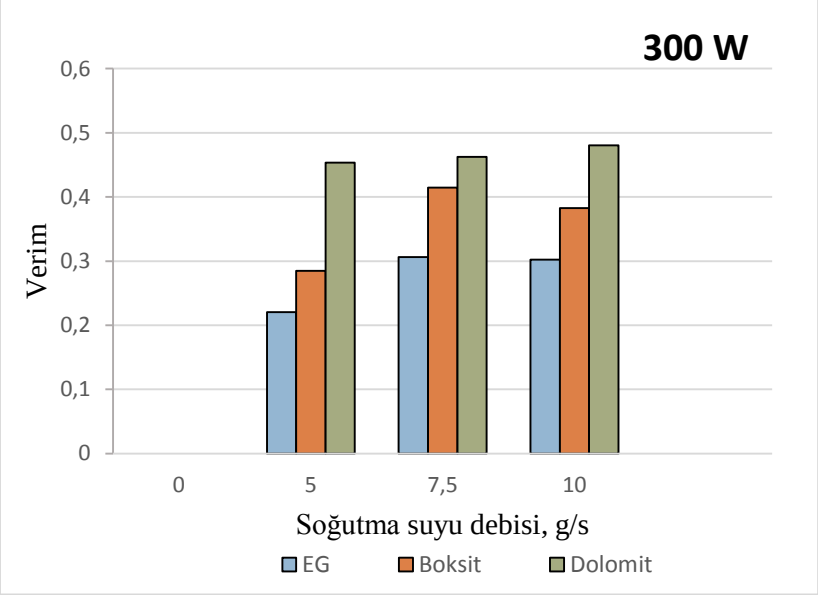
Temel akışkan olarak etilen glikol kullanıldığı durumda kütlece %2 dolomit içeren ve %2 boksit içeren nanoakışkanların verime etkisi

Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların farklı ısıl güç değerlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde elde edilen verim değerleri Şekil 5.96, 5.97 ve 5.98'de verilmiştir.

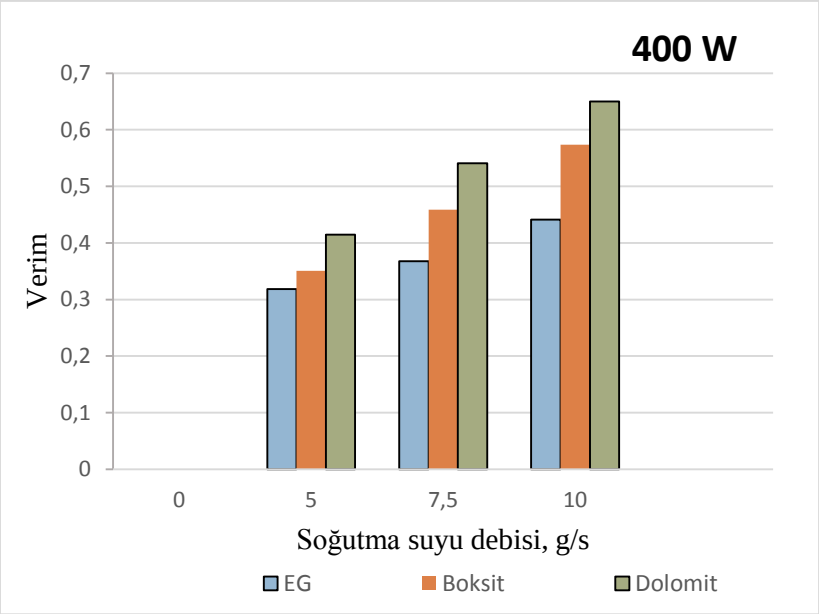


Şekil 5.96. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri

200 W ısıl güç ve 10 g/s soğutma suyu akış hızında dolomit nanoakışkanı kullanımı ile suya göre, %44 verim artışı olmuştur. Dolomit nanoakışkanı kullanımı boksit nanoakışkanının kullanıldığı duruma göre ısı borusunun termal verimini daha fazla arttırmıştır. Bu durum dolomit/EG nanoakışkanının, boksit/EG nanoakışkanından daha üstün termofiziksel özelliklere (özgül ısı, vizkozite, yüzey gerilimi) sahip olması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 5.97. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri

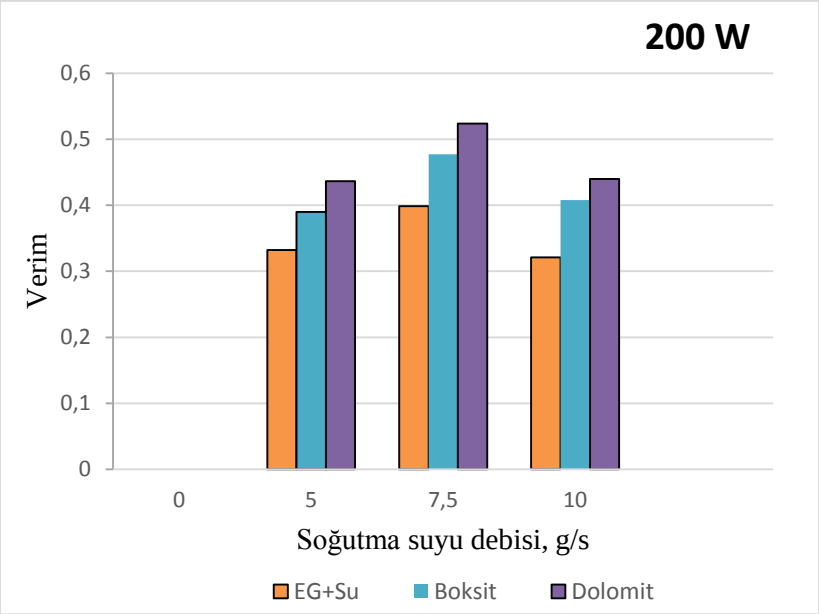


Şekil 5.98. Etilen glikol ve %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri

Etilen glikole göre dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların verime etkisi daha fazla olmuştur. 400 W ısıl güç ve 10 g/s soğutma suyu akış hızında dolomit/etilen glikol nanoakışkanı etilen glikolün çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre ısı borusu veriminde %47 verim artışına neden olmuştur.

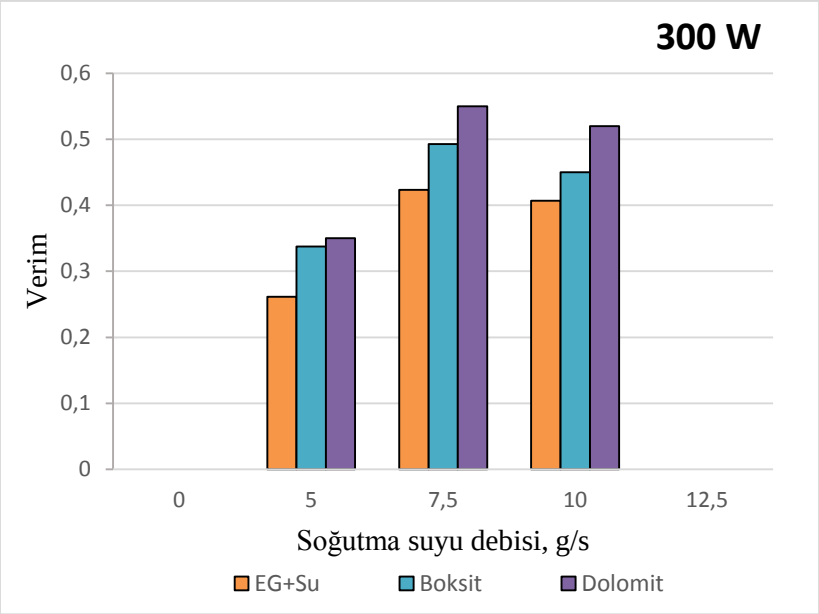
Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50/50) karışımı kullanıldığı durumda kütlece %2 dolomit içeren ve %2 boksit içeren nanoakışkanların verime etkisi

Temel akışkan olarak etilen glikol-su (50:50) karışımı kullanılarak hazırlanan dolomit ve boksit içeren nanoakışkanların farklı ısıl güç değerlerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde elde edilen ısıl direnç değerleri sırasıyla Şekil 5.99, Şekil 5.100 ve Şekil 5.101' de verilmiştir.

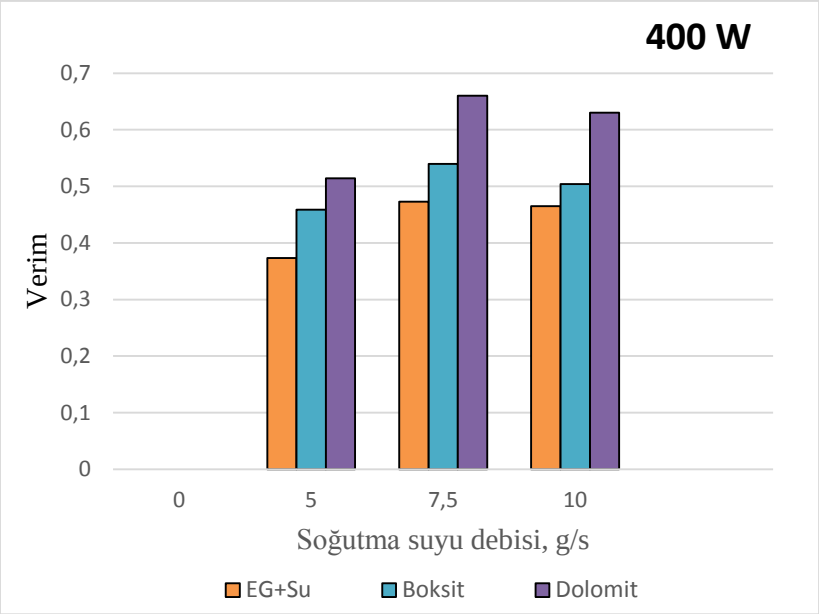


Şekil 5.99. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 200 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri

Etilen glikol-su temel akışkanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar temel akışkana göre ısı borusu verimini arttırmıştır. Dolomit nanoakışkanı, temel akışkana göre 300 W ısıl güç ve 10 g/s debide ısı borusu veriminde %37,5 artış sağlamıştır.



Şekil 5.100. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 300 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri



Şekil 5.101. Etilen glikol-su karışımının, %2 konsantrasyondaki dolomit ve boksit nanoakışkanlarının 400 W ısıl güç ve farklı soğutma suyu debilerindeki verim değerleri

Elde edilen verim değerlerine göre Eg-Su karışımı kullanıldığı duruma göre dolomit ve boksit nanoakışkanlarının kullanıldığı durumda ısı borusu verimi oldukça yüksektir. Dolomit ve boksit nanoakışkanları kendi içlerinde karşılaştırıldıklarında ise dolomit nanoakışkanı boksit içeren nanoakışkana göre çok daha iyi bir performans göstermiştir. 400 W ısıl güç ve 5 g/s soğutma suyu debisinde %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanı suya göre ısı borusunun termal verimini %39,5 arttırmıştır. Dolomit ve boksit nanoakışkanlarının içerdikleri seramik nanopartiküllerden dolayı termal iletkenlikleri ve özgül ısı değerleri temel akışkanlara göre yüksek bulunmuştur. Bundan dolayı nanoakışkanlar, ısı borusu sisteminde kullanıldıklarında sistemin performansını daha fazla arttırmışlar.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada temel akışkan olarak su, etilen glikol ve etilen glikol-su (50:50) kullanılarak dolomit ve boksit nanoakışkanları hazırlanmıştır. Kullanılan mineraller, içerdikleri metal oksitler sebebiyle seçilmişlerdir. Ayrıca çalışmada kullanılan mineraller maliyet araştırması yapıldığında çok ucuz ürünlerdir ve kolay ulaşılabilirlerdir. Dolomit ve boksit mineralleri hibrit etkiden dolayı, temel akışkanların termal özelliklerini iyileştirmiş ve literatürdeki tek bileşenli nanoakışkanlara göre ısı borusunda daha yüksek ısıl performans göstermişlerdir.

Nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. İlk olarak kullanılan mineraller spex tipi bilyeli öğütücüde nanoboyuta getirilmiştir. Dolomit minerali; 1/15 numune/bilye oranında ve 7 saat öğütme süresinde 24 nm, boksit minerali; 1/15 numune/bilye oranı ve 9 saat öğütme süresinde 38 nm boyutuna indirilmiştir. Daha küçük boyutlu partikül içeren nanoakışkanlar aynı konsantrasyondaki büyük boyutta partikül içeren akışkanlardan daha fazla partikül içerirler. Daha küçük boyutlu partiküller yüksek hareket hızına, temel akışkanla daha iyi etkileşime ve iyileştirilmiş taşıma enerjisine sahiptirler, bu da ısı transfer hızının artmasına neden olur.

Çalışmada hazırlanan nanoakışkanların kararlılığını arttırmak için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar ultrasonik su banyosu ve yüzey aktif madde kullanımıdır. Kütlece farklı konsantrasyonlarda (%1, %2, %4) nanopartiküller temel akışkanlara eklenmiş ultrasonik su banyosunda iki saat süreyle bekletilmiştlerdir. Yüzey aktif madde olarak %0,5 konsantrasyonda Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat ve Triton X-100 kullanılmıştır. Nanoakışkanların kararlılıklarının tespit edilmesinde zeta potansiyeli ölçümü kullanılmıştır. Boksit minerali ile hazırlanan nanoakışkanların zeta potansiyelleri farklı temel akışkanlarla hazırlanan dolomit nanoakışkanlarından daha düşüktür. En yüksek zeta potansiyeline sahip nanoakışkan SDBS katkılı dolomit/EG nanoakışkanıdır, zeta potansiyeli değeri 28, mV'dur.

Nanoakışkanların ısıl sistemlerde kullanımını belirleyen en önemli parametre nanoakışkanların termofiziksel özellikleridir. %2 konsantrasyonda hazırlanan nanoakışkanların deneysel olarak termal iletkenlikleri, özgül ısıları, vizkoziteleri, yüzey

gerilim ve temas açıları belirlenmiştir. 20 °C'de suyun termal iletkenliğine kıyasla boksit nanoakışkanının termal iletkenliği %8,47, dolomit nanoakışkanın termal iletkenliği %18,4 daha yüksektir. Dolomit ve boksit nanoakışkanlarının içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve ısı taşıma kapasitesi saf suya göre daha yüksektir. %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanının özgül ısısı suya göre %4,4 artış göstermiştir. Dolomit ve boksit minerallerinin temel akışkanlara ilevesi ile temel akışkanların vizkozitelerinde artış olmuştur. 20°C'de suyun viskozitesi 1 mPa.s iken, %2 konsantrasyondaki dolomit nanoakışkanının vizkozitesi 1,19 mPa.s, boksit nanoakışkanının viskozitesi 1,23 mPa.s olarak bulunmuştur. Viskozitedeki artış, akış kanalındaki basınç düşüşünde ve akış için gerekli pompa gücünde artışa neden olduğundan vizkozite artışı nanoakışkan uygulamalarını sınırlandırabilmektedir. Bu amaçla, nanoakışkan uygulamalarında maksimum ısıl iletkenlik katsayısı ve minimum viskozite değerlerinin sağlanabilmesi önem taşımaktadır. Yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümlerinde yüzey aktif maddenin çeşidine bağlı olarak elde edilen sonuçlara göre, saf suyun temas açısı 58° iken, SDBS içeren dolomit nanoakışkanının temas açısı 31°, Triton X-100 içeren dolomit nanoakışkanının temas açısı 35° olarak bulunmuştur. SDBS içeren boksit nanoakışkanının temas açısı 39°, Triton X-100 içeren boksit nanoakışkanının temas açısı 48° olarak bulunmuştur. SDBS yüzey aktif maddesi Triton X-100'e göre eklendiği nanoakışkanın, katı yüzeyi ıslatabilme yeteneğini daha fazla arttırmaktadır.

Termofiziksel özellikleri belirlenen nanoakışkanların ısı borusu performansları incelenmiştir. Temel akışkanların ve nanoakışkanların kullanımıyla ısı borusu duvar sıcaklık dağılımı, ısı borusu termal direnç ve verim değerleri belirlenmiştir. Nanopartikül konsantrasyonu ve yüzey aktif madde çeşidi parametrik olarak çalışılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki (%1, %2, %4) nanoakışkanların ısı borusu performansları incelendiğinde konsantrasyon arttıkça temel akışkana göre ısı borusu duvar sıcaklığında daha fazla düşüş görülmüştür. Isı borusunda en yüksek performans artışı %2 konsantrasyonda nanopartikül kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Nanaoakışkanların içerisindeki partikül konsantrasyonun artması, buharlaştırıcı yüzeyine yakın nanopartiküllerin Brownian hareketleri nedeniyle, daha büyük kabarcıkların parçalanmasına neden olmuştur. Bunun nedeni nanopartiküllerin temel akışkanların termal iletkenliği arttırması ve termosifon ısı borusu yüzeyinde homojen bir nanopartikül dağılımının oluşmasıdır. Fakat nanopartikül konsantrasyonun fazla arttırılması, büyük kayma gerilmelerine neden olmaktadır ve fazla pompalama gücü gerektirir ve bu nedenle

uygun nanopartikül konsantrasyonunun seçimi önemlidir. 200 W ısıl güç ve 5 g/s soğutma suyu akış hızında %2 konsantrasyonda dolomit-su nanoakışkanının kullanılması ile temel akışkan olan suya göre evaporator bölgesi ortalama duvar sıcaklığı 19,5 °C düşmüştür. Isı borusunda, temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların kullanımı ile ısı borusunda en yüksek performans artışı elde edilmiştir. Zeta potansiyel ölçüm sonuçları bu tespiti doğrulamaktadır. 200 W ve 10 g/s soğutma suyu debisinde dolomit-EG nanoakışkanının çalışma akışkanı olarak kullanıldığı durumda evaporatör bölgesinde ortalama sıcaklık 26,25 °C düşmüştür. Bu sonuç, buharlaştırıcıda daha düşük sıcaklıklarda kaynama ve yoğunlaştırıcıda ise ısı aktarım hızında artış olduğunu göstermektedir. Böylece, ısıl sistemlerde geleneksel çalışma akışkanları yerine nanoakışkanların kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça düşük sıcaklıktaki buharlaşmadan dolayı ısı borusunun termal direnci düşmüştür. 200 W güç ve 5 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deney sonucunda çalışma akışkanı olarak %2 derişimde dolomit içeren nanoakışkan kullanıldığında suya göre ısı borusu termal direncinde %36,84 düşüş gözlenmiştir. Nanopartiküller katı-sıvı temas açısını azaltarak ısı borusunun yüzeyinin ıslanabilirlik derecesini arttırır. Bu nedenle, buhar kabarcıklarının çekirdekleşme boyutu ve temel akışkana göre termal direnç azalır. Nanoakışkanlar ısı borusunda yüksek ısıl performans gösterdiklerinden dolayı çalışma akışkanı olarak kullanıldıklarında ısı borusunun verimini arttırmıştır. 400 W ısıl güç ve 10 g/s soğutma suyu akış hızında dolomit/etilen glikol nanoakışkanı, etilen glikolün çalışma akışkanı olarak kullanıldığı duruma göre ısı borusu veriminde %47 artış sağlamıştır. Nanopartiküllerin ilavesi ile etilen glikolün termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ve nanoakışkanının kararlı yapıda olması dolomit nanoakışkanının termosifon tipi ısı borusunun ısı transfer hızını arttımış ve daha yüksek verim elde edilmesini sağlamıştır.

Nanoakışkana yüzey aktif madde ilavesi evaporatör bölgesindeki duvar sıcaklığının düşmesini sağlamıştır. Ayrıca kullanılan yüzey aktif madde nanoakışkanın yüzey gerilimini ve ısı borusu çeperi ile nanoakışkan arasındaki katı-sıvı temas açısını azaltmış ve ıslanabilirliği arttırmıştır bu da ısı borusundaki termal direncin düşmesine sebep olmuştur. Kullanılan yüzey aktif maddelerin performansları karşılaştırıldığında Sodyum Dodesil Benzene Sülfonat katkılı nanoakışkan, Triton X-100 katkılı nanoakışkana göre ısı borusu duvar duvarlığını ve termal direnci daha fazla düşürmüş ve ısı borusunun termal verimini

arttırmıştır. 200 W ısıtıma gücü ve 5 g/s soğutma suyu akış hızında SDBS katkılı dolomit nanoakışkanı suya göre evaporator bölgesi duvar sıcaklığını %37 düşürürken Triton X-100 katkılı dolomit nanoakışkanı %12 düşürmüştür. Yüzey aktif maddeler nanoakışkanların vizkozitelerini arttırmaktadır. Bu nedenle yüzey aktif maddelerin optimum konsantrasyonda kullanılması gerekmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda nanoakışkan içerisindeki yüzey aktif madde konsantrasyonu ısı borusu performans deneylerinde bir parametre olarak çalışılabilir.

Nanopartiküllerin varlığı, buhar kabarcıkları ile oluşan film tabaka ve partikül kümelenmesinde azalmaya neden olmuş, bu da sistemin ısı transfer özelliklerinin iyileştirilmesinde rol oynamıştır. Isıl sitemlerde geleneksel çalışma akışkanları yerine, düşük maliyetli hibrit etkiye sahip mineralojik nanoakışkanların kullanımı ile çalışılan sistemlerin verimliliğinin artacağı sonucuna varılmıştır.

Çalışılan sisteme bağlı olarak farklı çalışma sıcaklık aralıklarına göre nanoakışkanlarda kullanılan temel akışkanların seçimi önemlidir. Çalışma akışkanı olarak etilen glikol, etilen glikol-su karışımı kullanılan soğutma sistemlerinde de bu akışkanlar yerine yüksek termal iletkenliğe sahip nanoakışkanların kullanımı ısı transfer alanının genişlemesine ve sistem boyutlarının küçülmesine olanak sağlayacaktır. Etkin ve hızlı bir şekilde soğutma ihtiyacı olan uçak motorları ve savunma sistemlerinde de üstün termofiziksel özelliklere sahip olan nanoakışkanların önemli bir yer tutacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdolbaqi, M. K., Azmi, W. H., Mamat, R., Sharma, K. V. and Najafi, G. (2016). Experimental investigation of thermal conductivity and electrical conductivity of bioglycol -water mixture based Al_2O_3 nanofluid. *Applied Thermal Engineer*ing, 102, 932–41.

Akilu, S., Sharma, K.V., Baheta, A.T. and Mamat, R. (2016). A review of thermophysical properties of water based composite nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 654-678.

Ali, N., Teixeira, J. A. and Addali, A. (2018). A review on nanofluids: fabrication, stability, and thermophysical properties, *Journal of Nanomaterials*, 6978130, 33.

Anoop, K.B., Kabelac, S., Sundararajan, T. and Das, S. K. (2009). Rheological and flow characteristics of nanofluids: Influence of electroviscous effects and particle agglomeration. *Journal of Applied Physics*, 106, 034909.

Arthur, O. and Karim, M. A. (2016). An investigation into the thermophysical and rheological properties of nanofluids for solar thermal applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 739–755.

Azizian, R., Doroodchi, E. and Moghtaderi, B.(2016). Influence of controlled aggregation on thermal conductivity of nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 138(2), 021301.

Azmi, W. H., Hamid, K. A., Mamat, R., Sharma, K. V. and Mohamad M. (2016). Effects of working temperature on thermo-physical properties and forced convection heat transfer of TiO_2 nanofluids in water–Ethylene glycol mixture. *Applied Thermal Engineering*, 106,1190-1199.

Babita, Sharma, S. K., Gupta, S. M. (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: A review, *Experimantel Thermal and Fluid Science*, 79, 202-212.

Bhuiyan, M. H. U., Saidur, R., Amalina, M. A. and Mostafizur, R. M.(2015). Effect of surface tension on SiO2-methanol nanofluids. *Materials Science and Engineering*, 88(1), 012056.

Bushehri, M. K., Mohebbi, A. and Rafsanjani, H. H. (2016). Prediction of thermal conductivity and viscosity of nanofluids by molecular dynamics simulation. *Journal of Engineering Thermophysics*, 25(3), 389–400.

Car, E. (2010). Boksit Madenciliği. *Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi*, 153, 20-27.

Chamsa-ard, W., Brundavanam, S., Fung, C. C., Fawcett, D. and Poinern, G. (2017) Nanofluid types, their synthesis, properties and incorporation in direct solar thermal collectors: A review. *Nanomaterials-Basel*, 7(6), 131

Chen, H. J., and Wen D. (2011). Ultrasonic-aided fabrication of gold nanofluids. *Nanoscale Research Letters*, 6(1), 198.

Chinnam, J., Das, D. K., Vajjha, R. S. and Satti, J. R. (2015) Measurements of the surface tension of nanofluids and development of a new correlation, *International Journal of Thermal Sciences*, 98, 68-80.

Choi, S.U. S. and Eastman, J. A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Argonne National Lab., 1995. United States

Chopkar, M., Sudarshan, S., Das, P. K. and Manna, I. (2008). Effect of particle size on thermal conductivity of nanofluid. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39, 1535–1542.

Choudhary, R., Khurana, D., Kumar, A. and Subudhi, S. (2017). Stability analysis of Al_2O_3/water nanofluids. *Journal of Experimental Nanoscience*, 12(1), 140-151.

Çiftçi, E., Sözen, A. ve Karaman, E. (2016). TiO_2 içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19 (3), 367-376.9.

Das, S. K. , Choi, S. U. S. and Patel, H. E. (2006). Heat transfer in nanofluids—A review, *Heat Transfer Engineering*, 27(10), 3-19.

Devendiran, D. K. and Amirtham, V.A. (2016). A review of preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 21-40.

Dey, D., Kumar,P. and Samantaray, S. (2017). A review of nanofluid preparation, stability, thermo-prhsical properties, *Heat Transfer - Asian Research*, 46(8), 1413-1442.

Do, K. H., Ha, H. J. and Jang, S.P. (2010). Thermal resistance of screen mesh wick heat pipes using the water-based Al_2O_3 nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(25), 5888–5894.

Duangthongsuk, W. and Wongwises S. (2009). Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO_2-water nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4),706-714

Düzyol S. (2016) Cevher hazırlama işlemlerinde yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümünün genel bir değerlendirmesi, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 22 (2), 21-31.

Elçioğlu, E. B., Yazıcıoğlu, A. G. ve Kakaç, S. (2014). Nanoakışkan viskozitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34(1), 137-151.

Ersöz, M. A. (2009). Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu İle Geri Kazanımının Deneysel İncelenmesi", *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*,133-142, İzmir.

Gandhi, K. S. K., Velayutham, M., Das, S. K. and Thirumalachari S. (2011). *Measurement of thermal and electrical conductivities of graphene nanofluids*. Paper presented at the 3rd Micro and Nano Flows Conference, Thessaloniki, Greece.

Ganvir, R. B., Walke, P. V. and Kriplani, V. M. (2017). Heat transfer characteristics in nanofluid-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 451-460.

Ghadimi, A., Saidur, R.and Metselaar, H. S. C. (2011). A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(17-18), 4051-4068.

Gupta, M., Singh, V., Kumar, R., Said, Z. (2017). A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 638-670.

Gupta, N. K., Tiwari, A. K. and Ghosh, S. K. (2018). Heat transfer mechanisms in heat pipes using nanofluids – A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 90, 84-100.

Gürü, M., Sözen, A., Karakaya, U., Çiftçi, E. (2019) Influences of bentonite-deionized water nanofluid utilization at different concentrations on heat pipe performance: An experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 148, 632-640.

Hong, J. and Kim, D. (2012). Effects of aggregation on the thermal conductivity of alumina/water nanofluids. *Thermochimica Acta*, 542, 28–32.

Hormozi, F., Zarenezhad, B. and Allahyar, H. R. (2016). An experimental investigation on the effects of surfactants on the thermal performance of hybrid nanofluids in helical coil heat exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer*,78, 271–276.

Hoseinzadeh, S., Sahebi, S. A. R., Ghasemiasl, R. and Majidian, A. R. (2017). Experimental analysis to improving thermosyphon thermal efficiency using nanoparticles/based fluids (water). *European Physical Journal Plus*, 132(197), 1–8. 2017.

Hussein, A.K. (2015). Applications of nanotechnology in renewable energies-A comprehensive overview and understanding. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 460-476.

İnce, R. (2008). *Bazı yağlı tohumların ısısal özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma,* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Islam, M.F., Rojas, E., Bergey, D. M., Johnson, A. T., Yodh A. G. (2003). High weight fraction surfactant solubilization of single-wall carbon nanotubes in water. *Nano Letters*, 3(2), 269-273.

Jiang, L. Gao, L. and Sun, J. (2003). Production of aqueous colloidal dispersions of carbon nano-tubes, *Journal of Colloidal and Interface Science*, 260 (1), 89-94.

Jordan, A., Scholz, R., Wust, P. and Fähling, H. (1999). Magnetic fluid hyperthermia (MFH): cancer treatment with AC magnetic field induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 201(1-3), 413-419.

Jouhara, H., Chauhan, A., Nannou, T., Almahmoud, S., Delpech, B.,Wrobel, L. C. (2017). Heat pipe based systems - Advances and applications, *Energy*, 128, 729-754.

Ju, L., Zhang, W., Wang, X., Hu, J. and Zhang, Y. (2012). Aggregation kinetics of SDBS-dispersed carbon nanotubes in different aqueous suspensions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 409, 159-166

Kang, S.-W., Wei, W.-C., Tsai, S.-H. and Huang, C.-C. (2009). Experimental investigation of nanofluids on sintered heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineer*ing, 29(5), 973–979.

Karakaya, U., Gürü, M., Sözen, A., Aydın, D. Y. ve Bilici İ. (2019). Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 22, 619-626.

Kim, H. D., Kim, J. and Kim, M. H. (2007). Experimental studies on CHF characteristics of nano-fluids at pool boiling, *International Journal of Multiphase Flow*, 33(7), 691-706.

Kim, H. J., Bang, I. C. and Onoe, J. (2009). Characteristic stability of bare Au-water nanofluids fabricated by pulsed laser ablation in liquids. *Optics and Lasers in Engineering*, 47(5), 532– 538.

Kim, S. H., Choi, S. R. and Kim, D. (2007) Thermal conductivity of metal-oxide nanofluids: particle size dependence and effect of laser irradiation. *Journal of Heat Transfer*, 129, 298–307.

Kole, M. and Dey, T. K. (2013). Thermal performance of screen mesh wick heat pipes using water-based copper nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 50, 763–770.

Kong, L., Sun, J., and Bao, Y. (2017). Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofluids. *RSC Advances*, 7(21),12599–12609.

Krishnam, M., Bose, S., Das, C. (2016). Boron nitride (BN) nanofluids as cooling agent in thermal management systems (TMS). *Applied Thermal Engineering*, 106, 951-958.

Kumaresan, G., Venkatachalapathy, S., Godson, L. and Asirvatham, L. G. (2014). Experimental investigation on enhancement in thermal characteristics of sintered wick heat pipe using CuO nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72, 507-516.

Kumaresan,V. and Velraj, R. (2012). Experimental investigation of the thermo-physical properties of water–ethylene glycol mixture based cnt nanofluids. *Thermochimica Acta*, 545, 180–186.

Kurt, C. H. (2010). *Dolomit cevherinin kalsinasyon karakteristiklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Lee, J. H., Hwang, K. S., Jang, S. P., Lee, B. H. Kim, J. H., Choi, S. U. S. and Choi, C. J. (2008) Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al_2O_3 nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(11-12), 2651-2656.

Li, C. H. and Peterson, G. P. (2007). The effect of particle size on the effective thermal conductivity of Al_2O_3-water nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 101, 044312.

Li, X. F., Zhu, D., and Wang, X. (2007) Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions. *Journal of Colloidal and Interface Science*, 310(2), 456-463.

Li, X., Zhu, D. and Wang, X. (2007). Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310(2), 456-463.

Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E. and Xi, S. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization, *Powder Technology*, 196(2), 89-101.

Liu, Z. and Bao, X. R. (2007). Boiling heat transfer characteristics of nanofluids in a flat heat pipe evaporator with micro-grooved heating surface, *International Journal of Multiphase Flow*, 33, 1284–1295.

Mahbubul, I. M., Saidur, R., Amalina, M. A., Niza, M. E. (2016). Influence of ultrasonication duration on rheological properties of nanofluid: An experimental study with alumina–water nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 33-40.

Mahbubul, I.M., Elcioglu, E. B., Saidur, R. and Amalina, M. A. (2017). Optimization of ultrasonication period for better dispersion and stability of TiO_2–water nanofluid, *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 360-367.

Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K., and Hishinuma, N. (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. *Netsu Bussei*, 7 (4), 227–233.

Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Öztaş, S. (2015). Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe. *Journal of Energy Institute*, 88(3), 247-257.

Mondragon, R., Julia, J. E., Barba, A. and Jarque, J. C. (2012). Characterization of silica-water nanofluids dispersed with an ultrasound probe: A study of their physical properties and stability, *Powder Technology*, 224, 138–146.

Mukherjee, S. and Paria, S. (2013). Preparation and stability of nanofluids- A review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 63-69.

Nadooshan, A. A. (2017). An experimental correlation approach for predicting thermal conductivity of water-EG based nanofluids of zinc oxide. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 87, 15-19.

Namburu, P. K., Kulkarni, D. P., Dandekar, A. and Das, D. K. (2007). Experimental investigation of viscosity and specific heat of silicon dioxide nanofluids. *Micro & Nano Letters*, 2(3), 67–71.

Nguyen, C., Desgranges, F., Roy, G., Galanis, N., Mare, T., Boucher, S. and Minsta H. A. (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nano-fluids - hysteresis phenomenon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(6), 1492–506.

Noie, S. H., Heris, S. Z., Kahani, M. and Nowee, S. M. (2009). Heat transfer enhancement using (Al_2O_3)/water nanofluid in a two-phase closed thermosiphon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30(4), 700–705.

Özsoy, A. and Çorumlu, V. (2018). Thermal performance of a thermosyphon heat pipe evacuated tube solar collector using silver-water nanofluid for commercial applications. *Renewable Energy*, 122, 26-34.

Parametthanuwat, T., Rittidech, S., Pattiya, A., Ding, Y. and Witharana, S. (2011). Application of silver nanofluid containing oleic acid surfactant in a thermosyphon economizer. *Nanoscale Research Letters*, 6(1), 315–325.

Prasher, R., Song, D., Wang, J. and Phelan, P. E. (2006). Measurement of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications. *Applied Physics Letters*, 89(13), 133108.

Qu, J., Wu, H. and Cheng, P. (2010). Thermal performance of an oscillating heat pipe with Al_2O_3–water nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(2), 111–115.

Ramires, M. L. V., Castro, C. A. N., Nagasaka, Y., Nagashima, A., Assael, M. J. and Wakeham, W. A. (1995). Standard reference data for the thermal conductivity of water. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 24, 1377-1381.

Reddy M. C. S., Rao, V. V. (2013). Experimental studies on thermal conductivity of blends of ethylene glycol-water-based TiO_2 nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 31–36.

Reddy, K. S., Kamnapure, N. R. and Srivastava, S. (2017). Nanofluidand nanocomposite applications in solar energy conversion systems for performance enhancement: A review. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(1), 1–23.

Sadeghinezhad, E., Mehrali, M., Rosen, M. A., Reza, A., Tahan, S., Mehrali, M., Simon, H., Metselaar, C. (2016). Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 100, 775–787.

Şahin, F. ve Namlı, L.(2018). Nanoakışkanlarda kararlılığın ısı transferini iyileştirme açısından önemi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 7(2), 880-898.

Sahooli, M. and Sabbaghi, S. (2013) Investigation of thermal properties of CuO nanoparticles on the ethylene glycol–water mixture. *Materials Letters*, 93, 254-257.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Raporu (2001) URL: http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/121/oik636.pdf, Son erişim tarihi: 12 Ekim 2017.

Seob, H, Kim, F., Yilmaz, P., Dharmaiah, D. Lee, J., Lee, T. H. and Hong S. J. (2017). Characterization of Cu and Ni nano-fluids synthesized by pulsed wire evaporation method. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62(2), 999–1004.

She, L. and Fan, G. (2018). Numerical simulation of flow and heat transfer characteristics of CuO-water nanofluids in a flat tube. *Frontiers in Energy Research*, 6(57), 1-8.

Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO_2 deionized water nanofluid in a thermosiphon, *Experimental Heat Transfer*, 31(5), 450-469.

Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Irmak, A. F., Kılıç, F. and Aktaş M. (2016). Utilization of fly ash nanofluids in two-phase closed thermosyphon for enhancing heat transfer. *Experimental Heat Transfer*, 29(3), 337-354.

Suganthi, K. S. and Rajan, K. S. (2017). Metal oxide nanofluids: Review of formulation, thermo-physical properties, mechanisms, and heat transfer performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 226-255.

Sun, C., Bai, B., Lu, W. and Liu, J. (2013). Shear-rate dependent effective thermal conductivity of H_2O+SiO_2 nanofluids. *Physics of Fluids*, 25, 052002.

Sundar, L. S., Farooky, M. H., Sarada, S. N., Singh, M. K. (2013). Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al_2O_3 and CuO nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 41, 41-46

Sundar, L. S., Singh, M. K. and Sousa, A. C. M. (2013). Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe3O4 nanofluid for heat transfer applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 7-14.

Sundur, L. S., Sharma, K.V., Singh, M. K., Sousa, A.C.M. (2017). Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68 (1), 185-198.

Suresh, S., Venkitaraj, K. P., Selvakumar, P. and Chandrasekar, M. (2011). Synthesis of Al_2O_3-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical

properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388(1), 41–48.

Tawfik, M. M. (2017). Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review. *Renewable and Sustainable Enery Reviews*, 75, 1239-1253.

Tharayil, T., Asirvatham, L. G., Ravindran, V., Wongwises, S. (2015). Thermal performance of miniature loop heat pipe with graphene–water nano Fluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93, 657-968.

Timofeeva, E. V., Moravek, M. R. and Singh, D. (2011). Improving the heat transfer efficiency of synthetic oil with silica nanoparticles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 364(1), 71–79.

Upman, K. K. and Srivastava A. (2014). Study on parameters of thermal conductivity enhancement in oxide nanofluids. *International Journal of Engineering, Management & Sciences*, 1(12), 10-20.

Usri, N. A., Azmi, W. H., Mamat, R., Hamid, K. A. and Najafi, G. (2015). Thermal conductivity enhancement of Al_2O_3 nanofluid in ethylene glycol and water mixture. *Energy Procedia*, 79, 397–402.

Wang, G.-S., Song, B. and Liu, Z.-H. (2010). Operation characteristics of cylindrical miniature grooved heat pipe using aqueous CuO nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 1415–1421.

Wang, X., Xu, X. and Choi, S. U. S. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle fluid mixture. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13, 474–480.

Wong, K. V. and De Leon, O. (2010). Application of nanofluids: Current and future. *Advances in Mechanical Engineering*, 2, 1–11.

Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F. and W, Q. (2002). Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles. *Journal of Applied Physics*, 91, 4568-4572.

Yang L. and Du, K. (2017). A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO_2 nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 11–31.

Yang, L. and Hu, Y. (2017). Toward TiO_2 Nanofluids—Part 1: Preparation and Properties. *Nanoscale Research Lett*ers, 12, 417.

Yang, L., Du, K., Zhang, X. S., and Cheng, B. (2011). Preparation and stability of Al_2O_3 nanoparticle suspension of ammonia-water solution, *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3643-3647.

Yiamsawasd, T., Dalkilic, A. S. and Wongwises, S. (2012). Measurement of Specific Heat of Nanofluids. *Current Nanoscience*, 8(6), 939 – 944.

Yu, H., Hermann, S., Schulz, S. E., Gessner, T., Dong, Z. And Li W. J.(2012). Optimizing sonication parameters for dispersion of single-walled carbon nanotubes. *Chemical Physics*, 408(2012), 11-16.

Yu, H., Hermann, S., Schulz, S. E., Gessner, T., Dong, Z., Li, W. J. (2012) Optimizing sonication parameters for dispersion of single-walled carbon nanotubes. *Chemical Physics*, 408, 11-1

Yu, W., Xie, H., Chen, L. and Li, Y. (2009). Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluid. *Thermochimica Acta*, 491(1), 92–96.

Zhou, S.-Q. and Ni, R. (2008). Measurement of the specific heat capacity of water-based Al_2O_3 nanofluid. *Applied Physics Letters*, 92(9), 093123.

Zhou, Z. Y., Di, Q. Q., Liu, B., Ma, X. Y., and Cai, B. H. (2016). Experimental study on the surface tension of Al_2O_3-H_2O nanofluid. *Materials Science Forum*, 852, 394–400.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDIN, Duygu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 08.09.1990, Sakarya
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 582 55 54
e-mail : d.yilmaz@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2015
Lisans	Selçuk Üniversitesi /Kimya Mühendisliği	2012
Lise	Ayşe Melahat Erkin Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Devam ediyor	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Müzik dinlemek

Yayınlar

Aydın, Y. D., Gürü, M., İpek, D., Özyürek, D. (2019). Obtainment of Copper(II) Fluoroborate by High-Energy Impacted Ball-Milling. *Acta Phys Pol A*, 135, 888-891.

Karakaya, U., Gürü, M., Sözen, A, Aydın, Y. D., Bilici, İ. (2019). Nano Mineralojik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 3, 619-626.

Aydın, Y. D. , Gürü, M., Ipek, D., Özyürek, D. (2017). Synthesis and Characterization of Zinc Fluoroborate from Zinc Fluoride and Boron by Mechanochemical Reaction. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 4409-4416.



GAZİ GELECEKTİR...